

Fachsprache im Biologieunterricht:  
Eine Untersuchung zu Bedingungsfaktoren  
und Auswirkungen

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
vorgelegt von  
Sandra Nitz  
Kiel, 2012

Referent/in: Prof. Dr. Helmut Prechtel

Korreferent/in: Prof. Dr. Ilka Parchmann

Tag der mündlichen Prüfung: 19.04.2012

Zum Druck genehmigt: 19.04.2012

gez. Prof. Dr. Lutz Kipp, Dekan

*Elfriede, Fredo, Gerhard*



## Zusammenfassung

Die Beherrschung der naturwissenschaftlichen Fachsprache ist ein wichtiger Aspekt naturwissenschaftlicher Grundbildung, der im Biologieunterricht gefördert werden muss. Konstituierend für die naturwissenschaftliche Fachsprache ist die Verwendung verschiedener multimodaler und –codaler Repräsentationen. Die Fähigkeiten zum Umgang mit diesen Repräsentationen stellen den Kern fachsprachlicher Kompetenzen dar und werden als *representational competence* beschrieben. Studien zeigen allerdings, dass Schülerinnen und Schüler diesbezüglich Schwierigkeiten haben und daher eine explizite Integration und Förderung fachsprachlicher Aspekte im Biologieunterricht notwendig ist. Auf der Basis von Angebots-Nutzungs-Modellen, die die Bedingungen des Lehrens und Lernens im Unterricht beschreiben, wird der Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache als fachspezifisches Merkmal der Unterrichtsqualität angesehen und in dieser Arbeit für den Biologieunterricht untersucht. Hierfür wurden in verschiedenen Teilstudien die drei zentralen Komponenten des Angebots-Nutzungs-Modells—die Lehrkraft, die Prozessqualität des Unterrichts und die Schülerleistungen—betrachtet. Die Mehrebenenstruktur der Daten wurde dabei durch die Verwendung von Mehrebenenanalysen berücksichtigt.

Die Unterrichtsqualität hinsichtlich fachsprachlicher Aspekte konnte sowohl auf Schüler- als auch auf Klassenebene anhand von sechs Dimensionen beschrieben werden. Allgemein wurde der Fachsprache nur eine geringe Bedeutung zugemessen und fachsprachliche Aspekte wurden nur in geringem Ausmaß in den Biologieunterricht integriert, was sich sowohl auf Lehrerebene als auch auf Unterrichts- und Schülerebene zeigen ließ. Die Dimensionen fachsprachlicher Unterrichtsqualität wiesen differentielle Effekte auf die *representational competence* der Schüler auf. Als bedeutsam zeigten sich hier die Anzahl der verwendeten Fachbegriffe sowie die Interpretation und Konstruktion bildlicher Repräsentationen.

Vor diesem Hintergrund wird diskutiert, welche Bedeutung der Weiterentwicklung von geeigneten Diagnose- und Unterstützungsmaßnahmen im Unterricht zukommt. Darüber hinaus verdeutlichen die Ergebnisse die Wichtigkeit des Einbezugs fachsprachlicher Aspekte in die Lehreraus- und –fortbildung. Die vorliegende Dissertation bietet hierzu theoretische und empirische Ansatzpunkte.



## **Abstract**

An important aspect of scientific literacy is the ability to use the scientific language adequately which needs to be fostered in science education. The use of different multi-modal and –codal representations is distinctive of the scientific language and the skills to use those representations properly have been described as representational competence. Studies showed that students have difficulties in dealing with multi-modal and –codal representations. Therefore, representational aspects need to be integrated and fostered explicitly in biology education. Based on models of learning opportunities and uses of instruction which describe teaching and learning in class, the use and integration of representational aspects is illustrated as a domain-specific feature of instructional quality. In this thesis, this domain-specific feature was analysed in biology education concerning the three key components of learning opportunities and uses of instruction models (teacher, process quality and students' outcome). The multi-level nature of classroom settings was taken into account using multi-level analyses.

The integration of representational aspects and use of representations in biology instruction could be described by six dimensions of domain-specific instructional quality at both individual and classroom levels. In general, representational aspects were only moderately integrated in teaching practices which could be shown at all three levels (teacher, instruction and students). The six dimensions of instructional quality impacted differentially on students' representational competence. Significant effects were found for the amount of terms used in class and interpreting and constructing visual representations.

Methodological and practical implications of these findings are discussed with regard to further development of adequate assessment and support strategies in science education. The findings of this thesis stress the significance of incorporating representational aspects in teacher education and professional teacher development and provide theoretical and empirical approaches.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Scientific Literacy .....	2
1.2 Fachsprache .....	4
1.2.1 Linguistische Modelle von Fachsprache .....	4
1.2.2 Naturwissenschaftliche Fachsprache.....	5
1.3 Representational Competence.....	7
1.4 Unterrichtsmodelle und Unterrichtsqualität .....	10
1.4.1 Prozess-Mediations-Produkt- und Expertenparadigma der Unterrichtsforschung.....	11
1.4.2 Das Angebots-Nutzungs-Modell von Unterricht .....	13
1.4.3 Allgemeine und fachspezifische Unterrichtsqualität .....	14
1.4.3.1 Der Umgang mit Fachsprache als Teil der fachspezifischen Unterrichtsqualität .....	16
<b>2 Zielsetzung der Arbeit .....</b>	<b>18</b>
<b>3 Studie 1: Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht—eine empirische Untersuchung zur Einstellung angehender Lehrkräfte .....</b>	<b>20</b>
3.1 Einleitung.....	22
3.2 Theoretischer Hintergrund.....	24
3.3 Methode .....	26
3.3.1 Stichprobe.....	26
3.3.2 Auswertungsmethoden.....	27
3.3.3 Skalendokumentation.....	27
3.3.4 Durchführung der Datenerhebung.....	30
3.4 Ergebnisse .....	30
3.4.1 Deskriptive Befunde.....	30
3.4.2 Überprüfung der Hypothese .....	30
3.5 Diskussion .....	32
3.5.1 Methodenbezogene Diskussion.....	32
3.5.2 Diskussion der empirischen Befunde .....	33
3.6 Ausblick.....	36
<b>4 Studie 2: Entwicklung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht .....</b>	<b>37</b>
4.1 Einleitung.....	39
4.2 Theoretischer Hintergrund.....	39
4.2.1 Naturwissenschaftliche Fachsprache im Unterricht .....	40
4.2.2 Erfassung von Unterrichtsqualität.....	45

4.3	Ziel der Studie .....	46
4.4	Methode.....	46
4.4.1	Entwicklung des Fragebogens zur Unterrichtsqualität .....	46
4.4.2	Stichprobe und Durchführung.....	47
4.4.3	Interraterreliabilität und -übereinstimmung .....	47
4.5	Ergebnisse.....	49
4.5.1	Skalenanalyse.....	49
4.5.2	Maße der Interraterreliabilität und -übereinstimmung .....	52
4.6	Diskussion .....	53
<b>5</b>	<b>Studie 3: Survey of classroom use of representations: Development, field test and multilevel analysis .....</b>	<b>56</b>
5.1	Introduction .....	58
5.2	Background.....	58
5.2.1	Representational competence .....	59
5.2.2	Representations in science class.....	60
5.2.3	Students' perceptions of classroom learning environments .....	61
5.3	Aims .....	62
5.4	Methods and results .....	63
5.4.1	Item development .....	63
5.4.2	Exploratory factor and item analyses.....	65
5.4.2.1	Sample .....	65
5.4.2.2	Factor structure and factorial validity .....	65
5.4.2.3	Discriminant validity and reliability.....	66
5.4.3	Revision of instrument.....	67
5.4.4	Confirmatory factor analyses of the revised instrument .....	67
5.4.4.1	Sample .....	68
5.4.4.2	Confirmatory factor analysis.....	68
5.4.4.3	Multilevel confirmatory factor analysis.....	69
5.4.4.4	Discriminant validity and reliability.....	73
5.5	Discussion.....	73
<b>6</b>	<b>Studie 4: Teaching representations in biology class and the development of students' representational competence.....</b>	<b>75</b>
6.1	Introduction .....	77
6.2	(Meta-) Representational competence.....	78
6.3	Representations and representational competence in science class.....	80
6.4	Research questions .....	82
6.5	Method.....	83
6.5.1	Sample .....	83
6.5.2	Measures .....	83
6.5.2.1	Teaching practices regarding the use of scientific representations ....	83
6.5.2.2	Representational competence.....	84
6.5.3	Procedure .....	86
6.5.4	Statistical analyses.....	86

6.6 Results .....	87
6.6.1 Descriptives .....	87
6.6.2 Influence of teaching practices on the development of representational competence .....	87
6.7 Discussion .....	89
6.8 Limitations and future research .....	91
<b>7 Diskussion und Ausblick.....</b>	<b>93</b>
7.1 Zusammenfassung der empirischen Befunde der Studien 1-4 .....	94
7.2 Zur Dimensionalität der fachspezifischen Unterrichtsqualität hinsichtlich fachsprachlicher Aspekte .....	95
7.3 Zum Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht .....	96
7.4 Zur Förderung von representational competence im Biologieunterricht .....	98
7.5 Implikationen für zukünftige Forschung.....	99
7.6 Implikationen für die Unterrichtspraxis.....	102
<b>8 Literatur .....</b>	<b>103</b>
<b>9 Anhang .....</b>	<b>124</b>
9.1 Abbildungsverzeichnis .....	124
9.2 Tabellenverzeichnis.....	124
9.3 Erhebungsinstrumente .....	125
9.3.1 Umgang mit naturwissenschaftlicher Fachsprache.....	125
9.3.2 Representational competence.....	129
9.3.2.1 Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse.....	132
9.3.2.2 Itemmittelwerte.....	135



# 1 Einleitung

Naturwissenschaftliche Erkenntnisse und technologischer Fortschritt prägen die heutige Wissensgesellschaft und berühren gesellschaftliche, politische und persönliche Entscheidungen. Um Alternativen abwägen und informiert Entscheidungen treffen zu können, sind Kenntnisse naturwissenschaftlicher Konzepte und Prozesse unverzichtbare Elemente der Allgemeinbildung eines mündigen Bürgers<sup>1</sup>. Das Konzept der Scientific Literacy bzw. der naturwissenschaftlichen Grundbildung orientiert sich an diesen Anforderungen moderner Wissensgesellschaften und rückt die Befähigung des Individuums zur aktiven Partizipation am gesellschaftlichen Diskurs über naturwissenschaftliche Entwicklung und Forschung in den Mittelpunkt (für einen Überblick siehe z.B. Gräber, Nentwig, Koballa, & Evans, 2002; OECD, 2006). Die naturwissenschaftliche Fachsprache nimmt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselstellung ein, da erst durch ihre Beherrschung eine Grundvoraussetzung für die Teilhabe am gesellschaftlichen Diskurs über naturwissenschaftliche Themen erfüllt ist (Lemke, 2004; Osborne, 2002; Wellington & Osborne, 2001; Yore, Bisanz, & Hand, 2003; Yore & Treagust, 2006). Im Sinne der naturwissenschaftlichen Grundbildung muss der naturwissenschaftliche Unterricht dafür Sorge tragen, Heranwachsende zum Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache und zur fachgerechten Kommunikation zu befähigen. Inwiefern Biologieunterricht dieser Anforderung nachkommt, ist Gegenstand dieser Arbeit.

Im Folgenden wird die dieser Arbeit zugrundeliegende Konzeption von Scientific Literacy (s. Kapitel 1.1) dargelegt, da in der naturwissenschaftsdidaktischen Diskussion zwar Einigkeit darüber besteht, dass die Vermittlung von Scientific Literacy Bildungsziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist, nicht jedoch darüber, wie dieses Konzept inhaltlich ausgestaltet ist (siehe z.B. Gräber & Nentwig, 2002; Norris & Phillips, 2003). Basierend auf der Konzeption von Scientific Literacy wird die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Fachsprache abgeleitet, die in Kapitel 1.2 beschrieben und definiert wird. Im Zusammenhang mit den Herausforderungen, die die naturwissenschaftlichen Fachsprache an die Schüler stellt, wird das Konzept der (*meta-*) *representational competence* vorgestellt, welches Fähig- und Fertigkeiten zum Umgang mit naturwissenschaftlichen Repräsentationen beschreibt (s. Kapitel 1.3). Abschließend wird in Kapitel 1.4 auf das Bedingungsgefüge für

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf die Nennung der männlichen und weiblichen Form verzichtet. Die Begriffe Schüler, Lehrer, Teilnehmer u. ä. beziehen sich im Folgenden immer gleichermaßen auf weibliche und männliche Personen.

das Erlernen naturwissenschaftlicher Fachsprache im Biologieunterricht im Rahmen von Angebots-Nutzungs-Modellen eingegangen und gezeigt, dass der Umgang mit Fachsprache ein zentrales Merkmal fachspezifischer Unterrichtsqualität ist. Auf dieser Grundlage werden die Zielsetzungen dieser Arbeit erläutert (s. Kapitel 2).

## 1.1 Scientific Literacy

Die dieser Arbeit zugrunde liegende Konzeption von Scientific Literacy unterscheidet explizit zwei Dimensionen – eine grundlegende (*fundamental sense*) und eine abgeleitete (*derived sense*) Scientific Literacy (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2003; Yore, Pimm, & Tuan, 2007). Norris und Phillips (2003) beschreiben grundlegende Scientific Literacy als Fähigkeit naturwissenschaftliche Texte lesen zu können. Das „Lesen Können“ wird hier vergleichbar zur Konzeption von Lesekompetenz, die den PISA-Studien zugrunde liegt (siehe hierzu beispielsweise Artelt, Stanat, Schneider, Schiefele, & Lehmann, 2004) nicht als einfache Dekodierfähigkeit aufgefasst, sondern als die aktive Bedeutungerschließung aus naturwissenschaftlichen Texten. Es umfasst das Verstehen, Interpretieren, Analysieren und Kritisieren naturwissenschaftlicher Texte, wobei „Text“ in diesem Zusammenhang nicht nur den schriftlichen Text meint, sondern verschiedene Repräsentationen, die naturwissenschaftliche Inhalte enthalten und transportieren wie beispielsweise Diagramme, Tabellen, Abbildungen und mathematische Gleichungen (vergleiche hierzu auch das Konzept kontinuierlicher und diskontinuierlicher Texte in Artelt, et al., 2004; Norris & Phillips, 2003; oder das erweiterte Lesekompetenzverständnis nach Schnotz & Dutke, 2004). Scientific Literacy in der abgeleiteten Bedeutung umfasst das Wissen und das Verständnis von naturwissenschaftlichen Konzepten und Prozessen (Norris & Phillips, 2003).

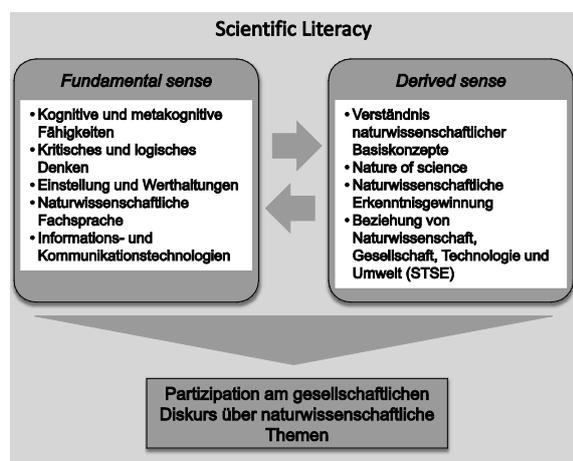


Abbildung 1: Veranschaulichung der Konzeption von Scientific Literacy, die dieser Arbeit zugrunde liegt (modifiziert nach Yore, et al., 2007)

Yore et al. (2007) greifen diese Differenzierung auf und führen sie weiter aus (siehe Abbildung 1): Unter der abgeleiteten Dimension subsumieren sie das konzeptuelle und epistemologische Verständnis von Naturwissenschaften sowie das Verständnis ihrer gesellschaftlichen Bedeutung. Die grundlegende Dimension von Scientific Literacy umfasst in dieser Konzeption nicht nur eine naturwissenschaftliche Lese- und Schreibfähigkeit

sondern vielmehr eine Reihe von kognitiven, linguistischen und technischen Fähigkeiten, die die Interpretation und Kommunikation naturwissenschaftlicher Erkenntnisse ermöglicht und das Lernen naturwissenschaftlicher Inhalte vermittelt (Yore, et al., 2007; Yore & Treagust, 2006). Hierzu gehören neben kognitiven und metakognitiven Fähigkeiten, der Fähigkeit zum kritischen und logischen Denken, naturwissenschaftsbezogenen Einstellungen und Werthaltungen und dem angemessenen Umgang mit Informations- und Kommunikationstechnologien auch das Verständnis und Beherrschen der naturwissenschaftlichen Fachsprache. Beide Aspekte von Scientific Literacy stehen in einem symbiotischen und interaktiven Verhältnis zueinander: Die Generierung von naturwissenschaftlichem Wissen und Verständnis im Sinne der abgeleiteten Bedeutung ist ohne eine fundamentale Scientific Literacy nicht möglich bzw. wird durch diese beeinflusst und umgekehrt wirken sich das naturwissenschaftliche Verständnis und Wissen auf fundamentale Aspekte von Scientific Literacy aus (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2007).

Für die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Fachsprache, die Gegenstand dieser Arbeit ist, lässt sich festhalten, dass sie im Kontext von Scientific Literacy eine wichtige Schlüsselstellung einnimmt:

„Language is an integral part of science and scientific literacy—language is a means to doing science and to constructing science understandings; language is also an end in that it is used to communicate about inquiries, procedures, and science understandings to other people so that they can make informed decisions and take informed actions.“ (Yore, et al., 2003, p. 691).

Nur wer die naturwissenschaftliche Fachsprache verstehen und nutzen kann, ist fähig, sich über naturwissenschaftliche Themen zu informieren, naturwissenschaftliches Wissen zu erwerben und zu kommunizieren und somit am gesellschaftlichen Diskurs teilzuhaben, dem Bildungsziel naturwissenschaftlichen Unterrichts im Sinne von Scientific Literacy (Lemke, 2004; Osborne, 2002; Wellington & Osborne, 2001; Yore, et al., 2003; Yore & Treagust, 2006). Dem Biologieunterricht fällt somit die wichtige Aufgabe zu, Heranwachsende zum Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache und zur fachgerechten Kommunikation zu befähigen. Beispielsweise wird in den Bildungsstandards, die 2004 als Reaktion auf das unterdurchschnittliche Abschneiden der deutschen Schüler in TIMSS bzw. PISA verabschiedet wurden, diese Forderung aufgegriffen und die Vermittlung fachsprachlicher Kompetenzen herausgestellt: Es sei „Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung [...], die Sprache [...] der Naturwissenschaften zu verstehen, [und] ihre Ergebnisse zu kommunizieren“ (Kultusministerkonferenz, 2005a, p. 6). Was ist jedoch unter Sprache der Naturwissenschaften bzw. der naturwissenschaftlichen Fachsprache zu verstehen?

## 1.2 Fachsprache

In der Wahrnehmung von Nicht-Fachleuten ist eine Fachsprache etwas Unverständliches. Häufig wird mit ihr ein spezifisches Fachvokabular verbunden oder sie wird mit Begriffen wie „Fachchinesisch“ oder „Fachlatein“ beschrieben. Obwohl der Begriff Fachsprache sofort bestimmte Vorstellungen hervorruft, ist eine eindeutige (linguistische) Definition, was unter Fachsprache zu verstehen ist, bisher nicht gelungen—zu vielseitig und vielschichtig sind mögliche Betrachtungsansätze (Fluck, 1996; Rincke, 2010; Roelcke, 2005). Eine weitere Problematik, die eine Definition erschwert, ist, dass Fachsprache oft der Gemeinsprache bzw. Alltagssprache gegenüber gestellt wird, wobei letztere ebenfalls nur vage definiert ist. Alltags- und Fachsprache lassen sich nur schwer eindeutig voneinander abgrenzen, da die Alltagssprache die Basis für die Entwicklung einer Fachsprache darstellt und Elemente der Alltagssprache in die Fachsprache einfließen und umgekehrt (Kattmann, 2006; Rincke, 2010). Oft ist nur aus dem kommunikativen Kontext ersichtlich, ob es sich bei einem sprachlichen Element um ein Element der Fach- oder Alltagssprache handelt. Für die Beschreibung von fachlicher Kommunikation im Schulunterricht sind die Konzepte Fach- und Alltagssprache jedoch wichtige Bezugspunkte und können gegebenenfalls als Endpunkte eines Kontinuums angesehen werden (siehe hierzu auch Studie 1, Kapitel 3.2 dieser Arbeit). Roelcke (2005) hält fest, dass die von der Fachsprachenforschung angestrebte eindeutige Abgrenzung linguistischer innersprachlicher Merkmale der Fach- und Alltagssprache aufgrund unzureichender Bestimmung von Fach- und Alltagssprache selbst nicht befriedigend gelungen ist. Dennoch werden linguistische Charakteristika und Konzeptionen von Fachsprache formuliert, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden, bevor das dieser Arbeit zugrundeliegende Konzept der naturwissenschaftlichen Fachsprache erläutert wird.

### 1.2.1 Linguistische Modelle von Fachsprache

Linguistisch stellt Fachsprache eine Sprachvarietät dar, die durch verschiedene Eigenschaften gekennzeichnet ist: Sie ist primär an Experten gebunden, die sie zur fachinternen Verständigung nutzen und zeichnet sich durch eine hohe Normhaftigkeit in Lexik (Fachwortschatz), Morphosyntax (grammatikalische Strukturen) und Textstrukturen aus (Fluck, 1996; Kalverkämper, 1998; Rincke, 2010). Darüber hinaus werden der Fachsprache als funktionale Eigenschaften Deutlichkeit, Verständlichkeit, Ökonomie, Anonymität und Identitätsstiftung zugeschrieben (Roelcke, 2005). Der linguistischen Fachsprachenforschung wurden seit den 1950er Jahren verschiedene Fachsprachenkonzeptionen zugrunde gelegt. Roelcke (2005) unterscheidet drei Modelle der Fachsprache:

Nach dem *systemlinguistischen Inventarmodell* lässt sich Fachsprache als „Gesamtheit aller sprachlichen Mittel, die in einem fachlich begrenzten Kommunikationsbereich verwendet werden [...]“ (Hoffmann, 1985, p. 53) auffassen. Fachsprache ist hiernach ein System sprachlicher Zeichen, welches vor allem lexikalisch und syntaktisch bestimmt ist. Im Zuge einer pragmalinguistischen Orientierung erfolgte eine Loslösung von der rein lexikalischen Betrachtungsweise; stattdessen rückten der Fachtext<sup>2</sup> und die kontextuellen Bedingungen seiner Produktion und Rezeption in den Mittelpunkt. Diesem *pragmalinguistischen Kontextmodell* folgend wird Fachsprache weniger als ein System von Zeichen, sondern als eine fachliche Textäußerung aufgefasst und der Fachtext ist somit das Resultat einer fachlichen Kommunikation. Seit den 1990er Jahren wird zur Untersuchung fachsprachlicher Problemstellungen das *kognitionslinguistische Funktionsmodell* zugrunde gelegt. Dieses stellt die Fachkommunikation sowie die intellektuellen und emotionalen Voraussetzungen der Produzenten und Rezipienten von Fachsprache in den Vordergrund und nimmt zunehmend die Interdependenz von Sprache und Denken in den Blick.

### 1.2.2 Naturwissenschaftliche Fachsprache

Den oben dargestellten pragma- und kognitionslinguistischen Modellen der Fachsprache folgend, die auf die fachliche Kommunikation fokussieren, wäre es verfehlt die naturwissenschaftliche Fachsprache nur über naturwissenschaftliche Termini abzubilden. Auch im Sinne der in Kapitel 1.1 dargestellten grundlegenden Scientific Literacy und der Forderung nach Kommunikationsfähigkeit im Fach ist eine holistische Betrachtungsweise der Fachsprache notwendig. Denn naturwissenschaftliche Erkenntnisse und Konzepte werden nicht nur über verbalsprachliche Äußerungen kommuniziert, vielmehr wird hierfür auf eine Vielzahl verschiedener Repräsentationen<sup>3</sup> zurückgegriffen (Ainsworth, Prain, & Tytler, 2011; Lemke, 1990, 1998a, 1998b, 2004; Prain & Waldrup, 2010; Yore & Hand, 2010). Lemke beschreibt in diesem Zusammenhang die naturwissenschaftliche Fachsprache als „a synergistic integration of words, diagrams, pictures, graphs, maps, equations, tables, charts, and other forms of visual and mathematical expression.“ (Lemke, 1998b, Abschnitt "How science says what it means"). Tang und Moje sprechen im Sinne dieser Definition

---

<sup>2</sup> Fachtext meint hier schriftliche und mündliche (fachliche) Kommunikation.

<sup>3</sup> Allgemein wird zwischen internen (mentalen) und externen Repräsentationen unterschieden. In dieser Arbeit bezieht sich der Begriff Repräsentation auf externe Repräsentationen. Aus semiotischer Sicht sind Repräsentationen Zeichen, die für ein Objekt oder einen Prozess stehen und durch einen bestimmten Code (zu den Symbolsystemen gehören verbale, pikturale und Zahlensysteme) und eine bestimmte Modalität (sinnliche Wahrnehmung, z.B. auditiv oder visuell) gekennzeichnet sind (Eco, 1994; Weidenmann, 2002). Nach Palmer (1978, p. 262) können sie anhand der folgenden fünf Aspekte charakterisiert werden: (1) the represented world, (2) the representing world, (3) what aspects of the represented world are being represented, (4) what aspects of the representing world are doing the modeling und (5) the correspondence between the two worlds.

der naturwissenschaftlichen Fachsprache ferner von Scientific Literacy als „cultural practice[s] that encompass[es] specific ways of talking, writing, viewing, drawing, graphing, and acting, within a specialised discourse community“ (2010, p. 83). Eine holistische Betrachtungsweise der naturwissenschaftlichen Fachsprache bezieht daher alle Repräsentationen ein, die genutzt werden, um über fachliche Inhalte zu kommunizieren (Lemke, 1998a, 1998b; Yore & Hand, 2010). Hierzu gehören gegenständliche, bildliche, verbalsprachliche, symbolische und gestische Repräsentationen (Gilbert, 2007; Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000; Leisen, 2003; Lemke, 1998b; Roth, 2001; Wellington & Osborne, 2001), wobei in dieser Arbeit bildliche, verbalsprachliche und symbolische Repräsentationen als die in fachsprachlichen Kontexten hauptsächlich genutzten Kategorien in den Blick genommen werden. Unter verbalsprachlichen Repräsentationen wird hier gesprochener und geschriebener Text verstanden, unter bildlichen Repräsentationen logische und realistische Bilder (Schnotz, 2001) und unter symbolischen Repräsentationen chemische Reaktionsgleichungen, Symbole und Formeln (Gilbert, 2007). Wird in dieser Arbeit über naturwissenschaftliche Fachsprache gesprochen, so meint dies—soweit nicht explizit eine Einschränkung vorgenommen wurde—eine integrierende Kombination aus verbalsprachlichen, bildlichen und symbolischen naturwissenschaftlichen Repräsentationen. Da in Studie 2 dieser Arbeit ausführlich Charakteristika und empirische Befunde zu den einzelnen Repräsentationen berichtet werden, sei an dieser Stelle auf Kapitel 4.3 verwiesen.

Zusammenfassend lassen sich die Naturwissenschaften als multimodale und multicode<sup>4</sup> Diskursgemeinschaft beschreiben, in der verschiedene Repräsentationen genutzt und kombiniert werden, um naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu kommunizieren (Airey & Linder, 2009; Hand et al., 2003; Kress, Jewitt, Ogborn, & Tsatsarelis, 2001; Waldrup, Prain, & Carolan, 2010; Yore & Hand, 2010). Dies gilt auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Auch er beruht auf Materialien und Ressourcen, die multimodale und multicode Repräsentationen enthalten (Ainsworth, 1999, 2006; Kress, et al., 2001; Lemke, 1998b, 2004; Prain & Waldrup, 2006; Yore & Hand, 2010). Studien zeigen, dass die Darstellung naturwissenschaftlicher Konzepte mit (multiplen) multimodalen und -codalen Repräsentationen für Schüler kognitiv herausfordernd ist, was einerseits zu einem tieferen Verständnis der zugrundeliegenden Konzepte und Prozesse führen kann, andererseits jedoch auch zu Verständnisschwierigkeiten (Ainsworth, 1999, 2006, 2008; Ainsworth, Bibby, & Wood, 1997; Hubber, Tytler, & Hastam, 2010; Prain & Waldrup, 2006; Seufert,

---

<sup>4</sup> Multimodalität bezieht sich auf das Ansprechen verschiedener Sinnesmodalitäten bei Rezipienten durch z.B. audiovisuelle Repräsentationen, Multicodalität auf die Nutzung verschiedener Symbolsysteme bzw. Codierungen wie beispielsweise Texte mit Bildern (Weidenmann, 2002).

2003; Tytler, Peterson, & Prain, 2006; Waldrip, Prain, & Carolan, 2006). Die Multimodalität und -codalität des naturwissenschaftlichen Diskurses müssen deshalb im Unterricht angesprochen und die Schüler in die Lage versetzt werden, verschiedene naturwissenschaftliche Repräsentationen sinnvoll zu interpretieren, zu konstruieren, miteinander in Beziehung zu setzen und ineinander zu überführen (Ainsworth, 2006; Hubber, et al., 2010; Yore, 2011; Yore & Hand, 2010). Diese Fähigkeiten sind Kernelemente von Scientific Literacy und werden in der internationalen Forschungsliteratur als (*meta-*) *representational competence* beschrieben. Dieses Konzept soll im Folgenden beschrieben werden.

### 1.3 Representational Competence

Mit den Fähigkeiten verschiedene Repräsentationen zu interpretieren, zu konstruieren, miteinander in Beziehung zu setzen, zu vergleichen oder ineinander zu überführen, werden in der internationalen Forschung zwei Begrifflichkeiten verbunden: *meta-representational competence* (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000) und *representational competence* (Kozma, Chin, Russell, & Marx, 2000; Kozma & Russell, 1997, 2005). Beide Konzepte beschreiben Kombinationen von Fähig- und Fertigkeiten zum Umgang mit Repräsentationen. Während *representational competence* jedoch—basierend auf ethnographischen Beobachtungen und einem Experten-Novizen-Vergleich—domänenspezifische Fähigkeiten beschreibt, ist *meta-representational competence* eher domänenübergreifend konzipiert und bezieht kreative Prozesse mit ein. Beide Konzeptionen sollen im Folgenden kurz erläutert werden, um anschließend verbindende Elemente abzuleiten.

diSessa beschreibt mit *meta-representational competence* Fähigkeiten, die Lernende bezüglich der Konstruktion und dem Gebrauch von externen Repräsentationen haben (2004; diSessa & Sherin, 2000). Der Fokus liegt nach diSessa (2004) vor allem auf

- (1) der Entwicklung und dem Design neuer Repräsentationen,
- (2) dem kritischen Vergleich verschiedener Repräsentationen und ihrer Angemessenheit für bestimmte Aufgaben,
- (3) dem Verständnis des Zweckes von Repräsentationen generell und in bestimmten Kontexten sowie der Art und Weise, wie Repräsentationen ihre Funktion erfüllen,
- (4) der Fähigkeit, Repräsentationen im Sinne der oben genannten Punkte zu erläutern und zu erklären und
- (5) dem schnellen Erlernen neuer, unbekannter Repräsentationen mit minimaler Instruktion.

*Meta-representational competence* geht über die Reproduktion und Interpretation etablierter Repräsentationen hinaus und berücksichtigt vor allem auch kreative Prozesse beim Entwickeln neuer Repräsentationen. Studien zeigen, dass bezüglich der Entwicklung und dem kritischen Vergleich von Repräsentationen schon Sechst- bzw. Neuntklässler auf verschiedene, wenn auch teilweise intuitive Kategorien zurückgreifen können (constructive und critical resources; Azevedo, 2000; diSessa, 2002, 2004; diSessa, Hammer, Sherin, & Kolpakowski, 1991; diSessa & Sherin, 2000; Elby, 2000; Sherin, 2000). Für den Unterricht ist es wichtig, dass Schüler bereits Ideen und Vorstellungen über verschiedene Repräsentationen und deren Funktionsweise mitbringen. Je nach Ausprägung der *meta-representational competence* kann es—im Zusammenspiel mit dem Unterricht—zu Schwierigkeiten beim Gebrauch domänenspezifischer Repräsentationen und somit zu Leistungsunterschieden kommen (Stieff, 2011).

Für die Chemie beschreiben Kozma und Russell eine domänenspezifische *representational competence*, die es Lernenden erlaubt „to reflectively use a variety of representations [...], singly and together, to think about, communicate, and act on chemical phenomena in terms of underlying, a perceptual physical entities and processes“ (2005, p. 131). Eine Übertragung auf die Biologie bzw. auf die Naturwissenschaften allgemein ist jedoch möglich (Halverson, 2011; Halverson, Abell, Friedrichsen, & Pires, 2009). *Representational competence* umfasst die folgenden Fähigkeiten (vgl. Kozma, et al., 2000; Kozma & Russell, 1997, 2005):

- (1) Repräsentationen nutzen, um naturwissenschaftliche Konzepte und Phänomene zu beschreiben
- (2) Eine dem Zweck angemessene Repräsentation (bzw. eine Kombination von Repräsentationen) auswählen und/oder konstruieren
- (3) Erklären, warum eine bestimmte Repräsentation (oder eine Kombination von Repräsentationen) für einen bestimmten Zweck angemessen bzw. angemessener als andere ist
- (4) Merkmale und Eigenschaften von Repräsentationen identifizieren und beschreiben
- (5) Repräsentationen und ihre Merkmale als Evidenz nutzen, um im sozialen Diskurs Behauptungen zu unterstützen, Schlussfolgerungen zu ziehen und Vorhersagen über Relationen zu treffen
- (6) Verbindungen zwischen verschiedenen Repräsentationen herstellen, sie ineinander überführen und die Beziehung zwischen ihnen erklären

- (7) Verschiedene Repräsentationen und ihre Aussagekraft beschreiben und miteinander vergleichen
- (8) Die epistemologische Sichtweise einnehmen, dass Repräsentationen mit Phänomenen und Konzepten korrespondieren, aber distinkt von ihnen sind.

Obgleich *meta-representational competence* und *representational competence* unterschiedliche Perspektiven einnehmen und verschiedene Schwerpunkte bei der Beschreibung von Fähigkeiten setzen, können diese jedoch unter Oberkategorien zusammengefasst werden, nämlich Interpretation, Konstruktion, Translation, Vergleich und Kritik, Epistemologie und Funktionsweise von Repräsentationen sowie Argumentation mit Repräsentationen (siehe Tabelle 1, auch Kapitel 6.2).

Tabelle 1: Gegenüberstellung und Synthese der Konzeptionen *representational competence* nach Kozma & Russell (1997, 2005) und *meta-representational competence* nach diSessa (2004; diSessa & Sherin, 2000)

<i>representational competence</i>	Kategorie	<i>meta-representational competence</i>
Merkmale & Eigenschaften von Repräsentationen identifizieren & beschreiben (1) Repräsentationen nutzen, um Konzepte zu beschreiben (4)	<b>Interpretation</b>	Repräsentationen erläutern & erklären (4)
Eine angemessene Repräsentation auswählen und/oder konstruieren (2)	<b>Konstruktion</b>	Entwicklung & Design neuer Repräsentationen (1)
Verschiedene Repräsentationen miteinander verbinden, ineinander überführen & die Beziehung zwischen ihnen erklären (6)	<b>Translation</b>	kritischer <b>Vergleich verschiedener</b> Repräsentationen & ihrer Angemessenheit (2)
Angemessenheit & Zweckmäßigkeit von Repräsentationen erklären (3) Verschiedene Repräsentationen & ihre Aussagekraft beschreiben & miteinander vergleichen (7)	<b>Vergleich &amp; Kritik</b>	<b>kritischer Vergleich</b> verschiedener Repräsentationen & ihrer Angemessenheit (2)
Epistemologische Sichtweise einnehmen, dass Repräsentationen mit Konzepten korrespondieren, aber distinkt von ihnen sind (8)	<b>Epistemologie &amp; Funktionsweise</b>	Verständnis des Zweckes von Repräsentationen generell & in bestimmten Kontexten sowie der Art & Weise, wie Repräsentationen ihre Funktion erfüllen (3)
Repräsentationen & ihre Merkmale als Evidenz nutzen, um im sozialen Diskurs Behauptungen zu unterstützen, Schlussfolgerungen zu ziehen & Vorhersagen über Relationen zu treffen (5)	<b>Argumentation</b>	

Die Zahlen in Klammern entsprechen der jeweiligen Aufzählungsnummer (siehe oben).

Kozma und Russell (2005) beschreiben ferner fünf Schwierigkeitskategorien der *representational competence*, die von einer novizenhaften, von Oberflächenmerkmalen bestimmten abbildenden Verwendung von Repräsentationen über einen symbolischen, syntaktischen und semantischen Gebrauch bis hin zu einem expertenhaften reflexiven und rhetorischen Einsatz von Repräsentationen reichen. Die Entwicklung von *representational competence* muss jedoch nicht zwingend stufenweise entlang der beschriebenen Kategorien erfolgen. Kozma und Russell (2005) nehmen unter Rückgriff auf Vygotskis Zone der proximalen Entwicklung an, dass die Entwicklung von *representational competence* abhängig von Kontext und Repräsentationsform sowie vom Repräsentationsgebrauch in Lehr-Lernsituationen ist. Dennoch stellen sie heraus, dass „over time and given appropriate sets of physical, symbolic, and social situations, a student will increasingly display more advanced representational skills, come to internalize these, and integrate these into regular practice” (Kozma & Russell, 2005, p. 134).

Letzteres rückt den naturwissenschaftlichen Unterricht in den Fokus. Verschiedene Studien zeigen, dass die Bereitstellung von Lerngelegenheiten, die den Schülern vielfältige Möglichkeiten zum aktiven Umgang mit Repräsentationen bieten sowie explizit auf die Rolle und Funktionsweise von Repräsentationen eingehen, von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung von *representational competence* ist (Greeno & Hall, 1997; Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrup, 2006; Stieff, 2011; Tytler, et al., 2006; Waldrup, et al., 2006). Es wird daher eine fortwährende, explizite Integration repräsentationaler Aspekte in den naturwissenschaftlichen Unterricht empfohlen (Greeno & Hall, 1997; Hubber, et al., 2010; Kozma & Russell, 1997, 2005; Prain & Waldrup, 2006; Tytler, et al., 2006). Im Sinne einer Beschreibung von Unterricht und seiner Qualität und Wirksamkeit auch hinsichtlich fachsprachlicher Aspekte kann auf aktuelle Angebots-Nutzungs-Modelle der Lehr-Lernforschung zurückgegriffen werden. Diese sollen im Folgenden erläutert werden.

#### **1.4 Unterrichtsmodelle und Unterrichtsqualität**

Der Frage, was guten Unterricht ausmacht, wird in der empirischen Unterrichtsforschung bereits seit über fünfzig Jahren nachgegangen. Trotz dieser langen Forschungstradition und verschiedenen Rahmenmodellen schulischen Lernens sowie vielen Primär- und Metaanalysen fällt eine einheitliche Beantwortung dieser Frage aufgrund einer unübersichtlichen Befundlage schwer. Zum einen ist der Begriff Unterrichtsqualität eine relative Konzeption, da guter Unterricht unter zwei Prämissen betrachtet werden kann: Unterrichtsqualität kann anhand des Unterrichtsprozesses selbst bezüglich normativer Maßstäbe bewertet (fachlich adäquate Gestaltung des Unterrichts oder Einhaltung von Grundregeln

einer humanen Interaktion) oder am Output—beispielsweise dem Kompetenzerwerb der Schüler—gemessen werden. Dabei ist allerdings auch der anzustrebende Output von normativen Vorstellungen geprägt (Ditton, 2002; Helmke, 2008). Zum anderen werden die Betrachtung und Erforschung guten Unterrichts durch vorherrschende Paradigmen der Lehr-Lernforschung bestimmt, die einem historischen Wandel unterlegen sind. Bromme (1997) unterscheidet drei Forschungsparadigmen—das Paradigma der Lehrerpersönlichkeit, das Prozess-Produkt-Paradigma bzw. das Prozess-Mediations-Produkt-Paradigma und das Expertenparadigma (für eine ausführliche Beschreibung dieser und weiterer Paradigmen siehe z.B. auch Bromme, 1992; Doyle, 1977; Gruehn, 2000; Shulman, 1986a). Das Prozess-Mediations-Produkt- und Expertenparadigma bilden die Basis für aktuelle Angebots-Nutzungs-Modelle des Unterrichts (siehe 1.4.2)—den Bezugspunkt dieser Arbeit—und sollen deshalb im Folgenden kurz erläutert werden.

#### **1.4.1 Prozess-Mediations-Produkt- und Expertenparadigma der Unterrichtsforschung**

Nach dem Prozess-Mediations-Produkt-Paradigma werden Verhaltensweisen der Lehrkraft als Prozessmerkmale des Unterrichts aufgefasst und deren Wirkung auf Produktmerkmale des Unterrichts, wie Schülerleistungen, gemessen. Entsprechend einer (sozial-)konstruktivistischen Auffassung von Lehren und Lernen werden Mediations- und Interaktionsprozesse zwischen den Prozess- und Produktvariablen, die Zusammenhänge zwischen Lehrerhandeln und Schülerleistungen erklären können (z.B. die angebotene und genutzte Lernzeit sowie kognitive Verarbeitungs- und soziale Vermittlungsprozesse), berücksichtigt (Bromme, 1997; Fischer, Borowski, Kauertz, & Neumann, 2010; Gruehn, 2000). Das Prozess-(Mediations)-Produkt-Paradigma dient einer Vielzahl von Studien als fruchtbarer Bezugspunkt (siehe z.B. Brophy & Good, 1986; Creemers, 1994; Doyle, 1986; Fraser, Walberg, Welch, & Hattie, 1987; Helmke & Weinert, 1997; Scheerens, 2000; Scheerens & Bosker, 1997; Shuell, 1993; Shulman, 1986a; Wang, Haertel, & Walberg, 1993; Wayne & Youngs, 2003). In der Zusammenschau ergeben sich robuste Befunde hinsichtlich der Wirksamkeit einiger Faktoren, wie beispielsweise Feedbackverhalten, Klarheit und Verständlichkeit, Strukturiertheit, kognitive Aktivierung, Sequenzierung und Zeit- und Klassenmanagement (für eine Zusammenstellung der wichtigsten Einflussfaktoren siehe z.B. Clausen, Reusser, & Klieme, 2003; Ditton, 2002; Fraser, et al., 1987; Hattie, 2009; Helmke, 2008; Neumann, Kauertz, & Fischer, im Druck).

Im Expertenparadigma werden Annahmen des Prozess-Mediations-Produkt- und des Lehrerpersönlichkeitsparadigmas unter Rückgriff auf die Expertiseforschung vereint (Bromme, 1992, 2008; Neuhaus, 2007). Die Lehrkraft und ihr der Gestaltung von Lerngele-

genheiten zugrunde liegendes Wissen und Können rücken in den Mittelpunkt der Betrachtung (Bromme, 1997; Gruehn, 2000). Grundlage hierfür ist die Annahme, dass Lehrer Lernen nicht direkt bewirken und steuern können (Fenstermacher, 1986), sondern dass ihre Aufgabe darin besteht, Lerngelegenheiten zur Verfügung zu stellen (vgl. Carroll, 1985; Slavin, 1989). Ein umfangreiches, aktuelles Forschungsfeld stellt dabei die fachbezogene professionelle Lehrerkompetenz dar, die im Rahmen von groß angelegten Studien<sup>5</sup> untersucht wird. Unter der Lehrerkompetenz wird das Zusammenspiel von Aspekten des Professionswissens (u.a. Fachwissen, fachdidaktisches Wissen, pädagogisches Wissen, siehe auch 1.4.3), Überzeugungen, motivationalen Orientierungen und selbstregulativen Fähigkeiten verstanden. Diese Aspekte interagieren miteinander und sind grundlegend für professionelles Lehrerhandeln (Baumert & Kunter, 2006; Brunner et al., 2006). Mit der fachbezogenen Modellierung von professionellen Kompetenzen wird u.a. Shulmans Kritik an der allgemeinen, nicht auf einzelne Fächer bezogene und fachspezifische Begebenheiten vernachlässigende Prozess-Produkt-Forschung aufgegriffen ("the missing paradigm", Shulman, 1986b, p. 7). Entsprechend dieser Modelle konnten verschiedene Studien zeigen, dass Aspekte der fachbezogenen professionellen Lehrerkompetenz, wie beispielsweise das kombinierte Fach- und fachdidaktische Wissen oder Überzeugungen der Lehrkräfte, Prädiktoren für die Unterrichtsgestaltung sind und—mediert über die Qualität der Unterrichtsgestaltung—bedeutsamen Einfluss auf die Schülerleistungen nehmen (z.B. Baumert & Kunter, 2006; Dubberke, Kunter, McElvany, Brunner, & Baumert, 2008; Hill, Rowan, & Loewenberg Ball, 2005; Kunter et al., 2007).

Prozess-Mediations-Produkt- und Expertenparadigma kumulieren in aktuellen Angebots-Nutzungs-Modellen des Unterrichts, die im Folgenden dargestellt werden. Auf dieser Basis wird die Notwendigkeit einer fachspezifischen Betrachtung von Unterrichtsqualität erläutert und abgeleitet, dass der Umgang mit Fachsprache Merkmal fachspezifischer Unterrichtsqualität ist.

---

<sup>5</sup> Bei Lehrkräften z.B. COACTIV und ProWiN, angehenden Lehrkräften im Vorbereitungsdienst COACTIV-R, MT21, TEDS-M und bei Lehramtsstudenten KiL, MT21 und TEDS-M.  
 COACTIV: Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung mathematischer Kompetenz, Informationen abrufbar unter <http://www.mpib-berlin.mpg.de/coactiv/index.html>;  
 ProWiN Professionswissen in den Naturwissenschaften, Informationen abrufbar unter <http://www.uni-due.de/fischer/dox/11.1434.xJQtn.H.De.php>;  
 COACTIV-Referendariat: Kompetenzerwerb von Lehramtskandidat(inn)en im Vorbereitungsdienst, Informationen abrufbar unter <http://www.mpib-berlin.mpg.de/coactivr/index.html>;  
 MT 21 Mathematics Teaching in the 21st Century, Informationen abrufbar unter <http://tedsm.hu-berlin.de/studien/mt21/index.html>;  
 TEDS-M Teacher Education and Development Study in Mathematics, Informationen abrufbar unter <http://tedsm.hu-berlin.de/ueberblick/index.html>;  
 KiL Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen, Informationen abrufbar unter <http://www.ipn.uni-kiel.de/projekte/kil/index.html>

### 1.4.2 Das Angebots-Nutzungs-Modell von Unterricht

Modelle schulischen Lernens werden bereits seit den 1960er Jahren entworfen (Bloom, 1976; Carroll, 1963; Creemers, 1994; Dunkin & Biddle, 1974 ; Slavin, 1987; Walberg, 1981). In der aktuellen Lehr-Lernforschung wird seit der kognitiv-konstruktivistischen Wende vor allem auf mehrebenenanalytische Angebots-Nutzungs-Modelle, die Annahmen des Prozess-Mediations-Produkt- und des Expertenparadigmas sowie (sozio-) konstruktivistischen Auffassungen integrieren, zurückgegriffen (vgl. hierzu Helmke, 2008; Krauss et al., 2004; Kunter & Voss, 2011; Lipowsky, 2006; Neuhaus, 2007). Diese Modelle berücksichtigen ein vielschichtiges Variablengeflecht. Sie bilden sowohl die Wirkungen und Einflüsse von Kontextvariablen, der Lehrkraft, des Unterrichts und der individuellen Eingangsvoraussetzungen als auch Interaktionen zwischen diesen Variablen ab (siehe hierzu Abbildung 2; Helmke, 2008; Lipowsky, 2006; Neuhaus, 2007). Der Lernprozess wird entsprechend einer konstruktivistischen Auffassung als aktive, selbstgesteuerte, kumulative und soziale Konstruktion von Wissen angesehen, die von außen nicht kontrollierbar ist (Baumert & Köller, 2000; De Corte, 2004). Entsprechend wird Unterricht als Gelegenheitsstruktur oder Angebot verstanden, welches von der Lehrkraft basierend auf ihrer professionellen Kompetenz bereitgestellt wird, und von den Schülern wahrgenommen, interpretiert und genutzt werden muss, um effektiv zu sein (Helmke, 2008; Lipowsky et al., 2009). Leistungsunterschiede der Schüler bzw. Unterschiede auf der Ertragsseite<sup>6</sup> sind „multipel determiniert“

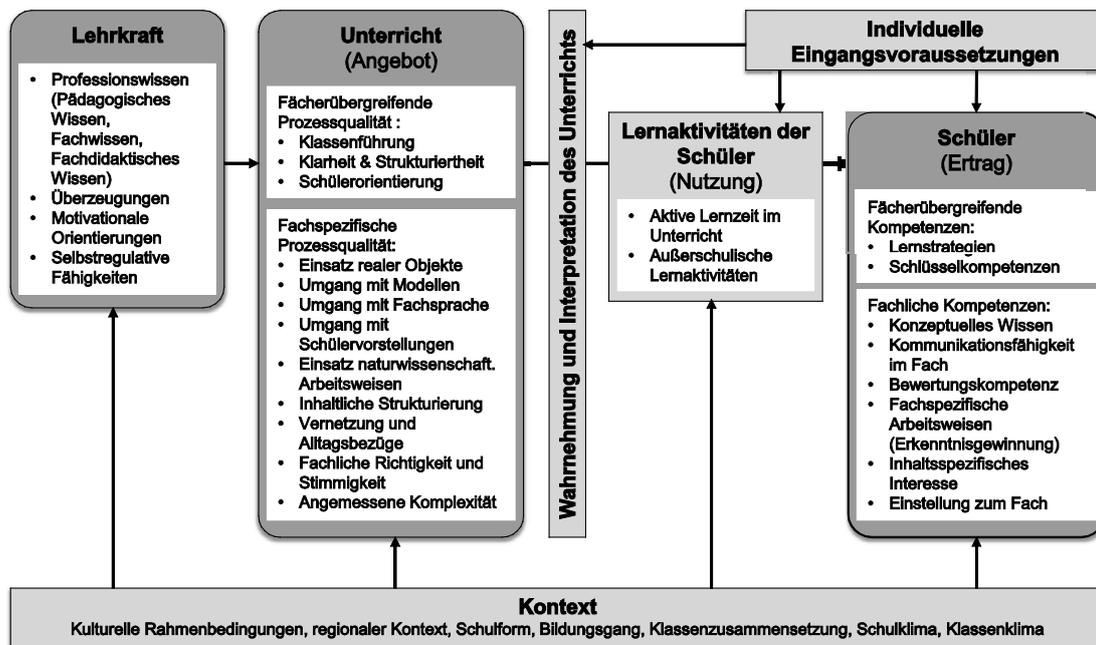


Abbildung 2: Angebots-Nutzungs-Modell von Unterricht (modifiziert nach Helmke, 2008; Neuhaus, 2007 und Wüsten, 2010)

<sup>6</sup> Siehe hierzu die Kritik an einseitiger Betrachtung kognitiver Prozesse in Kapitel 1.4.3

(Helmke, 2008, p. 30). Individuelle Voraussetzungen der Schüler wie Vorwissen oder allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit erklären den größten Varianzanteil der Schulleistung, gefolgt von Einflüssen der Lehrkräfte und schließlich der Familie, der Gleichaltrigen und von Schulvariablen (Hattie, 2003, 2005). Eine wichtige Determinante von Schulleistungen ist die Unterrichtsqualität (Hattie, 2009; Helmke, 2008), die im Angebots-Nutzungs-Modell einen zentralen Einflussfaktor darstellt.

### **1.4.3 Allgemeine und fachspezifische Unterrichtsqualität**

Weinert, Schrader und Helmke (1989, p. 899) definieren Unterrichtsqualität als „jedes stabile Muster von Instruktionsverhalten, das als Ganzes oder durch einzelne Komponenten die substantielle Vorhersage und/oder Erklärung von Schulleistung erlaubt“ (zitiert in der deutschen Übersetzung nach Einsiedler, 2002). Dieser pragmatischen Definition wird jedoch entgegengesetzt, dass Unterrichtsqualität nicht nur am Leistungskriterium festgemacht, sondern weitere Kriterien wie beispielsweise die emotionale und motivationale Entwicklung der Schüler hinzugezogen werden sollten (Einsiedler, 2002; Oser, Dick, & Patry, 1992). Einsiedler erweitert die Betrachtung von Unterrichtsqualität daher als

„Bündel von Unterrichtsmerkmalen, die sich als ‚Bedingungsseite‘ (oder Prozessqualität) auf Unterrichts- und Erziehungsziele (‚Kriterienseite‘ oder Produktqualität) positiv auswirken, wobei die Kriterienseite überwiegend von normativen Festlegungen bestimmt ist und der Zusammenhang von Unterrichtsmerkmalen und Zielerreichung von empirischen Aussagen geleitet ist.“ (2002, p. 195).

Vor allem im Rahmen der Prozess-Produkt- bzw. der Prozess-Mediations-Produkt-Forschung konnten verschiedene Merkmalskriterien guter Prozessqualität gefunden werden. Die relevanten Einzelfaktoren wurden mehrfach in verschiedenen Übersichtsartikeln und -tabellen zusammengestellt (z.B. Clausen, et al., 2003; Ditton, 2002; Fraser, et al., 1987; Hattie, 2009; Helmke, 2008; Neumann, et al., im Druck).

Die aufgeführten Übersichten berücksichtigen in der Regel allerdings nur fachunabhängige Qualitätsmerkmale. Die Metaanalyse von Seidel und Shavelson (2007) zeigte jedoch, dass domänenspezifische Lernaktivitäten die höchste Effektstärke in Bezug auf Leistung zeigten. Fischer et al. (2010), Lipowsky (2009), Neuhaus (2007) und Neumann et al. (im Druck) verweisen ebenfalls auf die Notwendigkeit, fachspezifische Qualitätskriterien zu betrachten. Helmke (2002) argumentiert, dass

„die Diskussion nach der Publikation der TIMS-Studie und die jetzt, nach PISA 2000, einsetzenden Überlegungen [...] immer deutlicher [zeigen], dass eine bereichsspezifische Sichtweise des Unterrichts und seiner Qualität, die die spezifische Eigenart des Faches, den Aufbau seines Curriculums, die sehr unterschiedlichen Fachdidaktiken außer Acht lässt, nicht mehr zeitgemäß ist“ (p 265-266).

Darüber hinaus fallen die Ergebnisse der oben angesprochenen Analysen hinsichtlich der Wirksamkeit einzelner Faktoren häufig unterschiedlich aus (Fraser, et al., 1987; Hattie, 2009; Wang, et al., 1993). Diese Problematik wird oft—neben methodischen Ursachen wie einer unterschiedlichen Operationalisierung—der zweifelhaften Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche Fächer zugeschrieben (Ditton, 2002).

Neuhaus (2007) stellt deshalb in Anlehnung an Helmke (2006) ein modifiziertes Angebots-Nutzungs-Modell auf, welches neben fachunabhängigen auch fachspezifische Merkmale der Lehrperson, des Unterrichts und der Schüler berücksichtigt (siehe auch Abbildung 2). Wüsten (2010; Wüsten, Schmelzing, Sandmann, & Neuhaus, 2008, 2010) greift auf Modelle der Klassifikation des Professionswissens von Lehrkräften zurück (Abell, 2008; Baumert & Kunter, 2006; Bromme, 1997, siehe auch 1.4.1) und unterscheidet für den Biologieunterricht zwischen fachunabhängigen, fachspezifischen und inhaltspezifischen Merkmalen der Unterrichtsqualität, die den verschiedenen Wissenskomponenten des Professionswissens zugeordnet werden können. Fachunabhängige Merkmale stellen Qualitätskriterien losgelöst vom fachlichen Inhalt für verschiedene Fächer dar und werden dem pädagogisch-psychologischen Wissen der Lehrkräfte zugeordnet. Hierzu zählen beispielsweise eine effiziente Klassenführung und Klarheit der Instruktion. Für die Umsetzung der fachspezifischen Merkmale benötigt eine Lehrkraft fachliches bzw. fachdidaktisches Wissen und sie gelten in Abhängigkeit vom unterrichteten Inhalt für spezifische Unterrichtsfächer. Wüsten (2010; Wüsten, et al., 2008, 2010) zählt zu den biologiespezifischen Qualitätskriterien den kompetenten Umgang mit Modellen, den Einbezug realer bzw. lebender Objekte, die Verwendung biologiespezifischer Arbeitsweisen, das Explizit machen verschiedener biologischer Systemebenen, den Umgang mit typischen Schülervorstellungen und eine didaktische, am Schüleralltag orientierte Aufbereitung des Fachinhalts. Eine Untergruppe der fachspezifischen Merkmale sind die inhaltspezifischen Merkmale, die der inhaltspezifischen Struktur des Faches unterliegen. Wüsten (2010) nennt als Beispiel die Variation der inhaltlichen Struktur, die Modifikation der Komplexität und die Auswahl bedeutsamer Fachbegriffe.

### **1.4.3.1 Der Umgang mit Fachsprache als Teil der fachspezifischen Unterrichtsqualität**

Sowohl Neuhaus (2007) als auch Wüsten (2010; Wüsten, et al., 2008) sehen den Umgang mit Fachsprache als einen wichtigen Aspekt der fachspezifischen Unterrichtsqualität an. Dabei beziehen sich beide jedoch nur auf verbalsprachliche Aspekte und rücken vor allem die Auswahl und Sequenzierung von Fachbegriffen in den Mittelpunkt. In Kapitel 1.2.2 wurde bereits darauf verwiesen, dass eine alleinige Betrachtung verbalsprachlicher Aspekte zu kurz greift und zugunsten einer holistischen Betrachtungsweise der naturwissenschaftlichen Fachsprache erweitert werden sollte.

Legt man Wüstens (2010; Wüsten, et al., 2008, 2010) Definition von fachspezifischen Merkmalen der Unterrichtsqualität zugrunde, so sind dies solche, die fachliches und fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften berühren. Dies soll für den Umgang mit Fachsprache in Form verschiedener naturwissenschaftlicher Repräsentationsformen kurz weiter erläutert werden. Das Fachwissen der Lehrkraft ist eine Grundvoraussetzung für das Unterrichten (Ball, Lubienski, & Mewborn, 2001; Terhart, 2002). Die Lehrkraft muss zu den Inhalten des Curriculums über ein vertieftes Hintergrundwissen verfügen und den Schulstoff auf einer Ebene durchdringen, die über dem Unterrichtsniveau liegt (Baumert & Kunter, 2011). Das Fachwissen wird hinsichtlich des Umgangs mit verschiedenen Repräsentationsformen insofern berührt, als dass die verschiedenen Repräsentationen originär den Fachwissenschaften entstammen und die Lehrkraft beispielsweise eine bestimmte Repräsentation auch selbst erst verstanden haben muss, bevor sie sie adäquat im Unterricht einsetzen kann (Nitz, Nerdel, & Prechtel, 2010). Das fachdidaktische Wissen ist Wissen, welches erforderlich ist, Fachwissen für unterrichtliche Zwecke zu adaptieren, um den Lernenden fachliche Inhalte zugänglich zu machen (Shulman, 1986b). In Bezug auf den Einsatz verschiedener Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Unterricht kann das fachdidaktische Wissen dazu dienen, diesen Einsatz optimal an die unterrichtlichen Bedingungen anzupassen. Dies soll anhand zweier wichtiger Komponenten des fachdidaktischen Wissens konkretisiert werden<sup>7</sup>. Das *Wissen über fachbezogene Schülerkognitionen* umfasst Wissen über Schülervorstellungen zu fachlichen Konzepten sowie Wissen über typische Schülerfehler und erleichtert es der Lehrkraft, die Schülerperspektive zu antizipieren sowie die Unterrichtsgestaltung entsprechend zu adaptieren. Das *Wissen über fachbezogene*

<sup>7</sup> Dem fachdidaktischen Wissen werden verschiedene Komponenten zugerechnet. In einer Zusammenstellung verschiedener Konzeptionen fachdidaktischen Wissens von Park und Oliver (2008) sind das Wissen über fachbezogene Schülerkognitionen und über fachbezogenen Instruktionsstrategien die am häufigsten beschriebenen Komponenten (für eine Erläuterung dieser und weiterer Komponenten siehe beispielsweise Abell, 2007; Baumert & Kunter, 2006; Brunner, et al., 2006; Carlsen, 1999; Krauss, et al., 2004; Magnusson, Krajcik, & Borko, 1999; Shulman, 1987, 2000).

*Instruktionsstrategien* schließt das Wissen über die Möglichkeiten der multiplen Repräsentation bzw. Darstellung fachlicher Inhalte ein (siehe z.B. Brunner, et al., 2006; Magnusson, et al., 1999; Park & Oliver, 2008; Shulman, 1986b, 1987). Die Lehrkraft muss verschiedene Repräsentationsformen fachlicher Konzepte sowie ihre Schwächen und Stärken kennen. Auf dieser Basis und unter Rückgriff auf das fachliche Verständnis des Konzepts sind die verschiedenen Repräsentationen im Kontext des Unterrichtsgeschehens so einzusetzen, dass das Verständnis der Schüler gefördert wird (Nitz, Nerdel, et al., 2010; vgl. auch Wellington & Osborne, 2001: Semiotic modes).

Entsprechend der Definition nach Wüsten kann der Umgang mit Fachsprache eindeutig den fachspezifischen Unterrichtsqualitätsmerkmalen zugeordnet werden. Neben Einflüssen des professionellen Wissens und Könnens sind jedoch außerdem Berührungspunkte mit weiteren Aspekten der professionellen Kompetenz von Lehrkräften, wie beispielsweise Überzeugungssystemen und Einstellungen, zu konstatieren. Da das Unterrichtsverhalten von Lehrkräften u.a. durch domänenspezifische Überzeugungen und Einstellungen geprägt ist (Hinsch, Jürgens, & Steinhorst, 1980; Jones & Carter, 2007), kann man annehmen, dass diese auch bestimmen, wie und in welchem Umfang Lehrkräfte die naturwissenschaftlichen Fachsprache in den Unterricht integrieren. Schroeder und Mitarbeiter (2011) konnten beispielsweise einen über die Unterrichtsgestaltung mediierten Einfluss der Überzeugungssysteme hinsichtlich der Text-Bild-Integration von Lehrkräften auf Schülervariablen zeigen.

## 2 Zielsetzung der Arbeit

Fachsprachliche Kompetenzen bedingen fachliche Kommunikationsfähigkeit und stellen einen wichtigen Aspekt naturwissenschaftlicher Grundbildung dar (Lemke, 2004; Norris & Phillips, 2003; Osborne, 2002; Wellington & Osborne, 2001; Yore, et al., 2003; Yore, et al., 2007; Yore & Treagust, 2006). Diese Zielsetzung wird beispielsweise sowohl in den Bildungsstandards für das Fach Biologie (Kultusministerkonferenz, 2005a) als auch in den einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Abitur (EPA, Kultusministerkonferenz, 2004) aufgegriffen und es werden fachsprachliche Kompetenzen, die von den Schülern zu erwerben sind, benannt. Die Fähigkeiten zum Umgang mit verschiedenen Repräsentationen, die konstituierend für die naturwissenschaftliche Fachsprache sind und den Kern fachsprachlicher Kompetenzen darstellen, werden in der internationalen Literatur als (*meta-*) *representational competence* (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000; Kozma, et al., 2000; Kozma & Russell, 1997, 2005) beschrieben. Im Sinne naturwissenschaftlicher Grundbildung ist die Vermittlung fachsprachlicher Kompetenzen eine wichtige Aufgabe des Biologieunterrichts (Lemke, 2004; Norris & Phillips, 2003; Osborne, 2002; Tang & Moje, 2010; Wellington & Osborne, 2001; Yore, et al., 2003; Yore, et al., 2007; Yore & Treagust, 2006). Bedingungen des Lehrens und Lernens im Unterricht werden in der aktuellen Forschung auf der Basis von Angebots-Nutzungs-Modellen untersucht. Diese beschreiben Unterricht als Angebot, das von der Lehrkraft auf Grundlage ihrer professionellen Kompetenz gemacht wird und von den Schülern genutzt werden muss, um effektiv zu sein (Helmke, 2008; Krauss, et al., 2004; Kunter & Voss, 2011; Lipowsky, 2006). Der Umgang mit Fachsprache wird im Kontext dieser Modelle als ein fachspezifisches Merkmal der Unterrichtsqualität angesehen (Neuhaus, 2007; Wüsten, 2010; Wüsten, et al., 2008).

Vor diesem Hintergrund war Ziel der vorliegenden Dissertation, Bedingungsfaktoren und Auswirkungen des Umgangs mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht zu untersuchen und zu beschreiben. Hierbei wurden die drei zentralen Komponenten des Angebots-Nutzungs-Modells—die Lehrkraft, die Prozessqualität des Unterrichts und die Schülerleistungen—betrachtet.

In Teilstudie 1 wurde auf Lehrerebene die Einstellung von Lehrkräften als ein Bedingungsfaktor für den Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht untersucht. Da Lehrkräfte mit dem Terminus Fachsprache vor allem Fachbegriffe bzw. verbalsprachliche Repräsentationen verbinden (Enzingmüller, Nerdel, & Prectl, 2011), wurden nur diese in dieser Teilstudie einbezogen. Kozma und Russell (1997) betonen zudem, dass die Verbal-

sprache einen besonderen Stellenwert einnimmt und gewissermaßen einen „semantic glue“ darstellt (p. 964f).

In den Teilstudien 2 und 3 wurde die Prozessqualität des Biologieunterrichts hinsichtlich des Umgangs mit Fachsprache in den Blick genommen. Im Mittelpunkt stand hier zunächst eine theoretisch und empirisch geleitete Ausschärfung fachsprachlicher Aspekte der Unterrichtsqualität (siehe Teilstudie 2). Wie in Kapitel 1.2.2 dargestellt, greift eine alleinige Betrachtung verbalsprachlicher Repräsentationen zu kurz, so dass zusätzlich bildliche und symbolische Repräsentationen einbezogen wurden. Da—trotz der oben beschriebenen Bedeutung fachsprachlicher Aspekte für den Kompetenzerwerb und die Kommunikationsfähigkeit—ökonomische Erhebungsinstrumente fehlen, wurde auf Basis der in Teilstudie 2 hergeleiteten Dimensionen fachsprachlicher Unterrichtsqualität ein Erhebungsinstrument in Form eines Schülerfragebogens entwickelt und hinsichtlich der Validität und Reliabilität getestet (Teilstudie 2, vor allem Teilstudie 3). Hierbei wurde entsprechend aktueller Methoden der empirischen Bildungsforschung die Mehrebenenstruktur von schulischen Settings (Schüler geschachtelt in Klassen, Klassen geschachtelt in Schulen) berücksichtigt.

In Teilstudie 4 wurde die Auswirkung der Prozessqualität des Unterrichts auf die Schülerleistungen untersucht. Das entwickelte und getestete Instrument wurde im Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe eingesetzt, um die fachspezifische Unterrichtsqualität hinsichtlich des Umgangs mit Repräsentationsformen der naturwissenschaftlichen Fachsprache zu beschreiben. Gleichermäßen wurde die *representational competence* der Schüler mit einem eigens dafür entwickelten Instrument erhoben. Mit Hilfe von Mehrebenenregressionen wurden anschließend Effekte der fachspezifischen Unterrichtsqualität auf die Entwicklung der *representational competence* quantifiziert.

### **3 Studie 1: Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht—eine empirische Untersuchung zur Einstellung angehender Lehrkräfte**

In dieser Studie wird entsprechend des Angebots-Nutzungs-Modells und der Modelle der Lehrerkompetenz (siehe Kapitel 1.4.2 und 1.4.3.1) die Einstellung von Lehrkräften als ein Bedingungsfaktor für den Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht untersucht. Ein weiterer Bezugspunkt ist die Theorie des geplanten Verhaltens, nach der das unterrichtliche Handeln von Lehrkräften von ihrer Einstellung beeinflusst wird. Da empirische Studien zeigen, dass die Einstellung von Lehrkräften im Verlauf der Ausbildung einem Wandel unterworfen ist (*Konstanzer Wanne*), wurden in dieser Studie Lehramtsstudierende und Referendare untersucht, um diese Entwicklung nachzuzeichnen. Außerdem wurde auf verbalsprachliche Aspekte fokussiert, da Lehrkräfte mit dem Terminus Fachsprache vor allem Fachbegriffe bzw. verbalsprachliche Repräsentationen verbinden und der Verbal-sprache eine wichtige Bedeutung im Sinne eines „semantic glue“ (Kozma & Russell, 1997, p. 964) zugeschrieben wird. Die Erhebung, an der 66 Lehramtsstudierende und Referendare teilnahmen, wurde mittels eines Fragebogens (Enzingmüller, Nitz, Nerdel, & Prechtel, 2009) durchgeführt. Eine exploratorische Faktorenanalyse ergab drei reliable Skalen, die die Einstellung zur Verwendung von Fachsprache beschreiben. Studierende und Referendare zeigten hierbei signifikant unterschiedliche Ausprägungen ihrer Einstellung. Während Studierende mehr Wert auf eine Alltagssprachliche Ausrichtung des Unterrichts im Dienste der Verständlichkeit legten, maßen Referendare der Vermittlung von Fachsprache als wichtigem Unterrichtsziel eine größere Bedeutung bei. Der Umfang des selbsterteilten Unterrichts der Probanden erwies sich hierfür als ein signifikanter Prädiktor. Insgesamt schrieben jedoch beide Gruppen fachsprachlichen Aspekten keine herausgehobene Bedeutung zu. Potentielle Einflussfaktoren auf die Einstellungsausprägung werden vor dem Hintergrund bestehender Konzeptionen zu unterrichtsbezogenen Einstellungen von Lehrkräften diskutiert.

Studie 1 veröffentlicht unter:

Nitz, S., Enzingmüller, C., Pechtl, H., & Nerdel, C. (2011). Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht - eine empirische Untersuchung zur Einstellung angehender Lehrkräfte. *Unterrichtswissenschaft*, 39(3), 245-262.

### **Zusammenfassung**

Der sachgerechte Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache ist nach Konzeptionen naturwissenschaftlicher Grundbildung eine wichtige Fähigkeit, die im naturwissenschaftlichen Unterricht gefördert werden muss. Das unterrichtliche Handeln von Lehrkräften wird nach der Theorie des geplanten Verhaltens von ihrer Einstellung beeinflusst, die im Verlauf ihrer Ausbildung einem Wandel unterworfen ist (Konstanzer Wanne). Es wird daher untersucht, welche Einstellung angehende Lehrkräfte zum Umgang mit Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht haben. An einer Fragebogenerhebung nahmen 66 Lehramtsstudierende und Referendare teil. Eine exploratorische Faktorenanalyse ergab drei reliable Skalen, die die Einstellung zur Verwendung von Fachsprache beschreiben. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Studierenden und Referendaren bezüglich ihrer Einstellung zur Verwendung von Fachsprache festgestellt werden. Während Studierende mehr Wert auf eine alltagssprachliche Ausrichtung des Unterrichts im Dienste der Verständlichkeit legten, maßen Referendare der Vermittlung von Fachsprache als wichtigem Unterrichtsziel eine größere Bedeutung bei. Der Umfang des selbsterteilten Unterrichts der Probanden erwies sich hierfür als ein signifikanter Prädiktor. Die hierbei wirksamen Einflussfaktoren werden vor dem Hintergrund bestehender Konzeptionen zu unterrichtsbezogenen Einstellungen von Lehrkräften diskutiert.

### **Abstract**

Conceptions of scientific literacy consider the adequate use of scientific language to be a crucial ability that has to be fostered in science education. According to the theory of planned behaviour, teachers' attitudes are an important predictor of their behaviour in class. In the course of teacher-training prospective teachers' attitudes change when they enter the practical part (trainee teaching). We investigate prospective teachers' attitudes towards the use of scientific language in class. 66 prospective teachers (students and trainee teachers) were asked to complete a questionnaire. An explorative factor analysis reveals three reliable scales that describe prospective teachers' attitudes. There is a significant difference between students' and trainee teachers' attitudes toward the use of scientific language in class. Students rather set high value regarding the use of everyday language in class, whereas trainee teachers emphasise the use of scientific language. The amount of teaching experience is a significant predictor for this. Against the background of established conceptions of teachers' attitudes towards education, the factors affecting this change are discussed.

Schlüsselwörter: Einstellung, angehende Lehrkräfte, naturwissenschaftliche Fachsprache

Key words: Attitudes, prospective teachers, scientific language

### 3.1 Einleitung

Kenntnisse naturwissenschaftlicher Basiskonzepte und Prozesse sind unverzichtbare Elemente der Allgemeinbildung in einer durch Naturwissenschaft und Technik geprägten Wissensgesellschaft (Rost, Walter, Carstensen, Senkbeil, & Prenzel, 2004). Scientific Literacy orientiert sich an diesen Anforderungen und rückt die aktive, verständnisvolle Partizipation des Individuums am gesellschaftlichen Diskurs über naturwissenschaftliche Themen in den Mittelpunkt (OECD, 2006). Eine Voraussetzung hierfür ist, dass das Individuum naturwissenschaftliche Fachsprache versteht und mit ihr angemessen umgehen kann (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2003; Yore & Treagust, 2006). Sie erst ermöglicht es, sich über naturwissenschaftliche Themen zu informieren, neues Wissen zu erwerben und dieses Wissen zu kommunizieren. Dem naturwissenschaftlichen Unterricht kommt die Aufgabe zu, Heranwachsende zum angemessenen Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache zu befähigen, so dass diese auch im späteren Leben aktiv am gesellschaftlichen Diskurs über naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung teilhaben können.

Die deutschen Bildungsstandards greifen diese Forderung auf und weisen für den mittleren Schulabschluss für die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik auf die Wichtigkeit der Vermittlung fachsprachlicher Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht als Grundlage für die Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation über naturwissenschaftliche Themen hin. Es sei „Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung [...], die Sprache [...] der Naturwissenschaften zu verstehen, [und] ihre Ergebnisse zu kommunizieren“ (Kultusministerkonferenz, 2005a, p. 6; 2005b, p. 6; 2005c, p. 6). Die Ambivalenz der fachlichen Kommunikation im Unterricht als „direkter Lerngegenstand“ (Kultusministerkonferenz, 2005a, p. 11) und zugleich „Mittel im Lernprozess“ (Kultusministerkonferenz, 2005a, p. 11) legt nahe, dass diese beiden Aspekte aneinander gekoppelt sind und sich gegenseitig bedingen. Naturwissenschaftliche Inhalte sind folglich ohne die Beherrschung einer exakten Fachsprache nur bedingt erschließbar. Auch nach der Konzeption der naturwissenschaftlichen Grundbildung, die den PISA-Studien zugrunde liegt, ist für die Aneignung und Anwendung von naturwissenschaftlichem Wissen das Verständnis von Informationen aus fachsprachlichen Texten grundlegend, und es kann davon ausgegangen werden, dass der Kompetenzerwerb in den Naturwissenschaften weitgehend auf die (Fach-) Sprache als Repräsentationsmedium angewiesen ist (Rost, et al., 2004).

Nach Stäudel, Franke-Braun und Parchmann (2008) müssen sich die fachsprachlichen Kompetenzen an den charakteristischen Inhalten und Darstellungsformen eines Faches entwickeln. Jedoch muss in der Kommunikation im Schulunterricht über fachliche Inhalte auch die Alltagssprache als Mittler im Lernprozess berücksichtigt werden, bevor eine fachsprachliche Kommunikation überhaupt stattfinden kann (Gropengießer & Kattmann, 2006; Stäudel, et al., 2008). Die Fachsprache muss dann explizit und sorgsam eingeführt und geübt werden. Der naturwissenschaftliche Unterricht weist aber gerade diesbezüglich Defizite auf. Empirische Untersuchungen zur Unterrichtssprache und zum Sprachgebrauch in Lehrbüchern wurden in Hinblick auf die Anzahl der verwendeten Fachbegriffe (Berck & Graf, 1992; Graf, 1989; Merzyn, 1996) und der mit ihnen verknüpften Verständnisschwierigkeiten von Schülern durchgeführt (Cassels & Johnstone, 1985; Merzyn, 1987; Wellington & Osborne, 2001). Diese Studien zeigen, dass Lernende im naturwissenschaftlichen Unterricht mit einer Vielzahl von Begriffen konfrontiert werden. Neben Verständnisschwierigkeiten, die durch die Überfrachtung des Unterrichts mit Fachbegriffen hervorgerufen werden, ergeben sich solche insbesondere auch bei alltäglichen Begriffen, die im naturwissenschaftlichen Kontext verwendet werden (Wellington & Osborne, 2001). Weiterhin birgt die Polysemie von Begriffen auf Ebene der Fach- und Alltagssprache Verständnisschwierigkeiten, da unterschiedliche Konzepte (Alltagsvorstellung vs. fachlich korrekte Vorstellung) durch dieselben Wörter ausgedrückt werden (Fischer, 1998). Vor dem Hintergrund, dass sprachlicher Wissenserwerb durch kommunikatives Aushandeln der Begriffsbedeutung bestimmt ist, offenbart sich ein weiteres Defizit des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Die vorherrschende asymmetrische Kommunikationskultur, die sich durch ein durch die Lehrkraft dominiertes Unterrichtsgespräch und eine geringe Sprachaktivität der Lernenden auszeichnet, verhindert das kommunikative Aushandeln von Begriffsbedeutungen (Lemke, 1990; Mortimer & Scott, 2000; Scott, 1998; Sumfleth & Pitton, 1998; Wuttke, 2005). Es kann davon ausgegangen werden, dass Lernende die naturwissenschaftliche Fachsprache in einem solchen Unterricht nicht aktiv erlernen. Die Diskrepanz zwischen der durch Scientific Literacy und Bildungsstandards geforderten Vermittlung fachsprachlicher Kompetenzen einerseits und der Realität im naturwissenschaftlichen Unterricht andererseits verdeutlicht, dass der Umgang mit Fachsprache gefördert werden muss, so dass die Schüler fachsprachliche Kompetenzen ausbilden können.

Da sich für die Unterrichtsgestaltung – neben anderen Faktoren – die Einstellung von Lehrkräften als bedeutsam erwiesen hat (vgl. Kapitel 3.2), kann angenommen werden, dass auch die Verwendung der Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht maßgeblich

davon beeinflusst wird, welche Einstellung Lehrkräfte zur Bedeutung der Fachsprache haben. Im Folgenden werden zunächst empirische Ergebnisse zum Einfluss der Einstellung auf die Unterrichtsgestaltung sowie ihrer Entwicklung im Verlauf der Lehrerbildung dargestellt. In diesen Studien wurden jedoch nicht spezifische fachimmanente Fragestellungen wie die Einstellung von Lehrkräften zur Verwendung der Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht betrachtet, so dass hierzu noch keine empirischen Ergebnisse vorliegen. Dieser Zusammenhang wurde daher in der vorliegenden Studie näher untersucht.

### **3.2 Theoretischer Hintergrund**

Ein bedeutender Faktor im Bedingungsgefüge des Unterrichts, der Einfluss auf die Leistungen der Lernenden nimmt, ist nach dem Angebots-Nutzungs-Modell die Kompetenz der Lehrkraft, die die Grundlage für professionelles Lehrerhandeln ist (Helmke, 2008; Neuhaus, 2007). Modelle der Lehrerkompetenz beziehen neben kognitiven Aspekten auch affektive Faktoren wie Überzeugungssysteme und Einstellungen der Lehrkraft mit ein (Brunner, et al., 2006). Da das Unterrichtsverhalten von Lehrkräften u.a. durch domänen-spezifische Einstellungen geprägt ist (Hinsch, et al., 1980; Jones & Carter, 2007), kann man annehmen, dass auch die Art und Weise sowie der Umfang der Integration der naturwissenschaftlichen Fachsprache in den Unterricht durch die Einstellung der Lehrkraft bestimmt sind.

Nach Eagly und Chaiken (Eagly & Chaiken, 1993, p. 1) lässt sich Einstellung als „a psychological tendency that is expressed by evaluating a particular entity with some degree of favour or disfavour“ definieren. Voraussetzungen für eine Einstellung sind demnach der Bezug zu einem Einstellungsgegenstand und der Vorgang der Bewertung. Die Relation von Einstellung und Verhalten wird beschrieben durch die *Theorie des geplanten Verhaltens* (Ajzen, 1985, 1991; Ajzen & Madden, 1986). Nach dieser Theorie kann das Verhalten einer Person aus ihrer Verhaltensintention prognostiziert werden, wobei die Verhaltensintention durch ihre Einstellung zum Verhalten (s.o.), die subjektive Norm (wahrgenommene Erwartungen signifikanter Anderer bezüglich der Ausführung des Verhaltens) und die wahrgenommene Verhaltenskontrolle (subjektive Einschätzung, wie schwierig eine Handlung auszuführen ist) bestimmt wird (Fishbein & Ajzen, 1975).

Um das Verhalten von Lehrkräften vorausszusagen, ist die *Theorie des geplanten Verhaltens* am besten geeignet und die Einstellung ist von den drei Determinanten der Verhaltensintention der stärkste Prädiktor für das Verhalten von Lehrkräften (Zint, 2002). Einstellungen von Lehrkräften können also eine entscheidende Rolle bezüglich der didak-

tisch-methodischen Gestaltung von Unterricht spielen und sich somit auch auf die Unterrichtsgestaltung auswirken (Jones & Carter, 2007; Neuhaus & Vogt, 2005).

Einstellungen von Lehrkräften basieren auf Erfahrungen, die oftmals aus der eigenen Schulzeit stammen. Lortie (1975, p. 61) bezeichnet die Schulzeit in diesem Zusammenhang als „apprenticeship of observation“. Bereits Studierende treten mit bestimmten Einstellungen zu unterrichtsrelevanten Aspekten in die erste Phase der Lehrerbildung ein (Eick & Reed, 2002; Kagan, 1992; Laplante, 1997; Lortie, 1975; Southerland & Gess-Newsome, 1999). Diese grundlegenden Einstellungen sind relativ stabil, so dass die universitäre Lehrerbildung nur geringen Einfluss auf sie nimmt (Kagan, 1992). Neue Informationen werden so gefiltert, dass überwiegend solche Informationen aufgenommen werden, die der bereits vorhandenen Einstellung entsprechen (Hollingsworth, 1989; Jones & Carter, 2007; Kagan, 1992; Meyer, Tabachnick, Hewson, Lemberger, & Park, 1999). Vergleicht man die Einstellungen von Lehrkräften zu Beginn und am Ende ihrer universitären Ausbildung bzw. im Referendariat lassen sich jedoch trotzdem Unterschiede feststellen: Im Verlauf des Studiums werden die schul- und unterrichtsbezogenen Einstellungen von Lehramtsstudierenden liberaler, bevor im Referendariat erneut eher konservativere und traditionellere Einstellungen vorherrschen (Müller-Fohrbrodt, Cloetta, & Dann, 1978; Zeichner, 1980). Dieses Phänomen wird auch als *Konstanzer Wanne* bezeichnet (Messner & Reusser, 2000). Als Grund für diese Einstellungsveränderung wird angenommen, dass die angehenden Lehrkräfte mit den Anforderungen der Praxis konfrontiert werden (*Praxisschock*) und sich deshalb an den im Berufsfeld vorherrschenden (konservativeren) Einstellungen orientieren. Es kommt so zu einer Anpassung ihrer Einstellung an die Einstellung der übrigen Lehrkräfte (Brouwer & ten Brinke, 1995a, 1995b; Zeichner, 1980; Zeichner & Tabachnick, 1981). Ausschlaggebend für die Ausprägung von Einstellungen sind demnach die eigene Schulerfahrung und vor allem die Erfahrungen als Lehrkraft in einer Schule (die spätere berufliche Sozialisation). Die universitäre Lehrerbildung weist dagegen einen geringen Einfluss auf. Zeichner und Mitarbeiter (Zeichner & Tabachnick, 1981, p. 10) stellten in diesem Zusammenhang fest, dass Einstellungen, die die Lehrkraft im Laufe ihrer Ausbildung erworben haben, „are [...] washed out by school experience“.

Die bisherigen Studien zur Einstellung von Lehrkräften untersuchen eher generelle Einstellungen zu den Naturwissenschaften und dem Lehren und Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht (Neuhaus & Vogt, 2005), nicht jedoch die Einstellung zu spezifischen fachimmanenten Fragestellungen, wie z.B. dem Umgang mit der Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht. Vor dem Hintergrund der Bedeutung der Einstellung

von Lehrkräften für die unterrichtliche Praxis und der Rolle der Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht resultiert die explorative Forschungsfrage 1: Welche Einstellung haben angehende Lehrkräfte gegenüber dem Umgang mit Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht?

Berücksichtigt man darüber hinaus die Einstellungsveränderung beim Übergang vom Studium in das Referendariat (Konstanzer Wanne) stellt sich die Forschungsfrage 2: Unterscheiden sich Lehramtsstudierende und Referendare in ihrer Einstellung gegenüber Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht? Es wird Hypothese 1 angenommen: Studierende und Referendare unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Einstellung gegenüber Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Hypothese ist ungerichtet formuliert, da eine Zuordnung der Einstellung zur Fachsprache zu liberalen bzw. konservativen Überzeugungen nach bisherigem Forschungsstand nicht möglich ist.

### 3.3 Methode

#### 3.3.1 Stichprobe

An der Untersuchung im Herbst 2008 nahmen 66 Personen im Alter von 19 bis 35 Jahren ( $M = 24.96$ ,  $SD = 4.08$ ) teil. Davon waren 82 % weiblich. Die Stichprobe setzte sich aus Studierenden des gymnasialen Lehramts und Referendaren (Studienratsanwärter) an den Standorten Kiel und Leipzig zusammen. Tabelle 2 zeigt eine Verteilung der Studierenden und Referendare auf die beiden Standorte und die studierten Fächerkombinationen, die als Kontrollvariable erhoben wurden. Die Verteilung der Fächerkombinationen unterschied sich in den Subgruppen Studierende und Referendare nicht signifikant ( $\chi^2(3, N = 66) = 3.42$ ,  $p = 0.331$ ). Zusätzlich wurde der Umfang der Unterrichtspraxis (Selbstauskunft der Probanden über die Dauer des von ihnen selbst erteilten Unterrichts, nicht nach Fächern differenziert) erhoben, der mit 0 bis 92 Wochen eine extreme Spannweite aufwies. Erwartungsgemäß unterschieden sich Studierende und Referendare signifikant im Umfang des selbsterteilten Unterrichts ( $t(62) = -9.36$ ,  $p < 0.001$ ). Während Studierende durchschnittlich fünf Wochen ( $M = 4.9$ ,  $SD = 7.6$ ) unterrichtet haben, standen Referendare bereits 45 Wochen vor ihren Klassen ( $M = 45.0$ ,  $SD = 22.7$ ). Die Subgruppe der Studierenden (Kieler und Leipziger Studierende) erwies sich hinsichtlich der erhobenen möglichen Einflussvariablen als homogen, dies wurde für die vorherrschenden Fächerkombinationen mit einem Chi-Quadrat-Test ( $\chi^2(3, N = 33) = 5.79$ ;  $p = 0.122$ ) und für die Dauer der Unterrichtspraxis mit einem t-Test ( $t(25.62) = -0.04$ ,  $p = 0.968$ ) überprüft.

Tabelle 2: Stichprobenzusammensetzung der Studie 1 bezüglich der untersuchten Standorte und der studierten Fächerkombinationen

Standort	Studierende	Referendare	Gesamt
Leipzig	10	0	10
Kiel	23	33	56
Gesamt	33	33	66
Fächerkombination			
Zwei Naturwissenschaften	10	13	23
Naturwissenschaften und Mathematik	7	11	18
Naturwissenschaften und Sprache	12	6	18
Naturwissenschaften und sonstiges Fach	4	3	7
Gesamt	33	33	66

Unter Naturwissenschaft werden die Unterrichtsfächer Biologie, Chemie und Physik subsummiert. Die in der Stichprobe relevanten sprachlichen Unterrichtsfächer sind Deutsch, Englisch, Französisch, Latein und Spanisch. Zu den sonstigen Fächern gehören gesellschaftswissenschaftliche, künstlerisch-musische Fächer und Sport

### 3.3.2 Auswertungsmethoden

Für die Itemanalyse und die Berechnung der deskriptiven Statistik sowie für die statistische Hypothesentestung wurde die Statistiksoftware SPSS 17.0 verwendet. Die Dimensionalität wurde mit Hilfe der varimax-rotierten Hauptkomponentenanalyse bestimmt, zur Bestimmung der inneren Konsistenz der Skalen wurde Cronbachs  $\alpha$  herangezogen. Da die Skalenmittelwerte der drei zu testenden Skalen hinreichend normalverteilt waren und die relevanten abhängigen Variablen miteinander korrelierten (Punkt-Moment-Korrelationen nach Pearson), wurde als inferenzstatistisches Verfahren zur Hypothesenprüfung eine multivariate Varianzanalyse durchgeführt. Zur Bestimmung von Zusammenhängen wird auf Regressionsanalysen und zur Überprüfung von Gruppenunterschieden auf den t-Test und den Chi-Quadrat-Test zurückgegriffen.

### 3.3.3 Skalendokumentation

Zur Messung der Einstellung zur Verwendung von Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht wurde ein Fragebogen mit 20 Items eingesetzt (Enzingmüller, et al., 2009). Diese Items beziehen sich auf verschiedene Aspekte des Themas „Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht“, die durch eine Recherche in fachdidaktischer, psychologischer und pädagogischer Literatur (vgl. Kapitel 3.1) gewonnen wurden. Neben Items, die den Stellenwert und die Rolle der Fachsprache in Unterricht und fachlicher Kommunikation erfragen, werden auch unterrichtsmethodische Aspekte bezüglich der Fachsprachlichkeit und Strategien zur Vorbereitung des Unterrichts in Bezug auf den Umgang mit Fachsprache erhoben. Bei der Itemformulierung wurde besonders auf das Spannungsfeld Fachsprache-Alltagssprache eingegangen, da dieses in der einschlägigen fachdi-

daktischen Literatur (vgl. z.B. Berck, 2005; Gropengießer & Kattmann, 2006; Stäudel, et al., 2008) als besonders bedeutsam für den Unterricht und die Einführung und Verwendung von Fachsprache herausgestellt wird. Die Items sind sowohl positiv als auch negativ formuliert und werden auf einer vierstufigen Ratingskala („trifft nicht zu“ (0), „trifft etwas zu“ (1), „trifft ziemlich zu“ (2) und „trifft völlig zu“ (3)) beurteilt.

Die Items wurden im Anschluss an die Datenerhebung einer Itemanalyse unterzogen und auf ihre Güte überprüft. Die Itemschwierigkeiten wurden mithilfe eines Popularitätsindex bestimmt, der sich bei polytomen Items als Quotient aus Summe der erreichten Punkte und maximal erreichbarer Punktschere eines Items errechnet (Neuhaus & Braun, 2007). Für die weiteren Analysen wurden nur Items ausgewählt, die mittlere Werte zwischen 0.20 und 0.80 aufwiesen. Zur Skalenbildung wurde im Anschluss eine exploratorische Faktorenanalyse (Rotationsmethode Varimax, Hauptkomponentenanalyse) durchgeführt. Items mit Faktorladungen unterhalb von 0.50 wurden von den weiteren Berechnungen ausgeschlossen.

Die erste Skala enthielt Items, die die Vermittlung von Fachsprache als zentrales Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts hervorheben. Items dieser Skala betonten zudem die Fachsprache als eigenen Gegenstand des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Mit der zweiten Skala wurden solche Items zusammengefasst, die Einstellungen zur Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung erfassen und somit die Fachsprachlichkeit zugunsten dieser Zielsetzung eher ablehnen. Items dieser Skala unterstrichen die Wichtigkeit einer schülerangemessenen Alltagssprachlichkeit im Unterricht im Gegensatz zu einer exakten Fachsprachlichkeit. Dementsprechend werden die Skalen im weiteren Verlauf mit *Skala 1: Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts* und *Skala 2: Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung* kontrastiert. Die beiden Skalen spiegeln somit das in der Literatur beschriebene Spannungsfeld von Alltags- und Fachsprache im Schulunterricht wider. Eine dritte Skala setzte sich aus Items zusammen, die der fachsprachlichen Kompetenz eine große Bedeutung bei der Beurteilung sowohl von Schüler- als auch Lehrerleistungen zusprechen (*Skala 3: Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts*). Keines der zwölf Items, die zur Skalenbildung herangezogen wurden, wies Doppelladungen auf. Die drei Skalen erklärten mit 31.9%, 14.6% und 12.3% einen großen Teil der Varianz. Sie wurden in einer abschließenden Analyse auf ihre Reliabilität und auf die Trennschärfe ihrer Items getestet. Tabelle 3 bis 5 zeigen die deskriptiven Kennwerte der Skalen.

Tabelle 3: Kennwerte für *Skala 1: Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts*; 5 Items

Item	M	SD	P	r	FL
Es ist Ziel naturwissenschaftlichen Fachunterrichts, die Sprache der Naturwissenschaften exakt zu beherrschen.	1.00	0.71	0.30	0.65	0.83
Ein Ziel des naturwissenschaftlichen Fachunterrichts ist es, dass Schüler in der Lage sind, selbst Fachtexte zu schreiben.	1.02	0.81	0.33	0.57	0.76
Es ist Ziel naturwissenschaftlichen Fachunterrichts, die Sprache der Naturwissenschaften zu verstehen.	1.72	0.78	0.56	0.52	0.75
Eine Lehrkraft einer Naturwissenschaft sollte so häufig wie möglich Fachbegriffe verwenden.	1.17	0.92	0.35	0.57	0.71
Die Untersuchung von Struktur und Funktion von Fachsprache sollte im Unterricht der naturwissenschaftlichen Fächer ein eigener Unterrichtsgegenstand sein.	0.73	0.73	0.24	0.36	0.62

(M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, P = Popularitätsindex, r = Trennschärfe, FL = Faktorladung), Skala: Cronbachs  $\alpha = .76$ ; N = 60; M = 1.15 (SD = 0.56)

Tabelle 4: Kennwerte für *Skala 2: Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltags-sprachliche Orientierung*; 4 Items

Item	M	SD	P	r	FL
Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollten nur die nötigsten Fachbegriffe vermittelt werden.	1.36	0.93	0.45	0.53	0.76
Wenn es für einen Fachbegriff einen entsprechenden alltags-sprachlichen Begriff gibt, so ziehe ich den alltags-sprachlichen vor.	1.36	0.95	0.44	0.54	0.75
Eine Lehrkraft der Naturwissenschaft sollte im Unterricht vor allem schülerangemessen sprechen.	2.12	0.90	0.72	0.42	0.70
Verständlichkeit ist im Unterricht der naturwissenschaftlichen Fächer wichtiger als eine exakte fachsprachliche Ausdrucksweise.	1.71	0.92	0.56	0.42	0.54

(M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, P = Popularitätsindex, r = Trennschärfe, FL = Faktorladung), Skala: Cronbachs  $\alpha = .69$ ; N = 58; M = 1.62 (SD = 0.65)

Tabelle 5: Kennwerte für *Skala 3: Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts*; 3 Items

Item	M	SD	P	r	FL
Die Lehrkraft einer Naturwissenschaft, die das Fachvokabular nicht perfekt beherrscht, kann keine gute Lehrkraft sein.	1.59	1.10	0.45	0.43	0.79
Ein differenzierter Fachwortschatz lässt bei Schülern auf einen erfolgreichen Lernprozess schließen.	1.66	0.91	0.51	0.60	0.76
Fachsprachliche Kompetenzen sollten bei der Leistungsmessung von Schülern eine Rolle spielen.	2.00	0.76	0.59	0.44	0.66

(M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, P = Popularitätsindex, r = Trennschärfe, FL = Faktorladung), Skala: Cronbachs  $\alpha = .66$ ; N = 64; M = 1.74 (SD = 0.72)

Alle drei Skalen wiesen für Gruppenvergleiche zufriedenstellende Reliabilitäten auf (Lienert & Raatz, 1994); bei den Trennschärfen der Items werden Werte zwischen 0,30 und 0,50 als mittelmäßig, Werte über 0,50 als hoch (Bortz & Döring, 2006) eingeschätzt. Die Skalen 1 und 3 wiesen einen geringen positiven Zusammenhang auf ( $r = 0,34, p < 0,01$ ), die Skalen 1 und 2 korrelierten dagegen gering negativ ( $r = -0,25, p < 0,05$ ). Zwischen den Skalen 2 und 3 ließ sich kein statistisch bedeutsamer Zusammenhang nachweisen.

### 3.3.4 Durchführung der Datenerhebung

Der Fragebogen wurde Studierenden der Universitäten Kiel und Leipzig in ihren fachdidaktischen Lehrveranstaltungen sowie Referendaren im Studienseminar Schleswig-Holstein vorgelegt. Die Teilnahme an der Befragung war freiwillig. Die Probanden wurden vor dem Ausfüllen des Fragebogens instruiert, möglichst aufrichtig zu antworten. Es wurde betont, dass es bei der Messung von Einstellungen kein „richtig“ oder „falsch“ gibt, um sozial erwünschte Antworten zu vermeiden. Zur Bearbeitung des Fragebogens wurde kein Zeitlimit gesetzt; die Beantwortung der relevanten Skalen überschritt in der Regel keine 30 min.

## 3.4 Ergebnisse

### 3.4.1 Deskriptive Befunde

Die Skala 1 *Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts* wurde von beiden Personengruppen (Studierenden und Referendaren) eher ablehnend bewertet (siehe auch Abbildung 3). Dabei stimmten Referendare ( $M = 1,31, SD = 0,51$ ) dieser Skala stärker zu als Studierende ( $M = 0,99, SD = 0,58$ ). In ihrem Antwortverhalten gegenüber der Skala 2 *Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung* unterschieden sich Studierende und Referendare deutlicher: Studierende stimmten eher zu ( $M = 1,89, SD = 0,68$ ), während Referendare diese Skala eher ablehnten ( $M = 1,35, SD = 0,51$ ). Für die dritte Skala *Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts* fiel der Unterschied zwischen beiden Gruppen wieder geringer aus. Referendare befürworteten diesen Aspekt stärker ( $M = 1,90, SD = 0,69$ ) als die Studierenden ( $M = 1,57, SD = 0,72$ ).

### 3.4.2 Überprüfung der Hypothese

Um die Unterschiede in den Einstellungen von Studierenden und Referendaren hinsichtlich der drei Skalen unter Berücksichtigung ihrer gewählten Fächerkombinationen als weitere mögliche Einflussvariable zu ermitteln, wurde eine multivariate Varianzanalyse

durchgeführt. Diese Analyse ergab einen höchst signifikanten Einfluss des Status des Probanden (Referendar bzw. Studierender) ( $F(3, 55) = 5.928, p \leq 0.001, \eta^2 = 0.244$ ). Die Fächerkombination der Probanden hatte dagegen keinen Einfluss auf die Einstellungen zur Fachsprache. Gleichfalls konnten keine Interaktionseffekte zwischen Status und Fächerkombination der Probanden nachgewiesen werden.

Betrachtet man die Ergebnisse im Detail, hatte der Status der Probanden einen signifikanten Einfluss auf die Einstellungsausprägung zur *Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts* (Skala 1:  $F(1, 57) = 4.879, p < 0.05, \eta^2 = 0.079$ ) und einen höchst signifikanten Einfluss auf die Bewertung der Skala zur *Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung* (Skala 2:  $F(1, 57) = 14.693, p < 0.001, \eta^2 = 0.205$ ). In Bezug auf die *Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts* (Skala 3) unterschieden sich Studierende und Referendare nicht signifikant (siehe Abbildung 3).

Des Weiteren wurde der Einfluss der Unterrichtserfahrung auf die Einstellung zur Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht regressionsanalytisch untersucht. Die eigene Unterrichtspraxis (Selbstauskunft der Probanden über die Dauer des von ihnen selbst erteilten Unterrichts) war ein signifikanter Prädiktor für die Einstellung zur Verwendung von Fachsprache; die Varianz der Skala *Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts* wurde durch den Prädiktor Unterrichtspraxis zu 7.9% ( $B = 0.006; SE = 0.003; \beta = 0.283; T=2.31, p < 0.05$ ), diejenige der Skala *Verständlichkeit des*

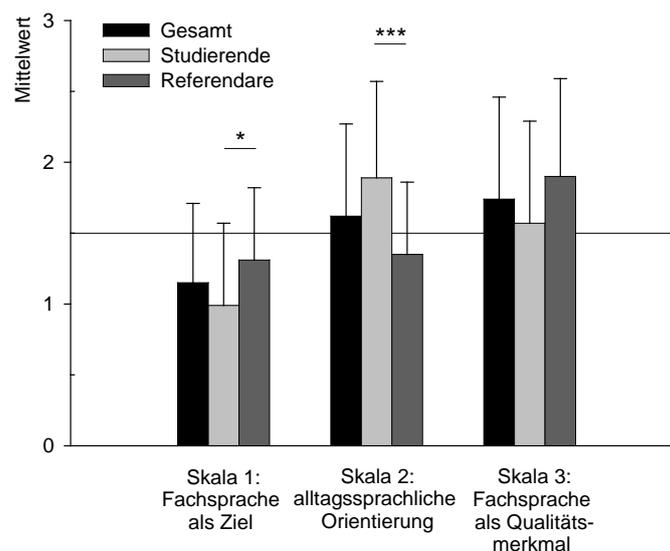


Abbildung 3: Mittlere Einstellungsausprägung der Gesamtstichprobe ( $N = 66$ ) und der beiden Teilstichproben (Studierende  $n = 33$ , Referendare  $n = 33$ ) bezüglich der drei Skalen Skala 1 Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts, Skala 2 Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung und Skala 3 Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts (\* =  $p < 0.05$ , \*\*\* =  $p < 0.001$ ).

Unterrichts durch alltagssprachliche Orientierung zu 12.9% erklärt ( $B = -0.009$ ;  $SE = 0.108$ ;  $\beta = -0.360$ ;  $T = -3.04$ ,  $p < 0.01$ ).

Zusammenfassend hatten damit Ausbildungsstatus und Unterrichtspraxis der Probanden einen Einfluss auf die Einstellung zur Verwendung von Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht: Studierende unterschieden sich in ihrer Einstellung signifikant von Referendaren. Während Studierende die Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung betonten, sahen Referendare auch die Vermittlung von Fachsprache als zentrales Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts schätzten Referendare die Fachsprache etwas wichtiger ein als Studierende.

### 3.5 Diskussion

Ausgehend von der Konzeption naturwissenschaftlicher Grundbildung wird dem Erwerb und dem Verstehen der Fachsprache eine herausgehobene Bedeutung beigemessen (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2003; Yore & Treagust, 2006). Nach der *Theorie des geplanten Verhaltens* ist die Einstellung der stärkste Prädiktor für das unterrichtsbezogene Handeln einer Lehrkraft (Zint, 2002). Danach wäre auch der Stellenwert, den Lehrkräfte der Fachsprache in ihrem Unterricht einräumen, entscheidend von ihrer Einstellung gegenüber der Bedeutung der Fachsprache für das naturwissenschaftliche Lernen beeinflusst. Verschiedene Untersuchungen verweisen auf die Einflüsse der Lehrerbildung auf das Entstehen und die Veränderung von unterrichtsbezogenen Einstellungen (Messner & Reusser, 2000; Müller-Fohrbrodt, et al., 1978; Zeichner, 1980; Zeichner & Tabachnick, 1981)). Ziel der vorliegenden Studie war es daher, die Einstellung von angehenden und zukünftigen Lehrkräften gegenüber der Verwendung von Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht zu untersuchen und in Abhängigkeit von der Ausbildungsphase zu charakterisieren. Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung werden im Folgenden diskutiert.

#### 3.5.1 Methodenbezogene Diskussion

Mit dem Fragebogen zur Einstellung von Lehrkräften gegenüber der Fachsprache (Enzinger, et al., 2009) kamen drei Skalen zum Einsatz, die sich faktorenanalytisch trennen ließen und einen Großteil der Varianz aufklärten. Die Trennschärfen der einzelnen Items sind als mittelmäßig bis hoch einzustufen (Bortz & Döring, 2006). Die Reliabilitäten der Skalen fallen zwar relativ niedrig aus, nach Lienert & Raatz (1994) sind jedoch auch Skalen mit solchen Reliabilitätswerten für explorative Gruppenvergleiche nutzbar.

Unter dieser Einschränkung kann davon ausgegangen werden, dass mithilfe des eingesetzten Fragebogens die Gruppen der Studierenden und Referendare hinreichend zuverlässig bezüglich der drei untersuchten Aspekte des auf Fachsprache bezogenen Einstellungskonstrukts unterschieden werden können: (1) *Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts*, (2) *Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung* und (3) *Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts*. Eine weitere Verbesserung der Skalenkennwerte wäre wünschenswert und wäre durch zusätzliche, neu zu entwickelnde Items anzustreben, da die Skalen mit drei bis fünf Items auch als relativ kurz anzusehen sind.

Weiterhin muss die Stichprobenszusammensetzung kritisch diskutiert werden. Die Stichprobe setzte sich aus Studierenden der Universitäten Kiel und Leipzig sowie Referendaren des Landes Schleswig-Holstein zusammen und stellt somit einen Vergleich über zwei Standorte dar. Allerdings unterschieden sich die Subgruppen der Studierenden und Referendare hinsichtlich der vorkommenden Fächerkombinationen nicht, jedoch erwartungsgemäß signifikant in der Unterrichtspraxis (siehe Kapitel 3.3.1). Die Subgruppe der Studierenden erwies sich hinsichtlich der erhobenen möglichen Einflussvariablen Fächerkombination und Unterrichtspraxis als homogen (siehe Kapitel 3.3.1). Die Vergleichbarkeit der Stichprobe über universitäre Standorte hinweg erscheint damit für die in dieser Studie in den Blick genommenen Variablen zulässig. Trotzdem ist darin eine methodisch bedingte Einschränkung der Aussagekraft der Befunde zu sehen, da diese nur für die zwei einbezogenen Standorte Geltung beanspruchen können.

### **3.5.2 Diskussion der empirischen Befunde**

Bei der Betrachtung des Grades an Zustimmung zu den erfragten Aspekten der Fachsprache lagen die errechneten Mittelwerte für alle drei Skalen im mittleren Bereich zwischen Zustimmung und Ablehnung (siehe Abbildung 3). Dabei erfuhr die Skala *Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts* eine leichte Ablehnung, sowohl bei den Studierenden als auch bei den Referendaren. Die Skalen *Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung* und *Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts* waren für beide Gruppen durch geringfügig über der mittleren Ausprägung liegende Mittelwerte gekennzeichnet. Nach diesen deskriptiven Befunden maßen Lehramtsstudierende und Referendare den drei untersuchten Aspekten der Fachsprache insgesamt keine herausgehobene Bedeutung bei.

Die multivariate Varianzanalyse gab Hinweise darauf, dass sich die untersuchten Teilstichproben der Lehramtsstudierenden und Referendare bezüglich der Einstellung zur Verwendung von Fachsprache statistisch voneinander unterschieden. Dies war in erster Linie auf die gemessenen Unterschiede in Bezug auf die beiden gegensätzlichen Skalen zur fachsprachlichen Orientierung sowie zur alltagsprachlichen Orientierung des Unterrichts (Skala 1 und 2) zurückzuführen. Studierende schätzten die Bedeutung einer alltagsnahen Sprache im Unterricht höher als Referendare ein, umgekehrt sahen Referendare die Fachsprache als bedeutsamer an als dies bei den Studierenden der Fall war.

Da sich in der vorliegenden Studie Lehramtsstudierende und Referendare in ihrer Einstellung zur Bedeutung von Fach- und Alltagsprache unterschieden, liegt es nahe, dies mit den in der Literatur beschriebenen Einstellungsveränderungen beim Übergang vom Studium in das Referendariat in Verbindung zu bringen (Messner & Reusser, 2000; Müller-Fohrbrodt, et al., 1978; Zeichner, 1980; Zeichner & Tabachnick, 1981). Demzufolge wäre die hier festgestellte Betonung der Alltagsprache zugunsten einer besseren Verständlichkeit durch Lehramtsstudierende Ausdruck einer eher liberalen, stärker auf die unmittelbaren Bedürfnisse der Lernenden ausgerichteten Grundhaltung zuzurechnen. Dagegen wäre die von den Referendaren stärker vertretene Ansicht, dass die Vermittlung der Fachsprache ein wichtiges Unterrichtsziel ist, eher einer traditionellen unterrichtsbezogenen Einstellung zuzuordnen. Ob sich die Einstellung zur Bedeutung der Fachsprache tatsächlich in die beschriebenen Muster liberaler und traditioneller Unterrichtsauffassungen eingliedern lässt, wäre nur durch Untersuchungen zu klären, in denen die Einstellung zur Fachsprache zusammen mit diesen Unterrichtsauffassungen erhoben wird. Interessant wäre in diesem Zusammenhang auch eine gemeinsame Betrachtung der Einstellung zur Fachsprache und der Lehrertypologie von Neuhaus & Vogt (Neuhaus & Vogt, 2005), die zwischen fachlich-konventionellen, fachlich-innovativen und pädagogisch-innovativen Typen von Biologielehrkräften unterscheidet. Denkbar wäre, dass die fachlich-konventionellen und fachlich-innovativen Typen, die sich eher als fachliche Ansprechpartner sehen, aufgrund der stark ausgeprägten fachlichen Orientierung auch der Fachsprache eine hohe Wichtigkeit und Bedeutung zuschreiben, während der pädagogisch-innovative Typ, der vor allem die soziale Funktion von Unterricht betont, eher alltagsprachlich orientiert ist. Vor dem Hintergrund des beschriebenen Einstellungswechsels von liberal nach traditionell könnte allerdings auch die Unterscheidung nach fachlich-/pädagogisch-innovativen oder fachlich-konventionellen Typen bedeutsam sein. Inwiefern diese Typologie mit der Einstellung zur

Verwendung von Fachsprache im Unterricht korrespondiert und ggf. einen geeigneten Validierungsansatz darstellt, wäre jedoch zunächst zu überprüfen.

Fragt man nach den möglichen Ursachen für die in unserer Studie festgestellten Einstellungsunterschiede, kommen zunächst die in der Literatur genannten allgemeinen Einflussfaktoren in Betracht, die für Einstellungsänderungen von beginnenden Lehrkräften verantwortlich gemacht werden. In erster Linie sind dies die Praxiserfahrung und die Orientierung an erfahreneren Kollegen (Brouwer & ten Brinke, 1995a, 1995b; Zeichner, 1980; Zeichner & Tabachnick, 1981). Während potentiell einflussnehmende Personen nicht Gegenstand der vorliegenden Studie waren, wurde die Unterrichtspraxis, gemessen über die Selbstauskunft der Probanden über die Dauer des von ihnen selbst erteilten Unterrichts, mit erhoben. Auch wenn die Dauer der eigenen Unterrichtspraxis keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die potentiell wirksamen Einflussfaktoren zulässt, liefern die Ergebnisse jedoch erste Hinweise auf relevante Hintergrundvariablen. Diese Befunde resultieren aus den Regressionsanalysen, wonach sich die Unterrichtspraxis als signifikanter Prädiktor sowohl für die fachsprachliche Orientierung mit positivem Vorzeichen als auch für alltagssprachliche Orientierung mit negativem Vorzeichen erwies. Die Bedeutsamkeit der Unterrichtserfahrung geht konform mit den in der Literatur beschriebenen Einflussfaktoren auf die Einstellung von Lehrkräften (s.o.). Offen bleibt allerdings die Frage, ob die Einstellungsänderung konkret auf die praktische Unterrichtserfahrung zurückzuführen ist oder aber durch eine Veränderung der Rolle bzw. des Status der Probanden hervorgerufen wird. Die Gruppe der Referendare hatte erwartungskonform signifikant mehr Unterrichtserfahrung als die Studierenden, so dass mit der Änderung des Status auch eine Zunahme der Unterrichtserfahrung einherging. Aufgrund der eher geringen Varianzaufklärung ist anzunehmen, dass noch andere Faktoren bei der Einstellungsänderung beim Übergang vom Studium in die praktische Phase der Ausbildung wirksam sind, diese wären in folgenden Studien genauer zu untersuchen.

Die Studie weist daraufhin, dass sich Studierende und Referendare signifikant in ihrer Einstellungsausprägung gegenüber der Fachsprache im Unterricht unterscheiden. Das Wissen um die verschiedenen Einstellungsausprägungen ist besonders wichtig, möchte man darauf in der Lehreraus- und fortbildung verändernd einwirken, da hierfür gezielt an vorhandene Einstellungen angeknüpft werden muss. Dies wird umso bedeutsamer, betrachtet man die Diskrepanz zwischen der Bedeutsamkeit der naturwissenschaftlichen Fachsprache für die naturwissenschaftliche Grundbildung und der Einstellungsausprägung der hier untersuchten angehenden Lehrkräfte, die nur im mittleren bzw. ablehnenden

Bereich lag. In diesem Zusammenhang bleibt auch genau zu klären, welche Faktoren die Einstellungsausprägung beeinflussen.

### 3.6 Ausblick

Um die verschiedenen Einflussfaktoren einzugrenzen, die im Laufe zunehmender Unterrichtserfahrung die Einstellung von Lehrkräften gegenüber der Fachsprache in der beschriebenen Weise verändern, müssten folgende Studien verschiedene Faktoren auf unterschiedlichen Ebenen in den Blick nehmen. Neben der Unterrichtserfahrung als bedeutsamen Faktor sind Einflüsse seitens der ausbildenden, betreuenden, beratenden oder einfach als Vorbild dienenden Personen denkbar, mit denen die angehenden Lehrkräfte in den Phasen ihrer Ausbildung in Kontakt treten. Erwünschte Veränderungen in der Entwicklung der unterrichtsbezogenen Einstellungen zukünftiger Lehrkräfte hätten entsprechend an den potentiell ursächlichen, kommunizierten Einstellungen und den Handlungsweisen der verschiedenen Akteure in Universität, Referendariat und Schule anzusetzen.

Weiterhin sind curriculare und didaktische Normvorgaben aus Lehrplänen, Schulbüchern und anderweitigen Unterrichtsmaterialien als mögliche Einflussgrößen zu berücksichtigen. Eine nähere Betrachtung der Rolle, die Outcome-orientierte Standards wie die Bildungsstandards und die einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung sowie deren Überprüfung in Vergleichsarbeiten bzw. im Abitur spielen, wäre sicher lohnenswert. Hier sind direkte Bezüge zu den unterrichtsbezogenen Einstellungen von Lehrpersonen zu sehen. Schließlich sollten auch unterrichtspraktische Aspekte Berücksichtigung finden, da hier auch Hürden zu erwarten sind, die im Sinne des Modells des geplanten Verhaltens als hinderlich oder förderlich für die wahrgenommene Verhaltenskontrolle von Lehrpersonen anzusehen sind (Ajzen & Madden, 1986). Der *Theorie des geplanten Verhaltens* folgend sollten in Ergänzung auch die dahinter stehenden Überzeugungssysteme als Einflussfaktoren der zweiten Theorieebene erfasst werden (Ajzen, 2005).

Inwiefern bei der Einstellung zur Fachsprache zusätzlich von fachspezifischen Einflüssen wie der Fachsystematik, der Fachkultur und Fachsozialisation auszugehen ist, wäre über den Vergleich von Lehrkräften mit unterschiedlichen Fachkombinationen zu klären. Zukünftige Studien sollten die genannten Aspekte systematisch in den Blick nehmen und auch erfahrene Lehrkräfte einbeziehen. Letztlich wäre ein empirisch abgesichertes Instrumentarium an Interventionen zu entwickeln, das Lehrkräfte darin unterstützt, unterrichtsbezogene Einstellungen zu reflektieren und sich Handlungsoptionen für den Unterricht zu eröffnen.

## **4 Studie 2: Entwicklung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht**

In dieser Teilstudie wird entsprechend des Angebots-Nutzungs-Modells auf den Aspekt der Prozessqualität hinsichtlich des Umgangs mit Fachsprache fokussiert und der Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache als ein wichtiges Merkmal der fachspezifischen Unterrichtsqualität angesehen. Wie schon in Kapitel 1.2.2 beschrieben, greift eine alleinige Betrachtung verbalsprachlicher Elemente zu kurz, so dass für diese Studie zusätzlich bildliche und symbolische Repräsentationen einbezogen wurden. Ökonomische Erhebungsinstrumente, die auf dieser holistischen Definition von Fachsprache basieren und Fachsprache als Teil der fachspezifischen Unterrichtsqualität betrachten, fehlen zum jetzigen Zeitpunkt. Im Mittelpunkt dieser Studie stand deshalb eine theoretisch geleitete Ausschärfung fachsprachlicher Aspekte der Unterrichtsqualität sowie die Entwicklung und erste Testung eines Erhebungsinstruments. Hierfür wurde die Form eines Schülerfragebogens gewählt, da diese sich für die Erhebung von Unterrichtsqualität als vorteilhaft erwiesen haben. Eine Recherche in psychologischer, fachdidaktischer und pädagogischer Literatur ergab fünf theoretische Dimensionen, anhand derer sich die fachspezifische Unterrichtsqualität bezogen auf die Verwendung der naturwissenschaftlichen Fachsprache beschreiben lässt. Auf dieser Basis erfolgte die Entwicklung eines Fragebogens, der anschließend in acht Klassen der elften Jahrgangsstufe mit 175 Schülern getestet wurde. Eine exploratorische Faktorenanalyse ergab sechs reliable Skalen, die den Umgang mit verbalsprachlichen, bildlichen und symbolischen Repräsentationen im Biologieunterricht beschreiben und die vorher angenommenen theoretischen Dimensionen zum großen Teil abdecken. Aufgrund der geschachtelten Struktur der Schülerdaten und der prospektiven Möglichkeit, das Instrument in Mehrebenenanalysen einzusetzen, wurden außerdem Kriterien der Interraterreliabilität und -übereinstimmung herangezogen. Es zeigte sich, dass die Schülerurteile von der Klassenzugehörigkeit beeinflusst wurden und die Schüler der einzelnen Klassen hinreichend in ihrem Urteil über den Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht übereinstimmten. Ein Einsatz des entwickelten Instruments in Mehrebenenanalysen der fachspezifischen Unterrichtsqualität hinsichtlich der Verwendung von Fachsprache erscheint auf Basis dieser Ergebnisse generell möglich.

Studie 2 wurde zur Veröffentlichung eingereicht unter:

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (eingereicht). Entwicklung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*.

### **Zusammenfassung**

Der Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht ist ein wichtiges Merkmal der fachspezifischen Unterrichtsqualität. Basierend auf einer holistischen Definition der Fachsprache, die neben verbalsprachlichen auch bildliche und symbolische Repräsentationen einbezieht, wurden fachsprachliche Aspekte der Unterrichtsqualität ausgeschärft und der Schülerfragebogen „Fachsprache im Biologieunterricht“ (FIB) entwickelt. Eine Faktorenanalyse (Stichprobe:  $N = 175$ , 11. Klasse) ergab sechs Skalen, die den Umgang mit verbalsprachlichen, bildlichen und symbolischen Repräsentationen im Biologieunterricht beschreiben. Die internen Konsistenzen der Skalen waren zufriedenstellend. Aufgrund der geschachtelten Struktur der Schülerdaten wurden außerdem Kriterien der Interraterreliabilität und -übereinstimmung herangezogen. Die Schülerurteile wurden von der Klassenzugehörigkeit beeinflusst und die Schüler der einzelnen Klassen stimmten hinreichend in ihrem Urteil über den Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht überein.

### **Abstract**

Using scientific language adequately in biology class is an important feature of subject-specific instructional quality. A holistic definition of scientific language that comprises verbal language as well as visual and symbolic representations was used to specify this feature. Based on this specification, a questionnaire for students was developed to assess the use of scientific language in biology class. A factor analysis (sample:  $N = 175$ , 11th grade) revealed six scales that describe reliably the use of verbal, visual and symbolical representations in class. Due to the nested structure of data, criteria of interrater reliability and -agreement were used to show that students ratings were affected by class membership and students within a class agree sufficiently.

Schlüsselwörter: Fachsprache, Repräsentationen, Schülerwahrnehmung, Unterrichtsqualität

Key words: Scientific language, representations, students' ratings, instructional quality, questionnaire

## 4.1 Einleitung

In einer naturwissenschaftlich und technisch geprägten Wissensgesellschaft sind Kenntnisse naturwissenschaftlicher Konzepte und Prozesse essentielle Elemente der Allgemeinbildung (Rost, et al., 2004). Scientific Literacy orientiert sich an diesen Anforderungen und rückt die Fähigkeit zur Partizipation am Diskurs über naturwissenschaftliche Themen als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts in den Mittelpunkt. Dabei wird eine grundlegende Bedeutung von Scientific Literacy (*fundamental sense*) von einer abgeleitete Bedeutung (*derived sense*) unterschieden (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2007). Letztere meint ein konzeptuelles und epistemologisches Verständnis der Naturwissenschaften sowie ein Verständnis ihrer gesellschaftlichen Bedeutung. Die Grundbedeutung beinhaltet u.a. die Fähigkeit zur fachlichen Kommunikation, was die adäquate Verwendung der naturwissenschaftlichen Fachsprache einschließt (Yore, et al., 2007). Beide Bedeutungen von Scientific Literacy stehen in einem symbiotischen Verhältnis zueinander und ermöglichen die Partizipation am gesellschaftlichen Diskurs (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2007). Die Fachsprache ist deshalb so bedeutungsvoll, weil sie es erst ermöglicht sich über naturwissenschaftliche Themen zu informieren, naturwissenschaftliches Wissen zu erwerben und dieses Wissen zu kommunizieren und somit am gesellschaftlichen Diskurs über naturwissenschaftliche Themen teilzuhaben (Yore, et al., 2003; Yore & Treagust, 2006).

Dem Biologieunterricht fällt somit im Sinne von Scientific Literacy die wichtige Aufgabe zu, Heranwachsende zum Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache und somit zur fachgerechten Kommunikation zu befähigen. Die Fähigkeiten eines Schülers werden nach dem Angebots-Nutzungs-Modell des Unterrichts von Merkmalen des Umfeldes, den individuellen Eingangsvoraussetzungen, der Lehrperson und der Unterrichtsqualität beeinflusst (Helmke, 2008). Neben fachunabhängigen Qualitätsmerkmalen des Unterrichts wie z.B. einer effizienten Klassenführung werden zunehmend auch fachspezifische Qualitätsmerkmale beschrieben und untersucht (Fischer, et al., 2010; Helmke, 2008; Neuhaus, 2007). Der angemessene Umgang mit der Fachsprache wird dabei explizit als ein fachspezifisches Unterrichtsqualitätsmerkmal für den Biologieunterricht aufgefasst (Neuhaus, 2007; Wüsten, 2010).

## 4.2 Theoretischer Hintergrund

Im Folgenden werden zunächst die dieser Studie zugrunde liegende Konzeption von Fachsprache ausgeführt und diejenigen Aspekte einer fachspezifischen Unterrichtsqualität dargestellt, die sich auf die naturwissenschaftliche Fachsprache im Biologieunterricht bezie-

hen (Kapitel 4.2.1). Im Anschluss wird auf verschiedene methodische Zugänge zur Erfassung von Unterrichtsqualität eingegangen (Kapitel 4.2.2).

#### **4.2.1 Naturwissenschaftliche Fachsprache im Unterricht**

Was zeichnet die Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht aus? Eine einheitliche Definition des Begriffs Fachsprache zu finden, gestaltet sich als äußerst schwierig, berücksichtigt man die vielschichtigen Betrachtungsansätze (siehe hierzu auch Rincke, 2010). In der linguistischen Fachsprachenforschung können drei verschiedene Konzeptionen der Fachsprache unterschieden werden (Roelcke, 2005): (1) Die Systemlinguistik versteht Fachsprache vor allem lexikalisch als „Gesamtheit aller sprachlichen Mittel, die in einem fachlich begrenzten Kommunikationsbereich verwendet werden [...]“ (Hoffmann, 1985, p. 53). (2) Im Zuge einer pragmalinguistischen Orientierung erfolgt eine Loslösung von der rein lexikalischen Betrachtungsweise. Fachsprache wird weniger als ein System von Zeichen sondern vielmehr als eine fachliche Textäußerung aufgefasst: Der Fachtext<sup>8</sup> ist dann das Ergebnis einer fachlichen Kommunikation (Roelcke, 2005). (3) Seit den 1990er Jahren wird zur Untersuchung von Fachsprache ein kognitionslinguistisches Funktionsmodell zugrunde gelegt, welches sich auf die Fachkommunikation und deren kognitive Grundlagen bezieht. Dieses Modell nimmt zunehmend die Interdependenz von Sprache und Denken in den Blick (Roelcke, 2005).

Pragma- und kognitionslinguistische Modelle der Fachsprache, die auf die fachliche Kommunikation fokussieren, unterstreichen die Bedeutung einer holistischen Betrachtungsweise der naturwissenschaftlichen Fachsprache: Naturwissenschaftliche Erkenntnisse werden nicht nur über verbalsprachliche Äußerungen (geschriebene oder gesprochene Texte) kommuniziert, vielmehr wird hierfür auf eine Vielzahl verschiedener Repräsentationen zurückgegriffen. Lemke (1998b) beschreibt in diesem Zusammenhang die naturwissenschaftliche Fachsprache als „a synergistic integration of words, diagrams, pictures, graphs, maps, equations, tables, charts, and other forms of visual and mathematical expression“. Eine holistische Betrachtungsweise der naturwissenschaftlichen Fachsprache bezieht damit alle Repräsentationen ein, die genutzt werden, um über fachliche Inhalte zu kommunizieren (Lemke, 1998b; Yore & Hand, 2010). Hierzu gehören neben der Verbal-sprache sowohl bildliche Repräsentationen (z.B. Diagramme und Abbildungen, d.h. logische und realistische Bilder; Schnotz, 2001) als auch symbolische Repräsentationen (z.B. chemische Reaktionsgleichungen).

---

<sup>8</sup> Fachtext meint hier auch mündliche Kommunikation.

Kommunikation in den Naturwissenschaften wird danach als multimodaler Diskurs aufgefasst, der sich einer multimodalen Fachsprache bedient (Waldrip, et al., 2010). Dieser Multimodalität der Fachsprache muss auch im Biologieunterricht Rechnung getragen werden. Im Sinne einer fachgerechten Kommunikationsfähigkeit der Schüler, die Ziel des Biologieunterrichts ist und nicht losgelöst von den fachlichen Gegebenheiten vermittelt werden kann, ist es unumgänglich, die naturwissenschaftliche Fachsprache im Unterricht ebenfalls holistisch zu betrachten und die verschiedenen Repräsentationen einzubeziehen. Tatsächlich wird im naturwissenschaftlichen Unterricht auf eine Vielzahl von verschiedenen Repräsentationen zurückgegriffen (Stäudel, et al., 2008). Empirische Studien, die den Einsatz verbalsprachlicher, bildlicher und symbolischer Repräsentationen, ihre Orchestrierung im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie den Einfluss auf Schülerfähigkeiten in den Blick nehmen, existieren bislang nur für den Physikunterricht. Analysen von Unterrichtseinheiten zu verschiedenen Themen in australischen Schulklassen (Klassenstufen 4-8) zeigten ein einheitliches Bild: Die Darstellung naturwissenschaftlicher Konzepte mit verschiedenen multimodalen Repräsentationen ist für Schüler kognitiv herausfordernd, kann jedoch zugleich auch zu einem tieferen Verständnis führen (Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrip, 2006; Tytler, et al., 2006; Waldrip, et al., 2006). Aus den Ergebnissen folgern die jeweiligen Autoren, dass die Interpretation und Konstruktion von verschiedenen Repräsentationen naturwissenschaftlicher Konzepte in möglichst vielen verschiedenen Kontexten im Unterricht explizit angesprochen und geübt werden sollte. Auf Grundlage ihrer Studie empfehlen Hubber et al. (2010) ein Unterrichtsverhalten, das auf einer Sichtweise des Lehren und Lernens als repräsentationsbasiertem, aktivem und diskursivem Prozess beruht. Lehrkräfte müssen hierzu zum einen verstehen, welche Rolle Repräsentationen für das Lehren und Lernen spielen, und zum anderen eine Lernumgebung bieten, die den Schülern vielfältige Möglichkeiten zum aktiven Umgang mit naturwissenschaftlichen Repräsentationen bietet sowie die Rolle und Funktion von Repräsentationen explizit macht.

Die oben genannten Studien zeigen, dass ein explizites Unterrichten der Interpretation und Konstruktion naturwissenschaftlicher Repräsentationen ausschlaggebend für die Schülerfähigkeiten bezogen auf den Umgang mit Repräsentationen ist. Allerdings wurden in drei der Studien die entsprechenden Unterrichtseinheiten mit der jeweiligen Forschungsgruppe gemeinsam geplant. Dementsprechend spiegeln diese Unterrichtseinheiten nicht bzw. nur eingeschränkt die übliche Unterrichtspraxis der beteiligten Lehrkräfte im Unterricht wider. Die Art und Weise, wie die verschiedenen Repräsentationen im Un-

terrichtet behandelt und benutzt werden, sollte daher weiter untersucht und dokumentiert werden. Die bisher durchgeführten Studien nutzten zur Dokumentation Videos, Unterrichtsbeobachtungen und Interviews. Diese Herangehensweise ist jedoch sehr zeit- und kostenaufwendig und eignet sich nicht, um den Umgang mit den verschiedenen Repräsentationen, die konstituierend für die naturwissenschaftliche Fachsprache sind, in einer Vielzahl von Klassen zu analysieren und dokumentieren. Ökonomischen Instrumente zur Erfassung des Umgangs mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache, die eine holistische Betrachtung von Fachsprache zugrunde legen und Qualitätskriterien genügen, existieren bislang nicht. In dieser Studie wird daher die Entwicklung und Erprobung eines Fragebogens, der den Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht aus Schülersicht (siehe hierzu 4.2.2) erfasst und auf einer holistischen Auffassung von Fachsprache beruht („Fachsprache im Biologieunterricht“; FIB), dokumentiert. Zur Entwicklung des Fragebogens wurden neben den o.g. noch weitere empirische Befunde bzw. didaktische Empfehlungen zum Umgang mit verschiedenen Repräsentationen (verbalsprachliche, bildliche und symbolische) herangezogen. Daraus wurden Aspekte einer fachspezifischen Unterrichtsqualität abgeleitet, die sich auf die naturwissenschaftliche Fachsprache beziehen. Diese werden im Folgenden berichtet.

Bezüglich *verbalsprachlicher Repräsentationen* im naturwissenschaftlichen Unterricht werden der Umgang mit Fachbegriffen und fachlichen Texten sowie der Wechsel zwischen Alltags- und Fachsprache als bedeutsam für Schülerfähigkeiten angesehen. So zeigten Analysen der Unterrichtssprache und von Lehrmaterialien, dass der naturwissenschaftliche Unterricht häufig mit Fachbegriffen überfrachtet ist, woraus Verständnisschwierigkeiten für die Lernenden resultieren (Berck & Graf, 1992; Merzyn, 1996; Wellington & Osborne, 2001). Um dem entgegen zu wirken, wird im Sinne einer Begriffsökonomie ein gezielterer und von der Anzahl reduzierter Umgang mit Fachbegriffen empfohlen (Berck & Graf, 1992; Gropengießer & Kattmann, 2006). Des Weiteren sollte einem mangelnden Leseverständnis beim Umgang mit Fachtexten mit dem Einsatz verschiedener Lesestrategien im Unterricht begegnet werden (Leisen & Mentges, 2009). Über das Verständnis und die Interpretation von fachlichen Texten hinaus ist nach dem *writing-to-learn* Ansatz jedoch auch ebenso die eigenständige Textproduktion durch die Schüler von Bedeutung (Hand, Lawrence, & Yore, 1999; Yore, et al., 2003). Ebenfalls als problematisch anzusehen ist die Polysemie von Begriffen auf Ebene der Fach- und Alltagssprache, da hierbei unterschiedliche Konzepte (Alltagsvorstellung vs. fachlich korrekte Vorstellung) durch dieselben Wörter ausgedrückt werden (Fischer, 1998). Schließlich sollte der Unterschied zwischen Fach-

und Alltagssprache im Unterricht explizit thematisiert werden, wobei der Alltagssprache im Unterricht die Funktion eines Mittlers im Lern- und Aneignungsprozess zukommt (Stäudel, et al., 2008).

Über die Bedeutung von *bildlichen Repräsentationen* beim Wissenserwerb gibt vor allem die pädagogisch-psychologische Forschung zum Lernen mit multiplen externen Repräsentationen Auskunft (z.B. Ainsworth, 1999, 2006; Mayer, 2001; Schnotz & Bannert, 2003; Seufert, 2003). Die Annahme, dass bildliche Darstellungen per se ein leicht verständliches Medium seien und den Wissenserwerb ohne weitere instruktionale Maßnahmen unterstützten, ist oft widerlegt worden (siehe z.B. Ainsworth, 1999, 2006). Vielmehr müssen das Verstehen und die Handhabung bildlicher Repräsentationen im Unterricht explizit angesprochen werden (Schnotz, 1993). Es konnte mehrmals gezeigt werden, dass explizite Unterstützungsmaßnahmen das Verständnis von bildlichen Darstellungen fördern und Schwierigkeiten ausräumen (Bartholomé & Bromme, 2009; Peeck, 1993; Seufert, 2003). Schülerschwierigkeiten beim Umgang mit Diagrammen, die zu den logischen Bildern gehören, betreffen beispielsweise die Auswahl des richtigen Diagrammtyps, eine richtige und vollständige Achsenbelegung und -beschriftung sowie die Skalierung der Achsen und das Ablesen von Informationen aus Diagrammen (Lachmayer, 2008; Lachmayer, Nerdel, & Prectl, 2007). Ein empirisch validiertes Kompetenzstrukturmodell für den Umgang mit Diagrammen im Biologieunterricht unterscheidet zwischen den drei Dimensionen Informationsentnahme, Konstruktion und Integration von Informationen aus Diagrammen und begleitendem Text. Aus den empirischen Befunden zu diesem Modell ergibt sich, dass die Behandlung von Diagrammen im Biologieunterricht über die Informationsentnahme aus vorliegenden Diagrammen hinaus auch den Konstruktions- und Integrationsaspekt einschließen muss (Lachmayer, 2008). Diese Überlegungen sollten prinzipiell auch auf den Umgang mit realistischen Bildern im Unterricht übertragbar sein.

Zu den *symbolischen Repräsentationen* im Biologieunterricht gehört vor allem die chemische Symbolsprache. Denkt man bspw. an die Stoffwechselfysiologie sind hier Summenformeln, Strukturformeln und Reaktionsgleichungen bedeutsam. Die zum Verständnis biologischer Konzepte nötigen Kenntnisse der (chemischen) Symbolsprache sind bei Schülern allerdings als nicht ausreichend einzustufen (Berck, 2005). Im Allgemeinen zeigen Schüler Schwierigkeiten bei der Interpretation von Summenformeln (Keig & Rubba, 1993), der Interpretation und der Konstruktion von Strukturformeln (Keig & Rubba, 1993; Kownatzki 1980) und bei der Interpretation und dem Aufstellen von Reaktionsgleichungen (Musli, 2008). Um dem entgegen zu wirken, bedarf es einer gezielten Auswahl und eines

gezielten Trainings symbolischer Repräsentationen auch im Biologieunterricht (Berck, 2005; Stäudel, et al., 2008).

Generell kann bei verbalsprachlichen, bildlichen und symbolischen Repräsentationen zwischen der *Rezeption bzw. Informationsentnahme* und der eigenständigen *Produktion bzw. Konstruktion* unterschieden werden. Beide Aspekte sind wichtig und sollten von den Lernenden beherrscht werden (Ainsworth, 2006). Dies impliziert allerdings auch, dass beide Aspekte im Unterricht explizit angesprochen und gelehrt werden (Hubber, et al., 2010; Waldrip, et al., 2010).

Außerdem wird die Nutzung von *multiplen externen Repräsentationen* im Unterricht als hilfreich für den Aufbau von konzeptionellem Verständnis hervorgehoben. Durch das Nutzen multipler externer Repräsentationen wird es den Lernenden ermöglicht, zwischen verschiedenen Repräsentationen zu wechseln bzw. zu übersetzen, verbindende Elemente zu identifizieren und die dargestellten Informationen zu integrieren sowie über die Formen und Funktionen von Repräsentationen zu diskutieren (Ainsworth, 1999, 2006; Hubber, et al., 2010; Seufert, 2003).

Vor dem Hintergrund sozialkonstruktivistischer Ansätze, nach denen (sprachlicher) Wissenserwerb durch das kommunikative Aushandeln der Bedeutung von Zeichen bestimmt ist, trägt eine unterentwickelte Kommunikationskultur im Unterricht, in dem das Gespräch von der Lehrkraft dominiert wird, zur dargestellten Problematik fachsprachlicher Defizite und resultierender fachlicher Verständnisschwierigkeiten bei (Lemke, 1990; Mortimer & Scott, 2000; Scott, 1998). Um dieser Problematik zu begegnen, ist eine methodische Vielfalt im Unterricht (Stäudel, et al., 2008) sowie die Ermöglichung der *aktiven sozialen Konstruktion von Wissen* erforderlich.

Aus den dargestellten empirischen Befunden und didaktischen Überlegungen lassen sich konkrete Aspekte einer fachspezifischen Unterrichtsqualität bezogen auf die Verwendung der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht ableiten. Demnach sollte sich eine hohe Unterrichtsqualität durch die explizite Integration der folgenden Elemente in Unterrichtsrouinen auszeichnen:

- (1) Interpretation und eigenständige Konstruktion von
  - a. verbalsprachlichen Repräsentationen (fachliche Texte)
  - b. bildlichen Repräsentationen (logische und realistische Bilder)
  - c. symbolischen Repräsentationen (chemische Reaktionsgleichungen, Summenformeln, Strukturformeln)

- (2) Arbeiten mit multiplen externen Repräsentationen und das aktive Übersetzen zwischen diesen
- (3) gezielterer Umgang mit einer reduzierten Anzahl von Fachbegriffen
- (4) explizite Thematisierung des Unterschiedes zwischen Fach- und Alltagssprache
- (5) Ermöglichung des Aushandelns von Bedeutungen zwischen Schülern und damit der aktiven sozialen Konstruktion von Wissen

Aspekte der Unterrichtsqualität sind nicht direkt, sondern nur vermittelt über die Wahrnehmung der Lehrkräfte bzw. Schüler oder außenstehender Beobachter erfassbar (Clausen, 2002). Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten der Erfassung von Unterrichtsqualität beschrieben.

#### **4.2.2 Erfassung von Unterrichtsqualität**

In der empirischen Unterrichtsforschung wird auf drei Datenquellen zur Erfassung der Unterrichtsqualität zurückgegriffen: Wahrnehmung der Lehrkräfte oder Schüler sowie die Wahrnehmung von außenstehenden Beobachtern (Clausen, 2002). Bezogen auf den Durchführungsaufwand und die Kosten einer Erhebung sind Lehrer- und Schülerbefragungen (per Ratingfragebögen) vorteilhafter als die Nutzung standardisierter Beobachtungsverfahren, da erstere eine ökonomische und kostengünstige Durchführung ermöglichen (Clausen, 2002; De Jong & Westerhof, 2001; Fraser & Walberg, 1981). Weiterhin sind Schüler- bzw. Lehrerurteile repräsentativer für Unterrichtsroutrinen, da ihnen ein längerer Erfahrungszeitraum zugrunde liegt als der Beurteilung einer begrenzten Anzahl von Unterrichtsstunden durch einen externen Beobachter (Clausen, 2002; Fraser & Walberg, 1981). Erfordert die Fragestellung einer Studie einen längeren Beobachtungszeitraum, ist die Nutzung von Schüler- bzw. Lehrerurteilen damit standardisierten Beobachtungsverfahren überlegen. Standardisierte Beobachtungen hingegen sind objektiver als die per se subjektive Lehrer- bzw. Schülerwahrnehmung von Unterricht. Dennoch weisen gerade Schülerurteile eine mit Beobachterdaten vergleichbar hohe Reliabilität auf, wenn klassenweise aggregierte Daten der Schülerwahrnehmung genutzt werden (Clausen, 2002). Studien belegen darüber hinaus die prädiktive Validität von Unterrichtsmerkmalen, die durch Klassenmittelwerte erfasst wurden (z.B. Clausen, 2002; De Jong & Westerhof, 2001; Gruehn, 2000). Allerdings können sowohl Lehrer- als auch Schülerurteile durch verschiedene Antworttendenzen verzerrt werden (Clausen, 2002). Weiterhin wird die Schülerwahrnehmung durch den individuellen Leistungsstand des einzelnen Schülers beeinflusst, was jedoch durch die Nutzung von klassenweise aggregierten Daten ausgeglichen wird,

wenn eine symmetrische Leistungsverteilung innerhalb der Klasse vorliegt (Clausen, 2002).

Auf Klassenebene aggregierte Schülerurteile weisen also eine Reihe von Vorteilen auf. Verglichen mit Lehrerurteilen sind sie aufgrund der höheren Reliabilität und der prädiktiven Validität überlegen, verglichen mit externen Beobachtern beziehen sie sich auf einen längeren Beobachtungszeitraum und sind somit repräsentativer. Darüber hinaus eignen sie sich aufgrund ihrer prädiktiven Validität und der vergleichsweise ökonomischen Handhabung gut für die Beurteilung von Unterrichtsqualität. Die Nutzung von auf Klassenebene aggregierten Schülerurteilen, um zu generalisierten Informationen über den Unterricht im Sinne einer geteilten Schülerwahrnehmung zu gelangen, ist allerdings nur dann gerechtfertigt, wenn die Schüler in ihrem Urteil hinreichend übereinstimmen (Lüdtke, Trautwein, Kunter, & Baumert, 2006a). Lüdtke und Kollegen (2006a) empfehlen daher die Überprüfung der Interraterreliabilität und -übereinstimmung (siehe 4.4.3).

### **4.3 Ziel der Studie**

Zur Beurteilung der Aspekte fachspezifischer Unterrichtsqualität hinsichtlich des Umgangs mit Fachsprache im Biologieunterricht erscheinen Schülerfragebögen vor allem wegen der oben genannten Vorteile besonders geeignet. Das Ziel dieser Studie ist daher die Entwicklung und Testung eines Schülerfragebogens, der die in 4.2.1 beschriebenen Aspekte einer fachspezifischen Unterrichtsqualität bezogen auf die Verwendung der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht abdeckt und Testgütekriterien genügt. Zur Beurteilung, ob die Schüler einer Klasse hinreichend in ihrem abgegebenen Urteil übereinstimmen, werden außerdem Kriterien der Interraterreliabilität und -übereinstimmung herangezogen.

## **4.4 Methode**

### **4.4.1 Entwicklung des Fragebogens zur Unterrichtsqualität**

Zur Erhebung der fachspezifischen Unterrichtsqualität bezüglich des Umgangs mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht aus Schülersicht wurden Items entsprechend der im theoretischen Hintergrund beschriebenen Aspekte der Unterrichtsqualität entwickelt:

- (1) Interpretation und eigenständige Konstruktion von
  - a. verbalsprachlichen Repräsentationen: Fachliche Texte (8 Items)
  - b. bildlichen Repräsentationen: Realistische und logische Bilder (15 Items)

- c. symbolischen Repräsentationen (6 Items)
- (2) Arbeiten mit multiplen externen Repräsentationen und das aktive Übersetzen zwischen diesen (17 Items)
- (3) gezielterer Umgang mit einer reduzierten Anzahl von Fachbegriffen (5 Items)
- (4) explizite Thematisierung des Unterschiedes zwischen Fach- und Alltagssprache (9 Items)
- (5) Ermöglichung des Aushandelns von Bedeutungen zwischen Schülern und damit der aktiven sozialen Konstruktion von Wissen (7 Items)

Die Items wurden auf einer vierstufigen Ratingskala (nie – selten – manchmal – regelmäßig) bewertet. Zur Abdeckung des Aspektes aktive soziale Konstruktion wurden Items aus der COACTIV-Studie adaptiert (Baumert et al., 2009; Aktive soziale Konstruktion von Verständnis).

#### 4.4.2 Stichprobe und Durchführung

An der Untersuchung nahmen 175 Schüler (51.4% weiblich) im Alter von 15-19 Jahren ( $M = 16.7$ ,  $SD = 0.6$ ) aus acht Biologiekursen der 11. Jahrgangsstufe von vier Gymnasien teil. Diese wurden durchschnittlich seit einem Jahr von den entsprechenden Lehrkräften ( $N = 8$ ) unterrichtet ( $M = 0.95$ ;  $SD = 0.84$ ). Der Fragebogen wurde den Schülern in der Schule nach einer Unterrichtseinheit zur Fotosynthese ausgehändigt und die Schüler wurden schriftlich instruiert, sich bei der Bewertung auf diese Unterrichtseinheit zu beziehen. Außerdem fanden sich in der Instruktion kurze Erläuterungen der Begriffe Diagramm, Abbildung und Fachtext. Die Thematik der Unterrichtseinheit wurde über alle teilnehmenden Klassen konstant gehalten, da diese einen Einfluss auf die verwendeten Repräsentationen haben kann. Da der konstruierte Fragebogen in der Lage sein sollte, reliabel zwischen verschiedenen Klassen zu differenzieren, war es nötig die Thematik der Unterrichtseinheit zu kontrollieren. Das Thema Fotosynthese wurde ausgewählt, da eine Vielzahl verschiedener Repräsentationen genutzt werden kann, um diesen biologischen Inhalt darzustellen. Bei einer Sichtung verschiedener Schulbuchkapitel und Lehrmaterialien zum Thema konnten sowohl verbalsprachliche als auch bildliche und symbolische Repräsentationen ausgemacht werden. Die Bearbeitungszeit für das Ausfüllen des Fragebogens betrug ca. 30 Minuten.

#### 4.4.3 Interraterreliabilität und –übereinstimmung

Zur Beurteilung, ob die Schüler einer Klasse in ihrem Urteil auf einer Skala hinreichend übereinstimmen, wurden Kriterien der Interraterreliabilität und –übereinstimmung (IRR

und IRA) herangezogen. Zur Bestimmung der IRR bzw. IRA wurden entsprechend der Empfehlungen von Lüdtke et al. (2006a) die Intraklassenkorrelationen ICC(1) und ICC(2) bzw. die Übereinstimmungsindices  $r_{WG(j)}$  und  $AD_{M(j)}$  berechnet. Die angewendeten Formeln sind in Tabelle 6 zusammengestellt. In die Berechnung gingen die Daten aus sechs Klassen<sup>9</sup> ein.

Tabelle 6: Verwendete Indices zur Bestimmung der IRR und IRA sowie die jeweiligen Berechnungsformeln

Index	Berechnungsformel	
ICC(1)	$\frac{\tau^2}{\tau^2 + \sigma^2}$	$\tau^2$ = Varianz zwischen Klassen; $\sigma^2$ = Varianz innerhalb Klassen
ICC(2)	$\frac{k \cdot ICC(1)}{1 + (k - 1) \cdot ICC(1)}$	k = mittlere Klassengröße
$r_{WG(j)}$	$\frac{J[1 - (\bar{s}^2/\sigma^2)]}{J[1 - (\bar{s}^2/\sigma^2)] + \bar{s}^2/\sigma^2}$	J = Itemanzahl (Skala), $\bar{s}^2$ = mittlere Varianz der J Items, $\sigma^2$ = Varianz der Referenzverteilung (= $(A^2 - 1)/12$ , mit A Anzahl der Kategorien)
$AD_{M(j)}$	$AD_M = \frac{\sum_{k=1}^N  x_k - \bar{x} }{N}$ $AD_{M(j)} = \frac{\sum_{j=1}^J AD_{m(j)}}{J}$	N = Anzahl der Urteile; $x_k$ = Wert des k-ten Urteilers auf einem Item; $\bar{x}$ = Mittelwert der Urteiler über das Item, J = Itemanzahl (Skala)

Die ICC(1) dient der Einschätzung der Reliabilität eines einzelnen Urteilers und gibt das Ausmaß an, inwiefern das Urteil des einzelnen Schülers durch die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Klasse beeinflusst ist (Lüdtke, et al., 2006a). Sie beruht auf einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Zufallseffekten, in die das Schülerrating als abhängige Variable und die Klassenzugehörigkeit als unabhängige Variable eingehen (Lüdtke, et al., 2006a). Sie Werte von .01 können als kleiner, Werte von 0.10 als mittlerer und Werte von 0.25 als großer Effekt interpretiert werden (LeBreton & Senter, 2008). Die ICC(2) ist ein Maß für die Reliabilität des über alle Schüler einer Klasse gemittelten Urteils, wobei Werte größer 0.70 für eine befriedigende Reliabilität sprechen (Lüdtke, et al., 2006a).

Neben der Reliabilität von Schülerurteilen sollte auch die absolute Übereinstimmung der Schülerurteile innerhalb einer Klasse bestimmt werden. Die absolute Übereinstimmung im Sinne der IRA bezogen auf eine Skala wurde entsprechend Lüdtke et al. (2006a) anhand der Übereinstimmungsindices  $r_{WG(j)}$  und  $AD_{M(j)}$  berechnet. Der  $r_{WG(j)}$  setzt die beobachtete Varianz zwischen den Schülern, die bei hoher Übereinstimmung möglichst gering sein sollte, in Verhältnis zur Varianz einer Referenzverteilung. Als Referenzverteilung wurde eine Gleichverteilung gewählt, die zu erwarten ist, wenn die Schüler zufällig urteilen würden (Lüdtke, et al., 2006a). Werte zwischen 0.51 und 0.70 gelten als moderate,

<sup>9</sup> Zwei Klassen der Gesamtstichprobe konnten nicht in die Berechnung einbezogen werden, da eine Zuordnung der Testhefte zu den einzelnen Klassen nicht möglich war.

Werte zwischen 0.71 und 0.90 als starke Übereinstimmung (LeBreton & Senter, 2008). Der  $AD_{M(j)}$  basiert auf der mittleren Abweichung der einzelnen Schülerurteile vom Mittelwert der Items und sollte bei einer vierstufigen Likert-Skala den Wert von 0.67 nicht überschreiten (Burke, Finkelstein, & Dusig, 1999).

## 4.5 Ergebnisse

### 4.5.1 Skalenanalyse

Zur Aufdeckung der Faktorenstruktur wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt. Die Eignung der zugrundeliegenden Korrelationsmatrix wurde anhand des Kaiser-Meyer-Oelkin (KMO) Koeffizienten und des Bartlett-Tests auf Sphärizität überprüft (Tabachnick & Fidell, 2007). Beide Kriterien zeigten eine gute Eignung der Daten für die Durchführung einer Faktorenanalyse an (KMO = 0.80, meritorious, Bartlett Test:  $\chi^2(496, N = 158) = 2262.38, p < 0.001$ ). Um die Anzahl der zu extrahierenden Faktoren zu bestimmen, wurde eine Parallelanalyse und der *Minimum Average Partial Correlation* Test durchgeführt (O'Connor, 2000). Zur Aufdeckung der Faktorenstruktur wurden Hauptachsenanalysen mit obliquer Rotation durchgeführt. Items, die Faktorladungen  $< 0.30$  aufwiesen, wurden ausgeschlossen. Eine Hauptachsenanalyse mit anschließender Promax-Rotation ergab sechs inhaltlich interpretierbare Faktoren (32 Items), die 50 % der Gesamtvarianz aufklärten (siehe Tabelle 7). Die Angemessenheit der Rotationsmethode wurde im Sinne der Einfachstruktur beurteilt (Tabachnick & Fidell, 2007). Die Einfachstruktur dieser Lösung wurde mit dem *index of factorial simplicity* (IFS = .89, meritorious; Kaiser, 1974) und anhand des *hyperplane counts* (Cattell, 1966) überprüft und bestätigt. Eine substantielle Doppelladung ( $> 0.30$ ) trat in der Mustermatrix nicht auf (siehe Tabelle 7).

Die so erhaltenen Skalen wurden auf ihre interne Konsistenz und Trennschärfe ihrer Items getestet. Alle sechs Skalen wiesen mit Werten für Cronbachs  $\alpha$  von 0.68 bis 0.88 zumindest für Gruppenvergleiche zufriedenstellende interne Konsistenzen auf (Lienert & Raatz, 1994), wobei nur zwei der Skalen knapp unter 0.70 lagen (siehe Tabelle 7). Die Trennschärfen der einzelnen Items lagen zwischen 0.42 und 0.76 und sind somit als mittelmäßig bis hoch anzusehen (Bortz & Döring, 2006).

Tabelle 7: Mustermatrix der promax-rotierten Hauptachsenanalyse des FIB sowie die Werte für Cronbachs  $\alpha$  der einzelnen Skalen und Skalenmittelwerte

Skala	Kurzform der Items <sup>10</sup>	1	2	3	4	5	6
bildint	Auf den Umgang mit Diagrammen geht unser/e Lehrer/in ausdrücklich ein.	0.82					
	Wenn wir mit einem Diagramm arbeiten, besprechen wir, wie man das Diagramm „lesen“ soll.	0.79					
	Wir üben das Ablesen von Informationen aus Diagrammen.	0.79					
	Wenn wir mit Diagrammen arbeiten, besprechen wir auch den Aufbau des Diagramms.	0.77					
	Wenn wir mit einer Abbildung arbeiten, besprechen wir, wie man die Abbildung „lesen“ soll.	0.70					
	Auf den Umgang mit Abbildungen geht unser/e Lehrer/in ausdrücklich ein.	0.60					
	Wenn wir mit Diagrammen arbeiten, besprechen wir, welche Größe auf die x-Achse bzw. y-Achse kommt.	0.59					
	Wenn wir mit Abbildungen arbeiten, besprechen wir auch den Aufbau der Abbildung.	0.54					
bildko	Wir erstellen selbst Abbildungen im Unterricht.		0.79				
	Wir erstellen selbst Diagramme im Unterricht.		0.76				
	Wenn in einem Text ein biologischer Prozess beschrieben ist, halten wir diesen in Form einer Abbildung oder eines Diagramms fest.*		0.66				
	Wenn in einem fachlichen Text die Ergebnisse eines Experiments beschrieben sind, fertigen wir ein Diagramm an, um diese zu veranschaulichen.*		0.64				
	Wir üben das Erstellen von Diagrammen im Unterricht.		0.63				
	Wir üben, wie man biologische Sachverhalte mit Abbildungen darstellt.		0.62				
	Wir ermitteln aus Fachtexten die wichtigen Informationen und setzen diese in ein Bild um.*		0.62				
	Abhängigkeiten zwischen zwei Größen veranschaulichen wir durch Diagramme.		0.58				
Wir stellen Ergebnisse von Experimenten in Form von Diagrammen dar.		0.47					
text	Wenn wir mit einem fachlichen Text arbeiten, dann sollen wir Fragen zum Text beantworten.				0.75		
	Wir arbeiten mit fachlichen Texten im Unterricht.				0.70		
	Wir schreiben selbst kurze fachliche Texte zu einem biologischen Thema.				0.68		

<sup>10</sup> Dargestellt sind hier Kurzformen der Items, die den Kern der Aussage wiedergeben. Die genauen Itemwortlaute sind im Anhang zu finden, siehe 9.3.1, S. 125.

	Wenn wir mit einem Bild arbeiten, sollen wir einen kurzen Text dazu schreiben.*	0.58					
	Wenn wir mit einem fachlichen Text arbeiten, dann sollen wir die Schlüsselwörter des Textes suchen und diesen zusammenfassen.	0.54					
sozk	Unser/e Lehrer/in gliedert Probleme in einzelne Aufgabenstellungen auf, die wir in Gruppen bearbeiten und anschließend zusammenfassen.	0.75					
	Wir arbeiten auch in Gruppen.	0.75					
	Wir behandeln ein komplexes Thema auch über längere Zeit in Projekten.	0.58					
sym	Wir arbeiten mit Strukturformeln von Molekülen.				0.64		
	Wir üben das Aufstellen von chemischen Reaktionsgleichungen.				0.61		
	Wenn wir mit Reaktionsgleichungen arbeiten, dann besprechen wir auch die chemischen Prinzipien.				0.58		
	Auf den Umgang mit Reaktionsgleichungen geht unser/e Biologielehrer/in ausdrücklich ein.				0.53		
begr	In einer Biologiestunde werden zu viele Fachbegriffe verwendet. (umgepolt)						0.84
	Die vielen Fachbegriffe im Biologieunterricht verwirren mich. (umgepolt)						0.58
	Die Anzahl neuer Fachbegriffe pro Biologiestunde ist angemessen.						0.57
	rotierte Eigenwerte	6.35	4.03	1.74	1.59	1.24	1.01
	Aufgeklärte Varianz in %	19.9	12.6	5.4	5.0	3.9	3.2
	Cronbachs $\alpha$	0.88	0.87	0.81	0.77	0.69	0.68
	$M (SD)$ Skala	14.7 (5.8)	9.7 (5.7)	7.8 (4.0)	2.2 (2.1)	6.9 (2.6)	5.9 (2.1)

bildint = Interpretation von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, bildko = Konstruktion von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, text = fachliche Texte im Biologieunterricht, sozk = aktive soziale Konstruktion, sym = symbolische Repräsentationen im Biologieunterricht, begr = Anzahl der Fachbegriffe im Biologieunterricht; Ladungen unter 0.30 werden nicht dargestellt; \* kennzeichnet Items, die ursprünglich für den Aspekt des Übersetzens zwischen multiplen externen Repräsentationen entwickelt wurden.

Die erste Skala enthält Items, die den Umgang mit bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht im Sinne der Interpretation bzw. Informationsentnahme abdecken (*Interpretation von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, bildint*). Dies wird besonders deutlich im Kontrast zur zweiten Skala, deren Items die aktive Konstruktion von bildlichen Repräsentationen durch die Schüler selbst beschreiben (*Konstruktion von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, bildko*). Die Items der dritten Skala *fachliche Texte im Biologieunterricht (text)* beschreiben, wie mit fachlichen Texten im Biologieunterricht gearbeitet wird. Hier sind Items versammelt, die sowohl die Interpretation als auch die eigenständige Produktion/Konstruktion von fachlichen Texten abdecken. Items, die aus der COACTIV-Studie übernommen wurden, um die aktive soziale Konstruktion von Wissen abzudecken, ergeben die Skala *aktive soziale Konstruktion (sozk)*. Diese Items beschreiben, ob die Schüler im Biologieunterricht Gelegenheiten zum selbstständigen Arbeiten in Gruppen haben. Items, die den Umgang mit symbolischen Repräsentationen im Biologieunterricht darstellen, sind in der Skala *symbolische Repräsentationen im Biologieunterricht (sym)* zusammengefasst. Auch hier wird sowohl die Rezeption als auch die Produktion von symbolischen Repräsentationen abgedeckt. Die Items der letzten Skala betreffen die Anzahl von Fachbegriffen, die im Biologieunterricht genutzt werden (*Anzahl der Fachbegriffe im Biologieunterricht, begr*). Zwischen den einzelnen Skalen treten z.T. signifikante Korrelationen zwischen 0.16 und 0.45 auf (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Korrelationen der Skalen des Fragebogens

	<i>bildko</i>	<i>text</i>	<i>sozk</i>	<i>sym</i>	<i>begr</i>
<i>bildint</i>	0.30**	0.12	0.03	-0.03	-0.02
<i>bildko</i>		0.44**	0.45**	0.16*	0.01
<i>text</i>			0.45**	0.19*	0.03
<i>sozk</i>				0.13	-0.05
<i>sym</i>					0.09

*bildint* = Interpretation von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, *bildko* = Konstruktion von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, *text* = fachliche Texte im Biologieunterricht, *sozk* = aktive soziale Konstruktion, *sym* = symbolische Repräsentationen im Biologieunterricht, *begr* = Anzahl der Fachbegriffe im Biologieunterricht. ( $N = 172$ , \* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 signifikant, \*\* die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 signifikant)

#### 4.5.2 Maße der Interraterreliabilität und –übereinstimmung

In Tabelle 9 sind die Maße der IRR und IRA für die einzelnen Skalen dargestellt. Es zeigt sich, dass gemäß der Werte für die ICC(1) zwischen 6 % (*begr*) und 78 % (*text*) der Varianz in den Schülerwahrnehmungen durch Unterschiede zwischen den Klassen erklärt werden. Entsprechend kann für die Skalen *bildko*, *bildint*, *text*, *sozk* und *sym* ein großer Effekt, für die Skala *begr* ein kleiner Effekt der Klassenzugehörigkeit festgestellt werden. Die Werte der ICC(2) liegen für alle Skalen bis auf die Skala *begr* über dem Grenzwert von 0.70. Be-

zogen auf die IRA zeigen die Mittelwerte von  $r_{WG(j)}$ , dass alle Skalen mindestens eine moderate Übereinstimmung aufweisen ( $> 0.51$ ). Für die Skalen *bildko*, *bildint*, *text*, *sozk* und *sym* ist eine starke Übereinstimmung in den Klassen festzustellen ( $> 0.71$ ). Für die Skalen *bildint* und *begr* liegt der Mittelwert des  $AD_{M(j)}$  über der kritischen Grenze von 0.67. Die Werte der anderen Skalen liegen relativ nahe bei diesem kritischen Wert, jedoch überschreiten sie ihn nicht.

Tabelle 9: Maße der IRR [ICC(1) und ICC(2)] sowie die Mittelwerte der IRA-Indices  $r_{WG(j)}$  und  $AD_{M(j)}$  für die einzelnen Skalen

	ICC(1)	ICC(2)	$M r_{WG(j)}$	$M AD_{M(j)}$
<i>bildint</i>	0.26	0.89	0.77	0.73
<i>bildko</i>	0.27	0.89	0.88	0.67
<i>text</i>	0.78	0.99	0.82	0.62
<i>sozk</i>	0.34	0.92	0.75	0.58
<i>sym</i>	0.27	0.89	0.78	0.63
<i>begr</i>	0.06	0.59	0.69	0.70

*bildint* = Interpretation von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, *bildko* = Konstruktion von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, *text* = fachliche Texte im Biologieunterricht, *sozk* = aktive soziale Konstruktion, *sym* = symbolische Repräsentationen im Biologieunterricht, *begr* = Anzahl der Fachbegriffe im Biologieunterricht.

## 4.6 Diskussion

Ziel der Studie war die Entwicklung eines Fragebogens, der die eingangs berichteten Aspekte der naturwissenschaftlichen Fachsprache als fachspezifisches Qualitätsmerkmal des Unterrichts abdeckt und Gütekriterien genügt. Die durch eine Faktorenanalyse gewonnenen empirischen Skalen korrespondieren gut mit den aus der Literatur abgeleiteten fünf Aspekten der fachspezifischen Unterrichtsqualität bezüglich der Verwendung der Fachsprache. Es werden sowohl die Interpretation als auch die Konstruktion verbalsprachlicher, bildlicher und symbolischer Repräsentationen abgedeckt. Für die bildlichen Repräsentationen ergeben sich hierbei zwei getrennte Skalen, während für die verbalsprachlichen und symbolischen Repräsentationen Konstruktions- als auch Interpretationsaspekte in einer Skala auftauchen. Außerdem werden auch die Aspekte der Anzahl von Fachbegriffen im Unterricht sowie der aktiven sozialen Konstruktion durch die empirischen Skalen abgedeckt. Die empirische Skala zur aktiven sozialen Konstruktion von Wissen fokussiert vor allem auf die Ermöglichung von sozialen Kommunikationsprozessen und damit das Aushandeln von Bedeutungen zwischen Schülern im Rahmen von Gruppenarbeiten im Unterricht. Soziale Kommunikationsprozesse im Unterricht werden so nur fragmentarisch abgebildet. Allerdings würde eine vollständige Erfassung sozialer Kommunikationsprozesse für die Fragestellung dieser Studie zu weit gehen und ist aus testökonomischen Gründen abzulehnen. Die niedrigen bis mittleren Korrelationen zwischen den einzelnen Skalen

weisen darauf hin, dass es sich hierbei um verschiedene, wenn auch teilweise überlappende Dimensionen handelt.

Der im Theorieteil beschriebene Aspekt der expliziten Thematisierung des Unterschiedes zwischen Fach- und Alltagssprache findet sich in den empirischen Skalen nicht wieder. Items, die zur Messung dieses Aspekts entwickelt wurden, mussten aufgrund der Ergebnisse der Faktorenanalyse ausgeschlossen werden. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Schüler keine deutlich Trennung dieser beiden „Sprachen“ im Biologieunterricht wahrnehmen, da Unterricht nicht in Fach- oder Alltagssprache stattfindet, sondern in der Unterrichtssprache, die eine Brücke von der Alltagssprache zur Fachsprache schlägt und dementsprechend Elemente aus beiden aufweist (Gropengießer & Kattmann, 2006). Außerdem zeigte Rincke (2010), dass sich Schüler beim Erlernen eines naturwissenschaftlichen Sachverhaltes einer *scientific interlanguage* bedienen und sich daher die dichotomen Kategorien von Fach- und Alltagssprache nicht zu eignen scheinen, um das sprachliche Verhalten im Unterricht zu beschreiben. Auch der Aspekt des Übersetzens zwischen verschiedenen Repräsentationen kann in den Daten nicht nachgewiesen werden. Vier Items, die ursprünglich zur Abdeckung dieses Aspektes entwickelt wurden, gehen in die Skalen *bildko* und *text* ein und zwar derart, dass die Zielrepräsentation des Übersetzungsvorgangs ausschlaggebend für die Zuordnung ist (siehe Tabelle 7). Die restlichen Items mussten aufgrund der Ergebnisse der Faktorenanalyse verworfen werden. Es wäre zu prüfen, ob die zwei hier aufgeführten, nicht durch die Schülerwahrnehmung erfassbaren Aspekte der Fachsprache ggf. durch die Nutzung anderer Datenquellen, wie beispielsweise Befragungen der Lehrkraft bzw. durch externe Beobachter zugänglich wären. Diese beiden Datenquellen werden in der empirischen Unterrichtsforschung ebenfalls oft eingesetzt.

Ausgehend von der Annahme, dass die geteilte Schülerwahrnehmung ein valides Maß für die Beschreibung von Unterrichtsroutinen ist (Clausen, 2002), lässt sich feststellen, dass es mit dem hier vorgestellten Fragebogen gelingt, den Umgang mit verbalen, bildlichen und symbolischen Repräsentationsformen im Biologieunterricht valide und reliabel darzustellen. Die interne Konsistenz der einzelnen Skalen ist zufriedenstellend (Lienert & Raatz, 1994), könnte jedoch durch zusätzliche neu zu entwickelnde Items verbessert werden, da einzelne Skalen (*sym* und *begr*) mit vier bzw. drei Items als relativ kurz anzusehen sind. Auch die IRR und IRA sind zufriedenstellend. Die hier gefundenen Werte der ICC(1) bzw. ICC(2) und  $r_{WG(j)}$  bzw.  $AD_{M(j)}$  bewegen sich in einer für solche Fragestellungen üblichen Größenordnung (Lüdtke, et al., 2006a; Wittwer, 2008). Insgesamt zeigen die Ausprägungen der IRR und IRA, dass mit den eingesetzten Skalen reliabel zwischen den unter-

suchten Klassen differenziert werden konnte. Allerdings müssen auf der bisherigen Datengrundlage Einschränkungen des Anwendungsbereichs des Instruments vorgenommen werden. So wurde das Instrument bisher nur im Kontext einer Unterrichtseinheit zur Fotosynthese in der gymnasialen Oberstufe getestet. Inwiefern eine valide Beurteilung der fachspezifischen Unterrichtsqualität bezüglich des Umgangs mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Kontext anderer Themen möglich ist, muss Gegenstand weiterführender Studien sein. In zukünftigen Studien sollte das Instrument auch an einer größeren Stichprobe im Rahmen von mehrebenenanalytischen Untersuchungen überprüft werden. Darüber hinaus sollte die Übereinstimmungsvalidität des Fragebogens anhand einer gemeinsamen Erfassung von Unterrichtsqualität und Schülerfähigkeiten untersucht werden.

## **5 Studie 3: Survey of classroom use of representations: Development, field test and multilevel analysis**

In dieser Teilstudie wird ebenfalls entsprechend des Angebots-Nutzungs-Modells die Prozessqualität des Biologieunterrichts hinsichtlich des Umgangs mit Fachsprache in den Blick genommen. Der in Studie 2 entwickelte Fragebogen, der auf einer holistischen Definition von Fachsprache basiert und Fachsprache als Teil der fachspezifischen Unterrichtsqualität betrachtet, wurde in Studie 3 überarbeitet und weiteren Analysen unterzogen. Der Fokus lag vor allem auf der Überprüfung der Validität und Reliabilität des Instruments. Der Schülerfragebogen mit den in Studie 2 gefundenen sechs Skalen wurde in 45 Klassen der elften und zwölften Jahrgangsstufe eingesetzt. Entsprechend aktueller Methoden der empirischen Bildungsforschung fand bei den Analysen die Mehrebenenstruktur der erhobenen Daten Berücksichtigung. Zusätzlich zu der in Studie 2 durchgeführten exploratorischen Faktorenanalyse wurden konfirmatorische (Mehrebenen-) Faktorenanalysen durchgeführt, um die faktorielle Struktur sowohl auf Individual- als auch auf Klassenebene zu beschreiben. Die faktorielle Struktur mit sechs latenten Faktoren, die bereits in Studie 2 gefunden wurde, erwies sich auch in Studie 3 auf beiden Ebenen als stabil, was die Konstruktvalidität des Instruments untermauert. Darüber hinaus zeigten die Skalen zufriedenstellende Kennwerte bezüglich der diskriminanten Validität und Reliabilität. Die Ergebnisse aus Studie 3 lassen auf ein valides und reliables Instrument schließen, welches in weiteren Studien einsetzbar ist, um die fachspezifische Unterrichtsqualität hinsichtlich des Umgangs mit Fachsprache im Biologieunterricht zu erheben und zu beschreiben.

Studie 3 wurde zur Veröffentlichung eingereicht unter:

Nitz, S., Prechtel, H., & Nerdel, C. (eingereicht). Survey of classroom use of representations: Development, field test and multilevel analysis. *Learning Environments Research*.

**Abstract**

Due to the multimodal nature of learning, doing, and reporting science it is important that students learn how to interpret, construct, relate, and translate scientific representations, or in other words: develop representational competence. Explicit instruction about multimodal representations is needed to foster students' representational competence in the classroom. However, only a handful studies survey how representations are actually used in science classes. This might be due to the fact that economic instruments for assessing the use of representations in classrooms are missing. To bridge that gap an instrument was developed, field-tested in biology classes with 175 and 931 students, respectively and analysed using exploratory and (multilevel) confirmatory factor analysis. Results support an instrument with six scales and 21 items at individual and classroom level covering the following dimensions: (1) interpretation of visual representations, (2) construction of visual representations, (3) use of scientific texts (verbal representations), (4) use of symbolic representations, (5) amount of terms used in class, and (6) the extent to which active social construction of knowledge is possible in the class. The scales found showed satisfying discriminant validity and reliability at each level. Further applications of this instrument for researchers and teachers are discussed.

Key words: Classroom environment, multimodal representations in science class, representational competence, multilevel analysis, students' perceptions of learning environment

## 5.1 Introduction

Skimming through scientific journals shows plainly that scientists rely heavily on using a wide variety of representations (e.g., text, diagrams, graphs, mathematical formulas, or chemical symbols) to communicate scientific findings, construct meaning in the minds of readers, and persuade people about their claims. Learning science in the context of the high school science classroom is no exception; it is also based on material that contains a variety of multimodal representations. Hence, students need to develop representational competence that enables them to make sense of multimodal representations or, in other words; they need to be literate in science. In this regard, researchers distinguish two dimensions of scientific literacy: the derived sense of scientific literacy, which involves understanding the principles and foundations of science, and the fundamental sense, which comprises the abilities to construct and interpret discourses in science (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2007). Both dimensions contribute to the individual's participation in the public discourse and decision making concerning scientific issues. Given that scientific literacy for all is the main goal of science education, representational competence is of paramount importance as it is one key feature included in the fundamental sense of scientific literacy (Yore, et al., 2007).

While it seems logical that students' representational competence is influenced by how representations are dealt with in science class, only a few studies were conducted that actually survey this part of the learning environment (Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrip, 2006; Tytler, et al., 2006; Waldrip, et al., 2006). These qualitative studies share the finding that explicit instruction can foster students' representational competence. The purpose of this study was to develop, test, and document a new instrument to gather information about how representations are dealt with in science classroom learning environments. In view of the fact that school settings possess a hierarchical nature with classrooms nested within schools and students being nested in classes (Fraser, 2003), we chose a multilevel approach.

## 5.2 Background

The multimodal nature of doing, learning, and reporting science necessitates consideration of representational competence and its importance in learning and teaching science within the classroom environment. Therefore, we outline studies dealing with how representations are actually used in science classrooms and how this relates to student out-

comes. We consider learning environment research as a lens into the use of representations in science classes and students' perceptions of their learning environment.

### **5.2.1 Representational competence**

The discipline of science is a multimodal discourse community that uses different modes for reasoning and communicating scientific topics (Kress, et al., 2001; Norris & Phillips, 2003). Lemke (1998b) argues that "the natural language of science is a synergistic integration of words, diagrams, pictures, graphs, maps, equations, tables, charts, and other forms of visual and mathematical expression" (section How Science Says What it Means). Thus, scientific language includes a variety of representations in different modes. Gilbert (2007) differentiates between five modes of representations: concrete, verbal, symbolic, visual, and gestural. In this study, we focus on verbal representations, visual representations with a distinction between realistic and logical pictures (Schnotz, 2001), and symbolic representations in terms of chemical symbols and equations.

The multimodality of scientific discourse is also reflected in the science classroom as learning science is multimodal (Kress, et al., 2001). Students need to learn about the multimodality of science discourse and how to interpret, construct, relate, and transform different representations in a scientific manner (Yore, 2011; Yore & Hand, 2010). Yore et al. (2007) provide a framework for scientific literacy composed of interacting dimensions (i.e., fundamental literacy, derived understanding, and participation in public debate about scientific issues) and components (i.e., metacognition, reasoning, habits of mind, language, technologies, conceptual understanding, and argumentation). Interpreting, constructing, relating, and transforming representations are key features included in the fundamental sense of scientific literacy leading to scientific understanding and participation in public debates about scientific issues.

The skills for interpreting, constructing, relating, and transforming external representations have been referred to as representational competence (Kozma, et al., 2000; Kozma & Russell, 1997, 2005). They suggest that representational competence allows students to think, communicate, and conceptualise about science concepts and includes the abilities to: (a) use representations for describing scientific concepts; (b) construct and/or select a representation and explain its appropriateness for a specific purpose; (c) use words to identify, describe, and analyze features of representations; (d) compare and contrast different representations and their information content; (e) connect across different representations, map features of one type of representation onto those of another, and explain the relationship between them; (f) realise that representations correspond to phenomena

but are distinct from them; and (g) use representations in discourse to support claims, draw inferences, and make predictions. Kozma & Russell (2005) propose five levels of representational competence, ranging from a novice's depictive use of representations—via early symbolic, syntactic, and semantic use of representations—to an expert's reflective, rhetorical use of representations. Novices' understanding and use of representations are based on surface features of the representations, whereas experts' understanding and use of representations are based on processing represented scientific concepts and relating them to conceptual knowledge (Chi, Feltovich, & Glaser, 1981; Kozma & Russell, 2005).

### **5.2.2 Representations in science class**

Given the importance of representations and representational competence in doing and learning science, it is surprising that only a few studies survey how representations are actually used in science classrooms. Tytler et al. (2006) analyzed a lesson sequence on evaporation in three Grade 5 classes and recognised that representations can be explored and used in many different ways. They recommended exploring and negotiating explicitly the meaning of representations in a representation-rich environment. Prain & Waldrip (2006) conducted an exploratory case-study with two classes (Grades 4-6) learning electricity and collisions and suggested that learning science is a representational challenge and that students need a variety of contexts in which they develop their understanding of science and scientific representations. They emphasised the need for explicit teaching about conventions and functions of representations. Waldrip et al. (2006) reported studies of student learning about particle theory of matter (Grade 7) and force (Grade 8) and found that a multimodal focus makes high demands on students while it enables them to construct a deeper understanding of scientific concepts. They suggested that teachers need to provide explicit practice dealing with representations and that this experience needs to reflect the students' prior understanding about representations. Hubber et al. (2010) analyzed classroom sequences in force (Grade 7) of three teachers with a representational focus. They confirmed the efficacy of a representational focus in teaching and learning about force. Furthermore, teachers need to change their teaching to a representational approach based on a discursive and active view of knowledge and learning, understand the role of representations in learning science, provide a representation-rich environment with diverse opportunities for students to develop their representational competence, and reveal the role of representations in learning science to their students.

These studies reported share the finding that explicit instruction about representations were crucial for the development of students' representational competence. Howev-

er, in three of these studies (Hubber, et al., 2010; Tytler, et al., 2006; Waldrip, et al., 2006), the respective research team collaborated with the teachers to plan the classroom sequence or gave them advice on how to integrate a representational approach in the classroom sequence. The classroom sequences enacted might not reflect how teachers would normally use representations in their science classes. Furthermore, these studies focused on the rich description of the teaching practices rather than relating this to quantifiable learning outcomes. Hence, how representations are dealt with in science class and the impact of explicit instruction to foster students' representational competence need further exploration and documentation. Studies utilizing videotapes of the lesson sequences, classroom observations, and interviews with teachers and students are very cost-intensive and time-consuming. Therefore, using students' perceptions of the classroom learning environment is a potentially effective and efficient approach to assess these features of the classroom learning environment.

### **5.2.3 Students' perceptions of classroom learning environments**

Since the 1960s, a considerable number of studies found that the quality of the learning environment is a significant determinant of student outcomes (for an overview, see Fraser, 1998, 2003, 2007). Empirical studies of learning environments and teaching effectiveness commonly draw on student perceptions and ratings of their learning environment using survey instruments (Fraser, 1998, 2003, 2007; Seidel & Shavelson, 2007). Studies confirm that students' perceptions explain differences in students' learning outcomes (e.g. Fraser, 1994). First, using student ratings of their learning environment is an efficient and economical way to assess the learning environment compared to a cost-intensive, external observation approach (De Jong & Westerhof, 2001; Fraser & Walberg, 1981). Second, students can be considered as experts on different teaching routines as they have encountered a variety of teachers and learning environments. Furthermore, their ratings are based on a considerable amount of time they have spent in the particular target learning environment (Clausen, 2002; De Jong & Westerhof, 2001; Fraser, 1998; Fraser & Walberg, 1981). Third, one can assume that a student's behavior is more affected by her or his interpretation of the learning environment than by any objective indicator of that learning environment (Lüdtke, Robitzsch, Trautwein, & Kunter, 2009).

Hence, asking students to rate specified features of their instruction is an efficient, reliable, and valid way to assess aspects of their learning environment. This approach provides two different perspectives. At the individual level (level-1, within level), student ratings represent the individual perception of the learning environment. At the classroom

level (level-2, between level), aggregated scores reflect students' shared perception and provide general information about the classroom learning environment (Lüdtke, et al., 2009; Lüdtke, Trautwein, Kunter, & Baumert, 2006b). Both analytical levels have been used in various studies on classroom environment. The appropriate level of analysis depends on whether interindividual differences among students or differences among learning environments are of interest. Multilevel modeling provides the opportunity to model effects of the learning environment at the individual level, classroom level, or at both levels simultaneously, which is the case in this study. If aggregated ratings are used, measures of their psychometric quality need to be provided. Lüdtke et al. (2009; 2006b) refer to research conducted in the context of organizational psychology; they point to the fact that it is only acceptable to aggregate individual student ratings to classroom level if there is a persuasive theoretical rationale for aggregating ratings—as it is for learning environments—and sufficient agreement among the students (or raters). Otherwise, construct validity of the aggregated student ratings is not guaranteed. Two approaches for evaluating aggregated ratings are recommended (Lüdtke, et al., 2006b): (a) the reliability of aggregated student ratings can be estimated by comparing variance within and between classes using intraclass correlation, and (b) the absolute agreement among students (or raters) within a class can be assessed using indexes of interrater agreement such as  $r_{WG}$  (James, Demaree, & Wolf, 1984).

In terms of evaluating instruments to survey learning environments using factor analysis, it is important to consider that factorial structures and meanings may differ depending on the respective level of analysis (Kunter et al., 2005; Lüdtke, Trautwein, Schnyder, & Niggli, 2007). Therefore, factorial structures should not only be investigated at the individual level but also at the classroom level. Multilevel confirmatory factor analysis (MCFA) provides the opportunity to evaluate instruments to survey learning environments simultaneously on individual and classroom levels.

### **5.3 Aims**

Based on the literature relating to representations in science and science classes and to learning environments, the aim of this study is threefold:

1. To develop an instrument to assess students' perceptions of how representations are used in their classroom,
2. To evaluate this instrument with regard to validity and reliability, and
3. To analyze factorial structures at an individual level and a classroom level using a multilevel approach to explore the hierarchical nature of classroom environments.

## 5.4 Methods and results

The present study was conducted in three phases. In phase 1, we developed items to assess the use of representations in science classes. In phase 2, we focused on item and exploratory factor analyses to provide evidence regarding composition, validity, and reliability of the instrument. In phase 3, items were revised and additional items were developed to elaborate the scales identified. We focused on a multilevel confirmatory factor analysis to document factorial structure of the instrument at both individual and classroom levels simultaneously. Furthermore, reliability and agreement of student ratings were estimated to evaluate the construct validity of aggregated ratings and discriminant validity analyses at both the individual and classroom levels were performed.

### 5.4.1 Item development

Item development was informed by theoretical assumptions about the importance of explicit instruction and the distinction among comprehending, constructing, and transforming representations. First, we chose a teaching unit from German curriculum—photosynthesis—as the disciplinary context for this study since we assumed the topic influenced the way representations are used. We believed this bioscience topic provided a rich representational environment and students would have some preliminary experience with it in earlier school levels. Second, a variety of scientific books, biology textbooks, and teaching material was screened in order to investigate how photosynthesis can be represented and which modes of representations are commonly used. This survey led us to focus on verbal representations including terms and texts, visual representations including realistic and logical pictures<sup>11</sup>, and symbolic representations including chemical symbols and equations. Third, an extensive literature review was performed to identify features of these representations and related classroom characteristics that are important for teaching and learning (Nitz, Nerdel, & Prechtel, submitted). This literature review revealed the importance of an active way of dealing with representations within a sociocognitive context and established the following categories that were used to guide the development of individual items for the preliminary instrument:

- (1) Students interpret and construct actively
  - a. Verbal representations (texts, 8 items, *interpretation and construction of verbal representations*)

---

<sup>11</sup> Realistic and logical pictures are both depictional representations. Depictions are spatial configurations that represent a subject with structural similarities between the object and the representation. In realistic pictures, such as photographs and drawings, the similarity between the object and the representation is concrete. In logical pictures, such as diagrams and graphs, the similarity is abstract (Schnotz, 2001).

- b. Visual representations (logical and realistic pictures, 15 items, *interpretation and construction of visual representations*)
  - c. Symbolic representations (chemical equations, sum formulae, structural formulae, 6 items, *interpretation and construction of symbolic representations*)
- (2) Students use multiple external representations and translate among them (17 items, *use and translation of multiple external representations*)
  - (3) Focusing on most important terms of a specific topic in class (5 items, *amount of terms*)
  - (4) Explicit differentiation between everyday and scientific language (9 items, *everyday vs. scientific language*)
  - (5) Facilitate negotiation of meanings among students<sup>12</sup> in a way that active social construction of knowledge is possible (7 items, *active social construction of knowledge*)

The first author, who has a substantive biological science background, developed and adapted 125 items in total. Items for the *active social construction of knowledge* were adapted from the German COACTIV-study<sup>13</sup> (Baumert, et al., 2009). The items were evaluated for writing style and content by an experienced German biology teacher and two experienced science educators (co-authors), who both have a substantive biological science background. In phase 2, 67 items were selected by the authors for inclusion in the instrument; these items were distributed across the five categories and related subcategories (see above). The instrument was then administered to secondary students with recent photosynthesis instruction. The students were asked to rate their instruction related to each item on a 4-point Likert scale (never – seldom – sometimes – regularly) that was adapted from the German COACTIV-study (Baumert, et al., 2009). Definitions of and examples for the different representations were given in the instrument's introduction. Students were informed that there were no correct or incorrect answers so as to minimise bias in their responses.

<sup>12</sup> This category is based on social constructivism and social semiotics in which meaning making is a social negotiation (Lemke, 1990; Mortimer & Scott, 2000; Scott, 1998). Items adapted for this category indicate classroom situations in which students can engage actively in negotiating meaning.

<sup>13</sup> The COACTIV-study (COACTIV: Professional competence of teachers, cognitively activating instruction, and development of students' mathematical literacy) was conceptually and technically embedded in the German extension to PISA 2003 and dealt with the relationships among professional competence of teachers, cognitively activating instruction, and development of students' mathematical literacy.

## 5.4.2 Exploratory factor and item analyses

In this phase, we explored the underlying factorial structure of the instrument (Nitz, Nerdel, et al., submitted). This phase included exploratory factor analysis to establish factorial validity, analyzing correlations among factors to estimate discriminant validity, and internal consistency analysis to determine the instrument's reliability using statistical procedures in SPSS 15.

### 5.4.2.1 Sample

The instrument was administered in seven Grade 11 biology classes from four different urban and rural secondary schools (academic track, *Gymnasium*) in Germany. In all participating classes, the teaching unit on photosynthesis was recently completed. In total, 175 students (51% female, 49% male) aged 15 to 19 ( $M = 16.7$ ,  $SD = 0.6$ ) participated in this study, which reflects approximately the gender distribution of the German academic track. The classes had been taught by their respective biology teacher for nearly a full year ( $M = 0.95$ ,  $SD = 0.84$ ) at the time of data collection. Therefore, both teachers and students were familiar with the classroom environments. The students' responses were explored with standard statistical analyses to establish the psychometrics of the instrument.

### 5.4.2.2 Factor structure and factorial validity

An exploratory factor analysis was used by Nitz, Nerdel et al. (submitted) to investigate the factorial validity by exploring the underlying factor structure of the responses to the 67 items. To determine the number of factors to extract, parallel analysis (PA) and Velicer's minimal average partial correlation (MAP) tests were performed using the SPSS syntax provided by O'Connor (2000). A factor analysis (principle axis factoring) with constraints to six factors including 32 items and using a promax rotation yielded the best results in terms of being interpretable theoretically and showing simple structure (Nitz, Nerdel, et al., submitted). If simple structure is present, factors are clearly marked by various variables that load highly onto each factor and variables that load highly onto more than one factor (complex variables) are minimised (Tabachnick & Fidell, 2007). The simple structure of the rotated factor solution was confirmed by hyperplane count (Cattell, 1966; Ferguson & Cox, 1993) and Kaiser's index of factorial simplicity (IFS, Kaiser, 1974): Kaiser's IFS was .89, which is meritorious and the hyperplane count of 74% indicated simple structure.

Factor 1 represents if the *interpretation of visual representations* is taught explicitly in class covering both realistic and logical pictures whereas Factor 2 represents the *construc-*

tion of visual representations by the students themselves. Factors 3 and 6 deal with verbal representations. The items constituting Factor 3 indicate the *use of scientific texts* in class in terms of both constructing and comprehending texts. Factor 6 represents the *amount of terms* used in science class. Factor 5 indicates the *use of symbolic representations* in science class covering both interpreting and constructing symbolic representations (i.e., chemical symbols and chemical equations). Items of Factor 4 all originated from the adapted active social construction of knowledge scale and indicate if opportunities for students to work together autonomously were given in class; therefore, Factor 4 covers *active social construction of knowledge*. The six factors explained 50% of variance; all remaining items had a factor loading of at least 0.50 on their own factor (except item *convis9*, which exceeded the 0.30 minimum loading) and less than 0.50 on other factors. The factor analysis justified a refined instrument with fewer items and fewer scales. Nonetheless, the scales reflect theoretical assumptions and *a priori* categories for the most part. Overall, these data support factorial validity of the instrument.

#### 5.4.2.3 Discriminant validity and reliability

The discriminant validity of the scales was estimated by determining the mean correlation of each scale with all the other scales. If each scale represents a different construct, then the coefficients should be low. Discriminant validity coefficients ranged from 0.01 to 0.27 which is comparable to the discriminant validity of other classroom environment instruments as reported in Fraser (1998) and indicate that each scale measures different but slightly overlapping dimensions. Cronbachs  $\alpha$  coefficients were used to determine the internal consistency of each scale. The Cronbachs  $\alpha$  coefficients were satisfactory and ranged from 0.68 to 0.88. Overall, the data in Table 10 support discriminant validity and reliability of the instrument.

Table 10: Discriminant validity and internal consistency reliability for each scale of the instrument in phase 2

Scale (number of items)	Mean correlation with other scales	Cronbachs $\alpha$ coefficient
Interpretation of visual representations (8)	0.08	0.88
Construction of visual representations (9)	0.27	0.87
Use of scientific texts (5)	0.25	0.81
Amount of terms (3)	0.01	0.68
Use of symbolic representations (4)	0.11	0.69
Active social construction of knowledge (3)	0.20	0.77

Note. Level of analysis was individual level.

### 5.4.3 Revision of instrument

Analyses of the instrument undertaken in phase 2 yielded a refined instrument with 32 items clustered into six scales (Nitz, Nerdel, et al., submitted). The structure differed slightly from the five proposed theoretical categories and subcategories. The categories *use and translation of multiple external representations* and *everyday vs. scientific language* could not be isolated in the factor analysis. The categories *interpretation and construction of verbal representations*, *visual representations*, and *symbolic representations* as well as *active social construction of knowledge* and *amount of terms* were found content-wise in the factor analysis. There were slight structural differences from the proposed pattern as two separate factors for the *interpretation and construction of visual representations* were found. Statistical analyses established factorial validity, discriminant validity, and reliability for these scales. However, item distribution among the scales was somewhat unbalanced (e.g., *amount of terms* with three items and *construction of visual representations* with nine items). Therefore, additional items were developed to elaborate the scales identified and to establish an item pool (item wordings are given in 9.3.1, p. 125).

The scales *interpretation of visual representations* (8 items; 3 dealing with realistic pictures, 5 dealing with logical pictures) and *construction of visual representations* (9 items; 2 dealing with realistic pictures, 5 dealing with logical pictures, 2 dealing with both) were used as documented for phase 3. We developed one more item dealing with the comprehension of scientific texts in science class for the scale *use of scientific texts*, which resulted in a scale with 6 items (3 dealing with interpretation, 3 dealing with constructing scientific texts). We added 4 items to the scale *amount of terms*, resulting in 7 items reflecting students' perception of the amount of terms used in class. We developed 3 additional items for the scale *use of symbolic representations*, yielding 7 items including 4 dealing with chemical equations (2 on interpretation, 2 on constructing) and 3 items dealing with the use of chemical symbols. Although exploratory factor analysis only included 3 items in the scale *active social construction of knowledge*, we used all 7 items from the original scale (adapted from German COACTIV study) in phase 3 because it had shown strong validity and high reliability in an earlier study (Baumert, et al., 2009).

### 5.4.4 Confirmatory factor analyses of the revised instrument

Confirmatory factor analyses were conducted to analyze the factorial structure at individual level (CFA) and at both individual and classroom levels simultaneously (MCFA) using MPlus 6.11 and following the procedures described by Muthén (1994). To assess the goodness of fit for the models multiple fit indices [ $\chi^2$  likelihood ratio statistic, comparative fit

index (CFI), root-mean-square-error of approximation (RMSEA), and the standard root mean residual (SRMR)] were applied as recommended in the literature (e.g., Hu & Bentler, 1999). To indicate a close model fit the  $\chi^2$  value should be small relative to its degrees of freedom ( $\chi^2/\text{df} \leq 2$  for a close fit, Byrne, 1989, as cited in Weiber & Mühlhaus, 2010) and not statistically significant. However, as it is influenced by sample size it may be statistically significant when sample sizes are large although the model is correct. Regarding the thresholds of the other fit indices we were guided by Hu & Bentler's (1999) recommendations: Values close to 0.95 or higher for CFI, 0.06 or less for RMSEA, and 0.08 or less for SRMR indicate a close fit of the model.

We chose three and four items, respectively per latent factor from the revised item pool which yielded in an economic, yet still efficient instrument with 21 items and a balanced item distribution across all six established factors. Items were chosen based on theoretical considerations (content validity) and empirical findings (factor loadings in phase 2). To more fully establish the psychometrics of the revised instrument the reliability of aggregated students' ratings was established by estimating interrater reliability and discriminant validity analyses at both the individual and classroom level were performed.

#### **5.4.4.1 Sample**

The revised instrument was administered in 45 Grade 11 and 12 biology classes of 20 different secondary schools (academic track) in both urban and rural school districts. In all participating classes, the teaching unit on photosynthesis was recently completed so that each respondent was a reasonable judge of the use of representations in this specific topic. The sample comprises 931 students (61% female, 39% male) aged 16 to 24 ( $M = 17.8$ ,  $SD = 0.72$ ). Most classes had been taught by their respective biology teacher for at least half a year (97%) at the time of data collection. The students' responses were explored with statistical analyses to establish the psychometrics of the instrument. In the confirmatory factor analyses, responses with missing answers were listwise deleted resulting in 626 analyzed cases.

#### **5.4.4.2 Confirmatory factor analysis**

In a first step, a single-level CFA with robust maximum likelihood estimation (MLR) and adjusted standard errors to take into account nested data was used to examine the proposed model with six factors. Fit indices (see Table 11) indicate a good model fit for this model. Although the  $\chi^2$  value is significant, all other fit indices were within recommended thresholds ( $\chi^2/\text{df} < 2$ ,  $\text{CFI} > 0.95$ ,  $\text{RMSEA} < 0.06$ ,  $\text{SRMR} < 0.08$ ). All items had statistically significant factor loadings on the factor they were assigned to which ranged between 0.39

and 0.84 (see Table 14 for standardised loadings). The correlations between the factors were positive (0.11 – 0.69) and statistically significant except for the factor *amount of terms* that only correlated with the factor *interpretation of visual representations* (see Table 12). Overall, this data supports the established six factors of the instrument. However, this analysis is based on the total covariance matrix and does not take the two-level structure of our data into account. Therefore, we also ran MCFA for which the covariance matrix is decomposed into between-classes and pooled within-classes covariance matrices.

Table 11: Fit indices for single-level confirmatory factor analysis (CFA; six factorial model) and multilevel confirmatory factor analysis (MCFA; six factorial model at both levels) of the instrument in phase 3

	$\chi^2$ , df	$\chi^2/df$	RMSEA	CFI	SRMR	
CFA	247.66, 174	1.42	0.026	0.978	0.036	
MCFA	547.15, 351	1.56	0.030	0.947	within 0.038	between 0.105

Table 12: Correlations among factors for single-level CFA (below diagonal) and multilevel CFA (above diagonal, within/between)

	IntVis	ConstVis	Texts	Terms	Sym	Asc
IntVis		0.44/0.45	0.39/0.54	-/-	0.42/0.46	0.30/0.42
ConstVis	0.44		0.64/0.77	-/-	0.42/0.32	0.45/0.50
Texts	0.43	0.69		-/-	0.36/0.35	0.49/0.75
Terms	0.11	-	-		-/-	-/-
Sym	0.42	0.39	0.36	-		0.20/-
Asc	0.32	0.45	0.62	-	0.23	

Note: Only correlations with  $p < 0.05$  are shown.

IntVis: Interpretation of visual representations, ConstVis: Construction of visual representations, Texts: Use of scientific texts, Terms: Amount of terms, Sym: Use of symbolic representations, Asc: Active social construction of knowledge

#### 5.4.4.3 Multilevel confirmatory factor analysis

To investigate effects at the classroom level, there must be systematic variations among classes and sufficient agreement within classes. Therefore, the variability between and within classes on observed items was determined before conducting the MCFA. Our analyses were guided by recommendations described in Lüdtke et al. (2009; 2006a). Two analyses were conducted to explore the assumption that systematic variations among classes and sufficient agreement among students within a classroom were present as a prerequisite for using aggregated student ratings (Lüdtke, et al., 2006b). The intraclass correlation ICC(1) indicates the amount of variation between classes and the degree of clustering within classes. Furthermore, the absolute agreement within a classroom was assessed by estimating an index of interrater agreement ( $r_{WG(j)}$ ).

**ICC(1) and Interrater Agreement.** ICC(1) is based on a random effects model and relates the variance between classes to the total variance (between and within). ICC(1) is a measure of effect size estimating to which extent the learning environment affects individual ratings with values of 0.01 indicating a small effect of the learning environment, values of 0.10 a medium effect, and values of 0.25 a large effect (LeBreton & Senter, 2008). The ICC(1) values indicate medium learning environment effects on the individual ratings for the scales *interpretation of visual representations* and *amount of terms*, medium to large effects for the scales *construction of visual representations*, *use of scientific texts*, and *use of symbolic representations* and a large effect for the scale *active social construction of knowledge* (see Table 13).

Table 13: Intraclass correlations [ICC(1), ICC(2)], index of interrater agreement ( $r_{WG(j)}$ ), internal consistency reliability (Cronbachs  $\alpha$ ) and discriminant validity for each scale of the instrument in phase 3

Scale (number of items)	ICC(1)	ICC(2)	$M r_{WG(j)}$ (range)	$\alpha$	Mean correlation	
					w	b
Interpretation of visual representations (4)	0.12	0.75	0.85 (0.56, 0.98)	0.71	0.31	0.37
Construction of visual representations (4)	0.22	0.83	0.78 (0.47, 0.99)	0.83	0.39	0.41
Use of scientific texts (4)	0.23	0.94	0.78 (0.58, 0.90)	0.63	0.38	0.48
Amount of terms (3)	0.14	0.71	0.57 (0.00, 0.87)	0.83	0	0
Use of symbolic representations (3)	0.20	0.95	0.69 (0.37, 0.92)	0.70	0.28	0.23
Active social construction of knowledge (3)	0.37	0.95	0.72 (0.11, 0.99)	0.79	0.29	0.33

Note:  $\alpha$ : Cronbachs  $\alpha$ , w: within, b: between  
 ICC(1) reflects the average ICC(1) for a scale based on ICC(1) values for each item within a scale. ICC(2) was calculated based on model results using the within and between variances of the latent variables and applying the Spearman-Brown-formula. Negative values of  $r_{WG(j)}$  were replaced by zero (this was the case in one class for the scales *amount of terms* and *active social construction of knowledge*).

To investigate effects at the classroom level, there must be systematic variations among classes; that is the case in this study: between 12% and 37% of the variance in student ratings is between classes. Results for ICC(1) show that the aggregated student ratings of the learning environment distinguish reliably between classes.

The interrater agreement index  $r_{WG(j)}$  is the proportion of the observed variance between the students, which should be low assuming high agreement, and a benchmark variance of a null distribution. High  $r_{WG(j)}$  values indicate that the agreement within the class is stronger than expected on the basis of the null distribution. Means of  $r_{WG(j)}$  (Table 13)

exceeded the critical values of 0.51 and 0.71 respectively and indicate at least medium agreement within classes on all scales and strong agreement on the scales *interpretation of visual representations*, *construction of visual representations*, *use of scientific texts*, and *active social construction of knowledge* (LeBreton & Senter, 2008). These results indicate a sufficient agreement among students within a classroom.

Overall, the data reported in this section support the assumption of systematic variation among classes and sufficient agreement among students within a classroom. Therefore, it is acceptable to aggregate student perceptions of the learning environment and to investigate effects at the classroom level.

**MCFA.** MCFA was used to examine whether the proposed six-factorial structure is desirable at both individual and classroom level. A model with six factors at the individual and six factors at the between level was specified. Factor loadings and correlations were freely estimated across level and the Mplus robust maximum likelihood estimator (MLR) was used. Results indicated an acceptable fit of this model to the data. The  $\chi^2$  value is significant, but the ratio of  $\chi^2$ -value and the degrees of freedom is below the cut-off value. The RMSEA points to a close model fit lying clearly below the threshold of 0.06, whereas the CFI is close to the threshold of 0.95 indicating an acceptable model fit overall. The SRMR fit indices at each level show that the fit of the within part of the model is better than the between part of the model. The SRMR for the between level fails to fall below the threshold for close model fit. However, Homburg, Pflesser & Klarmann (2008, as cited in Weiber & Mühlhaus, 2010) reported that SRMR values of 0.10 may still indicate an acceptable fit of the model. All items loaded significantly on the factor they were assigned to at both levels. Standardised factor loadings ranged from 0.29 to 0.80 at the within level and from 0.61 to 1.00 at the between level (see table 14). Correlations among factors were similar to results of CFA (see table 3). At the within level, all factors showed significant positive correlations (0.20 – 0.64) except the factor *amount of terms*. At the between level, correlations ranged from 0.32 to 0.77. Again, the factor *amount of terms* showed no significant correlations with other factors. The factors *active social construction of knowledge* and *use of symbolic representations* also do not correlate with each other.

Table 14: Standardised parameter estimates for single-level CFA and multilevel CFA

Item	interpretation of visual rep.		construction of visual rep.		use of scientific texts		use of symbolic representations		amount of terms		active social construction		Residual variance				
	CFA	MCFA	CFA	MCFA	CFA	MCFA	CFA	MCFA	CFA	MCFA	CFA	MCFA	CFA	MCFA			
	w	b	w	v	w	b	w	b	w	b	w	b	w	b			
intvis1 <sup>14</sup>	0.73	0.71	0.94										0.47	0.50	0.11		
intvis2	0.61	0.59	0.88										0.62	0.65	0.23		
intvis3	0.62	0.56	1.00										0.62	0.68	(-) <sup>a</sup>		
intvis4	0.53	0.43	0.92										0.72	0.81	0.23		
constvis1			0.78	0.75	0.95								0.40	0.44	0.09		
constvis2			0.79	0.73	0.98								0.38	0.47	0.04		
constvis3			0.65	0.54	1.00								0.58	0.71	(-) <sup>a</sup>		
constvis4			0.76	0.71	0.92								0.42	0.50	0.15		
text1					0.69	0.56	0.93							0.53	0.68	0.14	
text2					0.63	0.54	0.95							0.60	0.70	0.10	
text3					0.48	0.39	0.75							0.77	0.85	0.44	
text4					0.39	0.29	0.61							0.85	0.91	0.63	
sym1							0.75	0.68	1.00					0.44	0.54	(-) <sup>a</sup>	
sym2							0.67	0.63	0.89					0.55	0.61	0.20	
sym3							0.59	0.49	0.95					0.65	0.76	0.10	
terms1									0.79	0.77	0.97			0.38	0.41	0.06	
terms2									0.83	0.80	0.96			0.32	0.36	0.08	
terms3									0.77	0.75	0.92			0.40	0.44	0.16	
asc1												0.84	0.70	0.98	0.30	0.50	0.04
asc2												0.72	0.60	0.98	0.46	0.64	0.04
asc3												0.72	0.49	0.97	0.49	0.76	0.06

Note: w: within, b: between, a. Residual variances were fixed to 0. Factor loadings were fixed to 1 for the first item of each scale.

<sup>14</sup> Itemwortlaute finden sich im Anhang, siehe 9.3.2, S. 125

#### **5.4.4.4 Discriminant validity and reliability**

The discriminant validity of the scales was determined separately for each level of analysis by using the mean correlation of each scale with all the other scales. The coefficients should be low, assuming that each scale represents a different construct. At the within level, mean correlations ranged from 0.00 (*amount of terms*) to 0.39 (*construction of visual representations*) and at the between level from 0.00 (*amount of terms*) to 0.48 (*use of scientific texts*). The coefficients lie well within the range reported for other classroom learning environments (see Fraser, 1998). Those results indicate that each scale measures different but overlapping dimensions.

The reliability of each scale was evaluated at the individual level using Cronbachs  $\alpha$  coefficients and at the classroom level using ICC(2). The Cronbachs  $\alpha$  coefficients ranged from 0.63 to 0.83 and were, therefore, acceptable (see Table 13). For calculating the ICC(2) by using the Spearman-Brown-formula, the within and between variances of the latent variables obtained from the MCFA and the mean class size were used. ICC (2) estimates the reliability of the class-mean rating and the values of ICC(2) indicate that the reliability of the aggregated student ratings is satisfactory in this study as they all exceed the critical value of 0.70 (see Table 13, Lüdtke et al., 2006; 2009). Overall, the data in Table 13 support discriminant validity and reliability of the instrument at both levels of analysis.

## **5.5 Discussion**

The study aimed to develop and verify an instrument to assess students' perceptions of how representations are used in their classroom. For further validation and exploration of the factorial structures at individual and classroom levels, multilevel analyses were performed to establish the potential use of the instrument in hierarchical studies. How representations are used in class is an important feature of the learning environment for which an economic assessing instrument previously has not existed. Taken together, results support a six factor structure at individual and classroom level and showed that relations among items and their corresponding factors were not different across levels which support the construct validity of the instrument. Furthermore, the instrument showed discriminant validity and acceptable reliability at each level.

Regarding the reliability of the instrument at the individual level, the factor *use of texts* might be needed to be reconsidered as Cronbachs  $\alpha$  fell below the often used cut-off value of 0.70. However, it must be noted that this factor only consists of 4 items and an earlier version with five items (see phase 2) showed strong internal consistency. Further-

more, the reliability of this factor is not compromised at the classroom level. The values for Cronbachs  $\alpha$  throughout this study are in the same range as reported by Fraser (1998) for a variety of classroom learning environments. We therefore think it is acceptable to include the factor as it is in the instrument.

A methodological issue related to multilevel modeling that needs to be addressed is the sample size used in the current study, especially at the classroom level. For multilevel modeling different recommendations regarding the number of units at level 2 can be found: 30-50 (Muthén & Muthén, 2007, cited in Dedrick & Greenbaum, 2011), at least 50 (Lüdtke, et al., 2007) or 100 units (Hox & Maas, 2001). Although the number of level 2 units with 45 classes at level 2 in this study is within the minimal recommendations, further analyses of the instrument using more level 2 units would provide greater power to establish the validity of the instrument, especially for the between part of the model. Dedrick & Greenbaum (2011) pointed out that the issue of sample sizes in multilevel modeling has not been resolved and further simulations studies are needed to determine how estimates and standard errors are affected by small sample sizes. However, the six factorial structure is stable across the conditions of phase 2 and phase 3 of this study, we therefore conclude that the instrument's validity is supported.

The developed and tested scales can be useful to science educators and teachers for assessing and evaluating the quality of specific learning environments regarding the use of representations. The instrument was tested in the context of biology education, but we think that it is applicable to other science domains. However, this has not been tested so far.

Science educators could use this instrument to explore further the relationships among the quality of the learning environment regarding the use of representations and students' representational competence. Class results can be compared as the factor structure at the classroom level was established. Because the instrument is easy to administer and analyze, teachers could use it for self-study and evaluation. Classroom profiles that show how often the diverse representations are used in class could possibly support teachers in planning and optimizing future instruction, bearing in mind that explicit instruction about representations is needed to foster students' representational competence (Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrip, 2006; Tytler, et al., 2006; Waldrip, et al., 2006).

## 6 Studie 4: Teaching representations in biology class and the development of students' representational competence

Entsprechend des Angebots-Nutzungs-Modells von Unterricht wurde in Teilstudie 4 die Auswirkung der Prozessqualität des Unterrichts auf die Schülerleistungen untersucht. Das entwickelte und getestete Instrument wurde im Biologieunterricht der gymnasialen Oberstufe eingesetzt, um die fachspezifische Unterrichtsqualität hinsichtlich des Umgangs mit Repräsentationsformen der naturwissenschaftlichen Fachsprache zu erheben. Ziel dieser Teilstudie war es, Biologieunterricht anhand der theoretisch abgeleiteten und empirisch bestätigten Dimensionen zu beschreiben. Darüber hinaus sollte der Effekt der fachspezifischen Unterrichtsqualität auf die *representational competence* der Schüler analysiert werden. Die *representational competence* der Schüler wurde hierfür mit einem eigens entwickelten Erhebungsinstrument getestet. Aufgrund der Kontextabhängigkeit der Entwicklung von *representational competence* (Kozma & Russell, 2005) und einer möglichen Inhaltsspezifität der Verwendung naturwissenschaftlicher Repräsentationen (siehe 1.3) wurde in allen teilnehmenden 45 11. und 12. Klassen ( $N = 806$ )<sup>15</sup> als konstanter unterrichtlicher Kontext eine Unterrichtseinheit zur Fotosynthese gewählt. Um Aussagen über die Entwicklung der *representational competence* der Schüler über die Zeit der Unterrichtseinheit hinweg treffen zu können, wurde diese vor und nach der Unterrichtseinheit erhoben. Mit Hilfe von Mehrebenenregressionen wurden Effekte der fachspezifischen Unterrichtsqualität auf die Entwicklung der *representational competence* schließlich quantifiziert.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass repräsentationale Aspekte im untersuchten Unterricht relativ selten in Unterrichtsrouinen integriert sind. Die Mehrebenen-Regressionsanalysen zeigten, dass auf Schülerebene nur die wahrgenommene Anzahl der verwendeten Fachbegriffe einen positiven Einfluss auf die *representational competence* hatte. Auf Klassenebene waren nur die Praktiken im Umgang mit bildlichen Repräsentationen von Bedeutung, wobei Häufigkeit und Ausmaß von Interpretationsaspekten einen positiven, Häufigkeit und Ausmaß von Konstruktionsaspekten hingegen einen negativen Einfluss hatten. Weiterhin konnte nur eine geringe Entwicklung der *representational competence* nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse werden hinsichtlich ihrer methodischen

<sup>15</sup> In den Studien 3 und 4 wurde auf Daten der gleichen Erhebung zurückgegriffen. Durch die Analyse unterschiedlicher Variablen kommt es zu einer leicht veränderten Auswahl der analysierten Schülerstichprobe.

und praktischen Implikationen bezüglich der Erhebung und Förderung von *representational competence* diskutiert.

**Abstract**

Interpreting, constructing, transforming, and evaluating different scientific representations are crucial skills for students and such representational competence is essential for doing and learning science. This study analysed existing teaching practices concerning the use of visual, verbal and symbolic scientific representations in biology classes and how these impact on the development of students' representational competence over the time of a teaching unit. Participants were 806 students in 45 classes of German secondary school. Results showed that representational aspects of biology were only moderately included in teaching practices and typically did not help students to effectively build rich representational competence. A multilevel regression analyses revealed that only the perceived use of scientific terms and the use of visual representations impacted on the development of students' representational competence. Methodological and practical implications of these findings are discussed with regard to assessment and support of the development of representational competence in the classroom.

Keywords: Representational competence, teaching practices, instructional quality, assessment

## 6.1 Introduction

One of the main goals of science education is to enable students to participate effectively in decision-making and public debate regarding scientific issues. To be scientifically literate, students need to be supported in reading, writing, and communicating in science (Krajcik & Sutherland, 2010; Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2007). Reading, writing, and communicating in science do not only rely on verbal discourse and written text. Science is instead a rich multimodal discourse utilising a variety of representations (e.g., graphs, diagrams, maps, symbols, formulae) and so interpreting, constructing, transforming, evaluating, and using different scientific representations are crucial skills for students (Kress, et al., 2001; Lemke, 2004; Tang & Moje, 2010; Yore & Hand, 2010). These skills have been referred as associated with representational competence (Kozma, et al., 2000; Kozma & Russell, 1997, 2005) and meta-representational competence (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000) and contribute to being scientifically literate. Scientific literacy thus comprises the interacting dimensions of fundamental literacy including the abilities to construct and interpret scientific discourses and the derived understanding about the principles and foundations of science (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2007).

There is a growing body of studies that explored how aspects of representational competence are influenced by design factors of representations or by the strategies students use to reason with representations (e.g., Canham & Hegarty, 2010; Kozma, 2003; Kozma & Russell, 1997; Stieff, 2011; Stieff, Hegarty, & Deslongchamps, 2011). However, only a few studies have analysed how teaching practices in authentic classroom settings affect representational competence (Hubber, et al., 2010; Kohl & Finkelstein, 2006; Prain & Waldrip, 2006; Tytler, et al., 2006; Tytler, Prain, & Peterson, 2007; Waldrip, et al., 2006). This is particularly surprising as there is strong evidence that students' cognitive and affective outcomes are in general influenced by teaching practices and instructional quality (e.g., Fraser, 2003, 2007; Frenzel, Pekrun, & Goetz, 2007; Kunter, Baumert, & Köller, 2007; Lipowsky, et al., 2009; Schroeder, et al., 2011). Therefore, we argue that it is crucial to incorporate an explicit representational focus in teaching and learning science as a part of domain-specific instructional quality in order to develop students' representational competence. The purpose of this study was to analyse how scientific representations were used in biology classes and explore how this impacted on students' representational competence. In view of the fact that school settings possess a hierarchical nature with students being nested in classes, we chose a multilevel approach to disentangle student and class effects. In the following sections, we elaborate on the concepts of representational and

meta-representational competence highlighting differences and similarities between these two concepts and subsequently describe the relevance of representations and representational competence for science teaching and learning.

## 6.2 (Meta-) Representational competence

There is consensus among researchers that teaching and learning science involves a variety of external scientific representations comprising inter alia verbal, visual and symbolical modes in multi-representational learning environments (Ainsworth, 1999, 2006; Kress, et al., 2001; Lemke, 2004; Yore & Hand, 2010). Therefore, the development of abilities for dealing and reasoning with scientific representations is crucial for learning science. The concepts representational competence (Kozma, et al., 2000; Kozma & Russell, 1997, 2005) and meta-representational competence (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000) are related to these abilities as both describe skills for interpreting, constructing, transforming, evaluating, and using different representations. Despite differences between representational and meta-representational competence it is possible to classify the skills described by Kozma & Russell (1997, 2005) and diSessa (2004; diSessa & Sherin, 2000), respectively, in terms of six common categories: Interpretation (syntactic & semantic) and construction of representations, translation among representations, comparison and critique of representations, understanding of epistemology and functioning, and use of representations in argumentation. The skills incorporated in representational and meta-representational competence as described by the respective authors as well as the synthesis of common categories can be found in Table 15.

Although both concepts seem to describe similar skills, they are in fact distinguishable along the dimension of domain expertise. Meta-representational competence describes skills applicable across domains in terms of students' knowledge about *any* representation; aiming at skills beyond the mere reproduction and interpretation of already instructed or established representations (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000). Studies conducted within a meta-representational approach emphasise students' developmental (native) resources and intuitive skills when dealing with representations, in particular inventing and evaluating representations (constructive and critical resources; Azevedo, 2000; diSessa, 2002, 2004; diSessa, et al., 1991; diSessa & Sherin, 2000; Elby, 2000; Sherin, 2000). Regarding instruction and teaching practices in middle and secondary school—though normally arranged domain-specifically—meta-representational competence might still provide instructional insights and be an important influence as students come to science classes with intuitive ideas and conceptions about representations in general. These pre-existing ideas

could interact with science instruction potentially leading to misinterpretations of scientific representations (Stieff, 2011).

Table 15: Comparison of representational competence (Kozma & Russell, 1997; 2005) and meta-representational competence (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000) and synthesis of joint categories to describe representations skills [emphases added]

Representational competence	Category	Meta-representational competence
Identify, describe and analyse features of representations	<b>Syntactic &amp; semantic interpretation</b>	Explain representations
Use representations to describe scientific phenomena in terms of underlying concepts and principles		Produce representations
Generate or select a representation	<b>Construction</b>	Invent and design new representations
Connect across different representations, map features of one type of representation onto those of another, and explain the relationship between them	<b>Translation</b>	Critique and <b>compare different</b> representations <sup>*1</sup>
Explain why a <b>particular</b> representation is appropriate for a specific purpose	<b>Comparison &amp; critique</b>	<b>Critique</b> and compare the adequacy of different representations and judge their suitability for various tasks
Compare and contrast <b>different</b> representations and their information content		
Take the epistemological position that representations correspond to phenomena but are distinct from them	<b>Epistemology &amp; functioning</b>	Understand the purpose of representations generally and in particular contexts and understand how representations do the work they do for us
Use representations and their features in social discourse to support claims, draw inferences, and make predictions	<b>Argumentation</b>	

<sup>\*1</sup> As for the comparison of different representations translational processes might be needed we associate this skill to the category of translation although not mentioned explicitly in the original paper.

Research on representational competence is, by contrast, based on ethnographic (Kozma, et al., 2000) and expert-novice studies (Kozma & Russell, 1997) situated within a specific domain addressing disciplinary skills that students should acquire to become proficient and literate in the targeted domain. Representational competence allows students to

think, communicate, and conceptualise with domain-specific concepts<sup>16</sup> (Kozma & Russell, 2005). Kozma and Russell (2005) proposed five levels of representational competence ranging from a novice surface-based depictive use of representations—via early symbolic, syntactic, and semantic use of representations—to an expert knowledge-based reflective and rhetorical use of representations. However, this developmental trajectory is likely to be neither stage-like nor automatic or uniform, and depends on the use of representations and the context of that use in learning environments. Kozma and Russell pointed out that “over time and given appropriate sets of physical, symbolic, and social situations, a student will increasingly display more advanced representational skills, come to internalise these, and integrate these into regular practice” (2005, p. 134). This pedagogical insight places special emphasis on teaching practices in instructional settings as these must provide appropriate opportunities for developing representational competence. In line with this assumption, we are interested in students' skills using scientific representations and the impact of authentic teaching practices in biology education. We therefore suggest that the concept of representational competence is more appropriate than meta-representational competence to describe the skills assessed in this study, even though meta-representational competence could play a role in science instruction as argued above. Both concepts are fruitful approaches to science education and instruction, and it is necessary to keep in mind that the interpretation, construction, translation, comparison, critique, and understanding the epistemology and function of scientific representations might include both representational and meta-representational aspects. However, it is beyond the scope of this study to disentangle effects of meta- and representational competence in science instruction.

### **6.3 Representations and representational competence in science class**

Representations and representational competence play an important role in doing and learning science. To foster the development of representational competence, it has been recommended that science instruction should provide students with opportunities to engage actively in representational tasks that make the role and function of representations explicit (Greeno & Hall, 1997; Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrip, 2006; Stieff, 2011; Tytler, et al., 2006; Waldrip, et al., 2006). In spite of this suggestion to integrate representational aspects continually and explicitly in teaching practices, only a few studies have explored how representations are actually used in science classrooms and how this is re-

---

<sup>16</sup> The conceptualisation of representational competence is transferable to other domains at least in science, e.g. biology (Halverson, 2011; Halverson, et al., 2009)

lated to students' outcomes. Kohl and Finkelstein (2006) found that an increased use of representations in a large-lecture introductory physics course led to increased representational skills. Qualitative analyses of physics teaching units provided evidence that explicit instruction and a representational focus in teaching can foster students' learning of scientific topics and deepen their conceptual understanding (Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrip, 2006; Tytler, et al., 2006; Tytler, et al., 2007; Waldrip, et al., 2006). Hubber et al. (2010) suggested that teachers need to adapt their science teaching to emphasis a representational approach based on a discursive and active view of knowledge and learning which provides a representation-rich environment with diverse opportunities for students to develop their representational competence. However, these studies did not test specifically for representational competence and focused on the rich description of the teaching practices rather than relating these to quantifiable learning outcomes. Hence, the relationship between existing teaching practices and students' representational competence needs to be further analysed and quantified.

In previous research, students' perceptions of the classroom learning environment were used to assess teaching practices regarding the use of scientific representations (Nitz, Nerdel, et al., submitted; Nitz, Prechtel, & Nerdel, submitted). From a conceptual point of view, it is argued that aggregated student ratings constitute objective indicators of teaching practices in different classrooms rather than representing individual perceptions (Kunter, Baumert, et al., 2007; Lüdtke, et al., 2009; Lüdtke, et al., 2006b). Empirical studies showed that aggregated student ratings are indeed a valid and reliable measure of teaching practices (e.g., Clausen, 2002; De Jong & Westerhof, 2001). An instrument developed by Nitz and co-workers (Nitz, Nerdel, et al., submitted; Nitz, Prechtel, et al., submitted) contains six scales that reliably describe the use of verbal, visual, and symbolical representations in biology class, namely the (1) interpretation of visual representations, (2) construction of visual representations, (3) use of scientific texts, (4) amount of (technical) terms used in class, (5) use of symbolic representations, and (6) active social construction of knowledge. Those empirical scales correspond to theoretical criteria for instructional quality (Nitz, Nerdel, et al., submitted) and reflect a holistic approach to communicating in science and scientific language (Lemke, 1998b; Yore & Hand, 2010). A growing body of literature emphasises that—in addition to the interpretation of representations—the active construction of representations is particularly important in the context of learning (Ainsworth, 2006; Ainsworth, et al., 2011; Hand, Prain, Lawrence, & Yore, 1999; Yore & Hand, 2010). Therefore, the instrument covers if and to what extent the interpretation and

construction of visual (including realistic and logical pictures, Schnotz, 2001), verbal (scientific texts) and symbolic (chemical symbols and equations) representations by the students themselves is addressed and taught explicitly in class. Furthermore, the instrument assesses the amount of terms (as verbal representation) used in biology class. Science, especially biology, is based on substantive terminology and studies have shown that the use of too many terms in class can overwhelm students causing difficulties in understanding (Berck & Graf, 1992; Merzyn, 1996; Wellington & Osborne, 2001). In line with social semiotics and a discursive and active view of learning, an important feature of learning environments is to provide opportunities to negotiate meanings among students in the sense of an active social construction of knowledge (Lemke, 1990; Mortimer & Scott, 2000; Scott, 1998). This aspect is therefore included in the instrument represented as the extent to which students are allowed to work together autonomously in class.

#### **6.4 Research questions**

Representational competence is a crucial factor for learning and doing science with regard to scientific literacy (Norris & Phillips, 2003; Yore, et al., 2007). Previous studies emphasised the importance of adequate learning opportunities to develop students' representational competence (Greeno & Hall, 1997; Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrip, 2006; Stieff, 2011; Tytler, et al., 2006; Waldrip, et al., 2006). However, research that studied instructional approaches in science education—predominantly in physics education—in terms of representational competence focused on the rich description of the teaching practices rather than relating this to quantifiable learning outcomes (Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrip, 2006; Tytler, et al., 2006; Tytler, et al., 2007; Waldrip, et al., 2006). We therefore suggest that how representations are dealt with in biology class and the impact of explicit representational instruction to foster students' representational competence need further exploration and documentation. Kozma & Russell (2005) pointed out, that the development of representational competence is dependent on the context. Consequently, we focused all of our work within the same teaching unit (photosynthesis) in biology education. Thus, the research question addressed is how visual, verbal and symbolic representations are used in biology instruction and if there are meaningful variations among classes in teaching practices concerning the use of representations. Furthermore, we are fundamentally interested in the relationship between these teaching practices and the development of students' representational competence: i.e., does the teaching practice concerning the use of representations in biology class impact on the development of students' representational competence? In line with previous research on the impact of teaching practices and

on the importance of adequate learning opportunities in general, we hypothesised that there would be a positive effect of the frequency and extent to which representations are used in class on the development of students' representational competence. Furthermore, we want to further explore if the subcategories identified in previous studies (Nitz, Nerdel, et al., submitted; Nitz, Prechtel, et al., submitted) and described in chapter 6.3 impact differently on students' representational competence.

## 6.5 Method

### 6.5.1 Sample

This study was conducted in 45 grade 11 and 12 classes of 20 different German secondary schools (academic track). The participating schools were selected from both urban and rural school districts. In total, 806 students (61% female, 39% male) aged 16 to 24 years ( $M = 17.8$ ,  $SD = 0.7$ ) participated in this study. Nearly all participating classes had been taught by their respective biology teacher for at least half a year (97%) at the time of data collection. Therefore, both teachers and students were familiar with the classroom environments. The mean number of students per class was 14.

### 6.5.2 Measures

#### 6.5.2.1 *Teaching practices regarding the use of scientific representations*

Teaching practices regarding the use of scientific representations in class were assessed using student ratings (Kunter & Baumert, 2006). Students were requested to rate 21 items on six scales developed by Nitz, Prechtel, et al. (submitted) on a 4-point scale ranging from 1 = "never" to 4 = "regularly" to document their perceptions of how frequently and to what extent the following aspects occurred in teaching practices: (1) interpretation of visual representations, (2) construction of visual representations, (3) use of scientific texts, (4) amount of (technical) terms used in class, (5) use of symbolic representations and (6) active social construction of knowledge. Items for the scale active social construction of knowledge were adapted from the COACTIV-study (Baumert, et al., 2009). The six-factorial structure of the instrument was established by exploratory factor analysis (Nitz, Nerdel, et al., submitted) and confirmed by multilevel confirmatory factor analysis at individual and classroom levels (Nitz, Prechtel, et al., submitted). In order to obtain classroom level variables in this study, class means of individual student ratings on each scale were used. All scales used in this study showed satisfying reliability on both individual level

(measured as Cronbachs  $\alpha$ ) and classroom level (measured as ICC<sub>2</sub>, see Table 16) as well as discriminant and construct validity (Nitz, Precht, et al., submitted).

Table 16: Employed scales with sample items, reliability coefficients (Cronbachs  $\alpha$ , ICC<sub>2</sub>), intra-class correlations, and descriptive statistics for individual and class level

Scale	Sample item	$\alpha$	ICC <sub>1</sub>	ICC <sub>2</sub>	<i>M (SD), range, valid n</i>	
					Individual level	Class level
IntVis (4 items)	We practice how to obtain information from graphs.	0.71	0.18	0.76	3.38 (0.54) 1-4, 676	3.40 (0.27) 2.83-3.90, 45
ConstVis (4 items)	We create graphs on our own in biology class.	0.83	0.30	0.86	2.25 (0.74) 1-4, 668	2.29 (0.45) 1.05-3.34, 45
Texts (4 items)	We write our own short scientific texts on biological topics in class.	0.63	0.35	0.89	2.61 (0.63) 1-4, 675	2.65 (0.40) 1.58-3.45, 45
Terms* (3 items)	Too many technical terms are used in one lesson.	0.83	0.14	0.70	2.78 (0.83) 1-4, 664	2.76 (0.38) 1.86-3.36, 45
Sym (3 items)	Our biology teacher explicitly addresses the handling of reaction equations in class.	0.70	0.27	0.84	2.60 (0.73) 1-4, 667	2.62 (0.43) 1.72-3.51, 45
Asc (3 items)	We present results found in team work, individual work and project work in biology class.	0.79	0.50	0.93	2.69 (0.82) 1-4, 674	2.71 (0.60), 45 1.02-3.70

Note: N = 806, 45 classes

*IntVis*: Interpretation of visual representations, *ConstVis*: Construction of visual representations, *Texts*: Use of scientific texts, *Terms*: Amount of terms, *Sym*: Use of symbolic representations, *Asc*: Active social construction of knowledge

\* Items were recoded, thus high values represent the use of less terms in class.

ICC(1): Proportion of variance explained by class membership

ICC(2) was calculated based on ICC(1) and the average class size (14.31) applying Spearman-Brown equation.

### 6.5.2.2 Representational competence

Representational competence is a complicated and broad construct; therefore we decided to focus on single aspects of that concept for developing a measure of students' skills to use scientific representations that is applicable in science classrooms. We focused on the transformation of scientific information between at least two different modes of representation. We set this focus because both comprehension of a given representation and the construction or selection of another representation are necessary (but not sufficient) to transform information. The measure incorporated the following skills described by Kozma & Russell (2005) (see Table 15): use representations for describing scientific concepts (*interpretation*); generate and/or select a representation (*construction*); identify, describe, and analyse features of representations (*interpretation*); and connect across different rep-

representations and explain the relationship between them (*translation*). For item development, original teaching materials were analysed to identify representations that are used in instruction on photosynthesis based on the state-prescribed curriculum. These and similar representations were incorporated in 27 tasks with 45 open-ended items dealing with specific aspects of the representations or asking students to transform the given representation into another representation. For example, a text passage described the process of the Calvin cycle and students were asked to represent that information visually, or students needed to relate information obtained from a picture and text describing the outcome of the Engelmann experiment and transform this combined information into a graph. Open-ended items were used to explore students' ideas of how to represent a specific topic. These items were administered to five Grade 11 and 12 classes with 80 students in a pilot study- Students' responses were analysed to identify common difficulties and errors. Based on these analyses, distractors for multiple choice items were created and tested in three Grade 11 classes with 67 students. In the final measure, 12 tasks with 18 multiple choice items that showed satisfying difficulties in prior analyses were chosen for the main study<sup>17</sup>. These items included scientific texts, realistic pictures, logical pictures, chemical symbols and chemical equations and asked students to deal with specific aspects of the representation or translate a given representation into another one. For translation tasks, students had to choose the most appropriate representation among four given alternatives. Content-related information relevant to solve the task was given in the item stem. All items were scored dichotomously. Confirmatory factor analysis (using the WLSMV estimator in Mplus 6) was performed to establish the factorial structure of the instrument. As we administered the representational competence measure twice—before and after the teaching unit took place—we also tested for measurement invariance over time. Three items were excluded from final analysis due to insignificant factor loadings. A CFA with factor loadings and thresholds constrained to be equal over the two measurement points showed satisfying fit indices for a unifactorial solution with auto-correlated residuals ( $\chi^2(417, N = 926) = 474.01, p = 0.03, CFI = 0.920, RMSEA = 0.012$ )<sup>18</sup>. The assumption of strong factorial invariance is therefore supported (Widaman & Reise, 1997). Reliability was estimated as internal consistency (Cronbachs  $\alpha$ ) and reached 0.55 for pre- and 0.68 for post-test. The reliability—especially for the pre-test—is not yet satisfying. When interpreting these results it is necessary though to keep in mind that representational competence

<sup>17</sup> Die eingesetzten Items sind im Anhang zu finden, siehe 9.3.2, S. 131.

<sup>18</sup> Ergebnisse der CFA sind detailliert im Anhang dargestellt, siehe 9.3.2.1, S. 141.

is a heterogeneous construct which lowers the internal consistency. We therefore think that the reliability is acceptable in the context of our study.

### **6.5.3 Procedure**

The study took place within the teaching unit of photosynthesis in all 45 participating classes. An analysis of teaching materials and textbooks revealed that this bioscience topic provided potentially rich opportunities for teachers to incorporate representational aspects. Before the teaching unit on photosynthesis took place, students' representational competence was assessed using the measure described in 6.5.2.2. The measure was administered during the first lesson of the teaching unit and students had 45 minutes to answer it. Then a photosynthesis unit which was based on the state-prescribed curriculum and lasted 15 lessons on average ( $SD = 6$ ) was taught by the respective teacher. Teachers were neither advised on how to teach photosynthesis nor were given any instructional materials. They were also encouraged to teach the photosynthesis unit per their normal procedures. Afterwards, students' representational competence was assessed using the same measure during the last lesson of the teaching unit. The students were also asked to rate specific features of their teachers' instruction using the instrument described in 6.5.2.1 to assess how representations were used in the respective classes.

### **6.5.4 Statistical analyses**

Multilevel regression was used to analyse the effect of teaching practices concerning the use of representations on students' representational competence. Multilevel regression takes the nested structure of data into account and allows considering predictors on both individual (level 1) and classroom level (level 2) simultaneously and correcting standard errors (Hox, 2002; Snijders & Bosker, 1999). All models reported are random-intercept models estimated by full information maximum likelihood (FIML). In Model 1, individual student ratings for each scale were introduced as predictors at level 1 and aggregated ratings of teaching practices (mean class score on each scale) at level 2. All predictors were standardised to a common metric (z-scores) and individual student ratings were centred at the group mean as recommended by Lüdtke et al. (2009). Within-class and between-class effects on students' outcome could thus be clearly disentangled. In Model 2, we additionally included pre-test results of representational competence as predictor (z-score of mean achievement) to control for prior representational competence at both levels. Therefore, the coefficients of all other predictors represent the effect on the development of representational competence over the time of the teaching unit.

## 6.6 Results

### 6.6.1 Descriptives

The first question concerned was how visual, verbal and symbolic representations are used in teaching photosynthesis and are there meaningful variations among classes in teaching practices concerning the use of representations? Mean ratings on teaching practices scales (see Table 16) showed that fairly equal and moderate frequencies of representational aspects in teaching were found except for the scale interpretation of visual representations. The interpretation of visual representations was most commonly integrated in teaching practices as perceived by students. In contrast, the construction of visual representations occurred least often. There was also systematic variation in teaching practices concerning the use of representations across different classrooms. The intra-class correlations (see Table 16) indicate that 14 to 50% of total variance was located between classes (all between-class variances significantly differed from zero,  $p < 0.001$ ).

Mean scores of the representational competence measure showed a slight increase from Time 1 to 2 [pre-test:  $M(SD) = 6.18 (2.64)$ , post-test:  $M(SD) = 6.81 (3.08)$ ]. Nevertheless, results were very similar before and after the teaching unit and the correlation between pre- and post-test variable ( $r = 0.52$ ,  $p < 0.01$ ) indicated a moderate degree of stability: 27% of the overall variance in representational competence after the teaching unit could be attributed to prior representational competence. Intra-class correlation coefficients of 0.37 for post-test results and 0.25 for pre-test results indicate that a substantial amount of variance in representational competence could be explained by class membership. Due to this systematic variation of representational competence across different classrooms the influence of class-level variables could be relevant.

### 6.6.2 Influence of teaching practices on the development of representational competence

We used multilevel analyses to determine the effect of teaching practices concerning the use of representations in biology classes on students' representational competence. Table 17 presents standardised regression coefficients of individual and class predictors as well as the proportion of explained variance. Based on previous research, we hypothesised a positive effect of the frequency and extent to which representations are used in class on the development of students' representational competence. The results did not confirm this assumption. Turning first to the individual level in Model 1, students' representational competence was significantly related to only the students' perception of the amount of

terms used in class. Items of this scale were recoded, thus high values on this scale represent the use of less terms in class which impacts positively on students' representational competence. At class level, representational competence was significantly positively related to the frequency and extent of interpreting visual representations in class and negatively related to the frequency and extent of constructing visual representations (the use of symbolic representations with  $p = 0.058$  just failed to fall below the 5% level of significance testing).

Table 17: Multilevel regression analyses of individual and class variables on students' representational competence after the teaching unit

	Model 1		Model 2	
	b	SE	b	SE
<b>Individual level</b>				
Prior representational competence			0.36***	0.04
<i>Perception of Teaching practices</i>				
Interpretation of visual representations	0.02	0.03	0.03	0.04
Construction of visual representations	0.06	0.04	0.05	0.04
Use of scientific texts	-0.07	0.04	-0.04	0.04
Amount of terms	0.25***	0.04	0.16***	0.04
Use of symbolic representation	0.02	0.04	0.04	0.03
Active social construction of knowledge	-0.01	0.04	-0.03	0.04
<b>Class level</b>				
Prior representational competence			0.72***	0.12
<i>Teaching practices</i>				
Interpretation of visual representations	0.40***	0.12	0.19*	0.09
Construction of visual representations	-0.52**	0.19	-0.47***	0.12
Use of scientific texts	-0.13	0.18	0.06	0.14
Amount of terms	0.19	0.13	0.05	0.09
Use of symbolic representation	0.30 <sup>+</sup>	0.16	0.09	0.11
Active social construction of knowledge	0.04	0.13	0.13	0.11
<b>Explained variance (%)</b>				
Individual level	7		19	
Class level	45		83	

b = standardised regression coefficients

<sup>+</sup> $p < 0.10$ , \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$

In Model 2, we controlled for prior representational competence. As expected, prior representational competence was the strongest predictor for representational competence after the teaching unit at both individual and class level. Similar to Model 1, the perceived amount of terms exerted a positive effect on the development of students' representational competence at individual level (less terms have a positive effect). The described positive effect for interpreting visual representations and negative effect for constructing visual representations at class level also hold true when controlling for prior representational competence.

## **6.7 Discussion**

As representational competence is crucial for learning and doing science, the purpose of this study was to analyse how scientific representations are used in biology classes and how this impacts on the development of students' representational competence. We could show that representational aspects were only moderately included in teaching practices except for the interpretation of visual representations and that there were systematic variations among classes in representational competence and teaching practices. A hypothesised positive effect of frequency and extent of representational teaching practices in class on the development of students' representational competence could not be confirmed for all of the six examined teaching aspects.

At student level, only the perceived amount of terms was a meaningful positive predictor of students' representational competence after the teaching unit. Fewer terms used in class were associated with higher representational competence. This finding is in line with research in science education showing that the use of too many terms in class can overwhelm students and hinder the acquisition of conceptual knowledge (Berck & Graf, 1992; Merzyn, 1996; Wellington & Osborne, 2001). Teachers should therefore focus on the most central terms of a specific topic. As this factor was only significant at student level and not at class level, only the personal perception of the amount of terms was important. This suggests that not only focusing on central terms, but also providing adequate support and structure for each student is essential.

At class level, only the practices concerning visual representations were meaningful for predicting students' representational competence. In line with our hypothesis, frequency and extent of interpreting visual representations in class was positively associated with the development of students' representational competence. This teaching practice was also rated to occur most frequent in participating classes.

Surprisingly, the frequency and extent of constructing visual representations in class had a negative effect on the development of students' representational competence. Recently, Ainsworth et al. (2011) emphasised the benefits of constructing visuals in science which seems to be in contradiction to the result of this study. However, two aspects need to be considered in that regard. First, the measure for representational competence used in this study did not ask students to actively construct representations. To cover the constructional part of representational competence, students were asked to select the representation they thought to be the most adequate one among different representations. This approach is traced back to the fact that Kozma & Russell (2005) did not explicitly distinguish between the generation and the selection of a representation. As we wanted to create a measure that is easy to administer and score in class, we referred to Kozma & Russell and therefore chose a closed item format asking students to select representations over an open-item format asking students to construct representations. For future research it is important to consider adequate assessment in that regard (see Lowe, Schnotz, & Rasch, 2011): To examine effects of teaching the construction of representations students consequently should be asked to create representations. Although the development of the representational competence measure was in addition to theoretical considerations informed by qualitative analyses of student-constructed representations, our approach to assess representational competence needs to be further revised (Tippett & Nitz, accepted). The second aspect to be considered when interpreting the negative effect of constructing visual representations on students' representational competence is the role support and scaffolding might play. Studies showed that support is crucial to use constructing visual representations as an effective strategy for learning (e.g., Van Meter, Aleksic, Schwartz, & Garner, 2006; Van Meter & Garner, 2005). Although the teaching practices assessed here have included opportunities for students to construct representations by themselves, we cannot be sure about the presence of adequate support. From this point of view, we can conclude that not only providing opportunities but also support and scaffolding may be needed to foster students' representational competence. Teacher-mediated explicit negotiation of the adequacy of self-constructed representations could constitute an appropriate way for supporting students potentially (Tytler, et al., 2007; Waldrip, et al., 2010). However, further research is needed to identify effective scaffolding strategies to help students to construct and interpret scientific representations (Prain & Waldrip, 2008).

These assertions apply not only to visual but also to verbal and symbolic representations. We did not find an effect of the frequency and extent of teaching practices concern-

ing the use of representations on students' representational competence unlike Kohl & Finkelstein (2006) who did find that an increased use of representations during instruction results in increased representational skills. In summary, the teaching practices found in our study did not help students to build rich representational competence. Even after the teaching unit students solved only 45% of representational competence tasks. However, the developmental trajectory of representational competence as described by Kozma and Russell (2005) suggests that it takes a lot of practice to achieve expertise. The small changes in representational competence observed in this study indicate the necessity to address the complex development of representational competence and to consider extended time intervals in future research. The diversity in achievement gains among classes illustrates the need for effective support and scaffolding strategies as well as professional learning programs that support teachers to foster students' representational competence.

## **6.8 Limitations and future research**

In contrast to most studies examining the influence of teaching practices that followed a cross-sectional design, we incorporated two measurement points to establish a causal direction to interpret the effects of teaching practices on students' development of representation competence (see also Kunter, Baumert, et al., 2007; Lipowsky, et al., 2009). However, there are some limitations to our study. One major limitation is that it is exclusively based on students' ratings for assessing teaching practices. Although it has been reported that aggregated student ratings are a reliable and valid resource to describe teaching practices (Clausen, 2002; De Jong & Westerhof, 2001; Kunter, Baumert, et al., 2007; Lüdtke, et al., 2009; Lüdtke, et al., 2006b), multiple data sources (as teacher reports or external observers) would validate the results and improve the description of classroom reality.

Concerning the need for effective support and scaffolding strategies to adequately foster students' representational competence, experimental designs are needed to provide strong evidence for what works and what does not work. Preferably, implementation strategies for classroom use and control of efficacy when used in classes should be addressed simultaneously. As the teacher plays a crucial role in implementing fostering strategies (Stieff, 2011), professional development programs tailored to representational aspects need to be considered.

Another limitation of our study is the restricted generalizability of the results. As we were interested in students' domain-specific representational competence, we only surveyed one specific teaching unit of biology education to control for context (see Kozma & Russell, 2005). The next step in terms of generalizability would be to survey different top-

ics to detect similarities and differences in teaching practices and development of representational competence. Another important question is if representational competence acquired in one topic might be transferable to another one. With this, the concept of meta-representational competence becomes a crucial aspect which needs to be incorporated in future research to disentangle effects of representational and meta-representational competence. Both might play a role in fostering scientific literacy and enabling students to participate in discourse about scientific topics.

## 7 Diskussion und Ausblick

Ausgehend von der Bedeutung der Fachsprache im Kontext von Scientific Literacy (siehe Kapitel 1.1 und 1.2) war Ziel der vorliegenden Dissertation, Bedingungsfaktoren und Auswirkungen des Umgangs mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht zu untersuchen und zu beschreiben. Basierend auf der Konstitution von Fachsprache durch die Verwendung verschiedener multimodaler und multicodaler Repräsentationen wurden u.a. der Einsatz verbaler, bildlicher und symbolischer Repräsentationen im Biologieunterricht sowie die Auswirkungen auf Schülerleistungen (*representational competence*) im Kontext einer Unterrichtseinheit zur Fotosynthese in der gymnasialen Oberstufe betrachtet. Dieser integrierende Ansatz war nötig, um die Auswirkungen von Fachsprache differentiell beschreiben zu können. Bisherige Studien haben nur einzelne Facetten der Fachsprache in den Blick genommen, beispielsweise die Bedeutung der Fachbegriffe und des Begriffslernens (für den Biologieunterricht Berck & Graf, 1987, 1992; Graf, 1989; Graf, Lepel, & Oehmig, 1992), das Spannungsfeld von (verbaler) Fach- und Alltagssprache (für den Physikunterricht Rincke, 2010, 2011) sowie den Einsatz von fachlichen Texten (im Chemieunterricht Beerenwinkel & Gräsel, 2005). Integrierende Ansätze, in denen verschiedene Modalitäten und Codalitäten von Repräsentationen einbezogen werden, finden sich kaum. Ausnahmen stellen hier das Forschungsprojekt BiTe (Schnotz et al., 2010), das die integrative Bild-Text-Verarbeitung im Unterricht untersucht, dar sowie die eher unterrichtspraktischen Arbeiten von Leisen (Leisen, 1998, 2003, 2005a, 2005b), in denen die Bedeutung des Wechsel von verschiedenen Darstellungsebenen für das Lernen im Physikunterricht hervorgehoben wird. Auf internationaler Ebene ist das australische Projekt *The Role of Representations in Learning Science* (RiLS) ein Beispiel für die integrative Betrachtung der Bedeutung verschiedener Repräsentationen für das Lernen im Physikunterricht (siehe z.B. Hubber, et al., 2010).

Zur Beschreibung von Bedingungsfaktoren und Auswirkungen des Umgangs mit den verschiedenen naturwissenschaftlichen Repräsentationen der Fachsprache im Biologieunterricht wurden in vier Teilstudien drei Komponenten des Angebots-Nutzungs-Modells (Lehrkraft, Prozessqualität des Unterrichts und Schülerleistungen) in den Blick genommen (siehe Kapitel 1.4.2). Nachdem in den Kapiteln 3.5, 4.6, 5.5 und 6.7 die einzelnen Befunde detailliert diskutiert wurden, werden hier die Studien und ihre zentralen Befunde zusammengefasst und mit Blick auf ihre Relevanz übergreifend diskutiert.

## 7.1 Zusammenfassung der empirischen Befunde der Studien 1-4

In Studie 1 wurde die *Einstellung von angehenden Lehrkräften* als ein Bedingungsfaktor für die Verwendung der Fachsprache im Biologieunterricht untersucht. Fokussiert wurde in dieser Studie auf verbalsprachliche Aspekte, insbesondere auf das bedeutsame Spannungsfeld von Fach- und Alltagssprache. Studierende und Referendare zeigten signifikant unterschiedliche Einstellungsausprägungen, wobei Referendare im Gegensatz zu Studierenden mehr Wert auf eine fachsprachliche Ausrichtung des Unterrichts legten. Der Umfang des selbsterteilten Unterrichts erwies sich hierfür als ein Prädiktor. Sowohl Studierende als auch Referendare schrieben fachsprachlichen Aspekten jedoch insgesamt keine herausgehobene Bedeutung zu.

In Studien 2 und 3 wurde die *Prozessqualität des Biologieunterrichts* hinsichtlich des Umgangs mit Fachsprache in den Blick genommen. Dimensionen fachsprachlicher Unterrichtsqualität wurden theorie- und evidenzbasiert hergeleitet, wobei neben verbalsprachlichen auch bildliche und symbolische Repräsentationen berücksichtigt wurden, um der Multimodalität und –codalität der Fachsprache zu genügen (vgl. Kapitel 1.2.2). Auf dieser Basis wurde ein Erhebungsinstrument in Form eines Schülerfragebogens entwickelt und an zwei unabhängigen Stichproben getestet. Die theoretisch formulierten Dimensionen konnten durch exploratorische und konfirmatorische (Mehrebenen-) Faktorenanalysen als latente Faktoren überwiegend empirisch bestätigt werden. Neben Interpretation und Konstruktion von verbalsprachlichen (naturwissenschaftlichen Texten), bildlichen (realistische und logische Bilder) und symbolischen Repräsentationen (chemischen Formeln und Reaktionsgleichungen) wurde auch die Anzahl der verwendeten Fachbegriffe im Unterricht und die Ermöglichung von aktiver sozialer Konstruktion erfasst. Validität und Reliabilität des Instruments erwiesen sich als zufriedenstellend.

In Studie 4 wurde die *Auswirkung der Prozessqualität des Unterrichts auf die Schülerleistungen* untersucht. Hierzu wurde sowohl die fachspezifische Unterrichtsqualität hinsichtlich des Umgangs mit Repräsentationsformen der naturwissenschaftlichen Fachsprache als auch die *representational competence* der Schüler erhoben. Es zeigte sich, dass die hier untersuchten fachsprachlichen Aspekte—mit Ausnahme der Interpretation bildlicher Repräsentationen—relativ selten in Unterrichtsroutinen integriert wurden und dass die Entwicklung der *representational competence* über die untersuchte Unterrichtseinheit hinweg relativ gering ausfiel. Bezüglich der beschriebenen Dimensionen fachsprachlicher Unterrichtsqualität hatte auf Schülerebene nur eine wahrgenommene (geringe) Anzahl verwendeter Fachbegriffe einen positiven, auf Klassenebene die Interpretation bzw. Kon-

struktion von bildlichen Repräsentationen einen positiven bzw. negativen Einfluss auf die Entwicklung der *representational competence*.

## **7.2 Zur Dimensionalität der fachspezifischen Unterrichtsqualität hinsichtlich fachsprachlicher Aspekte**

In der vorliegenden Dissertation wurden die betrachteten Aspekte der Fachsprache als Teil der fachspezifischen Unterrichtsqualität modelliert. Auch Wüsten (2010; Wüsten, et al., 2008) bezieht den Umgang mit Fachsprache in ihre Untersuchungen zur fachspezifischen Unterrichtsqualität des Biologieunterrichts ein. Allerdings erfolgte die Operationalisierung dort ausschließlich über die Anzahl und Sequenzierung der Fachbegriffe (Wüsten, 2010). Da fachsprachliche Kompetenzen—die das angestrebte Schüler-Outcome darstellen—nicht losgelöst von fachlichen Begebenheiten vermittelbar sind, greift entsprechend der in Kapitel 1.2.2 beschriebenen Konzeptualisierung von Fachsprache diese Fokussierung jedoch zu kurz und wurde in dieser Studie zugunsten einer holistischen Betrachtungsweise der naturwissenschaftlichen Fachsprache erweitert. Gemäß der Definition von Unterrichtsqualität nach Einsiedler (2002, p. 195) als „Bündel von Unterrichtsmerkmalen, die sich [...] auf Unterrichts- und Erziehungsziele [...] auswirken [...]“ und der Konzeptualisierung fachspezifischer Qualitätsmerkmale nach Wüsten (2010; Wüsten, et al., 2008) stellt die Verwendung der naturwissenschaftlichen Fachsprache ein Bündel von fachspezifischen Unterrichtsmerkmalen dar, welches in einzelne Dimensionen unterteilbar sein sollte (vgl. Kapitel 4.2.1). Dieses wird durch die vorliegende Dissertation unterstützt: Einzelne Aspekte der fachspezifischen Unterrichtsqualität ließen sich über exploratorische und konfirmatorische (Mehrebenen-)Faktorenanalysen als miteinander zusammenhängende, jedoch distinkte latente Dimensionen modellieren (vgl. Kapitel 4.5 und 5.4.4). Neben Häufigkeit und Ausmaß der Interpretation und Konstruktion von verbalsprachlichen (naturwissenschaftlichen Texten), bildlichen (realistische und logische Bilder) und symbolischen Repräsentationen (chemischen Formeln und Reaktionsgleichungen) im Biologieunterricht wurde auch die Anzahl der verwendeten Fachbegriffe im Unterricht und die Ermöglichung von aktiver sozialer Konstruktion durch die Faktoren erfasst.

Die einbezogenen Repräsentationen sind im Kontext des Biologieunterrichts zentral, vor allem in Hinblick auf das betrachtete Thema „Fotosynthese“ (Nitz, Prechtel, & Nerdel, 2010). Den Dimensionen, die zwar theoretisch hergeleitet, aber in beiden Teilstudien nicht empirisch bestimmt werden konnten (siehe Kapitel 4.5 und 5.4.4), muss in weiteren Forschungsprojekten besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Gerade der Aspekt des

Übersetzens von verschiedenen Repräsentationen ist vor dem Hintergrund der Erfassung von *representational competence* und einer möglichst proximalen Beschreibung relevanter Unterrichtsmerkmale von Bedeutung (Seidel & Shavelson, 2007). Aufgrund der gegenläufigen Prädiktion der Entwicklung von *representational competence* durch die Interpretation und Konstruktion bildlicher Repräsentationen (vgl. Kapitel 6.6.2) muss die Tatsache, dass sich Interpretations- und Konstruktionsdimensionen bezüglich verbaler und symbolischer Repräsentationen in beiden, voneinander unabhängig untersuchten Stichproben faktorenanalytisch nicht trennen ließen, beachtet und in zukünftigen Studien genauer untersucht werden. Mögliche Gründe hierfür könnten mit dem Einsatz verschiedener Datenquellen zur Beschreibung des Unterrichts eruiert werden (siehe Kapitel 4.2.2 sowie Clausen, 2002).

### 7.3 Zum Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht

In der Zusammenschau der empirischen deskriptiven Befunde der einzelnen Teilstudien scheint der Stellenwert der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht nur gering zu sein. Teilstudie 1 konnte zeigen, dass angehende Lehrkräfte der Fachsprache im Biologieunterricht insgesamt nur eine geringe Bedeutung zumaßen. Teilstudie 4 ergab, dass die untersuchten fachsprachlichen Aspekte nur selten bis manchmal in Unterrichtsroutinen integriert sind.

Diese Ergebnisse sind vor dem Hintergrund, dass die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Fachsprache nicht nur in der naturwissenschaftsdidaktischen Diskussion (Lemke, 2004; Osborne, 2002; Wellington & Osborne, 2001; Yore, et al., 2003; Yore & Treagust, 2006), sondern auch beispielsweise in den Bildungsstandards (Kultusministerkonferenz, 2005a) und den einheitlichen Prüfungsanforderungen für das Abitur (Kultusministerkonferenz, 2004) hervorgehoben wird, überraschend. Zumindest letztere stellen wichtige curriculare Vorgaben für Lehrkräfte bezüglich der Planung und Durchführung von Unterricht dar und sollten im Unterricht umgesetzt werden.

Bezüglich der Einstellung von Lehrkräften konnten Enzingmüller et al. (2011) im Unterschied zu Teilstudie 1 in einer qualitativen Interviewstudie allerdings zeigen, dass Lehrkräfte der Fachsprache durchaus eine große Bedeutung für das Lernen im Biologieunterricht zuschreiben, welches für die Umsetzung fachsprachlicher Aspekte im Unterricht förderlich ist (Prain & Waldrip, 2008). Diesbezüglich ist allerdings anzumerken, dass in Teilstudie 1 *angehende* Lehrkräfte untersucht wurden. Aufgrund eines nachgewiesenen Einstellungswandels im Verlauf der Lehrerbildung (siehe Teilstudie 1 sowie Messner & Reusser, 2000; Müller-Fohrbrodt, et al., 1978; Zeichner, 1980) erscheint es möglich, dass

mit einer steigenden Unterrichtserfahrung eine eher fachsprachlich orientierte Einstellung einhergeht. Die Ergebnisse der Teilstudie 1 weisen zusammen mit den qualitativen Befunden von Enzingmüller et al. (2011) zumindest darauf hin. Um diese Entwicklung vollständig nachzuzeichnen, müssen in zukünftigen Studien daher auch fertig ausgebildete Lehrkräfte einbezogen werden. Das Wissen um die verschiedenen Einstellungsausprägungen ist besonders wichtig, möchte man darauf in der Lehreraus- und fortbildung verändernd einwirken, da hierfür gezielt an vorhandene Einstellungen angeknüpft werden muss (Jones & Carter, 2007). Dies wird umso bedeutsamer, betrachtet man die Diskrepanz zwischen der Bedeutsamkeit der naturwissenschaftlichen Fachsprache für die naturwissenschaftliche Grundbildung und der Einstellungsausprägung der hier untersuchten angehenden Lehrkräfte, die nur im mittleren bzw. ablehnenden Bereich lag. In diesem Zusammenhang bleibt zu klären, welche Faktoren beispielsweise die Einstellungsausprägung und die Entwicklung der Einstellungsausprägung über die Berufslaufbahn beeinflussen.

Die eher geringe Integration einzelner fachsprachlicher Aspekte in Unterrichtsroutinen, die in dieser Studie gezeigt werden konnte, steht im Einklang mit anderen empirischen Studien. So stellten beispielsweise Van Meter und Garner (2005) sowie Ainsworth, et al. (2011) fest, dass die eigenständige, systematische Konstruktion von bildlichen Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Unterricht eher selten unterstützt wird, was in dieser Studie bestätigt werden konnte. Weiterhin konnten Beerenwinkel und Gräsel (2005) bei einer Befragung von Chemielehrkräften zeigen, dass 68% der Lehrkräfte Fachtexte seltener als einmal im Monat einsetzen. Über die besondere Funktionalität und Verwendung von symbolischen Repräsentationen im Biologieunterricht berichten Kehren und Langlet (2006) sowie Pritchard (1992), dass einerseits das Verständnis der chemischen Symbolsprache für das Verständnis biologischer Prozesse wichtig ist, andererseits jedoch nur selten in einer dem Biologieunterricht angepassten Art und Weise vermittelt wird. Die Fokussierung auf zentrale Fachbegriffe ist im Biologieunterricht, der in dieser Studie untersucht wurde, im Vergleich zu früherer Forschung (Berck & Graf, 1992; Graf, 1989) besser umgesetzt worden: Schüler zeigten sich nur selten von der Anzahl der Fachbegriffe überfordert. Der deutlich am häufigsten integrierte fachsprachliche Aspekt ist die Interpretation von bildlichen Repräsentationen (vgl. auch Ainsworth, et al., 2011). Die explizite Thematisierung des Aufbaus von logischen und realistischen Bildern und deren Interpretation scheint—zumindest in den hier untersuchten Klassen und Unterrichtseinheiten—in Unterrichtsroutinen integriert zu sein.

## 7.4 Zur Förderung von *representational competence* im Biologieunterricht

Es zeigte sich, dass die *representational competence* der Schüler, die im Zusammenhang mit der Integration fachsprachlicher Aspekte in den Unterricht erhoben wurde, nicht deutlich durch die vorherrschenden Unterrichtspraktiken gefördert werden konnte. Für die Entwicklung der *representational competence* erwies sich auf Individualebene die wahrgenommene Anzahl der verwendeten Fachbegriffe als ein positiver, auf Klassenebene die Interpretation bzw. Konstruktion von bildlichen Repräsentationen als ein positiver bzw. negativer Prädiktor (siehe Kapitel 6.6.2). Die differentielle Wirkungsweise der einzelnen Aspekte weicht von den in Kapitel 4.2.1 vorher formulierten Vermutungen ab. Aus theoretischer Sicht wäre für alle untersuchten Dimensionen der fachspezifischen Unterrichtsqualität ein positiver Effekt anzunehmen gewesen (siehe Kapitel 4.2.1). Dieser lässt sich jedoch nur für die Interpretation von bildlichen Repräsentationen und die individuelle Wahrnehmung der Anzahl der Fachbegriffe im Unterricht halten (siehe Kapitel 6.6.2). Die explizite Thematisierung des Aufbaus von logischen und realistischen Bildern und deren Interpretation scheint in der Zusammenschau mit den deskriptiven Ergebnissen (siehe Kapitel 6.6.1) daher erfolgreich gewesen zu sein. Hinsichtlich der Anzahl der verwendeten Fachbegriffe konnte Wüsten (2010) keinen Zusammenhang mit Schülerleistungen feststellen, wohingegen in dieser Studie die Fokussierung auf zentrale Fachbegriffe signifikante Erklärungskraft hatte. Da hierbei allerdings nur die individuelle Wahrnehmung des einzelnen Schülers von Bedeutung war, steht dieser Befund nicht im Widerspruch zu Wüsten (2010), die ihren Analysen die objektiv erfasste Anzahl der Fachbegriffe zugrunde legte. Aufgrund der alleinigen Bedeutung der individuellen Wahrnehmung der Anzahl der Fachbegriffe sind Strukturierungsmaßnahmen—sowohl im Vorfeld des Unterrichts bei der Begriffsauswahl und Sequenzierung durch die Lehrkraft als auch im Unterrichtsverlauf—von besonderer Bedeutung (siehe auch Kapitel 7.6).

Über die Gründe, warum die Dimensionen Umgang mit Fachtexten, Umgang mit symbolischen Repräsentationen und das Ausmaß der aktiven sozialen Konstruktion sowohl auf Schüler- als auch auf Klassenebene keinen bedeutsamen Effekt hatten, lassen sich derzeit nur Vermutungen anstellen. Möglich wäre, dass ggf. —auch aufgrund der eher seltenen Integration dieser Aspekte laut deskriptiver Ergebnisse—ein „kritischer Wert“ der Integration nicht überschritten wurde. Für den Umgang mit verbalen und symbolischen Repräsentationen könnte dies jedoch auch in der oben erwähnten Tatsache begründet sein, dass sich Konstruktions- und Interpretationsaspekte nicht trennen ließen.

Der negative Effekt der Konstruktion bildlicher Repräsentationen, der in dieser Studie gefunden wurde, steht im Widerspruch zu Studien, die gerade die Konstruktion von Repräsentationen als besonders bedeutsam für den Erwerb von konzeptuellem Wissen und repräsentationalen Fähigkeiten betonen (Ainsworth, 2006; Ainsworth, et al., 2011; diSessa, 2004; Van Meter & Garner, 2005). Mögliche Erklärungen für den negativen Effekt sind, dass zum einen der Konstruktionsaspekt der *representational competence* im verwendeten Test nicht vollständig adäquat abgebildet wurde (siehe 6.7, vgl. Kozma & Russell, 2005; Lowe, et al., 2011). Zum anderen muss die Bedeutung von Unterstützungsmaßnahmen hervorgehoben werden (Van Meter, et al., 2006; Van Meter & Garner, 2005): Die Konstruktivität muss im Unterricht systematisch begleitet und gefördert werden, ansonsten ist sie nicht effektiv. Über die reine Häufigkeit der Einbindung von Konstruktionsaspekten in den Unterricht können jedoch keine Aussagen über das Vorhandensein von Unterstützungsstrategien gemacht werden. Andere Studien zeigten, dass eine durch die Lehrkraft vermittelte, explizite Aushandlung der Angemessenheit von selbstkonstruierten Repräsentationen ggf. eine angemessene und effektive Strategie sein könnte, um die Entwicklung der *representational competence* zu fördern (Tytler, et al., 2007; Waldrip, et al., 2010). Für die Entwicklung weiterer effektiver Unterstützungsmaßnahmen bedarf es jedoch der weiteren Forschung (Prain & Waldrip, 2008).

## 7.5 Implikationen für zukünftige Forschung

Die hier durchgeführten Studien haben gezeigt, dass die Erforschung der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Kontext des Biologieunterrichts bzw. der fachspezifischen Unterrichtsqualität eine vielschichtige Betrachtung erfordert. Erschöpfende Aussagen hinsichtlich der potentiellen Wirkungsweisen einiger der hier untersuchten Dimensionen lassen sich jedoch noch nicht abschließend machen. Hierzu sind weitere Untersuchungen des Gegenstandes Fachsprache im Kontext der fachspezifischen Unterrichtsqualität nötig. Ansätze für weiterführende Forschung werden im Folgenden aus den hier durchgeführten Studien abgeleitet

Die fachspezifische Unterrichtsqualität wurde in dieser Studie (wie schon in Kapitel 6.8 erwähnt) über Schülerratings erfasst. Diese Erhebungsmethode wurde aufgrund der in Kapitel 4.2.2 und Clausen (2002) beschriebenen Vorteile gegenüber anderer Erhebungsmethoden (Lehrerberichte, externe Beobachter) gewählt. Die Reliabilität und Validität von Schülerratings für die Erfassung von Unterrichtsroutinen wurde bereits mehrfach untersucht (Clausen, 2002; De Jong & Westerhof, 2001; Kunter, Baumert, et al., 2007; Lüdtke, et al., 2009; Lüdtke, et al., 2006b) und ihr Einsatz ist gängige Forschungspraxis bei der Erfas-

sung von Unterrichtsqualität. Um das Geschehen im Klassenraum differenzierter beschreiben zu können, wäre der Einsatz von multiplen Datenquellen in zukünftigen Studien sinnvoll und könnte darüber hinaus für eine weitere Validierung der Schülerratings herangezogen werden (vgl. auch Seidel & Shavelson, 2007).

Zur Erfassung der *representational competence* wurde in dieser Arbeit—neben Tippett (2011) und Stieff (2011)—ein erster Versuch eines paper-und-pencil-basierten Assessments entwickelt, der für zukünftige Forschung um die im folgenden dargestellten Aspekte ergänzt werden sollte. Bei der Erhebung der *representational competence* wurde zunächst—aufgrund der Komplexität des Konstrukts—auf die Teilaspekte Interpretation, Konstruktion und Translation fokussiert. Auf Basis des in dieser Arbeit entwickelten Instruments, welches im Nachtest eine zufriedenstellende Reliabilität aufwies, müssten weitere Aufgaben entwickelt werden, um die *representational competence* vollständig abzubilden. Dabei sollten die Schwierigkeitskategorien nach (Kozma & Russell, 2005) einbezogen werden. Wichtiger scheint jedoch vor dem Hintergrund des adäquaten Assessments (vgl. 6.7, sowie Lowe, et al., 2011) der Einbezug von Konstruktionsaufgaben anstelle von Selektionsaufgaben zu sein. Inwiefern die beiden Aspekte Selektion und Konstruktion—von Kozma und Russell (1997, 2005) als eine Kategorie aufgefasst—zu trennen sind, sollte in künftigen Studien geklärt werden. In Anlehnung an das RiLS-Projekt (Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrup, 2006; Tytler, et al., 2006; Tytler, et al., 2007; Waldrup, et al., 2006, 2010) könnten qualitative Ergänzungen zu quantitativen Erhebungen z.B. in Form von mikrogenetischen Ansätzen wertvolle Hinweise über die Entwicklung der *representational competence* geben. Vor dem Hintergrund der Erhebung und Entwicklung von *representational competence* erlangt das Konzept *meta-representational competence* (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000) ebenfalls Bedeutung. Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, bildet dieses Konzept ähnliche Fähigkeiten ab, ist jedoch domänenübergreifend konzipiert. Eine interessante Fragestellung in diesem Zusammenhang wäre, ob und wie beispielsweise repräsentative Fähigkeiten, die im Chemie- oder Physikunterricht erworben wurden, auf den Biologieunterricht übertragbar sind. Eine Vernetzung der naturwissenschaftlichen Fächer und der Mathematik über ähnliche Repräsentationen erscheint möglich und könnte die Entwicklung von *meta-representational competence* bei Schülern nachhaltig fördern. Das Verhältnis von *meta-* zu *representational competence* wäre jedoch zunächst in zukünftigen Studien zu klären.

Bezüglich effektiver Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der *representational competence* von Schülern im Unterricht ist weitere Forschung nötig (siehe auch Prain &

Waldrup, 2008). Das RiLS Projekt gibt hier bereits erste wertvolle Hinweise (s.o.), jedoch sind (quasi-)experimentelle Designs notwendig, um zu belastbarer Evidenz hinsichtlich der Wirksamkeit verschiedener Strategien zu gelangen. Vorzugsweise sollten jedoch Strategien, die sich unter kontrollierten Bedingungen als effektiv erweisen [hier kann z.B. an Arbeiten von van Meter (2005; 2006) angeknüpft werden], unbedingt auch implementiert in den Unterricht untersucht werden. Gerade die Lehrkraft bzw. die Umsetzung von Unterstützungsstrategien durch die Lehrkraft erwies sich hinsichtlich der Förderung von *representational competence* als ein kritischer Faktor (Hubber, et al., 2010; Prain & Waldrup, 2008; Stieff, 2011). Vor diesem Hintergrund ist die Bedeutung von Lehramtsausbildung und Lehrerprofessionalisierungsmaßnahmen, die explizit fachsprachliche Aspekte einbeziehen, zu betonen. Diese sollten, unter Rückgriff auf die Ergebnisse der Teilstudie 1, gezielt an den Einstellungen der (angehenden) Lehrkräfte ansetzen.

Über die in dieser Studie betrachteten Variablen hinaus ist eine schrittweise Erweiterung der einbezogenen Variablen in zukünftigen Studien denkbar und wünschenswert. Auf Schülerseite sollte der Fokus auf die kognitiven Eingangsvoraussetzungen gelegt werden. Aufbauend auf dem in dieser Studie entwickelten Instrument könnte beispielsweise die Interaktion zwischen domänenspezifischen Wissen, *meta-representational competence* und *representational competence* (vgl. Roth & Bowen, 2001) weiter untersucht werden. Durch die Modellierung der betrachteten Aspekte der naturwissenschaftlichen Fachsprache als fachspezifische Unterrichtsqualitätsmerkmale und in Anlehnung an Wüsten (2010) wären auf Lehrerseite neben Einstellungen auch die Wissenskomponenten der professionellen Lehrerkompetenz einzubeziehen (vgl. Kapitel 1.4.3.1). Diese wären für oben angesprochene Aus- und Fortbildungsmaßnahmen geeignete Ansatzpunkte. Nicht zuletzt wäre in Anlehnung an das COACTIV-Projekt (Krauss, et al., 2004) oder Schroeder et al. (2011) eine gleichzeitige Modellierung aller drei Ebenen—Lehrkraft, Unterrichtsqualität und Schülerleistungen—wünschenswert, um zu abgesicherten Ergebnissen hinsichtlich der Bedingungsfaktoren, Wirkungen und Interaktionen von Fachsprache im komplexen Setting Unterricht zu gelangen. Die hier durchgeführten Studien geben wichtige Hinweise auf mögliche Ansatzpunkte für eine weitere systematische Untersuchung fachsprachlicher Aspekte im naturwissenschaftlichen Unterricht, die in verschiedene Richtungen weiterzuverfolgen wären.

## 7.6 Implikationen für die Unterrichtspraxis

Im Sinne der naturwissenschaftlichen Grundbildung muss der naturwissenschaftliche Unterricht dafür Sorge tragen, Heranwachsende zum Umgang mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache und zur fachgerechten Kommunikation zu befähigen. Inwiefern Biologieunterricht dieser Anforderung nachkommt, war Gegenstand dieser Arbeit. Die Ergebnisse zeigen, dass die *representational competence* der Schüler nicht angemessen gefördert wird. Vor diesem Hintergrund muss die Bedeutung der expliziten Integration repräsentationaler Aspekte in den Unterricht noch einmal hervorgehoben werden. Kontroverse Ergebnisse wurden hinsichtlich der Konstruktion von bildlichen Repräsentationen erzielt. Dennoch kann zumindest für die Fokussierung auf zentrale Fachbegriffe und die Integration von Interpretationsaspekten ein positiver Effekt konstatiert werden und beides für den Unterricht empfohlen werden. Hier ist die systematische Interpretation von Repräsentationen im Unterricht positiv hervorzuheben und weiterzuentwickeln. Beispielsweise ließen sich mit den Schüler zusammen Kriterienkataloge für die Interpretation von (nicht nur bildlichen) Repräsentationen erstellen und förderlich anwenden. Auch ist der mögliche hilfreiche Einsatz von Strukturierungshilfen z.B. in Form von Concept Maps (Novak, 1990), entweder im Vorfeld bei der Planung des Unterrichts hinsichtlich Begriffsauswahl und Sequenzierung, oder während des Unterrichts als Orientierungshilfe für Schüler, zu betonen. Darüber hinaus können hinsichtlich der Umsetzung der expliziten Integration repräsentationaler Aspekte die hier entwickelten Instrumente im Sinne von Hattie (2009) als Feedbackmaßnahmen im Unterricht eingesetzt werden: Durch die Beurteilung der Unterrichtspraktiken durch die Schüler erhält die Lehrkraft zeitnah Rückmeldung zu Unterrichtsroutrinen und kann diese bei der Planung und Organisation zukünftiger Stunden berücksichtigen. Umgekehrt stellt das Instrument zur Erfassung der *representational competence* der Schüler (oder Teile davon) eine Möglichkeit dar, die Wirksamkeit von Unterricht—aufgrund der geschlossenen Items auch relativ zeitökonomisch—zu überprüfen.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse der hier dargestellten Studien, dass fachsprachliche Aspekte in die Lehreraus- und -fortbildung aufgenommen werden müssen. Aufgabe der weiteren fachdidaktischen Forschung ist es, effektive und vor allem implementierbare Unterstützungsmaßnahmen zu entwickeln und zu testen. Dies ist wichtig, um Lehrkräften für die Unterrichtspraxis ein Instrumentarium an die Hand zu geben, das die *representational competence*—und damit einen wichtigen Teil der Scientific Literacy—ihrer Schüler fördert.

## 8 Literatur

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1105-1149). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Abell, S. K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416.
- Ainsworth, S. E. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33(2-3), 131-152.
- Ainsworth, S. E. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Ainsworth, S. E. (2008). The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (pp. 191-208). New York: Springer Netherlands.
- Ainsworth, S. E., Bibby, P. A., & Wood, D. J. (1997). Information technology and multiple representations: New opportunities - new problems. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, 6(1), 93-105.
- Ainsworth, S. E., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333(6046), 1096-1097.
- Airey, J., & Linder, C. (2009). A disciplinary discourse perspective on university science learning: Achieving fluency in a critical constellation of modes. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(1), 27-49.
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. In J. Kuhl & J. Beckmann (Eds.), *Action control: From cognition to behavior* (pp. 11-39). Heidelberg, Germany: Springer.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211.
- Ajzen, I. (2005). *Attitudes, personality and behavior*. Maidenhead, England: Open University Press.
- Ajzen, I., & Madden, T. J. (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22(5), 453-474.

- Artelt, C., Stanat, P., Schneider, W., Schiefele, U., & Lehmann, R. (2004). Die PISA-Studie zur Lesekompetenz: Überblick und weiterführende Analysen. In U. Schiefele, C. Artelt, W. Schneider & P. Stanat (Eds.), *Struktur, Entwicklung und Förderung von Lesekompetenz*. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Azevedo, F. S. (2000). Designing representations of terrain: A study in meta-representational competence. *Journal of Mathematical Behavior*, 19(4), 443-480.
- Ball, D. L., Lubienski, S. T., & Mewborn, D. S. (2001). Research on teaching mathematics: The unsolved problem of teachers' mathematical knowledge. In V. Richardson (Ed.), *Handbook of research on teaching* (Vol. 4, pp. 433-456). New York, NY: Macmillan.
- Bartholomé, T., & Bromme, R. (2009). Coherence formation when learning from texts and pictures: What kind of support for whom? *Journal of Educational Psychology*, 101(2), 282-293.
- Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., . . . Tsai, Y.-M. (2009). *Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz (COACTIV): Dokumentation der Erhebungsinstrumente (Materialien aus der Bildungsforschung Nr. 83)*. Berlin, Germany: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- Baumert, J., & Köller, O. (2000). Unterrichtsgestaltung, verständnisvolles Lernen und multiple Zielerreichung im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In J. Baumert, W. Bos & R. Lehmann (Eds.), *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* (pp. 271-315). Opladen, Germany: 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 (Eds.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (pp. 29-53). Münster, Germany: Waxmann.

- Beerenwinkel, A., & Gräsel, C. (2005). Texte im Chemieunterricht: Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 21-39.
- Berck, K.-H. (2005). Begriffe und Begriffslernen - Lernprozesse im Biologieunterricht. *Biologiedidaktik* (Vol. 3, pp. 91-107). Wiebelsheim, Germany: Quelle & Meyer Verlag.
- Berck, K.-H., & Graf, D. (1987). Begriffslernen im Biologieunterricht - Begriffe zur Unterrichtseinheit "Zelle". *Zeitschrift für den mathematisch und naturwissenschaftlichen Unterricht*, 40(3), 161 - 168.
- Berck, K.-H., & Graf, D. (1992). Begriffsauswahl und Begriffsvermittlung - Überblick über den Forschungsstand für den Biologieunterricht. In H. Entrich & L. Staeck (Eds.), *Sprache und Verstehen im Biologieunterricht*. Bad Zwischenahn, Germany: Leuchtturm-Verlag.
- Bloom, B. S. (1976). *Human characteristics and school learning*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (Vol. 4). Heidelberg, Germany: Springer.
- Bromme, R. (1992). *Der Lehrer als Experte: Zur Psychologie des professionellen Wissens*. Bern, Switzerland: Huber.
- Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In F. E. Weinert (Ed.), *Enzyklopädie der Psychologie. Pädagogische Psychologie. Bd. 3: Psychologie der Schule und des Unterrichts* (pp. 177-212). Göttingen, Germany: Hogrefe.
- Bromme, R. (2008). Lehrerexpertise. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Eds.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (pp. 159-167). Göttingen, Germany: Hogrefe.
- Brophy, J., & Good, T. L. (1986). Teacher behavior and student achievement. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research and teaching* (pp. 328-375). New York, NY: Macmillan.
- Brouwer, N., & ten Brinke, S. (1995a). Der Einfluss integrativer Lehrerausbildung auf die Unterrichtskompetenz (I). *Empirische Pädagogik*, 9(1), 3-31.
- Brouwer, N., & ten Brinke, S. (1995b). Der Einfluss integrativer Lehrerausbildung auf die Unterrichtskompetenz (II). *Empirische Pädagogik*, 9(3), 289-330.
- Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Klusmann, U., Baumert, J., Blum, W., . . . Tsai, Y.-M. (2006). Die professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften:

- Konzeptualisierung , Erfassung und Bedeutung für den Unterricht. Eine Zwischenbilanz des COACTIV-Projekts. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Eds.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule* (pp. 54-82). Münster, Germany: Waxmann.
- Burke, M. J., Finkelstein, L. M., & Dusig, M. S. (1999). On average deviation indices for estimating interrater agreement. *Organizational Research Methods*, 2(1), 49-68.
- Byrne, B. M. (1989). *A primer of LISREL: Basic applications and programming for confirmatory factor analytic model*. New York, NY: Springer.
- Canham, M., & Hegarty, M. (2010). Effects of knowledge and display design on comprehension of complex graphics. *Learning and Instruction*, 20, 155-165.
- Carlsen, W. S. (1999). Domains of teacher knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 133-146). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Carroll, J. B. (1963). A model of school learning. *Teachers College Record*, 64(8), 723-733.
- Carroll, J. B. (1985). The model of school learning: Progress of an idea. In C. W. Fischer & D. C. Berliner (Eds.), *Perspectives on instructional time* (pp. 29-58). London, England: Longman.
- Cassels, J., & Johnstone, A. (1985). *Words that matter in science*. London, England: Royal Society of Chemistry.
- Cattell, R. (1966). *Handbook of multivariate experimental psychology*. Chicago, IL: Rand McNally.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121-151.
- Clausen, M. (2002). *Unterrichtsqualität - Eine Frage der Perspektive?* Münster, Germany: Waxmann.
- Clausen, M., Reusser, K., & Klieme, E. (2003). Unterrichtsqualität auf der Basis hochinferenter Unterrichtsbeurteilungen. Ein Vergleich zwischen Deutschland und der deutschsprachigen Schweiz. *Unterrichtswissenschaft*, 31(2), 122-141.
- Creemers, B. P. M. (1994). *The effective classroom*. London, England: Cassell.
- De Corte, E. (2004). Mainstreams and perspectives in research on learning (mathematics) from instruction. *Applied Psychology: An International Review*, 53(2), 279-310.
- De Jong, R., & Westerhof, K. J. (2001). The quality of student ratings of teacher behavior. *Learning Environments Research*, 4(1), 51-85.

- Dedrick, R. F., & Greenbaum, P. E. (2011). Multilevel confirmatory factor analysis of a scale measuring interagency collaboration of children's mental health agencies. *Journal of Emotional and Behavioral Disorders*, 19(1), 27-40.
- diSessa, A. (2002). Students' criteria for representational adequacy. In K. Gravemeijer, R. Lehrer, B. v. Oers & L. Verschaffel (Eds.), *Symbolizing, modeling and tool use in mathematics education* (pp. 105-129). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- diSessa, A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
- diSessa, A., Hammer, D., Sherin, B., & Kolpakowski, T. (1991). Inventing graphing: Meta-representational expertise in children. *Journal of Mathematical Behavior*, 10(2), 117-160.
- diSessa, A., & Sherin, B. (2000). Meta-representation: An introduction. *Journal of Mathematical Behavior*, 19(4), 385-398.
- Ditton, H. (2002). Unterrichtsqualität - Konzeptionen, methodische Überlegungen und Perspektiven. *Unterrichtswissenschaft*, 30(3), 197-212.
- Doyle, W. (1977). Paradigms for research on teacher effectiveness. *Review of Research in Education*, 5, 163-198.
- Doyle, W. (1986). Classroom organization and management. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 392-431). New York, NY: Macmillan.
- Dubberke, T., Kunter, M., McElvany, N., Brunner, M., & Baumert, J. (2008). Lerntheoretische Überzeugungen von Mathematiklehrkräften. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22(3), 193-206.
- Dunkin, M. J., & Biddle, B. J. (1974). *The study of teaching*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Fort Worth, TX: Harcourt Brace Jovanovich College Publishers
- Eco, U. (1994). *Einführung in die Semiotik* (Vol. 8). München, Germany: Fink.
- Eick, C. J., & Reed, C. J. (2002). What makes an inquiry-oriented science teacher? The influence of learning histories on student teacher role identity and practice. *Science Education*, 86(3), 401-416.
- Einsiedler, W. (2002). Das Konzept "Unterrichtsqualität". *Unterrichtswissenschaft*, 30(3), 194-197.

- Elby, A. (2000). What students' learning of representations tells us about constructivism. *Journal of Mathematical Behavior*, 19(4), 481-502.
- Enzingmüller, C., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2011). *Lehrerüberzeugungen zum Umgang mit fachsprachlichen Darstellungsformen*. Paper presented at the Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im VBio, Universität Bayreuth.
- Enzingmüller, C., Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2009). Einstellungen von Lehrkräften zur Verwendung von Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht. In U. Harms, F. X. Bogner, D. Graf, H. Gropengießer, D. Krüger, J. Mayer, B. Neuhaus, H. Prechtel, A. Sandmann & A. Upmeier zu Belzen (Eds.), *"Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht"*. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO (pp. 248-249). Kiel, Germany: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Fenstermacher, G. D. (1986). Philosophy of research on teaching: Three aspects. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (Vol. 3, pp. 37-49). New York, NY: Macmillan.
- Ferguson, E., & Cox, T. (1993). Exploratory factor analysis: A user's guide. *International Journal of Selection and Assessment*, 1(2), 84-94.
- Fischer, H. E. (1998). Scientific Literacy und Physiklernen. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(2), 41-52.
- Fischer, H. E., Borowski, A., Kauertz, A., & Neumann, K. (2010). Fachdidaktische Unterrichtsforschung - Unterrichtsmodelle und die Analyse von Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 59-75.
- Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Fluck, H.-R. (1996). *Fachsprachen: Einführung und Bibliographie* (Vol. 5). Tübingen, Germany: Francke Verlag.
- Fraser, B. J. (1994). Research on classroom and school climate. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 493-541). New York, NY: Macmillan.
- Fraser, B. J. (1998). Classroom environment instruments: Development, validity and applications. *Learning Environments Research*, 1(1), 7-33.

- Fraser, B. J. (2003). Science learning environments: Assessment, effects and determinants. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 527-564). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Fraser, B. J. (2007). Classroom learning environments. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum
- Fraser, B. J., & Walberg, H. J. (1981). Psychosocial learning environment in science classrooms: A review of research. *Studies in Science Education*, 8, 67-92.
- Fraser, B. J., Walberg, H. J., Welch, W. W., & Hattie, J. A. (1987). Syntheses of Educational Productivity Research. *International Journal of Educational Research*, 11(2), 145-252.
- Frenzel, A. C., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Perceived learning environment and students' emotional experiences: A multilevel analysis of mathematics classrooms. *Learning and Instruction*, 17(5), 478-493. doi: 10.1016/j.learninstruc.2007.09.001
- Gilbert, J. K. (2007). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education & in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 193-208). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Gräber, W., & Nentwig, P. (2002). Scientific Literacy - Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa & R. Evans (Eds.), *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (pp. 7-20). Opladen, Germany: Leske & Budrich.
- Gräber, W., Nentwig, P., Koballa, T., & Evans, R. (Eds.). (2002). *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen, Germany: Leske und Budrich.
- Graf, D. (1989). *Begriffslernen im Biologieunterricht der Sekundarstufe I - Empirische Untersuchungen und Häufigkeitsanalysen*. Frankfurt am Main, Germany: Lang.
- Graf, D., Lepel, W.-D., & Oehmig, B. (1992). *Begriffsbildung im Biologieunterricht Sprache und Verstehen im Biologieunterricht*. Alsbach: Leuchtturmverlag.
- Greeno, J. G., & Hall, R. (1997). Practicing representations: Learning with and about representational forms. *Phi Delta Kappan*, 78(5), 361-367.
- Gropengießer, H., & Kattmann, U. (Eds.). (2006). *Fachdidaktik Biologie. Begründet von D. Eschenhagen, U. Kattmann, D. Rodi* (Vol. 7). Köln, Germany: Aulis Verlag Deubner.

- Gruehn, S. (2000). *Unterricht und schulisches Lernen: Schüler als Quellen der Unterrichtsbeschreibung*. Münster, Germany: Waxmann.
- Halverson, K. L. (2011). Improving tree-thinking one learnable skill at a time *Evolution: Education and Outreach*, 4(1), 95-106.
- Halverson, K. L., Abell, S. K., Friedrichsen, P. M., & Pires, C. P. (2009). *Testing a model of representational competence applied to phylogenetic tree thinking*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Garden Grove, CA. Retrieved from <http://ocean.otr.usm.edu/~w831818/HalversonNARST2009.pdf> (letzter Zugriff 21.11.2011)
- Hand, B., Alverman, D. E., Gee, J., Guzzetti, B. J., Norris, S. P., Phillips, L. M., . . . Yore, L. D. (2003). Message from the "Island Group": What is literacy in science literacy? *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 607-615.
- Hand, B., Lawrence, C., & Yore, L. D. (1999). A writing in science framework designed to enhance science literacy. *International Journal of Science Education*, 21(10), 1021-1035.
- Hand, B., Prain, V., Lawrence, C., & Yore, L. D. (1999). A writing in science framework designed to enhance science literacy. *International Journal of Science Education*, 21(10), 1021-1035.
- Hattie, J. C. (2003). *Teachers make a difference: What is the research evidence?* Keynote presentation at the Building Teacher Quality: The ACER Annual Conference. Melbourne, Australia.
- Hattie, J. C. (2005). *What is the nature of evidence that makes a difference to learning?* Retrieved from [http://research.acer.edu.au/research\\_conference\\_2005/7](http://research.acer.edu.au/research_conference_2005/7) (letzter Zugriff 29.11.2011)
- Hattie, J. C. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London, England: Routledge.
- Helmke, A. (2002). Kommentar: Unterrichtsqualität und Unterrichtsklima - Perspektiven und Sackgassen. *Unterrichtswissenschaft*, 30(3), 261-277.
- Helmke, A. (2006). Unterrichtsforschung. In K.-H. Arnold, U. Sandfuchs & J. Wiechmann (Eds.), *Handbuch Unterricht* (pp. 56-65). Bad Heilbrunn, Germany: Klinkhardt.
- Helmke, A. (2008). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velber, Germany: Kallmeyer.

- Helmke, A., & Weinert, F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert (Ed.), *Enzyklopädie der Psychologie. Pädagogische Psychologie. Bd. 3: Psychologie der Schule und des Unterrichts* (pp. 71-176). Göttingen, Germany: Hogrefe.
- Hill, H. C., Rowan, B., & Loewenberg Ball, D. (2005). Effects of teachers' mathematical knowledge for teaching on student achievement. *American Educational Research Journal*, 42(2), 371-406.
- Hinsch, R., Jürgens, B., & Steinhorst, H. I. (1980). Die Bedeutung von Einstellungen für das Verhalten. In R. Hinsch, B. Jürgens & H. Steinhorst (Eds.), *Der Lehrer in Erziehung und Unterricht* (pp. 104-120). Hannover, Germany: Schroedel.
- Hoffmann, L. (1985). *Kommunikationsmittel Fachsprache - Eine Einführung* (Vol. 2). Tübingen, Germany: Gunter Narr Verlag.
- Hollingsworth, S. (1989). Prior beliefs and cognitive change in learning to teach. *American Educational Research Journal*, 26(2), 160.
- Homburg, C., Pflesser, C., & Klarmann, M. (2008). Strukturgleichungsmodell mit latenten Variablen: Kausalanalyse. In A. Hermann, C. Homburg & M. Klarmann (Eds.), *Handbuch Marktforschung* (Vol. 3, pp. 547-577). Wiesbaden, Germany: Gabler.
- Hox, J. J. (2002). *Multilevel analysis: Techniques and applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hox, J. J., & Maas, C. J. M. (2001). The accuracy of multilevel structural equation modeling with pseudobalanced groups and small samples. *Structural equation modeling: A multidisciplinary journal*, 8(2), 157-174.
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: A multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.
- Hubber, P., Tytler, R., & Hastam, F. (2010). Teaching and learning about force with a representational focus: Pedagogy and teacher change. *Research in Science Education*, 40(1), 5-28.
- James, L. R., Demaree, R. G., & Wolf, G. (1984). Estimating within-group interrater reliability with and without response bias. *Journal of Applied Psychology*, 69(1), 85-98.
- Jones, M. G., & Carter, G. (2007). Science teacher attitudes and beliefs. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Kagan, D. M. (1992). Professional growth among preservice and beginning teachers. *Review of Educational Research*, 62(2), 129.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31-35.
- Kalverkämper, H. (1998). Fachsprache und Fachsprachenforschung. In L. Hoffmann, H. Kalverkämper & H. E. Wiegand (Eds.), *Fachsprachen. Ein internationales Handbuch zur Fachsprachenforschung und Terminologiewissenschaft, Band 14.1* (pp. 48-59). Berlin, Germany: DeGruyter.
- Kattmann, U. (2006). Texte. In H. Gropengießer & U. Kattmann (Eds.), *Fachdidaktik Biologie* (Vol. 7, pp. 357-366). Köln, Germany: Aulis Verlag Deubner.
- Kehren, W., & Langlet, J. (2006). Zur Funktionalität chemischer Formeln im Biologieunterricht. *Mathematisch-Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 59(2), 104-110.
- Keig, P. F., & Rubba, P. A. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), 889-903.
- Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2006). Effect of instructional environment on physics students' representational skills. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(1), 1-19.
- Kownatzki, O. (1980). Warum ermitteln manche Schüler falsche Strukturformeln? *Chemie in der Schule*, 12, 515-516.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13, 205-226.
- 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.
- Kozma, R., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualizations in science education* (pp. 121-146). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Krajcik, J. S., & Sutherland, L. M. (2010). Supporting students in developing literacy in science. *Science*, 328(5977), 456-459.

- Krauss, S., Kunter, M., Brunner, M., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., . . . Löwen, K. (2004). COACTIV: Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz. In J. Doll & M. Prenzel (Eds.), *Die Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (pp. 31-53). Münster, Germany: Waxmann.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (Eds.). (2001). *Multimodal teaching and learning: Rhetorics of the science classroom*. London, England: Continuum.
- Kultusministerkonferenz. (2004). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie*. Retrieved from [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/1989/1989\\_12\\_01-EPA-Biologie.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Biologie.pdf) (letzter Zugriff 30.11.2011).
- Kultusministerkonferenz. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. München, Germany: Wolters Kluwer.
- Kultusministerkonferenz. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. München, Germany: Wolters Kluwer.
- Kultusministerkonferenz. (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. München, Germany: Wolters Kluwer.
- Kunter, M., & Baumert, J. (2006). Who is the expert? Construct and criteria validity of student and teacher ratings of instruction. *Learning Environments Research*, 9, 231-251.
- Kunter, M., Baumert, J., & Köller, O. (2007). Effective classroom management and the development of subject-related interest. *Learning and Instruction*, 17(5), 494-509.
- Kunter, M., Brunner, M., Baumert, J., Klusmann, U., Krauss, S., Blum, W., . . . Neubrand, M. (2005). Der Mathematikunterricht der PISA-Schülerinnen und -Schüler. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 8(4), 502-520.
- Kunter, M., Klusmann, U., Dubberke, T., Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., . . . Tsai, Y.-M. (2007). Linking aspects of teacher competence to their instruction. Results from the COACTIV project. In M. Prenzel (Ed.), *Studies on the educational quality of schools : The final report on the DFG Priority Programme* (pp. 39-59). Münster, Germany: Waxmann.
- Kunter, M., & Voss, T. (2011). Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Eds.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster, Germany: Waxmann.

- Lachmayer, S. (2008). *Entwicklung und Überprüfung eines Strukturmodells der Diagrammkompetenz für den Biologieunterricht*. Elektronische Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Germany. Retrieved from [http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation\\_diss\\_00003041](http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00003041) (Letzter Zugriff 25.11.2011)
- Lachmayer, S., Nerdel, C., & Pechtl, H. (2007). Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 145-160.
- Laplante, B. (1997). Teachers' beliefs and instructional strategies in science: Pushing analysis further. *Science Education*, 81(3), 277-294.
- LeBreton, J. M., & Senter, J. L. (2008). Answers to 20 questions about interrater reliability and interrater agreement. *Organizational Research Methods*, 11(4), 815-852.
- Leisen, J. (1998). Fachlernen und Sprachlernen im Physikunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften-Physik*, 47(2), 5-8.
- Leisen, J. (2003). *Methoden-Handbuch - Deutschsprachiger Fachunterricht (DFU)*. Bonn, Germany: Varus.
- Leisen, J. (2005a). Muss ich jetzt auch noch Sprache unterrichten? Sprache und Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 16(87), 4-9.
- Leisen, J. (2005b). Wechsel der Darstellungsformen. Eine wichtige Strategie im kommunikativen Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 16(87), 10-11.
- Leisen, J., & Mentges, H. (Eds.). (2009). *Sachtexte lesen im Fachunterricht der Sekundarstufe*. Seelze-Velber, Germany: Klett Kallmeyer.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and value*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Lemke, J. L. (1998a). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin & R. Veel (Eds.), *Reading science: Critical and functional perspectives of discourses of science* (pp. 87-111). New York, NY: Routledge.
- Lemke, J. L. (1998b). *Teaching all the languages of science: Words, symbols, images, and actions* Paper presented at the International Conference on Ideas for a Scientific Culture, Barcelona, Spain. <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm> (letzter Zugriff 30.11.2011)
- Lemke, J. L. (2004). The literacies of science. In E. W. Saul (Ed.), *Crossing borders in literacy and science instruction: Perspectives on theory and practice* (pp. 33-47). Arlington, VA: International Reading Association.

- Lienert, G., & Raatz, U. (1994). *Testaufbau und Testanalyse* (Vol. 5). Weinheim, Germany: Beltz.
- Lipowsky, F. (2006). Auf den Lehrer kommt es an. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52, 47-70.
- Lipowsky, F., Rakoczy, K., Pauli, C., Drollinger-Vetter, B., Klieme, E., & Reusser, K. (2009). Quality of geometry instruction and its short-term impact on students' understanding of the Pythagorean Theorem. *Learning and Instruction*, 19(6), 527-537.
- Lortie, D. (1975). *School teacher. A sociological study*. Chicago, IL: Chicago University Press.
- Lowe, R., Schnotz, W., & Rasch, T. (2011). Aligning affordances of graphics with learning task requirements. *Applied Cognitive Psychology*, 25(3), 452-459.
- Lüdtke, O., Robitzsch, A., Trautwein, U., & Kunter, M. (2009). Assessing the impact of learning environments: How to use student ratings of classroom or school characteristics in multilevel modeling. *Contemporary Educational Psychology*, 34(2), 120-131.
- Lüdtke, O., Trautwein, U., Kunter, M., & Baumert, J. (2006a). Analyse von Lernumwelten - Ansätze zur Bestimmung der Reliabilität und Übereinstimmung von Schülerwahrnehmung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20(1/2), 85-96.
- Lüdtke, O., Trautwein, U., Kunter, M., & Baumert, J. (2006b). Reliability and agreement of student ratings of the classroom environment: A reanalysis of TIMSS data. *Learning Environments Research*, 9(3), 215-230.
- Lüdtke, O., Trautwein, U., Schnyder, I., & Niggli, A. (2007). Simultane Analysen auf Schüler- und Klassenebene. Eine Demonstration der konfirmatorischen Mehrebenen-Faktorenanalyse zur Analyse von Schülerwahrnehmungen am Beispiel der Hausaufgabenvergabe. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39(1), 1-11.
- 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 (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

- Merzyn, G. (1987). The language of school science. *International Journal of Science Education*, 9(4), 483-489.
- Merzyn, G. (1996). A comparison of some linguistic variables in fifteen science texts. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in science education in europe: Current issues and themes* (pp. 361-369). London, England: Falmer Press.
- Messner, H., & Reusser, K. (2000). Die berufliche Entwicklung von Lehrpersonen als lebenslanger Prozess. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 18(2), 157-171.
- Meyer, H., Tabachnick, B. R., Hewson, P. W., Lemberger, J., & Park, H.-J. (1999). Relationships between prospective elementary teachers' classroom practice and their conceptions of biology and of teaching science. *Science Education*, 83(3), 323-346.
- Mortimer, E., & Scott, P. (2000). Analysing discourse in the science classroom. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education* (pp. 127-143). Buckingham, PA: Open University Press.
- Müller-Fohrbrodt, G., Cloetta, B., & Dann, H. D. (1978). *Der Praxisschock bei jungen Lehrern*. Stuttgart, Germany: Klett.
- Musli, S. (2008). *Die chemische Formelsprache im Spannungsfeld von Schülerleistung und Lehrererwartung*. Münster, Germany: Schöningh.
- Muthén, B. O. (1994). Multilevel covariance structure analysis. *Sociological Methods Research*, 22(3), 376-398.
- Neuhaus, B. (2007). Unterrichtsqualität als Forschungsfeld für empirische biologiepädagogische Studien. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiepädagogischen Forschung* (pp. 243-254). Berlin, Germany: Springer.
- Neuhaus, B., & Braun, E. (2007). Testkonstruktion und Testanalyse - praktische Tipps für empirisch arbeitende Didaktiker und Schulpraktiker. In H. Bayrhuber, D. Elster, D. Krüger & H. J. Vollmer (Eds.), *Kompetenzentwicklung und Assessment* (pp. 135-164). Innsbruck, Germany: Studienverlag.
- Neuhaus, B., & Vogt, H. (2005). Dimensionen zur Beschreibung verschiedener Biologielehrertypen auf Grundlage ihrer Einstellung zum Biologieunterricht. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 73-84.
- Neumann, K., Kauertz, A., & Fischer, H. (im Druck). Quality of instruction in science. In B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Eds.), *International handbook of science education*. New York, NY: Springer.

- Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2010). Language in science education and the influence of teachers' professional knowledge. In M. F. T. G. Cakmakci (Ed.), *Contemporary science education research: Pre-service and in-service teacher education* (pp. 323-329). Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (submitted). Entwicklung eines Erhebungsinstruments zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht [Development of an instrument to assess the use of scientific language in biology classes]. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*.
- Nitz, S., Prechtel, H., & Nerdel, C. (2010). Unterrichtsgestaltung und Schülerfähigkeiten hinsichtlich des Umgangs mit fachsprachlichen Repräsentationen. In S. Nitz, M. Schreiber & K. Münchhoff (Eds.), *12. Internationale Frühjahrsschule der Fachsektion Didaktik der Biologie um Verband für Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland* (pp. 38-39). Kiel: Universitätsdruckerei CAU Kiel.
- Nitz, S., Prechtel, H., & Nerdel, C. (submitted). Survey of classroom use of representations: Development, field test and multilevel analysis. *Learning Environments Research*.
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, *87*(3), 224-240.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, *27*(10), 937-949. doi: 10.1002/tea.3660271003
- O'Connor, B. P. (2000). SPSS and SAS programs for determining the number of components using parallel analysis and Velicer's MAP test. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *32*(3), 396-402.
- OECD. (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy - A framework for PISA 2006*. Paris, France: OECD Publishing.
- Osborne, J. (2002). Science without a literacy: A ship without a sail? *Cambridge Journal of Education*, *32*(2), 203-218.
- Oser, F., Dick, A., & Patry, J.-L. (Eds.). (1992). *Effective and responsible teaching*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Palmer, S. E. (1978). Fundamental aspects of cognitive representation. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, *38*(3), 261-284.

- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, 3(3), 227-238.
- Prain, V., & Waldrip, B. G. (2006). An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1843-1866.
- Prain, V., & Waldrip, B. G. (2008). A study of teachers' perspectives about using multimodal representations of concepts to enhance science learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 8(1), 5-24.
- Prain, V., & Waldrip, B. G. (2010). Representing science literacies: An introduction. *Research in Science Education*, 40(1), 1-3.
- Pritchard, A. J. (1992). Teaching for conceptual change - "Too much chemicals". In H. Entrich & L. Staeck (Eds.), *Sprache und Verstehen im Biologieunterricht* (pp. 197-202). Alsbach: Leuchtturmverlag.
- Rincke, K. (2010). Alltagssprache, Fachsprache und ihre besonderen Bedeutungen für das Lernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 235-260.
- Rincke, K. (2011). It's rather like learning a language: Development of talk and conceptual understanding in mechanics lessons. *International Journal of Science Education*, 33(2), 229-258.
- Roelcke, T. (2005). *Fachsprachen* (Vol. 2). Berlin, Germany: Erich Schmidt Verlag.
- Rost, J., Walter, O., Carstensen, C. H., Senkbeil, M., & Prenzel, M. (2004). Naturwissenschaftliche Kompetenz. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, H.-G. Rolff, J. Rost & U. Schiefele (Eds.), *PISA 2003 - Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (pp. 111-146). Münster, Germany: Waxmann.
- Roth, W.-M. (2001). Gestures: Their role in teaching and learning. *Review of Educational Research*, 71(3), 365-392.
- Roth, W.-M., & Bowen, G. M. (2001). Professionals read graphs: A semiotic analysis. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32, 159-194.
- Scheerens, J. (2000). *Improving school effectiveness*. Paris, France: UNESCO.
- Scheerens, J., & Bosker, R. J. (1997). *The foundations of educational effectiveness*. Oxford, England: Pergamon.
- Schnotz, W. (1993). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Ed.), *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (pp. 95-147). Bern, Switzerland: Hans Huber.

- Schnotz, W. (2001). Sign systems, technologies, and the acquisition of knowledge. In J.-F. Rouet, J. Levonen & A. Biardeau (Eds.), *Multimedia Learning: Cognitive and Instructional Issues* (pp. 9-29). Amsterdam, The Netherlands: Pergamon.
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.
- Schnotz, W., & Dutke, S. (2004). Kognitionspsychologische Grundlagen der Lesekompetenz: Mehrebenenverarbeitung anhand multipler Informationsquellen. In U. Schiefele, C. Artelt, W. Schneider & P. Stanat (Eds.), *Struktur, Entwicklung und Förderung von Lesekompetenz. Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000*. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Schnotz, W., Horz, H., McElvany, N., Schroeder, S., Ullrich, M., Baumert, J., . . . Richter, T. (2010). Das BITE-Projekt: Integrative Verarbeitung von Bildern und Texten in der Sekundarstufe. In E. Klieme, D. Leutner & M. Kenk (Eds.), *Kompetenzmodellierung. Zwischenbild des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes (Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, 56)* (pp. 143-153). Weinheim: Beltz.
- Schroeder, S., Richter, T., McElvany, N., Hachfeld, A., Baumert, J., Schnotz, W., . . . Ullrich, M. (2011). Teachers' beliefs, instructional behaviors, and students' engagement in learning from texts with instructional pictures. *Learning and Instruction*, 21(3), 403-415.
- Scott, P. (1998). Teacher talk and meaning making in science classrooms: a Vygotskian analysis and review. *Studies in Science Education*, 32(1), 45-80.
- Seidel, T., & Shavelson, R. J. (2007). Teaching effectiveness research in the past decade: The role of theory and research design in disentangling meta-analysis results. *Review of Educational Research*, 77(4), 454-499.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence from formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13(2), 227-237.
- Sherin, B. L. (2000). How students invent representations of motion. A genetic account. *Journal of Mathematical Behavior*, 19(4), 399-441.
- Shuell, T. J. (1993). Toward an integrated theory of teaching and learning. *Educational Psychologist*, 28(4), 291-311.
- Shulman, L. S. (1986a). Paradigms and research programs in the study of teaching: A contemporary perspective. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 3-36). New York, NY: Macmillan.

- Shulman, L. S. (1986b). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Shulman, L. S. (2000). Teacher development: Roles of domain expertise and pedagogical knowledge. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 129-135.
- Slavin, R. E. (1987). Quality, appropriateness, incentive and time: A model of instructional effectiveness. *International Journal of Educational Research*, 21(2), 141-157.
- Slavin, R. E. (1989). A theory of school and classroom organization. In R. E. Slavin (Ed.), *School and classroom organization* (pp. 3-24). Hillsdale, NJ: Lawrence Elbaum Associates.
- Snijders, T., & Bosker, R. (1999). *Multilevel analysis: An introduction to basic and advanced multilevel modeling*. London, England: Sage.
- Southerland, S. A., & Gess-Newsome, J. (1999). Preservice teachers' views of inclusive science teaching as shaped by images of teaching, learning and knowledge. *Science Education*, 83(2), 131-150.
- Stäudel, L., Franke-Braun, G., & Parchmann, I. (2008). Sprache, Kommunikation und Wissenserwerb im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 19(106/107), 4-9.
- Stieff, M. (2011). Improving representational competence using molecular simulations embedded in inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(10), 1137-1158.
- Stieff, M., Hegarty, M., & Deslongchamps, G. (2011). Identifying representational competence with multi-representational displays. *Cognition and Instruction*, 29(1), 123-145.
- Sumfleth, E., & Pitton, A. (1998). Sprachliche Kommunikation im Chemieunterricht: Schülervorstellungen und ihre Bedeutung im Unterrichtsalltag. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(2), 4-20.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics* (Vol. 5). Boston, MA: Pearson.
- Tang, K.-S., & Moje, E. B. (2010). Relating multimodal representations to the literacies of science. *Research in Science Education*, 40(1), 81-85.
- Terhart, E. (2002). Standards für die Lehrerbildung. Eine Expertise für die Kultusministerkonferenz. Retrieved from <http://miami.uni->

- muenster.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1151/Standards\_fuer\_die\_Lehrerbildung\_Eine\_Expertise\_fuer\_die\_Kultusministerkonferenz.pdf
- Tippett, C. D. (2011). *Exploring middle school students' representational competence in science: Development and verification of a framework for learning with visual representations*. PhD, University of Victoria, Victoria.
- Tippett, C. D., & Nitz, S. (accepted). *Towards a measure of representational competence (RC) in science*. Paper presented at the Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Indianapolis.
- Tytler, R., Peterson, S., & Prain, V. (2006). Picturing evaporation: Learning science literacy through a particle representation. *Teaching Science*, 52(1), 12-17.
- Tytler, R., Prain, V., & Peterson, S. (2007). Representational issues in students learning about evaporation. *Research in Science Education*, 37(3), 313-331.
- Van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, 31(2), 142-166.
- Van Meter, P., & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17(4), 285-325.
- Walberg, H. J. (1981). A psychological theory of educational productivity. In F. H. Farley & N. Gordon (Eds.), *Psychology and education: The state of the union* (pp. 81-108). Berkeley, CA: McCutchan.
- Waldrip, B. G., Prain, V., & Carolan, J. (2006). Learning junior secondary science through multi-modal representations *Electronic Journal of Science Education*, 11(1), 87-107.
- Waldrip, B. G., Prain, V., & Carolan, J. (2010). Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. *Research in Science Education*, 40(1), 65-80.
- Wang, M. C., Haertel, G. D., & Walberg, H. J. (1993). Toward a knowledge base for school learning. *Review of Educational Research*, 63(3), 249-294.
- Wayne, A. J., & Youngs, P. (2003). Teacher characteristics and student achievement gains: A review. *Review of Educational Research*, 73(1), 89-122.
- Weiber, R., & Mühlhaus, D. (2010). *Strukturgleichungsmodellierung. Eine anwendungsorientierte Einführung in die Kausalanalyse mit Hilfe von AMOS, SmartPLS und SPSS* (Vol. 1). Berlin, Germany: Springer.

- Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. J. Issing & P. Klimsa (Eds.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (Vol. 3, pp. 45-64). Weinheim, Germany: Beltz.
- Weinert, F. E., Schrader, F.-W., & Helmke, A. (1989). Quality of instruction and achievement outcomes. *International Journal of Educational Research*, 13(8), 895-914.
- Wellington, J., & Osborne, J. (2001). *Language and literacy in science education*. Buckingham, PA: Open University Press.
- Widaman, K. F., & Reise, S. P. (1997). Exploring the measurement invariance of psychological instruments: Applications in the substance use domain. In K. J. Bryant, M. Windle & S. G. West (Eds.), *The science of prevention: Methodological advances from alcohol and substance abuse research* (pp. 281-324). Washington, DC: American Psychological Association.
- Wittwer, J. (2008). What influences the agreement among student ratings of science instruction? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Sonderheft 10*, 205-220.
- Wüsten, S. (2010). *Allgemeine und fachspezifische Merkmale der Unterrichtsqualität im Fach Biologie*. Berlin, Germany: Logos.
- Wüsten, S., Schmelzing, S., Sandmann, A., & Neuhaus, B. (2008). Unterrichtsqualitätsmerkmale im Fach Biologie. In D. Krüger, A. Upmeyer zu Belzen, T. Riemer & K. Niebert (Eds.), *Erkenntnisweg Biologiedidaktik 7*. Kassel, Germany: Universitätsdruckerei Kassel.
- Wüsten, S., Schmelzing, S., Sandmann, A., & Neuhaus, B. (2010). Sachstrukturdiagramme - Eine Methode zur Erfassung inhaltspezifischer Merkmale der Unterrichtsqualität im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41-57.
- Wuttke, E. (2005). *Unterrichtskommunikation und Wissenserwerb*. Frankfurt am Main, Germany: Peter Lang.
- Yore, L. D. (2011). Foundations of scientific, mathematical, and technological literacies: Common themes and theoretical framework. In L. D. Yore, E. Van der Flier-Keller, D. W. Blades, T. W. Pelton & D. B. Zandvliet (Eds.), *Pacific CRYSTAL centre for science, mathematics, and technology Literacy: Lessons learned*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Yore, L. D., Bisanz, G. L., & Hand, B. M. (2003). Examining the literacy component of science literacy: 25 years of language arts and science research. *International Journal of Science Education*, 25(6), 689-725.

- Yore, L. D., & Hand, B. (2010). Epilogue: Plotting a research agenda for multiple representations, multiple modality, and multimodal representational competency. *Research in Science Education*, 40(1), 93-101.
- Yore, L. D., Pimm, D., & Tuan, H.-L. (2007). The literacy component of mathematical and scientific literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(4), 559-589.
- Yore, L. D., & Treagust, D. F. (2006). Current realities and future possibilities: Language and science literacy - empowering research and informing instruction. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 291-314.
- Zeichner, K. M. (1980). Myths & realities: Field-based experiences in preservice teacher education. *Journal of Teacher Education*, 31(6), 45-47.
- Zeichner, K. M., & Tabachnick, B. R. (1981). Are the effects of university teacher education "washed out" by school experience? *Journal of Teacher Education*, 32(3), 7-11.
- Zint, M. (2002). Comparing three attitude-behavior theories for predicting science teachers' intentions. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(9), 819-844.

## 9 Anhang

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veranschaulichung der Konzeption von Scientific Literacy, die dieser Arbeit zugrundeliegt (modifiziert nach Yore, et al., 2007) .....	2
Abbildung 2: Angebots-Nutzungs-Modell von Unterricht (modifiziert nach Helmke, 2008; Neuhaus, 2007 und Wüsten, 2010).....	13
Abbildung 3: Mittlere Einstellungsausprägung der Gesamtstichprobe ( $N = 66$ ) und der beiden Teilstichproben (Studierende $n = 33$ , Referendare $n = 33$ ) bezüglich der drei Skalen.....	31

### 9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung und Synthese der Konzeptionen <i>representational competence</i> nach Kozma & Russell (1997, 2005) und <i>meta-representational competence</i> nach diSessa (2004; diSessa & Sherin, 2000) .....	9
Tabelle 2: Stichprobenszusammensetzung der Studie 1 bezüglich der untersuchten Standorte und der studierten Fächerkombinationen.....	27
Tabelle 3: Kennwerte für <i>Skala 1: Vermittlung von Fachsprache als Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts</i> ; 5 Items.....	29
Tabelle 4: Kennwerte für <i>Skala 2: Verständlichkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch eine alltagssprachliche Orientierung</i> ; 4 Items .....	29
Tabelle 5: Kennwerte für <i>Skala 3: Fachsprache als Qualitätsmerkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts</i> ; 3 Items.....	29
Tabelle 6: Verwendete Indices zur Bestimmung der IRR und IRA sowie die jeweiligen Berechnungsformeln .....	48
Tabelle 7: Mustermatrix der promax-rotierten Hauptachsenanalyse des FIB sowie die Werte für Cronbachs $\alpha$ der einzelnen Skalen und Skalenmittelwerte .....	50
Tabelle 8: Korrelationen der Skalen des Fragebogens .....	52
Tabelle 9: Maße der IRR [ICC(1) und ICC(2)] sowie die Mittelwerte der IRA-Indices $r_{WG(j)}$ und $AD_{M(j)}$ für die einzelnen Skalen .....	53
Table 10: Discriminant validity and internal consistency reliability for each scale of the instrument in phase 2.....	66

Table 11: Fit indices for single-level confirmatory factor analysis (CFA; six factorial model) and multilevel confirmatory factor analysis (MCFA; six factorial model at both levels) of the instrument in phase 3.....	69
Table 12: Correlations among factors for single-level CFA (below diagonal) and multilevel CFA (above diagonal, within/between).....	69
Table 13: Intraclass correlations [ICC(1), ICC(2)], index of interrater agreement ( $r_{WG(j)}$ ), internal consistency reliability (Cronbachs $\alpha$ ) and discriminant validity for each scale of the instrument in phase 3 .....	70
Table 14: Standardised parameter estimates for single-level CFA and multilevel CFA .....	72
Table 15: Comparison of representational competence (Kozma & Russell, 1997; 2005) and meta-representational competence (diSessa, 2004; diSessa & Sherin, 2000) and synthesis of joint categories to describe representations skills [emphases added] .	79
Table 16: Employed scales with sample items, reliability coefficients (Cronbachs $\alpha$ , ICC2), intra-class correlations, and descriptive statistics for individual and class level .....	84
Table 17: Multilevel regression analyses of individual and class variables on students' representational competence after the teaching unit .....	88
Tabelle 18: Itemwortlaute und deskriptive Statistiken (Mittelwert, Standardabweichung und Trennschärfe) der in Studie 3 und 4 eingesetzten Items .....	126
Tabelle 19: Unstandardisierte Parameter der CFA zur Überprüfung der Messinvarianz.....	133
Tabelle 20: Standardisierte Parameter der CFA zur Überprüfung der Messinvarianz .....	134
Tabelle 21: Mittelwerte der <i>representational competence</i> Items zu beiden Messzeitpunkten.....	135

### 9.3 Ergebnisinstrumente

Im Folgenden sind die entwickelten und eingesetzten Erhebungsinstrumente aufgeführt.

#### 9.3.1 Umgang mit naturwissenschaftlicher Fachsprache

Die Erhebung der fachspezifischen Unterrichtsqualität bezüglich des Umgangs mit der naturwissenschaftlichen Fachsprache im Biologieunterricht erfolgte mit selbstentwickelten Items. Die in Studie 2 entwickelten und Studie 3 und 4 genutzten Items sowie ihre Mittelwerte und Trennschärfen sind in Tabelle 18 zu finden.

Tabelle 18: Itemwortlaute und deskriptive Statistiken (Mittelwert, Standardabweichung und Trennschärfe) der in Studie 3 und 4 eingesetzten Items

Itemname (deutsch, englisch)	Itemwortlaut	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>r<sub>it</sub></i>
<i>Skala Anzahl der Fachbegriffe im Biologieunterricht, Amount of terms</i>				
sfab1	<i>Bestimmte Fachbegriffe treten nur in einer Biologiestunde auf und werden anschließend im Biologieunterricht nicht mehr verwendet.</i>	3.08	0.83	0.29
sfab2	<i>Im Biologieunterricht konzentrieren wir uns auf die grundlegenden Fachbegriffe eines Themas.</i>	3.19	0.72	0.07
sfab3	Die vielen Fachbegriffe im Biologieunterricht verwirren mich.	2.60	0.94	0.62
sfab4	Die Anzahl neuer Fachbegriffe pro Biologiestunde ist angemessen.	3.38	0.74	0.50
<b>sfab5, terms3</b>	In einer Biologiestunde werden zu viele Fachbegriffe verwendet	2.80	0.96	0.66
<b>sfab6, terms1</b>	<i>Die vielen biologischen Fachbegriffe führen bei mir zu Verständnisschwierigkeiten.</i>	2.72	0.95	0.67
<b>sfab7, terms2</b>	<i>Im Biologieunterricht werden zu viele neue Fachbegriffe eingeführt.</i>	2.82	0.96	0.68
<i>Skala Aktive soziale Konstruktion von Wissen, Active social construction of knowledge</i>				
<b>ssoz1, asc3</b>	Im Biologieunterricht präsentieren wir die Ergebnisse von Gruppen-, Einzel- oder Projektarbeiten.	2.84	0.93	0.56
ssoz2	Im Biologieunterricht diskutieren wir über unsere Lösungs-ideen oder Lösungswege.	3.20	0.85	0.36
ssoz3	Im Biologieunterricht behandeln wir ein komplexes Thema auch über längere Zeit in Projekten.	2.29	0.97	0.48
<b>ssoz4, asc2</b>	Im Biologieunterricht gliedert unser/e Biologielehrer/in Probleme in einzelne Aufgabenstellungen auf, die wir in Gruppen bearbeiten und anschließend zusammenfassen.	2.51	0.99	0.55
ssoz5	Unser/e Biologielehrer/in schafft im Unterricht „offene Situationen“, in denen wir eigene Problemstellungen entwickeln können.	2.78	0.93	0.41
ssoz6	Wir diskutieren über biologische Themen im Biologieunterricht.	3.43	0.77	0.29
<b>ssoz7, asc1</b>	Im Biologieunterricht arbeiten wir auch in Gruppen.	2.73	0.99	0.61
<i>Skala Symbolische Repräsentationen im Biologieunterricht, Use of symbolic representations</i>				
ssym1	<i>Biochemische Reaktionen stellen wir durch Reaktionsgleichungen dar.</i>	3.16	0.85	0.53
ssym2	Wir arbeiten mit Strukturformeln von Molekülen im Biologieunterricht.	2.63	0.91	0.58
ssym3	Wenn wir mit Reaktionsgleichungen im Biologieunterricht arbeiten, dann besprechen wir auch die chemischen Prinzipien, die hinter der Reaktionsgleichung stehen.	2.82	0.89	0.59

<b>ssym4, sym1</b>	Auf den Umgang mit Reaktionsgleichungen im Biologieunterricht geht unser/e Biologielehrer/in ausdrücklich ein.	2.79	0.88	0.67
<b>ssym5</b>	<i>Wir arbeiten mit chemischen Symbolen im Biologieunterricht.</i>	2.70	0.89	0.54
<b>ssym6, sym2</b>	Wir üben das Aufstellen von chemischen Reaktionsgleichungen im Biologieunterricht.	2.35	0.97	0.54
<b>ssym7, sym3</b>	<i>Wir nutzen die chemische Formelsprache im Biologieunterricht.</i>	2.68	0.93	0.62
<i>Skala Fachliche Texte im Biologieunterricht, Use of scientific texts</i>				
<b>stex3, text1</b>	Wenn wir im Biologieunterricht mit einer Abbildung oder einem Diagramm arbeiten, sollen wir einen kurzen Text dazu schreiben.	2.34	0.96	0.50
<b>stex4</b>	<i>Wir besprechen im Biologieunterricht, wie man mit einem biologischen Fachtext umgeht.</i>	2.64	0.95	0.41
<b>stex5, text2</b>	Wir schreiben im Biologieunterricht selbst kurze fachliche Texte zu einem biologischen Thema.	2.41	1.00	0.47
<b>stex6</b>	Wir arbeiten mit fachlichen Texten im Biologieunterricht	3.39	0.81	0.34
<b>stext1, text4</b>	Wenn wir im Biologieunterricht mit einem fachlichen Text arbeiten, dann sollen wir im Anschluss Fragen zum Text beantworten.	3.32	0.74	0.38
<b>stext2, text3</b>	Wenn wir im Biologieunterricht mit einem fachlichen Text arbeiten, dann sollen wir die Schlüsselwörter des Textes suchen und diesen zusammenfassen.	2.37	0.93	0.41
<i>Skala Konstruktion von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, Construction of visual representations</i>				
<b>svisk1</b>	Wir üben im Biologieunterricht, wie man biologische Sachverhalte mit Abbildungen (Schemazeichnungen, Skizzen, etc.) darstellt.	2.70	0.92	0.52
<b>svisk2, constvis2</b>	Wenn in einem fachlichen Text die Ergebnisse eines Experiments beschrieben sind, fertigen wir ein Diagramm (z.B. Säulen-, Linien-, Kreis-, Fluss- oder Baumdiagramm) an, um diese zu veranschaulichen.	2.16	0.88	0.72
<b>svisk3, constvis4</b>	Wir üben das Erstellen von Diagrammen (z.B. Säulen-, Linien-, Kreis-, Fluss- oder Baumdiagramm) im Biologieunterricht.	2.19	0.90	0.67
<b>svisk4</b>	Wenn in einem Text ein biologischer Prozess beschrieben ist, halten wir diesen in Form einer Abbildung oder eines Diagramms fest.	2.48	0.88	0.59
<b>svisk5</b>	Wir ermitteln aus Fachtexten die wichtigen Informationen und setzen diese in eine Abbildung oder ein Diagramm um.	2.31	0.89	0.66
<b>svisk6, constvis1</b>	Wir erstellen selbst Diagramme (z.B. Säulen-, Linien-, Kreis-, Fluss- oder Baumdiagramm) im Biologieunterricht.	2.22	0.91	0.71
<b>svisk7, constvis3</b>	Wir erstellen selbst Abbildungen (Schemazeichnungen, Skizzen, etc.) im Biologieunterricht.	2.42	0.91	0.62
<b>svisk8</b>	Abhängigkeiten zwischen zwei Größen veranschaulichen wir durch Diagramme (z.B. Säulen- oder Liniendiagramme).	2.72	0.93	0.50
<b>svisk9</b>	Wir stellen Ergebnisse von Experimenten in Form von Diagrammen dar.	2.35	0.87	0.69

Skala Interpretation von bildlichen Repräsentationen im Biologieunterricht, *Interpretation of visual representations*

<b>svisu1, intvis4</b>	Wenn wir im Biologieunterricht mit Abbildungen (Schemazeichnungen, Skizzen, etc.) arbeiten, besprechen wir diese nicht nur inhaltlich, sondern auch den Aufbau der Abbildung (was ist dargestellt, wie ist es dargestellt, etc.).	3.64	0.65	0.51
<b>svisu2, intvis3</b>	Auf den Umgang mit Abbildungen (Schemazeichnungen, Skizzen, etc.) im Biologieunterricht geht unser/e Biologielehrer/in ausdrücklich ein.	3.53	0.66	0.45
svisu3	Wenn wir mit Diagrammen im Biologieunterricht arbeiten, besprechen wir diese nicht nur inhaltlich, sondern auch den Aufbau des Diagramms (um was für ein Diagramm handelt es sich, was zeigt das Diagramm, was ist auf welcher Achse aufgetragen, etc.).	3.46	0.79	0.54
<b>svisu4, intvis1</b>	Auf den Umgang mit Diagrammen (z.B. Säulen-, Linien-, Kreis-, Fluss- oder Baumdiagramm) im Biologieunterricht geht unser/e Biologielehrer/in ausdrücklich ein.	3.08	0.86	0.61
<b>svisu5, intvis2</b>	Wir üben im Biologieunterricht das Ablesen von Informationen aus Diagrammen (z.B. Säulen-, Linien-, Kreis-, Fluss- oder Baumdiagramm).	3.32	0.78	0.56
svisu6	Wenn wir im Biologieunterricht mit einem Diagramm (z.B. Säulen-, Linien-, Kreis-, Fluss- oder Baumdiagramm) arbeiten, besprechen wir im Unterricht, wie man das Diagramm „lesen“ soll.	3.11	0.90	0.69
svisu7	Wenn wir im Biologieunterricht mit einer Abbildung (Schemazeichnungen, Skizzen, etc.) arbeiten, dann besprechen wir im Unterricht, wie man die Abbildung „lesen“ soll.	3.03	0.93	0.63
svisu8	Wenn wir mit Säulen- oder Liniendiagrammen im Biologieunterricht arbeiten, besprechen wir, welche Größe auf die x-Achse bzw. y-Achse kommt.	2.79	1.05	0.52

Items mit fett gedruckten Itemnamen wurden in Studie 3 und 4 in die Analysen einbezogen.  
Kursiv gedruckte Items wurden nach Studie 2 neu entwickelt.

### 9.3.2 Representational competence

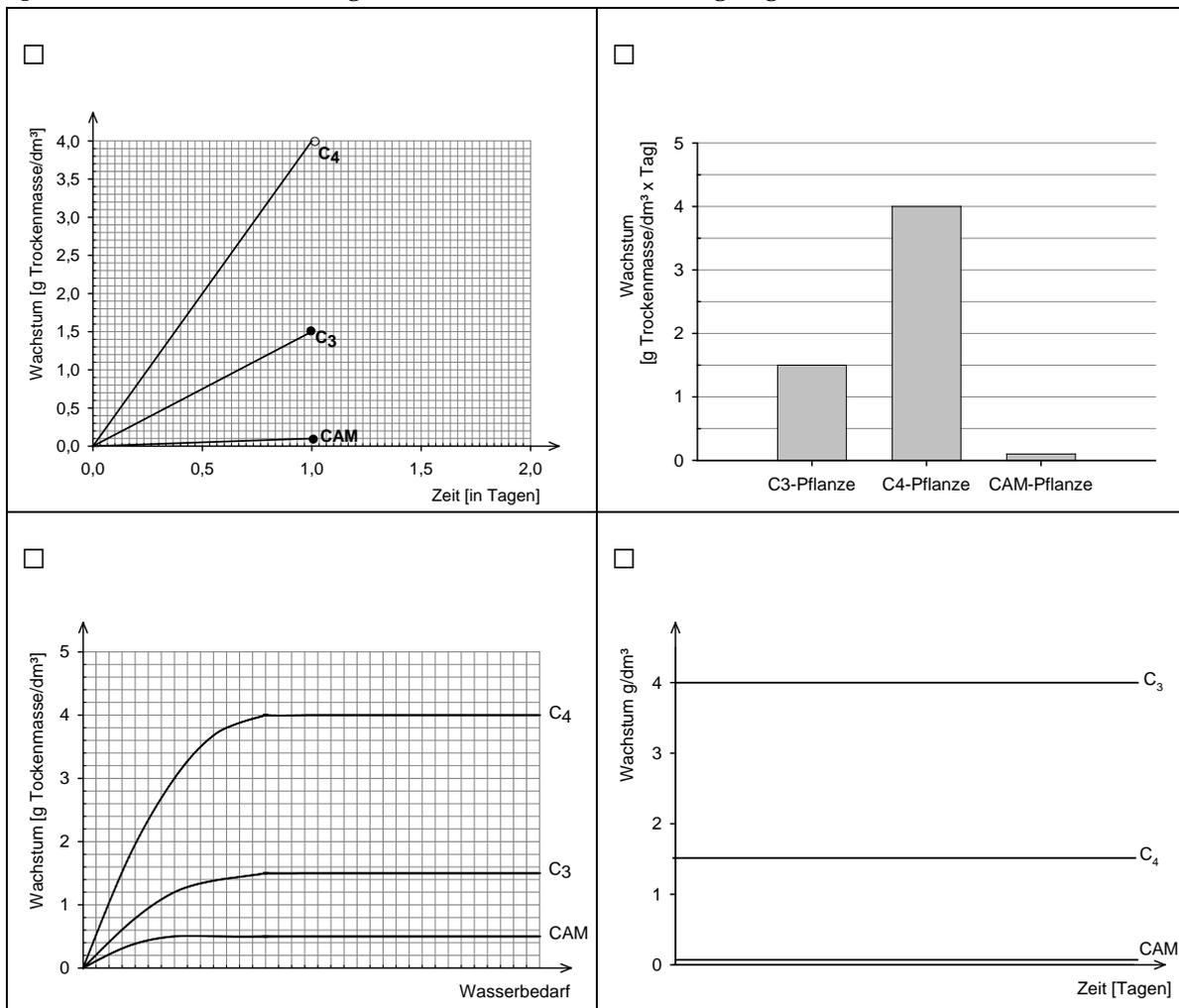
Im Folgenden sind die in Studie 4 eingesetzten *multiple choice* Items zur Erhebung der *representational competence* beispielhaft aufgeführt. Die Distraktoren wurden auf Basis von typischen Schülerfehlern und -schwierigkeiten, die mittels offener Aufgaben in einer Vorstudie erhoben wurden, entwickelt. Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse sowie Itemmittelwerte sind in Tabelle 19, Tabelle 20 und Tabelle 21 aufgeführt.

Bei Interesse können weitere Items von der Autorin ([sandra.nitz@hu-berlin.de](mailto:sandra.nitz@hu-berlin.de)) angefordert werden.

### Aufgabe C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub>/CAM-Pflanze

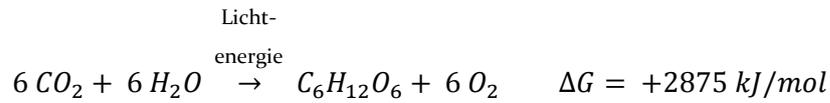
Verschiedene Pflanzenarten sind hinsichtlich der Fotosynthese an besondere Standorte angepasst. Es existieren drei Formen: C<sub>3</sub>-Pflanzen, C<sub>4</sub>-Pflanzen und CAM-Pflanzen. C<sub>3</sub>-Pflanzen wie z.B. die Sonnenblume haben einen hohen Wasserbedarf und wachsen am Tag durchschnittlich um 1,5 g Trockensubstanz pro dm<sup>3</sup>. Zu den C<sub>4</sub>-Pflanzen werden Pflanzen gezählt, die im Vergleich zu den C<sub>3</sub>-Pflanzen auch bei schlechterer Wasserversorgung noch eine Nettoproduktionsleistung erbringen wie z.B. Mais. Sie wachsen mit einem durchschnittlichen täglichen Zuwachs von 4 g Trockenmasse pro dm<sup>3</sup> sehr schnell. CAM-Pflanzen wie die Ananas sind an ein sehr heißes und trockenes Klima angepasst. Sie benötigen nur minimale Wassermengen und wachsen um 0,1 g Trockenmasse pro dm<sup>3</sup> und Tag.

Bitte kreuzen Sie an, welches Diagramm zum Vergleich der unterschiedlichen Pflanzentypen in Hinblick auf das tägliche Wachstum am besten geeignet ist.



**Aufgabe Bruttogleichung**

Die Bruttogleichung der Fotosynthese lautet:



a) Bitte kreuzen Sie die korrekte Beschreibung des Reaktionsgeschehens an.

- 
- 6 Kohlenstoffdioxid reagieren mit 6 Wassermolekülen unter Aufnahme von Lichtenergie zu 1 Glucose und 6 Sauerstoff.
- 
- 6 mol CO<sub>2</sub> und 6 mol H<sub>2</sub>O reagieren zu Glucose und Sauerstoff.
- 
- 6 mol Kohlenstoffdioxid reagieren mit 6 mol Wasser unter Aufnahme von Energie zu 1 mol Glucose und 6 mol Sauerstoff.
- 
- Kohlenstoffdioxid reagiert mit Wasser unter Aufnahme von Lichtenergie zu Zucker und Sauerstoff. Dabei wird Energie in Höhe von 2875 kJ/mol frei.
-

### 9.3.2.1 Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse

Die Messinvarianz des Instruments zur Erfassung von *representational competence* zu beiden Messzeitpunkten wurde über eine konfirmatorische Faktorenanalyse (CFA) mit Hilfe von Mplus 6 überprüft. Starke faktorielle Invarianz ist eine Voraussetzung für die sinnvolle Interpretation latenter Mittelwertsveränderungen (Widaman & Reise, 1997). Diese wurde in der CFA modelliert, indem schrittweise Parameterrestriktionen eingeführt wurden<sup>19</sup>: In einem ersten Modell wurde die Faktorenstruktur über die beiden Messzeitpunkte gleichgesetzt (konfigurale Messinvarianz), in einem zweiten Modell wurden zusätzlich die Faktorladungen (schwache faktorielle Messinvarianz) und schließlich im finalen Modell zusätzlich die Itemthresholds (starke faktorielle Messinvarianz) über die Zeit als gleich angenommen. Ob sich der Modellfit des jeweils restriktiveren Modells signifikant verschlechtert, wurde mittels eines  $\chi^2$ -Differenztests<sup>20</sup> überprüft. Zur Modellierung indikatorspezifischer Effekte wurden die Fehlervariablen autokorreliert.

Der Modellfit für das Modell starker faktorieller Messinvarianz verschlechtert sich im Vergleich zum Modell schwacher faktorieller Messinvarianz zwar signifikant ( $\Delta\chi^2$  (14,  $N = 926$ ) = 71.13,  $p = 0.000$ ), ist jedoch noch immer zufriedenstellend ( $\chi^2$ (417,  $N = 926$ ) = 474.01,  $p = 0.03$ , CFI = 0.920, RMSEA = 0.012). Die Ergebnisse der CFA sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 aufgeführt.

---

<sup>19</sup> Vgl. zu diesem Vorgehen Geiser (2010). *Datenanalyse mit MPlus – Eine anwendungsorientierte Einführung*. Wiesbaden: VS Verlag.

<sup>20</sup> Hierfür wurde die DIFF-TEST Option der Software Mplus 6 verwendet, da der  $\chi^2$ -Wert bei Verwendung des WLSMV-Schätzers nicht in der herkömmlichen Weise genutzt werden kann.

Tabelle 19: Unstandardisierte Parameter der CFA zur Überprüfung der Messinvarianz

Item	Faktorladung Messzeitpunkt 1			Faktorladung Messzeitpunkt 2			Autokorrelation der Fehlervariablen			Thresholds Messzeitpunkt 1			Thresholds Messzeitpunkt 2		
	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p
Fotometer a	1.000	0.000	999	1.000	0.000	999	0.156	0.054	0.004	0.000	0.000	999	0.000	0.000	999
Fotometer b	0.530	0.078	0.000	0.530	0.078	0.000	0.078	0.061	0.198	0.469	0.051	0.000	0.469	0.051	0.000
Fotometer c	0.713	0.088	0.000	0.713	0.088	0.000	0.121	0.071	0.089	-0.231	0.058	0.000	-0.231	0.058	0.000
Anregungszustände	0.834	0.074	0.000	0.834	0.074	0.000	0.169	0.053	0.001	0.275	0.061	0.000	0.275	0.061	0.000
Reduktion Calvinzyklus	0.937	0.081	0.000	0.937	0.081	0.000	0.161	0.060	0.008	0.407	0.051	0.000	0.407	0.051	0.000
Fotolyse	0.727	0.080	0.000	0.727	0.080	0.000	0.102	0.056	0.067	0.468	0.055	0.000	0.468	0.055	0.000
Lichtkompensations- punkt a	0.518	0.076	0.000	0.518	0.076	0.000	0.124	0.089	0.162	0.716	0.049	0.000	0.716	0.049	0.000
Lichtkompensations- punkt b	1.006	0.088	0.000	1.006	0.088	0.000	0.117	0.050	0.019	0.568	0.070	0.000	0.568	0.070	0.000
Lichtkompensations- punkt c	0.622	0.075	0.000	0.622	0.075	0.000	0.084	0.057	0.142	0.620	0.045	0.000	0.620	0.045	0.000
Lichtkompensations- punkt d	0.564	0.099	0.000	0.564	0.099	0.000	0.262	0.071	0.000	1.049	0.066	0.000	1.049	0.066	0.000
Versuchsaufbau	0.538	0.101	0.000	0.538	0.101	0.000	0.365	0.061	0.000	0.533	0.063	0.000	0.533	0.063	0.000
Schwefelbakterien	0.496	0.076	0.000	0.496	0.076	0.000	0.079	0.072	0.275	0.720	0.063	0.000	0.720	0.063	0.000
Engelmann-Versuch	0.761	0.101	0.000	0.761	0.101	0.000	0.253	0.062	0.000	0.366	0.073	0.000	0.366	0.073	0.000
Bruttogleichung b	0.417	0.101	0.000	0.417	0.101	0.000	0.054	0.065	0.412	0.314	0.059	0.000	0.314	0.059	0.000
Calvinzyklus	0.707	0.095	0.000	0.707	0.095	0.000	0.119	0.053	0.026	0.213	0.073	0.003	0.213	0.073	0.003

Est. = Estimate  
 S.E. = Standardfehler  
 two-tailed significance testing

Tabelle 20: Standardisierte Parameter der CFA zur Überprüfung der Messinvarianz

Item	Faktorladung Messzeitpunkt 1			Faktorladung Messzeitpunkt 2			Autokorrelation der Fehlervariablen			Thresholds Messzeitpunkt 1			Thresholds Messzeitpunkt 2		
	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p	Est.	S.E.	p
Fotometer a	0.509	0.039	0.000	0.649	0.051	0.000	0.238	0.077	0.002	0.000	0.000	999	0.000	0.000	999
Fotometer b	0.269	0.034	0.000	0.344	0.045	0.000	0.087	0.068	0.201	0.469	0.051	0.000	0.469	0.051	0.000
Fotometer c	0.363	0.047	0.000	0.463	0.059	0.000	0.147	0.086	0.086	-0.231	0.058	0.000	-0.231	0.058	0.000
Anregungszustände	0.424	0.036	0.000	0.541	0.043	0.000	0.222	0.068	0.001	0.275	0.061	0.000	0.275	0.061	0.000
Reduktion Calvinzyklus	0.477	0.039	0.000	0.609	0.048	0.000	0.231	0.085	0.007	0.407	0.051	0.000	0.407	0.051	0.000
Fotolyse	0.370	0.037	0.000	0.472	0.051	0.000	0.124	0.068	0.067	0.468	0.055	0.000	0.468	0.055	0.000
Lichtkompensations- punkt a	0.264	0.037	0.000	0.336	0.048	0.000	0.136	0.099	0.167	0.716	0.049	0.000	0.716	0.049	0.000
Lichtkompensations- punkt b	0.512	0.034	0.000	0.653	0.041	0.000	0.180	0.075	0.016	0.568	0.070	0.000	0.568	0.070	0.000
Lichtkompensations- punkt c	0.316	0.044	0.000	0.404	0.052	0.000	0.097	0.065	0.137	0.620	0.045	0.000	0.620	0.045	0.000
Lichtkompensations- punkt d	0.287	0.053	0.000	0.366	0.063	0.000	0.294	0.082	0.000	1.049	0.066	0.000	1.049	0.066	0.000
Versuchsaufbau	0.274	0.054	0.000	0.349	0.062	0.000	0.405	0.065	0.000	0.533	0.063	0.000	0.533	0.063	0.000
Schwefelbakterien	0.252	0.041	0.000	0.322	0.049	0.000	0.086	0.078	0.270	0.720	0.063	0.000	0.720	0.063	0.000
Engelmann-Versuch	0.387	0.051	0.000	0.494	0.056	0.000	0.315	0.074	0.000	0.366	0.073	0.000	0.366	0.073	0.000
Bruttogleichung b	0.212	0.052	0.000	0.271	0.065	0.000	0.057	0.070	0.414	0.314	0.059	0.000	0.314	0.059	0.000
Calvinzyklus	0.360	0.051	0.000	0.459	0.061	0.000	0.143	0.065	0.027	0.213	0.073	0.003	0.213	0.073	0.003

Aufgrund der Standardisierung weichen die Faktorladungen und Thresholds der einzelnen Items zwischen Messzeitpunkt 1 und 2 voneinander ab.

Est. = Estimate

S.E. = Standardfehler

two-tailed significance testing

### 9.3.2.2 Itemmittelwerte

Die Items des *representational competence* Instruments wurden dichotom bewertet (0 = falsch, 1 = korrekt). Der Mittelwert (siehe Tabelle 20) gibt die Lösungshäufigkeit an und kann als Schwierigkeitsindex interpretiert werden.

Tabelle 21: Mittelwerte der *representational competence* Items zu beiden Messzeitpunkten

Item	Messzeitpunkt 1		Messzeitpunkt 2	
	<i>M</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>n</i>
Fotometer a	0.67	904	0.59	687
Fotometer b	0.37	904	0.42	684
Fotometer c	0.67	888	0.71	670
Anregungszustände	0.52	901	0.49	681
Reduktion Calvinzyklus	0.43	904	0.54	683
Fotolyse	0.40	904	0.45	683
Lichtkompensationspunkt a	0.31	903	0.26	681
Lichtkompensationspunkt b	0.36	902	0.51	685
Lichtkompensationspunkt c	0.35	900	0.34	676
Lichtkompensationspunkt d	0.20	897	0.20	671
Reduktion NADP <sup>+</sup> *	0.24	904	0.45	686
C <sub>3</sub> -/C <sub>4</sub> -/CAM Pflanzen*	0.29	904	0.32	681
Versuchsaufbau	0.36	905	0.38	683
Schwefelbakterien	0.26	905	0.35	686
Engelmann-Versuch	0.41	903	0.53	685
Bruttogleichung a*	0.18	905	0.17	684
Bruttogleichung b	0.39	905	0.48	685
Calvinzyklus	0.47	905	0.57	687

\*Items wurden aufgrund nicht signifikanter Faktorladungen bei der CFA von weiteren Analysen ausgeschlossen.

## Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich im Laufe der Promotion begleitet und unterstützt haben.

Bei Prof. Dr. Helmut Prechtel und Prof. Dr. Claudia Nerdel bedanke ich mich für die konstruktive Betreuung und ihre freundliche Unterstützung, viele anregende wissenschaftliche Diskussionen und vor allem für die Freiheit meine eigenen Ideen zu verfolgen.

Frau Prof. Dr. Ute Harms danke ich insbesondere für die Unterstützung bei der Organisation und Durchführung meines Auslandsaufenthalts.

Für die Übernahme des Koreferats und fächerübergreifende Diskussionen über Fachsprache bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr. Ilka Parchmann.

Prof. Dr. Larry Yore, Prof. Dr. Shaaron Ainsworth und Dr. Christine Tippett danke ich für die herzliche Aufnahme, die wunderbare Forschungserfahrung sowie die bereichernden Gespräche über Fachsprache, Science Education und mehr.

Den teilnehmenden Schülerinnen und Schülern sowie Lehrerinnen und Lehrern gebührt mein Dank für die sorgfältige Bearbeitung der Fragebögen.

Für ein offenes Ohr bei Fragen statistischer Art danke ich Prof. Dr. Jan Retelsdorf, Dr. Jan Marten Ihme und Dr. Markus Lücken.

Bei Dr. Marc Eckhardt, Dr. Ingrid Glowinski, Dr. Jörg Großschedl, Mareike Schreiber und Eva Terzer bedanke ich mich für das Korrekturlesen der Arbeit.

Meika Drews und Leonie Borchert sei für die Unterstützung (auch über Ländergrenzen hinweg) bei der Datenerhebung und -eingabe gedankt.

Außerdem möchte ich mich bei allen ehemaligen und derzeitigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Biologiedidaktik am IPN bedanken, die mich während meiner Zeit dort begleitet haben. Es war eine tolle Zeit mit euch und ich werde die Mensarunde und alles, was dazu gehörte, vermissen! Insbesondere Krissi, Caro, Ingrid, Markus und Mareike danke ich für moralische Unterstützung bei Tee, Kaffee und Bier.

Bei meinen Freunden bedanke ich mich für die tolle Zeit in Kiel, die nötige Ablenkung in der „heißen Phase“ und die aufbauenden Worte. Insbesondere danke ich Katrin und Wiebke für Mittwoch, Corinna für Telefonate während Schreibblockaden und Willi für den „schulischen Blick“ und Ikea.

Bei meiner Familie möchte ich mich von ganzem Herzen für ihre Unterstützung, ihr Verständnis und den Rückhalt während Studium und Promotion bedanken. Man kann nicht alles an der Universität lernen, der Rest kommt von euch. Danke!

# Lebenslauf von Sandra Nitz

## Persönliche Daten

---

geboren am 25.08.1981 in Hildesheim

Staatsangehörigkeit: Deutsch

## Schulausbildung und Studium

---

1988 - 1992	Grundschule Nord, Hildesheim
1992 - 1994	Orientierungsstufe Stadtmitte, Hildesheim
1994 - 2001	Goethe Gymnasium Hildesheim
19.06.2001	Abitur
2001 - 2007	Studium der Biologie und Chemie (gymnasiales Lehramt) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
02.02.2007	Erstes Staatsexamen für die Laufbahn der Studienrätinnen oder Studienräte an Gymnasien in den Fächern Biologie und Chemie

## Beruflicher Werdegang

---

06/2007 - 05/2008	Wissenschaftliche Angestellte am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik im Projekt <i>Biologie im Kontext</i>
06/2008 - 11/2011	Wissenschaftliche Angestellte und Doktorandin am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik
05/2011 - 07/2011	Forschungsaufenthalt in Kanada an der University of Victoria, Department Curriculum & Instruction bei Prof. Dr. Larry Yore.
07/2011 - 08/2011	Forschungsaufenthalt in England an der University of Nottingham, School of Psychology bei Prof. Dr. Shaaron Ainsworth
Seit 01/2012	Wissenschaftliche Angestellte an der Humboldt-Universität zu Berlin, Fachdidaktik und Lehr-/Lernforschung Biologie

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die diese Dissertation – abgesehen von der Beratung durch meine akademischen Lehrer – nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit ist. Die Arbeit ist unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft entstanden. Sie hat weder im Ganzen noch zum Teil an anderer Stelle im Rahmen eines Promotionsverfahrens vorgelegen. Ein Teil der Ergebnisse dieser Arbeit wurden bereits in Form von Veröffentlichungen oder Kongressbeiträgen publiziert bzw. zur Publikation eingereicht (siehe unten).

Berlin, \_\_\_\_\_ (Sandra Nitz)

# Publikationen

## Zeitschriften- und Buchbeiträge

Nitz, S., Prechtel, H., & Nerdel, C. (eingereicht). Survey of classroom use of representations: Development, field test and multilevel analysis. *Learning Environments Research*.

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (eingereicht). Die Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht: Entwicklung eines Erhebungsinstruments. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*.

Nitz, S., Enzingmüller, C., Prechtel, H., & Nerdel, C. (2011). Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht - eine empirische Untersuchung zur Einstellung angehender Lehrkräfte. *Unterrichtswissenschaft*, 39(3), 245-262.

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2010). Language in science education and the influence of teachers' professional knowledge. In M. F. Tasar & G. Cakmakci (Eds.), *Contemporary science education research: pre-service and in-service teacher education* (pp. 323-329). Ankara, Turkey: Pegem Akademi.

(verfügbar unter <http://www.naturfagsenteret.no/esera/Book2.pdf>)

## Konferenzbeiträge

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2011, September). *Development and testing of an instrument to assess the use of scientific language in class*. Paper presented at European Science Education Research Association Conference 2011 (ESERA), Lyon.

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2011, September). *Der Umgang mit Fachsprache im Biologieunterricht als Teil der fachspezifischen Unterrichtsqualität – Entwicklung eines Erhebungsinstruments*. Paper presented at Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, Bayreuth.

Nitz, S., Prechtel, H., & Nerdel, C. (2010, April). *Unterrichtsgestaltung und Schülerfähigkeiten hinsichtlich des Umgangs mit fachsprachlichen Repräsentationen*. Paper presented at 12. Internationale Frühjahrsschule der Fachsektion Didaktik der Biologie im Verband für Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland, Neumünster.

Enzingmüller, C., Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2009). Einstellungen von Lehrkräften zur Verwendung von Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht. In U. Harms, F. X. Bogner, D. Graf, H. Gropengießer, D. Krüger, J. Mayer, B. Neuhaus, H. Prechtel, A. Sandmann & A. Upmeier zu Belzen (Hrsg.), *Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO* (S. 248-249). Kiel: IPN.

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2009a, März). *Fachwissen und fachdidaktisches als Einflussfaktoren auf die Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht*. Paper presented at 11. Frühjahrsschule der Fachgruppe Biologiedidaktik im VBIO, Marburg.

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2009b, September). *Language in science education and the influence of teachers' professional knowledge*. Paper presented at European Science Education Research Association Conference 2009 (ESERA), Istanbul.

Nitz, S., Nerdel, C., & Prechtel, H. (2009c). Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht – Professionswissen als Einflussfaktor? In U. Harms, F. X. Bogner, D. Graf, H. Gropengießer, D. Krüger, J. Mayer, B. Neuhaus, H. Prechtel, A. Sandmann & A. Upmeier zu Belzen (Hrsg.), *Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht. Internationale Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO* (S. 152-153). Kiel: IPN.