

Modellierungsprozesse von Lehramtsstudierenden der Biologie

Maximilian Göhner & Moritz Krell

maximilian.goehner@fu-berlin.de – moritz.krell@fu-berlin.de

Freie Universität Berlin: Didaktik der Biologie,

Schwendenerstraße 1, 14195 Berlin

Zusammenfassung

Um im naturwissenschaftlichen Unterricht Modellierungsprozesse von SchülerInnen unterstützen zu können, benötigen Lehrkräfte neben dem Modellverstehen auch Fähigkeiten des Modellierens als Teil ihrer professionellen Kompetenz. Zur Beschreibung von Modellierungsprozessen wurden zwei angehende Biologielehrkräfte in dieser Studie dazu aufgefordert, zeichnerisch ein Modell des Inneren einer Blackbox zu entwickeln. Ihr Vorgehen dabei wurde videografiert, zusätzlich wurde das Modellverstehen der ProbandInnen mit einem Fragebogen erfasst. Die Modellierungsprozesse wurden eventbasiert codiert und ausgewertet, dabei konnten in einem Fall nur explorierende und herstellende Tätigkeiten des Modellierens beobachtet werden (expressives Modellieren). Im zweiten Fall zeigten sich auch Tätigkeiten, bei denen wiederholt Vorhersagen vom Modell über das Original abgeleitet wurden (zyklisches Modellieren). Es gibt keine Hinweise auf einen direkten Zusammenhang zwischen dem umgesetzten Modellierungsprozess und dem Modellverstehen.

Abstract

To guide modeling practices of students in science lessons, science teachers need meta-modeling knowledge as well as modeling skills as part of their professional competencies. Aiming to describe modeling processes, two pre-service biology teachers were presented with a black box and challenged to draw a model of its inner system. Their modeling processes were videotaped and their meta-modeling knowledge was assessed through a questionnaire. Modeling processes were coded and analyzed based on events. One pre-service teacher showed activities limited to the exploration of the black box and the development of an accurate representation of it (expressive modeling). The other pre-service teacher additionally used his developed model repeatedly for predictions regarding the

black box's behavior (cyclic modeling). No indications were found for a consistent relation between meta-modeling knowledge and expressed modeling processes.

1 Einleitung

Modelle sind in den Naturwissenschaften von zentraler Bedeutung (LAUBICHLER & MÜLLER, 2007; ODENBAUGH, 2005) und werden auch in Unterrichtskontexten als wichtig bewertet, zum Beispiel zur Förderung eines allgemeinen Wissenschaftsverständnisses (WINDSCHITL, THOMPSON & BRAATEN, 2008). Modelle können als zweckgerichtet entwickelte Entitäten (*epistemic artifacts*; KNUUTTILA, 2005) aufgefasst werden, in denen ausgewählte Eigenschaften eines Originals berücksichtigt, andere hingegen vernachlässigt sind. Modelle werden in den Naturwissenschaften für vielfältige Zwecke entwickelt, zum Beispiel für die Untersuchung von Phänomenen, die Entwicklung von Erklärungen oder für die Darstellung und Kommunikation (LAUBICHLER & MÜLLER, 2007; ODENBAUGH, 2005).

Modellbasiertes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht kann kognitive, meta-kognitive, soziale und erkenntnisgewinnende Fähigkeiten fördern und so insgesamt den Lernerfolg erhöhen (LOUCA & ZACHARIA, 2012). Dazu werden Modelle im Unterricht als Medien zur Veranschaulichung oder Erklärung genutzt (Herstellungsperspektive; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) sowie prädiktiv als Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung eingesetzt (Anwendungsperspektive; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010). Schulische Steuerungsdokumente ordnen Modelle in den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung ein und fordern explizit, dass SchülerInnen selbst modellieren sowie Hypothesen aus Modellen ableiten (KMK, 2005). Lehrkräfte naturwissenschaftlicher Fächer benötigen daher Modellkompetenz (d. h. Fähigkeiten des Modellierens und ein ausgeprägtes Modellverstehen; NICOLAOU & CONSTANTINOU, 2014) als Teil ihrer professionellen Kompetenz (GÜNTHER, FLEIGE, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2017), um entsprechende Lerngelegenheiten für SchülerInnen planen und durchführen zu können.

Bislang vorliegende Studien über die Modellkompetenz von Lehrkräften naturwissenschaftlicher Fächer konzentrieren sich vorwiegend auf die Erfassung, Beschreibung und Förderung des Modellverstehens (z. B. KRELL & KRÜGER, 2016). Studien über die Fähigkeiten im Bereich des praktischen Modellierens liegen bislang kaum vor (NICOLAOU & CONSTANTINOU, 2014). Die vorliegende Arbeit trägt dazu bei, diese Lücke in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung zu schließen.

Dieses unterscheidet drei übergeordnete Phasen des Modellierens: Exploration, Herstellung und Anwendung (LEISNER-BODENTHIN, 2006; LOUCA & ZACHARIA, 2012; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010).

Ausgehend vom dargestellten Prozessschema beginnt der Modellierungsprozess mit der Beobachtung eines Phänomens und der Exploration des zugrundeliegenden Systems, bei der Daten erfasst und dokumentiert werden (KRELL, WALZER, HERGERT & KRÜGER, 2017; LOUCA & ZACHARIA, 2012). Die Aktivierung von Analogien und Erfahrungen ermöglicht es dann ein Modell zu entwickeln, welches die für das Phänomen als relevant erachteten Variablen enthält (BROWN & CLEMENT, 1989). Das Modell kann zuerst auf interne Konsistenz sowie eine angemessene Darstellung des beobachteten Phänomens geprüft werden (Herstellungsperspektive bzw. Modelle als Medien; KRELL et al., 2017; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010).

Erst in der untersuchungsleitenden Anwendung des Modells durch das Ableiten von Vorhersagen wird der zyklische Charakter des Modellierens zur Erkenntnisgewinnung klar; das Modell wird durch die empirische Überprüfung der abgeleiteten Vorhersagen evaluiert. Werden die abgeleiteten Vorhersagen falsifiziert, muss das Modell optimiert oder gänzlich verworfen werden. In beiden Fällen schließt sich eine erneute Testung im beschriebenen Sinne an (Anwendungsperspektive bzw. Modelle als Werkzeuge; GIÈRE et al., 2006; KRELL et al., 2017; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010).

2.2 Modellkompetenz als Teil der professionellen Kompetenz von Biologielehrkräften

Anknüpfend an SHULMAN (1986) wird innerhalb der professionellen Kompetenz von Lehrkräften zwischen den Dimensionen des Professionswissen *content knowledge*, *pedagogical content knowledge* und *pedagogical knowledge* unterschieden (BAUMERT & KUNTER, 2013). Entsprechend wird in den ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung gefordert, dass angehende Biologielehrkräfte im Laufe ihres Studiums „Kenntnisse und Fertigkeiten ... im hypothesengeleiteten Experimentieren und Modellieren“ erwerben (KMK, 2017, S. 22), das heißt Modelle als Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung verstehen und nutzen können (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010). Die hier betrachteten Facetten der Modellkompetenz, Modellverstehen und Fähigkeiten des Modellierens, werden dem *content knowledge* zugeordnet (GÜNTHER et al., 2017; JUSTI & VAN DRIEL, 2005). Modellverstehen umfasst dabei Wissen über Modelle und das Modellieren, welches in die fünf Dimensionen *Eigenschaften von Modellen*, *Alternative*

Modelle, Zweck von Modellen, Testen von Modellen und Ändern von Modellen strukturiert werden kann (Kompetenzmodell der Modellkompetenz; UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010). Neben den kognitiven Fähigkeiten des Modellierens sind zur praktischen Umsetzung von Modellierungsprozessen (vgl. Abbildung 1) auch die volitionale, motivationale und soziale Bereitschaft zur Problemlösung relevant (UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010).

Bisherige Studien weisen darauf hin, dass angehende und praktizierende Lehrkräfte häufig über eher limitiertes Modellverstehen verfügen und Modelle oft primär als Medien betrachten (CRAWFORD & CULLIN, 2005; JUSTI & GILBERT, 2003; KRELL & KRÜGER, 2016; VAN DRIEL & VERLOOP, 1999). Entsprechend werden Modelle im naturwissenschaftlichen Unterricht nur selten im Sinne des zyklischen Modellierungsprozesses entwickelt, getestet und gegebenenfalls optimiert (CAMPBELL, OH, MAUGHN, KIRIAZIS & ZUWALLACK, 2015; KHAN, 2011; KRELL & KRÜGER, 2013, 2016). Campbell und Kollegen (z. B. CAMPBELL, OH & NEILSON, 2013) unterscheiden fünf Unterrichtsmuster (*modeling pedagogies*), nach denen Modelle im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt werden können: exploratives Modellieren (Untersuchung eines gegebenen Modellobjekts), expressives Modellieren (Herstellung eines Modells zur Erklärung), experimentelles Modellieren (einmaliges Ableiten und Testen von Hypothesen), evaluatives Modellieren (Vergleich alternativer Modelle) sowie zyklisches Modellieren (zyklischer Prozess des Entwickelns und Anwendens eines Modells; vgl. Abbildung 1). Im naturwissenschaftlichen Unterricht werden vorrangig die Unterrichtsmuster exploratives und expressives Modellieren umgesetzt (CAMPBELL et al., 2015).

Studien über Fähigkeiten und Vorgehensweisen beim praktischen Modellieren von Lehrkräften liegen kaum vor. KRELL und HERGERT (im Druck) beschreiben bei Biologie-Lehramtsstudierenden vornehmlich explorierende und herstellende Tätigkeiten und trennen dabei entsprechend des Prozessschemas (Abbildung 1) Explorations- und Herstellungsphasen zeitlich voneinander. SINS, SAVELSBERGH und VAN JOOLINGEN (2005) beobachteten bei SchülerInnen besonders häufig die Tätigkeit Zusammenfassung, dabei wird ein erreichter Fortschritt im Modellierungsprozess dokumentiert und paraphrasiert.

Es wird angenommen, dass ein ausgeprägtes Modellverstehen (CHENG & LIN, 2015; LOUCA & ZACHARIA, 2012; SCHWARZ et al., 2009), allgemeine kognitive Fähigkeiten (NEHRING, NOWAK, UPMEIER ZU BELZEN & TIEMANN, 2015), fachliches Vorwissen (RUPPERT, DUNCAN & CHINN, 2017) sowie Fähigkeiten naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (KRELL, UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2014) die Umsetzung von Modellierungsprozessen unterstützen.

3 Fragestellungen

Die vorliegende Studie untersucht drei Fragestellungen:

1. Welche Tätigkeiten setzen Biologie-Lehramtsstudierende beim Modellieren um?

Es wird erwartet, dass im Vorgehen der ProbandInnen vornehmlich explorierende und herstellende Tätigkeiten (vgl. Abbildung 1) umgesetzt werden (CAMPBELL et al., 2015; KHAN, 2011; KRELL & KRÜGER, 2013, 2016). Insbesondere Zusammenfassungen werden häufig und unabhängig von der Modellierungsphase auftretend erwartet (SINS et al., 2005).

2. Inwiefern lassen sich in den Modellierungsprozessen von Biologie-Lehramtsstudierenden die drei Phasen Exploration, Herstellung und Anwendung zeitlich voneinander abgrenzen (vgl. Abbildung 1)?

Es wird erwartet, dass Tätigkeiten, die theoriegeleitet derselben Phase zugeordnet werden, zusammen auftreten und somit Phasen der Exploration, Herstellung und Anwendung zeitlich voneinander abgegrenzt werden können (KRELL et al., 2017).

3. Inwiefern besteht ein Zusammenhang zwischen den gezeigten Tätigkeiten beim Modellieren und dem Modellverstehen von Biologie-Lehramtsstudierenden?

Es wird erwartet, dass ausgeprägtes Modellverstehen das vermehrte Auftreten von Tätigkeiten der Anwendungsphase unterstützt (CHENG & LIN, 2015; LOUCA & ZACHARIA, 2012; SCHWARZ et al., 2009).

4 Methodik

4.1 Setting

Um Modellierungsprozesse anregen und beobachten zu können wurden Biologie-Lehramtsstudierende mit einer „Wasser-Blackbox“ (KRELL et al., 2017) konfrontiert. Die Blackbox erwies sich bereits in einer früheren Studie mit SchülerInnen als wirksame Methode, um Modellierungsprozesse anzuregen (KOCH, KRELL & KRÜGER, 2015). Um Modellierungsprozesse und eine kreative Analogiebildung zu unterstützen (ORSENNE, 2015), wird den ProbandInnen die Aufgabe gestellt, an einer bereitgestellten Wandtafel ein Modell des Inneren der Blackbox zu zeichnen. Gleichzeitig werden die ProbandInnen zum lauten Denken aufgefordert (LEIGHTON & GIERL, 2007), was vor Beginn der Modellierungsaufgabe erklärt und geübt wird (SANDMANN, 2014).

Nach Betreten des vorbereiteten Raums (Abbildung 2) erhalten die ProbandInnen folgende Instruktion: „Hier ist die Blackbox, diese darfst du nicht öffnen. Du kannst in die Blackbox Wasser schütten und beobachten, was passiert. Ich empfehle mit dem mehrmaligen Eingießen von 400ml zu beginnen, um einen ersten Eindruck von der Blackbox zu bekommen.“ Darüber hinaus erfolgt keine weiteren Interaktion zwischen den ProbandInnen und der Versuchsleitung (Ausnahme ist ggf. eine Erinnerung an das laute Denken).



Abbildung 2: Setting der Blackbox-Untersuchung (links: mit der Aufgabe versehene Wandtafel für Modell und Notizen, beispielhaft beschriftet durch den Autor; mittig: Kamera; rechts: Blackbox und dazugehörige Untersuchungsutensilien).

Durch eine wiederholte Eingabe von 400 ml Wasser ergeben sich sechs verschiedene Eingabe/Ausgabe-Paare (Tabelle 1). ProbandInnen fällt es erfahrungsgemäß schwer die dritte Ausgabe zu erklären (KRELL et al., 2017), was zur weiteren Untersuchung der Blackbox motiviert (UPMEIER ZU BELZEN, 2014). Die Dauer der Untersuchung ist nicht vorgegeben und kann von den ProbandInnen frei bestimmt werden.

Tabelle 1: Eingabe/Ausgabe der Blackbox, ein Beispiel.

Eingabe	Ausgabe
400	0
400	400
400	600
400	400
400	0
400	1000

4.2 Datenerhebung und Auswahl der ProbandInnen

Nach dem Prinzip der heterogenen Fallauswahl (KELLE & KLUGE, 2010; SCHREIER, 2010) werden ProbandInnen auf Basis ihrer Fähigkeiten im *wissenschaftlichen Denken* (Ko-WADiS-Fragebogen; HARTMANN et al., 2015) sowie ihrer allgemeinen kognitiven Fähigkeiten im *schlussfolgernden Denken*

(I-S-T 2000 R; LIEPMANN, BEAUDUCEL, BROCKE & AMTHAUER, 2007) ausgewählt. Zur Studienteilnahme werden Studierende eingeladen, die im Ko-WADiS-Fragebogen eine Standardabweichung und gleichzeitig im I-S-T 2000 R eine halbe Standardabweichung besser („hoch“) oder schlechter („niedrig“) als die jeweilige Normstichprobe abschneiden. Die Verteilung der bisher 13 ProbandInnen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Verteilung der ProbandInnen auf die Hintergrundvariablen.

	wissenschaftliches Denken (Ko-WADiS)	
	hoch	niedrig
schlussfolgerndes Denken (I-S-T 2000 R)	hoch	3
	niedrig	1

Im Folgenden werden zur Diskussion der Fragestellungen die ersten beiden vollständig ausgewerteten Fälle (Pseudonyme Angelina und Raphael) exemplarisch vorgestellt. Diese weisen in den beiden Hintergrundvariablen überdurchschnittliche Performanz auf (d. h. hoch/hoch), was das Auftreten von Tätigkeiten der Anwendung begünstigen könnte (vgl. Fragestellungen 1 und 2). Zur Untersuchung von Fragestellung 3 wird das Modellverstehen der ProbandInnen vor Beginn der Modellierungsaufgabe mit einem offenen Fragebogen erfasst (fünf Fragen zu den Teilkompetenzen der Modellkompetenz; KRELL & KRÜGER, 2016).

4.3 Datenauswertung

Die Videografien werden wortwörtlich, aber sprachlich geglättet transkribiert. Dabei werden Schlüsselhandlungen, die den Codierprozess unterstützen, wie beispielsweise das Abwischen der Tafel oder das Vornehmen einer Eingabe von Wasser, in das Transkript aufgenommen (gekennzeichnet durch z. B. [Tafel], [Input]). Die Transkription und anschließende Codierung erfolgt mit Hilfe des Programms MAXQDA (VERBI SOFTWARE, 2018). Die Transkripte werden entsprechend der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (MAYRING, 2010) eventbasiert (SEIDEL, PRENZEL, DUIT & LEHRKE, 2003) auf der Basis eines Codierleitfadens mit 19 Tätigkeiten des Modellierens (sog. Codiereinheiten) codiert (KRELL et al., 2017). Die 19 Tätigkeiten können den neun in Abbildung 1 dargestellten Modellierungsschritten zugeordnet werden (Tabelle 3). Die Auswertung der Antworten des Fragebogens zum Modellverstehen erfolgt ebenfalls mit einem bereits erprobten Codierleitfaden (KRELL & KRÜGER, 2016).

Tabelle 3: Übersicht über die Tätigkeiten des Modellierens respektive Codiereinheiten (KRELL et al., 2017).

Code	Tätigkeit (Subcode)
Beobachtung eines Phänomens	1. Probanden nehmen Verhalten von Blackbox als spontan nicht erklärbar wahr oder erkennen fehlende Passung zwischen angenommenem Muster der Blackbox und Verhalten von Blackbox
Exploration des Systems	2. Probanden nehmen Eingabe von Input vor und/ oder beobachten den Output (explorativ; nicht hypothesengeleitet) 3. Probanden fassen das beobachtete Verhalten der Blackbox zusammen oder beschreiben es 4. Probanden nehmen Eingabe von Input vor und/ oder beobachten den Output (Mustererkennung) 5. Probanden bestätigen/ erkennen Muster
Aktivierung von Analogien und Erfahrungen	6. Probanden formulieren Ideen über Mechanismus der Blackbox und/ oder reflektieren Vor- und Nachteile ihrer Ideen und verwerfen ggf. Ideen (ohne zeichnerische Umsetzung)
(Weiter-) Entwicklung eines Modells	7. Probanden entwickeln auf Grundlage von Beobachtung, Analogien und/ oder Erfahrungen zeichnerisch ein Modell der Blackbox 8. Probanden entwickeln Modell weiter zur Optimierung von Funktionsfähigkeit, Ästhetik o. ä. (Modellobjekt) 9. Probanden entwickeln Modell weiter aufgrund fehlerhafter Übereinstimmungen mit Beobachtungen an Blackbox (retrospektiv) 10. Probanden verwerfen Modell aufgrund fehlerhafter Übereinstimmungen mit Beobachtungen an Blackbox (retrospektiv; vgl. Kategorie 12) oder mangelnder Konsistenz des Modellobjekts (vgl. Kategorie 11).
Prüfung von Konsistenz und Darstellung	11. Probanden reflektieren/ überprüfen/ bewerten Konsistenz des Modells (Modellobjekt) 12. Probanden vergleichen Eigenschaften des Modells mit Beobachtungen an Blackbox (retrospektiv)
Feststellung Konsistenz & Darstellung des Modells	13. Probanden stellen Konsistenz und Angemessenheit des Modells fest
Ableiten von Vorhersage (Hypothese) aus Modell	14. Probanden nutzen Modell um Vorhersage über Output bei bestimmtem Input zu treffen
Prüfung der Vorhersage (datenbasiert)	15. Probanden nehmen Eingabe von Input vor und beobachten den Output (hypothesengeleitet aus Modell) 16. Probanden bestätigen Hypothese aus Modell durch Output von Blackbox 17. Probanden falsifizieren Hypothese aus Modell durch Output von Blackbox
Ändern / Verwerfen des Modells (datenbasiert)	18. Probanden entwickeln Modell aufgrund von falsifizierter Hypothese weiter (datenbasiert) 19. Probanden verwerfen Modell aufgrund von falsifizierter Hypothese (datenbasiert)

Alle Codierungen werden zweimal mit mindestens einwöchigem Abstand durch die Versuchsleitung vorgenommen. Anschließend codiert eine geschulte Projektmitarbeiterin das Material erneut, sodass Intrarater- und Interrater-Reliabilität mit Cohens Kappa geprüft werden können. Mit Ausnahme der Interrater-Reliabilität des Transkripts von Raphael (moderat) fallen sämtliche Kappa-Werte sehr hoch aus (vgl. Tabelle 4; Grenzwerte nach LANDIS & KOCH, 1977). Nach Bildung eines finalen Konsenses durch die beiden CodiererInnen werden die entstandenen Codierungen der Videos als „Codelines“ visualisiert.

Tabelle 4: Intrarater- und Interrater-Reliabilität (Cohens Kappa).

	Offener Fragebogen zur Erfassung des Modellverstehens (KRELL & KRÜGER, 2016)		Codierung der Videografie nach Tätigkeiten (KRELL et al., 2017)	
	Intrarater- Reliabilität	Interrater- Reliabilität	Intrarater- Reliabilität	Interrater- Reliabilität
Angelina	1,00	0,73	0,67	0,82
Raphael	1,00	1,00	0,75	0,45

5 Ergebnisse

5.1 Tätigkeiten des Modellierens (Fragestellung 1)

Angelina führt in 63 Minuten 62 Tätigkeiten aus. Dabei verbringt sie die Hälfte der Zeit mit der Zusammenfassung von Beobachtungen, ein weiteres Drittel machen die übrigen explorierenden Tätigkeiten aus (Tätigkeiten 1, 2, 4, 5; vgl. Tabelle 3), sodass sie insgesamt 84 % der Zeit mit Exploration verbringt. Die restliche Zeit verwendet sie auf Tätigkeiten der Herstellung. Angelina führt damit keine Tätigkeiten der Anwendung aus (Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht über den zeitlichen Anteil und die Anzahl des Vorkommens der von Angelina und Raphael ausgeführten Tätigkeiten während des Modellierens.

Tätigkeit	Angelina				Raphael				
	Zeit		Anzahl		Zeit		Anzahl		
	absolut [s]	%	absolut	%	absolut [s]	%	absolut	%	
Exploration	1	19,3	1	1	2	122,3	3	1	1
	2	731,1	20	14	23	682,5	18	16	21
	3	1807,2	49	24	39	946	25	17	22
	4	510,2	14	6	10	441	12	8	10
	5	8,4	0	1	2	31	0	2	3
Herstellung	6	211,1	6	7	11	20,3	1	3	4
	7	39,9	1	2	3	441,9	12	5	6
	8	23,8	0	1	2	0	0	0	0
	9	134,9	4	2	3	148,3	4	2	3
	10		0		0	105,8	3	2	3
	11		0		0	8,3	0	1	1
	12	173,9	5	3	5	338,3	9	5	6
	13	17,2	0	1	2	81,8	2	2	3
Anwendung	14		0		0	133,3	4	3	4
	15		0		0	162,7	4	4	5
	17		0		0	56,8	1	3	4
	18		0		0	58,1	2	2	3
	19		0		0	18,6	0	1	1
	Summe	3677	100	62	100	3797	100	77	100

Raphael führt in 66 Minuten 77 Tätigkeiten aus und verbringt 25 % der Zeit mit dem Zusammenfassen seiner Beobachtungen. Insgesamt verwendet er 58 % der Zeit auf Tätigkeiten der Exploration und 31 % auf Tätigkeiten der Herstellung.

Darüber hinaus sind 15 Tätigkeiten (11 % der Zeit) der Anwendung zugeordnet (Tabelle 5).

5.2 Phasen des Modellierens (Fragestellung 2)

Angelina führt bis Ereignis 48 explorierende Tätigkeiten aus (Abbildung 3). Ein- und Ausgaben wechseln sich mit der Überprüfung des von ihr vermuteten Musters und Zusammenfassungen ab. Außerdem bildet sie mehrere Analogien, zum Beispiel vermutet sie „Säulen, die verschieden hoch befüllt sind“ in der Blackbox. Ab Ereignis 49 zeichnet sie, unterbrochen von weiteren Zusammenfassungen und Analogiebildungen, zwei Modelle, die sie prüft, indem sie diese retrospektiv mit den gewonnenen Daten vergleicht und anschließend optimiert. Sie beendet ihre Modellierung mit unsicherer Konsistenzfeststellung: „Ich gehe vorläufig jetzt erstmal von verschiedenen Behältern aus, die kippen und dann verschiedene Fassungsvermögen haben [Tafel], sodass sich erklärt, warum es so unregelmäßig wieder austritt das Wasser.“

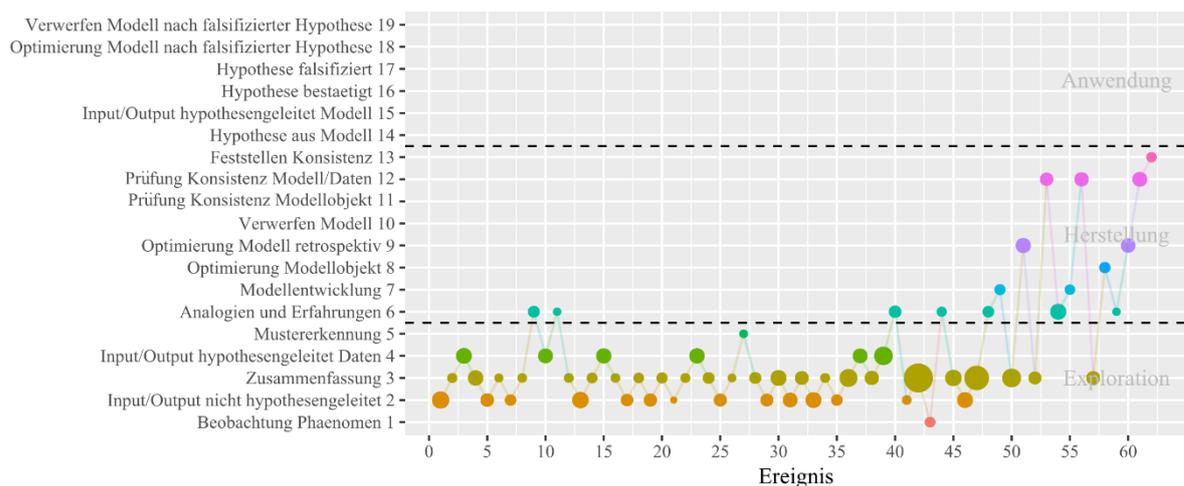


Abbildung 3: Tätigkeitssequenz (Codeline) von Angelina. Zeitlich länger andauernde Tätigkeiten sind als größere Punkte dargestellt.

Raphael (Abbildung 4) zeichnet nach einer kurzen Phase explorierender Tätigkeiten, in der zwei Eingaben vorgenommen und zwei Ausgaben beobachtet werden, ein initiales Modell mit der Vermutung „in der Blackbox [müsste] irgendein Auffangbehälter sein.“ Aus diesem Modell leitet er die Vorhersage ab, dass bei erneuter Eingabe von Wasser dieselbe Menge ausfließen müsste, welche er anschließend falsifiziert. Darauf folgen erneut überwiegend explorierende Tätigkeiten, bis er bei Ereignis 32 ein Muster im Verhalten der Blackbox feststellt, woraufhin er ein weiteres Modell zeichnet. Von diesem leitet er erneut eine Vorhersage ab, die er testet und falsifiziert. Darauf folgen abwechselnd herstellende und explorierende Tätigkeiten, bis er bei Ereignis 57 sein Modell als konsistent erachtet: „Das würde auf jeden Fall Sinn ergeben. Jetzt würde ich ganz gern nur noch rausfinden, wie viele

Kammern das sind und wie viel die Kammern fassen.“ Dieser Fragestellung folgen weitere Explorations-, Herstellungs- und Anwendungstätigkeiten. Er beendet den Modellierungsprozess nach 65 Minuten mit der Herstellung seines finalen Modells. Dabei beschreibt er das Innere der Blackbox mit großer Sicherheit: „Auf jeden Fall gibt es sich mehr oder weniger komplett entleerende Ventile. Dann gibt es mindestens zwei unterschiedlich große Behälter, in die das Wasser gleichmäßig verteilt wird. Der eine ist natürlich deutlich größer als der andere.“

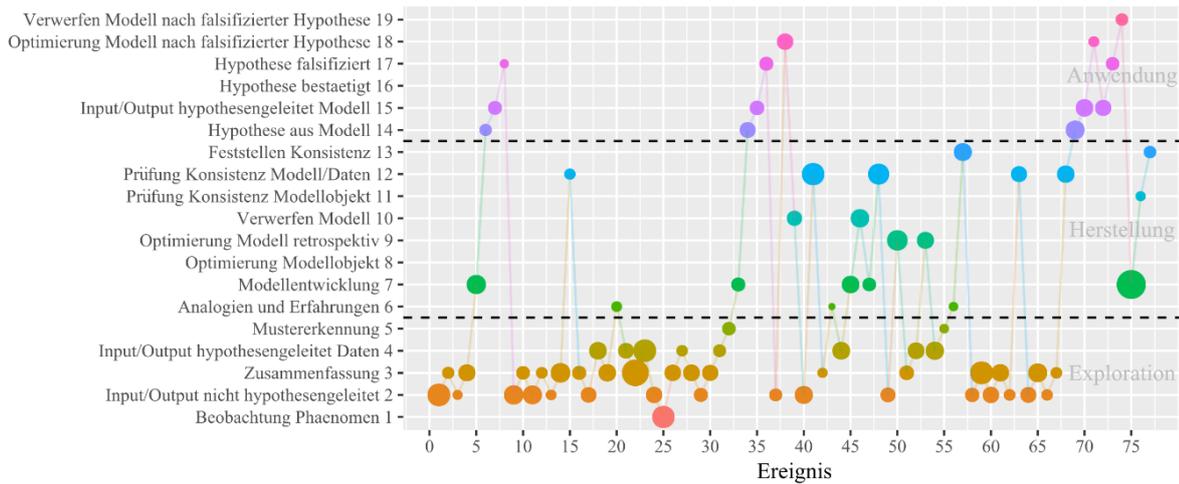


Abbildung 4: Tätigkeitssequenz (Codeline) von Raphael. Zeitlich länger andauernde Tätigkeiten sind als größere Punkte dargestellt.

5.3 Modellieren und Modellverstehen (Fragestellung 3)

Angelinas und Raphaels Modellverstehen erscheint eher limitiert. Ihre Antworten zum offenen Fragebogen beziehen sich durchweg auf Modelle als Medien (Niveau II der Modellkompetenz nach UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010). Zum Beispiel formuliert Angelina: „Der grundlegende Zweck [von Modellen] liegt in der Veranschaulichung komplexer Sachverhalte“, analog dazu beschreibt Raphael den Zweck von Modellen als „Veranschaulichung von Objekten, die am Original nicht so gut zu erkennen sind oder im Unterricht nicht im Original vorgeführt werden können“. Ein Einsatz von Modellen zur Erkenntnisgewinnung (Niveau III der Modellkompetenz nach UPMEIER ZU BELZEN & KRÜGER, 2010) wird weder von Angelina noch von Raphael erwähnt, beide argumentieren dagegen, dass Modelle ihre Gültigkeit verlieren, sobald sie neuen Erkenntnisse nicht entsprechen. Obwohl Raphael also Tätigkeiten aus dem Bereich der Anwendung durchführt und aus seinen Modellen Vorhersagen ableitet (Abbildung 4), zeigt er kein entsprechendes Modellverstehen.

6 Diskussion

6.1 Tätigkeiten des Modellierens (Fragestellung 1)

Entsprechend der Befunde von KRELL und HERGERT (im Druck) dominieren auch bei Angelina explorierende und herstellende Tätigkeiten. Parallel zu den Ergebnissen von SINS et al. (2005) treten insbesondere Zusammenfassungen sehr häufig auf, unabhängig von der vorhergehenden Tätigkeit. Dies erklären die Autoren mit der Wahrnehmung von Modellierungsaufgaben im Sinne des Ingenieursmodus statt des Wissenschaftsmodus (vgl. SCHAUBLE, KLOPPER & RAGHAVAN, 1991). Das heißt Angelina versucht das Modell durch kleinschrittige Anpassungen (*model fitting*) zu verbessern (Ingenieursmodus), anstatt es zur eigentlichen Problemlösung zu nutzen (Wissenschaftsmodus), also zur Erschließung des Inneren der Blackbox.

Raphael zeigt wiederholt Tätigkeiten der Anwendung, was ihm Herstellung, Evaluation und Verbesserung eines Modells ermöglicht, mit dem er selbst zufrieden ist und das er für erklärungsstark hält. Weiterführend könnte die Entwicklung der Modelle und gegebenenfalls ihre tatsächliche Erklärungsstärke beurteilt werden, wobei zu erwarten ist, dass Studierende, die mehr Tätigkeiten der Anwendung umsetzen, auch erklärungsstärkere Modelle entwickeln (SINS et al., 2005). Insgesamt überwiegen allerdings auch bei Raphael Tätigkeiten der Exploration und Herstellung in Häufigkeit und Länge. Mangelndes Vorwissen hinsichtlich der Blackbox (vgl. RUPPERT et al., 2017) sowie die eher offene Aufgabenstellung könnten hier mögliche Gründe für den hohen explorierenden Tätigkeitsanteil bei beiden ProbandInnen darstellen. Außerdem werden in dieser Studie nur gezeichnete Modelle als solche erfasst, darüber hinaus stattfindende gedankliche Modellbildung wird methodisch bedingt nicht berücksichtigt.

6.2 Tätigkeitsmuster des Modellierens (Fragestellung 2)

Der Tätigkeitsverlauf von Angelina besteht aus einer Explorations- und einer Herstellungsphase, wobei ihr Modellierungsprozess ohne Anwendungsphase endet. Ihr gelingt es nicht, das Modell losgelöst von ihren Beobachtungen zu betrachten und überprüfbare Vorhersagen zu entwickeln (LOUCA & ZACHARIA, 2015). Da diese fehlen, kann sie ihr Modell nicht testen und gegebenenfalls falsifizieren, obwohl sie die Konsistenz ihres Modells in Frage stellt. Ihr Modellierungsprozess kann damit analog zu den Beschreibungen von KRELL und HERGERT (im Druck) dem expressiven Modellieren (CAMPBELL et al., 2013; OH & OH, 2011) zugeordnet werden.

Raphael dagegen wechselt 17 Mal zwischen Tätigkeiten der Phasen Exploration, Herstellung und Anwendung entsprechend des zyklischen

Charakters des Modellierens (GIERE et al., 2006; GILBERT & JUSTI, 2016; KHAN, 2011; PASSMORE et al., 2014). Sein Tätigkeitsverlauf zeigt die von GILBERT und JUSTI (2016) beschriebene Komplexität und Dynamik sowie Non-Linearität des Modellierens, wobei er zwischen zeitlich abgrenzbaren Phasen der Exploration, Herstellung und Anwendung flexibel wechselt. Ein linear-zyklisches Vorgehen, zum Beispiel nach dem oftmals beschriebenen *Generation-Evaluation-Modification* Kreislauf (z. B. KHAN, 2011), ist nicht erkennbar (vgl. LOUCA & ZACHARIA, 2015).

6.3 Modellieren und Modellverstehen (Fragestellung 3)

Der Modellierungsprozess Angelinas zeigt sich konsistent zu ihrem Modellverstehen. Sie beschreibt Modelle als Medien zur Veranschaulichung komplexer Sachverhalte (vgl. JUSTI & GILBERT, 2003; KRELL & KRÜGER, 2016) und nutzt diese auch in ihrem Modellierungsprozess, um ihre Ideen zu visualisieren. Sie leitet keine Vermutungen vom Modell über das Original ab. Raphael zeigt zwar einen deutlich komplexeren Modellierungsprozess, der auch die Anwendung des entwickelten Modells beinhaltet, beschreibt Modelle im Fragebogen aber ebenso als Medien. Für die Annahme, ein ausgeprägtes Modellverstehen unterstütze den Prozess des Modellierens (CHENG & LIN, 2015; LOUCA & ZACHARIA, 2012; SCHWARZ et al., 2009) finden sich somit keine Indizien. Modellverstehen scheint insbesondere keine Limitation für komplexe, zyklische Modellierungsprozesse zu sein. Obwohl einige Autoren (CHENG & LIN, 2015; LOUCA & ZACHARIA, 2012; SCHWARZ et al., 2009) argumentieren, dass ausgeprägtes Modellverstehen Voraussetzung für effektives wissenschaftliches Modellieren ist, zeigt die Arbeit von BAILER-JONES (2002), dass auch WissenschaftlerInnen, die mit Modellen arbeiten, Modelle theoretisch als Medien beschreiben. Hinsichtlich allgemeiner kognitiver Fähigkeiten (*schlussfolgerndes Denken*), sowie Fähigkeiten im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (*wissenschaftliches Denken*) zeichnet sich ein ähnliches Bild. Beide ProbandInnen zeigten in den Vortests überdurchschnittliche Performanz (Tabelle 2), aber unterschiedliche Modellierungsprozesse.

7 Fazit & Ausblick

Mithilfe des von KRELL et al. (2017) entwickelten Codierleitfadens konnten Tätigkeiten des Modellierens detailreich und trennscharf erfasst werden. Phasen der Exploration, Herstellung und Anwendung sind in den Modellierungsprozessen gut zeitlich abgrenzbar, sodass auf Grundlage einer größeren Stichprobe allgemeine Strategien des Modellierens aus den Einzelfallbeschreibungen abgeleitet werden können (KELLE & KLUGE, 2010).

Den Einfluss der Hintergrundvariablen (*wissenschaftliches Denken, schlussfolgerndes Denken, Modellverstehen*) auf den Prozess des Modellierens gilt es durch die Auswertung weiterer Fälle zu untersuchen.

Danksagung

Die Autoren danken den an der Untersuchung beteiligten Studierenden und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung des Projekts *TypMoL* (Projektnummer 327507949).

Zitierte Literatur

- BAILER-JONES, D. M. (2002): Scientists' thoughts on scientific models. *Perspectives on Science*, 10(3), 275-301.
- BAUMERT, J. & KUNTER, M. (2013): The COACTIV model of teachers' professional competence. In M. KUNTER, J. BAUMERT, W. BLUM, U. KLUSMANN, S. KRAUSS, & M. NEUBRAND (Hrsg.), *Cognitive activation in the mathematics classroom and professional competence of teachers: Results from the COACTIV project*. Boston, MA: Springer US. 8-25.
- BROWN, D. & CLEMENT, J. (1989): Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional science*, 18(4), 237-261.
- CAMPBELL, T., OH, P. S., MAUGHN, M., KIRIAZIS, N. & ZUWALLACK, R. (2015): A review of modeling pedagogies: Pedagogical functions, discursive acts, and technology in modeling instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 159-176.
- CAMPBELL, T., OH, P. S. & NEILSON, D. (2013): Reification of five types of modeling pedagogies with model-based inquiry (MBI) modules for high school science classrooms. In INFORMATION RESOURCES MANAGEMENT ASSOCIATION (Hrsg.), *K-12 Education: Concepts, methodologies, tools, and applications: Development and design methodologies*. Hershey, PA: IGI Global. 401-421.
- CHENG, M.-F. & LIN, J.-L. (2015): Investigating the relationship between students' views of scientific models and their development of models. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2453-2475.
- CRAWFORD, B. & CULLIN, M. (2005): Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modelling. In K. BOERSMA, M. GOEDHART, O. DE JONG, & H. EIJKELHOF (Hrsg.), *Research and the quality of Science Education*. Dordrecht: Springer. 309-323.
- GIERE, R., BICKLE, J. & MAULDIN, R. (2006): *Understanding scientific reasoning*. Belmont, CA: Thomson Wadsworth.
- GILBERT, J. & JUSTI, R. (2016): *Modelling-based teaching in science education*. Cham: Springer.
- GÜNTHER, S. L., 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: Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven*. Wiesbaden: Springer VS. 215-236.
- HARTMANN, S., MATHESIUS, S., STILLER, J., STRAUBE, P., KRÜGER, D. & UPMEIER ZU BELZEN, A. (2015): Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung als Teil des Professionswissens zukünftiger Lehrkräfte: Das Projekt Ko-WADiS. In B. KOCH-PRIEWE, A. KÖKER, J. SEIFRIED, & E. WUTTKE (Hrsg.), *Kompetenzerwerb an Hochschulen: Modellierung und Messung*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt KG. 39-58.
- JUSTI, R. & GILBERT, J. (2003): Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386.
- JUSTI, R. & VAN DRIEL, J. (2005): The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- KELLE, U. & KLUGE, S. (2010): *Vom Einzelfall zum Typus: Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung*. 2., überarb. Wiesbaden: VS Verlag.

- KHAN, S. (2007): Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91, 877-905.
- KHAN, S. (2011): What's missing in model-based teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 22(6), 535-560.
- KMK [Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland]. (2017): *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*. München: Wolters Kluwer.
- KNUUTTILA, T. (2005): Models, representation, and mediation. *Philosophy of Science*, 72(5), 1260-1271.
- KOCH, S., KRELL, M. & KRÜGER, D. (2015): Förderung von Modellkompetenz durch den Einsatz einer Blackbox. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 14, 93-108.
- KRELL, M. & HERGERT, S. (im Druck): The blackbox approach: Analyzing modeling strategies. In A. UPMEIER ZU BELZEN, D. KRÜGER, & J. VAN DRIEL (Hrsg.), *Towards a competence-based view on models and modeling in science education*: Springer.
- KRELL, M. & KRÜGER, D. (2013): Wie werden Modelle im Biologieunterricht eingesetzt? Ergebnisse einer Fragebogenstudie. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 12, 9-26.
- KRELL, M. & KRÜGER, D. (2016): Testing models: A key aspect to promote teaching activities related to models and modelling in biology lessons? *Journal of Biological Education*, 50(2), 160-173.
- KRELL, M., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (2014): Students' levels of understanding models and modelling in biology: Global or aspect-dependent? *Research in Science Education*, 44(1), 109-132.
- KRELL, M., UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (2016): Modellkompetenz im Biologieunterricht. In A. SANDMANN & P. SCHMIEMANN (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Schwerpunkte und Forschungsgegenstände*. Berlin: Logos. 83-102.
- KRELL, M., WALZER, C., HERGERT, S. & KRÜGER, D. (2017): Development and application of a category system to describe pre-service science teachers' activities in the process of scientific modelling. *Research in Science Education*.
- LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- LAUBICHLER, M. D. & MÜLLER, G. B. (2007): *Modeling biology: Structures, behavior, evolution*. Wien: MIT Press.
- LEIGHTON, J. & GIERL, M. (2007): *Cognitive diagnostic assessment for education: Theory and applications*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- LEISNER-BODENTHIN, A. (2006): Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 91-109.
- LIEPMANN, D., BEAUDUCCEL, A., BROCKE, B. & AMTHAUER, R. (2007): *Intelligenz-Struktur-Test 2000 R: IST 2000 R*. Göttingen: Hogrefe.
- LÖHNER, S., VAN JOOLINGEN, W. R., SAVELSBERGH, E. R. & VAN HOUT-WOLTERS, B. (2005): Students' reasoning during modeling in an inquiry learning environment. *Computers in Human Behavior*, 21(3), 441-461.
- LOUCA, L. T. & ZACHARIA, Z. C. (2012): Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64(4), 471-492.
- LOUCA, L. T. & ZACHARIA, Z. C. (2015): Examining learning through modeling in k-6 science education. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 192-215.
- MAYRING, P. (2010): Qualitative inhaltsanalyse. In G. MEY & K. MRUCK (Hrsg.), *Handbuch qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: VS Verlag. 601-613.
- NEHRING, A., NOWAK, K. H., UPMEIER ZU BELZEN, A. & TIEMANN, R. (2015): Predicting students' skills in the context of scientific inquiry with cognitive, motivational, and sociodemographic variables. *International Journal of Science Education*, 37(9), 1343-1363.
- NICOLAOU, C. T. & CONSTANTINO, C. P. (2014): Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13(1), 52-73.
- ODENBAUGH, J. (2005): Idealized, inaccurate but successful: A pragmatic approach to evaluating models in theoretical ecology. *Biology and philosophy*, 20(2), 231-255.
- OH, P. S. & OH, S. J. (2011): What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.

- ORSENNE, J. (2015): *Aktivierung von Schülervorstellungen zu Modellen durch praktische Tätigkeiten der Modellbildung*. Humboldt-Universität, Berlin. Abgerufen unter: <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/18164/orsenne.pdf?sequence=1>.
- PASSMORE, C., GOUVEA, J. S. & GIÈRE, R. (2014): Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In M. R. MATTHEWS (Hrsg.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer. 1171-1202.
- RUPPERT, J., DUNCAN, R. G. & CHINN, C. A. (2017): Disentangling the role of domain-specific knowledge in student modeling. *Research in Science Education*.
- SANDMANN, A. (2014): Lautes Denken die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. KRÜGER, I. PARCHMANN, & H. SCHECKER (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin; Heidelberg: Springer. 179-188.
- SCHAUBLE, L., KLOPFER, L. E. & RAGHAVAN, K. (1991): Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 859-882.
- SCHREIER, M. (2010): Fallauswahl. In G. MEY & K. MRUCK (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 238-251.
- SCHWARZ, C., REISER, B., DAVIS, E., KENYON, L., ACHÉR, A., FORTUS, D. ET AL. (2009): Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- SEIDEL, T., PRENZEL, M., DUIT, R. & LEHRKE, M. (2003): *Technischer Bericht zur Videostudie "Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht"*. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- SHULMAN, L. S. (1986): Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- SINS, P. H., SAVELSBERGH, E. R. & VAN JOOLINGEN, W. R. (2005): The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer based modelling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695-1721.
- UPMEIER ZU BELZEN, A. (2014): Black Box: Modellierung von Prozessen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In D. LUDWIG, C. WEBER, & O. ZAUZIG (Hrsg.), *Das materielle Modell. Objektgeschichten aus der wissenschaftlichen Praxis*. Paderborn: Wilhelm Fink. 99-106.
- UPMEIER ZU BELZEN, A. & KRÜGER, D. (2010): Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41-57.
- VAN DRIEL, J. & VERLOOP, N. (1999): Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- VERBI Software. (2018): MAXQDA - Software für qualitative Datenanalyse. Berlin: Consult. Sozialforschung GmbH.
- WINDSCHITL, M., THOMPSON, J. & BRAATEN, M. (2008): Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.