

Vorstellungen zu Modellorganismen von Schüler*innen

- Projektskizze: Reflektieren über Modellorganismen zur Förderung von Modellkompetenz -

Susann Abel¹, Annette Upmeier zu Belzen² & Dirk Krüger¹

susann.abel@fu-berlin.de - annette.upmeier@biologie.hu-berlin.de - dirk.krueger@fu-berlin.de

¹Freie Universität Berlin: Didaktik der Biologie,
Schwendenerstraße 1, 14195 Berlin

²Humboldt-Universität Berlin: Fachdidaktik und Lehr-/Lernforschung der Biologie,
Invalidenstraße 42, 10115 Berlin

Zusammenfassung

*Modellorganismen werden als etablierte Untersuchungsmittel in zahlreichen technisch-naturwissenschaftlichen Forschungsgebieten genutzt. Dieser Modelltyp wird mit Fokus auf den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung bislang kaum im Biologieunterricht thematisiert. In der vorliegenden Studie wird das Potenzial von Modellorganismen für die Förderung eines elaborierten Modellverstehens untersucht. In leitfadenbasierten Interviews wurden Vorstellungen zu Modellorganismen von Schüler*innen (N = 15) erfasst und davon vier zufällig ausgewählte exemplarisch (n = 4) ausgewertet. Auf der Basis eines theoretisch fundierten Kategoriensystems werden in den Aussagen der Schüler*innen Konzepte identifiziert, die beim Denken über Modellorganismen Ansatzpunkte bieten, Modelle nicht nur als Demonstrationsobjekte, sondern insbesondere als Erkundungsmodelle und Werkzeuge in der Erkenntnisgewinnung zu verstehen. Die Ergebnisse von vier Interviews zeigen, dass der Modelltyp Modellorganismus mit Bezug zur biomedizinischen Forschung Gelegenheiten bietet, Modellkompetenz zu fördern.*

Abstract

Model organisms are well-established investigation tools in various fields of technical and scientific research. However, so far this model type has barely been addressed in biology education regarding its potential to teach scientific inquiry knowledge. This research study investigates the potential of model organisms fostering an elaborated understanding of models in biology. Here, students' (N = 15) preconceptions of model organisms were

assessed by means of guide-based interviews. Four of them (n = 4) were chosen randomly and analyzed in an exemplary manner. Based on a theoretically founded category system students' concepts were identified which offer possible starting points for considering model organisms not only as demonstration objects but primarily as exploration models and tools of knowledge acquisition. Preliminary results show that the model type model organism with regard to biomedical research offers opportunities to promote model competence.

1 Einleitung

Der Modelleinsatz wird explizit in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss für das Fach Biologie gefordert (STANDARDS ZUM KOMPETENZBEREICH ERKENNTNISGEWINNUNG: E9-E13; KMK, 2005, 14), um ein allgemeines Verständnis über Modelle zu entwickeln und über das Modellieren zu reflektieren (KRELL, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2016). Dabei können abstrakte Modelltypen eine Reflexion in höheren Niveaus ermöglichen (KRELL, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2014). Modellorganismen in der Biologie sowie Medizin sind aufgrund der Kombination aus realem Lebewesen und abstraktem Modell auch für den Biologieunterricht interessant (KÖCHY, 2008; RHEINBERGER, 2005).

Modellorganismen werden in der biologischen und medizinischen Forschung eingesetzt, um allgemeingültige Aussagen über Prozesse in Lebewesen abzuleiten (KÖCHY, 2008; RUPPERT, 2011; STÄNDIGE SENATSKOMMISSION (SK) FÜR TIEREXPERIMENTELLE FORSCHUNG, 2004). Für den Biologieunterricht kann die Reflexion über Modellorganismen aufgrund ihres besonderen Modelltyps eine Möglichkeit zur Förderung von Modellkompetenz bieten (ABEL, KRELL & KRÜGER, IN DRUCK; KRELL et al., 2014; RHEINBERGER, 2005).

Die vorliegende Studie untersucht, ob ein Reflektieren über Modellorganismen das Verständnis für Modelle als Werkzeuge in der Erkenntnisgewinnung im Sinne der Modellkompetenz fördern kann (KRELL et al., 2016). Dafür werden Schülervorstellungen über Modellorganismen erhoben und Konzepte identifiziert, bei denen Modellorganismen als Werkzeuge in der Erkenntnisgewinnung verstanden werden. Auf der Basis dieser Vorstellungen sollen im weiteren Verlauf didaktische Leitlinien zur Förderung von Modellkompetenz im Unterricht entwickelt werden (GROPENGBER & KATTMANN, 2013).

2 Modelle im Biologieunterricht

Modelle werden im Biologieunterricht häufig medial als Demonstrationsmodelle zum Lernen von Fachwissen und dessen Kommunikation eingesetzt (GOUVEA & PASSMORE, 2017; KRELL et al., 2016). Darüber hinaus werden Modelle als

Erkundungsmodelle im Sinne eines Werkzeugs genutzt, wobei dann der methodische Einsatz reflektiert wird (GOUVEA & PASSMORE, 2017; KRELL et al., 2016). Die Modellierung eines Phänomens findet zweckbezogen statt: Relevante Eigenschaften des Sachverhalts werden hervorgehoben, unwesentliche reduziert oder weggelassen (GIERE, BICKLE & MAULDIN, 2006). Bei abstrakten Modellen wie Modellorganismen werden jeweils spezifische Ausschnitte fokussiert, indem man den individuellen Organismus als standardisierten Stellvertreter des zu untersuchenden Phänomens nutzt (ABEL et al., IN DRUCK; ANKENY & LEONELLI, 2011; RHEINBERGER, 2005).

2.1 Modellorganismen in der Wissenschaft

Modellorganismen sind unerlässlich für die biomedizinische Forschung und können nicht gänzlich durch den Einsatz anderer Modelle ersetzt werden (SK FÜR TIEREXPERIMENTELLE FORSCHUNG, 2004). Während Modellorganismen in der Biologie als Werkzeuge zur Aufklärung grundlegender Prinzipien lebender Organismen verstanden werden, dienen sie in der Medizin vorrangig als Repräsentanten zur Erforschung des Menschen (RHEINBERGER, 2005). Dabei sind die standardisierten Modellorganismen grundlegend von zufällig experimentell eingesetzten (random) Organismen abzugrenzen, die beispielsweise aufgrund ihrer intraspezifischen Vielfältigkeit zur Untersuchung von möglichen Phänotypen einer Art genutzt werden (ANKENY & LEONELLI, 2011). Prominente Modellorganismen in der Biologie sind beispielsweise die Fruchtfliege (*Drosophila melanogaster*) in klassischen Kreuzungsversuchen (1930er-Jahre: Thomas Hunt Morgan), die Acker-Schmalwand (*Arabidopsis thaliana*) zur Erforschung des Genoms und der Genkartierung (1940er-Jahre: Friedrich Laibach) und der Fadenwurm (*Caenorhabditis elegans*) zur Erforschung der Zellteilungsschritte der Furchung und späteren Entwicklungsstadien (1960er-Jahre: Sydney Brenner). Mit Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Hausmaus (*Mus musculus*) in der Medizin etabliert, an der vor allem Behandlungsmöglichkeiten gegen Erkrankungen des Menschen erforscht werden (ANKENY & LEONELLI, 2011). Allgemein finden Modellorganismen Anwendung „als Arbeits- und Forschungsmaterialien“ (KÖCHY, 2008, 100) zur Klärung konkreter Forschungsvorhaben, aber auch interdisziplinär vernetzter Fragestellungen (KÖCHY, 2008; RHEINBERGER, 2005). Beispielsweise wurden die Hausmaus und *Drosophila* sowohl in der Entwicklungsbiologie als auch in der Genetik etabliert (VGL. MÜLLER & HASSEL, 2012).

Die Eignung eines Lebewesens als Modellorganismus kann unter anderem anhand folgender Kriterien nachvollzogen werden: fundiertes Wissen über den Organismus (z. B. sequenziertes Genom, fundierte Untersuchung des

Verhaltens, bekannter Entwicklungszyklus), physiologische und/oder strukturelle Besonderheiten (z. B. Regenerationsprozesse von Zellen, Enzymaktivität, transparenter Körper, wenig Zellen, große Organe), eine kurze Generationsdauer, viele Nachkommen, einfache und preiswerte Haltung (ANKENY & LEONELLI, 2011; KÖCHY, 2008; RHEINBERGER, 2005; RUPPERT, 2011). Diese Kriterien gelten weitgehend auch für gewöhnliche Labororganismen, die meist für unspezifische oder den Organismus entsprechende Forschungsvorhaben genutzt werden. Modellorganismen hingegen werden als Repräsentanten einer breiten Organismengruppe, in der Humanmedizin als Menschenersatz genutzt, mit dem Ziel, die am Modellorganismus generierten Erkenntnisse zu übertragen (ANKENY & LEONELLI, 2011; RHEINBERGER, 2005): Ihr Einsatz als Modell richtet sich nach den spezifischen Eigenschaften, die im Modellorganismus zugänglicher als im Original vorliegen (ABEL et al., IN DRUCK). Als Modell wird demzufolge nicht der individuelle Organismus betrachtet, sondern die strukturelle oder physiologische Besonderheit wird genutzt, um allgemein gültige Aussagen für die Klärung eines Phänomens bei Lebewesen abzuleiten (ANKENY & LEONELLI, 2011; KÖCHY, 2008; RHEINBERGER, 2005; RUPPERT, 2011).

2.2 Modellorganismen im Biologieunterricht

Der Einsatz von Lebewesen im Unterricht ist von der Reflexion über Modellorganismen zu unterscheiden: Modellorganismen sind als Untersuchungsmittel zu verstehen, die für einen bestimmten Zweck in experimentellen Tätigkeiten eingesetzt werden. Sie fungieren dabei als theoretische Repräsentanten einer Organismengruppe und damit als idealisiertes Modellobjekt zur Gewinnung von fachwissenschaftlichen Erkenntnissen (ANKENY & LEONELLI, 2011; KÖCHY, 2008; RHEINBERGER, 2005). Beim Einsatz von Lebewesen im Biologieunterricht hingegen stehen Primärerfahrungen im Mittelpunkt, wodurch die Vermittlung von Fachwissen unter anderem mit Motivation und Emotionen verbunden werden soll. Oft stellen die Untersuchungsobjekte dabei lediglich ein zugängliches Abbild der Realität dar und werden von daher nicht als Werkzeuge in der Erkenntnisgewinnung verstanden (BÄTZ, DAMERAU, LORENZEN & WILDE, 2011; GEHLHAAR, 2008).

Ferner werden bei den Modellorganismen als Forschungsmittel auch ethische Fragen bedeutsam (Luther-Kirner, 2007; SK Tierexperimentelle Forschung, 2004), wodurch Aspekte wie Tierschutz und gesetzliche Regelungen vermittelt werden können (BUNDESMINISTERIUM FÜR JUSTIZ UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMJV), 2006: TierSchG, Abschnitt 5, §7-9). Modellorganismen können somit auch unter moralisch-ethischer Perspektive reflektiert und zur Förderung von Bewertungskompetenz genutzt werden (VGL. HÖBLE, 2007).

2.3 Modellkompetenz im Biologieunterricht

Modellkompetenz lässt sich in fünf Teilkompetenzen (*Eigenschaften von Modellen, Alternative Modelle, Zweck von Modellen, Testen von Modellen, Ändern von Modellen*) mit jeweils drei Niveaus strukturieren (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010). In zahlreichen Studien (KRELL et al., 2016) wurde dieses theoretische Konstrukt genutzt, um auf Modellkompetenz zu schließen (GOGOLIN & KRÜGER, 2016) und sie zu fördern (GÜNTHER, FLEIGE, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2017).

Beim Reflektieren über Modellorganismen als besonderer Modelltyp (vgl. Kap. 2.1 und 2.2) werden vor allem die Teilkompetenzen *Eigenschaften von Modellen* und *Zweck von Modellen* bedeutsam: Das Niveau I der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* beschreibt das Modell als Kopie von etwas. Wird dem Niveau II entsprechend reflektiert, wird das Modell als idealisierte Repräsentation verstanden. Sobald das Modell als theoretische Rekonstruktion für ein Phänomen verstanden wird, kann das Niveau III erfasst werden. Da Modellorganismen als Ersatzobjekte beispielsweise für eine generelle Erkenntnis in der Biologie oder für den Menschen genutzt werden, ist zu vermuten, dass in der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* beim Reflektieren über Modellorganismen mit Schüler*innen höhere Niveaus zu erwarten sind (ANKENY & LEONELLI, 2011; RHEINBERGER, 2005). Beim *Zweck von Modellen* entspricht dem Niveau I die Beschreibung oder Veranschaulichung von etwas mit Hilfe eines Modells. Das Modell zur Erläuterung bekannter Zusammenhänge im Original zu nutzen, ist dem Niveau II zuzuordnen. Reflektieren im höchsten Niveau III bedeutet, dass mit Hilfe des Modells Voraussagen über das Phänomen getroffen werden können. Auch bezüglich der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* ist zu erwarten, dass Schüler*innen beim Reflektieren über Modellorganismen Aussagen in den höheren Niveaus formulieren, da deren Einsatz in biomedizinischer Forschung den Zweck verfolgt, Erkenntnisse auf den Menschen, eine größere Organismengruppe oder sogar auf alle Lebewesen zu übertragen (ANKENY & LEONELLI, 2011; KÖCHY, 2008; RHEINBERGER, 2005).

In der vorliegenden Studie sollen in den Vorstellungen der Schüler*innen über Modellorganismen Situationen gefunden werden, in denen in höheren Niveaus reflektiert wird (VGL. KRELL et al., 2016).

3 Fragestellung und Hypothesen

In dieser Studie werden Schülervorstellungen auf Aspekte hin untersucht, die Modellorganismen als Werkzeuge in der Erkenntnisgewinnung begreifen. Daraus ergeben sich folgende Fragestellung und Hypothesen:

Inwieweit lassen sich in Schülervorstellungen Konzepte identifizieren, die sich auf Modellorganismen als Werkzeuge in der Erkenntnisgewinnung beziehen?

H1: Modellorganismen lösen im Sinne der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* elaborierte Reflexionen über Modelle aus. Dabei werden Modellorganismen von den Schüler*innen im Idealfall als theoretisch angenommene Repräsentanten verstanden (ANKENY & LEONELLI, 2011; KRELL et al., 2016; 2016; RHEINBERGER, 2005).

H2: Der Einsatz von Modellorganismen löst im Sinne der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* elaborierte Reflexionen über Modelle aus. Dabei leiten Schüler*innen aus den Untersuchungen mit Modellorganismen Vorhersagen mit Bezug auf andere biologische Systeme ab (KÖCHY, 2008; KRELL et al., 2016; RHEINBERGER, 2005).

4 Methodik

Grundlage dieser Untersuchung bildet das Modell der didaktischen Rekonstruktion: Die drei Untersuchungskomponenten *fachliche Klärung*, *Lernpotential-Diagnose* und *didaktische Strukturierung* schaffen durch ihre Abhängigkeit voneinander eine rekursive Vorgehensweise in der biologiedidaktischen Forschung (GROPENGBIEBER & KATTMANN, 2013). Dieser Artikel befasst sich im Sinne der Lernpotenzial-Diagnose mit der Erfassung von Schülervorstellungen zu Modellorganismen. Beim Reflektieren über Modellorganismen werden gedankliche Vorstellungen geäußert, die aufgrund ihrer Komplexität zu Konzepten strukturiert werden können. Das individuelle Vorverständnis der Schüler*innen zu Modellorganismen wird erfasst und analysiert, um allgemeine Konzepte und Anknüpfungspunkte im Verstehensprozess zu identifizieren (GROPENGBIEBER, 2001).

Zur Erfassung der Lernerperspektiven über Modellorganismen wurden halbstrukturierte Interviews mit Schüler*innen ($N = 15$) eines Berliner Gymnasiums durchgeführt (NIEBERT & GROPENGBIEBER, 2014). Die Stichprobe der zwischen 14 und 16 Jahre alten Proband*innen wurde zufällig unter Beachtung eines ausgeglichenen Geschlechterverhältnisses ausgewählt. Für die Erfassung der Lernerperspektiven wurde ein theoriegeleiteter Leitfaden entwickelt und erprobt, der sich in verschiedene Themenfelder unterteilen lässt (NIEBERT & GROPENGBIEBER, 2014): der Begriff Modellorganismus, der Einsatz von..., die Merkmale von..., die Funktionen von..., eine ethisch-moralische Perspektive über... und die Bedeutung für die Wissenschaft von ... *Modellorganismen*.

Zu Beginn des Interviews werden Impulse (Karten) ausgelegt. Die erste Karte trägt den Begriff Modellorganismus, wodurch die Schüler*innen angehalten werden, ihre Vorstellungen zu äußern. Im Folgenden werden Karten mit ausgewählten Modellorganismen wie der Hausmaus, dem Kolibakterium oder auch der Acker-Schmalwand vorgelegt. Mit Hilfe dieser Beispiele sollen die Proband*innen mögliche Forschungsvorhaben beschreiben und angeregt werden, innerhalb der unterschiedlichen Themenfelder des Leitfadens mit ihrer Hilfe zu reflektieren. In den Interviews wird soweit wie möglich eine wissenschaftliche Perspektive eingenommen, wobei auch eigene, fiktive Forschungsvorhaben mit Modellorganismen beschrieben werden. Die Proband*innen werden dabei nach der Rolle, die der Modellorganismus in ihren Untersuchungen spielt, nach Bedingungen, die ihrer Meinung nach erfüllt sein müssen, und nach dem Zweck, der ihrer Untersuchung zugrunde liegt, gefragt. Impulse sind beispielsweise „Welche Bedingungen bzw. Merkmale müssen für deine Untersuchung mit diesem Modellorganismus erfüllt sein?“, „Begründe deine Wahl dieses Modellorganismus in deinem Forschungsvorhaben.“ und bei vorherigem Ausschluss eines Modellorganismus für ein bestimmtes Vorhaben „Wenn ich dir jetzt sage, dass dieser Modellorganismus genutzt wurde, um etwas über den Menschen herauszufinden, wie würdest du dir das erklären?“

Die Auswertung der Daten erfolgt nach der qualitativen Inhaltsanalyse (MAYRING, 2010). In dieser Untersuchung handelt es sich um eine inhaltlich-strukturierende Inhaltsanalyse (SCHREIER, 2014): Das transkribierte Datenmaterial wird systematisch auf zuvor ausgewählte Aspekte hin analysiert. Diese aus der Theorie abgeleiteten Aspekte werden in der Datenanalyse bestätigt, modifiziert oder weiter ausdifferenziert. Die Datenanalyse erfolgt dabei computergestützt unter Verwendung der Software MAXQDA. Die Kategorien wurden in einer Zweitkodierung auf Objektivität und Trennschärfe überprüft (siehe Tab. 1: Interrater-Reliabilität; WIRTZ & CASPAR, 2002).

5 Ergebnisse

Für die Darstellung der Ergebnisse in diesem Beitrag wurden vier der insgesamt 15 durchgeführten Interviews zufällig ausgewählt und ausgewertet. In den Interviews wurden wiederkehrende Konzepte identifiziert. Im Folgenden werden in Bezug auf die Hypothesen die Kategorien *Eigenschaften von Modellorganismen* und *Funktionen von Modellorganismen* aus dem Kategoriensystem beschrieben.

Das Kategoriensystem

Die Kategorie *Eigenschaften von Modellorganismen* ist in drei Subkategorien strukturiert (Tab. 1), die sich an den drei Niveaustufen der Teilkompetenz *Eigenschaften von Modellen* (VGL. KRELL et al., 2016) orientieren.

Tab. 1: Kategorie *Eigenschaften von Modellorganismen* mit Subkategorien und deren Beschreibung sowie einem Ankerbeispiel ($,69 \leq \kappa \leq ,73$).

Sub-kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel
Kopie (N I)	Kopie mit sehr großer Ähnlichkeit zum Original; wahrheitsgetreues Duplikat; Versuchsobjekt seiner Art; Verwandtschaft sehr eng (Vielfalt einer Art)	<i>[...], dass das von der selben Fruchtfliege ist. Und nicht von einer anderen Art. Sobald es eine andere Art ist, gibt es veränderte Ergebnisse und deswegen muss es dieselbe Art sein und eventuell auch dieselbe Umgebung.</i>
Ersatzobjekt (N II)	Ähnlichkeit in bestimmten Teilen des Originals; fokussierte Merkmale sind Kopie; unwichtige Merkmale sind vernachlässigt; Ersatzobjekt mit Mängeln bzw. Unterschieden zum Original; Ähnlichkeit wegen evolutiver Nähe/Ferne (Verwandtschaftsbeziehung)	(1) <i>Generell würde ich ein Tier nehmen, was dem Menschen am ähnlichsten ist, um Gemeinsamkeiten aufweisen zu können.</i> (2) <i>Aber [bei der] Maus, da es ein relativ kleiner Körper ist, kann man da Bakterien besser nachweisen als in einem großen Organismus wie zum Beispiel in einem Affen.</i>
theoretischer Repräsentant (N III)	Ähnlichkeit ist auf eine strukturelle und/oder physiologische Eigenschaft begrenzt; Rekonstruktion zur Ableitung von Hypothesen über das Original; Ähnlichkeit ist nicht erforderlich, aber möglich; fokussiert wird ein Ausschnitt (z. B. strukturelle oder molekulare Ebene); Verwandtschaftsbeziehung wird vernachlässigt	<i>Erklären würde ich mir, [dass man Aplysia genutzt hat], dass irgendeine bestimmte Eigenschaft mit dem Menschen übereinstimmt, so dass man einen Vergleich anstellen könnte.</i>

Anmerkung: Das Niveau (N) stellt den Bezug zum Kompetenzmodell der Modellkompetenz her (vgl. Krell et al., 2016; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010).

Die Kategorie *Funktionen von Modellorganismen* wurde unter Einbezug der Teilkompetenz *Zweck von Modellen* (VGL. GRÜNKORN, 2014; KRELL et al., 2016) in fünf Subkategorien strukturiert (Tab. 2).

Tab. 2: Kategorie *Funktionen von Modellorganismen* mit Subkategorien und deren Beschreibung sowie einem Ankerbeispiel ($,63 \leq \kappa \leq ,74$).

Subkategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel
Darstellung (N I)	Zeigen eines Sachverhalts	<i>Irgendwas, das veranschaulicht.</i>
Wissen und Kommunikation (N I)	Erleichterter Zugang von sonst unzugänglichem Sachverhalt; Vermittlung von bloßen Informationen (Fakten)	<i>Um zu gucken, ob der Affe irgendwie eingeschränkt wird in seiner Lebensweise, ob es ihm vielleicht schlechter geht, vielleicht auch besser oder sowas.</i>
Erklären und Verstehen (N II)	Erklären von Zusammenhängen, um einen (komplexen) Sachverhalt besser zu verstehen, z. B. von Vorgängen, Prozessen und Wirkungen	<i>Und [die Pflanze] als Modell sozusagen nimmt, um etwas besser zu verstehen oder um etwas nachzuvollziehen, was passiert.</i>
Voraussage (N III)	Um Unbekanntes über das Original vorherzusagen; um Hypothesen über das Original abzuleiten	<i>Ich würde die Behauptung aufstellen, dass es gegen den Großteil des Unkrauts vorgeht.</i>
Allgemeine Forschung (N III)	Einsatz in der Forschung, um Unbekanntes herauszufinden und/oder etwas Neues zu entwickeln	<i>Ich würde sagen, dass die Funktion eines Modellorganismus vorwiegend zur Forschung dient, um bestimmte offene Fragen beantworten zu können, die man mit Hilfe dieses Organismus und dessen Eigenschaften beantworten könnte.</i>

Anmerkung: Das Niveau (N) stellt den Bezug zum Kompetenzmodell der Modellkompetenz her (vgl. KRELL et al., 2016; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010).

Eigenschaften von Modellorganismen

In den ausgewerteten Interviews wird die Rolle des Modellorganismus in der wissenschaftlichen Forschung als *theoretischer Repräsentant* neben der Idee eines bloßen *Ersatzobjektes* angeführt. Demzufolge wird der zu untersuchende Organismus als Modell von und für Lebewesen mit den Eigenschaften höherer Niveaus reflektiert (Tab. 3; ANKENY & LEONELLI, 2011; KRELL et al., 2016).

In Box 1 sind Beispiele aus den Interviews für die Reflexion des Einsatzes von Modellorganismen aufgeführt, die das Niveau III widerspiegeln. Die Aussagen traten während oder nach der Beschreibung eines eigenen fiktiven Forschungsvorhabens, in dem eine wissenschaftliche Perspektive eingenommen werden sollte, auf. Auffallend ist, dass vor allem die menschliche Gesundheit und Unversehrtheit thematisiert werden.

Die Proband*innen W01 und M08 äußern, dass sie die Erkenntnisse aus ihren Forschungen mit einem oder mehreren Modellorganismen auf eine größere Organismengruppe (W01) oder auf den Menschen (M08) übertragen würden (Box 1). M02 beschreibt explizit, dass bei einer Erkenntnis über eine größere Organismengruppe bestimmte Eigenschaften gleich sein müssen, damit ein Modellorganismus stellvertretend in seiner Untersuchung eingesetzt werden

kann (Box 1). Proband M05 wählt einen Vergleich von zwei Modellorganismen, um die Wahl des vorher ausgeschlossenen Modellorganismus für die Erforschung des Menschen zu erklären (Box 1). Das Testen von Affe und Meeresschnecke hat seiner Meinung nach eine unterschiedliche Eignung bezüglich der Untersuchung (Zweck) ergeben, wodurch er die Änderung des Modellorganismus nachvollzieht.

Box 1: Aussagen von Schüler*innen zu *Eigenschaften von Modellorganismen* zur Subkategorie *theoretischer Repräsentant (NIII)*.

<p>Interviewerin: <i>Was machst du mit deiner Erkenntnis aus diesen zwanzig Testungen [von Unkrautarten zur Herstellung eines Herbizids]?</i></p> <p>W01: <i>Ich würde sie auf die anderen Pflanzen übertragen, wenn ich weiß, dass sie die gleichen Eigenschaften besitzen.</i></p>
<p>Interviewerin: <i>Wie könntest du jemanden, der in Australien lebt und sagt, naja, wir haben aber genau diese Fliege nicht, wie könntest du ihn überzeugen, dass er auch annimmt, dass seine Fliege [zur Lösung des Müllproblems] funktioniert?</i></p> <p>M02: <i>Man sieht ja, dass Fliegen eigentlich immer das gleiche Verhalten haben. Und immer die gleichen Eigenschaften haben und immer nur auf Aas gehen und Müll auflösen und sowas alles. Und sich dadurch fortpflanzen.</i></p>
<p>Interviewerin: <i>Wenn ich dir jetzt sage, dass man zum Beispiel die Meeresschnecke Aplysia genutzt hat, um etwas über den Menschen herauszufinden. [...] Wie kannst du dir das erklären?</i></p> <p>M05: <i>Eventuell, dass anatomische Gegebenheiten bei der Meeresschnecke sehr ähnlich dem Menschen sind und dass sie auf gewisse Reize reagiert, wo zum Beispiel der Mensch nicht so anfällig ist, oder der Affe. Dass sie sehr schnell sehr drastische Veränderungen vornimmt und so ein besserer Indikator ist als zum Beispiel ein Affe.</i></p>
<p>Interviewerin: <i>Jetzt hast du eigentlich ein positives Ergebnis, weil die Strahlung in unserer Umgebung, die du getestet hast, nichts mit dem Affen macht. Was machst du dann mit dieser Erkenntnis aus deiner Untersuchung?</i></p> <p>M08: <i>Weil [die Organisationen, die die Atomkraftwerke kontaktieren] jetzt zum Beispiel sagen, dass der Test mit dem Affen beziehungsweise der Test mit dem Lebewesen ergeben hat, dass bei so und so viel Strahlung mehr es uns nicht mehr gut gehen würde.</i></p>

Funktionen von Modellorganismen

Das Niveau III mit den Teilkategorien *Voraussage* und *allgemeine Forschung* wird neben anderen Perspektiven von allen Proband*innen aufgegriffen.

In Box 2 und 3 sind Beispiele aus den Interviews für die Reflexion der Rolle der Modellorganismen in den eigenen, fiktiven Forschungsvorhaben aufgeführt, die das Niveau III widerspiegeln. Die Untersuchungen, die die Proband*innen beschreiben, um etwas vorherzusagen oder herauszufinden, sind vor allem im

Bereich der Pharmazie und Medizin einzuordnen und betreffen zumeist das Wohl des Menschen.

Box 2: Aussagen von Schüler*innen innerhalb der Kategorie Funktionen von Modellorganismen zur Subkategorie Voraussage (N III).

Interviewerin: *Welche Sachen [kann man mit der Maus in deiner Untersuchung herausfinden]?*

M05: *Um zu gucken, ob Krankheiten übertragen werden und die Maus eignet sich halt wie gesagt besser, da man da Bakterien besser nachweisen kann als zum Beispiel in einem größeren Körper wie vom Affen oder vom Menschen.*

Interviewerin: *Du sagst, man könne die in Untersuchungen einsetzen. Fällt dir vielleicht eine Fragestellung ein, die man überprüfen könnte?*

M08: *Zum Beispiel, dass man einem kranken Tier oder einem kranken Insekt oder sowas ein Medikament gibt, was das Tier heilen soll und dann funktioniert es und dann ist es ja auch wahrscheinlich, dass es dann auch irgendwann an die Menschen vielleicht in veränderter Weise oder relativ ähnlich weitergegeben wird.*

Box 3: Aussagen von Schüler*innen innerhalb der Kategorie Funktionen von Modellorganismen zur Subkategorie Allgemeine Forschung (N III).

Interviewerin: *Wie würdest du jetzt abschließend erklären, was ein Modellorganismus ist?*

W01: *Etwas, das Eigenschaften aufweist, was wir als Menschen zur Forschung nutzen können, damit wir für uns selber zum Beispiel die Krankheiten heilen können oder vorbeugen können.*

Interviewerin: *Nenne mir Funktionen [von Modellorganismen]?*

M02: *In der Medizin zum Beispiel. Dass man zum Beispiel Medikamente findet für den Menschen, für verschiedene Krankheiten.*

In den Boxen 2 und 3 reflektieren die Proband*innen die Funktion eines Modellorganismus dem höchsten Niveau entsprechend (N III). Proband M05 reflektiert die Funktion der Maus unter Verwendung eines Vergleichs von zwei Modellorganismen und erwähnt dabei, dass die Maus aufgrund bestimmter Eigenschaften geeigneter sei als der Affe, um sein Forschungsvorhaben umzusetzen (Box 2). Wohingegen W01 und M02 die allgemeine Erforschung von Krankheiten an Modellorganismen zum Wohle der Menschheit formulieren, was die spätere Übertragung der Erkenntnisse auf den Menschen indirekt einschließt (Box 3), erklärt M08 eine umfassende Vorgehensweise seiner Untersuchung, um die Weitergabe des Medikaments an den Menschen direkt vorherzusagen (Box 2).

6 Diskussion

Die Interrater-Reliabilitäten der beiden Kategorien *Eigenschaften von Modellorganismen* und *Funktionen von Modellorganismen* befinden sich mit den in den Tabellen (Tab. 1; 2) angegebenen Werten in einem guten Bereich,

was einer starken Übereinstimmung zwischen den Beurteilern entspricht (WIRTZ & CASPAR, 2002).

Die Beispiele (Box 1) weisen Reflexion über die *Eigenschaften von Modellorganismen* im höchsten Niveau aus, wobei der Modellorganismus als Stellvertreter für eine Organismengruppe verstanden wird (Box 1; ANKENY & LEONELLI, 2011; RHEINBERGER, 2005). Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass zumeist anthropozentrische Forschungsvorhaben von den Schüler*innen beschrieben werden (Box 1, M02), wodurch die Übertragung vom Modellorganismus auf den Menschen stattfinden muss, um deren Einsatz zu begründen (Box 1, 2 und 3). Bei fast allen thematisierten Forschungsvorhaben steht das Wohl des Menschen und seine Gesunderhaltung im Mittelpunkt.

Die *Funktionen von Modellorganismen* liefern auch Momente des Reflektierens auf Niveau III, wobei der Modellorganismus als Forschungsmittel in Untersuchungen, in denen er als Werkzeug zur Voraussage dient, verstanden wird (Tab. 2, Box 2 und 3; KÖCHY, 2008; KRELL et al., 2016; RHEINBERGER, 2005). Proband M05 äußert darüber hinaus, dass sich Unterschiede in der Eignung von Modellorganismen in Abhängigkeit einer bestimmten Fragestellung ergeben (Box 1 und 2). Durch geeignete Impulse könnte hier auch die Teilkompetenz *Testen von Modellen* vertiefter angesprochen werden, um ein umfassend elaboriertes Modellverstehen zu fördern (LEE & KIM, 2014; TERZER, 2013).

Modellorganismen sind als besonderer Modelltyp von gewöhnlichen Labororganismen, die beispielsweise zur Erforschung der Variation innerhalb einer Art eingesetzt werden, zu unterscheiden (ANKENY & LEONELLI, 2011). In den Aussagen, in denen Modellorganismen als Repräsentanten einer Organismengruppe trotz mangelnder Ähnlichkeit zum Original verstanden werden (Tab. 1; Box 1), kann davon ausgegangen werden, dass die Proband*innen Modellorganismen als besonderen Modelltyp reflektieren. Dass Modellorganismen zur allgemeinen Forschung oder zur Voraussage eingesetzt werden, die nicht nur die individuellen, experimentell eingesetzten Lebewesen betreffen, ist ebenfalls ein Indiz für das Verständnis von Modellorganismen als Modelle in der Erkenntnisgewinnung (Tab. 2; Box 2 und 3). In den Interviews wurde nicht explizit darauf eingegangen, ob die Proband*innen jeden Labororganismus mit einem Modellorganismus in der Forschung gleichsetzen (ANKENY & LEONELLI, 2011; KÖCHY, 2008). Zur genauen Erfassung dieser Unterscheidung zwischen Modellorganismen und zufällig gewählten Lebewesen (u. a. Wildtypen) könnte der Leitfaden um Impulse bezüglich der kriteriengeleiteten Entwicklung von standardisierten Modellorganismen erweitert werden (ANKENY & LEONELLI, 2011).

In den ausgewerteten Interviews hat keiner der Proband*innen die Auseinandersetzung mit Modellorganismen in experimentellen Tätigkeiten aus ethischen Gründen abgelehnt. Die meist humanmedizinischen Fragestellungen veranlassen die Schüler*innen, in den von ihnen beschriebenen Forschungsvorhaben Modellorganismen als Menschenersatz zur Erforschung und Entwicklung neuer Mittel und Methoden zu verstehen (RHEINBERGER, 2005). Die Analyse sowohl der Anwendungsgebiete, in denen der Modellorganismus vornehmlich als Repräsentant zur Vorhersage verstanden wird, als auch der Perspektive, unter der sie den Einsatz reflektieren, kann zur Entwicklung didaktischer Leitlinien beitragen, um ein elaboriertes Modellverstehen im Biologieunterricht zu fördern (GROPENGIEBER & KATTMANN, 2013).

7 Ausblick

Im Folgenden werden weitere Interviews ($n = 11$) analysiert, ob auch diese Schüler*innen in den entsprechenden Kategorien im Sinne von Niveau III reflektieren. Darauf aufbauend können Vorschläge im Sinne der didaktischen Strukturierung zum Einsatz von Modellorganismen im Biologieunterricht abgeleitet werden, mit denen Aspekte der Modellkompetenz gefördert werden können.

Im Zuge der Kodierung werden die Kategorien *Anwendungsgebiete von Modellorganismen* und *Ethik beim Einsatz von Modellorganismen* in allen Interviews berücksichtigt. Bisher können als Bereiche u. a. Wirtschaft und Technik sowie Biologie als Wissenschaft identifiziert werden, allen voran allerdings der pharmazeutisch-medizinische Bereich, der meist unter einer anthropozentrischen Perspektive ausgeführt wird, wie sich bereits in den dargestellten Textbeispielen andeutet (Box 1, 2 und 3). Darüber hinaus wird das bisher entwickelte Kategoriensystem gegebenenfalls erweitert.

Zitierte Literatur

- ABEL, S., KRELL, M. & KRÜGER, D. (in Druck): Reflektieren über Modellorganismen: Eine Möglichkeit zur Förderung des Modellverstehens im Biologieunterricht. *MNU*.
- ANKENY, R. A. & LEONELLI, S. (2011): What's so special about model organisms? *Studies in History and Philosophy of Science*, 42, 313-323.
- BÄTZ, K., DAMERAU, K., LORENZEN, S. & WILDE, M. (2011): Tierpflege als Beziehungspflege!? Die Wirkung von gemeinsamer Haltung von Zwergmäusen im Klassenraum auf die Schülerwahrnehmung ihrer sozialen Einbindung. *Berichte aus Institutionen für Didaktik der Biologie*, 18, 43-52.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR JUSTIZ UND VERBRAUCHERSCHUTZ (BMJV) (Hrsg.) (2006): *Tierschutzgesetz*. Berlin: BMJV.
- GEHLHAAR, K.-H. (2008): Lebende Organismen. In H. GROPENGIEBER & U. KATTMANN (Hrsg.) *Fachdidaktik Biologie*. Köln: Aulis. 298-311.

- GIERE, R., BICKLE, J. & MAULDIN, R. (2006): *Understanding scientific reasoning*. London: Thomson Learning.
- GOGOLIN, S. & KRÜGER, D. (2016): Konstruktion von Diagnoseaufgaben zum Zweck von Modellen. *Biologie Lehren und Lernen – Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 1(20), 44-62.
- GOUVEA, J. & PASSMORE, C. (2017): ‘Models of’ versus ‘models for’. *Science & Education*, 26, 49–63.
- GROPENGIEBER, H. (2001): *Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum, Carl-von-Ossietzky-Universität.
- GROPENGIEBER, H. & KATTMANN, U. (2013): Didaktische Rekonstruktion. In: H. GROPENGIEBER, U. HARMS & U. KATTMANN (Hrsg.) *Fachdidaktik Biologie*. Hallbergmoos: Aulis, 16-28.
- GRÜNKORN, J. (2014): *Modellkompetenz im Biologieunterricht - Empirische Analyse von Modellkompetenz bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I mit Aufgaben im offenen Antwortformat* (Dissertation): Freie Universität Berlin.
- GÜNTHER, S., FLEIGE, J., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (2017): Interventionsstudie mit angehenden Lehrkräften zur Förderung von Modellkompetenz im Unterrichtsfach Biologie. In: C. GRÄSEL & K. TREMPER (Hrsg.) *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals*. Heidelberg: Springer. 215-236.
- HÖBLE, C. (2007): Theorien zur Entwicklung und Förderung moralischer Urteilsfähigkeit. In D. KRÜGER & H. VOGT (Hrsg.) *Theorien in der biolopedidaktischen Forschung*. Berlin: Springer. 197–208.
- KMK KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER (Hrsg.) (2005): *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Wolters Kluwer.
- KÖCHY, K. (2008): *Biophilosophie zur Einführung*. Hamburg: Junius.
- KRELL, M., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (2014): How year 7 to year 10 students categorise models: Moving towards a student-based typology of biological models. In D. KRÜGER & M. EKBORG (Hrsg.) *Research in biological education*, Freie Universität Berlin. 117–131.
- KRELL, M., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (2016): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In A. SANDMANN & P. SCHMIEMANN (Hrsg.) *Biologie lernen und lehren. Band 1*, Berlin: Logos. 83–102.
- KRÜGER, D., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRELL, M. (2016): Kommentar zu Primärreaktionen der Fotosynthese: Funktionsmodell zur Abgrenzung von Energietransfer und Elektronenübertragung. *MNU*, 69, 277-279.
- LEE, S. & KIM, H.-B. (2014): Exploring secondary students’ epistemological features depending on the evaluation levels of the group model on blood circulation. *Science & Education*, 23, 1075–1099.
- LUTHER-KIRNER, B. (2007): *Gentechnik und deren ethische Bewertung. Eine analytisch orientierte Bestandsaufnahme* (Dissertation): Weingarten: Pädagogische Hochschule.
- MAYRING, P. (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. In G. MEY & K. MRUCK (Hrsg.) *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- MÜLLER, W. A. & HASSEL, M. (2012): *Entwicklungsbiologie und Reproduktionsbiologie des Menschen und bedeutender Modellorganismen*. Berlin: Springer.
- NIEBERT, K. & GROPENGIEBER, H. (2014): Leitfadengestützte Interviews, In D. KRÜGER, I. PARCHMANN & H. SCHECKER (Hrsg.) *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer: Berlin. 121-132.
- RHEINBERGER, H.-J. (2005): Überlegungen zum Begriff des Modellorganismus in der biologischen und medizinischen Forschung. In Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.) *Modelle des Denkens, Debatte 2*. Berlin: Oktoberdruck. 69-74.
- RUPPERT, W. (2011): Modellorganismen. *Unterricht Biologie*, 363.
- SCHREIER, M. (2014): *Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten [59 Absätze]*. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 15(1), Art. 18.
- STÄNDIGE SENATSKOMMISSION FÜR TIEREXPERIMENTELLE FORSCHUNG (Hrsg.) (2004): *Deutsche Forschungsgemeinschaft. Tierversuche in der Forschung*. Bonn: Lemmens.
- TERZER, E. (2013): *Modellkompetenz im Kontext Biologieunterricht – Empirische Beschreibung von Modellkompetenz mithilfe von Multiple-Choice Items* (Dissertation): Humboldt-Universität zu Berlin.
- UPMEIER ZU BELZEN, A., & KRÜGER, D. (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- WIRTZ, M. & CASPAR, F. (2002): *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität*. Hogrefe: Göttingen.