

MODEL COMPETENCES IN CHEMISTRY AND BIOLOGY LESSONS – WHAT SKILLS DO TEACHERS NEED? A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

MODELLKOMPETENZEN IM CHEMIE- UND BIOLOGIEUNTERRICHT – WELCHE FÄHIGKEITEN BRAUCHEN LEHRKRÄFTE? EIN SYSTEMATISCHES LITERATURREVIEW

Benjamin J. Tempel¹, Christoph Randler², Markus Rehm¹, Markus Wilhelm³

¹ University of Education Heidelberg, Germany

² University of Tübingen, Germany

³ University of Education Lucerne, Switzerland

Background: In chemistry and biology lessons models are often used. The goal of making children model-competent in the classroom has been widely researched.

Purpose: However, so far there has been a lack of a systematic review of the research situation in order to make statements about the skills needed by a teacher to teach model competence. For this reason, a systematic review of the literature was prepared in order to be able to make statements on the theory.

Sample/setting: For the purpose of a literature review $n = 57$ articles were selected

Design and methods: This articles were analyzed on the basis of a qualitative frequency analysis.

Results: The result is an overview in the form of structure diagrams.

Conclusions/Implications for classroom practice and future research: This overview allows for the first time to focus on the most important skills for teaching model competence and to use them on the training of preservice teachers. On the other hand, the resulting structure diagrams can be used for the operationalization and development of action-oriented teaching competence tests for teachers of biology and chemistry.

Keywords: Teaching competence, model competence, systematic review, qualitative frequency analysis

Received: 11th April 2017. **Accepted:** 29th March 2018

Hintergrund: Modelle werden im Chemie- und Biologieunterricht häufig eingesetzt. Über das Ziel, Kinder im Unterricht modellkompetent zu machen, wurde bereits häufig geforscht und viel publiziert.

Ziel: Allerdings fehlt es bislang an einer systematischen Aufarbeitung der Forschungslage, um daraus Aussagen über die von einer Lehrkraft benötigten Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz zu machen. Aus diesem Grund wurde ein theoriebildendes systematisches Literaturreview erstellt.

Stichprobe/Hintergrund: Im Rahmen des systematischen Literaturreviews wurden $n = 57$ Artikel ausgewählt.

Design und Methode: Diese Artikel wurden auf Grundlage einer qualitativen Frequenzanalyse analysiert.

Ergebnisse: Als Ergebnis ist ein Überblick in Form von Strukturdiagrammen entstanden.

Schlussfolgerungen/Bedeutung für die Lehrpraxis und künftige Forschung: Dieser Überblick ermöglicht es erstmals, die wichtigsten Fähigkeiten für die Vermittlung von Modellen in den Blick zu rücken und diese bei der Ausbildung von Lehrkräften zu fokussieren. Zum anderen können die entstandenen Strukturdiagramme zur Operationalisierung und zur Entwicklung handlungsnaher Lehrkompetenztests für (künftige) Lehrkräfte der Biologie und Chemie genutzt werden.

Schlüsselwörter: Lehrkompetenz, Modellkompetenz, systematisches Literaturreview, qualitative Frequenzanalyse

Eingang: 11. April 2017, akzeptiert: 29. März 2018

1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Terminus „Modellkompetenz“ umschreibt die Fähigkeit, das Modellieren sowie Modelle als Mittel der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung nutzen zu können (Krell, Reinisch & Krüger, 2014). Modelle zeichnen sich durch pragmatische Abbildung und Verkürzung von Originalen aus (vgl. Stachowiak, 1973, 131 ff.). Modelle können aber auch Repräsentationen mentaler bzw. mathematischer Konstrukte sein, wie z. B. Atommodelle. Obwohl Modellkompetenz eine entscheidende Stellung im Chemie- und Biologieunterricht einnimmt, werden immer wieder erhebliche Defizite sowohl bei Schülerinnen und Schülern als auch bei Lehrkräften berichtet (Krell et al., 2014; van Driel & Verloop, 1999). In jüngster Zeit wird vor allem auf die Lernwirksamkeit von Unterricht mit dem Ziel des Erwerbs von Modellkompetenz (Schülerebene, vgl. z. B. Krell et al., 2014) sowie auf die hierzu erforderlichen fachdidaktischen Fähigkeiten der Lehrkräfte (Lehrerebene, vgl. z. B. van Driel & Jong, 2015) als ein Desiderat fachdidaktischer Forschung hingewiesen. Darüber hinaus ist weitgehend unbekannt, welche Fähigkeiten zur effektiven Vermittlung von Modellkompetenz für Lehrkräfte besonders wichtig sind. Ausgehend vom Begriff der Modellkompetenz bei Upmeier zu Belzen und Krüger (2010, S. 49) wird im vorliegenden Artikel ein systematisches Literaturreview vorgestellt, in dem 57 englisch- und deutschsprachige Artikel der Literaturdatenbanken FIS-Bildung und Scopus auf Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz im Chemie- und Biologieunterricht mittels einer qualitativen Frequenzanalyse untersucht wurden. Als Ergebnis werden Aussagen über schulfachübergreifende und schulfachspezifische Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz in Form von Strukturdiagrammen präsentiert und diskutiert.

2 THEORETISCHE HINTERGRÜNDE

Wissenschaftliches Denken ist häufig ein Denken in Modellen, da die „Realität“ zu komplex ist, um sie voll zu erfassen

(vgl. Popper & Fleischmann, 1984). Die schier unendliche Menge an Modellen kann unterschiedlich eingeteilt werden, z. B. semantisch (Modelle über Phänomene, Daten oder Theorien), ontologisch (Gedanken- vs. Anschauungsmodelle), epistemologisch (Lernen über und mit Modellen) usw. (Frigg & Hartmann, 2017, S. 1).

Modelle reduzieren die Komplexität einer Theorie, eines Phänomens, von Daten (Frigg & Hartmann, 2017, 2 ff.) oder eines Sachverhalts (Passmore, 2015, S. 660) auf einen fokussierten Aspekt (z. B. den Klappmechanismus des Wiesensalbeis) und zeichnen sich vor allem durch drei Merkmale aus: Pragmatik, Abbildung und Verkürzung (Stachowiak, 1973, 131 ff.). Im naturwissenschaftlichen Unterricht werden Modelle mit dem Ziel der besseren Verständlichkeit (Passmore, 2015, S. 660) des Zielsystems (Frigg & Hartmann, 2017, S. 9) eingesetzt. Vor allem aber spielt die Entwicklung und Nutzung von Modellen als eine Methode der Erkenntnisgewinnung (vgl. KMK Standards, 2005a, 2005b; Passmore, 2015, 660 f.) für den naturwissenschaftlichen Unterricht eine große Rolle, wobei sich das Modellieren im naturwissenschaftlichen Schulunterricht mitunter stark vom eigentlichen Modellieren in den Naturwissenschaften unterscheidet (Passmore, Gouvea & Giere, 2014, 1171 ff.). Ein Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist die Vermittlung von Modellkompetenz, welche mit einem tiefgreifenden Modellverständnis einhergehen sollte (Passmore, 2015, S. 663). Auf die hierzu notwendigen Fähigkeiten der Lehrkräfte werden wir im Folgenden näher eingehen und dies ins Zentrum des Artikels stellen.

Überblicksartig kann Abbildung 1 Hinweise auf die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Modelltypen geben. Die Abbildung grenzt Gedankenmodelle (Konstrukte) von Anschauungsmodellen (Realmodellen) ab. Hierzu wird auf der x-Achse der Übergang von mental zu konkret dargestellt. Die y-Achse stellt den Übergang von statischen zu dynamischen Modellen dar.

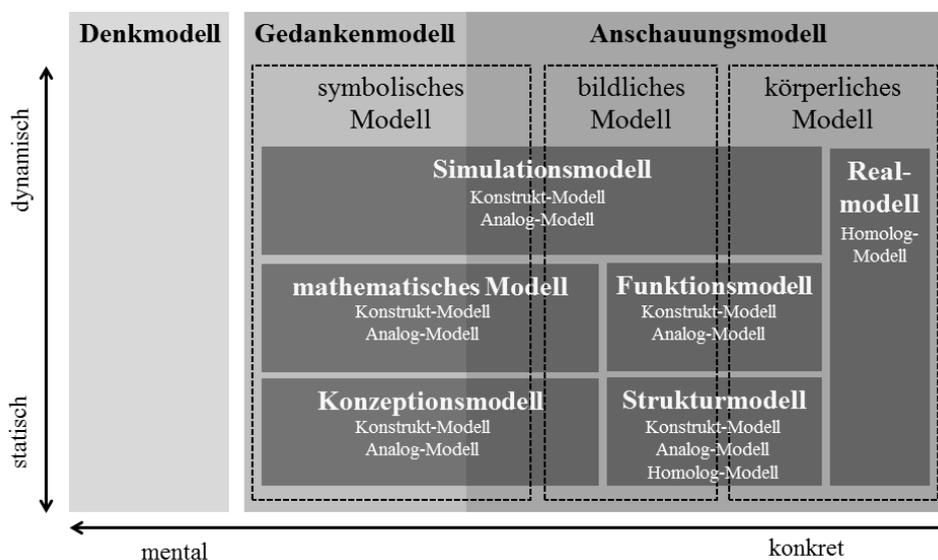


Abbildung 1: (Semantische) Verhältnisse zwischen verschiedenen Modelltypen in Anlehnung an Frigg und Hartmann (2017), Upmeier zu Belzen (2013), Berck und Graf (2010) sowie Stüdel (2014); eigene Darstellung.

2.1 Modellkompetenzen

Modellkompetenz wird unterschiedlich definiert. Meisert (2008, S. 243) definiert Modellkompetenz als Zusammensetzung von „Modellwissen, Modellarbeit und einem übergeordneten Modellverständnis“. Hier muss weiter definiert werden, was unter den verschiedenen Komponenten verstanden wird. Erstens wird Modellwissen als „Kenntnis grundlegender Modelle“ (Meisert, 2008, S. 244), zweitens Modellarbeit als Kenntnis beim Vorgang des Modellierens und zugleich Fähigkeit zur selbständigen Modellierung eines Phänomens (Meisert, 2008, S. 244) und drittens Modellverständnis als Teil eines adäquaten Verständnisses des konzeptuellen Wissens über die Stellung des Modells innerhalb der Natur der Naturwissenschaften (Meisert, 2008, S. 245) definiert. Upmeier zu Belzen und Krüger (2010, S. 49) definieren Modellkompetenz als die Summe der „Fähigkeiten, mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen in der Biologie zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden“. Krell et al. (2014) gelingt die Übertragung dieser Definition der Modellkompetenz auch auf die Unterrichtsfächer Chemie und Physik und sie dient ihnen so als Grundlage für die Entwicklung eines domänenübergreifenden Schülertests. Der vorliegenden Studie zur Biologie- und Chemiedidaktik liegt deshalb ebenfalls die Definition von Upmeier zu Belzen und Krüger (2010) zugrunde.

Die Bedeutung von Modellkompetenz wird auch in den Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer aufgegriffen und können dort als sehr hoch eingeschätzt werden (KMK Standards, 2005a, 2005b). Die Standards der Kultusministerkonferenz (2005a, 2005b), welche die Bildungsstandards für Deutschland definieren, beschreiben aber lediglich den Umgang mit Modellen als Leistung von Schülerinnen und Schülern. Die Fähigkeiten der Lehrkräfte zur Vermittlung von Modellkompetenz als Grundlage für eine adäquate Schülerleistung sind damit noch nicht berücksichtigt. Es fehlt also generell in den Naturwissenschaftsdidaktiken eine begriffliche Struktur der notwendigen Fähigkeiten, die zur Vermittlung von Modellkompetenz benötigt werden. Daraus leitet sich die Forschungsfrage ab: Welche Fähigkeiten brauchen Lehrkräfte zur Vermittlung von Modellkompetenz? Gesucht wird ein strukturierter Gestaltungsrahmen, der sich an den Unterrichts-inhalten orientiert und somit handlungsnah ist. Upmeier zu Belzen und Krüger (2010, S. 53) legen zwar eine „Struktur und Niveaus der Modellkompetenz im Biologieunterricht“ vor. Diese zielen jedoch auf den Erwerb von Modellkompetenz durch Schülerinnen und Schüler. Zu den Fähigkeiten, die es Lehrkräften ermöglichen Modellkompetenz effektiv zu vermitteln, liegen derzeit keine Überblicksarbeiten vor.

2.2 Desiderat

Die Fragestellung, die im vorliegenden Artikel bearbeitet wird, ist die Folgende: Welche professionellen Kompetenzen brauchen Lehrkräfte, damit sie Modellkompetenz im Unterricht instruieren, die Schülerinnen und Schüler dazu kognitiv aktivieren und unterstützen können? Der Ursprung dessen, was zur Vermittlung von Modellkompetenz notwendig ist, bildet somit ein Desideratum. Zwar kann angenommen werden, dass eine Lehrkraft für die Vermittlung von Modellkompetenz einerseits Fachwissen in der entsprechenden Domäne braucht. Andererseits braucht die Lehrkraft dem Forschungsstand nach Wissen

im Bereich Nature of Science (NoS), z. B. das adäquate Verstehen der Natur der Modelle und des Modellierens, um die Unterschiede verschiedener Modelltypen zu erkennen (vgl. Justi & van Driel, 2005c). Ob dieses Wissen für eine adäquate Vermittlung von Modellkompetenz (zum Beispiel im Sinne der Standards der KMK) hinreichend ist, bleibt bislang jedoch offen. So fehlen in den einzelnen Domänen der Naturwissenschaften unterrichtsnahe Anforderungsbereiche, die die notwendigen Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz strukturiert darstellen.

3 METHODEN

Um der Frage nach der Struktur der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz nachzugehen, sind verschiedene empirisch-methodische Vorgehensweisen denkbar. So kämen u. a. eine Befragung von Lehrkräften und Lernenden oder videografierte Unterrichtsbeobachtungen in Betracht. Fraglich bleibt aber, ob sich diese Vorgehensweisen eignen, um valide Aussagen über die zentralen fachdidaktischen Fähigkeiten der Vermittlung von Modellkompetenz zu geben. Denn umfassende Ergebnisse sind nur bei großen Stichproben zu erwarten, zu denen die vorhandenen Ressourcen erwartbar nicht ausreichen. Alternativ wird hier ein systematisches Literaturreview zu den Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz durchgeführt, weil von diesem Vorgehen ein umfassender, theoriebildender Überblick zu erwarten ist. Der Vorteil eines solchen Vorgehens besteht im systematischen Suchen und Auswählen von Literatur, welches zufällige Ergebnisse und unzulässige Gewichtungen verhindert, weil ein repräsentativer, über zwei renommierte Forschungsdatenbanken gewonnener Überblick an Literatur ausgewählt wird. Das damit verbundene Ziel des Reviews ist eine hinreichend konkrete Operationalisierung zentraler fachdidaktischer Fähigkeiten zum Anforderungsbereich Vermittlung von Modellkompetenz.

Sofern es sich um ökologisch valide Forschungsergebnisse handelt, ist davon auszugehen, dass sich die Aneignung dieser Fähigkeiten im Unterricht positiv auf die Schülerleistung auswirken kann (vgl. Kersting, Givvin, Thompson, Santagata & Stigler, 2012), wenngleich im Angebots-Nutzungs-Paradigma (Fend, 2001) weitere Variablen wie kognitive Fähigkeit, Schülermotivation, Elternhaus usw. außerdem Einfluss nehmen. Als ökologisch valide werden solche Forschungsergebnisse verstanden, bei denen von einer Übertragbarkeit der Messung auf andere Situationen auszugehen ist, hier auf die Fähigkeit so zu unterrichten, dass die Modellkompetenz der Lernenden steigt (Messick 1989, S. 56). Über die aus dem Literaturreview generierten Strukturdiagramme werden die Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz dargestellt. Unter Strukturdiagrammen werden in Anlehnung an Bauernschuster, Tobias, Waltner und Wiesner (2010, S. 1) Schaubilder verstanden, „die Inhalte und deren Zusammenhänge prägnant“ wiedergeben und somit eine schnelle und zugleich exakte Übersicht über die Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz ermöglichen. Hiermit werden die Voraussetzungen geschaffen, die Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz empirisch zu modellieren. Das hier vorgestellte systematische Literaturreview orientiert sich am Vorgehen von Depaepe, Verschaffel und Kelchtermans (2013).

Depaepe et al. (2013) schlagen folgendes systematische Vorgehen für ein Literaturreview vor: Zunächst werden renommierte Literaturdatenbanken nach den Suchbegriffen durchsucht. Die gefundenen Artikel werden nach folgenden

fünf Kriterien weiter selektiert: Erstens müssen die Artikel aus peer-reviewten Zeitschriften stammen, zweitens in englischer Sprache verfasst sein, drittens müssen sich die Artikel tatsächlich mit dem Thema, z. B. pedagogical content knowledge (PCK), und nicht mit verwandten Begriffen, z. B. technological pedagogical and content knowledge (TPACK), auseinandersetzen. Viertens müssen sich die Artikel domänenspezifisch mit dem Thema auseinandersetzen (z. B. mit Mathematik und nicht mit Naturwissenschaften), und fünftens müssen die Artikel empirisch (qualitativ bzw. quantitativ) und nicht anderer Art sein (z. B. konzeptuelle oder Diskussionsbeiträge). Anschließend sollen die verbliebenen Artikel neun Klassifizierungsschritten (s. u.) unterworfen werden.

In Anlehnung an das Vorgehen von Depaepe et al. (2013) wurden beim hier vorgestellten systematischen Literaturreview die Literaturdatenbanken FIS Bildung und Scopus verwendet. Es wurde nach den Begriffen Naturwissenschaften bzw. science, (Fach-)Didaktik bzw. PCK (Pedagogical Content Knowledge), Model(l), Unterricht bzw. teaching, Chemie bzw. chemistry und Biologie bzw. biology gesucht, wobei die Begriffe durch *und* gekoppelt wurden. Dies ergab 543 Artikel (160 in FIS, 383 in Scopus), die über Titel und Abstracts selektiert, auf Passung geprüft und ausgewertet wurden (vgl. Tempel, 2017; weitere Informationen über die Artikel können über den Erstautor angefordert werden).

Die weitere Auswahl der Artikel erfolgte entlang der fünf Auswahlkriterien von Depaepe et al. (2013, 14 f.). Auf die Auswahlkriterien Peer-Review und empirische Artikel wurde jedoch verzichtet, da vor allem die fachdidaktische Ausrichtung des Artikels berücksichtigt werden sollten, nicht jedoch der Entstehungsprozess. Vielmehr wurde davon

ausgegangen, dass Artikel mit theoretischer Ausrichtung mitunter mehr zu den Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz beitragen können als empirisch ausgerichtete Artikel. Denn der Schwerpunkt des Artikels liegt auf der Theoriebildung und nicht auf der Sekundärdatenanalyse. Daraus folgt die Notwendigkeit, die Theorie in seiner Breite abzudecken. Es wurden Artikel in deutscher und in englischer Sprache berücksichtigt, die sich tatsächlich mit Modellen in den Schulfächern Chemie und Biologie beschäftigten, um interkulturell anschlussfähige Ergebnisse zu generieren. Artikel zur empirischen Modellierung, die durch die Suchbegriffe mit ausgewählt wurden, sich jedoch nicht mit dem Modell in der Schule, oder sich beispielsweise mit mathematikdidaktischer Modellierung beschäftigten, wurden ausgeschlossen. Ausnahmen hiervon gab es nur, wenn sich die Inhalte aus einem anderen Schulfach auch auf Inhalte aus dem betrachteten Fach bezogen, z. B. im Fach Physik auf den auch in der Chemie behandelten Inhalt „Atome und Teilchen“ oder wenn sich Artikel aus der Geographie auf biologiedidaktische Aspekte bezogen. Eine weitere Gruppe von Ausnahmen bildeten Artikel, die sich im Grundsatz mit didaktischen Aussagen über Modelle beschäftigten, auch wenn diese ursprünglich anderen Naturwissenschaftsdidaktiken zuordnen ließen. Da z. B. Krell et al. (2014) der Übertrag der Modellkompetenzdefinition gelingt erscheint dieses Vorgehen legitim, wenn dadurch ein Mehrwert auch für die Chemie- und Biologiedidaktik zu erwarten ist. Außerdem wurden auch solche Artikel berücksichtigt, die sich in Abgrenzung mit Analogien, mentalen Modellen und Repräsentationen beschäftigten, da sich diese implizit mit Modellen beschäftigen. In Abbildung 2 ist der Prozess der Artikelselektion schematisch dargestellt.

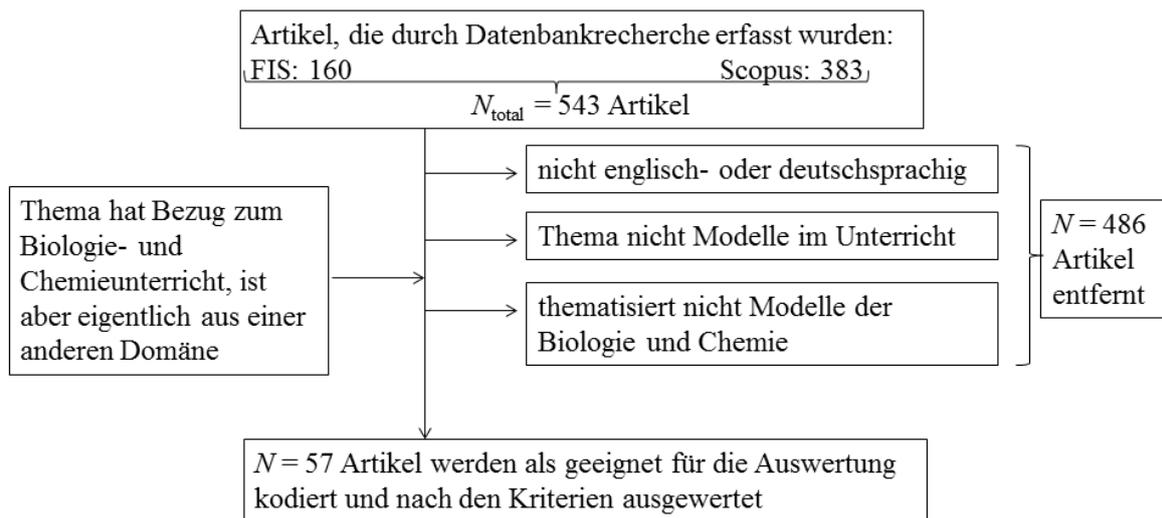


Abbildung 2: Schematische Struktur der Artikelselektion in Anlehnung an Randler und Rahafar (2017, S. 5); eigene Darstellung.

Gemäß der kriteriengestützten Auswahl verbleiben 57 Artikel (29 aus Scopus, 28 Artikel aus FIS). Jeder Artikel wurde nach folgenden Kriterien (vgl. Depaepe et al., 2013, S. 15) klassifiziert:

1. Art des Artikels (normativ, theoretisch, empirisch: qualitativ/quantitativ)
2. Explizite Definition des Modellbegriffs
3. Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz
4. Land der Studie bzw. Ort der Datenerhebung
5. Forschungsfrage
6. Auswertungsmethode
7. Stichprobengröße
8. Population der Befragten
9. zentrale Forschungsergebnisse.

Der vorliegende Artikel fokussiert die Theoriebildung zu den Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz. Die Auswertung der anderen Klassifikationskriterien sind dem Anhang (Tabelle 4: Klassifikationsaspekte des systematischen Literaturreviews) zu entnehmen. Um Platz zu sparen wurde dort nur kodiert, ob Definitionen zum Modell genannt sind. Wie diese Definitionen lauten ist Tempel (2017, 151 ff.) zu entnehmen. In gleicher Weise wurde mit den Forschungsfragen verfahren: diese sind Tempel (2017, 171 ff.) zu entnehmen. Die Analyse der Auswertungsmethoden der empirisch-quantitativ

ausgerichteten Artikel (inklusive einer Testgütebewertung; vgl. Bennett, Lubben & Hogarth, 2007, S. 355) wird aus Platzgründen ebenfalls im Anhang (Tabelle 5) vorgenommen (siehe hierzu auch Tempel, 2017, 171ff. und 225 ff.). Kriterien für die Einschätzung der Güte waren die Erhebung mit Vergleichsgruppe bzw. Wartekontrollgruppe (falls diese nach Forschungsanlage notwendig gewesen wäre), die Nennung der Stichprobe und Auswertungsverfahren und ob die untersuchten Gruppen randomisiert wurden. Da in dieser Publikation die Theoriebildung im Vordergrund steht, nicht jedoch die Bewertung empirischer Forschung wurde auf die Darstellung der Forschungsergebnisse (siehe Tempel, 2017, 171 ff.) verzichtet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum dritten Kriterium der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz vorgestellt. Damit kann das oben beschriebene Desideratum (Definition der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz

durch Lehrkräfte) adressiert werden. Genutzt wurde die qualitative Frequenzanalyse (Mayring, 2015, S. 15). Gemäß diesem methodischen Vorgehen wurde die oben gestellte Forschungsfrage formuliert, das Material daraufhin im Zuge des systematischen Literaturreviews bestimmt und das Ziel (Erstellung eines auf Häufigkeit ausgelegten Kategoriensystems hinsichtlich der Textelemente zu Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz) geklärt. Anschließend wurden explizite Wortnennungen sowie Satz- und Abschnittskontext als Analyseeinheiten bestimmt und daraufhin kodiert. Abschließend wurde die Anzahl der Nennungen ermittelt und zwischen Biologie- und Chemiedidaktik verglichen. Das Vorgehen orientiert sich am Ablaufmodell induktiver Kategorienbildung nach Mayring (2000) und ist Abbildung 3 zu entnehmen. Die Darstellung der Hauptergebnisse erfolgt über Tabelle 1 und Tabelle 3, die Gesamtdarstellung über Strukturdiagramme (Abbildung 5 und Abbildung 6).

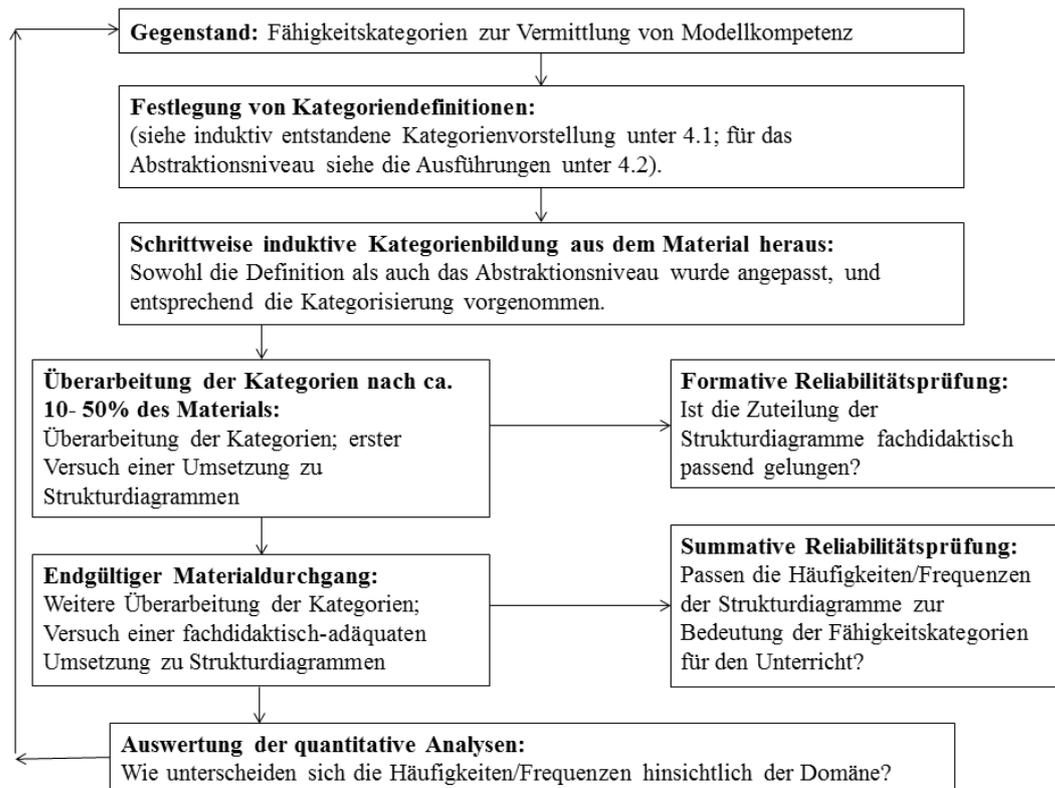


Abbildung 3: Angepasstes Ablaufmodell induktiver Kategorienbildung nach Mayring (2000, [11]); eigene Darstellung.

4 ERGEBNISSE

Um eine Strukturierung der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz vornehmen zu können, erfolgt hier zunächst eine Darstellung der Fähigkeiten, wie sie sich aus der qualitativen Frequenzanalyse als induktiv gewonnene Kategorien ableiten lassen. Anschließend folgt eine kurze Beschreibung der Fähigkeitskategorien (für eine ausführliche Version siehe Tempel, 2017). Im Anschluss werden Kriterien der Definition der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz präsentiert und Strukturmodelle erstellt.

4.1 Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz

In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die ermittelten Fähigkeiten kurz vorgestellt und definiert. Die Spalte *Nr.* dient als Orientierungshilfe für die nachfolgenden Definitionen der Fähigkeitskategorien. Die Reihenfolge orientiert sich an der Summe der Thematisierungen in biologische- und chemiedidaktischen Artikeln.

Tabelle 1 verdeutlicht das domänenspezifische Ungleichgewicht. Bei den meisten Fähigkeitskategorien gibt es mehr Thematisierungen aus dem Kontext der Chemiedidaktik bzw. solche, die zwar physikdidaktischen Ursprungs sind, aber an die Chemiedidaktik anschließen. Hierzu zählen vor allem die sechs Fähigkeitskategorien *mit Modellpräkonzepten umgehen können, einen Conceptual Change einleiten können, Analogien*

passend einsetzen können, Modellieren vermitteln können, Modellmethode anwenden können und Wissen über Modelle in der Geschichte. Das hat mehrere Gründe. Erstens wurden generell mehr Artikel zu den Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz mit chemiedidaktischem Hintergrund gefunden. Und zweitens betrifft das Ungleichgewicht besonders zwei Fähigkeitskategorien, die v. a. chemiespezifisch sind (*Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können und mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können*). Einzig die Fähigkeitskategorien *Modelle (weiter-)entwickeln können und Wissen um Unterschiede verschiedener Modelltypen* werden von Artikeln aus dem biologiedidaktischen Kontext häufiger thematisiert.

Tabelle 1: Anzahl der thematisierten Fähigkeiten (induktiv gewonnene Kategorien) zur Vermittlung von Modellkompetenz laut Ergebnis der qualitativen Frequenzanalyse (Mayring, 2015)

Nr.	Vermittlung von Modellkompetenz* (*Fähigkeitskategorien; induktiv gewonnen)	Quellen	Che	Bio	Total
I	Modelle adäquat einsetzen können	<i>Che:</i> Christen (1994), Hammer (1988), Klinger (2001), König und Reiners (2004), Mikelskis-Seifert (2004), Mikelskis-Seifert und Leisner (2004), Mikelskis-Seifert, Thiele und Wünscher (2005), Rueckl und Ebinghaus (1989), Streller und Bolte (2008), Touché (1989), Winnenburg (2000), Drechsler und van Driel (2008), Harrison und Jong (2005), Justi und van Driel (2005c), Justi und van Driel (2005b), Oh und Kim (2013), Okanlawon (2010), Padilla, Ponce-de-León, Rembado und Garritz (2008), Papageorgiou, Stamovlasis und Johnson (2010), Strübe, Tröger, Tepner und Sumfleth (2014), Usak, Ozden und Eilks (2011) <i>Bio:</i> Gad und Mittelsten Scheid (2008), Hilgers, Sommerfeld und Blume (1994), Lethmate und Arning (2003), Litsche (1985), Markert (1988), Meyer (1990), Nocke (2001), Schmelzing et al. (2013), Schneider (1981), Steinbeck und Markert (1989), Cohen und Yarden (2009), Crawford und Cullin (2004), Romine und Walter (2014), Šorgo et al. (2014), Valanides und Angeli (2006)	21	15	36
II	Mit Modellpräkonzepten umgehen können	<i>Che:</i> Beerenwinkel und Parchmann (2008), Benedict und Bolte (2009), Mikelskis-Seifert (2004), Mikelskis-Seifert und Leisner (2004), Mikelskis-Seifert et al. (2005), Winnenburg (2000), Drechsler und van Driel (2008), Eilks, Witteck und Pietzner (2009), Harrison und Jong (2005), Jong und van Driel (2004), Jong, van Driel und Verloop (2005), Justi und van Driel (2005b), Justi und van Driel (2005c), Khourey-Bowers und Fenk (2009), Liang, Chou und Chiu (2011), Lin und Chiu (2010), Papageorgiou et al. (2010), Unal, Sadoglu und Durukan (2014), Okanlawon (2010), Usak et al. (2011) <i>Bio:</i> Cohen und Yarden (2009), Crawford und Cullin (2004), Valanides und Angeli (2006), van Dijk (2009)	20	4	24
III	Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können	<i>Che:</i> Benedict und Bolte (2009), Bindernagel und Eilks (2009), Harrison und Jong (2005), Touché (1989), Jong et al. (2005), Khourey-Bowers und Fenk (2009), Liang et al. (2011), Papageorgiou et al. (2010), Rueckl und Ebinghaus (1989), Mikelskis-Seifert (2004), Mikelskis-Seifert et al. (2005), Bühler und Erb (2010), Christen (1994), Klinger (2001), König und Reiners (2004), Leisner und Mikelskis (2004), Mikelskis-Seifert und Leisner (2004), Jong und van Driel (2004), Drechsler und van Driel (2008), Eilks et al. (2009)	20	0	20
IV	Einen Conceptual Change einleiten können	<i>Che:</i> Beerenwinkel und Parchmann (2008), Benedict und Bolte (2009), Leisner und Mikelskis (2004), Mikelskis-Seifert (2004), Mikelskis-Seifert und Leisner (2004), Mikelskis-Seifert et al. (2005), Winnenburg (2000), Eilks et al. (2009), Harrison und Jong (2005), Khourey-Bowers und Fenk (2009), Liang et al. (2011), Lin und Chiu (2010), Padilla et al. (2008), Papageorgiou et al. (2010) <i>Bio:</i> Cohen und Yarden (2009), Crawford und Cullin (2004), Valanides und Angeli (2006), van Dijk (2009)	14	4	18
V	Mit der Unterscheidung	<i>Che:</i> Garritz (2013), Benedict und Bolte (2009), Bühler und Erb (2010), Mikelskis-Seifert und Leisner (2004), Mikelskis-Seifert (2004),	16	1	17

	zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können	Mikelskis-Seifert et al. (2005), Drechsler und van Driel (2008), Eilks et al. (2009), Harrison und Jong (2005), Jong und van Driel (2004), Justi und van Driel (2005a), Khourey-Bowers und Fenk (2009), Liang et al. (2011), Lin und Chiu (2010), van Driel, Jong und Verloop (2002), Wang, Chi, Hu und Chen (2014) <i>Bio</i> : Cohen und Yarden (2009)			
VI	Analogien passend einsetzen können	<i>Che</i> : Klinger (2001), Beerenwinkel und Parchmann (2008), Mikelskis-Seifert (2004), Mikelskis-Seifert et al. (2005), Harrison und Jong (2005), Eilks et al. (2009), Justi und van Driel (2005a), Khourey-Bowers und Fenk (2009), Oh und Kim (2013), Padilla et al. (2008), Wang et al. (2014) <i>Bio</i> : Meyer (1990), Gröger (2010), Steinbeck und Markert (1989), Schmelzing et al. (2013), Valanides und Angeli (2006)	11	5	16
VII	Modelle (weiter-) entwickeln können	<i>Che</i> : König und Reiners (2004), Mikelskis-Seifert (2004), Mikelskis-Seifert und Leisner (2004), Mikelskis-Seifert et al. (2005), Streller und Bolte (2008), Nelson und Davis (2012) <i>Bio</i> : Gad und Mittelsten Scheid (2008), Hilgers et al. (1994), Keune und Daemmgen (1988), Litsche (1985), Meyer (1990), Schneider (1981), Crawford und Cullin (2004)	6	7	13
VIII	Modellieren vermitteln können	<i>Che</i> : Leisner und Mikelskis (2004), Mikelskis-Seifert (2004), Justi und van Driel (2005a), Justi und van Driel (2005b), Justi und van Driel (2005c), Lethmate und Arning (2003), Mikelskis-Seifert et al. (2005), Strübe et al. (2014), Eilks et al. (2009), Nelson und Davis (2012) <i>Bio</i> : Meyer (1990), Crawford und Cullin (2004), Valanides und Angeli (2006)	10	3	13
IX	Modellmethode anwenden können	<i>Che</i> : Harrison und Jong (2005), Leisner und Mikelskis (2004), Lethmate und Arning (2003), Mikelskis-Seifert (2004), Mikelskis-Seifert und Leisner (2004), Mikelskis-Seifert et al. (2005), Eilks et al. (2009), Justi und van Driel (2005c), Justi und van Driel (2005b), Nelson und Davis (2012), Strübe et al. (2014) <i>Bio</i> : Valanides und Angeli (2006)	11	1	12
kNr 1	Wissen über Modelle in der Geschichte	<i>Che</i> : Beerenwinkel und Parchmann (2008), Bindernagel und Eilks (2009), Christen (1994), Graulich, Schreiner und Hopf (2010), Hammer (1988) <i>Bio</i> : Crawford und Cullin (2004), Gröger (2010), van Dijk (2009)	5	3	8
kNr 2	Wissen um Unterschiede verschiedener Modelltypen	<i>Che</i> : Garritz (2013), Lethmate und Arning (2003) <i>Bio</i> : Crawford und Cullin (2004), Litsche (1985), Meyer (1990), Schmelzing et al. (2013), Steinbeck und Markert (1989)	2	5	7

Anmerkungen: Dargestellt sind alle Hauptkategorien und Unterkategorien, die in der Summe („Total“) mindestens fünf Thematisierungen in chemie- und biologiedidaktischen Artikeln aufweisen.

Abkürzungen: Nr = Kapitelnummer; Che = Chemie bzw. chemiedidaktischen Themen nahestehende Artikel; Bio = Biologie bzw. biologiedidaktischen Themen nahestehende Artikel; kNr = keine Nummer, d. h. wegen geringer Anzahl der Nennungen im Text nicht weiter erläutert.

Um das Ergebnis vor dem Hintergrund der domänenspezifischen Unterschiede hinsichtlich Anzahl der Nennungen interpretieren zu können, wurden für jede Kategorie Binomialtests berechnet (vgl. Boslaugh & Watters, 2008, 129 ff.). Anstatt des

Trennwerts 0,5 wurde ein adjustierter Trennwert verwendet (abgeleitet vom Prozentwert der Gesamtzahl der Kategorien: 74% der Fähigkeitsnennungen waren der Domäne Chemie zuzuordnen, daher der Trennwert 0,74; siehe Tabelle 1 und 2).

Tabelle 2: Prüfung auf signifikante Abweichung der Nennungen auf Grundlage von Binomialtests.

Domäne	Nr.	Fähigkeitskategorie	n	Signifikanzniveau α^*	Bewertung
Che			21		
Bio	I	Modelle adäquat einsetzen können	15	0,029	mehr Thematisierungen in Bio
Che			20		
Bio	II	Mit Modellpräkonzepten umgehen können	4	0,213	
Che			20		
Bio	III	Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können	0	0,002	mehr Thematisierungen in Che
Che			14		
Bio	IV	Einen Conceptual Change einleiten können	4	0,479	
Che	V	Mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und	16		

Bio		Realmodellen umgehen können	1	0,042	mehr Thematisierungen in Che
Che			11		
Bio	VI	Analogien passend einsetzen können	5	0,406	
Che			6		
Bio	VII	Modelle (weiter-) entwickeln können	7	0,030	mehr Thematisierungen in Bio
Che			10		
Bio	VIII	Modellieren vermitteln können	3	0,551	
Che			11		
Bio	IX	Modellmethode anwenden können	1	0,141	
Che			5		
Bio	kNr 1	Wissen über Modelle in der Geschichte	3	0,347	
Che			2		
Bio	kNr 2	Wissen um Unterschiede verschiedener Modelltypen	5	0,015	mehr Thematisierungen in Bio
Che			136		Total: mehr Thematisierungen in Che (74 %)
Bio	total		48	<0,001	

Anmerkungen: *gewichtet und zweiseitig berechnet; Che = Domäne Chemie; Bio = Domäne Biologie; kNr = keine Nummer, da zu wenige Fähigkeitskategorienennungen; n = Fähigkeitskategorienennung in den Artikeln

Tabelle 2 zeigt die Fähigkeitskategorien, bei denen die Werte signifikant vom Trennwert 0,74 abweichen. Signifikant mehr Fähigkeitsnennungen aus der Domäne Biologie gibt es in den Fähigkeitskategorien *Modelle adäquat einsetzen können* (I), *Modelle (weiter-) entwickeln können* (VII) und *Wissen um Unterschiede verschiedener Modelltypen* (kNr 2). Signifikant mehr Fähigkeitsnennungen aus der Domäne Chemie treten erwartungskonform bei *Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können* (III) und *mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können* (V) auf, jeweils bezogen auf den postulierten Trennwert von 0,74. Zusammenfassend kann Ungleichgewicht bei der Anzahl der Fähigkeitskategorien v. a. auf das domänenspezifische Ungleichgewicht beim Auffinden und Auswählen von Artikeln zurückgeführt werden.

In Entsprechung zu Depaepe et al. (2013, S. 16) wurde die Tabelle 1 transponiert zu Tabelle 3, um häufigere Muster bei der thematisierten Fähigkeitskategorien sichtbar zu machen. Allerdings kommen diese Muster exakt gleicher Thematisierungen seltener als bei Depaepe et al. (2013, S. 16) vor. Einzig vier Artikel wurden allein mit der Fähigkeit Modelle adäquat einsetzen können kategorisiert. Ebenfalls exakt gleiche Muster finden sich sechsmal jeweils nur bei zwei Artikeln. Dazu zählt ein Autorenpaar, welches sich bei zwei Artikeln mit sehr ähnlichen Themen auseinandersetzt: Justi und van Driel (2005b) und Justi und van Driel (2005c). Auffällig sind jedoch Häufungen zwar nicht exakt gleicher, aber ähnlicher Muster, beispielsweise der Fähigkeitskategorien mit Modellpräkonzepten umgehen können und einen Conceptual Change einleiten können oder Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können und mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können.

Tabelle 3: Muster der thematisierten Fähigkeitskategorien zur Vermittlung von Modellkompetenz

Quellen	n	Fähigkeitskategorien zur Vermittlung von Modellkompetenz									kNr. Wissen über Modelle in der Geschichte	kNr. Wissen um Unterschiede verschiedener Modelltypen
		I Modelle adäquat einsetzen können	II Mit Modellpräkonzepten umgehen können	III Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können	IV Einen Conceptual Change einleiten können	V Mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können	VI Analogien passend einsetzen können	VII Modelle (weiter-) entwickeln können	VIII Modellieren vermitteln können	IX Modellmethode anwenden können		
Markert (1988), Šorgo et al. (2014), Nocke (2001), Romine und Walter (2014)	4	X										
Benedict und Bolte (2009), Liang et al. (2011)	2		X	X	X	X						
Gad und Mittelsten Scheid (2008), Hilgers et al. (1994)	2	X						X				
Justi und van Driel (2005b), Justi und van Driel (2005c)	2	X	X			X			X	X		
Okanlawon (2010), Usak et al. (2011)	2	X	X									
Rueckl und Ebinghaus (1989), Touché (1989)	2	X		X								
Schmelzing et al. (2013), Steinbeck und Markert (1989)	2	X						X				X
Beerenwinkel und Parchmann (2008)	1		X		X			X			X	
Bindernagel und Eilks (2009)	1			X							X	
Bühler und Erb (2010)	1			X		X						
Christen (1994)	1		X	X							X	
Cohen und Yarden (2009)	1	X	X		X	X						
Crawford und Cullin (2004)	1	X	X		X			X	X		X	X
Drechsler und van Driel (2008)	1	X	X	X		X						
Eilks et al. (2009)	1		X	X	X	X	X		X	X		
Garritz (2013)	1	X				X			X	X		X
Graulich et al. (2010)	1										X	
Gröger (2010)	1						X				X	
Hammer (1988)	1	X									X	
Harrison und Jong (2005)	1	X	X	X	X	X	X			X		

Jong et al. (2005)	1		X	X								
Jong und van Driel (2004)	1		X	X		X						
Justi und van Driel (2005a)	1					X	X			X		
Keune und Daemmgen (1988)	1							X				
Khourey-Bowers und Fenk (2009)	1		X	X	X	X	X					
Klinger (2001)	1	X		X			X					
König und Reiners (2004)	1	X			X			X				
Leisner und Mikelskis (2004)	1			X	X					X	X	
Lethmate und Arning (2003)	1	X								X	X	X
Lin und Chiu (2010)	1		X		X	X						
Litsche (1985)	1	X						X				X
Meyer (1990)	1	X					X	X	X			X
Mikelskis-Seifert (2004)	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Mikelskis-Seifert et al. (2005)	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mikelskis-Seifert und Leisner (2004)	1	X	X	X	X	X		X			X	
Nelson und Davis (2012)	1							X	X	X		
Oh und Kim (2013)	1	X					X					
Padilla et al. (2008)	1	X			X		X					
Papageorgiou et al. (2010)	1	X	X	X	X							
Schneider (1981)	1	X						X				
Streller und Bolte (2008)	1	X								X		
Strübe et al. (2014)	1	X								X	X	
Unal et al. (2014)	1		X									
Valanides und Angeli (2006)	1	X	X		X		X			X	X	
Van Dijk (2009)	1		X		X							X
Van Driel et al. (2002)	1					X						
Wang et al. (2014)	1					X	X					
Winnenburg (2000)	1	X	X		X							

Abkürzungen: n = Anzahl der Artikel mit dem exakt gleichen Muster; kNr = keine Nummer, d. h. wegen geringer Anzahl der Nennungen im Text nicht weiter erläutert.

Im Folgenden werden aus Platzgründen nur die neun wichtigsten Fähigkeitskategorien vorgestellt. Am Ende der Beschreibung jeder Fähigkeitskategorie wird darauf eingegangen, wie die Kategorisierung durchgeführt wurde, d. h. warum den Artikeln diese Fähigkeitskategorie zugeordnet wurde. Als Kriterium für die Wichtigkeit wurden mehr als zehn Thematisierungen (Summe aus biologische- und chemiedidaktischen Artikeln) als Cut-off-Wert angenommen, d. h. es mussten in der Summe mindestens elf Nennungen in chemie- und biologiedidaktischen Artikeln erreicht werden. Somit ergeben sich auf Grundlage der Summen absteigend die wichtigsten Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz durch die folgenden Kategorien:

I) Modelle adäquat einsetzen können

Henze, van Driel und Verloop (2007, S. 105) betonen, dass das adäquate Verstehen der Natur der Modelle und des Modellierens (NoS) entscheidend für die Vermittlung von Modellkompetenz sei. Indes: Die Kategorie *Modelle adäquat einsetzen können* wird hier noch breiter verstanden, da es sich dabei im Kern nicht um eine Fachwissens- oder NoS-, sondern um eine übergeordnete fachdidaktische Kategorie handelt. Deshalb wurde im Rahmen der qualitativen Frequenzanalyse die Kategorie *Modelle adäquat einsetzen können* als Überkategorie verwendet, wenn eine andere Zuordnung zu Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz nicht möglich war. Eine spezifische Definition ist deshalb nicht zielführend. Vielmehr erklärt sich die Überkategorie *Modelle adäquat einsetzen können* vor allem über die Unterkategorien *Analogien passend einsetzen können* und *Modellmethode anwenden können* (Biologie- und Chemiedidaktik), *Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können, mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können, Prinzip Veranschaulichung vor Mathematisierung, Förderung intuitiver Lösungen von Problemen mit Modellen, Berücksichtigung von Modellniveaupassung und Metakonzeptuelle Kompetenz* (Chemiedidaktik) sowie *Berücksichtigung der Mikro-/Makrobeziehung* (Biologiedidaktik, in Entsprechung zu *mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können*).

II) Mit Modellpräkonzepten umgehen können

Neben dem Wort Präkonzept existieren die Ausdrücke (alternative) Konzepte, alternative Rahmen, kindliche Wissenschaft (vgl. als Übersicht Jüttner & Neuhaus, 2012, S. 1128) und Schülervorstellungen. Eher (ab)wertend sind die von einigen Autoren verwendeten Begriffe naive Vorstellungen, Fehler oder Fehlvorstellungen (z. B. Papageorgiou et al., 2010). Dagegen wenden sich einige Autorinnen und Autoren und bezeichnen Präkonzepte explizit wertfrei als vorwissenschaftliche Alltagsvorstellungen von Lernenden (vgl. Parchmann, 2012), die von den wissenschaftlichen Erkenntnissen abweichen. Die Fähigkeit mit Präkonzepten von Schülerinnen und Schülern umzugehen wird von vielen Didaktikerinnen und Didaktikern als ein entscheidender Schritt zur lernwirksamen Vermittlung von naturwissenschaftlichen Inhalten generell und auch im Speziellen bei der Vermittlung von Modellkompetenz an Schülerinnen und Schüler erachtet (Coll & Treagust, 2003; Park & Light, 2009). Besonders erschwerend kommt hinzu, dass moderne wissenschaftliche Modelle eigentlich für Schülerinnen und Schüler nicht anschaulich sein können, weil ihre Inhalte zu sehr von alltäglichen „mesokosmischen“ Welt abweichen (Vollmer, 1986, S. 103). Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt den fachdidaktischen Bereich

Erkennen von Präkonzepten, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie *mit Modellpräkonzepten umgehen können* zugeordnet.

III) Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können

Atome und Teilchen sind zentraler Bestandteil des Chemie- und Physikunterrichts und finden sich auch im Biologieunterricht, beispielsweise bei der Behandlung von molekularbiologischen Themen. Während das Wort Atom weitgehend einheitlich definiert wird, werden unter Teilchen bzw. Partikeln sowohl Bestandteile von Atomen als auch Bestandteile von Materie verstanden. Diese Uneinheitlichkeit kann bei Schülerinnen und Schülern Lernschwierigkeiten verursachen. Die Abhängigkeit einer angemessenen Lehre des Teilchenmodells bzw. des Atommodells von der Thematik und der Altersstufe ist schon häufig diskutiert worden (Passmore et al., 2014; Passmore, 2015, S. 663; Rehm, 2007). Mit *klären* ist hier die passende Auswahl und Erklärung des Teilchen- bzw. Atommodells gemeint. In diesem Zusammenhang scheint eine Vereinheitlichung der Begrifflichkeiten notwendig, wie dies beispielsweise Touché (1989) für die Unterrichtsfächer Chemie und Physik versucht. Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt den fachdidaktischen Bereich des Umgangs mit Teilchen- bzw. Atomvorstellungen, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie *Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können* zugeordnet.

IV) Einen Conceptual Change (Konzeptwechsel) einleiten können

Die Veränderung von Präkonzepten zu Modellen beschäftigt die Didaktik seit Anbeginn, zumindest seit Piaget (vgl. Herget, 2014, S. 5). Conceptual Change wird als Assimilation oder evolutionärer Vorgang (behutsame Angleichung) oder als Akkomodation bzw. revolutionärer Vorgang (radikale Änderung) der vorwissenschaftlichen an wissenschaftliche Vorstellungen beschrieben (Duit & Treagust, 2012, S. 45; Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982, S. 212). Modelle stellen hierbei aufgrund ihrer Abstraktheit und ihren Grenzen eine besondere Herausforderung für Lehrkräfte dar. Das Konzept des Conceptual Changes wird gegenwärtig nur unter Vorbehalt verwendet. Teilweise wird heute vorsichtiger von Conceptual Reconstruction (vgl. van Dijk & Kattmann, 2007) oder Conceptual Growth (Howe, Tolmie, Greer & Mackenzie, 1995) ausgegangen, da sich Präkonzepte nur sehr schwierig ändern lassen. Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt den fachdidaktischen Bereich Umgang mit bzw. Überwindung von Präkonzepten, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie einen Conceptual Change einleiten können zugeordnet.

V) Mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können

Schülerinnen und Schüler haben häufig Schwierigkeiten, die im Chemieunterricht streng zu trennenden Ebenen bei Atommodellen zu unterscheiden (Bindernagel & Eilks, 2009). Cohen und Yarden (2009) machen ähnliche Probleme beim Verständnis des mikroskopischen Bildes im Biologieunterricht (*Berücksichtigung der Mikro-/Makrobeziehung*) aus, welches beispielsweise nicht als dreidimensional verstanden wird. In der Chemiedidaktik gibt es eine Ebene, die dem Phänomen zukommt; diese wird makro-, mikroskopische oder Kontinuumsebene bezeichnet. Davon muss die Schülerin oder der



Schüler die Ebene der Atome unterscheiden, d. h. die submikroskopische bzw. Diskontinuumsebene. Die Unterscheidung dieser beiden Ebenen ist entscheidend, da auf der Diskontinuumsebene andere Naturgesetze herrschen als auf der Kontinuumsebene und die Vermischung von Kontinuums- und Diskontinuumsebene zu inadäquaten Vorstellungen über Atome führen können (Rehm, 2007, S. 291). So muss von der Schülerin oder dem Schüler z. B. akzeptiert werden, dass Teilchen sowohl als Teilchen als auch als Wellen angesehen werden können (Rehm, 2007, S. 291). Johnstone (2006, S. 59) ergänzt außerdem eine Repräsentations- bzw. symbolische Ebene, die beispielsweise in Form einer Struktur- oder Summenformel von den Schülerinnen und Schülern ergänzt werden muss. Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt den fachdidaktischen Bereich des Problems des Umgangs mit Modellen aus dem Diskontinuum und Realmodellen, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie *mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können* zugeordnet.

VI) Analogien passend einsetzen können

Analogien übertragen „Strukturen oder Verfahrensweisen von einem Gegenstandsbereich auf einen anderen“ (Klinger, 2001, S. 170), sind jedoch in den naturwissenschaftlichen Didaktiken nicht als isomorphe und bijektive Abbildungen des Originals zu verstehen (Bunge, 1973, S. 120), sondern im besten Falle als Metapher für „homomorphe Abbildung[en]“ (Kircher, 2015, S. 789). Der Rückschluss durch eine Analogie x von Modell 1 auf Modell 2 sowie einer anderen Analogie y von Modell 2 auf Modell 3 erlaubt somit weder einen Rückschluss von Modell 1 auf Modell 3, noch einen Rückschluss von Analogie x auf Analogie y (vgl. Kircher, 2015, 788 f.).

Nach Glynn (1991) sollte man beim Lehren von Analogien erstens ein Zielkonzept einführen (z. B. Killerzelle als Analogie für die cytotoxische T-Zellen des menschliche Immunsystems) und zweitens Schülerinnen und Schüler daran erinnern, was sie bereits über das Analogiekonzept wissen (z. B. Killerzellen *killen* etwas). Drittens sollten relevante Eigenschaften der Analogie und des dahinterstehenden Konzepts von den Schülerinnen und Schülern identifiziert werden (z. B. Killerzellen killen keine Bakterien) und viertens sollten Schülerinnen und Schüler die relevanten Eigenschaften der Analogien verbinden (z. B. Killerzellen killen virusinfizierte Körperzellen, um die Ausbreitung des Virus zu verhindern). Fünftens sollten Schülerinnen und Schüler lernen, wann eine Analogie nicht mehr gültig ist (z. B. dem Wortsinn nach killen Killerzellen Krankheitserreger wie Viren und Bakterien direkt, und das stimmt nicht) und sechstens ihre Erkenntnisse aus den Analogien zusammenfassen (z. B. Killerzellen killen virusinfizierte Wirtszellen, damit die Virusverbreitung verhindert wird). Entsprechend kann eine Analogie nur dann als passend für

Schülerinnen und Schüler gelten, wenn sie dem Alter und Vorwissen entsprechend systematisch Verhältnisse und Abweichungen zwischen Realität und Analogie thematisiert (Harrison & Jong, 2005, S. 1). Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt das Thema Analogieeinsatz im Unterricht, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie *Analogien passend einsetzen können* zugeordnet.

VII) Modelle (weiter-) entwickeln können

Ein grundlegender Bestandteil naturwissenschaftlicher Forschung ist in der permanenten Entwicklung und Weiterentwicklung im Sinne einer Ausdifferenzierung von Modellen zu sehen. *Modelle (weiter-) entwickeln können* wird deshalb als Teil des Curriculums der Erkenntnisgewinnung bezüglich der Natur der Naturwissenschaften (KMK Standards, 2005a, 10 f., 2005b, S. 9) bzw. des Fachwissens von Lehrkräften verstanden sowie als Kompetenz, diese Fähigkeit im Unterricht den Schülerinnen und Schülern zu vermitteln. Gilbert und Justi (2016, S. 259) weisen auf die Wichtigkeit der Vermittlung des Aspekts des Erkenntnisgewinnungsprozesses bei der Modell(weiter)entwicklung hin. Insbesondere sei zu vermitteln, dass jedes Protomodell auf die Stimmigkeit seiner Repräsentation untersucht und dann mit dem Ziel der Eliminierung falscher Repräsentationsaspekte überarbeitet werden müsse (Gilbert & Justi, 2016, S. 259). Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt das Thema Modellentwicklung oder Modellweiterentwicklung in diesem Sinne, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie *Modelle (weiter-) entwickeln können* zugeordnet.

VIII) Modellieren vermitteln können

Modellieren vermitteln können gehört zu den zentralen Anforderungen an Biologie- und Chemielehrkräfte (KMK Standards, 2005a, S. 11; vgl. KMK Standards, 2005b, S. 9). Was genau darunter zu verstehen ist wurde für die Fachdidaktik Chemie und Biologie bislang jedoch nicht ausreichend beschrieben. Anders die Mathematikdidaktik: Dort wird unter Modellieren im engeren Sinne das sich in einem Modellierungskreislauf zeigende Mathematisieren verstanden, nämlich das Aufstellen eines mathematischen Modells als adäquate Repräsentation eines realen Problems (Blum, 2006, 9 f.). Im weiteren Sinne kann Modellieren im Unterricht jedoch auch als „angewandtes Problemlösen“ (Blum, 2006, S. 9) verstanden werden. Zum problemlösenden Lernen schlägt Johnstone (1991, S. 81) einen Kreislauf für die Chemiedidaktik vor. Bislang fehlte jedoch ein Fokus auf Modelle. Der in Abbildung 4 für die Didaktiken der Naturwissenschaften vorgeschlagene Modellierungskreislauf greift die Ideen von Blum (2006) und Johnstone (1991) auf und ergänzt diese um modellspezifische Hinweise durch Upmeyer zu Belzen (2013) und Stäudel (2014).

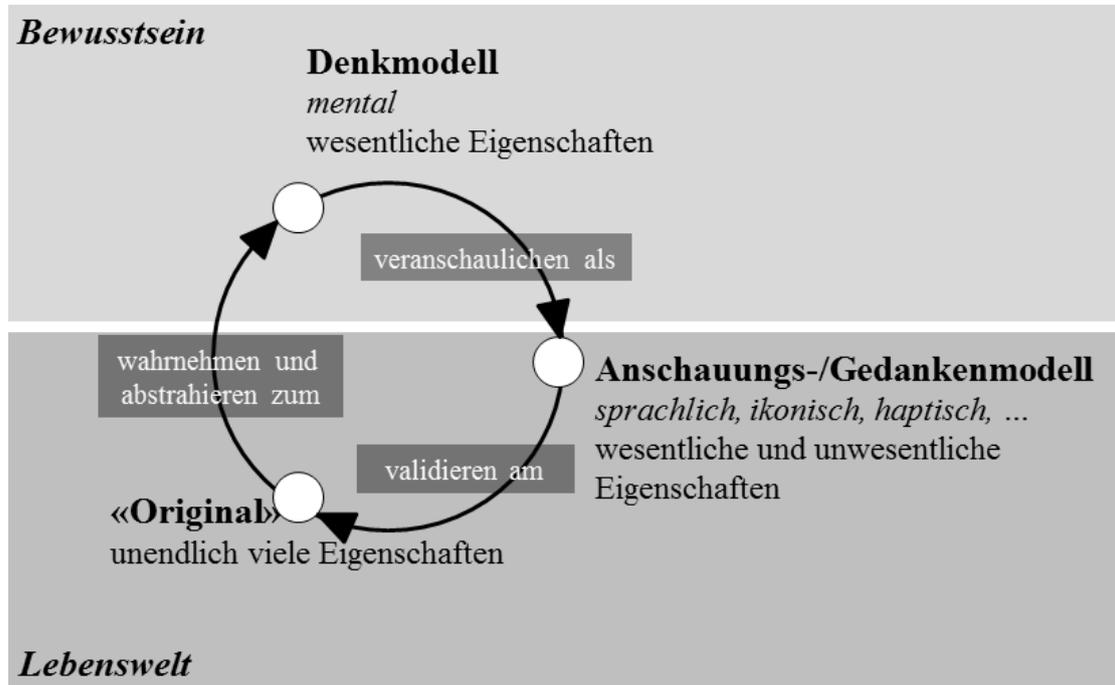


Abbildung 4: Modellierungskreislaufs bzgl. Modellen in Anlehnung an Upmeyer zu Belzen (2013, S. 327), Stäudel (2014, S. 126-128) und Blum (2006); bzgl. den dahinterstehenden Lernmechanismen vgl. Johnstone (1991, S. 81); eigene Darstellung.

Das „Original“ kann in der Lebenswelt des Individuums je nach erkenntnistheoretischem Zugang im Sinne des Konstruktivismus oder Realismus verstanden werden. Nur im Realismus kann vom „Original“ ausgegangen werden (d. h. es wird als „real“ verstanden), während im Konstruktivismus allein Wahrnehmungen von Individuen existieren, die behelfsmäßig als wahrgenommenes „Original“ verstanden und so im besten Falle als „viabel“ aufgefasst werden können (vgl. Glasersfeld, 2001). Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt das Modellieren in diesem Sinne, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie *Modellieren vermitteln können* zugeordnet.

IX) Modellmethode anwenden können

Ursprünglich wurde unter Modellmethode „der wirkliche Vorgang der Modellierung als System von Operationen eines Subjekts zur Lösung einer gegebenen Aufgabe“ (Wüstneck, 1966, S. 1453) verstanden. Später wurde der Begriff auch für die Verwendung von Modellen zu Lernzwecken generell (Hermann, 1974, S. 193) oder im Speziellen als eine Methode zur Bewältigung von arithmetischen und algebraischen Wortproblemen verwendet (Ng & Lee, 2009, 283 ff.). In diesem Artikel fokussieren wir jedoch auf die Modellmethode als Unterrichtsablauf. Auch hierunter wird verschiedenes verstanden. So beschreibt Brademann (1997, 207 f.) den methodischen Umgang mit Denkmodellen als siebenstufigen Ablauf, bei dem erstens die Wahrnehmung des Originals (auch z. B. als Experiment oder Bild) im Vordergrund steht, zweitens „eine Frage zur Erklärung des Wesens, der Wirkung oder der Struktur gestellt“ wird und drittens festgestellt wird, dass eine „direkte[] Untersuchung“ unmöglich ist, weil das Original „z.B. [sic!] zu klein, zu schnell, [zu] unsichtbar, zu kompliziert“ ist. Daraus folgt für Brademann (1997, S. 208), dass den Schülerinnen und Schülern viertens deutlich wird, dass es eines strukturell vereinfachenden Modells bedarf, welches im fünften Schritt zur Lösung des Ausgangsproblems genutzt wird. Sechstens wird

der „Erklärungswert“ reflektiert und das Modell siebte für vergleichbare bzw. ähnliche Situationen und Probleme genutzt. An dieser Stelle soll es nicht nur um Denkmodelle gehen, sondern um die Vermittlung von Modellen im Unterricht an sich. Deswegen wird hier die einfachere (aber ähnliche) Darstellung der Modellmethode mit vier Stufen präferiert, wie sie sich bei Kircher (1995, S. 211) und Leisner-Bodenthin (2006, S. 98) findet. Dieses Vorgehen wird als besonders lernwirksam hinsichtlich der Modellkompetenz der Schülerinnen und Schüler beschrieben (Leisner-Bodenthin, 2006, S. 102). Stufe eins dieses Unterrichtsablaufs befasst sich mit der Phänomenbeobachtung (das Phänomen ist mit Hilfe des „Originals“ nicht erklärbar), Stufe zwei mit der „Modellentwicklung“ bzw. „Modellauswahl“, Stufe drei mit dem „Beantworten der Frage“ bzw. dem „Lösen des Problems (Modellanwendung)“ und mit Stufe vier, nämlich der Prüfung der „Zweckmäßigkeit und Erklärungswert des Modells ... – Reflexion der Modellnutzung“ (Leisner-Bodenthin, 2006, S. 98). Vorteile dieser *Modellmethode* sind neben seiner Stringenz insbesondere im vierten Schritt zu sehen, denn das Hinterfragen des Modells durch die Schülerinnen und Schüler dient einem reflektierten Wissenschaftsverständnis. Damit wird es Schülerinnen und Schülern möglich, Modelle als zweckorientierte Konstrukte zu erkennen, die nicht wahr, sondern immer auch fehlerhaft sind, weil nicht alle Aspekte der Realität abgedeckt sein können (Box, 1976). Die Modellmethode ist somit eine auf der Wissenschaftstheorie fußende Analogie für das Vorgehen im Unterricht, welche zum einen lernökonomisch ist (Kircher, 1995), zum anderen rekuriert auf das, was entdeckendes Lernen und genetisches Lehren meint (Wagenschein, 1965). Thematisierte ein Artikel in mindestens einem Satz oder Abschnitt das Modellieren in diesem Sinne, so wurde dieser entsprechend der Fähigkeitskategorie *Modellmethode anwenden können* zugeordnet, insbesondere, wenn die Reflexion über den Erklärungswert eines Modells mit berücksichtigt wurde.

4.2 Strukturdiagramme der Fähigkeiten

Die Ergebnisse werden im Folgenden durch Strukturdiagramme der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz zusammengefasst. Die Strukturdiagramme sind Visualisierungen des Resultats eines iterativen Prozesses der Kategorien- und Subkategorienbildung im Rahmen der qualitativen Frequenzanalyse nach Mayring (2015).

Im Folgenden soll zunächst genauer erläutert werden wie dieser iterative Prozess zur Gestaltung der Strukturdiagramme führte. Dies wird exemplarisch an den häufigsten Fähigkeitskategorien dargestellt. Hierbei wird zunächst vertieft erläutert, wie kategorisiert wurde und dann, wie die Zuteilung als strukturierendes Element erfolgte.

Beim Lesen und Kategorisieren der 57 Artikel wurde immer wieder deutlich, dass es Sätze und Abschnitte gab, die im Kontext allgemeinen und adäquaten Modelleinsatzes standen, die jedoch nicht weiter ausgewertet werden konnten. Da sich der adäquate Modelleinsatz als bei weitem häufigste Fähigkeitskategorie darstellte ($N_{\text{total}} = 36$) und sich in diesen Artikeln häufig weitere Kategorien wiederfanden, die aus fachdidaktischer Sicht als Subkategorien zu verstehen waren, wurde *Modelle adäquat einsetzen können* sowohl im Kontext biologische als auch chemiedidaktischer Artikel zu einer Überkategorie im Strukturdiagramm.

Wurde das Vorhandensein von Präkonzepten bzw. Schülervorstellungen zu Modellen thematisiert, so erfolgte die Kategorisierung mit *Modellpräkonzepten umgehen können*. Wurde der adäquate Umgang und das Überwinden von Modellpräkonzepten thematisiert, so wurde dies der Fähigkeitskategorie *einen Conceptual Change einleiten können* zugeschrieben. Hier gab es öfter Doppelkategorisierungen, da sich die Fähigkeiten gegenseitig bedingen. Wir entschieden uns dennoch gegen eine Zusammenlegung der beiden Kategorien, weil nicht alle Artikel beide Aspekte beleuchteten und weil aus fachdidaktischer Sicht sowohl dem Erkennen von Präkonzepten als auch dem Einleiten eines Conceptual Changes jeweils eine herausragende Bedeutung mit Alleinstellungsmerkmal zuerkannt werden sollte. Aus dem gleichen Grund wurden beide Fähigkeiten als Überkategorien angeordnet.

Viele Artikel aus dem chemiedidaktischen Kontext beschäftigten sich mit den Modellen bzgl. Teilchen- oder Atomvorstellungen bzw. mit den Problemen, die die Unterscheidung von Realmodelle und Modellen, die sich auf das Diskontinuum (submikroskopische Ebene) beziehen. Das ist erwartungskonform, da es sich dabei um für den Chemieunterricht zentrale Aspekte handelt. Die Kategorisierung war hier also nicht diffizil, da wenig abgewogen werden musste. Artikel ließen sich eindeutig entweder dem Problembereich Verständnis von

submikroskopischen Modellen vor dem Hintergrund makroskopischer Schülervorstellungen (Kategorie V) oder dem Problembereich der thematischen Passung des

Atom- oder Teilchenbegriffs (Kategorie III) zuordnen. Eine Zusammenlegung kam deshalb nicht in Betracht. Trotz der herausragenden Stellung, die sich auch quantitativ zeigte, wurde bei der Entstehung des Strukturdiagramms doch deutlich, dass es sich qualitativ um Aspekte adäquaten Unterrichtens handelt. Aus diesem Grund wiesen wir den Fähigkeiten nur den Status der Unter- bzw. Subkategorie zu.

Die Kategorisierung der Fähigkeitskategorie *Analogien passend einsetzen können, Modelle (weiter-)entwickeln können* und *Modellieren vermitteln können* war vergleichbar eindeutig wie *Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können* und *mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können*. Wenn sich Sätze und Abschnitte fanden, die sich mit Analogien, Modellentwicklung und Modellierung auseinandersetzen, so wurden diese Artikel entsprechend kategorisiert. Bei der Fähigkeitskategorie *Modellmethode anwenden können* war dies nicht möglich. Nur wenige Artikel beschäftigten sich direkt mit der Modellmethode. Jedoch immer dann, wenn sich ein Artikel auch im weiteren Sinne mit einer der Modellmethode-Stufen von Meisert (2008) beschäftigt (z. B. wenn die Reflexion des Modells im Unterricht thematisiert wurde) wurde dem Artikel diese Fähigkeitskategorie zugeschrieben.

Bei der Zuordnung dieser Kategorien zu einem stimmigen Strukturdiagramm galt es abzuwägen. Zwar schien schnell klar, dass *Modellmethode anwenden können* und *Analogien passend einsetzen können* eine Subkategorie von *Modelle adäquat einsetzen können* ist. *Modellieren vermitteln können* schien jedoch sowohl als Haupt- als auch als Unterkategorie denkbar zu sein. Wieder wurde in diesem Falle nach der Bedeutung für den Unterricht entschieden und nicht quantitativ über die Anzahl der Nennungen. Da Modellieren eine in den KMK Standards (2005a) formulierte Kompetenz ist schien es angebracht, *Modellieren vermitteln können* als Hauptkategorie zu verstehen.

In Anlehnung an Upmeyer zu Belzen und Krüger (2010, S. 53) haben auch die hier vorgelegten Strukturmodelle zur *Vermittlung von Modellkompetenz im Biologie-* (Abbildung 5) und *Chemieunterricht* (Abbildung 6) eine Wissens- und eine Handlungs- bzw. Vermittlungskomponente. Abbildung 5 gibt einen vollständigen Überblick über die Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz, die eine Biologielehrkraft nach den Ergebnissen der qualitativen Frequenzanalyse haben sollte.



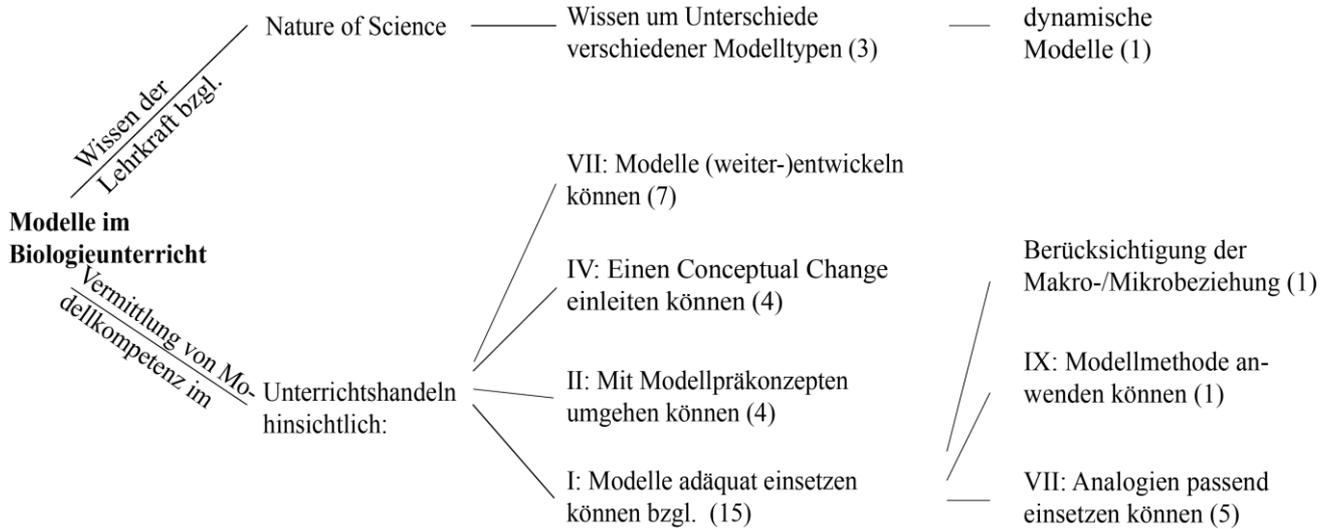


Abbildung 5: Strukturdiagramm zu den Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. In Klammern findet sich die Anzahl der Artikel, die den jeweiligen Aspekt adressiert, vor der Fähigkeit ggf. das Kapitel, in welchem diese erörtert wird. Eigene Darstellung.

Abbildung 6 stellt die Ergebnisse der qualitativen Frequenzanalyse aus Tabelle 1 und Tabelle 3 für den Bereich der Chemie strukturiert dar und gibt einen Überblick über die

Fähigkeiten, die eine Lehrkraft zur Vermittlung von Modellkompetenz im Chemieunterricht haben sollte.

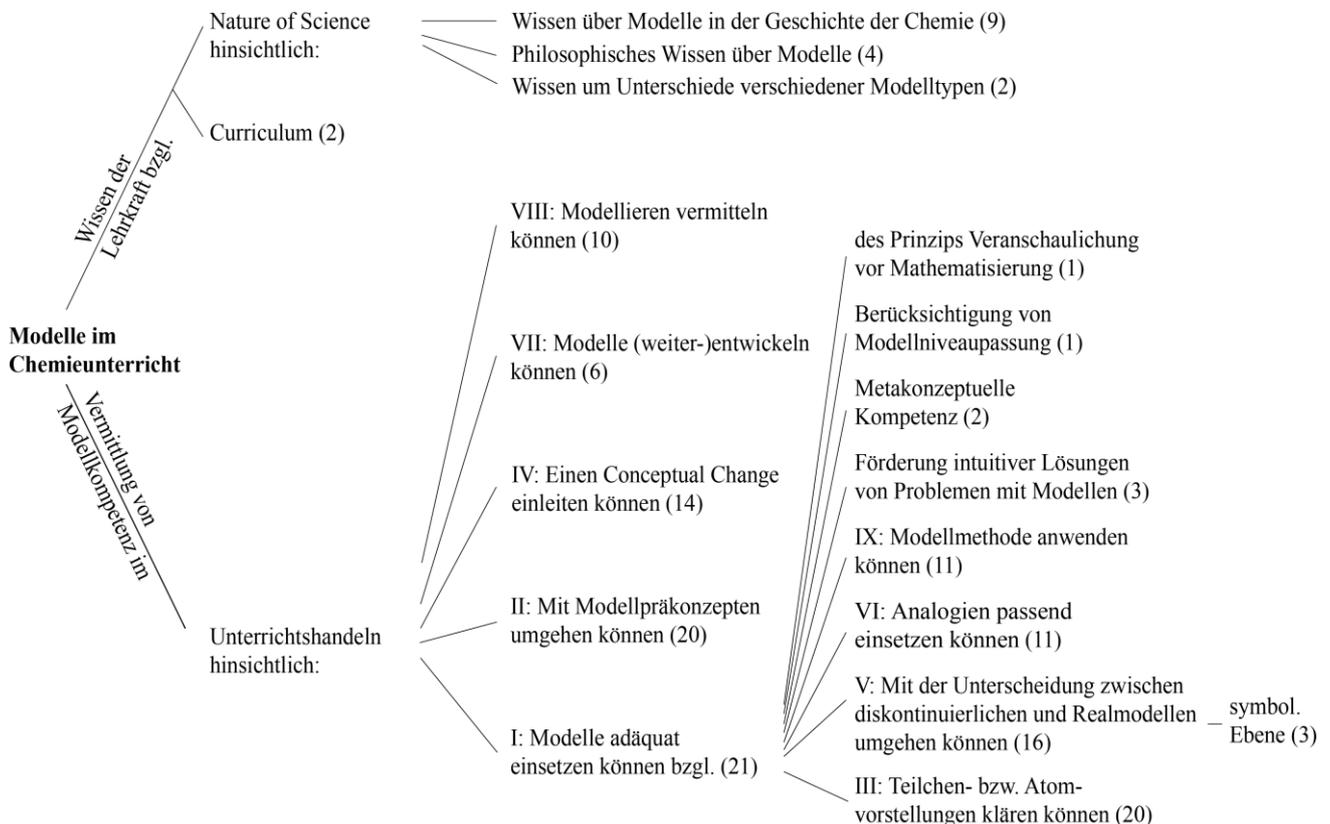


Abbildung 6: Strukturdiagramm zur Vermittlung von Modellkompetenz im Chemieunterricht. In den Klammern findet sich die Anzahl der in den Artikeln adressierten Fähigkeitsaspekte sowie in römischen Ziffern ggf. das Kapitel, in welchem diese erörtert wird. Eigene Darstellung.

Wir fassen die Ergebnisse nochmals zusammen: Es wurden die systematisch ausgewählten 57 Artikel im Rahmen einer qualitativen Frequenzanalyse bezüglich ihren Aussagen über die benötigten Lehrfähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz analysiert. Hierbei zeigt sich, dass relativ viele Fähigkeiten sowohl im Unterrichtsfach Chemie als auch in Biologie aufgegriffen werden (z. B. die am häufigsten genannten: Modelle adäquat einsetzen können, mit Modellpräkonzepten umgehen können, einen Konzeptwechsel (Conceptual Change) einleiten können, Modelle (weiter-) entwickeln können,

den, die Modellmethode anwenden können, Analogien passend einsetzen können, vgl. Tabelle 1 und Tabelle 3 sowie Abbildung 5 und Abbildung 6). Einige Fähigkeiten sind chemiespezifisch (z. B. mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können, Wissen über Modelle in der Geschichte, Teilchen- bzw. Atomvorstellungen klären können, Modellieren vermitteln können; vgl. Tabelle 1 und Tabelle 3 sowie Abbildung 5 und 6), einige wenige biologiespezifisch (z. B. Berücksichtigung der Makro-/ Mikrobeziehung, dynamische Modelle; vgl. Tabelle 1 und Tabelle 3 sowie

Abbildung 5 und 6). Das Ziel einer vereinheitlichten Darstellung der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz für beide Unterrichtsfächer gelingt somit weitgehend. Die Unterschiede ergeben sich aus der Fachlichkeit. Die Einbettung

5 DISKUSSION

Kircher (2015, S. 797) stellt ein mangelndes Wissen über die „Lernwirksamkeit“ von Modellen fest. Die Lernenden würden „die Fruchtbarkeit der Modelle ... nicht“ (Kircher, 2015, S. 799) erkennen. Dies hinge auch damit zusammen, dass sie abweichende „Kriterien für die Beurteilung dieser Modelle verwenden“ (Kircher, 2015, S. 799) würden. Fundierte Fähigkeiten über die Vermittlung von Modellkompetenz müssten also sowohl die Fruchtbarkeit der Modelle im Vergleich zu bei Schülerinnen und Schülern vorhandenen Präkonzepten vermitteln als auch erklären, wie diese Modelle beurteilt werden müssen.

Ähnlich wie gerade beschrieben wird das Thema Vermittlung von Modellkompetenz im Biologie- und Chemieunterricht in einer Vielzahl von Artikeln aufgegriffen. So legen auch Gilbert und Justi (2016, S. 195) oder Gut, Pflirter und Tardent (2016, S. 234) eine Vermittlungsaspekte beinhaltende Übersicht vor: Beide Forschungsgruppen thematisieren, welches Wissen über Modelle und welche Fähigkeiten beim praktischen Modellieren wichtig sind. An anderer Stelle berichten Gilbert und Justi (2016, S. 259), es käme bei der Erkenntnisvermittlung mit Modellen darauf an, möglichst forschungsauthentische Lerngelegenheiten zu schaffen und zu wissen, wie, wann und warum modellierungsbasiertes Lehren in Abhängigkeit vom Alter und Wissen der Schülerinnen und Schüler angebracht sei. Außerdem sei wichtig zu wissen, wann und wie Lernende welche Elemente des Modellierungskreislaufes verstehen und anwenden können und wie dies mit dem Lernen über die Entstehung naturwissenschaftlichen Wissens zusammenhängt (Gilbert & Justi, 2016, S. 259).

Diese Aufzählungen können keine konkreten, umfassenden Antworten liefern, weil eine systematische Aufarbeitung der Forschungslage im Sinne eines systematischen Literaturreviews ausbleibt. Ähnliches gilt sowohl für Seel (2017, S. 955), als auch für Oh und Oh (2011, S. 1109) und Campbell, Oh, Maughn, Kiriazis und Zuwallack (2015, 1124 f.), die unter Bezug auf van Joolingen (2004) und Bliss (2013) postulieren, es gäbe fünf Typen einer Pädagogik des Modellierens (untersuchendes, expressives, experimentelles, bewertendes und zyklisches Modellieren), ohne dabei zu erwähnen, wie die Kategorien entstanden sind. Sowohl die Analyseinheit als auch der Vorgang der Kategorienbildung (Mayring, 2000) bleiben offen; es handelt sich um eine normative Setzung. Damit bleibt jedoch die Frage nach der nötigen Fähigkeit zur Vermittlung von Modellkompetenz auf der Seite der Lehrenden hier unbeantwortet, wenn diese auf empirisch überprüfbarem Weg erlangt werden soll.

Das in diesem Artikel dargestellte systematische Literaturreview zeigt auf, dass in der Chemiedidaktik mehr über Modelle im Unterricht und Modellkompetenz publiziert wird als im Kontext biologiedidaktischer Forschung. Als Begründung kann konstatiert werden, dass in der Chemie- im Gegensatz zur Biologiedidaktik die „Einführung submikroskopischer Modellvorstellungen [als]... neuralgischer Punkt für das Verständnis und Interesse für Chemie“ (Saborowski, 2000, S. 13) eine bedeutende Rolle spielt (Rehm, 2018). Ohne adäquates Verständnis des Atommodells usw. ist also Lernen nicht möglich. In vielen Bereichen der Biologie ist adäquates Modellverständnis

im Unterricht muss vor dem Hintergrund der jeweiligen Disziplin geschehen. Schulfachübergreifende und schulfachspezifische Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz werden im nun folgenden Kapitel diskutiert.

nis zwar ebenso wichtig, aber nicht in diesem Maße essenziell für das Lernen der Schülerinnen und Schüler (Wilhelm, 2018).

Hierzu korrespondierend lässt sich in der Literatur auch eine größere Anzahl von Publikationen finden, die die Fähigkeit einer Lehrkraft thematisieren, im Unterricht Präkonzepte über Modelle aufzugreifen und weiterzuentwickeln. Die Theorie des Konzeptwechsels nimmt hier eine dominante Stellung ein.

Außerdem muss auf Grundlage der Betrachtung der Aspekte Vergleichs-/Wartekontrollgruppe, Beschreibung der Stichprobe, Beschreibung der Auswertungsverfahren sowie randomisierte Stichprobenziehung ein Mangel an adäquat konzipierten quantitativen Forschungsstudien bzgl. Modellkompetenz (vgl. Tabelle 5: Einschätzung der Güte der empirisch-quantitativ ausgerichteten Studien hinsichtlich vier Kriterien) postuliert werden. Nur sehr wenige Studien erfüllen diese Standards.

Resümierend kann die Forschungsfrage (Welche Fähigkeiten brauchen Lehrkräfte zur Vermittlung von Modellkompetenz?) sowohl für Biologie- als auch Chemiedidaktik beantwortet werden. Ob sich die Operationalisierung als präaktiv für den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern hinsichtlich Modellkompetenz erweist, müssen weitere Studien zeigen. Skepsis ist insofern angebracht, dass kognitive Systeme nur schwer steuerbar sind (Kircher, 2015, S. 799). Allerdings kann über die Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz vermutlich zumindest Einfluss genommen werden.

Mit den Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz besteht nun die Möglichkeit, künftige Lehrkräfte gezielt hinsichtlich Modellkompetenz zu bilden. Da bei der Ausbildung künftiger Chemielehrkräfte (Justi & van Driel, 2005b), aber insbesondere auch bei der Ausbildung zur Biologielehrkraft ein Mangel an der Thematisierung von Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz konstatiert werden muss, können die nun vorgeschlagene Diagramme zur strukturierten Verbesserung der Ausbildungssituation genutzt werden.

5.1 Limitation

Der Vorteil des Literaturreviews liegt in seiner systematischen Aufarbeitung von Forschungsergebnissen. Die Repräsentativität der Ergebnisse steigt somit, je systematischer und formaler vorgegangen wird. Mayring (2015, S. 121) weist zur Systematisierung von qualitativen Frequenzanalysen darauf hin, dass „die Möglichkeit, Zweitkodierungen vorzunehmen und zu vergleichen (Inter- und Intracoderübereinstimmung)“ bestünde. Insofern wäre dies wünschenswert, um möglichst repräsentativ zu sein. Im Sinne des Konzepts der qualitativen Frequenzanalyse ist dies jedoch nicht unbedingt notwendig, da bei solch komplexen „Kategoriensystem[en]“ (vgl. Mayring, 2015, 124 f.) die Bedeutung der „Reproduzierbarkeit“ (Mayring, 2015, S. 127) als Maß der Reliabilität und Validität ersetzt wird durch Aspekte wie „Verfahrensdokumentation, argumentative Interpretationsabsicherung, Nähe zum Gegenstand, Regelgeleitetheit, kommunikative Validierung und Triangulation“ (Mayring, 2015, S. 125). Diese Aspekte werden umfassend beleuchtet, insbesondere die Aspekte von Verfah-

rensdokumentation bis kommunikative Validierung (Abbildung 3 sowie Kapitel 3 unten und 4.2).

Des Weiteren wäre in Abweichung zu Depaepe et al. (2013) eine Abprüfung der Repräsentativität der Suchbegriffe über ein Expertenrating wünschenswert. Außerdem stiege die Repräsentativität durch Beachtung weiterer einschlägiger Literaturdatenbanken wie z. B. Web of Science, Embase und Google Scholar weiter an, ggf. zur Erhöhung der Anzahl der Artikel aus der Domäne Biologie.

5.2 Ausblick

Das Ziel des Artikels ist, mithilfe eines systematischen Literaturreviews theoriebildend die Struktur der Fähigkeiten zur Vermittlung von Modellkompetenz darzustellen. Diese Übersicht soll zum einen helfen, die Lehramtsausbildung zu verbessern. Zum anderen können die entstandenen Strukturdiagram-

me zur Operationalisierung und zur Entwicklung handlungsnaher Lehrkompetenztests für (künftige) Lehrkräfte der Biologie und Chemie genutzt werden. Solch ein Test sowie dessen Auswertung werden zurzeit erarbeitet (vgl. Tempel, 2017). Allerdings wäre darüber hinaus eine Validitätsprüfung interessant. Diese könnte die ökologische Generalisierbarkeit dahingehend untersuchen, dass der Einfluss eines auf der Operationalisierung fußenden Testscores erstens mit der Art der Vermittlung von Modellkompetenz im Unterricht verglichen wird. Zweitens sollte die Auswirkung auf den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern in Abhängigkeit vom Testscore der Lehrkraft erhoben werden. Eine Variante zu zweitens könnte darin bestehen, dass verglichen wird, welchen Unterschied es macht, ob eine Lehrkraft in einer Schulklasse Zeit darauf verwendet, zu klären, was unter Modellen und bestimmten Modelltypen verstanden wird im Vergleich zu Schulklassen, wo dies unterbleibt.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- Akreml, L. (2014). Stichprobenziehung in der qualitativen Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 265-282). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bauernschuster, J., Tobias, V., Waltner, C. & Wiesner, H. (2010). Dynamischer Mechanikunterricht - Die Umsetzung des Konzeptes durch die Lehrkräfte. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1-6.
- Beerenwinkel, A. & Parchmann, I. (2008). Metadiskussionen über Modelle. Historische Aspekte als Impuls. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 57 (4), 13-16.
- Benedict, C. & Bolte, C. (2009). Wege in die Welt des Kleinen - Teilchenkonzepte von Grundschulkindern. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Schwäbisch Gmünd 2008* (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik#Bd, #29; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2008, S. 458-460). Münster: Lit Verl.
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life. A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91 (3), 347-370.
- Berck, K.-H. & Graf, D. (2010). *Biologiedidaktik. Grundlagen und Methoden* (Biologiedidaktik, 4., vollst. überarb. Aufl.). Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Bindernagel, J. A. & Eilks, I. (2009). Der "Roadmap"-Ansatz zur Beschreibung und Entwicklung des Pedagogical Content Knowledge von Lehrkräften zum Teilchenkonzept. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Schwäbisch Gmünd 2008* (Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik#Bd, #29; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2008, S. 161-163). Münster: Lit Verl.
- Bliss, J. (2013). From Mental Models to Modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn & C. Tompsett (Hrsg.), *Learning Within Artificial Worlds. Computer Based Modelling In The Curriculum* (S. 27-32). Taylor & Francis.
- Blum, W. (2006). Modellierungsaufgaben im Mathematikunterricht - Herausforderung für Schüler und Lehrer. In A. Büchter, H. Humenberger, S. Hußmann, S. Prediger & H.-W. Henn (Hrsg.), *Realitätsnaher Mathematikunterricht - Vom Fach aus und für die Praxis. Festschrift für Hans-Wolfgang Henn zum 60. Geburtstag* (S. 8-23). Hildesheim [u.a.]: Franzbecker.
- Boslaugh, S. & Watters, P. A. (2008). *Statistics in a nutshell*. Sebastopol, CA: O'Reilly.
- Box, G. E. P. (1976). Science and Statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71 (356), 791-799.
- Brademann, T. (1997). Grundsätze und Beispiele zur Arbeit mit physikalischen Denkmodellen im Physikunterricht der Sekundarstufe I. *Physik in der Schule*, 35 (6), 207-210.
- Bühler, B. & Erb, R. (2010). Mikrokosmos und physikalisches Weltbild in den Vorstellungen der Schüler. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009 ; [36. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik ; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 30]* (#30; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2009, S. 83-85). Münster, Westf [u.a.]: LIT-Verl.
- Bunge, M. (1973). *Method, model and matter* (Synthese). Dordrecht: Reidel.
- Campbell, T., Oh, P. S., Maughn, M., Kiriazis, N. & Zuwallack, R. (2015). A Review of Modeling Pedagogies. Pedagogical Functions, Discursive Acts, and Technology in Modeling Instruction. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11 (1), 159-176.
- Christen, H. R. (1994). Das Orbital-Modell in der Schule? *Praxis der Naturwissenschaften. Chemie*, 43 (7), 29-31.
- Cohen, R. & Yarden, A. (2009). Experienced junior-high-school teachers' PCK in light of a curriculum change: 'The cell is to be studied longitudinally'. *Research in Science Education*, 39 (1), 131-155.
- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2003). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (5), 464-486.
- Crawford, B. A. & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26 (11), 1379-1401.
- Depaepe, F., Verschaffel, L. & Kelchtermans, G. (2013). Pedagogical content knowledge: A systematic review of the way in which the concept has pervaded mathematics educational research. *Teaching and Teacher Education*, 34, 12-25.
- Drechsler, M. & van Driel, J. H. (2008). Experienced teachers' pedagogical content knowledge of teaching acid-base chemistry. *Research in Science Education*, 38 (5), 611-631.



- Duit, R. H. & Treagust, D. F. (2012). Conceptual Change: Still a Powerful Framework for Improving the Practice of Science Instruction. In K. C. D. Tan & M. Kim (Hrsg.), *Issues and challenges in science education research. Moving forward* (S. 43-54). Dordrecht: Springer.
- Eilks, I., Witteck, T. & Pietzner, V. (2009). Using multimedia learning aids from the internet for teaching chemistry: Not as easy as it seems? *Multiple Literacy and Science Education: ICTs in Formal and Informal Learning Environments*.
- Fend, H. (2001). *Qualität im Bildungswesen. Schulforschung zu Systembedingungen, Schulprofilen und Lehrerleistung* (Juventa-Paperback, 2., bereinigte Aufl.). Weinheim: Juventa-Verl.
- Frigg, R. & Hartmann, S. (2017). Models in Science. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition). Verfügbar unter <https://plato.stanford.edu/entries/models-science/>
- Gad, G. & Mittelsten Scheid, N. (2008). Seeberge. Modelle eines artenreichen ozeanischen Ökosystems. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, 57 (1), 29-34.
- Garritz, A. (2013). Teaching the Philosophical Interpretations of Quantum Mechanics and Quantum Chemistry Through Controversies. *Science and Education*, 22 (7), 1787-1807.
- Gilbert, J. K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education* (Models and Modeling in Science Education, Bd. 9). Cham: Springer International Publishing.
- Glaserfeld, E. von. (2001). The Radical Constructivist View of Science. *Foundations of Science*, 6 (1/3), 31-43.
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: a Teaching-with-Analogies Model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Hrsg.), *The Psychology of learning science* (S. 219-240). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Graulich, N., Schreiner, P. R. & Hopf, H. (2010). Heuristic thinking makes a chemist smart. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009 ; [36. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik ; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 30]* (#30; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2009, S. 449-451). Münster, Westf [u.a.]: LIT-Verl.
- Gröger, M. (2010). Die historische Genese der "Minimumtonne" als Beispiel für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. In D. Höttecke (Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009 ; [36. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik ; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 30]* (#30; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2009, S. 323-325). Münster, Westf [u.a.]: LIT-Verl.
- Gut, C., Pfirter, H. & Tardent, J. (2016). Natur und Technik. Modellkompetenz im Naturwissenschaftsunterricht - Förderung und Diagnose. In M. Naas (Hrsg.), *Kompetenzorientierter Unterricht auf der Sekundarstufe I. Erziehungswissenschaftliche und fachdidaktische Perspektiven* (S. 227-249). Bern: hep verlag.
- Hammer, H. O. (1988). Symbole für Koordinationsverbindungen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, Chemie* (35), 34-38.
- Harrison, A. & Jong, O. D. (2005). Using multiple analogies: Case study of a chemistry teacher's preparations, presentations and reflections. *Research and the Quality of Science Education*, 353-364.
- Henze, I., van Driel, J. H. & Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a New Syllabus on Public understanding of science. *Research in Science Education*, 37 (2), 99-122.
- Herget, F. (2014). Beiträge der Conceptual Change-Theorie und der Erforschung von Problemlöseprozessen zum Erstellen von Lernaufgaben. *RPZ Impulse - Zeitschrift des Religionspädagogischen Zentrums in Bayern, München*, 1-23.
- Hermann, F. von. (1974). Die Modellmethode in der Physik. *Physikalische Blätter (Physik Journal)*, 30 (5), 193-203.
- Hilgers, U., Sommerfeld, H. & Blume, R. (1994). Kronenether. Ein Carriermodell fuer den Ionentransport durch Biomembranen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 47 (3), 179-184.
- Howe, C., Tolmie, A., Greer, K. & Mackenzie, M. (1995). Peer Collaboration and Conceptual Growth in Physics. Task Influences on Children's Understanding of Heating and Cooling. *Cognition and Instruction*, 13 (4), 483-503.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7 (2), 75-83.
- Johnstone, A. H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7 (2), 49-63.
- Jong, O. D., van Driel, J. H. & Verloop, N. (2005). Pre-service teachers' pedagogical content knowledge of using particle models in teaching chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (8), 947-964.
- Jong, O. de & van Driel, J. H. (2004). Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2 (4), 477-491.
- Justi, R. & van Driel, J. H. (2005a). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's



- knowledge about models and modelling. *Research in Science Education*, 35 (2-3), 197-219.
- Justi, R. & van Driel, J. H. (2005b). Developing science teachers' knowledge on models and modelling. *Teacher Professional Development in Changing Conditions*, 165-180.
- Justi, R. & van Driel, J. H. (2005c). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: Promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27 (5), 549-573.
- Jüttner, M. & Neuhaus, B. J. (2012). Development of Items for a Pedagogical Content Knowledge Test Based on Empirical Analysis of Pupils' Errors. *International Journal of Science Education*, 34 (7), 1125-1143.
- Kersting, N. B., Givvin, K. B., Thompson, B. J., Santagata, R. & Stigler, J. W. (2012). Measuring Usable Knowledge: Teachers' Analyses of Mathematics Classroom Videos Predict Teaching Quality and Student Learning. *American Educational Research Journal*, 49, 568-589.
- Keune, H. & Daemmgen, U. (1988). Zu den Formeldarstellungen des Glucose-Moleküls. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 41 (1), 8-12.
- Khourey-Bowers, C. & Fenk, C. (2009). Influence of constructivist professional development on chemistry content knowledge and scientific model development. *Journal of Science Teacher Education*, 20 (5), 437-457.
- Kircher, E. (1995). Über Modellmethoden im Physikunterricht. In E. Kircher (Hrsg.), *Studien zur Physikdidaktik: erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen* (S. 205-215). Kiel: IPN.
- Kircher, E. (2015). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (Springer-Lehrbuch, 3. Aufl., S. 783-807). Berlin: Springer Spektrum.
- Klinger, W. (2001). Bedeutung und Möglichkeiten der Veranschaulichung im Bereich der Physik. In J. Forster & U. Krebs (Hrsg.), *Das "praktische Lernen" und das Problem der Wissensakkumulation. Von der Notwendigkeit der Entwicklung neuer Niveaus der Anschaulichkeit.* (Schriftenreihe zum Bayerischen Schulmuseum Ichenhausen, Zweigmuseum des Bayerischen Nationalmuseums, und zum Schulmuseum Nürnberg, Bd. 20, S. 167-204). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- KMK Standards (Kultusministerkonferenz, Hrsg.). (2005a). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004.* Zugriff am 03.04.2018. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf
- KMK Standards (Kultusministerkonferenz, Hrsg.). (2005b). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004.* Zugriff am 03.04.2018. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf
- König, A. & Reiners, C. S. (2004). Computergestützte Lehr- und Lernmaterialien zur chemischen Bindung. In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik#Bd, #2003; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 24, S. 334-336). Münster: Lit.
- Krell, M., Reinisch, B. & Krüger, D. (2014). Analyzing Students' Understanding of Models and Modeling Referring to the Disciplines Biology, Chemistry, and Physics. *Research in Science Education*.
- Leisner, A. & Mikelskis, H. F. (2004). Erwerb metakognitiver Kompetenz durch ein systematisches Lernen über Modelle. In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik#Bd, 2003; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 24, S. 120-122). Münster: Lit.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91-109.
- Lethmate, J. & Arning, H. (2003). Experimentelles Arbeiten im Geographieunterricht. *Geographie und Schule*, 25 (145), 35-39.
- Liang, J.-C., Chou, C.-C. & Chiu, M.-H. (2011). Student test performances on behavior of gas particles and mismatch of teacher predictions. *Chemistry Education Research and Practice*, 12 (2), 238-250.
- Lin, J.-W. & Chiu, M.-H. (2010). The mismatch between students' mental models of acids/bases and their sources and their teacher's anticipations thereof. *International Journal of Science Education*, 32 (12), 1617-1646.
- Litsche, G. (1985). Arbeit mit gedanklichen Modellen im Unterricht. *Biologie in der Schule*, 34 (7-8), 262-266.
- Markert, B. (1988). Ein einfaches Synapsenmodell zur Simulation erregender Transmitterschüttungen und zur Erklärung der Wirkungsweise einiger Nervengifte fuer den Biologieunterricht in der Sekundarstufe II. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 41 (3), 168-171.
- Mayring, P. (2000). *Qualitative Inhaltsanalyse. 28 Absätze* (1. Aufl.), Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research. 2. Zugriff am 20.12.2017. Verfügbar unter https://www.ph-freiburg.de/fileadmin/dateien/fakultaet3/sozialwissenschaft/Quasus/Volltexte/2-00mayring-d_qualitativeInhaltsanalyse.pdf



- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (Beltz Pädagogik, 12., Neuausgabe, 12., vollständig überarbeitete und aktualisierte Aufl.). Weinheim, Bergstr.: Beltz, J.
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis - Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 243-261.
- Messick, S. (1989). Validity. In R. L. Linn (Hrsg.), *Educational measurement* (The American Council on Education, 3. Aufl., S. 13-103). New York: Collier Macmillan Publishers.
- Meyer, H. (1990). Modelle. *Unterricht Biologie*, 14 (160), 4-10.
- Mikelskis-Seifert, S. (2004). Über Modelle lernen - Empirische Erforschung einer theoriegeleiteten Konzeption und Konsequenzen für die Unterrichtspraxis. In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik#Bd, #2003; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 24, S. 14-29). Münster: Lit.
- Mikelskis-Seifert, S. & Leisner, A. (2004). Lernen über Modelle in einer interdisziplinären Projektwoche der 8. Klassen. In A. Pitton (Hrsg.), *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung* (Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik#Bd, #2003; Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 24, S. 123-125). Münster: Lit.
- Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M. & Wünscher, T. (2005). Modellieren - Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 4 (1), 30-46. Verfügbar unter <http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/29>
- Nelson, M. M. & Davis, E. A. (2012). Preservice Elementary Teachers' Evaluations of Elementary Students' Scientific Models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. *International Journal of Science Education*, 34 (12), 1931-1959.
- Ng, S. F. & Lee, K. (2009). The Model Method. Singapore Children's Tool for Representing and Solving Algebraic Word Problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 40 (3), 282-313.
- Nocke, H. (2001). Das Gegenstromprinzip. Teil 1: Ein Spielmodell für aktive Gegenstromsysteme. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, 50 (2), 39-42.
- Oh, P. S. & Kim, K. S. (2013). Pedagogical Transformations of Science Content Knowledge in Korean Elementary Classrooms. *International Journal of Science Education*, 35 (9), 1590-1624.
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33 (8), 1109-1130.
- Okanlawon, A. E. (2010). Constructing a framework for Teaching Reaction. Stoichiometry using Pedagogical Content Knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, 19 (2), 27-44.
- Padilla, K., Ponce-de-León, A. M., Rembado, F. M. & Garritz, A. (2008). Undergraduate Professors' Pedagogical Content Knowledge: The case of 'amount of substance'. *International Journal of Science Education*, 30 (10), 1389-1404.
- Papageorgiou, G., Stamovlasis, D. & Johnson, P. M. (2010). Primary teachers' particle ideas and explanations of physical phenomena: Effect of an in-service training course. *International Journal of Science Education*, 32 (5), 629-652.
- Parchmann, I. (2012). Schülervorstellungen - Lernbarrieren oder Lernchancen? *MNU Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 26-29.
- Park, E. J. & Light, G. (2009). Identifying Atomic Structure as a Threshold Concept. Student mental models and troublesomeness. *International Journal of Science Education*, 31 (2), 233-258.
- Passmore, C. (2015). Models. In R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of science education* (Springer reference, pp. 659-663). Dordrecht: Springer.
- Passmore, C., Gouvea, J. S. & Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science. Focusing Scientific Practice on Sense-making. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1171-1202). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Popper, K. R. & Fleischmann, I. (1984). *Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf* (4. verb. und ergänzten Aufl.). Hamburg: Hoffmann und Campe.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Randler, C. & Rahafar, A. (2017). Latitude affects Morningness-Eveningness. Evidence for the environment hypothesis based on a systematic review. *Scientific reports*, 7, 1-6.
- Rehm, M. (2007). Crossing the bridge from the macro to the micro world. *NVOX - Tijdschrift voor natuurwetenschap op school*, 32 (6), 291-293.
- Rehm, M. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Chemieunterricht. Unterrichtspraxis: Perspektiven von Expertinnen und Experten* (Wirksamer Fachunterricht, Bd. 2, 11 Bände): Schneider Verlag Hohengehren.
- Romine, W. L. & Walter, E. M. (2014). Assessing the efficacy of the measure of understanding of macroevolution as a valid tool for undergraduate non-science majors. *International Journal of Science Education*, 36 (17), 2872-2891.



- Rueckl, E. & Ebinghaus, H. (1989). Genese der Atommodelle mit dem Feldenergiekonzept. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik*, 38 (4), 21-22.
- Saborowski, J. (2000). *Computervisualisierung und Modelldenken. Konzeptionelle Grundlagen und fachdidaktische Konsequenzen für den Chemieunterricht*. Köln: Saborowski.
- Schmelzing, S., van Driel, J. H., Jüttner, M., Brandenbusch, S., Sandmann, A. & Neuhaus, B. J. (2013). DEVELOPMENT, EVALUATION, AND VALIDATION OF A PAPER-AND-PENCIL TEST FOR MEASURING TWO COMPONENTS OF BIOLOGY TEACHERS' PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE CONCERNING THE "CARDIOVASCULAR SYSTEM". *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11 (6), 1369-1390.
- Schneider, H. (1981). Quantifizierender Einsatz von Modellen im Biologieunterricht-aufgezeigt am Beispiel der menschlichen Wirbelsäule. *Naturwissenschaften im Unterricht. Biologie*, 29 (8), 259-263.
- Seel, N. M. (2017). Model-based learning. A synthesis of theory and research. *Educational Technology Research and Development*, 65 (4), 931-966.
- Šorgo, A., Usak, M., Kubiak, M., Fančovičová, J., Prokop, P., Puhek, M. et al. (2014). A cross-cultural study on freshmen's knowledge of genetics, evolution, and the nature of science. *Journal of Baltic Science Education*, 13 (1), 6-18.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien, New York: Springer-Verlag.
- Stäudel, L. (2014). *Lernen fördern: Naturwissenschaften. Unterricht in der Sekundarstufe I* (Unterrichtsentwicklung und Unterrichtsqualität Praxisband, 1. Aufl.). Seelze: Klett/Kallmeyer.
- Steinbeck, R. & Markert, B. (1989). Ansätze zur Arbeit mit dem Regelkreismodell. *Praxis der Naturwissenschaften. Biologie*, 38 (4), 39-41.
- Streller, S. & Bolte, C. (2008). Tornados im globalen Klimageschehen. Eine fachübergreifende Sequenz für den Chemieanfangsunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 57 (2), 11-16.
- Strübe, M., Tröger, H., Tepner, O. & Sumfleth, E. (2014). Development of a Pedagogical Content Knowledge test of chemistry language and models [Desarrollo de una prueba de Conocimiento Pedagógico del Contenido sobre modelos y el lenguaje de la química]. *Educacion Quimica*, 25 (3), 380-390.
- Tempel, B. J. (2017). *Vermittlung von Modellkompetenz in den Unterrichtsfächern Biologie und Chemie. Modellierung, Validierung und Messung Professioneller Unterrichtswahrnehmung zukünftiger Lehrkräfte mithilfe eines Vignettentests*, Pädagogische Hochschule Heidelberg. Heidelberg. Zugriff am 14.11.2017.
- Touché, W. (1989). Atommodelle im Chemie- und Physikunterricht der gymnasialen Mittelstufe. Versuch e. Koordination. *Praxis der Naturwissenschaften. Physik*, 38 (4), 2-6.
- Unal, S., Sadoglu, G. P. & Durukan, U. G. (2014). Teacher educators' views of "model" concept and their mental models. *Journal of Baltic Science Education*, 13 (5), 674-694.
- Upmeier zu Belzen, A. (2013). Unterrichten mit Modellen. In D. Eschenhagen, H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9., völlig überarb. Aufl, S. 325-334). Hallbergmoos: Aulis Verl. in der Stark Verlagsges.
- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41-57. Zugriff am 18.10.2013. Verfügbar unter http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/16_Upmeier.pdf
- Usak, M., Ozden, M. & Eilks, I. (2011). A case study of beginning science teachers' subject matter (SMK) and pedagogical content knowledge (PCK) of teaching chemical reaction in Turkey. *European Journal of Teacher Education*, 34 (4), 407-429.
- Valanides, N. & Angeli, C. (2006). Preparing preservice elementary teachers to teach science through computer models. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 6 (1), 87-98.
- Van Dijk, E. M. (2009). Teachers' views on understanding evolutionary theory: A PCK-study in the framework of the ERTE-model. *Teaching and Teacher Education*, 25 (2), 259-267.
- Van Dijk, E. M. & Kattmann, U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 23 (6), 885-897.
- Van Driel, J. H. & Jong, O. D. (2015). Empowering Chemistry Teachers' Learning: Practices and New Challenges. In J. García-Martínez & E. Serrano-Torregrosa (Hrsg.), *Chemistry education. Best practices, opportunities and trends* (S. 2-22).
- Van Driel, J. H., Jong, O. D. & Verloop, N. (2002). The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Science Education*, 86 (4), 572-590.
- Van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21 (11), 1141-1153.
- Van Joolingen, W. (2004). Roles of modeling in inquiry learning. In IEEE Computer Society (Hrsg.), *Paper presented at the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Los Alamitos CA: IEEE Computer Society.
- Vollmer, G. (1986). *Die Erkenntnis der Natur. Beiträge zur modernen Naturphilosophie ; mit 15 Tabellen* (Was können wir wissen?, Bd. 2). Stuttgart: Hirzel.
- Wagenschein, M. (1965, Dezember). *Zum Problem des Genetischen Lehrens. Vortrag*, Münster. Zugriff am



27.12.2017. Verfügbar unter <http://www.martinwagenschein.de/2/W-172.pdf>

Wang, Z., Chi, S., Hu, K. & Chen, W. (2014). Chemistry Teachers' Knowledge and Application of Models. *Journal of Science Education and Technology*, 23 (2), 211-226.

Wilhelm, M. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Biologieunterricht. Rehm, Markus (Hg.) (2018): Wirksamer Chemieunterricht. Unterrichtspraxis: Perspektiven von Expertinnen und Experten. 11 Bände (Wirksamer Fachunterricht, 2). (Wirksamer Fachunterricht, Bd. 1, 11 Bände): Schneider Verlag Hohengehren.*

Winnenburg, W. (2000). Der Sternenhimmel - Vom Phänomen zum Modell. In R. Brechel (Hrsg.), *Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik, Chemie. In München, September 1999* (Zur Didaktik der Physik und Chemie, Bd. 20, Tagung 1999, S. 324-326). Alsbach/Bergstrasse: Leuchtturm-Verlag.

Wüstneck, K. D. (1966). Einige Gesetzmäßigkeiten und Kategorien der wissenschaftlichen Modellmethode. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 14 (12), 1452-1467.

7 ANHANG

Tabelle 4: Klassifikationsaspekte des systematischen Literaturreviews

Nr.	Autoren	Thema	1. Art des Artikels (normativ, theoretisch, empirisch: qualitativ / quantitativ)	2. Explizite Definition des Modellbegriffs ¹	4. Land der Studie bzw. Ort Datenerhebung	5. Forschungsfrage genannt? ²	7. Stichprobengröße	8. Population der Befragten
1	Beerenwinkel und Parchmann (2008)	Metadiskussionen über Modelle	theoretisch	ja	Deutschland	nein	./.	./.
2	Benedict und Bolte (2009)	Teilchenkonzepte von Grundschulkindern	qualitativ: Längsschnitt-Interventionsstudie	nein	Deutschland	ja	N = 32 (n = 18 = Interventionsgruppe, n = 14 = Kontrollgruppe)	GrundschülerInnen
3	Bindernagel und Eilks (2009)	Entwicklung des Teilchenkonzept-PCKs von Lehrkräften	qualitativ: Interviewstudie	nein	Deutschland	ja	N = 28	erfahrene Chemielehrkräfte
4	Bühler und Erb (2010)	Präkonzepte zum Mikrokosmos	quantitativ	nein	Deutschland	ja	N = 69	SchülerInnen des Gymnasiums (Sek II)
5	Christen (1994)	Orbitalmodell in der Schule	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
6	Gad und Mittelsten Scheid (2008)	Modelle zu artenreichen Ökosystemen	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
7	Graulich et al. (2010)	Heuristisches Denken bei Chemielehrkräften	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
8	Gröger (2010)	Minimumtonne als Beispiel für naturwissenschaftliches Denken	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
9	Hammer (1988)	Chemische Verbindungen in der Schule	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
10	Hilgers et al. (1994)	Modelle für Ionentransporte durch Membranen	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
11	Keune und Daemngen (1988)	Glucose-Formeldarstellungen im Unterricht	theoretisch	nein	Deutschland	ja	./.	./.
12	Klinger (2001)	Anschaulichkeit im Unterricht	theoretisch	ja	Deutschland	nein	./.	./.
13	König und Reiners (2004)	Computergestützte Lernmaterialien im	quantitativ: Interventionsstudie	nein	Deutschland	nein	N nicht angegeben	SchülerInnen der 9. und 10.

¹ Die Definitionen sind Tempel (2017, 151 ff.) zu entnehmen.

² Wie die Forschungsfragen lauten ist Tempel (2017, 171 ff.) zu entnehmen.



		Chemie- unterricht						Klasse
14	Leisner und Mikelskis (2004)	Systematisches Lernen über Modelle	quantitativ	ja	Deutschland	nein	<i>N</i> nicht angegeben	SchülerInnen der 7. - 10. Klasse
15	Lethmate und Arning (2003)	Experimente und Modelle im Geographieunterricht	theoretisch	ja	Deutschland	nein	./.	./.
16	Litsche (1985)	Gedankenmodelle im Biologieunterricht	theoretisch	ja	Deutschland	nein	./.	./.
17	Markert (1988)	Synapsenmodell	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
18	Meyer (1990)	Modelle im Biologieunterricht	theoretisch	ja	Deutschland	nein	./.	./.
19	Mikelskis-Seifert (2004)	Empirische Ergebnisse zu systematischem Unterricht über Modelle	quantitativ	ja	Deutschland	ja	<i>N</i> = ca. 120 (Klasse 9/10, <i>N</i> nicht angegeben für Klasse 8)	SchülerInnen der 9./10., bzw. 8. Klasse Gymnasium
20	Mikelskis-Seifert und Leisner (2004)	Lernen über Modelle in Klasse 8	quantitativ	ja	Deutschland	ja	<i>N</i> = ca. 120 SchülerInnen aus Klasse 8 dargestellt	SchülerInnen der 8. Klasse Gymnasium
21	Mikelskis-Seifert et al. (2005)	Modellaspekt bei der naturwissenschaftlichen Theoriebildung	theoretisch	ja	Deutschland	nein	./.	./.
22	Nocke (2001)	Spielmodell für Gegenstromsysteme	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
23	Rueckl und Ebinghaus (1989)	Feldenergiekonzept im Unterricht über Atommodelle	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
24	Schneider (1981)	Wirbelsäulenmodell	theoretisch	ja	Deutschland	nein	./.	./.
25	Steinbeck und Markert (1989)	Regelkreismodelle	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
26	Streller und Bolte (2008)	Tornados als Beispiel für Klimageschehen im Chemieanfangsunterricht	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
27	Touché (1989)	Vergleich der Atommodelle im Chemie- und Physikunterricht	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
28	Winnenburg (2000)	Sternenhimmel als Beispiel für das Prinzip Phänomen → Modell	theoretisch	nein	Deutschland	nein	./.	./.
29	Cohen und Yarden (2009)	Wie kann man Zellen spiralcurricular	qualitativ und quantitativ	nein	Israel	ja	<i>N</i> = 59, davon <i>n</i> = 12 Interviews im	Erfahrene Naturwissenschafts- und

		lehren?					Workshop-sample und $n = 6$ Interviews bei erfahrenen Lehrkräften	Technik-Junior-Highschool-Lehrer
30	Crawford und Cullin (2004)	Vermittlung von adäquaten Modellierungskonzepten	qualitativ	ja	USA	ja	$N = 14$ künftige Lehrkräfte, $N = 6$ Tiefeninterviews	(künftige) Lehrkräfte der Naturwissenschaften
31	Drechsler und van Driel (2008)	Wissen über Säuren und Basen	qualitativ	ja	Schweden (Sample), in Kooperation mit den Niederlanden	ja	$N = 9$	erfahrene Chemielehrkräfte
32	Eilks et al. (2009)	Internet als Lernhilfe im Chemieunterricht?	theoretisch	ja	Deutschland	ja	./.	
33	Garritz (2013)	Philosophieren über Quantenmechanik	theoretisch	nein	Mexiko	nein	./.	
34	Harrison und Jong (2005)	Analogisieren im Chemieunterricht	qualitativ	ja	Australien, Niederlande	ja	$N = 1$	Erfahrene Chemielehrkräfte
35	Jong und van Driel (2004)	Mit der Unterscheidung zwischen diskontinuierlichen und Realmodellen umgehen können	qualitativ	nein	Niederlande	ja	$N = 8$	Chemielehramtsstudierende mit Fachchemie-master
36	Jong et al. (2005)	Teilchenmodelle	qualitativ	ja	Niederlande	ja	$N = 12$	(künftige) Chemielehrkräfte
37	Justi und van Driel (2005a)	Wissen über Modelle bei Lehrkräften	qualitativ	ja	Niederlande	ja	$N = 1$	(künftige) Chemielehrkräfte
38	Justi und van Driel (2005c)	Entwicklung des Wissens über Modelle bei Lehrkräften	qualitativ	ja	Niederlande	ja	$N = 5$	(künftige) Lehramtsstudierende Chemie /Physik
39	Justi und van Driel (2005b)	Entwicklung des Wissens über Modelle bei Lehrkräften	qualitativ	ja	Niederlande	ja	$N = 5$	(künftige) Lehramtsstudierende Chemie /Physik
40	Khourey-Bowers und Fenk (2009)	Einfluss von Konstruktivismus auf Modellierungsfähigkeiten	quantitativ	ja	USA	ja	$N = 69$	Grundschul- und Sekundarstufe 1-Lehrkräfte der Chemie
41	Liang et al. (2011)	Gasteilchen	quantitativ	nein	Taiwan	ja	$N = 102$ Acht-, $N = 92$ NeuntklässlerInnen, $N = 31$ Lehrkräfte	SchülerInnen und Physiklehrkräfte
42	Lin und Chiu (2010)	Mentale Modelle über Säuren und Basen	qualitativ	nein	Taiwan	ja	$N = 1$ Lehrerin, $N = 38$ Schülerinnen und Schüler	Chemielehrkräfte und ChemieschülerInnen
43	Nelson und	Bewertung von	qualitativ	ja	USA	ja	$N = 35$ (ober-	(künftige)

	Davis (2012)	Modellierfähigkeiten					flächlich) N = 4 (intensive Betrachtung)	Grundschul-lehrkräfte
44	Oh und Kim (2013)	Semiotische Modelle	qualitativ	nein	Südkorea	ja	N = 5	Naturwissenschaftsgrundschul-lehrkräfte
45	Okanlawon (2010)	Didaktischer Umgang mit Stöchiometrie	theoretisch	nein	Nigeria	ja	./.	./.
46	Padilla et al. (2008)	Stoffmenge	qualitativ	nein	Mexiko /Argentinien	ja	N = 4	ChemieprofessorInnen
47	Papageorgiou et al. (2010)	Präkonzepte zu Teilchen	quantitativ	nein	Griechenland / UK	ja	N = 162	Grundschul-lehrkräfte für Chemie /Physik
48	Romine und Walter (2014)	Verständnis der Makroevolution	quantitativ	nein	USA	ja	N = 270 mit vollständig ausgefülltem Pre- und Posttest	(künftige) Biologielehrkräfte
49	Schmelzing et al. (2013)	PCK Blutkreislauf	quantitativ	nein	Deutschland	nein	<i>Pilotstudie:</i> N = 42 (n = 10 Universitäts- und n = 32 Lehrkräfte) <i>Hauptstudie:</i> N = 93 (n = 22 Lehramtsstudierende, n = 22 Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst und n = 49 erfahrene Lehrkräfte) <i>Validierungsstudie:</i> N = 12 erfahrene FachbiologInnen	(künftige) Biologielehrkräfte
50	Šorgo et al. (2014)	Wissen von Erstsemestern über Genetik, Evolution und Nature of Science	quantitativ	nein	Tschechien, Slowakei, Slowenien, Türkei	ja	N = 994, inklusive N = 286 nicht-Lehramtsstudierende	(künftige) Lehrkräfte
51	Strübe et al. (2014)	PCK-Test chemische Fachsprache und Modelle	quantitativ	ja	Deutschland	nein	Lehrkräfte: N = 23; ExpertInnen: N = 9	Chemielehrkräfte
52	Unal et al. (2014)	Sichtweise auf (mentale) Modelle	qualitativ	ja	Türkei	nein	N = 14	LehrkräfteteausbilderInnen
53	Usak et al. (2011)	Chemische Reaktionen	qualitativ	nein	Türkei	ja	N = 30	(künftige) Chemielehrkräfte
54	Valanides und Angeli (2006)	Computermodelle	qualitativ und quantitativ	ja	Zypern	ja	N = 47	(künftige) Lehrkräfte
55	Van Dijk (2009)	Evolutions-theorie	qualitativ	nein	Deutschland	ja	N = 9	Biologielehrkräfte
56	Van Driel et al.	PCK Chemie	qualitativ	nein	Niederlande	ja	N = 12	(künftige)

	(2002)	(diskontinuierliche und Realmodelle)						Chemielehrkräfte mit M. Sc.
57	Wang et al. (2014)	Wissen und Anwendung von Modellen	qualitativ (mit quantitativen Anteilen)	ja	China	ja	<i>N</i> = 50	Chemielehrkräfte

Tabelle 5: Einschätzung der Güte der empirisch-quantitativ ausgerichteten Studien hinsichtlich vier Kriterien

Quelle	sinnvolle Vergleichsgruppe / Wartekontrollgruppe... (ja/nein)	Beschreibung der Stichprobe	Auswertungsverfahren beschrieben (ja/nein)	Randomisierung (ja/nein)
Bühler und Erb (2010)	/.	Ja, genannt ($N = 69$ Elft- und Zwölftklässler)	Ja	Nein, nur eine Schule (Burg-Gymnasium Schorndorf)
König und Reiners (2004)	Nein, Wartekontrollgruppe fehlt	Nein, Stichprobengröße fehlt für die 9. wie für die 10. Klassen	Nein, nur vage: „Die Anzahl der Lernenden wird gegen die erbrachte Leistung der Lernenden aufgetragen.“ (S. 335)	Nein, zumindest wird keine erwähnt
Leisner und Mikelskis (2004)	Nein, Wartekontrollgruppe fehlt	Nein, Stichprobengröße fehlt für die 7., 8., 9. und 10. Klasse	Nein, es wird nur auf das „Untersuchungsdesign siehe Leisner & Mikelskis 2003, S. 140“ verwiesen. (S. 121)	Nein, zumindest wird keine erwähnt
Mikelskis-Seifert (2004)	Nein, Vergleichs- und Wartekontrollgruppe fehlt	Nein, Stichprobe nur „ca.“ genannt (ca. $N = 120$, S. 19)	Ja, wird genannt: „Zur Auswertung der mit dem Fragebogen und der Concept Map erhobenen Testdaten wurden unterschiedliche Analysemethoden wie zum Beispiel Varianz- und Korrelationsanalysen, Kausalanalysen mithilfe von LISREL, LatentClass-Analysen mit WINMIRA sowie Auswertungen auf der Basis von Modalnetzen eingesetzt.“ (S. 20)	Nein, da keine Vergleichsgruppe vorhanden
Mikelskis-Seifert und Leisner (2004)	Nein, Vergleichs- und Wartekontrollgruppe fehlt	Nein, Stichprobe nur „ca.“ genannt (ca. $N = 120$, S. 124)	Ja, teilweise: „Mit den gleichen Instrumenten erfolgte der Nachtest, der direkt im Anschluss an die Projektwoche stattfand.“ (S. 124) Aber: Der Umgang mit Testwiederholungseffekten wird nicht thematisiert; Ergebnisse sind evtl. durch Lernen über den Test erklärbar	Nein, da keine Vergleichsgruppe vorhanden
Cohen und Yarden (2009)	/.	Ja, alle Ns genannt: „focus groups ($n = 59$)“, „workshop ($n = 12$)“, $n = 6$ erfahrene Lehrkräfte wurden interviewt (131)	Nein, obwohl das Scoring von Schülerantworten ein quantitatives Verfahren antriggert, sind hierzu nur qualitative Auswertungen zu finden.	Nein, convenient Sample (Akremi, 2014, S. 266) ist fraglich
Khourey-Bowers und Fenk (2009)	/.	Ja, alle Ns genannt, aber kleine Stichprobe ($N = 69$ Grundschul- und Sekundarstufel-Lehrkräfte)	Ja: t-Test	Ja, randomisiert (LehrerInnen aus Stadt und Land...)
Liang et al. (2011)	Nein, aber nachvollziehbar argumentiert	Alle Ns genannt (8. Klasse ($n = 102$), 9. Klasse ($n = 92$), „physical science teachers“ ($n = 31$) in junior high schools in Taiwan“.	Ja: t-Test	Nein, Schüler(innen) aus einer großen Stadt!
Papageorgiou et al. (2010)	Nein, Vergleichsgruppe fehlt (keine Wartekontrollgruppe ohne Intervention)	Alle Ns genannt ($n = 162$; griechische Grundschullehrkräfte, S. 629)	Ja: Chi-Quadrat-Test	Nein, Probanden nur Schüler(innen) aus einer großen Stadt!
Romine und Walter (2014)	Ja, Wartekontrollgruppe fehlt	Alle Ns genannt (Pre-Test $n = 315$ Studierende, Post-Test $n = 291$, Pre- und Post-Test (S. 2876)	Ja: Raschskalierung	Nein, Erhebung unverändert an nur eine Universität
Schmelzing et al. (2013)	Ja, Vergleichsgruppe akzeptabel ($N = 20$)	Alle Ns genannt ($N = 93$ künftige Lehrkräfte ($n = 22$ Lehramtsanwärter und Biologielehrkräfte (S. 1369) $N = 12$ FachbiologInnen (S. 1379)	Ja: komplexe KTT: ANOVA usw.	Ja, randomisierte Lehrkräfteauswahl, aber nur Niedersachsen.
Šorgo et al. (2014)	Ja, große Vergleichsgruppen international	Alle Ns genannt ($N = 994$ Erstsemester aus Tschechien ($n = 276$), Slowakei ($n = 212$), Slowenien ($n = 217$) und Türkei ($n = 235$) (S. 6), wobei	Ja: t-Test	Nein

Strübe et al. (2014)	Nein, Vergleichsgruppe fehlt (weil Pilotstudie)	<i>n</i> = 708 Lehramt studierten und <i>n</i> = 286 nicht (S. 7) Alle <i>N</i> s genannt (<i>N</i> = 23 Chemielehrkräfte)	Ja: Cronbachs Alpha, Kolmogorov-Smirnov-Test usw.	Nein, Randomisierung nicht erwähnt (weil Pilotstudie)
----------------------	---	--	---	---

