

Welche Art von wissenschaftlichem Modellieren ist in der Grundschule angemessen?

Zusammenfassung: Diese Veröffentlichung bietet eine evidenzbasierte Diskussion darüber, wie man sich dem wissenschaftlichen Modellieren in der Grundschule nähern kann. Sie liefert zudem eine Begründung dafür, warum das Modellieren im Unterricht als ein Lehr-Lern-Prozess angesehen werden sollte, durch welchen sich Kinder darin üben, ihre eigenen Darstellungen für die Erklärung komplexer natürlicher Phänomene zu produzieren und zu organisieren. Zunächst werden die Ziele der „Inquiry-based pedagogies“ erläutert. Anschließend werden drei Aspekte präsentiert, die zentral für die Unterstützung der Modellierung im Unterricht sind: die sukzessive Annäherung der Darstellungen der Kinder an Phänomene; der Umgang mit der physischen Welt und deren Manipulation; und die sozialen Interaktionen im Unterricht. Innerhalb meiner Ausführungen werde ich die Leser an der Diskussion beteiligen, wie und ob Lehrer die Darstellungen der Kinder erfolgreich nutzen, um die Modellierung im Unterricht für die Kinder und für sich selbst produktiv zu gestalten.

Wissenschaftliche Modellierung – Lehr- und Lernprozess im Unterricht der Grundschule

Abstract: This paper provides an evidence-based discussion for how to approach Scientific Modeling in primary classrooms. It provides an argument for why Modeling needs to be considered as a teaching learning process through which children learn how to exercise their capacity of producing and organizing their own forms of representations during their interpretations of complex natural phenomena. The case made here is that Scientific Modeling needs a better understanding on how teachers capitalize on children's ideas and representations. I will start by clarifying the goals of learning science that are behind "Inquiry-based pedagogies" to then reporting on instructional potentials around three key aspects of teaching and learning scientific modeling as a representational practice in early science: the fit between representations and natural phenomena; the manipulations of the physical world; and the social classroom interactions. While reporting, I will engage readers to discuss how and whether teachers successfully capitalize on children's ideas and representations to make the modeling process demanding for children as well as for themselves.

Scientific modeling - teaching and learning process – early science teaching

1. Einleitung

Internationale bildungspolitische Dokumente und Rahmenrichtlinien betonen nachdrücklich die Notwendigkeit, das Modellieren in den schulischen Naturwissenschaftsunterricht zu integrieren (KMK, 2005; NRC, 2012; OECD, 2012). In Deutschland wurde von der Kultusministerkonferenz das Ziel formuliert, dass Schülerinnen und Schüler Modelle zum Bearbeiten, Veranschaulichen, Erklären und Beurteilen komplexer Phänomene nutzen, die Modellbildung als grundlegendes wissenschaftsmethodisches Verfahren kennenlernen sowie Modelle kritisch reflektieren (KMK, 2005). Deshalb haben Physik-, Biologie- und Chemiedidaktiker das Modellieren der Liste der K(ern)kompetenzen (Koeppen et al. 2008) hinzugefügt. So definiert z.B. der Physikdidaktiker Leisner-Bodenthin (2006) die Kompetenz des Modellierens im Physikunterricht als Disposition des Lerners, prozedurale und deklarative Anforderungen im Umgang mit Modellen im schulischen Kontext zu bewältigen. Sachunterrichts- und Biologiedidaktiker haben im Zusammenhang mit Aufgabenstellungen in offenen und geschlossenen Formaten evidenzbasierte Rahmenstrukturen entwickelt, die ihren Fokus auf kognitive Komponenten der Modellierungskompetenz legen (Lange & Hartinger, 2014; Upmeier zu Belzen, & Krüger, 2010; Koper et al. 2014). Zudem wird in Studien zum naturwissenschaftlichen Unterricht in der Grundschule empfohlen, Modellieren nicht traditionell als Methode naturwissenschaftlicher Wissensaneignung zu nutzen, sondern als eine Gesamtheit zu betrachten, die das Wissen einschließt, wie Kinder zur theoretischen Beschreibung natürlicher Phänomene geführt werden können (Mikelskis-Seifert, 2004). In den USA wird das Modellieren als eine *Scientific Practice* angesehen, die soziale Interaktionen, Instrumentarien und Sprache umfasst, die fächerspezifische Normen repräsentieren, um naturwissenschaftliches Wissen zu konstruieren, zu evaluieren und zu kommunizieren (Duschl, Schweingruber, & Shouse, 2007). Das Hauptaugenmerk der didaktischen Arbeit im Unterricht liegt dabei auf dem Aspekt der Wissenskonstruktion, um Lernende in die Entwicklung und Untersuchung von Erklärungen und Modellen einzubinden. Denn dies führt zu einem tieferen Verständnis der zentralen Modelle der Naturwissenschaft und unterstützt den Lerner darin, die Natur des naturwissenschaftlichen Fachwissens zu verstehen.

Diese Konzeptionen des Modellierens bieten eine Plattform, darüber nachzudenken, welche didaktische Unterstützung produktiv sein könnte, um das Modellieren im Unterricht zu fördern. Diesbezüglich haben Kollegen über verschiedene Hürden berichtet. Einige Hürden ergeben sich aus den Missverständnissen von der Natur des naturwissenschaftlichen Fachwissens selbst und ihre Implikationen für die Naturwissenschaften in der Schule. Im schulischen Kontext werden Modelle hauptsächlich zur Illustration verwendet, d.h. um den Schülern Konzepte zu erklären oder um wissenschaftliche Methoden zu replizieren, und weniger als Arbeitsweise zum Aufbau naturwissenschaftlicher Modelle und Theorien (Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008). Weitere Hürden ergeben sich aus dem Einfluss der traditionellen Kultur der „Schulnaturwissenschaften“, die wesentlichen Aspekten der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen konträr gegenüber steht. Denn diese sehen eine Disziplin zumeist als „fertige“ Wissenschaft an, die erwartete und festgelegte Antworten bereitstellt, die auswendig gelernt und wiedergegeben werden können. Im Gegensatz dazu verstehen sich die Naturwissenschaften als etwas Offenes, worüber diskutiert und debattiert werden kann (Jiménez-Aleixandre, Rodríguez, & Duschl, 2000). Wir berichteten über diesen Zusammenhang und sich daraus ergebende Hürden, als wir unsere Version von *Learning Progressions* innerhalb des Modellierens mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe entwickelten (Schwarz, Reiser, Acher, Kenyon, & Fortus, 2012).

Als wir mit Kindern im Grundschulalter arbeiteten, konzentrierten wir uns weniger auf die Hürden, sondern vielmehr auf die Vorteile/Stärken dieser didaktischen Unterstützung. Denn durch sie wurden die Kinder dazu bewegt, eigene Darstellungen herzustellen und zu überarbeiten, um natürliche Phänomene zu erklären (Acher et. al. 2007). Das Verstehen dieser Vorteile führt zum Verstehen von Schlüsselaspekten des Modellierens als einem auf Darstellungen basierenden Lehr- und Lernprozess im Unterricht. Dabei verstehe ich Modellieren als eine auf Darstellungen basierende Einheit von Arbeits-, Handlungs- und Denkweisen, mit denen man die naturwissenschaftliche Dimension des Sachunterrichts betrachten kann. In meinem Forschungsprogramm versuche ich herauszuarbeiten, wie Lehrer die Vorstellungen und Darstellungen der Kinder nutzen (können), um den Modellierungsprozess sowohl für die Schüler als auch für sich selbst gewinnbringend produktiv zu gestalten. Hierbei teile ich die Ansicht vieler anderer Kollegen (z.B. Lehrer & Schauble, 2006), dass es dafür notwendig ist, sowohl das Lehren als auch das Lernen der Schülerinnen und Schüler zu erforschen. Aus diesem Grund arbeite ich direkt in den beteiligten Klassen und unterstütze die Lehrer darin, das Modellieren zu verstehen und ihre naturwissenschaftliche Lehre daran auszurichten. Gleichzeitig beobachte ich zusammen mit meiner Kollegin Maria Arcà die Schülerinnen und Schüler der teilnehmenden Klassen von der Vorschule bis zur 5. Klassenstufe. Wir hatten so die Gelegenheit, eine Vielzahl von LehrerInnen und SchülerInnen über mehrere Jahre hinweg zu begleiten. Unsere Ergebnisse zeigen, dass LehrerInnen die Aufgabenstellungen und Arbeitsanweisungen immer wieder flexibel abändern. Dabei beeinflussen sich die Untersuchungen des Lernens und das Design der Aufgabenstellungen und Arbeitsanweisungen über einen eng verflochtenen Kreislauf der Revision gegenseitig, sofern unsere Arbeitsbedingungen dies erlauben.

In diesem Artikel werde ich einige Aspekte noch einmal aufgreifen, die in dieser Arbeit aufgetreten sind. Den Ausgangspunkt bildet einer der verbreitetsten pädagogischen Ansätze, welcher viele Bemühungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung in der Grundschule beeinflusst hat: *Inquiry-based pedagogies* (Abd-El-Khalick et al, 2004). Diese *pedagogies* rücken „Hands-on“-Aktivitäten in den Mittelpunkt des naturwissenschaftlichen Lernens an Schulen. Dementsprechend sind sie sowohl eine Quelle von Möglichkeiten als auch eine Quelle von Verwirrungen. Beides bildet die Basis, das naturwissenschaftliche Modellieren zu entwickeln.

Ich beginne damit, die zwei komplementären Ziele des naturwissenschaftlichen Lernens kurz zu erklären, die hinter diesen *pedagogies* stehen: das Lernen der zentralen Modelle der Naturwissenschaften und das Lernen ihrer epistemischen Grundlagen. Anschließend werde ich auf drei Schlüsselaspekte der didaktischen Arbeit hinter diesen Zielen fokussieren: die sukzessive Annäherung der Darstellungen der Kinder an Phänomene; der Umgang mit der physischen Welt und deren Manipulation; und die sozialen Interaktionen im Unterricht. Ich werde die Leser in meinen Ausführungen an der Diskussion beteiligen, wie und ob Lehrer die Darstellungen der Kinder erfolgreich nutzen, um den Modellierungsprozess für die Kinder und für sich selbst produktiv zu gestalten.

2. Die Lern- und Bildungsziele des naturwissenschaftlichen Lernens im Unterricht

Das Hauptziel des naturwissenschaftlichen Lernens ist es, ein Verständnis für die *bestehenden zentralen Modelle* aufzubauen, die die gegenwärtige – westliche – Kultur über die uns umgebende natürliche und lebendige Welt entwickelt hat. Dies ist verbunden mit dem komplementären Ziel, ein Verständnis über die epistemischen Grundlage von Naturwissenschaft zu entwickeln – d.h. darüber wie wir wissen, was wir wissen. Wie oben angeführt, erfährt das Zusammenführen dieser beiden Ziele in den letzten Jahren eine breite Zustimmung in vielen einschlägigen Veröffentlichun-

gen zur naturwissenschaftlichen Bildung und in bildungspolitischen Dokumenten vieler europäischer und amerikanischer Länder. Wenn wir diese Ziele im Hinterkopf behalten, können wir einer weit verbreiteten Annahme über den *Inquiry-Based* Ansatz entgegen treten. LehrerInnen verbinden den *Inquiry-based* Ansatz oft mit ihren Versionen von "was Wissenschaftler tun" als Methoden, *neues* Wissen zu schaffen. In diesem Fall ignorieren sie, dass das Ziel *des Lernens von Naturwissenschaft* nicht das Produzieren neuen Wissens ist, sondern die Entwicklung eines Verständnisses über bereits bestehende zentrale Modelle der Naturwissenschaft. Entscheidungen, die Lehrer innerhalb dieses Ansatzes bezüglich ihrer Lehre treffen, könnten mit dieser Klarheit der Ziele besser abgewogen werden. „*The argument behind is the one of reaching clarity to make instructional decisions about what students should experience, what students should learn, and about enhancing professional language for communicating meaning*” (Osborne, 2014). Indem man das Erreichen einer Klarheit über diese Ziele in den Fokus bringt, möchte man sich der Herausforderung stellen, sich dem anzunähern, was im Zentrum der „*Hands-on*“- Aktivitäten stehen sollte. Wenn wir vom Wert dieser Klarheit überzeugt sind, benötigen „*Hands-on*“-Aktivitäten eine gezielte Unterstützung, die Erkenntnisse „*wie* Kinder die zentralen Modelle der Naturwissenschaft und ihre epistemischen Grundlagen lernen“ berücksichtigt. Diese Unterstützung habe ich im Sinne der didaktischen Arbeit der Lehrperson hinsichtlich der folgenden drei Aspekte untersucht: die Förderung der Annäherung der Darstellungen der Kinder an Phänomene; den Umgang mit der physischen Welt und deren Manipulation; und die sozialen Interaktionen im Unterricht.

3. Die sukzessive Annäherung der Darstellungen der Kinder an Phänomene

Kinder lernen zentrale Modelle der Naturwissenschaften durch das Verbinden von natürlichen Phänomenen mit konstruierten Darstellungen dieser Phänomene. Die didaktische Arbeit liegt darin, die theoretisch wichtigen funktionalen Elemente und Beziehungen dieser Darstellungen hervorzuheben und zu verbessern. Dabei können unterschiedliche Repräsentationsformen, wie Zeichnungen, Körpersprache oder Simulationen in Kombination mit mündlichen oder schriftlichen Äußerungen der Schülerinnen und Schüler von den Lehrpersonen genutzt werden, um die Fantasie und die Kreativität der Kinder zu stimulieren. Jüngeren Kindern scheint es leichter zu fallen, eine Darstellung als Vertreter für ein Phänomen zu akzeptieren, wenn sie in einigen Merkmalen Ähnlichkeit mit dem Phänomen aufweist (Lehrer & Schauble, 2010). Lehrer können diese Ähnlichkeiten nutzen, um die Genauigkeit der Darstellungen und deren Passung mit dem Phänomen kontinuierlich zu fördern. In einer Untersuchung beobachteten wir beispielsweise jüngere Kinder bei dem Versuch, verschiedene Flüssigkeiten zu „zerlegen“, um in diesen Flüssigkeiten nach Veränderungen zu suchen. Die Kinder entschieden sich, die Flüssigkeiten als bestehend aus „einzelnen Teilen der Flüssigkeit“ (Tröpfchen) zu zeichnen, um die *Bewegung* der Flüssigkeiten durch die Bewegung der Tröpfchen darzustellen. Diese Ähnlichkeit von Darstellung und repräsentierter Welt scheint den Kindern zu helfen, eine Verbindung zwischen der repräsentierten und der repräsentierenden Welt herzustellen und aufrechtzuhalten. Indem sie die verschiedenen Flüssigkeiten wie "Teile" behandeln, scheinen sie auch die Bewegung der verschiedenen Flüssigkeiten als Bewegung von Teilen zu betrachten. Wir konnten ebenso beobachten, wie das Pendeln zwischen Darstellung und repräsentierter Welt von Lehrern genutzt wurde, um Veränderungen in den Darstellungen der Kinder in Richtung ausgewählter Aspekte zentraler naturwissenschaftlicher Ideen zu lenken, wie etwa Bindungen zwischen „Teilen“ oder Bedingungen, unter welchen sich diese „Teile“ bewegen. In den gleichen Klassen beobachteten wir, wie Lehrer und Schüler verschiedene Aspekte der Darstellungen auswählten, hervorhoben und zueinander in Beziehung setzten. Dies half den Kindern, ihre Darstellungen bezüglich der verschiedenen Verhaltensweisen der Flüssigkeiten zu entwickeln, zu hinterfragen und zu verbessern (Acher & Arcà, 2008). Diese Art und Weise der Arbeit an Darstellungen, die mit einem bestimmten Lehrerhandeln einhergeht, bietet die Möglichkeit, einer doppelten Notwendigkeit zu begegnen: zu erfahren, wie Kinder lernen und *was* sie lernen – die Ideen und zentralen Modelle der Naturwissenschaft.

Um das Potential dieser Möglichkeit der didaktischen Unterstützung des Modellierens im Unterricht noch klarer erkennen zu können, müssen wir verstehen, dass sich die zu lernenden Ideen der Naturwissenschaft im Lernprozess nach und nach entwickeln und die Arbeit mit Darstellungen diese Art der Entwicklung unterstützt. Später entstandene kognitive Repräsentationen "ersetzen" dabei nicht die früher entwickelten. Im Gegenteil, auch andere Fachkollegen konstatieren, dass die verschiedenen Repräsentationen kognitiv aktiv bleiben, wobei die früher entstandenen den später entwickelten Repräsentationen Bedeutung verleihen sowie Kohärenz und Referenz erzeugen (Lehrer & Schauble, 2006). Somit bieten die Darstellungen Möglichkeiten für das Lehren und Lernen, an der graduellen Konstruktion der naturwissenschaftlichen Modelle zu arbeiten. Hinweise für diese graduelle Ausbildung in Grundschulklassen sammelten wir beispielsweise in unseren Studien über die Entwicklung eines zentralen naturwissenschaftlichen Modells – der Teilchenstruktur von Materie (Acher & Arcà, 2013). Die Grundschul Kinder arbeiteten, unterstützt durch ein wohldurchdachtes Lehrerhandeln, mit verschiedenen Darstellungen, um die Idee der *Struktur* in ihre Erfahrungen mit

unterschiedlichen Stoffen zu integrieren. Mit zunehmender Erfahrung mit verschiedenen Stoffen, verfeinerten sie ihre Darstellungen anhand der Idee von *Bindungen zwischen den Teilchen*, reichten ihre Modelle anschließend in der Klasse herum und debattierten über das Potential und die Grenzen, mit ihnen das Verhalten der untersuchten Flüssigkeiten erklären zu können. Die vielfältigen Darstellungen entwickelten sich Hand in Hand mit einer graduellen Herausbildung des naturwissenschaftlichen Modelles.

Um die Arbeit mit Darstellungen produktiv für die didaktische Unterstützung des Modellierens im Unterricht zu machen, braucht die Lehrperson besondere didaktische Werkzeuge. Diese Werkzeuge fokussieren die Übereinstimmungen zwischen den naturwissenschaftlichen Kernideen und den Ideen der Kinder. In früheren Studien nannte ich diese produktiven Übereinstimmungen „resonante Ideen“. Belege dafür sammelte ich in Kindergartengruppen anhand eines anderen zentralen Modells der Naturwissenschaft, diesmal im Bereich Biologie: das Modell von ‚Organismus‘ im Sinne von Wachstum und Entwicklung von Lebewesen (Acher, 2005). In diesem Fall unterstützten die Erzieher/innen mit ihren Handlungen die Kinder beispielsweise darin, „resonante Ideen“ zu quantitativen Veränderungen (Wachstum als Zunahme des Körpergewichts) und qualitativen Veränderungen (die Materialisierung neuer Formen mit unterschiedlichen Funktionen) zu artikulieren, um die Entstehung neuer Lebewesen mit Blick auf die Veränderungen zu erklären. Diese Ideen zirkulierten in der Gruppe und unterstützten die Co-Evolution der Darstellungen sowie anderer Kernideen, während die Kinder ihre Erfahrungen mit der Inkubation von verschiedenen Eiern und neugeborenen Lebewesen intensivierten. Innerhalb der Studie diskutierten Kinder einer Gruppe über mögliche Inkubationsfehler, als aus ihrem Ei kein Küken schlüpfte. Um ihre Enttäuschung zu verarbeiten, warfen sie zusammen Fragen auf und richteten ihre Untersuchungen auf die Suche nach befriedigenden Erklärungen. (*„Eleonora: Ich möchte wissen, ob da drinnen das Küken ist. Alice: Eleonora möchte damit sagen, dass das Dotter sich in ein Küken verwandelt hat; Jacopo: Ich denke, wir wollen wissen, ob das Küken schon da war oder ob es sich noch verwandelt hat.“*). Der Erzieher half ihnen, ihre eigenen Darstellungen zu produzieren. Diese nahmen die Form einer Sequenz von Momenten an, bei welcher die Kinder Mechanismen erfanden, die auf „Dingen basierten, die sie nicht sehen konnten, die jedoch keine Hühnerform hatten“. Die Sequenz entwickelte sich aufgrund des Ineinandergreifens der „resonanten Ideen“, was wiederum die Entwicklung anderer, für die Disziplin der Biologie bedeutungsvoller naturwissenschaftlicher Modelle unterstützte. Abbildung 1 stellt vier Momente dieser Sequenz dar: die erste Zeichnung zeigt das Innere des Eies mit *„nicht sichtbaren Dingen, die kein Hühnerei sind, und das von der Henne und dem Hahn kommen“*; die zweite Zeichnung zeigt, wie *„die nicht sichtbaren Dinge auseinandergehen, weil sie jetzt „wissen“, was sie sein werden“*; in der dritten Zeichnung beginnt das Huhn, Gestalt anzunehmen, *„da es nicht wie ein Ballon ist, der nur größer wird, sondern auch der Körper Form annimmt, d.h. der Körper und der Kopf“*; und in der vierten Zeichnung wächst das Huhn weiter, *„weil es, wenn sich die Gestalt entwickelt, auch größer wird.“*



Abbildung 1: Vier Illustrationen vorstellungsbasierter Darstellungen von 5-jährigen Kindern, die ihre Konstruktion der Entwicklung von Lebewesen erklären. Die Ereignisse illustrieren von links nach rechts gesehen Teile eines ‚Mechanismus‘, mit dem Kinder erklären, wie vorgestellte, „nicht sichtbare Dinge“ nicht nur Gestalt annehmen, sondern auch wachsen bis sie sich in ein Huhn verwandeln. (Acher, 2005).

Die Entscheidung, an der Schnittstelle zwischen den Erfahrungen der Kinder und ihren kognitiven Repräsentationen zu arbeiten, liegt darin begründet, von den Vorstellungen der Kinder für die Gestaltung des Lehrens und Lernens profitieren zu wollen. Allerdings ohne dabei theoretisch wichtige Beziehungen zu vernachlässigen die aus den „bestehenden Ideen der Naturwissenschaften“ kommen. Es ist dabei unerlässlich, den Grad der Freiheit sowie der Einschränkungen zu verstehen, die aus Sicht des Lehrens und Lernens immer in „Hands-on“-Aktivitäten des naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Grundschule vorhanden sind. Das Bedürfnis nach diesem Verstehen kann uns außerdem dabei helfen, uns vor dem zu bewahren, was immer noch oft im Namen der Naturwissenschaft in den Schulen zu sehen ist: nämlich entweder den Kindern „vorgeordnete“ Erfahrungen zu liefern, wo jeder weiß, was gesehen werden soll, und ihnen dadurch wenig Gelegenheit zu geben, ihre eigene Perspektive einzubringen; oder Kinder in forschende Ansätze über „freie Erfahrungen“ mit der Erwartung einzubinden, dass Kinder die Ideen der Naturwissenschaft hinter den Fakten von selbst „entdecken“.

Falls dieser Lehr-Lern-Ansatz mit Hilfe des Modellierens zum ersten Ziel der *learning science* beiträgt, behaupte ich, dass er auch zum zweiten Ziel beiträgt, nämlich zu lernen, wie Naturwissenschaft funktioniert. Die Darstellungen der Kinder, die für ein Phänomen stehen, werden, indem dieses Phänomen eingegrenzt wird und die theoretisch wichtigen Elemente und Beziehungen hervorgehoben werden, zu der *Form des Wissens*, die Kinder wertschätzen. Auf diesen aufbauend, können die Kinder weiterführende abstraktere Darstellungen entwickeln, um ihre Vorstellungen über das Verhalten eines natürlichen Phänomens diesem anzunähern. Die Prozesse, in denen sich diese Darstellungen entwickeln, wie etwa Klassendebatten darüber, welche Vorteile eine Darstellung gegenüber anderen hat, das Treffen von Entscheidungen, welche Informationen enthalten bleiben, oder die Argumentation, welche Verfeinerungen der Vorstellungen bei der „Annäherung“ an das Phänomen relevanter sind, gehören zu dem Repertoire an wichtigen wissenschaftlichen Aktivitäten, um Ideen zu validieren und ein zuverlässiges epistemologisches Wissen aufzubauen (Osborne, 2014). Werden Grundschul Kinder in solche Aktivitäten eingebunden, können Lehrer von ihren Vorstellungen profitieren, um ihr Verständnis, wie Naturwissenschaft funktioniert, innerhalb des Modellierungsprozesses zu unterstützen.

4. Der Umgang mit der physischen Welt und deren Manipulation

Während sich die eigenen Darstellungen der Kinder kontinuierlich zu abstrakteren Konstrukten entwickeln, wächst ihr Verständnis darüber, wie sich die physische Welt verhält. Das bietet Möglichkeiten, das Verständnis der Kinder für das „wie wir wissen, was wir wissen“, und das „warum wir das wissen müssen“ gezielt zu unterstützen und sie gleichzeitig in die epistemischen Arbeitsweisen der Naturwissenschaft einzubinden (Duschl & Grandy, 2013). Diese Sicht auf die beiden komplementären Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts benötigt weitere Erkenntnisse, wenn Lehrer die Darstellungen der Kinder nutzen wollen, um das Modellieren mit Grundschulkindern zu entwickeln. Einige dieser Erkenntnisse ergeben sich aus dem Bedürfnis, genauer abgrenzen und elaborieren zu wollen, welche Elemente die Kinder in die Richtung dieser Ziele führen könnten. Es ist bekannt, dass ohne diese Spezifizierung die

Unterrichtsarbeit lediglich die pädagogische Funktion der Veranschaulichung oder der Verifizierung der phänomenologischen Erklärung der Natur hat, die vom Lehrer angeboten wird (Abd-El-Khalick et al., 2004) – d.h. eher eine rhetorische Verifizierung einer vom Lehrer angebotenen Idee als das Verstehen darüber, wie wir wissen, was wir wissen, und warum wir das wissen müssen. Ich habe im Rahmen einer Studie, die darauf abzielte, das Modellieren als einen Lehr- und Lernprozess im Unterricht zu charakterisieren, damit begonnen, Elemente einer auf die Weise gelenkten Unterrichtsarbeit herauszuarbeiten und zu differenzieren und in diesem Zusammenhang Kernideen der Naturwissenschaft für die Grundschule zu spezifizieren (Acher, 2014). Vergleichbar mit anderen Forschungen zielte diese Differenzierung von Unterrichtselementen darauf ab, herauszufinden, welche Elemente produktiv dafür sind, die Aufmerksamkeit der Kinder gezielt zwischen dem untersuchten Phänomen und ihren selbst konstruierten Darstellungen dieses Phänomens wechseln zu lassen (Lehrer & Schauble, 2010). Eines dieser produktiven Elemente ist der aktive und manipulierende Umgang der Lernenden mit der physischen Welt, mit dem Ziel, Darstellungen zu konstruieren und zu überarbeiten.

Der Umgang mit der physischen Welt setzt den Modellierungsprozess im Unterricht kontinuierlich in einen neuen Kontext. Dies bietet Möglichkeiten, die Entwicklung der Darstellungen der Kinder zu unterstützen. Allerdings ist dies nur bedingt produktiv, wenn dahinter keine Lehrintention steht. Wenn beispielsweise Zweitklässler das Wasser ihrer Badewanne zu Hause untersuchen, nachdem es von mehreren Familienmitgliedern benutzt worden ist, könnten sie beginnen, Wasser in ihren Darstellungen als eine „Mischung von Dingen“ darzustellen und dafür verschiedene Farben zu verwenden oder verschiedene Düfte in einer Mixtur aus Suppe, Öl, Schmutz und Shampoo anzudeuten. Wenn Lehrer die Kinder dazu ermutigen, mit Proben „dieses Wassers“ zu interagieren, es zu schütteln und mit ihren Fingern zu durchwühlen, um die „Duftkomponenten“ des Gemisches zu finden, können Lehrer aus den im Anschluss konstruierten ersten Darstellungen diejenigen wählen, die die „unterschiedlichen Teile“ mit den durch Manipulation und Interaktion bewirkten Bewegungen verknüpfen. Diese Darstellungen bieten dem Lehrer das Potential, die Kinder in der Entscheidung zu unterstützen, welche dieser Teile oder der Interaktionen zwischen den Teilen neue Gerüche erzeugen können und welche Rolle das Wasser in Bezug auf diese Teile spielt. Die Dialektik zwischen der Manipulation von Materie und den Darstellungen trägt dazu bei, Kinder in eine zentrale epistemische Arbeitsweise der Naturwissenschaft einzuführen: das Konstruieren von Darstellungen mit dem Ziel, herauszufinden, wie sich ein Phänomen verhält, wenn man damit interagiert. Mit zunehmendem Grad an Entwicklung bietet diese Dialektik außerdem Möglichkeiten für das Lehren und Lernen, Kinder an andere epistemische Arbeitsweise der Naturwissenschaft heranzuführen: etwa die Überarbeitung der Darstellungen, wenn neue Vorstellungen hinzukommen. Die Vorstellungen, die eine Überarbeitung anregen, können vom Lehrer kommen, indem er die „resonanten Ideen“ (s.o.) aufgreift, oder von den Kindern, wenn sie etwa auf Grenzen ihrer Darstellungen bezüglich der Erklärung einzelner Aspekte des Phänomens stoßen. Die Aktivitäten der Überarbeitung der Darstellungen werden entsprechend der sich daraus ergebenden neuen Vorstellungen, gleich von wem sie nun ausgehen, zum Kern der Lehre und des Lernens. Wir haben Lehrer gesehen, die während der Bearbeitung die Sequenzen der Darstellungen der Kinder festhielten. Dies geschah um sicherzustellen, dass die neuen Ideen zum einen fest mit den Vorstellungen älterer Darstellungen verankert, zum anderen aber auch von den Kindern kritisch hinterfragt wurden.

Wie in „einer Dialektik innerhalb einer anderen Dialektik“ entwickeln sich die Darstellungen der Kinder über ein Zusammenspiel von Widerspruch und Zuspruch gegenüber Ideen sowie über die Manipulation der physischen Welt. Die Nutzung dieser doppelten Dialektik stellt eine frühe Form des Heranführens an die Evaluierung eines Modells dar – ein weiteres epistemisches Element der Modellierung. Bei diesem überarbeiten die Kinder ihre eigenen Darstellungen und entwickeln sie weiter. Gleichzeitig schätzen sie die Aussagekraft der darin enthaltenen Ideen ein, inwiefern sie damit neue Verhaltensweisen eines Phänomens oder ähnliche Verhaltensweisen eines anderen Phänomens erklären können. Diese Art der Heranführung an epistemische Elemente des Modellierens stellt eine besondere Herausforderung an die Lehre dar.

Eine weitere Herausforderung ergibt sich daraus, dass Kinder häufig Probleme haben zu verstehen, dass die Darstellungen keine Kopien darstellen, sondern Vorstellungen mit einem bestimmten Zweck sind. Für sie ist es zunächst nicht ersichtlich, warum die Erstellung einer Darstellung hilfreich dafür sein sollte, etwas über ein Phänomen zu lernen, wenn man das Phänomen auch direkt untersuchen könnte. Außerdem ist es immer unklar, was genau dargestellt werden muss. Stellen Sie sich zum Beispiel Grundschulkindern vor, die mit Materialien aus ihrem Kunstunterricht arbeiten (Ton, Schwämme, Holz, Papier, Wasserfarben), und einen Lehrer, der die Vorstellungen der Kinder über die „innere Struktur der Materialien“ heraus kitzeln will, um Erklärungen für deren verschiedene Eigenschaften anzubahnen. Die Kinder werden die Materialien zunächst jeweils als ein Stück zusammenhängendes Material mit verschiedenen Eigenschaften wie Farbe, Form oder Härte wahrnehmen, welche das Materialverhalten unter unterschiedlichen

Bedingungen erklären. Die anfänglichen Darstellungen werden starke Ähnlichkeiten mit der repräsentierten Welt aufweisen. Ohne die Unterstützung der Fantasie werden die Kinder die inneren Strukturen nicht „sehen“. In früheren Studien zu Darstellungen und Modellierung in Kindergärten arbeiteten wir daran, sowohl das Potential als auch die jeweiligen Grenzen der einzelnen Darstellungen sichtbar zu machen, in diesem Falle die Möglichkeit mit den Darstellungen die beobachteten Materialeigenschaften – etwa Wasserfarben aufzusaugen – erklären zu können. Dies hatte das Ziel, die Notwendigkeit zu stimulieren, sich diese Materialien in Form einer Teilchenstruktur vorzustellen (Acher & Arcà, 2008). Wie müssen diese Materialstücke im Inneren beschaffen sein, damit sie die „Wasserfarben durchlassen“? Haben diese Materialien im Inneren „Wände“ oder viele kleine Teile, an denen sich die Wasserfarben vorbeischlängeln? Kinder im Alter von 5 Jahren wurden so allmählich involviert, ein sichtbares Kontinuum als ein nicht-sichtbares/vorgestelltes Diskontinuum zu sehen, mit dem sie nicht nur die Fähigkeit des Materials, Wasser zu absorbieren, erklären konnten, sondern auch vor neue Herausforderungen bezüglich ihrer Darstellungen gestellt waren. Sollten sie die Teile im Inneren der Materialien nun jedes Mal berücksichtigen, wenn sie ein Verhalten dieses Materials erklärten? Wäre es für diesen Zweck sinnvoll, sich weiterhin vorzustellen, dass alle Teile in den Materialien dieselben sind und wie sie miteinander verbunden sind? Die Herausforderung für die Lehre umfasst die Notwendigkeit, die Kinder zu motivieren, über einzelne Aspekte des Phänomens zu berichten und vorstellungsgestützte Darstellungen zu erzeugen. Das bedeutet, dass mit den Darstellungen gearbeitet wird, „als wären sie“ etwas Konkretes, was sie nicht sehen können, mit dem sie jedoch erklären können, was mit dem Phänomen passiert, das sie in ihren Händen halten.

Darüber hinaus dienen die vorstellungsgestützten Darstellungen den Kindern nicht nur dem Zweck, Erklärungen für ein Phänomen zu finden, sondern auch dem Ziel, das Überarbeiten und Evaluieren der Darstellungen als Erkenntnisprozess zu erleben – ein anderes epistemisches Element von Modellierung. Dies ist, wie bereits erwähnt, nicht frei von Herausforderungen an den Unterricht: warum sollten Kinder ihre Produkte überarbeiten, wenn diese hilfreich dafür sind, das, was sie in den Händen halten, zu erklären? Wir fanden heraus, dass diese Notwendigkeit durch zwei Arten von Lehrerhandlungen motiviert werden kann: die Unterstützung von Variabilität in den Darstellungen sowie die Unterstützung des Umgangs mit verschiedenen, aber ähnlichen Phänomenen (Acher et al. 2007).

Bezüglich des ersten Handlungstyps bieten unterschiedliche Wege verschiedene Möglichkeiten, die Vorstellungen zum einen darzustellen und diese zum anderen über den Lehrer in der Klasse zirkulieren zu lassen, was den Austausch über die abgebildeten Aspekte unterstützt. Beispielsweise kann ein „aktiver“ Teil der Klasse dazu ermuntert werden, mit ihren Körpern die Bewegung des vorgestellten Teils des Materials beim Aufeinandertreffen mit den Wasserfarben zu veranschaulichen – was die Aspekte Geschwindigkeit und Kollision anspricht; der „ruhige“ Teil der Klasse kann dann ermuntert werden, diese vorgestellten Bewegungen zu zeichnen, was auf die Unterschiede in der Natur der Teilchen und die Richtung der Bewegungen aufmerksam machen soll. Wir haben gesehen, dass Kinder, wenn sie ihre gezeichneten oder modellierten Darstellungen regelmäßig herumreichen, das Bedürfnis entwickeln, ihre verschiedenen Vorstellungen zu vergleichen und sie kritisch zu betrachten. Dies trägt dazu bei, ihre eigene Vorstellung dazu zu entwickeln, was es heißt, Darstellungen zu überarbeiten.

Bezüglich des zweiten Handlungstyps – Interaktionen mit unterschiedlichen, aber ähnlichen Phänomenen anzuregen – werden weitere Möglichkeiten geboten, die Notwendigkeit zu entwickeln, ihre Darstellungen zu evaluieren. Allerdings in diesem Fall, indem man sich auf den Wert einer kontinuierlichen Annäherung zwischen den Darstellungen und einer größeren Anzahl an verschiedenen Materialien stützt. Wir konnten beobachten, dass ein gleichzeitiger und kontinuierlicher Umgang mit verschiedenen, aber ähnlichen Materialien dazu beitrug, sich miteinander über die Darstellungen eines einzelnen Phänomens auszutauschen und diese zu überarbeiten. Dabei schätzten die Kinder den Vorteil, die Darstellungen zu verallgemeinern, um damit verschiedene Phänomene erklären zu können (ein weiteres epistemisches Ziel). Beispielsweise wurden in einer Studie Viertklässler während einer Exkursion ins Naturkundemuseum dazu aufgefordert, verschiedene Organismen zu „berühren“, um charakteristische Signale zu simulieren, welche diese Organismen in ihrer Umgebung wahrnehmen (z.B. nehmen Schildkröten und Schlangen Erdvibrationen, Seesterne Wasserwellen, Insekten Luftströmungen wahr). Die Organismen waren in einem Raum mit dem Namen „touching-touching“ ausgestellt, der allein für diesen Zweck entworfen worden war. Zurück im Unterricht wurden die Kinder in modellbasierte Untersuchungen eingebunden, um die Bewegungen der Organismen in verschiedenen Umgebungen zu erklären. Der Fokus der Lehrerin lag dabei auf der Entwicklung zweier Kernideen der Biologie: Struktur und Funktion sowie Informationsverarbeitung in Organismen. Die Studie zeigte, dass die Schüler Darstellungen der beobachteten Bewegungen mit Hilfe unterschiedlicher Mittel – Gesten, Worte, Zeichnungen, 3D-Abbildungen – konstruierten und anschließend in Gruppendiskussionsrunden herumreichten und überarbeiteten (siehe Abbildung 2a als Illustration einer Repräsentationsart). In diesen Runden konzentrierten sich die Handlungen der Lehrerin nicht nur darauf, die Kinder zu ermuntern, ihre individuellen Darstellungen mit den Beobachtungen im Museum abzugleichen,

sondern auch umgekehrt: Eigenschaften des untersuchten Materials zu erfassen, die auf Bewegungen hinweisen könnten, die sie nicht beobachtet hatten. Diese bilden die Quellen für die Variabilität, auf die die Lehrerin setzte, um die Kinder für die Überarbeitung ihrer Darstellungen zu motivieren. Ein weiterer interessanter Punkt dieser Studie war, wie die Lehrerin diese Variabilität weiter einsetzte. Sie involvierte die Kinder in eine gemeinsame Überarbeitung ihrer Darstellungen, indem sie ein weiteres epistemisches Ziel einführte: die Konstruktion und Weiterentwicklung eines zentralen gemeinsamen Modells, das die von der Klasse diskutierten und reflektierten Ideen aller Kinder vereint und die allgemeinen Aspekte erklärt, wie Organismen ihrer Umgebung wahrnehmen und sich in Konsequenz daraus bewegen. Abbildung 2 b zeigt drei Stadien der überarbeiteten Modelle (Acher & Traball, 2002).

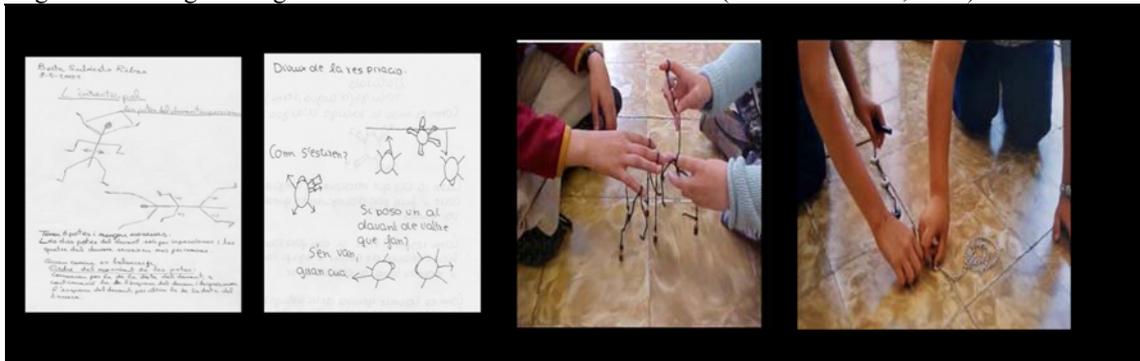


Abbildung 2a: von links nach rechts, die ersten beiden Darstellungen sollen die Bewegungen von Gottesanbeterinnen und Schildkröten in ihren jeweiligen Umgebungen erfassen kurz nach den ersten Beobachtungen im Museum. Das dritte und vierte Bild zeigen dreidimensionale Darstellungen aus verschiedenen Materialien, die darauf abzielen, Erklärungen zu geben und zu entwickeln, wie Organismen ihre Bewegungen "kontrollieren", wenn sie Signale von ihrer Umgebung erhalten. Beispielsweise erfanden Schüler in Bild drei einen zentralen Kontrollpunkt für die Beinbewegungen der Gottesanbeterin, von dem aus sich Aspekte verteilter Kontrolle der Bewegungen entwickelt haben. (Acher & Traball, 2002)

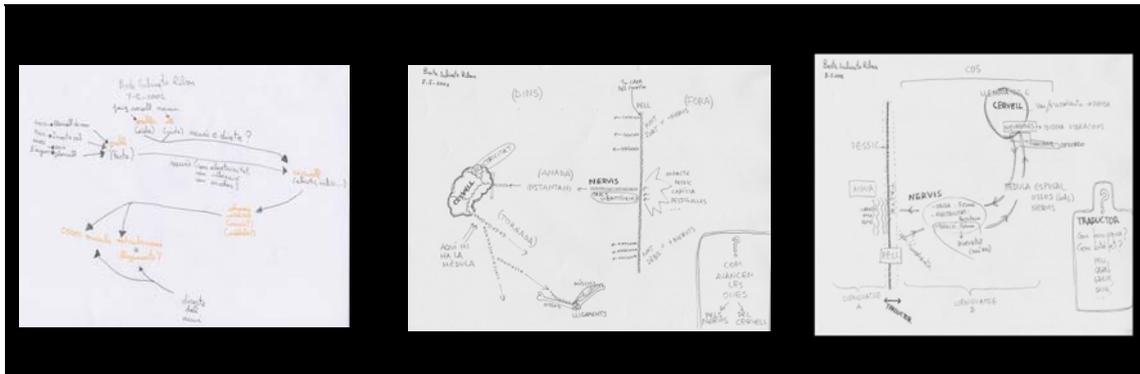


Abbildung 2b: Drei Schritte, die die Konstruktion und Überarbeitung von kollektiven Darstellungen/Modellen darstellen, welche darauf abzielen, interne Aspekte der Bewegungskontrolle in Organismen zu erklären. Von links nach rechts kann die Entwicklung der Vorstellungen gesehen werden, die die Identifizierung der für die Bewegungen verantwortlichen organischen Strukturen und Aspekte der Umwandlung von externen und internen Signalen an die Organismen einschließen (Acher & Traball, 2002).

Die oben beschriebenen Lehrerhandlungen, die die Zirkulation und Überarbeitung der individuellen und gemeinsamen Darstellungen unterstützen und damit die Interaktion mit verschiedenen Phänomenologien und Materialien fördern, stellen genau die unterrichtliche Unterstützung dar, die produktiv dafür ist, bei den Kindern eine Bedeutung für die Evaluierung von Darstellungen zu entwickeln. Andere Kollegen, die ebenso mit diesem Ansatz der Darstellung arbeiten, heben die Bedeutung der Evaluation in der unterrichtlichen Arbeit in der Grundschule hervor, da sie den Wunsch nach „der notwendigen Passung“ zwischen repräsentierender und repräsentierter Welt hervorruft (Arcà, 1998). Die Evaluation erfordert zweifellos weitere didaktische Verbesserungen, um bessere epistemologische Differenzierungen zu erreichen, damit den Kindern eine bessere Orientierung für ihre Überarbeitungen geboten werden können. Diese Verbesserungen können aus dem unterrichtlichen Vorgehen gewonnen werden. Denn dieses kann helfen, die Kriterien dieser epistemologischen Unterscheidungen deutlicher zu machen. Wir haben unsere Untersuchungen an einer Sekundarschule diesem Zusammenhang gewidmet, indem wir spezifische Dimensionen des „Metamodellierungs-Wissens“ in unsere Designarbeit über wissenschaftliches Modellieren einbezogen. In dieser Studie schlussfolgerten wir, dass

ein entscheidendes unterrichtliches Potenzial in der Entwicklung expliziter Formen der Metamodellierung besteht. Dies kann den Schülern helfen, Entscheidungen *mit* Bezug auf ihre Modellierung zu treffen – z.B. indem sie ihre Modelle evaluieren und überarbeiten – und nicht ohne diesen Bezug. Letzteres würde sie weit von der reflexiven, kreativen und authentischen Arbeit entfernen, auf die wir abzielen (Schwarz et al. 2009).

Dasselbe Potenzial wird für Grundschüler sogar noch wichtiger, da der Fluss an Kreativität und Spontanität eine wertvolle Quelle darstellt. Von dieser können Lehrer profitieren, um die Kinder darin zu unterstützen, nicht nur die Darstellungen zu produzieren, sondern sich über sie auszutauschen und sie zu überarbeiten. Wie man nun diese Kriterien zur Evaluation von Modellen deutlicher machen kann, ohne diesen Fluss zu unterbrechen und ohne feste Unterrichtsroutinen zu reproduzieren, wie etwa "Checklisten" mit Evaluationskriterien zu verwenden, ist bislang unbeantwortet. Ein Teil der Antwort auf diese Frage kann sich aus den sozialen Interaktionen im Unterricht und der Art ergeben, wie Lehrer und Kinder miteinander sprechen, wenn sie sich über ihre Darstellungen in der Klasse austauschen.

5. Die sozialen Interaktionen im Unterricht

Das Modellieren bietet als ein Prozess des Lehrens und Lernens im Unterricht auch hinsichtlich der Interaktionen und Gesprächskultur der Schülerinnen und Schüler sowie der Begründungen zu ihren Darstellungen Raum für produktive Unterstützung. Wenn Darstellungen im Unterricht herangereicht werden, ist den Kindern oft nicht bewusst, dass sie zusätzlich begründen müssen, warum sie z.B. ihre Darstellung so lassen wie sie ist, sie ändern oder warum sie eine Darstellung einer anderen vorziehen. Warum sollten sie auch Gründe bei der Validierung ihrer Darstellungen benennen, wenn sie es gewohnt sind, der Autorität des Lehrers zu vertrauen? Woher soll außerdem das Bedürfnis kommen, Begründungen für "konkurrierende" Darstellungen zu geben, wenn sich eine Klasse bezüglich der Bewertung der Darstellungen immer einig ist. Wir wissen aus Studien mit älteren Kindern, die in das *Naturwissenschaftliche Modellieren* eingebunden waren, dass die Notwendigkeit des Begründens dann entsteht, wenn der Lehrer der Klasse spezifische epistemische Ziele gesetzt hat, wie z.B. ein Wissensprodukt zu verteidigen und andere Schüler von dessen Potenzial zu überzeugen, mit ihm verschiedene Phänomene erklären zu können (Berland et al. 2015). Wir wissen außerdem aus den wenigen Studien zum *Naturwissenschaftlichen Modellieren* mit Grundschulkindern, dass das Setzen dieser Ziele die Entwicklung von Normen der sozialen Interaktion voraussetzen, die sich auf Diskurse und Teilhabe stützen, welche im traditionellen Unterricht nicht sehr häufig vorkommen (e.g. Ford & Forman, 2006). Aus diesem Grund ermuntere ich in meiner Arbeit Lehrer stets dazu, eine Vielzahl von sozialen Interaktionen zu fördern. Durch diese Interaktionen können die Kinder zum einen einen sicheren Umgang mit den verschiedenen Modellierungselementen wie der Werbung für Darstellungen und den Austausch über Darstellungen innerhalb der Klasse gewinnen. Zum anderen sind Interaktionen produktiv, da sich durch sie die naturwissenschaftlichen Kernideen innerhalb der Darstellungen entwickeln können. So ermuntere ich beispielsweise Kinder dazu, sich über ihre Darstellungen wiederholt mit den anderen auszutauschen. Damit lernen sie, ihre Entscheidungen darüber zu kommunizieren, welche der Vorstellungen, die sich während der Interaktionen mit dem Phänomen ergeben haben, aufgenommen werden sollen. Diese Art der sozialen Interaktion scheint das Vertrauen der Kinder in die Dialektik zwischen Darstellung und repräsentierter Welt zu stärken, genauso wie ihre Wertschätzung gegenüber den Darstellungen als soziale Konstruktionen. Sie bieten der Lehrperson außerdem ein Repertoire an Möglichkeiten, Kinder zu motivieren, darüber zu entscheiden, welche Darstellungen besser für einen bestimmten epistemischen Zweck geeignet sind. Die Lehrperson kann die Kinder gleichzeitig dazu motivieren, Gründe zu artikulieren, mit denen sie die anderen Kinder von dieser Wahl überzeugen können. Wir haben zum einen gesehen, dass die Produktivität dieser sozialen Interaktionen für die Modellierung teilweise von der Fähigkeit des Lehrers abhängt, Aspekte der naturwissenschaftlichen Kernideen in den Darstellungen der Kinder zu erkennen. Wir haben jedoch auch gesehen, dass sich andere kritische unterrichtliche Herausforderungen bereits bei der Generierung der sozialen Interaktionen „per se“ ergeben können (Acher, 2005). Zum Beispiel beobachteten wir in einer Studie zu Lernarrangements für das naturwissenschaftliche Modellieren, dass Lehrer die Kinder motivierten, sich über ihre Darstellungen auszutauschen und diese zu vergleichen. Allerdings gaben am Ende sowohl Lehrer als auch Schüler meist nur wertende Unterrichtsroutinen wieder. Dies machte es nicht einfach, die Kinder dazu zu bringen, Gründe für diese Bewertung zu geben (Schwarz et al. 2012). Schauble und Lehrer beschreiben die unterrichtlichen Herausforderungen, auf die wir hier hinweisen, wie folgt:

“... Lehrer müssen verstehen, dass man von ihnen erwartet, in ihrer Interaktion mit den Kindern auf den Vorstellungen von anderen aufzubauen, statt sie in einen kollektiven Monolog einzubinden (z.B. erst ich, dann du, dann der nächste), was oft in der Schule hoch geschätzt wird. Zusätzlich zu diesen allgemeinen Merkmalen der Klasseninteraktion müssen Lehrer explizit über fächerspezifische Normen nachdenken ...“ (Lehrer, R., & Schauble, L., 2010 S.18f)

Denn solange Lehrer die Kinder nicht gezielt in den fächerspezifischen sozialen Gesprächsnormen unterstützen, wird der Austausch über die Darstellungen der Kinder im Unterricht nur bedingt produktiv für die epistemischen Ziele des Modellierens sein. Außerdem müssen Lehrer nicht nur Lernumgebungen gestalten, in denen Schüler dafür verantwortlich sind, genau zuzuhören, Fragen zu stellen und einander auf respektvolle Weise herauszufordern, sondern auch das Potenzial erkennen, was ihre Intervention für das Ziel und den Adressatenkreis mit sich bringt. Der Lehr-Lern-Prozess der Modellierung im Unterricht würde in Konsequenz Normen der sozialen Interaktionen bereitstellen, auf deren Basis die Schüler Darstellungen/Modelle zunehmend bewusster wahrnehmen, reflektieren und kritisch betrachten können – sowohl ihre eigenen als auch die ihrer Mitschüler.

6. Fazit

Wenn man bedenkt, dass das Ziel naturwissenschaftlichen Lernens nicht nur das Verstehen fachlicher zentraler Modelle ist, sondern auch ein Verstehen von Erkenntnisprozessen beinhaltet, stellt sich die Frage, welche Art von wissenschaftlichem Modellieren in der Grundschule angemessen ist?

Ich habe das Argument eingebracht, dass Modellieren im Unterricht der Grundschule als eine auf Darstellungen basierende Einheit von Arbeits-, Handlungs- und Denkweisen betrachtet werden sollte. Als solche wird sie als ein Lehr- und Lernprozess im Unterricht verstanden, der in hohem Maße davon abhängt, ob und wie die Lehrperson die Darstellungen der Kinder produktiv für das Lernen der naturwissenschaftlichen Modelle und ihrer epistemischen Grundlagen nutzt. Außerdem habe ich argumentiert, dass dieser Ansatz nicht nur die Schüler, sondern auch die Lehrer dazu anspornt, über die Grenzen eines routinierten Ausführens fachspezifischer Handlungen hinauszugehen. Zudem werden die Schüler in eine zielgerichtete Arbeit der Wissenskonstruktion eingebunden. Diese Art der Einbindung steht im Einklang mit dem, was andere und auch ich, die mit älteren Kindern arbeiten, als *authentic participations in scientific Practices* beschreiben (Schwarz et al, 2012; Berland et. al 2015). Sie weist allerdings auch einige Merkmale auf, die sich eher auf das naturwissenschaftliche Arbeiten mit Grundschulkindern beziehen. Die Besonderheit liegt im Grundschulalter in der großen Vielfalt von Formen der Darstellungen, die den Erfindungsreichtum der Kinder, ihre Kreativität und die Entwicklung ihres Umgangs mit der physischen Welt sowie ihre Co-Evolution mit „resonanten Ideen“ berücksichtigen. Diese respektieren die Art und Weise, wie Kinder über ihre Umwelt denken und was sie über sie lernen. Dies wird unterstützt durch eine große Bandbreite an sozialen Interaktionen, die ihnen ermöglicht, sich schrittweise fächerspezifischen sozialen Normen der Art und Weise des miteinander Sprechens anzunähern, um die epistemischen Ziele der Modellierung verstehen zu können.

Meine Argumentation, und das möchte ich an dieser Stelle betonen, erzählt ganz gewiss nicht die gesamte Geschichte, wie man Grundschulkindern – und ihre Lehrer – in Modellbildungsprozesse einbinden kann. Man könnte ebenso die Handlungsstrukturen näher betrachten, die Schülern helfen, den Modellierungsprozess aufrecht zu halten und zu entscheiden, welche epistemischen Ziele für sie ertragreicher sind. Oder man könnte andere Wege einschlagen, um Wissen zu produzieren und zu validieren, beispielsweise auf der Basis der kulturellen Vielfalt der Klasse. Wenn man die Bemühungen auf andere Lehr- und Lernformen richtet, könnte man Leistungen von speziellen Aufgabenformaten betrachten, die die Idee der Modellierung als Kompetenz verfolgen (Lange & Hartinger, 2014; Upmeyer zu Belzen & Krüger, 2010). Ich bin davon überzeugt, dass einige Arbeits-, Denk- und Handlungsweisen ergiebiger sind als andere, insbesondere solche, die Elemente der Untersuchung und Elemente des Modellierens enthalten, wie Probleme zu generieren, produktive Fragen zu stellen, die Phantasie anzuregen, Darstellungen zu erarbeiten oder Experimente durchzuführen und Daten zu interpretieren, um diese Darstellungen zu überarbeiten.¹

¹ **Danksagungen:** Ich danke Dr. Steffi Herrmann für ihr aufmerksames Lesen, ihre sorgfältige Arbeit an den Korrekturen und ihre herausragende Unterstützung. Prof. Dr. Lydia Murmann unterstützte das Manuskript durch ihre zahlreichen Anmerkungen für ein verbessertes Verständnis des Textes. Ihre Vorschläge waren von unschätzbarem Wert.

Literatur

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., et al. (2004). Inquiry in science education: *International perspectives. Science Education, 88(3)*, 397–419.
- Acher, A. (2014) Como facilitar la modelización científica en el Aula [How to facilitate scientific modeling practices in classrooms]. *Tecne, Epistemic y Didaxis. TED Num. 36* ISBN 01213814
- Acher, A. & Arcà, M. (2013). Designing a learning progression for teaching and learning about matter in early school years. *Topics and trends in current science education. In European Selected Contributions. Part IV, pp 489-503. In* Tiberghien, A. Clement, P. & Bruguiere, C. Eds. Springer.
- Acher, A. & Arcà, M. (2008). *Children's representations in Modeling Scientific Knowledge Construction*. In Representational systems and practices as learning tools in different fields of knowledge. Chapter VIII, 109-133. Teuval, Scheuer, Echeverría & Andersen. Eds. Sense Press, NJ.
- Acher, A., Arcà, M., & Sanmartí, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education, 91*, 398–418.
- Acher, A. (2005). *Building explanation of the development of living beings and its biological resonances in kindergarten classrooms*. Ph D. Dissertation, UAB-Barcelona (in-house publications).
- Acher, A. & Traball, M. (2002). Science Education in museums and schools: learning to organize children's experience. *Guías Praxis, Spain, May 2002*.
- Arcà, M. (1998) *La cultura Científica a scuola* (The scientific culture in the classroom). Franco Angeli Eds. Milano, Italy.
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2015) Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *Journal of Research in Science Teaching. doi: 10.1002/tea.21257*.
- Duschl, R.A., Schweingruber, H.A., & Shouse, A.W. (Eds.), (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- Duschl, R., & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science and Education, 22*, 2109–2139.
- Ford, M. J. (2006). "Grasp of Practice" as a reasoning resource for inquiry and nature of science understanding. *Science and Education, 17(2-3)*, 147–177.
- Grünkorn, J.; Upmeier zu Belzen, A.; and Krüger, D. (2014). Assessing Students' Understandings of Biological Models and their Use in Science to Evaluate a Theoretical Framework. *International Journal of Science Education, Vol. 36, No. 10, 1651–1684*,
- Jiménez-Aleixandre, M.P., Rodríguez, A.B., & Duschl, R.A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education, 84*, 757–792.
- Koepfen, K., Hartig, J., Klieme, E., & Leutner, D. (2008). Current issues in competence modeling and assessment. *Journal of Psychology, 216(2)*, 61–73.
- Lange, K. & Hartinger, A. (2014). Modellierungskompetenz von Grundschüler(inne)n- Konzeptionierungen und Verortung im Sachunterricht. In Fischer, H.-J., Giest, H. & Peschel, M. (Hrsg.): *Lernsituationen und Aufgabenkultur im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn, 165-172.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). *Cultivating model-based reasoning in science education*. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, (pp. 371–387). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2012). Seeding evolutionary thinking by engaging children in modeling its foundations. *Science Education, 96(4)*, 701–724.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2010). What Kind of Explanation is a Model? In M.K. Stein, L. Kucan (eds.), *Instructional Explanations in the Disciplines*, Springer Science+Business Media, LLC . Chapter 2 pp 9-22.
- Leisner-Bodenthin, A. (2006). Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht. *ZfDN, 12*, 91-109.
- Manz, E. (2012). Understanding the co-development of modeling practice and ecological knowledge. *Science Education, 96 (6)* 1071–1105
- Mikelskis-Seifert, S. (2004) Entdecken, Erforschen, Erklären, G2. Publikation des Programms *Sinus Transfer in der Grundschule*. IPN, www.sinus-an-grundschulen.de
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC.: Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education.
- OECD. (2012). The PISA 2015 assessment framework: Key competencies in reading, mathematics and science. <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>.
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *J. Sci. Teacher Educ. 25*:177–196.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Acher, 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*, 632–654.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L. O. & Fortus, D. (2012). Issues and challenges in defining a learning progression for scientific modeling. In A. Gotwals (Ed.), *Learning progressions for science*. Eds. Sense press, NJ.
- Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16*, 41–57.
- 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.

Kurzvita

Dr. Andres Acher arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Schulpädagogik und Grundschuldidaktik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Schwerpunkt seiner Forschung sind verschiedene Aspekte des Lehrens und Lernens bei naturwissenschaftlichen Modellierungsprozessen im Unterricht. Im Speziellen trägt er zum

Verständnis bei, wie Lehrpersonen und Schüler*innen gemeinsam am naturwissenschaftlichen Modellieren partizipieren. Dabei untersucht er wie Lehrpersonen Lerngelegenheiten schaffen, um das Verständnis der Schüler*innen zu zentralen naturwissenschaftlichen Modellen, welche in der Modellierung eingebettet sind, über lange Zeiträume hinweg zu entwickeln.

Als Lehrer und Forscher in der Naturwissenschaftsdidaktik ist Dr. Andres Acher Mitarbeiter in vier europäischen und einer US-amerikanischen Universität gewesen. Darunter zählten das Kings' College London in England sowie die Northwestern University in den USA. Er arbeitete bei einer Reihe nationaler und internationaler schulischer Projekte mit, die Lehrpersonen und Schüler*innen der Grund- und Mittelschule einbanden. Seine Forschung wurde durch das deutsche BMBF, die EU, die National Science Foundation der USA, dem argentinischen Ministerium für Bildung und dem italienischen Ministerium für Kultur gefördert.