

Förderung von Modellkompetenz durch den Einsatz einer Blackbox

Susann Koch, Moritz Krell & Dirk Krüger

Susann.Koch@fu-berlin.de – Moritz.Krell@fu-berlin.de – Dirk.Krueger@fu-berlin.de

Freie Universität Berlin, Didaktik der Biologie

Schwendenerstr. 1, 14195 Berlin

Zusammenfassung

Ein kompetenter Umgang mit Modellen umfasst sowohl die Herstellung von Modellen als Medien als auch deren Anwendung als Werkzeuge im Erkenntnisprozess. Das Verständnis des Letzteren wird als elaborierte Perspektive von Modellkompetenz verstanden. Zur Förderung von Modellkompetenz untersuchen Schülerinnen (N=6; 11. Jahrgangsstufe) in der vorliegenden Studie eine Blackbox. Dabei äußern die Probandinnen nach der Untersuchung der Blackbox und einer anschließenden Reflexion über diesen Prozess eine Erweiterung ihres Modellverstehens. Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass die Schülerinnen Schwierigkeiten haben, zwischen der Blackbox als das zu untersuchende Phänomen und dem Modell der Blackbox zu unterscheiden sowie das im Blackbox-Kontext erworbene erweiterte Modellverstehen auf andere Modellkontexte zu übertragen.

Abstract

A competent use of models and modeling includes the creation of models as media and the application of models as tools to gain new knowledge. The understanding of the latter is described as the elaborated perspective of model competence. In this study a black box is used to foster students' (N=6; 11th grade) models competence. The investigation of the black box and the subsequent reflecting conversation about this investigation lead to a change of the understanding of models and modeling. However, the results show that the students have difficulties distinguishing between the black box as the investigated phenomenon and the model of the black box, as well as transferring the expanded understanding of models and modelling to other model contexts.

1 Einleitung

Im Biologieunterricht gilt es, neben der Vermittlung von Fachinhalten, bei Schülerinnen und Schülern auch ein Verständnis über wissenschaftliche Kon-

zepte und Prozesse zu entwickeln (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996; KMK, 2005). Ein wesentlicher Aspekt wissenschaftlichen Denkens und Arbeitens ist die Arbeit mit Modellen, die sich nicht nur auf die rein mediale, die „Realität“ abbildende Funktion von Modellen bezieht, sondern bei der Modelle als Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung betrachtet werden (GILBERT & OSBORNE, 1980; PASSMORE, GOUVEA & GIÈRE, 2014; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010). Das Verständnis dieser Anwendungsperspektive wird auch für das Fach Biologie als wichtiges Vermittlungsziel angesehen (KMK, 2005). Studien zeigen allerdings, dass Schülerinnen und Schüler Modelle meist als Medien zur Vermittlung von bekannten Sachverhalten verstehen und die Bedeutung von Modellen im Prozess des naturwissenschaftlichen Modellierens nur selten kennen (z. B. GROSSLIGHT, UNGER, JAY & SMITH, 1991; GRÜNKORN & KRÜGER, 2012; TREAGUST, CHITTLEBOROUGH & MAMIALA, 2002; TRIER & UPMEIER ZU BELZEN, 2009).

Eine Möglichkeit, das Verständnis über Modelle und das Modellieren zu erweitern, wird in der Arbeit mit einer Blackbox gesehen (FRANK, 2005; LEDERMAN & ABD-EL-KHALICK, 1998; UPMEIER ZU BELZEN, 2014). Eine Blackbox ist eine verschlossene Kiste mit einem unbekanntem inneren Mechanismus. Durch eine Variation des Inputs und der Beobachtung des folgenden Outputs wird das Aufstellen von Vermutungen über den inneren Aufbau der Blackbox ermöglicht. Mit der Entwicklung von Modellen des vermuteten inneren Aufbaus, zum Beispiel in Form von Zeichnungen, kann ein zyklischer Prozess der Blackbox-Untersuchung umgesetzt werden: Aus den Zeichnungen lassen sich Hypothesen über das Verhalten der Blackbox bei einem neuen Input ableiten. Dies kann mit neu generierten Daten (Output) verglichen werden, woraufhin das Modell des vermuteten Aufbaus (die Zeichnung) gegebenenfalls überarbeitet werden muss. Damit simuliert die Untersuchung der Blackbox die Erforschung biologischer Phänomene und die Verwendung von Modellen als Werkzeuge zum Erkenntnisgewinn. Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Entwicklung und Evaluation eines Studiendesigns, in der eine Blackbox in beschriebener Weise zur Förderung von Modellkompetenz (vgl. UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) eingesetzt wird.

2 Theorie

2.1 Modelle

Modelle werden in nahezu allen Wissenschaftsbereichen eingesetzt. Sie finden in den Naturwissenschaften besonders dann ihre Verwendung, wenn sich das

Untersuchungsobjekt der direkten Wahrnehmung entzieht, das heißt, wenn es zu groß, zu klein oder zu komplex ist (MIKELSKIS-SEIFERT, THIELE & WÜNSCHER, 2005). Modelle sind in diesem Sinne die „universelle[n] Werkzeuge [...], mit welchen der Mensch auf Dinge außerhalb des Mesokosmos zugreifen kann“ (ebd., S. 31). Dabei bilden Modelle keine „wissenschaftlichen Wahrheiten“ ab, sondern repräsentieren den aktuellen Stand der Forschung, der durch das Falsifizieren von Hypothesen einer stetigen Entwicklung unterliegt (POPPER, 1959).

Modelle werden als Menge von Ideen verstanden, die eingesetzt werden, um Phänomene zu untersuchen und Erklärungen, Generalisierungen, Abstraktionen und kausale Schlüsse zu entwickeln (PASSMORE et al., 2014). In der Wissenschaft und in der Schulpraxis werden Modelle je nach Verwendungszweck durch zwei Einsatzmöglichkeiten charakterisiert: Einerseits werden sie medial als Repräsentationen einer „Realität“ als Modelle *von* etwas, beispielsweise einem biologischen Phänomen, eingesetzt. Andererseits werden Modelle als Werkzeuge wissenschaftlichen Arbeitens als Modelle *für* etwas zum Generieren von Hypothesen und als methodisches Hilfsmittel genutzt (Tabelle 1; MAHR, 2008; PASSMORE et al., 2014).

Tabelle 1: Zwei Einsatzmöglichkeiten von Modellen (vgl. UPMEIER ZU BELZEN, 2014).

| Modell... | ... von etwas | ... für etwas |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Perspektive | Herstellungsperspektive | Anwendungsperspektive |
| Arbeitsmittel | Medium | Werkzeug |
| Blickrichtung | retrospektiv | prospektiv |
| Zweck | beschreiben, erklären | voraussagen |
| Einsatz | Fachwissensvermittlung | Erkenntnisgewinnung |

Der Prozess des Modellierens ist ein iterativer Zyklus, der die Herstellung, Anwendung und Überprüfung eines Modells beinhaltet (CLEMENT, 1989; GIERE, BICKLE & MAULDIN, 2006; MAHR, 2008; PASSMORE et al., 2014). Dieser Zyklus kann vereinfacht wie folgt beschrieben werden: Ausgehend von Beobachtungen an einem biologischen Phänomen wird ein Modell entwickelt. Es erfolgt eine Überprüfung, bei der die logische Widerspruchsfreiheit und Angemessenheit der Darstellung geprüft wird (Herstellungsperspektive). Durch eine gedankliche oder materielle Manipulation des Modells beziehungsweise durch spezifische Berechnungen mit dem Modell können nun Hypothesen darüber abgeleitet werden, wie sich das Original unter bestimmten Bedingungen verhalten müsste. Auf der Grundlage von weiteren Beobachtungen und/ oder Experimenten am und mit dem Original, bei denen die modellbasierten Hypothesen untersuchungsleitend sind, und dem Parallelisieren von Voraussagen und Be-

obachtungen, kann die Eignung des Modells als Modell *für* etwas überprüft werden (Anwendungsperspektive). Im Falle einer Falsifikation der Hypothesen muss das Modell verändert werden und der zyklische Prozess beginnt erneut (CLEMENT, 1989; GIÈRE et al., 2006).

2.2 Modellkompetenz im Biologieunterricht

Insbesondere die Anwendungsperspektive von Modellen tritt in der Definition von Modellkompetenz durch „die 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“ deutlich hervor (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010, S. 49). Das von den Autoren entwickelte Kompetenzmodell hilft, den Umgang mit Modellen im Biologieunterricht differenziert zu evaluieren und hinsichtlich der Förderung zu reflektieren. Die oben aufgezählten Fähigkeiten werden dabei in fünf Teilkompetenzen unterteilt: Eigenschaften von Modellen, Alternative Modelle, Zweck von Modellen, Testen von Modellen und Ändern von Modellen. Jede Teilkompetenz gliedert sich in drei Niveaus (I, II, III), die verschiedene Perspektiven auf Modelle ausdrücken. Während sich die Niveaus I und II auf die mediale Funktion eines Modells als Modell *von* etwas beziehen, repräsentiert Niveau III die wissenschaftsmethodische Sichtweise auf Modelle als Modelle *für* etwas.

Damit wird das Ziel bei der Förderung von Modellkompetenz deutlich: Es geht um die Entwicklung eines (wissenschaftstheoretisch) elaborierten Verständnisses über Modelle. Die Auswertung von Unterrichtsstunden zur Förderung von Modellkompetenz (FLEIGE, SEEGER, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2012a) zeigte, dass folgende Aspekte wesentlich zur Erreichung dieses Ziels sind: (1) Gründliche Reflexionsphasen mit möglichst schriftlicher Sicherung, (2) Fokussierung auf die Modellkompetenz und damit das Zurücktreten des Fachinhaltes, (3) Förderung einer Auswahl an Teilkompetenzen pro Unterrichtsstunde und (4) das Einbeziehen eines Transfers des erweiterten Modellverstehens auf andere Kontexte. Diese Aspekte werden bei der Entwicklung des Studiendesigns mit der Blackbox berücksichtigt, wobei das Reflektieren über die Modellierungsprozesse zentrale Bedeutung erhält.

2.3 Blackbox

In der (didaktischen) Forschung wird die Verwendung einer Blackbox schon seit vielen Jahrzehnten vorgeschlagen (z. B. KLAUS, 1967; LEDERMAN & ABDEL-KHALICK, 1998; FRIEGE & MIE, 2006). Die Blackbox selbst ist „ein abgeschlossenes – und zunächst unbekanntes – System [...], dem man von außen

bestimmte ‚Eingaben‘ [*inputs*] zuführen kann und sich dadurch vom System hervorgerufene bzw. beeinflusste ‚Ausgaben‘ [*outputs*] beobachten lassen“ (FRIEGE & MIE, 2006, S. 377). Die Charakteristika einer solchen Blackbox sind: Die (erwartete) Eindeutigkeit (*distinctness*), die eine Notwendigkeit für das Auffinden von Regelmäßigkeiten und damit Grundvoraussetzung für das Konstruieren eines Blackbox-Modells darstellt; das Vorhandensein von beobachtbaren (und zuordenbaren) Inputs und Outputs und die Nichteinsehbarkeit (*blackness*) für den Beobachter (GLANVILLE, 1982). Eine Blackbox kann sowohl gegenständlicher als auch hypothetischer Natur sein. Im Kontext des Unterrichts empfiehlt es sich, das systematische Untersuchen einer materiellen Blackbox mit dem Ziel, den (vermuteten) inneren Aufbau zu erkennen, spezifisch als Blackbox-Untersuchung zu bezeichnen, um sie somit von der Blackbox-Methode als allgemeines Problemlöse-Verfahren nach einem definierten Algorithmus (KLAUS, 1967) zu differenzieren.

Die Einsatzfelder einer Blackbox im naturwissenschaftlichen Unterricht werden in vielfältiger Weise beschrieben. So werden Blackbox-Untersuchungen zur Vermittlung physikalischen Fachwissens (z. B. FRIEGE & MIE, 2004, 2006) sowie zur Erfassung der individuellen Experimentierfähigkeiten (BARNEY, 1955) und individueller Problemlösefähigkeiten (FRIEGE & MIE, 2006) vorgeschlagen. Darüber hinaus können die Blackbox-Untersuchungen für die Simulation naturwissenschaftlichen Arbeitens, für die Entwicklung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses (z. B. CARTIER, 2000; FRANK, 2005; FRIEGE & MIE, 2004; LEDERMAN & ABD-EL-KHALICK, 1998) sowie für den Einsatz von Modellen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess (CARTIER, 2000; MIKELSKIS-SEIFERT & LEISNER, 2004; RUEBUSH, SULIKOWSKI & NORTH, 2009; UPMEIER ZU BELZEN, 2014) genutzt werden.

Für die vorliegende Studie ist die Simulation der wissenschaftsmethodischen Verwendung von Modellen von Bedeutung. Der Einsatz einer Blackbox ist zur Förderung von Modellkompetenz geeignet, da sie sich für jedes biologische Phänomen stellvertretend verwenden lässt: „Everything that we observe is a black box, and [...] the major function of human intelligence is in building working descriptions of these black boxes, that is, in making them white“ (GLANVILLE, 1982, S. 1).

Entsprechend wurden Blackbox-Untersuchungen bereits in Studien zur Förderung des Modellverstehens eingesetzt. Die Untersuchung von RUEBUSH et al. (2009) zeigt positive Effekte des Einsatzes einer Blackbox auf Teile des Modellverstehens von College-Studierenden in den USA. Im deutschsprachigen Raum wurde die Blackbox bereits erfolgreich im Rahmen eines Seminars in der

Biologie-Lehramtsausbildung eingesetzt (GÜNTHER, FLEIGE, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, in Druck). Die Evaluierung des Blackbox-Einsatzes mit Schülerinnen und Schülern ist Teil der vorliegenden Untersuchung.

3 Fragestellungen

Die grundlegende Fragestellung der vorliegenden Studie lautet:

- (1) Inwieweit äußern Schülerinnen und Schüler nach einer Blackbox-Untersuchung und einem anschließendem Reflexionsgespräch ein verändertes Modellverstehen im Sinne des Kompetenzmodells der Modellkompetenz (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010)?

Da die Blackbox-Untersuchung geeignet ist, sich mit der modellbasierten Untersuchung biologischer Phänomene parallelisieren zu lassen (FRANK, 2005; UPMEIER ZU BELZEN, 2014), wird untersucht, inwieweit die wissenschaftsmethodische Verknüpfung von Modell und Phänomen (d. h. Modell *von* und *für* etwas) von den Schülerinnen und Schülern nachvollzogen wird:

- (2) Welche Vorstellungen äußern die Schülerinnen und Schüler während des Reflexionsgesprächs über das Verhältnis von Blackbox und Blackbox-Modell (Zeichnung)?

4 Methodik

4.1 Entwicklung des Studiendesigns

Die Entwicklung des Studiendesigns erfolgt im Rahmen der entwicklungsorientierten Evaluationsforschung (KRÜGER, 2003). Als Verbindung von Interventions- und Evaluationsforschung besteht hiermit ein Forschungsrahmen, der sowohl die theoretisch begründete Entwicklung der Lernumgebung, dessen Optimierung und die Überprüfung der Wirksamkeit berücksichtigt. Dies erfolgt in drei Phasen: Vorbereitung, formative Evaluation und summative Evaluation (KRÜGER, 2003).

Tabelle 2: Design der Studie.

| Schüleraktivität | Blackbox-Untersuchung | | Reflexionsgespräch | |
|------------------|-----------------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| Datenerhebung | Pre-Test (Interview) | Videografie | | Post-Test (Interview) |
| Zeit (ca.) | 5 min. | 60 min. | 30 min. | 5 min. |

Die Entwicklung des Studiendesigns befindet sich aktuell in der Phase der formativen Evaluation, sodass die Ergebnisse auch der Weiterentwicklung dienen. Es wird der aktuelle Stand des Studiendesigns dargestellt (Tabelle 2).

4.2 Blackbox-Untersuchung

Die verwendete Blackbox ist eine „Wasser-Blackbox“ (Abbildung 1). Tabelle 3 zeigt das typische Datenmuster, das sich beim Start mit einer leeren Blackbox bei regelmäßigem Input von 400 ml nach sechs Durchgängen wiederholt.

Tabelle 3: Typisches Datenmuster der Blackbox.

| Nr. | Input | Output |
|-----|--------|---------|
| 1 | 400 ml | 0 ml |
| 2 | 400 ml | 400 ml |
| 3 | 400 ml | 600 ml |
| 4 | 400 ml | 400 ml |
| 5 | 400 ml | 0 ml |
| 6 | 400 ml | 1000 ml |

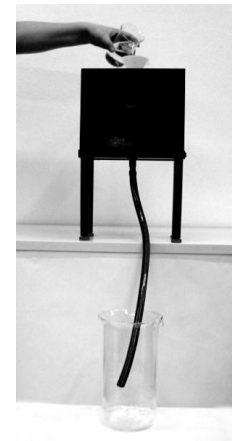


Abbildung 1: Blackbox.

Die Blackbox-Untersuchung wird durch Arbeitsaufträge strukturiert (Abbildung 2). Zweck dieses Vorgehens ist es, dass die Probanden einen zyklischen Modellierungsprozess durchlaufen, bei dem das Formulieren von Hypothesen aus dem erstellten Modell und der Rückbezug zu den Daten wiederholt durchgeführt werden (vgl. Kapitel 2.1).

1. Gebt 400 ml in die Blackbox.
2. Protokolliert in der Datentabelle ...
 - ... wie viel Wasser ihr eingefüllt habt („Input“),
 - ... wie viel Wasser herausgelaufen ist („Output“),
 - ... wie viel Wasser in der Blackbox zurückgeblieben ist.
3. Zeichnet ein Modell des Inneren der Blackbox.
4. Formuliert auf der Grundlage eures gezeichneten Modells eine Hypothese darüber, was beim Einfüllen der nächsten 400 ml passieren könnte (Angabe in ml).
5. Tragt eure Hypothese in die Datentabelle ein („Erwartung“).
6. Beginnt wieder bei Schritt 1

Abbildung 2: Arbeitsaufträge zur Blackbox-Untersuchung.

Zur Entlastung der Schülerinnen und Schüler werden vorbereitete Protokoll- und Zeichenblätter bereitgestellt. Die Durchführung der Blackbox-Untersuchung erfolgt in Partnerarbeit, um den Dialog über das Vorgehen und die Ideen zu unterstützen. Dies erfolgt insbesondere in Hinblick darauf, dass die Intervention für den Einsatz in der Schule entwickelt werden soll und dort eine Einzelarbeit an der Blackbox schwer umzusetzen ist.

4.3 Reflexionsgespräch

In der Reflexionsphase werden die vollzogenen Tätigkeiten und die zugrundeliegenden Ideen anhand von Reflexionsimpulsen in einem Gespräch mit der Studienleiterin (Erstautorin) besprochen. Als ersten Gesprächsanlass sollen die Probanden ihr Vorgehen als Concept-Map visualisieren. Dazu werden sie aufgefordert, vorgegebene Begriffe (Blackbox, konstruiertes Modell 1, konstruiertes Modell 2, ..., Hypothese 1, Hypothese 2, ...) mithilfe einer Arbeitsanleitung miteinander in Beziehung zu setzen. Zusätzlich können sie Begriffe ergänzen, sodass weitere Ideen artikuliert werden können. Anhand der Visualisierung werden dann in der Gruppe Vorstellungen zu Modellen reflektiert. Dazu werden Reflexionsimpulse zu den Teilkompetenzen der Modellkompetenz sowie zur Übertragung der Blackbox auf biologische Phänomene (z. B. Populationsmodelle) eingesetzt. Da noch nicht einzuschätzen ist, welche Teilkompetenzen sich durch den Einsatz einer Blackbox besonders gut fördern lassen, wird die Reflexion nicht auf eine Auswahl von Teilkompetenzen beschränkt.

4.4 Stichprobe

Bislang haben sechs Schülerinnen im Alter von 15 bis 16 Jahren (11. Jahrgangsstufe, Gymnasium) an der Intervention teilgenommen.

4.5 Datenerhebung

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden die Schülerinnen und Schüler vor und nach der Blackbox-Untersuchung und dem Reflexionsgespräch in Einzelinterviews zu ihrem Modellverstehen befragt (Tabelle 2). Dazu werden Impulse verwendet, die sich aus dem Kompetenzmodell der Modellkompetenz ableiten (Tabelle 4; nach FLEIGE et al., 2012a). Um den Einfluss des Vorwissens auf das Antwortverhalten möglichst gering zu halten, wird bei den Impulsen kein Bezug zu einem spezifischen Modellkontext hergestellt. Dieses Vorgehen wurde bereits bei der Erfassung und Beschreibung des Modellverstehens von Lehrerinnen und Lehrern angewendet (KRELL & KRÜGER, 2015).

Tabelle 4: Impulse zur Erhebung des Modellverstehens im Vor- und Nachtest.

| TK | Impuls |
|----|---|
| E | Beschreibe, inwieweit ein Modell seinem biologischen Original entspricht. |
| A | Erkläre, warum es zu einem biologischen Original verschiedene Modelle gibt. |
| Z | Beschreibe, welchen Zweck Modelle in der Biologie erfüllen. |
| T | Erkläre, wie man überprüfen kann, ob ein Modell seinen Zweck erfüllt. |
| Ä | Nenne Gründe, warum ein gegebenes biologisches Modell geändert wird. |

Anmerkungen. TK: Teilkompetenzen; E: Eigenschaften von Modellen; A: Alternative Modelle; Z: Zweck von Modellen; T: Testen von Modellen; Ä: Ändern von Modellen

Die Pre- und Post-Interviews werden audiographiert und anhand eines Leitfadens transkribiert. Die Blackbox-Untersuchung und das Reflexionsgespräch werden videographiert und ebenfalls transkribiert. Alle Transkripte werden zur Verbesserung der Lesbarkeit redigiert (vgl. KRÜGER & RIEMEIER, 2014).

4.6 Datenauswertung

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 1 werden die Schüleraussagen des Pre- und Post-Tests sowie des Reflexionsgesprächs deduktiv den drei Niveaus (I, II, III) des Kompetenzmodells der Modellkompetenz (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) sowie den von GRÜNKORN (2014) ergänzten „basalen Niveaus“ zugeordnet (MAYRING, 2010).

Zur Beantwortung der Forschungsfrage 2 werden die mündlichen Erklärungen im Reflexionsgespräch nach der qualitativen Inhaltsanalyse (MAYRING, 2010) kategorisiert, indem ähnliche Aussagen geordnet, zu übergeordneten Kategorien zusammengefasst und so weit wie möglich reduziert werden. Anschließend werden die gefundenen Kategorien mit theoriebasierten Erwartungen verglichen, die aus dem Kompetenzmodell der Modellkompetenz abgeleitet werden.

5 Ergebnisse

5.1 Modellverstehen (Forschungsfrage 1)

Tabelle 5 zeigt das Modellverstehen der sechs Probandinnen vor der Blackbox-Untersuchung, während und nach dem Reflexionsgespräch. Entsprechend Grünkorn (2014) wurde jeweils das höchste Niveau, das in einer Aussage identifizierbar war, kodiert.

Es sollen zunächst die Ergebnisse des Vor- und Nachtests betrachtet werden. Die Schülerinnen – mit Ausnahme der Probandin mit dem Code MAMI in der Teilkompetenz „Zweck von Modellen – nennen im gesamten Interview vor der

Blackbox-Untersuchung keine Niveau-III-Aussagen. Im Post-Test treten zehn Niveau-III-Aussagen auf, davon jeweils drei in den Teilkompetenzen „Eigenschaften von Modellen“ und „Zweck von Modellen“, eine in der Teilkompetenz „Alternative Modelle“ und jeweils zwei in den Teilkompetenzen „Testen von Modellen“ und „Ändern von Modellen“. Insgesamt besteht im Modellverstehen der Probandinnen (teilkompetenz- und personenübergreifend) zwischen Vor- und Nachtest ein Unterschied mit hoher Signifikanz (Wilcoxon-Test: $U=2.702$, $p=.007$; $r=.52$; große Effektstärke, FIELD, 2009).

Tabelle 5: Modellverstehen der Probandinnen.

| Probandenpaar 1 | | | | | | Probandenpaar 2 | | | | | | Probandenpaar 3 | | | | | | |
|-----------------|-----|------|------|-----|------|-----------------|-----|------|------|-----|------|-----------------|-----|------|------|-----|------|-----|
| ANEL | | | COEL | | | KINA | | | MAMI | | | CACY | | | SYSA | | | |
| Pre | Ref | Post | Pre | Ref | Post | Pre | Ref | Post | Pre | Ref | Post | Pre | Ref | Post | Pre | Ref | Post | |
| E | I | III | III | II | - | I | - | - | - | II | III | II | II | III | III | II | III | III |
| A | II | - | B | B | - | II | - | - | - | II | - | II | II | - | III | I | - | II |
| Z | I | - | I | I | - | I | B | - | I | III | - | III | B | - | B | B | III | III |
| T | B | III | II | B | III | II | II | III | - | II | III | III | B | - | B | B | III | III |
| Ä | II | III | II | II | - | II | II | - | II | II | III | III | II | - | II | II | III | III |

Anmerkungen. Pre: Pre-Test, Ref: Reflexionsgespräch, Post: Post-Test; B: basales Niveau; I: Niveau I, II: Niveau II, III: Niveau III, dunkelgrau: Niveau-III-Perspektiven.

Auch im Reflexionsgespräch treffen die Schülerinnen Aussagen, die sich den verschiedenen Niveaus der Modellkompetenz zuordnen lassen (vgl. UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010). Auf Niveau III argumentiert zum Beispiel die Probandin mit dem Code ANEL:

Bei [Modell] 1 haben wir nur herausgefunden, dass es nicht funktionieren kann, weil sich das nicht so verhalten hat, wie es bei der Vorstellung hätte sein müssen. Es ging ja nicht, dass, wenn wenig Wasser drin ist, trotzdem [et]was [he]rauskommt. [...] Es kam Wasser raus, obwohl es nach unseren Daten nicht hätte rauskommen können [...] Deshalb war für uns quasi bewiesen, dass das nicht stimmt.

Hier wird deutlich, dass aus dem entwickelten Modell Hypothesen (als „Daten“ bezeichnet) darüber abgeleitet wurden, wie sich die Blackbox verhalten müsste, wenn das Modell zutreffend ist. Die Diskrepanz, dass die elaborierte Aussage zwar im Reflexionsgespräch erörtert und im Post-Test nicht genannt wird, tritt wiederholt auf (Tabelle 5). Die Probandin mit dem Code SYSA liefert dazu im Reflexionsgespräch einen Erklärungsansatz:

In unserem Fall [bei der Arbeit mit der Blackbox] kann ich mir das schon vorstellen, dass Modelle einfach nur Vermutungen sind. Aber wenn ich an den Schulunterricht denke, kann ich mir nicht vorstellen, dass es einfach nur Vermutungen sind, sondern schon irgendwie der Wahrheit entspricht, obwohl ja schon Kleinigkeiten irgendwie falsch sein könnten. Ja, aber in [unserem] Fall war es wirklich eine Vermutung.

5.2 Vorstellungen über das Verhältnis von Blackbox und Blackbox-Modell (Forschungsfrage 2)

Hinsichtlich der zweiten Forschungsfrage wurden die Reflexionsgespräche ausgewertet. Die Schülerinnen äußern folgende Vorstellungen (Tabelle 6):

Tabelle 6: Vorstellungen über das Verhältnis von Blackbox und Blackbox-Modell.

| Vorstellung | Beispiele |
|--|--|
| Die Blackbox ist das Modell. | <i>Oder vielleicht [ist es so], dass die Blackbox quasi Modell 1 ist. [Die Blackbox] ist sozusagen unser Modell. (ANEL)</i> |
| Die Blackbox beinhaltet das Modell. | <i>Also nur im Sinne von ‚es ist da drin‘. Ich bemerke gerade, [dass] das Modell ja immer gleich ist. Also, wenn die Blackbox das Modell 1 beinhaltet, dann entwickelt sich ja daraus nicht ohne fremdes Zutun Modell 2. (COEL)</i> <i>Ich überlege nur, ob vielleicht ‚beinhaltet‘ das falsche Wort ist, ob es da vielleicht ein besseres gibt. ‚Beinhaltet‘ klingt für mich so, [als ob] das Modell, also das Blatt mit der Zeichnung quasi da [in der Blackbox] drin liegt. (COEL)</i> |
| Die Blackbox versteckt die Modelle. | <i>Die Blackbox versteckt [die Modelle]. (ANEL)</i> |
| Das Modell beinhaltet die Blackbox. | <i>[Das würde bedeuten], dass Modell 1 die Blackbox beinhaltet und das ist bei uns ja quasi so. Also Modell 1 ist ja die Blackbox mit irgendwas drin. Das heißt, der Überbegriff Modell 1 beinhaltet die Blackbox. (COEL)</i> |
| Das Modell ist eine Vermutung über die Blackbox. | <i>Wir dachten, die Hypothese wäre das Bild, wie es da drin [in der Blackbox] aussehen könnte. (MAMI)</i> |

6 Diskussion

Der Vergleich der Äußerungen im Pre- und Post-Test zeigt, dass die befragten Schülerinnen im Pre-Test hauptsächlich ein Modellverstehen auf Niveau I und II äußern, was bereits aus anderen Studien bekannt ist (z. B. GROSSLIGHT et al., 1991; GRÜNKORN & KRÜGER, 2012). Das Auftreten von Niveau-III-Äußerungen im Post-Test deutet eine Wirksamkeit der Blackbox-Untersuchung an. Die Erfahrungen bei der Bearbeitung der Arbeitsaufträge zusammen mit dem Reflexionsgespräch haben vermutlich zu einer Erweiterung des bisherigen Modellverstehens der Schülerinnen geführt. Es treten in allen fünf Teilkompetenzen im Nachtest Niveau-III-Äußerungen auf, in den Teilkompetenzen „Eigenschaften von Modellen“, „Testen von Modellen“ und „Ändern von Modellen“ wiederholt. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass der Einsatz der Blackbox verbunden mit einem anschließenden Reflexionsgespräch grundsätzlich geeignet ist, alle Teilkompetenzen zu fördern. Allerdings scheint das Erfassen und Verstehen des Modellierens im Ganzen komplex, denn nur bei einer Schülerin treten im Nachtest in mehr als drei Teilkompetenzen Veränderungen

in der gewünschten Weise auf. Auch in der Studie von Ruebush et al. (2009) wurden Unterschiede in der Häufigkeit von Niveau-III-Äußerungen je nach Teilkompetenz gefunden: Es wird in den Bereichen *composition, explanatory and predictive nature, determination of limits and validity* und *various representation* ein Erkenntniszuwachs berichtet, während die Bereiche *existence of multiple models, the dynamic nature of models* und – im Unterschied zu den Ergebnissen dieser Untersuchung – *the ability of models to be falsified* Schwierigkeiten bereiten. Es bestätigt sich, dass bei einer Förderung von Modellkompetenz die Fokussierung auf bestimmte Teilkompetenzen sinnvoll ist, um eine Überlastung der Schülerinnen und Schüler zu vermeiden (FLEIGE, SEEGERS, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2012b). Dies wird zukünftig im Reflexionsgespräch berücksichtigt, wobei zum Beispiel eine Konzentration auf die drei Teilkompetenzen „Eigenschaften von Modellen“, „Testen von Modellen“ und „Ändern von Modellen“ ausprobiert wird, da diese Teilkompetenzen während der Arbeit mit der Blackbox offensichtlich gefördert werden.

Die Problematik, dass im Reflexionsgespräch zwar ein elaboriertes Modellverstehen geäußert, dieses dann aber im Nachtest nicht wieder aufgegriffen wird, zeigte sich auch in der Pilotierung mit Biologie-Lehramtsstudierenden (KOCH, KRELL & KRÜGER, 2015). Eine mögliche Ursache könnte in der allgemeinen, kontextfreien Formulierung der Erhebungsimpulse liegen (KRELL, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2014). Das würde bedeuten, dass die Beschäftigung mit der Blackbox zwar elaborierte Denkprozesse in Gang setzt, diese aber hauptsächlich in dem Kontext fruchtbar sind, in dem sie erworben wurden (hier: Kontext Blackbox). Sobald sich das Gespräch auf Modelle im Allgemeinen richtet, wird ein anderer Kontext angesprochen und die neu gewonnenen Perspektiven verlieren ihre Bedeutung in der Anwendung (KRÜGER, 2007; GRO-PENGBIEBER, 2003). Dies wird am obigen Zitat der Probandin mit dem Code SYSA deutlich, in dem sie die verschiedenen Nutzungsformen von Modellen „in unserem Fall“ (Arbeit mit der Blackbox) und „im Schulunterricht“ kontrastiert und nur im ersten Kontext eine elaborierte Position (Niveau III) einnimmt. Dies deckt sich mit Ergebnissen von TRIER und UPMEIER ZU BELZEN (2009), die berichten, dass das Verständnis von Modellen bei Schülerinnen und Schülern hauptsächlich durch den schulischen Einsatz geprägt ist und somit wissenschaftstheoretische Konzepte zwar wahrgenommen, aber nicht mit diesem Verständnis verknüpft werden.

Es ist vermutlich hilfreich, im Reflexionsgespräch bei elaborierten Aussagen im Zusammenhang mit der Blackbox die Schülerinnen und Schüler konsequent aufzufordern, diese Äußerungen auf andere Modell- und Forschungskontexte

anzuwenden (denkbarer Impuls: „Bitte übertrage diese Überlegung auf andere Modellen in der Biologie.“). Damit lässt sich möglicherweise anregen, das im Kontext Blackbox entwickelte Modellverstehen stärker zu verallgemeinern, indem eine zunehmende Abstraktion von den Erfahrungen mit der Blackbox hin zu allgemeineren Ideen über Modelle und Modellierungsprozesse erfolgt (vgl. SCHWARZ, REISER, ARCHER, KENYON & FORTUS, 2012).

Es fällt auf, dass die elaborierten Aussagen im Reflexionsgespräch bei allen drei Paaren häufiger von einer der beiden Personen geäußert werden (Gruppe 1: ANEL; Gruppe 2: MAMI; Gruppe 3: SYSA), obwohl zu Beginn des Interviews beide aufgefordert werden, sich zu den Impulsen zu äußern. Dies kann unterschiedliche Gründe haben. Einerseits können Gruppendynamiken ursächlich sein: Eine Person übernimmt als Gruppenführerin den größeren Sprechanteil, während die andere Person eher zustimmt oder ablehnt (RECHTIN, 2003). Andererseits könnte auch ein methodisches Problem vorliegen: Beim gemeinsamen Besprechen und Reflektieren werden von einer Person elaborierte Ideen geäußert, die die Zustimmung der anderen Person erfahren, aber von ihr nicht noch einmal in eigenen Worten wiederholt und demzufolge nicht erfasst werden. Allerdings ist fraglich, ob eine alleinige Zustimmung zu dem Gesagten der anderen Person auch tatsächlich eine neu gewonnene Vorstellung ausdrückt, da es nur einen Fall gibt, bei dem ohne eine entsprechende elaborierte Aussage im Reflexionsgespräch auch ein Niveau-III-Verständnis im Nachtest geäußert wurde (CACY in der Teilkompetenz „Alternative Modelle“).

Die Vorstellungen der Schülerinnen zur Beziehung zwischen Blackbox und Blackbox-Modell (Tabelle 6) können teilweise auf die Kompetenzformulierungen des Kompetenzmodells (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) angewendet werden: Die Niveau-I-Perspektive drückt das Verständnis aus, dass die Zeichnung der Blackbox eine Kopie der Blackbox ist und Niveau III charakterisiert die Zeichnung der Blackbox als eine theoretische Rekonstruktion beziehungsweise eine Hypothese über die Blackbox und deren Aufbau. Die Schülervorstellung „Die Blackbox ist das Modell“ ähnelt der Niveau-I-Perspektive, denn sie impliziert eine Deckungsgleichheit von Modell und Zeichnung, wobei die Herstellungsperspektive nicht explizit erläutert wird. Die Vorstellung „Das Modell ist eine Vermutung über die Blackbox“ entspricht dem Niveau III.

Die Ideen „Die Blackbox beinhaltet das Modell“, „Das Modell beinhaltet die Blackbox“ und „Die Blackbox versteckt die Modelle“ entsprechen keiner aus dem Kompetenzmodell der Modellkompetenz abgeleiteten Erwartung über das Verhältnis von Blackbox und Zeichnung und deuten auf zwei Probleme der Blackbox-Untersuchung hin. Einerseits zeigt sich eine Vermischung von Mo-

dell- und Erfahrungswelt (vgl. MIKELSKIS-SEIFERT, 2002; GIÈRE et al., 2006), indem keine vollständige Trennung von realem Gegenstand (Blackbox) und imaginiertem Modell (Zeichnung) erfolgt: Modell und Original werden entweder gleichgesetzt (das eine ist das andere) oder in gegenständlicher Weise hierarchisiert (das eine befindet sich im anderen). Das zweite Problem bezieht sich auf die Verwendung der Denkfigur „beinhaltet“: Offensichtlich verleitet die Kistenhaftigkeit der Blackbox zu einer metaphorischen Denkweise im Sinne eines „Behälter-Schemas“ (GROPENGLIEBER, 2007), denn die Blackbox ist in diesem Fall tatsächlich ein Behälter, in den man etwas einfüllen kann. Obwohl die Probandin mit dem Code COEL den Begriff „beinhalten“ als problematisch erkennt, wird er in der Gruppe weiter verwendet. Das Behälter-Schema als Denkfigur kann im Zusammenhang mit der wissenschaftsmethodischen Nutzung von Modellen fruchtbar genutzt werden, denn es impliziert, dass sich etwas in der Blackbox befindet, das von außen nicht sichtbar ist („Die Blackbox versteckt die Modelle“). Das entspricht dem, was GLANVILLE (1982) als *blackness* bezeichnet. Es sollte allerdings geklärt werden, was genau versteckt wird: Nicht die Modelle, sondern der Mechanismus und die Modelle werden genutzt, um den Mechanismus zu erforschen.

7 Fazit und Ausblick

Die Auswertung der vorliegenden Stichprobe zeigt, dass der Einsatz der Blackbox Niveau-III-Äußerungen provoziert. Es bereitet den Schülerinnen allerdings Schwierigkeiten, sich von dem Kontext der Blackbox zu lösen, die gewonnenen Erkenntnisse auf andere Modelle zu übertragen und zwischen Modell- und Erfahrungswelt zu trennen. Eine Übertragung auf andere Kontexte, eine Reduktion auf wenige Perspektiven und eine Fokussierung auf klar abgegrenzte Begriffe sollen helfen, diese Schwierigkeiten zu überwinden.

Zitierte Literatur

- BARNEY, D. (1955). A "Black Box" laboratory assignment. *American Journal of Physics*, 23(8), 546.
- CARTIER, J. (2000). *Assessment of explanatory models in genetics. Insights into students' conceptions of scientific models*. (Research Report. National Center for Improving Student Learning and Achievement in Mathematics and Science, University of Wisconsin-Madison). Online verfügbar unter <http://ncisla.wceruw.org/publications/reports/RR98-1.PDF>.
- CLEMENT, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In: J. Glover, C. Reynolds & R. Royce (Hg.): *Handbook of creativity*. Berlin: Springer, S. 341-381.
- FIELD, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS*. Los Angeles, CA: Sage.
- FLEIGE, J., SEEGER, A., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (2012a). Förderung von Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: *MNU* 65(1), 19–28.
- FLEIGE, J., SEEGER, A., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (Hg.) (2012b). *Modellkompetenz im Biologieunterricht 7-10*. Donauwörth: Auer.

- FRANK, A. (2005). Naturwissenschaftlich arbeiten mit der Blackbox. In: *Unterricht Biologie* (Beilage) 307(308), 1–16.
- FRIEGE, G. & MIE, K. (2004). Wie löst ein Experte ein Black-Box-Experiment? Erste Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In: A. PITTON (Hg.): *Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung*. Jahrestagung der GDCP in Berlin 2003 gemeinsam mit der 1. Internationalen Tagung der GFD. Münster: Lit-Verl., 69–71.
- FRIEGE, G. & MIE, K. (2006). Black-Box-Experimente für die Sekundarstufe I und II. In: A. PITTON (Hg.): *Lehren und Lernen mit neuen Medien*. Jahrestagung der GDCP in Paderborn 2005. Berlin: LIT Verlag, 377–379.
- GILBERT, J.; OSBORNE, R. (1980). The use of models in science and science teaching. In: *International Journal of Science Education* 2(1), 3–13.
- GIERE, R., BICKLE, J. & MAULDIN, R. (2006). *Understanding scientific reasoning*. London: Thomson Learning.
- GLANVILLE, R. (1982). Inside every white box there are two black boxes trying to get out. In: *Behavioral Science* 27, 1–11.
- GROPENGIEBER, H. (2003). Lernen und Lehren - Thesen und Empfehlungen zu einem professionellen Verständnis. In: DEUTSCHES INSTITUT FÜR ERWACHSENENBILDUNG (DIE) (Hg.): *Gehirn und Lernen*. Bielefeld: Bertelsmann (Report, 26.2003,3), 29–39.
- GROPENGIEBER, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: D. KRÜGER UND H. VOGT (Hg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 105–116.
- GROSSLIGHT, L., UNGER, C., JAY, E. & SMITH, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. In: *Journal of Research in Science Teaching* 28(9), 799–822.
- GRÜNKORN, J. (2014). *Modellkompetenz im Biologieunterricht bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I mit Aufgaben im offenen Antwortformat*. Berlin: Hochschulschriftenstelle FU Berlin. Online verfügbar unter http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000097320.
- GRÜNKORN, J. & KRÜGER, D. (2012). Entwicklung und Evaluierung von Aufgaben im offenen Antwortformat zur empirischen Überprüfung eines Kompetenzmodells zur Modellkompetenz. In: U. HARMS UND F. BOGNER (Hg.): *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*. Didaktik der Biologie - Standortbestimmung und Perspektiven. Innsbruck, Wien, Bozen: Studienverlag (5), 9–27.
- GÜNTHER, S. L., FLEIGE, J., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (in Druck). Interventionsstudie mit angehenden Lehrkräften zur Förderung von Modellkompetenz im Unterrichtsfach Biologie. In: C. GRÄSEL UND K. TREMPER (Hg.). *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals. Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven*. Springer Online.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. In: *International Journal of Science Education* 24(4), 369–387.
- KLAUS, G. (HG.) (1967). *Wörterbuch der Kybernetik*. Berlin: Dietz Verlag.
- KMK (Hg.) (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Beschluss vom 16.12.2004. München, Neuwied: Luchterhand.
- KOCH, S., KRELL, M. & KRÜGER, D. (2015). Förderung von Modellkompetenz durch den Einsatz einer Blackbox Poster präsentiert auf der 17. Internationale Frühjahrsschule der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO, 23.-26.02.2015, München.
- KRELL, M. & KRÜGER, D. (2015). Testing models: A key aspect to promote teaching-activities related to models and modelling in biology lessons? *Journal of Biological Education*.
- KRELL, M., UPMEIER ZU BELZEN, A., & KRÜGER, D. (2014). Context-specificities in students' understanding of models and modelling: An issue of critical importance for both assessment and teaching. In: C. CONSTANTINOU, N. PAPADOURIS, & A. HADJIGEORGIOU (Eds.), *E-Book proceedings of the ESERA 2013 conference. Part 6. (pp. 41–52)*. Nicosia, Cyprus: ESERA. Retrieved from http://www.esera.org/media/eBook_2013/strand%206/ESERA_ebook_Part_6.pdf
- KRÜGER, D. (2003). Entwicklungsorientierte Evaluationsforschung - Ein Forschungsrahmen für die Biologiedidaktik. In: *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7–24.
- KRÜGER, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In: D. KRÜGER UND H. VOGT (Hg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 81–92.

- KRÜGER, D. & RIEMEIER, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse - eine Methode zur Auswertung von Interviews. In: D. KRÜGER UND H. VOGT (Hg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 133-146.
- LEDERMAN, N. & ABD-EL-KHALICK, F. (1998). Avoiding de-natured science: Activities that promote understandings of the nature of science. In: W. F. MCCOMAS (Hg.): *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*: Kluwer Academic Publishers, S. 83–126.
- MAHR, B. (2008). Ein Modell des Modellseins - Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. In: U. DIRKS & E. KNOBLOCH (Hg.): *Modelle*. Frankfurt am Main: Peter Lang Verlag, S. 187–218.
- MAYRING, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- MIKELSKIS-SEIFERT, S. (2002). *Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*. Berlin: Logos Verlag.
- MIKELSKIS-SEIFERT, S. & LEISNER, A. (2004). Lernen über Teilchenmodelle. Das Denken in Modellen fördern. In: R. DUIT, H. GROPPENGIEBER UND L. STÄUDEL (Hg.): *Naturwissenschaftliches Arbeiten. Unterricht und Material 5-10*. Seelze-Velber: Friedrich Verlag GmbH, S. 122–127.
- MIKELSKIS-SEIFERT, S., THIELE, M. & WÜNSCHER, T. (2005). Modellieren - Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. In: *PhyDid - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 4 (1), S. 30–46. Online verfügbar unter <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid/article/view/29/29>, zuletzt geprüft am 07.08.2014.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- PASSMORE, C., GOUVEA, J. & GIERE, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In: M. R. MATTHEWS (Hg.): *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Heidelberg, New York, London: Springer Dordrecht, S. 1171–1202.
- POPPER, K. (1959). *The logic of scientific discovery*. New York: NY: Basic Books, Inc.
- RECHTIN, W. (2003). Gruppendynamik. In: A. AUHAGEN, H. BIERHOFF (Hg.). *Angewandte Sozialpsychologie. Das Praxishandbuch*. Weinheim: Beltz, S. 103-122.
- RUEBUSH, L., SULIKOWSKI, M. & NORTH, S. (2009). A simple exercise reveals the way students think about scientific modeling. In: *Journal of College Science Teaching* 38(3), 24–28.
- SCHWARZ, C., REISER, B., ARCHER, A. KENYON, L. & FORTUS, D. (2012). MoDeLS. Challenges in defining a learning progression for scientific modeling. In: A. C. ALONZO, A. W. GOTWALS (Hg.): *Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions*. Rotterdam: Sense Publishers, S. 101-137.
- TREAGUST, D., CHITTLEBOROUGH, G. & MAMIALA, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. In: *International Journal of Science Education* 24(4), 357–368.
- TRIER, U. & UPMEIER ZU BELZEN, A. (2009). "Wissenschaftler nutzen Modelle, um etwas Neues zu entdecken, und in der Schule lernt man einfach nur, dass es so ist". Schülervorstellungen zu Modellen. In: *Erkenntnisweg Biologiedidaktik* 8, 23–37.
- UPMEIER ZU BELZEN, A. (2014). Black Box. Modellierung von Prozessen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In: D. LUDWIG, C. WEBER & O. ZAUZIG (Hg.): *Das materielle Modell. Objektgeschichten aus der wissenschaftlichen Praxis*. Paderborn: Wilhelm Fink, 99–106.
- UPMEIER ZU BELZEN, A.; KRÜGER, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 16, 41–57.

