

## Vorstellungen von Studierenden über Gesetze, Theorien und Modelle in der Biologie

Bianca Reinisch & Dirk Krüger

Bianca.Reinisch@fu-berlin.de – Dirk.Krueger@fu-berlin.de

Freie Universität Berlin, Didaktik der Biologie,

Schwendenerstr. 1, 14195 Berlin

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen der Nature of Science-Forschung gibt es zunehmend Kritik, dass wesentliche Elemente, die die Naturwissenschaften und ihre Prozesse charakterisieren, fehlen. Aus diesem Grund stehen Modelle als weitere relevante Wissensform neben Gesetzen und Theorien im Fokus dieser Arbeit. Im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion wurden Vorstellungen von Biologie-Lehramtsstudierenden in halbstrukturierten Interviews hinsichtlich biologischer Gesetze, Theorien und Modelle ermittelt und ausgewertet. Studierende äußern Vorstellungen über Gesetze und Theorien, die dem alltäglichen Gebrauch und Perspektiven anderer Fachbereiche (Physik, Rechtswissenschaften) entstammen. Mit Bezug zu Theorien werden primär didaktische Funktionen von Modellen für die Darstellung und Erklärung von Theorien genannt, aber auch erkenntnistheoretische Funktionen von Modellen hinsichtlich der Entwicklung und Revision von Theorien werden geäußert.*

### **Abstract**

*Within the scope of nature of science research, there is increasing criticism about the lack of important elements that characterize science and its processes. Therefore, this paper focuses on models as another prominent form of knowledge, next to laws and theories. In accordance with the model of educational reconstruction, perspectives of pre-service biology teachers about laws, theories, and models in biology have been analyzed. Students express an understanding about theories and laws which originate in the daily use of these terms and correspond to perspectives of other domains (physics, law). Furthermore, educational functions of models for the representation and explanation of theories are described primarily. Finally, epistemic functions of models in regard to the development and modification of theories are delineated.*

## 1 Einleitung

Unter der Bezeichnung *Nature of Science* (NOS; Natur der Naturwissenschaften) werden zentrale Merkmale naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und naturwissenschaftlichen Wissens aufgefasst (KREMER, 2010). Die Förderung eines adäquaten Verständnisses über diese Merkmale wird national und international gefordert (z. B. KMK, 2005; NGSS Lead States, 2013).

Eine zentrale Rolle im Forschungsbereich NOS spielen die Arbeiten von Lederman und seiner Arbeitsgruppe. Sie betonen, dass es einen ausreichenden Konsens darüber gibt, welche Aspekte im Rahmen von Unterricht behandelt werden sollten. Dazu gehören: naturwissenschaftliches Wissen ist subjektiv und niemals sicher, die Generierung naturwissenschaftlichen Wissens beinhaltet kreative Elemente und ist in einen größeren kulturellen Kontext eingebettet und schließlich die Unterscheidung zwischen Beobachtungen und Schlussfolgerungen sowie zwischen Gesetzen und Theorien (LEDERMAN, 2007). Obwohl in vielen Publikationen diese Aspekte als die wichtigsten Elemente von NOS verstanden werden, gibt es vermehrt Kritik an der Begrenztheit des sogenannten *consensus view* (z. B. ALLCHIN, 2011; IRZIK & NOLA, 2011; MATTHEWS, 2012; WONG & HODSON, 2009). Beispielweise betont SANDOVAL (2005) in diesem Zusammenhang die Rolle von Modellen in den Naturwissenschaften:

There are other forms of scientific knowledge and its communication that might be considered epistemological entities and with which students should be familiar to fulfill social goals of science education. Besides theories, laws, and hypotheses, models are an important form of scientific knowledge. (S. 640)

Die zentrale Bedeutung von Modellen in den Naturwissenschaften wird aus wissenschaftsphilosophischer sowie -didaktischer Perspektive von mehreren Autoren betont (z.B. KRELL, 2013). Dennoch wurden Modelle in der bisherigen NOS-Forschung bisher wenig beachtet. Dies wird etwa damit begründet, dass die Rolle von Modellen in den Naturwissenschaften zu komplex sei, um sie zu unterrichten (OSBORNE, COLLINS, RATCLIFFE, MILLAR & DUSCHL, 2003). Im Folgenden geht es darum zu untersuchen, ob die begrenzte Berücksichtigung der naturwissenschaftlichen Wissensformen (SANDOVAL, 2005) Gesetz (z. B. Hardy-Weinberg-Gesetz) und Theorie (z. B. Endosymbiontentheorie) für eine vertiefte Reflexion über NOS-Aspekte aus einer biologischen Perspektive günstig erscheint. Es stellt sich die Frage, welche Rolle diese Begriffe in der Biologie spielen und ob eine Erweiterung auf Begriffe wie Regeln (z. B. Mendelsche Vererbungsregeln), Prinzipien (z. B. Sparsamkeitsprinzip) oder Modelle (z. B. Flüssig-Mosaik-Modell) für eine vertiefte NOS-Betrachtung zu empfehlen ist. Dazu werden zunächst historische sowie aktuelle fachliche Per-

spektiven über Gesetze, Theorien und Modelle beschrieben. Auf der Basis von Vorstellungen von Biologie-Lehramtsstudierenden hinsichtlich biologischer Wissensformen geht es darum, fachdidaktische Folgerungen für die Diskussion von wesentlich gehaltenen NOS-Perspektiven zum Aufbau eines elaborierten Wissenschaftsverständnisses in der Biologie abzuleiten.

## 2 Theorie

### 2.1 Begriffsbestimmung: Gesetz, Theorie und Modell

*Gesetze* (mhd. *gesetze*, *gesetzedede*, abgeleitet aus ahd. *gisezzida* = von setzen: das Gesetzte; KLUGE & SEEBOLD, 2012) sind verallgemeinernde Beschreibungen darüber, wie sich Aspekte der physischen Welt unter bestimmten Bedingungen verhalten. Davon abzugrenzen sind Sitten- sowie Rechtsgesetze (vgl. HAMPE, 1999). Beispiele für naturwissenschaftliche Gesetze sind vor allem in der Physik zu finden, zum Beispiel die Bewegungsgesetze, die beschreiben, wie sich Objekte unter bestimmten Krafteinflüssen bewegen (NRC, 1998). Zu den aus der Physik stammenden, spezifischen Charakteristika von Gesetzen gehören, dass sie als wahr erachtet werden und logisch kontingente, universelle Aussagen darstellen (REUTLINGER, SCHURZ & HÜTTEMANN, 2014). Es gibt anhaltende Debatten darüber, inwieweit es Gesetze außerhalb der Physik gibt und ob Gesetze in anderen Disziplinen (z. B. Biologie) lediglich *ceteris paribus* Fälle sind, d. h. Gesetze, die immer nur unter bestimmten, idealen Bedingungen gültig sind und demnach keine universellen Aussagen darstellen (vgl. REUTLINGER et al., 2014; ELGIN, 2006). Im Glossar und Index von zwei Lehrbüchern der Biologie (CAMPBELL, 2000; PURVES, 2011) finden sich außer den physikalischen Gesetzen der Thermodynamik, dem (Fickschen) Diffusionsgesetz, den mathematischen Gesetzen der Wahrscheinlichkeit oder dem chemischen Massenwirkungsgesetz auch zwei im Kontext Biologie genutzte Gesetze: Das mathematische Hardy-Weinberg-Gesetz und das Frank-Starling-Gesetz.

Mit dem Begriff *Theorie* (spätlat. *theōria*, abgeleitet aus griech. *theōría* = Zuschauer; die Betrachtung, Untersuchung; KLUGE & SEEBOLD, 2012) wird in der Alltagssprache häufig eine „Spekulation [oder] eine fiktive und willkürliche Konstruktion – auch im Sinne bloßer Mutmaßung oder Phantasie –, d. h. eine [...] wirklichkeitsfremde Vorstellung“ (NUZZO, 1999, Abs. 1621) verbunden. Davon ist der wissenschaftliche Theoriebegriff abzugrenzen. Hier sind Theorien wissenschaftlich fundierte Aussagen zur Erklärung über bestimmte Aspekte der Welt, die Fakten, Gesetze, Schlussfolgerungen und getestete Hypothesen beinhalten können (NRC, 1998). Theorien als widerspruchsfreie, nachprüfbar

und prinzipiell falsifizierbare Aussagengefüge entfalten ihre Wirkung in ihrer technologischen, Beobachtungen erklärenden, Voraussagekraft besitzenden oder beschreibenden Bedeutung über korrelative oder kausale Zusammenhänge eines Sachverhaltes (vgl. BECK & KRAPP, 2006). In zwei exemplarisch analysierten Lehrbüchern der Biologie (CAMPBELL, 2000; PURVES, 2011) finden sich hierzu die Deszendenz-, Endosymbionten-, Evolutions-, Gleitfilament-, Katastrophen-, Neutral-, Telom- und Zelltheorie, die Theorie der Inselbiographie, des optimalen Nahrungserwerbs, die Chromosomentheorie der Vererbung, die Druckstromtheorie und die Kohäsionstheorie der Wasserleitung.

Der Begriff *Modell* (lat. *modulus* = Maßstab; ital. *modello* = Muster, Entwurf; KLUGE & SEEBOLD, 2012) wird insgesamt sehr vielfältig aufgefasst und je nach Disziplin unterschiedlich definiert (MAHR, 2008). In den beiden Lehrbüchern der Biologie (CAMPBELL, 2000; PURVES, 2011) finden sich das Flüssig-Mosaik-, das Optimalitätsmodell, das Modell der Inselbiogeographie und Modellorganismen. Da insbesondere die Unterscheidung zwischen den Begriffen Modell und Theorie für viele Wissenschaftler nicht trennscharf ist und vielfältige Auffassungen im Bereich der Wissenschaftsphilosophie vorliegen (FRIGG & HARTMANN, 2012), wird der Modellbegriff unter besonderer Berücksichtigung des Theoriebegriffs im nächsten Kapitel separat ausgeführt.

## 2.2 Modelle und Theorien aus wissenschaftsphilosophischer Perspektive

Der naturwissenschaftliche Modellbegriff wird erst seit Beginn des 19. Jahrhunderts verwendet. BAILER-JONES und HARTMANN (1999) unterscheiden dabei vier Phasen mit Bezug auf die Beziehung zwischen Modellen und Theorien (vgl. FRIGG & HARTMANN, 2012; BAILER-JONES, 1999; Tab. 1).

HUTTEN (1954; Tab. 1) ist einer der ersten, der die Verwendung von Modellen in der wissenschaftlichen Praxis berücksichtigt und damit der im *syntactic view* vorliegenden und kritisierten formalen Auffassung von Modellen entgegentritt. In seinen Arbeiten betont er, dass Modelle nur partielle Interpretationen von Theorien sind, da sie durch Auslassungen von Elementen keine exakten Kopien dieser darstellen. Darüber hinaus hebt er die Erklärungskraft von Modellen für Phänomene und Theorien sowie die Funktion von Modellen, Theorien zu testen, hervor. Insgesamt wird die Anwendung von Modellen erstmals als wissenschaftliche Methode betrachtet und damit die Relevanz von Modellen innerhalb naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse unterstrichen (HUTTEN, 1954).

**Tabelle 1:** Wissenschaftsphilosophische Positionen zu dem Verhältnis zwischen Modellen und Theorien

Vertreter und Position	Verhältnis zwischen Modellen und Theorien
Pierre Duhem (1906) Instrumentalismus	Modelle spielen keine Rolle in der Wissenschaft, da sie Theorien höchstens ergänzen, keine Erklärung über ein Phänomen liefern und durch ihre Vielfalt eher Verwirrung hervorrufen.
Rudolf Carnap (1939) Logischer Empirismus	Modelle haben ästhetischen, didaktischen, bestenfalls heuristischen Wert und sind für eine erfolgreiche Anwendung einer Theorie nicht notwendig.
Richard Braithwaite (1946) <i>Syntactic view</i> (orientiert am Logischen Empirismus)	Modelle spiegeln formale Strukturen einer Theorie wider. Dadurch besteht die Gefahr, dass man das Modell nicht mehr von der Theorie unterscheiden kann.
Ernest H. Hutten (1954)	Modelle sind keine exakten Kopien einer Theorie. Die Anwendung von Modellen wird als wissenschaftliche Methode gesehen.
Ronald Giere (1988) <i>Semantic view</i>	Theorien bestehen aus einer Menge (auch Familie, Population) von Modellen, die eine vermittelnde Rolle zwischen der in Sätzen (engl. <i>propositions</i> ) dargestellten Theorie und den Phänomenen der realen Welt einnehmen.

FRIGG und HARTMANN (2012) beschreiben drei weitere Funktionen von Modellen: Erstens ergänzen Modelle Theorien, indem die in einer Theorie allgemein und abstrakt formulierten Sätze durch Modelle spezifiziert und auf konkrete Situationen angewendet werden. Zweitens werden (vereinfachte) Modelle eingesetzt, wenn Theorien zu komplex für eine Anwendung sind. Im Bereich der Biologie gibt es dabei oft den Fall, dass zu einem Phänomen keine Theorie existiert und sogenannte Ersatzmodelle (engl. *substitute models*) verwendet werden. Daran anknüpfend können Modelle schließlich als vorläufige Theorien fungieren, indem sie für die Entwicklung einer Theorie verwendet werden (engl. *developmental models*).

Nach BAILER-JONES (1999) können die Positionen, die in der Literatur zu wissenschaftlichen Modellen beschrieben werden, entsprechend ihrer Zielsetzungen kategorisiert werden. Zum einen soll innerhalb eines formalen Rahmens begründet werden, was Modelle sind und welches Verhältnis zwischen Modellen und Theorien besteht (z. B. *syntactic view*, *semantic view*). Damit wird das Ziel verfolgt, ein allgemeingültiges und anwendbares Konzept eines Modells zu konstruieren. Auf der anderen Seite sollen die vielfältigen Funktionen von Modellen innerhalb naturwissenschaftlicher Forschung untersucht werden, um so eine Vielzahl von Konzepten darüber zu erhalten, was ein Modell ist (z. B. HUTTEN, 1954). BAILER-JONES (1999) zieht schließlich das Fazit, dass beide Betrachtungsweisen zu berücksichtigen sind, da sie sich gegenseitig beeinflussen. Dies wird auch in neueren Ansätzen des *semantic view* deutlich, in denen von einer formalistischen Beschreibung von Theorien und Modellen auf die Funktion von Modellen bei der Theorieentwicklung geschlossen wird (vgl. ADÚRIZ-BRAVO, 2012).

### 3 Fragestellungen

Die in den Interviews gestellten Fragen gehen über die Erhebung von Studierendenvorstellungen hinsichtlich der Wissensformen Gesetz, Theorie und Modell in der Biologie sowie ihren Beziehungen zueinander hinaus (siehe Ausblick). Die vorliegende Arbeit umfasst nur eine auf diese Aspekte konzentrierte Auswertung der Interviews, die sich auf folgende Fragestellungen beziehen:

1. Was verstehen Lehramtsstudierende unter Gesetzen, Theorien und Modellen in der Biologie?
2. Welche Vorstellungen haben Lehramtsstudierende über das Verhältnis zwischen Modellen und Theorien in der Biologie?

### 4 Methodik

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion bildet den methodischen Rahmen der Studie (vgl. KATTMANN, 2007). Für die Erhebung der Lernervorstellungen wurde ein halbstrukturierter Interviewleitfaden entwickelt, erprobt und in Einzelinterviews mit fünf Biologie-Lehramtsstudierenden vor dem Besuch der biologiedidaktischen Veranstaltungen des Studium eingesetzt (vgl. NIEBERT & GROPEGIEßER, 2014; Tab. 2).

**Tabelle 2:** Beschreibung der Stichprobe (Lehramtsstudierende im Bachelor)

<b>Namen</b> (der Studierenden)	<b>Alter</b> (in Jahren)	<b>1. Studienfach</b> (Fachsemester)	<b>2. Studienfach</b> (Fachsemester)
Anna (A)	23	Biologie (3.)	Englisch (3.)
Jasmin (J)	21	Biologie (3.)	Geschichte (3.)
Leon (L)	22	Deutsch (5.)	Biologie (3.)
Marie (M)	22	Englisch (4.)	Biologie (4.)
Pia (P)	19	Biologie (k. A.)	Englisch (k. A.)

*Anmerkungen.* Die Namen sind fiktiv und lassen lediglich Rückschlüsse auf das Geschlecht zu. k.A.: keine Angabe.

In den Interviews wurde explizit nach Gesetzen, Theorien und Modellen in der Biologie gefragt, da ein Kritikpunkt an vielen NOS-Studien darin besteht, dass zwischen den einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen nicht differenziert wird (IRZIK & NOLA, 2011). Des Weiteren spielt die Disziplinspezifität hinsichtlich der in dieser Studie relevanten Wissensformen (Gesetz, Theorie, Modell) eine besonders wichtige Rolle. So zeigt eine Studie von KRELL, REINISCH und KRÜGER (2014), dass Lernende spezifische Vorstellungen über Modelle in Abhängigkeit der naturwissenschaftlichen Disziplinen Biologie, Chemie und Physik äußern.

In den Interviews wurden die Studierenden dazu aufgefordert, eine *Concept Map* zu erstellen (vgl. GRAF, 2014) und dabei laut zu denken (SANDMANN 2014). Dafür erhielten die Studierenden vor dem Interview eine kurze, schriftliche Instruktion, wie eine *Concept Map* erstellt wird. Zudem erhielten sie mehrere Konzeptkarten (z. B. Gesetz, Theorie, Modell), die sie für die Konstruktion ihrer *Concept Map* nutzen konnten. Zusätzlich konnten sie jederzeit eigene Konzepte integrieren und ihre *Concept Map* während des Interviews verändern. Der Einsatz des Verfahrens diene vorrangig als Hilfestellung für die Studierenden zur besseren Darstellung und Organisation ihrer im Interview geäußerten Vorstellungen (NOVAK & CAÑAS, 2006) und nicht zur Identifizierung von Vorstellungen, da die Methode des *Concept Mappings* dafür mit Probanden geübt werden muss (GRAF, 2014). Weiterhin half die *Concept Map*, Widersprüche zu thematisieren oder bei oberflächlichen Darstellungen um Präzisierungen zu bitten.

Die Interviews wurden audiographiert und mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) transkribiert, redigiert und mittels der Software MAXQDA geordnet (vgl. KRÜGER & RIEMEIER, 2014). Das Ordnen diene der Generierung von Konzepten, die zwar *ad hoc* gebildet wurden, sich allerdings an theoretischen Kenntnissen über Gesetze, Theorien und Modelle orientieren (vgl. KELLE & KLUGE, 2010).

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Vorstellungen über Theorien, Gesetze und Modelle

Insgesamt werden Gesetze, Theorien und Modelle von den Probanden als biologische Wissensformen betrachtet (Tab. 3).

Die Begriffe Gesetz und Regel werden von drei der Studierenden gleichgesetzt und synonym verwendet. Im Gegensatz dazu verwendet Pia den Begriff Regel für ein Gesetz, das Ausnahmen hat. Die Probanden nennen vier Gesetze bzw. Regeln: Vererbungsgesetze/-regeln nach Mendel, Lotka-Volterra-Regeln, Temperaturregeln (z. B. Bergmann-Regel), Gesetz des Minimums. Die Abgrenzung zwischen juristischen und naturwissenschaftlichen Gesetzen wird besonders bei Leon deutlich (Tab. 3).

Als Beispiel für eine Theorie nennen die Studierenden alle die Evolutionstheorie. Weitere Theorienennungen bleiben eher unspezifisch („*Theorie im Bereich der Verhaltensbiologie*“, Anna) und der Theoriebegriff selbst wird als abstrakt aufgefasst. Die Mehrheit der Studierenden definiert eine Theorie als

ein gedankliches Konstrukt. Leon weist darauf hin, dass Theorien verifizierte Hypothesen sind und die Grundlage für weitere Forschungen bieten (Tab. 3).

Folgende Modelle werden genannt: DNA-, Zell-, Photosynthese-Modell, Kreislauf-Modelle (Stickstoff, Schwefel), Modelle von Organen (Auge, Herz), die Minimum-Tonne (Modell zum Gesetz des Minimums) und das „Modell mit den Giraffen von Darwin und Lamarck“ (Leon). Zudem bezeichnet Pia ein Modell als eine vereinfachte, schematische Darstellung eines Phänomens oder Gegenstands in der Natur. Daran anknüpfend wird wiederholt betont, dass Modelle die Realität nur unzureichend wiedergeben. Marie unterscheidet ferner zwischen realistischen (Herzmodell zum Anfassen) und nicht realistischen Modellen (Bild der Photosynthese). Des Weiteren definieren die Probanden ein Modell vor allem durch die Funktionen, die sie ihnen zuschreiben. Dazu gehören vor allem der mediale Zweck von Modellen, Phänomene oder Gegenstände der Natur zu vereinfachen, zu veranschaulichen, zu beschreiben und zu erklären sowie der didaktische Zweck, dass durch Modelle Wissen und Erkenntnisse besser vermittelt werden können. Zudem dienen Modelle der Erkenntnisgewinnung und werden in neuen Kontexten angewendet. Schließlich werden empirisch gewonnene Erkenntnisse durch Modelle geordnet, in einen Zusammenhang gebracht und zusammengefasst (Tab. 3).

**Tabelle 3:** Konzepte und Ankerbeispiele zu Gesetzen, Theorien und Modellen

KONZEPTE ZU	GESETZE, THEORIEN & MODELLE
Ein Modell / eine Theorie / ein Gesetz ist Wissen.	<i>Theorie, Gesetz und Modell sind sozusagen Unterbegriffe zu dem Begriff "Wissen in der Biologie". (A)</i>
Modelle / Theorien / Gesetze beeinflussen biologisches Wissen.	<i>Theorie, Gesetze und Modelle beeinflussen das Wissen in der Biologie natürlich auch. (A)</i>
KONZEPTE ZU	GESETZE
Gesetze unterscheiden sich von menschlichen Gesetzen.	<i>Für mich sind es eher Gesetzmäßigkeiten, weil die Natur ja nach bestimmten Prinzipien funktioniert und man entdeckt diese Gesetzmäßigkeit und nicht wie ein menschliches Gesetz. Die Natur hält sich nicht an ein Gesetz, sondern sie funktioniert nach Gesetzmäßigkeiten. (L)</i>
An Gesetze hält man sich.	<i>Ich lese jetzt [...] Gesetzmäßigkeiten, zum Beispiel irgendwelche Temperaturregeln [...] und halte mich an die Gesetze. (J)</i>
Ein Gesetz ist eine Regel.	<i>[...] die Lotka Volterra-Regeln. Die heißen jetzt Regeln und sind keine Gesetze, aber das ist für mich irgendwie das Gleiche. (L)</i>
Gesetze mit Ausnahmen sind Regeln.	<i>Also von diesen Mendelschen Regeln gibt es ja Ausnahmen und ich würde mir vorstellen, wenn es diese Ausnahmen nicht geben würde, dass es dann zu einem Gesetz geworden wäre. (P)</i>
Mit Gesetzen wird Wissen dargestellt.	<i>[...] um mein Wissen darzustellen, brauche ich Modelle oder Gesetzmäßigkeiten. (A)</i>
KONZEPTE ZU	THEORIEN
Eine Theorie ist abstrakt.	<i>Da ich eine Theorie als eher abstrakteren Begriff auffasse, [...]. (L)</i>
Eine Theorie ist ein gedankliches Konstrukt, das man belegen muss.	<i>Bei Theorien muss man sich immer bewusst machen, dass eine Theorie eine Theorie ist. Das heißt, es ist ein gedankliches Kon-</i>



	<i>strukt erst mal, für das man, wie gesagt, Indizien finden kann. (A)</i>
Eine Theorie ist eine Vermutung, da sie noch nicht bewiesen ist.	<i>Theorien sind Vermutungen, die auf gewissen Grundlagen basieren, die aber so noch nicht zu 100 % bewiesen werden können. (A)</i>
Eine Theorie ist eine Vermutung, da es parallel andere Ideen gibt.	<i>Und bei der Evolutionstheorie, da ist es ja immer noch so, dass zum Beispiel ja auch die Religionen sagen, dass die Evolutionstheorie totaler Mist ist und dass Gott alles erschaffen hat. Also könnte man hier auch sagen, „Naja, das ist eine Theorie, so könnte es gewesen sein, aber wir wissen es nicht 100%ig.“ (M)</i>
Eine Theorie ist eine verifizierte Hypothese.	<i>Theorien sind für mich sozusagen verifizierte Hypothesen. (L)</i>
Theorien dienen der weiteren Forschung.	<i>Im weitesten Sinne ist eine Theorie ein Konzept, das bewiesen ist und auf dem aufbauend man in [eine] andere Richtung weiter forschen kann. (L)</i>
Eine Theorie bezieht sich auf ein Phänomen.	<i>Eine Theorie ist ganz klar auf ein bestimmtes Phänomen gerichtet. (L)</i>
Theorien helfen, etwas zu erklären.	<i>Der andere Weg ist, [dass] man über irgendetwas stolpert, was nicht sein kann oder was nach dem bisherigen Erkenntnisstand nicht sein kann und versucht, das mit einer neuen Theorie zu erklären. (A)</i>
<b>KONZEPTE ZU</b>	<b>MODELLE</b>
Der Modellbegriff ist nicht klar abgrenzbar.	<i>Der Begriff Modell ist ja irgendwie ein bisschen schwammig, nicht wahr?! (L)</i>
Ein Modell entspricht der Realität.	<i>Das Modell des Herzens ist fassbar, das ist auch eine realistische Abbildung tatsächlich von dem, wie es ist. (M)</i>
Ein Modell entspricht nicht der Realität.	<i>Kein Modell repräsentiert zu 100% die Wirklichkeit. (A)</i>
Ein Modell ist eine schematische Darstellung.	<i>In der Darstellung, wie man es [das DNA-Modell] meistens hat, hat man dann die Phosphate, die Zucker da dran und die Aminosäuren zusammen, aber auch nur als schematische Darstellung. (P)</i>
Modelle vereinfachen etwas.	<i>Und Modelle, die müssen ja keinen unumstößlich wahren Sachverhalt zeigen. Sie können ja das auch unglaublich vereinfachen. (P)</i>
Modelle beschreiben etwas.	<i>Ich habe mich [in meiner Concept Map] für das Verb "beschreiben" entschieden, weil es [das Modell] meiner Meinung nach zum Beispiel "Organe" beschreibt. (J)</i>
Modelle erklären etwas.	<i>Da versuche ich verschiedene Dinge, die man beobachtet oder durch Experimente herausgefunden hat, in einen Zusammenhang zu bringen und dadurch ein Modell zu entwickeln, das Erklärungsansätze für verschiedene Phänomene bietet. (L)</i>
Modelle dienen der Vermittlung von Wissen / Erkenntnissen.	<i>Da brauche ich dann schon Modelle. Genau. Es ist schon auch sehr wichtig für die Wissensvermittlung, weil es sonst schwierig ist, sich das vorzustellen. (A)</i>
Modelle dienen der Erkenntnisgewinnung.	<i>Ich stelle nicht nur die Erkenntnisse oder das Wissen dar, sondern ich entwickle aus einem Modell, indem ich damit arbeite, neue Erkenntnisse. (A)</i>
Modelle werden in neuen Kontexten angewendet.	<i>Ein Modell kann in neuen Kontexten angewendet werden. (L)</i>
Modelle fassen (empirische) Ergebnisse zusammen.	<i>Aus den ganzen Ergebnissen, die man dann hat, wenn man die Experimente selbst gemacht hat oder andere sie gemacht haben, kann man dann ein Modell erstellen, das den Einfluss von Pilzsymbionten auf eine bestimmte Pflanzenart zusammenfasst. (L)</i>
Modelle ordnen Wissensbestände.	<i>Und das Modell fasst ja sozusagen nur bestehendes Wissen zusammen und ordnet das und stellt da Beziehungen her. (L)</i>

*Anmerkung.* Der Text in eckigen Klammern wurde zur besseren Verständlichkeit nachträglich eingefügt.

## 5.2 Vorstellungen über die Beziehungen zwischen Modellen und Theorien

Insgesamt konnten in den Aussagen der Studierenden neun Konzepte gefunden werden, die Vorstellungen über die Beziehung zwischen Modellen und Theorien widerspiegeln (Tab. 4). Insgesamt werden die beiden Begriffe von den Studierenden voneinander abgegrenzt. Lediglich Leon setzt im Interview die Begriffe Theorie und Modell zeitweise gleich. Vorwiegend nennen die Studierenden Funktionen, die Modelle bei der Repräsentation oder bei der Entwicklung und Revision von Theorien einnehmen. Zudem wird als Funktion genannt, dass Theorien als Basis für die Konstruktion eines Modelles dienen.

**Tabelle 4:** Konzepte und Ankerbeispiele zum Verhältnis zwischen Modellen und Theorien

KONZEPT	ANKERBEISPIELE
<b>Die Begriffe Theorie und Modell werden gleichgesetzt.</b>	<i>Die Evolutionstheorien wurden angewendet und man hat festgestellt, dass die von Darwin der Realität am nächsten kommt und die von Lamarck beispielsweise nicht. Das hat man wieder erforscht und ist dann zu dem Ergebnis gekommen, dass es nur das Darwinistische Modell sein kann. (L)</i>
<b>Ein Modell veranschaulicht / erklärt eine Theorie.</b>	<i>Modelle werden dazu genutzt oder können dazu genutzt werden, sowohl Gesetze als auch Theorien zu verdeutlichen anhand von Beispielen. (P)</i>
<b>Ein Modell vereinfacht eine Theorie.</b>	<i>Nach meiner Definition von Modell würde ich da [die Begriffe Theorie und Gesetz in der Concept Map] jetzt lieber ran schreiben "vereinfacht durch". Also vereinfacht oder veranschaulicht. (P)</i>
<b>Eine Theorie wird für die Konstruktion eines Modells genutzt.</b>	<i>Ich könnte mir vorstellen, dass man ja erst mal eine Theorie haben muss, bevor man ein Modell erstellt. Sprich: Die Theorie kommt irgendwie vor dem Modell. Also man könnte die jetzt [in der Concept Map] vielleicht hier oben anbringen und aus der Theorie erstellt man dann Modelle. (M)</i>
<b>Im Vergleich ist ein Modell anwendungs- und praxisbezogener als eine Theorie.</b>	<i>Ich würde sagen, eine Theorie ist da eher theoretisch, ein Modell ist eher auch anwendungs- und praxisbezogen, man kann das auf neue Kontexte sozusagen ausweiten. (L)</i>
<b>Die Anwendung eines Modells kann zur Revision der entsprechenden Theorie führen.</b>	<i>Das Modell wiederum kann ja auch hinterfragt werden, weil es ja vielleicht doch nicht in jedem Kontext funktioniert und dann müsste man wieder neu erforschen, weil es nicht funktioniert. [Man] würde zu einem neuen Ergebnis kommen und müsste dann seine Theorie auch nochmal überarbeiten. (L)</i>
<b>Eine Theorie basiert auf einem Modell.</b>	<i>Weil, meistens ist es ja auch irgendwie vielleicht so ein Versuch: es gibt eine Theorie zu einem Modell. Also, das die Theorie schon auf dem Modell beruht. (A)</i>
<b>Ein Modell belegt eine Theorie.</b>	<i>Man muss das wirklich so sehen, dass ich mit meiner Theorie und mit meiner Beobachtung ganz am Anfang stehe und dieser Weg, bis ich entweder meine Theorie belegen oder zu einer neuen Theorie oder zu einer Gesetzmäßigkeit komme, ist halt ein Weg, indem ich verschiedene Prozesse durchlaufen muss und da ist das Modell ein wichtiges Element, um eine Gesetzmäßigkeit dann festlegen zu können. (J)</i>
<b>Eine Theorie erklärt ein Modell.</b>	<i>Ich finde, man kann diese einzelnen Begriffe [gemeint sind: Theorie, Gesetz, Modell] nicht getrennt betrachten, sondern ich finde, die haben alle etwas miteinander zu tun und die erklären sich gegenseitig und deswegen habe ich das alles miteinander verbunden. (J)</i>

*Anmerkung.* Der Text in eckigen Klammern wurde zur besseren Verständlichkeit nachträglich eingefügt.

## 6 Diskussion

Insgesamt haben die Studierenden nur vage Vorstellungen über Gesetze in der Biologie. Diese sind zum Teil durch Vorstellungen aus den Rechtswissenschaften oder der Physik beeinflusst. Letzteres wird dadurch deutlich, dass zusätzlich zu den biologischen Beispielen auch solche aus der Physik genannt werden (z. B. Relativitätsgesetz), obwohl explizit nach biologischen Gesetzen gefragt wurde. Dies lässt sich zum einen mit der hohen Anzahl physikalischer Gesetze erklären. Zum anderen werden Gesetze aus der Biologie teilweise auch als Regeln bezeichnet (RITTER, 1974). Die Unterscheidung und Abgrenzung von Regeln und Gesetzen knüpft an die Problematik der oben beschriebenen *ceteris paribus* Gesetze an. Pia unterscheidet hier ganz deutlich und kann lediglich ein Beispiel für biologische Regeln (Mendelsche Regeln), jedoch nicht für Gesetze nennen. Diese Vorstellung ähnelt einer Aussage eines Molekularbiologen aus einer Studie von WONG und HODSON (2009):

The trend in science is to avoid using the word “law”... this word has its historical origins and meanings... In the past when people believed that something was right, it should always hold true. But as time goes on, different laws like Newton’s laws no longer stand... Even though we called them laws in the past, they are actually not laws at all. (S. 122)

Die von den Studierenden dargestellten Vorstellungen darüber, was eine Theorie ist, sind der Bedeutung von alltäglichen Theorien als willkürliche Konstruktionen (NUZZO, 1999) ähnlich, ohne dass sie darüber reflektieren, dass eine wissenschaftliche Theorie sich davon unterscheidet. Lediglich bei Leon wird deutlich, dass eine Theorie über eine bloße Idee oder Vermutung hinausgeht und wissenschaftlich fundiert und gefestigt ist. DAGHER und BOUJAOUDE (2005) haben in einer Interviewstudie mit College-Biologiestudierenden Vorstellungen über wissenschaftliche Theorien im Allgemeinen und die Evolutionstheorie im Besonderen erhoben und dabei festgestellt, dass insbesondere die Evolutionstheorie abgelehnt wird, da sie allgemeine Kriterien einer wissenschaftlich fundierten Theorie nicht erfüllen würde. Beispielsweise sei ein Kriterium von wissenschaftlichen Theorien, dass experimentelle Beweise notwendig für eine Theorieentwicklung und -validierung sind. Dies sei hinsichtlich der Evolution, insbesondere der Makroevolution nicht gegeben. Im Gegensatz zu der Studie von DAGHER und BOUJAOUDE (2005) beziehen die hier befragten Studierenden ihre Ansichten über die Evolutionstheorie auf biologische Theorien im Allgemeinen und differenzieren in der dargestellten Weise nicht. In diesem Zusammenhang fällt auf, dass die Studierenden trotz der in der Biologie vorkommenden Vielfalt an Theorien im Interview nur die Evolutionstheorie benennen. Einige Studierende ziehen die Schöpfungslehre als parallel existie-

rende Idee über die Entstehung der Arten als Argument für den hypothetischen Charakter der Evolutionstheorie heran (Tab. 3). Im Gegensatz zu anderen Theorien, in denen parallele Vorstellungen bei Lernern nebeneinander existieren können, ruft die Existenz einer parallelen Idee über die Artenentstehung im Sinne der Schöpfungslehre eine Ablehnung der Evolutionstheorie als ein wissenschaftlich gefestigtes Konstrukt hervor (DAGHER & BOUJAOUDE, 2005; SINATRA, SOUTHERLAND, MCCONAUGHY & DEMASTES; 2003). Die Kenntnis über weitere biologische Theorien könnte somit ein fachwissenschaftlich angemessenes Verständnis über die Charakteristika von Theorien in der Biologie hervorrufen. Hinsichtlich der Funktionen, die Theorien einnehmen können (technologische, erklärende, prognostische und beschreibende Bedeutung von Theorien; vgl. BECK & KRAPP, 2006), wird von Anna die Erklärungskraft von Theorien über zurückliegende Ereignisse genannt (Tab. 3). Darüber hinaus wird, jedoch nur vage, die prognostische Bedeutung von Theorien durch Leon geäußert (Konzept: Theorien dienen der weiteren Forschung; Tab. 3).

In einer von BAILER-JONES (2002) durchgeführten Interviewstudie betonen einige der befragten Wissenschaftler, dass es keinen Unterschied zwischen Modellen und Theorien gibt. Dementgegen werden in dieser Studie die beiden Begriffe von den Studierenden grundsätzlich voneinander abgegrenzt und nur implizit, d. h. im Sprachgebrauch, teilweise synonym verwendet (Tab. 4). Eine differenzierte Betrachtung von Theorien und Modellen ist auch konform mit vielfältigen, wissenschaftsphilosophischen Auffassungen, in denen Modelle als unabhängig von Theorien betrachtet werden (FRIGG & HARTMANN, 2012). Darüber hinaus beziehen sich die Aussagen der Studierenden in Bezug auf Modelle und Theorien hauptsächlich auf ihre didaktischen sowie erkenntnistheoretischen Funktionen. Im Sinne von BAILER-JONES (1999) wird von keinem der Studierenden eine rein formalistische Perspektive eingenommen, sondern ausschließlich eine funktionale. Innerhalb dieser Perspektive werden vielfältige Vorstellungen von den Studierenden dargestellt. In erster Linie werden im Sinne CARNAPS (1939) die didaktischen Funktionen von Modellen, dass mit ihnen Theorien sowie biologische Phänomene veranschaulicht, vereinfacht und erklärt werden können, genannt (Tab. 3, Tab. 4). Daran anknüpfend wird die Verwendung von Theorien als Grundlage für die Konstruktion von Modellen (Tab. 4) für diesen didaktischen Gebrauch genannt. Das heißt, dass theoriebasierte Modelle nach Ansicht der Studierenden konstruiert werden, um die jeweiligen Theorien und damit verbunden biologische Prozesse in der Natur besser zu verstehen. Darüber hinaus treten nur vereinzelt Vorstellungen über erkenntnistheoretische Funktionen von Modellen hinsichtlich der Entwicklung und Revision von Theorien auf. So erläutert Leon die von HUTTEN (1954) be-

schriebene Funktion von Modellen, dass durch ihre Anwendung Theorien getestet und gegebenenfalls geändert werden (Tab. 4). Daran anknüpfend betont er, dass Modelle anwendungs- und praxisbezogener als Theorien sind (Tab. 4). Dies ähnelt der von FRIGG und HARTMANN (2012) beschriebenen Funktion von Modellen, dass sie Theorien ergänzen können. Leon beschreibt hier das Beispiel, dass der Terminus ‚Selektion‘ im Rahmen der Evolutionstheorie sehr allgemein ist und man mittels eines Modells diesen allgemeinen Begriff auf konkrete Situationen beziehen kann, zum Beispiel auf die Entwicklung der Lunge bei Säugetieren als Selektionsmerkmal. Sehr ähnlich fasst BAILER-JONES (2002) die Aussagen von Wissenschaftlern in ihrer Interviewstudie zusammen: „Theories are more general than models. Modeling becomes a case of applying general theories to specific cases” (S. 293). Von keinem der fünf Studierenden wird die Funktion genannt, dass Modelle angewendet werden, wenn die entsprechende Theorie zu komplex ist oder es keine Theorie zu einem Phänomen gibt (Ersatzmodelle). Schließlich lässt sich die dritte, von FRIGG und HARTMANN (2012) beschriebene Funktion, dass Modelle als vorläufige Theorien angewendet werden, im Ansatz im Konzept „Eine Theorie basiert auf einem Modell.“ wiederfinden (Tab. 4). Diese Aussage blieb jedoch eine Einzelaussage der Studentin und wurde nicht konkretisiert. Es bleibt offen, welche vertiefte Vorstellung hier über das Verhältnis von Modell und Theorie ausgedrückt werden sollte. Die Konzepte „Eine Theorie erklärt ein Modell“ und „Ein Modell belegt eine Theorie“ (Tab. 4) werden ebenso wenig konkret beschrieben, so dass weitergehende Interpretationen über die Vorstellungen nicht möglich sind.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Studierenden im Bachelor (Tab. 2) noch nicht oder nur wenig mit wissenschaftlichen Modellen gearbeitet haben und damit auch nicht auf einer metatheoretischen Ebene über Merkmale und Funktionen von Modellen reflektiert haben. HODSON (2014) beschreibt hinsichtlich einer elaborierten naturwissenschaftliche Bildung drei Aspekte, die zu berücksichtigen sind: den Erwerb und die Entwicklung konzeptuellen und theoretischen Wissens (*Learning Science*), die Beteiligung und Entwicklung von Kompetenzen bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen und Problemlöseprozessen (*Doing Science*) und die Entwicklung eines Verständnisses über die Natur und Methoden der Naturwissenschaft (*Learning about Science*). Ein angemessenes Verständnis über Merkmale und Funktionen von Modellen, aber auch von Gesetzen und Theorien, ist ein Bestandteil von *Learning about Science*. Die bisher befragten Studierenden haben bisher nur fachwissenschaftliche Module abgeschlossen, fachdidaktische noch nicht. Es liegt die Vermutung nahe, dass in den bisher besuchten fachwissenschaftlichen Veranstaltungen das explizite Reflektieren über die Wissenschaft Biologie noch nicht ausreichend

berücksichtigt wurde (vgl. HODSON, 2014; BELL, MATKINS & GANSNER, 2011).

## 7 Fazit & Ausblick

Die Vorstellungen der Studierenden über Theorien und Gesetze in der Biologie haben Verbindungen zum alltäglichen Gebrauch und greifen Perspektiven der Rechtswissenschaften und Physik auf. SAMARAPUNGAVAN et al. (2006) weisen darauf hin, dass Unterschiede zwischen den verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen bekannt sein sollten, um insgesamt ein angemessenes Verständnis über Prozesse der Naturwissenschaften zu entwickeln. Ein Fokus auf Gesetze und Theorien in der Biologie und in Abgrenzung zu anderen Fachbereichen (z. B. Physik), könnte helfen, insgesamt ein besseres NOS-Verständnis aufzubauen. Die Konzepte über das Verhältnis zwischen Modellen und Theorien (Tab. 4) können in Anlehnung an BAILER-JONES (1999) als funktional bezeichnet werden. Formalistische Beschreibungen von Modellen und Theorien fehlen. Ein zusätzliches formales Verständnis über Modelle im Sinne des *semantic view* (Tab. 1) könnte helfen, dass ein Verständnis über die Bedeutung und die Rolle von Modellen bei der Entwicklung biologischer Theorien und biologischen Wissens gefördert wird (vgl. ADÚRIZ-BRAVO, 2012).

Im Rahmen der Interviews wurden weitere Aspekte erhoben. Zum einen wurden Vorstellungen zum Status (stabil oder vorläufig) von Gesetzen, Theorien und Modellen erfasst. Zum anderen wurde nach der Entwicklung und Rechtfertigung der drei Wissensformen gefragt, etwa durch den Bezug zu naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen. Damit wird versucht, einem Desiderat in der NOS-Forschung nachzukommen: „[...] the exclusive focus in NOS assessments on a vague notion of experimentation leaves the relationship between empirical methods and forms of knowledge undertheorized” (SANDOVAL, 2005, S. 643). Die Auswertung der Interviews bezüglich dieser Perspektiven soll klären, inwieweit Studierende den Status der einzelnen Wissensformen einschätzen und inwieweit sie dies von den für ihre Entwicklung eingesetzten naturwissenschaftlichen Methoden abhängig machen.

## Zitierte Literatur

- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2012). A ‘Semantic’ View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22, 1593–1611.
- ALLCHIN, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95, 518–542.

- BAILER-JONES, D. M. (1999). Tracing the development of models in the philosophy of science. In L. Magnani, N. J. Nersessian & P. Thagard (Hrsg.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (23–40). Boston, MA: Springer US.
- BAILER-JONES, D. M. (2002). Scientists' Thoughts on Scientific Models. In: *Perspectives on Science*, 10, 275–301.
- BAILER-JONES, D. M. & HARTMANN, S. (1999). Modell. In H.-J. Sandkühler (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie. Band 1. A-N* (Sp. 854–859). Hamburg: Felix Meiner.
- BECK, K. & KRAPP, A. (2006). Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Pädagogischen Psychologie. In: Krapp, A. & Weidenmann B. (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (33–73). Weinheim: BeltzPVU.
- BELL, R. L., MATKINS, J. J. & GANSNEDER, B. M. (2011). Impacts of contextual and explicit instruction on preservice elementary teachers' understandings of the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 14–436.
- BRAITHWAITE, R. B. ([1946] 1953). *Scientific Explanation: A Study of the Function of Theory, Probability and Law in Science [based upon the Tarnier Lectures, 1946]*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- CAMPBELL, N. A. (2000). *Biologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- CARNAP, R. (1939). *Foundations of logic and mathematics*. Chicago: University of Chicago Press.
- DAGHER, Z. R. & BOUJAOUDE, S. (2005). Students' perceptions of the nature of evolutionary theory. *Science Education*, 89, 378–391.
- DUHEM, P. (1906). *La Theorie physique: son objet et sa structure*. (Dt. Ausgabe: Ziel und Struktur der physikalischen Theorien, 1908) Paris: Chevalier and Rivière.
- ELGIN, M. (2006). There may be strict empirical laws in biology, after all. *Biology & Philosophy*, 21, 119–134.
- FRIGG, R. & HARTMANN, S. (2012). Models in Science. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford, CA: Stanford University Press. Verfügbar unter: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/models-science/>
- GIERE, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- GRAF, D. (2014). Concept Mapping als Diagnosewerkzeug. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (325–337). Berlin, Heidelberg: Springer.
- HAMPE, M. (1999). Gesetz/Gesetzmäßigkeit. In H.-J. Sandkühler (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie. Band 2. O-Z* (Sp. 489–492). Hamburg: Felix Meiner.
- HODSON, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science. Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*. Advance online publication, doi:10.1080/09500693.2014.899722.
- HUTTEN, E. H. (1954). The rôle of models in physics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 4, 284–301.
- IRZIK, G. & NOLA, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20, 591–607.
- KATTMANN, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion - eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (93–104). Berlin, Heidelberg: Springer.
- KELLE, U. & KLUGE, S. (2010). *Vom Einzelfall zum Typus. Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- KLUGE, F. & SEEBOLD, E. (2012). *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache*. Berlin: de Gruyter.
- KMK [SEKRETARIAT DER STÄNDIGEN KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND] (Hrsg.). (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. München, Neuwied: Wolters Kluwer. Verfügbar unter: [http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf)

- KRELL, M. (2013). *Wie Schülerinnen und Schüler biologische Modelle verstehen: Erfassung und Beschreibung des Modellverstehens von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos.
- 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*. doi:10.1007/s11165-014-9427-9
- KREMER, K. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen. Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I*. Kassel: Universität Kassel. Verfügbar unter: <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/handle/urn:nbn:de:hebis:342010091734623>
- KRÜGER, D. & RIEMEIER, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse. Eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (121–132). Berlin, Heidelberg: Springer.
- LEDERMAN, N. G. (2007). Nature of Science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (831–880). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- MAHR, B. (2008). Ein Modell des Modellseins. Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In Dirks, U. & Knobloch, E. (Hrsg.), *Modelle* (187–218). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- MATTHEWS, M. R. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In M. S. Khine (Hrsg.), *Advances in Nature of Science research. Concepts and methodologies* (3–26). Dordrecht: Springer.
- MAYRING, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- NRC [NATIONAL RESEARCH COUNCIL] (1998). *Teaching about evolution and the Nature of Science*. Washington DC: National Academy Press.
- NGSS LEAD STATES (Hrsg.). (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NIEBERT, K. & GROPENIEBER, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (121–132). Berlin, Heidelberg: Springer.
- NOVAK, J. D. & CAÑAS, A. J. (2006). *The theory underlying concept maps and how to construct them. Technical report IHMC CmapTools 2006-01: Florida Institute for Human and Machine Cognition*. Verfügbar unter: [http://www.vcu.edu/cte/workshops/teaching\\_learning/2008\\_resources/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf](http://www.vcu.edu/cte/workshops/teaching_learning/2008_resources/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf)
- NUZZO, A. (1999). Theorie. In H.-J. Sandkühler (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie. Band 2. O-Z* (Sp. 1620b–1624b). Hamburg: Felix Meiner.
- OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. & DUSCHL, R. (2003). What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 692–720.
- PURVES, W. K. (2011). *Biologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- REUTLINGER, A., SCHURZ, G. & HÜTTEMANN, A. (2014). Ceteris Paribus laws. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford, CA: Stanford University Press. Verfügbar unter: <http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/ceteris-paribus/>
- RITTER, J. (1974). *Historisches Wörterbuch der Philosophie. Band 3 (G-H)*. Basel: Schwabe.
- SAMARAPUNGAN, A., WESTBY, E. L. & BODNER, G. M. (2006). Contextual epistemic development in science: A comparison of chemistry students and research chemists. *Science Education*, 90, 468–495.
- SANDOVAL, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89, 634–656.
- SINATRA, G., SOUTHERLAND, S., MCCONAUGHY, F. & DEMASTES, J. (2003). Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 510–528.
- WONG, S. L. & HODSON, D. (2009). From the horse's mouth: what scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. *Science Education*, 93, 109–130.