

## Naturwissenschaftliche Methoden aneignen und anwenden – Untersuchungen durchführen und wissenschaftliche Modelle nutzen am Beispiel Aggregatzustände und ihre Übergänge

Kim Lange-Schubert, Florian Böschl, Andreas Hartinger

### Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Lange-Schubert, Kim, Florian Böschl, and Andreas Hartinger. 2017.  
“Naturwissenschaftliche Methoden aneignen und anwenden – Untersuchungen durchführen und wissenschaftliche Modelle nutzen am Beispiel Aggregatzustände und ihre Übergänge.” In *Die naturwissenschaftliche Perspektive konkret*, edited by Hartmut Giest, 25–37. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

### Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright

Dieses Dokument wird unter folgenden Bedingungen zur Verfügung gestellt: / This document is made available under these conditions:

**Deutsches Urheberrecht**

Weitere Informationen finden Sie unter: / For more information see:

<https://www.uni-augsburg.de/de/organisation/bibliothek/publizieren-zitieren-archivieren/publiz/>



*Kim Lange-Schubert, Florian Böschl und Andreas Hartinger*

## **Naturwissenschaftliche Methoden aneignen und anwenden – Untersuchungen durchführen und wissenschaftliche Modelle nutzen am Beispiel Aggregatzustände und ihre Übergänge**

In unserem Beitrag wollen wir zeigen, wie Grundschul Kinder mit Modellen arbeiten, wie das mit eigenständig durchgeführten Versuchen verbunden werden kann und wie die Lernenden dadurch unterstützt werden, das komplexe Thema „Kondensation“ zu verstehen. Dabei legen wir einen Schwerpunkt auf das eigenständige Erarbeiten mithilfe naturwissenschaftlicher Methoden und auch darauf, dass durch spezielle Reflexionsphasen diese Methoden selbst zum Gegenstand des Unterrichts werden.

### **1 Naturwissenschaftliche Methoden als Grundlage des erkenntnisorientierten naturwissenschaftlichen Handelns**

#### **1.1 Bezug zum Bildungspotenzial der naturwissenschaftlichen Perspektive**

Naturwissenschaftliche Methoden zur Erkenntnisgewinnung haben in der Didaktik des Sachunterrichts vor dem Hintergrund der enormen Stofffülle des Faches historisch immer eine bedeutende Rolle gespielt (vgl. z.B. die Konzeption S-APA – Lauterbach 2001) und gelten auch heute – national wie international – als wichtige Kompetenzen einer naturwissenschaftlich gebildeten Person (vgl. GDSU 2013). Im Gegensatz zu den Konzeptionen der 1960er und 70er Jahre, in denen diese Verfahren weitgehend losgelöst von Inhalten thematisiert wurden, geht man heute davon aus, dass die Entwicklung und Erweiterung dieser Kompetenzen in der Verknüpfung von Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen mit thematischen Aspekten erfolgt (GDSU 2013, Adamina 2013). (Auch in den aktuellen Bildungsstandards für die weiterführenden Schulen werden solche Methoden aufgelistet: für die Physik z.B. Wahrnehmen, Ordnen, Erklären, Prüfen und Modellbilden (KMK 2005a), für die Biologie Beobachten, Vergleichen, Experimentieren, Modelle nutzen und Anwenden von Arbeitstechniken (KMK 2005b).) Als weitere wichtige Bereiche naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung identi-

fizieren Duit und Kollegen (2004) das Recherchieren und Kommunizieren (für weitere Auflistungen naturwissenschaftlicher Methoden vgl. z.B. Heitzmann 2010, S. 216). Wenngleich die Untersuchungsmethoden von einer Teildisziplin zur nächsten Unterschiede aufweisen, so teilen alle Naturwissenschaften im Kern die Auffassung, dass naturwissenschaftliches Wissen empirisches Wissen ist, das aufgrund von beobachtbaren Vorgängen gewonnen, logisch gefolgert und theoretisch eingebettet wird.

Das Experimentieren wird seit jeher als zentraler Bestandteil naturwissenschaftlicher Erkenntnismethoden herausgestellt (z.B. KMK 2005a, Hartinger im Druck). Es umfasst Prozesse wie das Entwickeln einer Fragestellung, das Aufstellen von Vermutungen, das Planen und Durchführen eines Versuchs, das Beobachten, Messen und Dokumentieren wie auch das Aufbereiten von Daten und das Schlussfolgern. Trotz dieser prominenten Stellung gibt es auch Stimmen, die anzweifeln, ob Kinder in der Lage sind, angemessen zu experimentieren und hinterfragen, inwieweit die Vorstellung eines wissenschaftlichen Experimentes auf das Lernen im Sachunterricht der Grundschule übertragen werden kann (Hartinger im Druck). Dabei gilt es – auch mit Bezug auf die Tradition der Handlungsorientierung im Sachunterricht – weithin als Konsens, dass es für Kinder sinnvoll und wichtig ist, sich selbständig, handelnd und aktiv mit Naturphänomenen zu beschäftigen und dass Handlungen Lernprozesse unterstützen können. In der Unterrichtspraxis herrscht dabei aktuell kein Mangel an phantasievollen Vorschlägen für unterrichtliche Aktivitäten von Kindern, wobei mit Begrifflichkeiten wie „Versuch“, „Experiment“ oder „Untersuchung“ gearbeitet wird, häufig ohne dass diese Begriffe einheitlich definiert und voneinander abgegrenzt werden. In Studien konnte gezeigt werden, dass sich solche Aktivitäten i.d.R. positiv auf die Motivation von Kindern auswirken. Als robuster Befund bzgl. des Lernens von Kindern konnte festgestellt werden, dass die Experimente/Versuche von Kindern vor- und nachbereitend mit kognitiven Aktivitäten, die auf eine Verknüpfung von Handlungs- und Denkprozessen zielen, flankiert werden müssen (a.a.O.).

Auch aus diesem Grund sind wir der Überzeugung, dass es ein guter Ansatz ist, Experimente und Versuche durch den Einbezug von Modellen und Modellierungsprozessen anzureichern. Dadurch können Handlungs- und Denkprozesse aufeinander bezogen sowie das Denken der Kinder angeregt werden.

## 1.2 Wissenschaftliche Modelle und wissenschaftliches Modellieren

Um Erklärungen und Vorhersagen für Phänomene zu erarbeiten, konstruieren Wissenschaftler/innen häufig Modelle. Modelle werden dabei als Repräsentationen betrachtet, die unter Fokussierung bestimmter Schlüsselkomponenten Systeme vereinfachend und abstrahierend darstellen, um Zusammenhänge (Mechanismen, Kausalitäten oder Funktionen) oder Charakteristiken bestimmter Phänomene zu illustrieren, zu erklären oder vorherzusagen (Schwarz et al. 2009).

Im Gegensatz zu gedanklichen Modellen sind materielle Modelle externalisiert. Sie sind für andere Menschen zugänglich und können z.B. maßstäblich oder abstrakt dargestellt werden – letztere in symbolischer, ikonischer oder mathematischer Form. Egal ob materiell oder gedanklich: Modelle sind niemals exakte Kopien der Originale.

Eine wesentliche Aufgabe von Modellen ist es, Schlüsselmerkmale hervorzuheben, und somit einfach, anschaulich und für den Betrachter schnell erschließbar zu sein. Trotz dieser Reduktion erheben Modelle Anspruch auf *inhaltliche Korrektheit*. Das bedeutet, dass jedes Modell durch *empirische Evidenzen* gestützt werden muss, dass es jedoch – genauso wie jede andere wissenschaftliche Erkenntnis – immer vorläufig ist. Neben inhaltlicher Korrektheit ist die *Zweckmäßigkeit* ein weiteres Qualitätsmerkmal von Modellen: Je nach Fragestellung und Perspektive können verschiedene Modelle zu einem Phänomen existieren. Sofern Modelle empirischen Evidenzen gerecht werden, sind sie daher nicht falsch oder richtig, sondern zweckmäßig oder ungeeignet. Durch die Reduktion haben Modelle zwangsläufig Grenzen, die ihre Aussagekraft einschränken. *Konstruieren, Anwenden, Evaluieren* und *Überarbeiten* von Modellen stellen konstituierende Elemente des Modellierungsprozesses dar. Im Unterschied zum schulischen Unterricht, wo häufig etablierte Modelle zum Einsatz kommen, müssen für den Erkenntnisfortschritt kontinuierlich neue Modelle geschaffen, getestet und revidiert werden. Dabei spielen Experimente (oder andere wissenschaftliche Untersuchungen) eine wichtige Rolle, zum einen da die Beobachtung der Welt Anlass bietet, ein initiales Modell zu konstruieren, und zum anderen, da die dann gesammelten Daten Hinweise auf die Güte des Modells geben und dazu führen können, dieses zu verändern.

### 1.3 Aggregatzustände – ein zentrales sachunterrichtliches Thema

Die überwiegende Mehrheit der Lehrpläne bzw. Curricula in Deutschland adressiert unter Bezug auf das Thema Wasser den Erwerb von Kompetenzen zum Wasserkreislauf. Die Betrachtung erfolgt in der Regel schwerpunktmäßig aus naturwissenschaftlicher und geographischer Perspektive. In naturwissenschaftlicher Hinsicht ist das Thema durch die verschiedenen Aggregatzustände (gasförmig, fest, flüssig) sowie durch den Wechsel dieser im Themenbereich „Nicht lebende Natur – physikalische Vorgänge“ (GDSU 2013, S. 44) relevant. Dies gilt in besonderem Maße, da damit auch die Themenbereiche „Eigenschaften von Stoffen“ oder „Stoffumwandlungen“ mit dem dahinterliegenden Basiskonzept der Materie bzw. mit dem Basiskonzept der Stoff-Teilchen-Beziehung (und mit Bezügen zu den Basiskonzepten System, Energie und Wechselwirkung) angesprochen werden (vgl. KMK 2005a). In den Lehrplänen und Kerncurricula für die Grundschule wird das Thema häufig unter Schlagworten wie „Wasser, Luft, Wetter“ oder noch weiter unter „Natürliche Phänomene“ aufgeführt. Das Thema weist eine

hohe Komplexität auf, die sich u.a. darin äußert, dass die ablaufenden Prozesse (Verdunstung und Kondensation) sowie deren Produkte (z.B. Wasserdampf) z.T. nicht direkt beobachtbar sind.

#### 1.4 Sachanalyse: Aggregatzustände und ihre Übergänge am Beispiel Wasser

Reinstoffe, zu denen auch das Wasser gezählt wird, liegen in drei möglichen Aggregatzuständen vor. Jeder Stoff besteht aus zahlreichen Molekülen, die sich in ständiger, ungeordneter Bewegung befinden – die Brown'sche Molekularbewegung. Je höher die Temperatur eines Stoffes ist, umso heftiger bewegen sich die Moleküle (Harten 2014). Es gibt jedoch auch molekulare Kräfte, die diese Bewegungen begrenzen und den Zusammenhalt der Moleküle untereinander bewirken (intermolekulare Kräfte). Die Unterschiede zwischen verschiedenen Aggregatzuständen lassen sich durch die Unterschiede im molekularen Aufbau und den intermolekularen Kräften erklären. In einem *Feststoff* schwingen die Moleküle um eine räumlich fixierte Position. Sie weisen eine recht strenge Ordnung auf. Man spricht daher auch häufig von der Anordnung in einer Gitterstruktur. Die Moleküle liegen dicht aneinander und die Anziehungskräfte zwischen ihnen sind stark. Wird die Temperatur erhöht, verstärkt sich zunächst die regellose Bewegung der einzelnen Teilchen um ihre Position. Nur wenige Moleküle sind in der Lage, die Gitterstruktur zu verlassen und in den gasförmigen Zustand (siehe unten) überzugehen. Diese Umwandlung eines Feststoffes in ein Gas nennt sich Sublimation. Die meisten Stoffe ändern ihren Zustand jedoch erst, wenn der Schmelzpunkt erreicht wird. Bei dieser Temperatur beginnen die Teilchen, ihre geordnete Position im Molekülgitter zu verlassen. Die Moleküle in einer *Flüssigkeit* sind sehr viel beweglicher als die in einem Feststoff. Zwar ist auch ihr Abstand gering und die Anziehungskräfte zwischen ihnen sind hoch, aber sie können sich relativ frei in der flüssigen Phase bewegen. Erwärmt man eine Flüssigkeit, nimmt die unregelmäßige Bewegung der Moleküle zu. Ständig stoßen sich die Teilchen gegenseitig an und übertragen ihre Bewegungsenergie aufeinander. Einige energiereiche Moleküle sind in der Lage, die Anziehungskräfte des Teilchenverbandes zu überwinden und in die Umgebung auszutreten. Ihre Anzahl steigt mit der Temperatur. Je mehr Wassermoleküle in dem umgebenden Gas enthalten sind, desto häufiger stoßen Moleküle mit der Wasseroberfläche zusammen und treten wieder in den Molekülverband ein. Ob eine nennenswerte Verdunstung stattfindet, hängt daher von der Temperatur des Wassers sowie der Luftfeuchtigkeit der Umgebung ab. Ein dritter Faktor kommt noch hinzu: Die Moleküle können nur an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Gas verdunsten, daher hängt die Geschwindigkeit einer Verdunstung auch von der Größe dieser Fläche ab. Wird die Temperatur weiter erhöht, nimmt die Energie der Moleküle so lange zu, bis schließlich die Siedetemperatur erreicht ist. Bei dieser Temperatur bilden sich Dampfblasen (= gasförmiges Wasser) im Inneren des flüssigen Wassers. Jede weiter zugeführte Wärmeenergie

wird nun dazu aufgewendet, Moleküle aus dem Teilchenverband der Flüssigkeit zu entfernen (Verdampfung). Die Temperatur einer solchen siedenden Flüssigkeit bleibt konstant, bis die gesamte Flüssigkeit verdampft ist. Dieser Vorgang ist umkehrbar – bei Abkühlung bewegen sich die einzelnen Moleküle langsamer und treten wieder in den Molekülverband ein (Kondensation). Bei der Rückumwandlung in die flüssige Form wird die Energie, die bei der Verdunstung/Verdampfung aufgewendet wird, wieder frei. Ist eine Flüssigkeit vollständig verdampft, nimmt das Gas, welches dieselbe Menge an Molekülen enthält, ein deutlich größeres Volumen ein. Dies lässt sich durch den sehr großen Abstand zwischen den Molekülen erklären. Sie fliegen regellos umher und prallen bei einem Zusammenstoß untereinander einfach ab (Mortimer/Müller/Beck 2014). Gasförmiges Wasser ist nicht sichtbar und wird als Wasserdampf bezeichnet. Dies ist insofern verwirrend, als Dampf in der Alltagssprache kondensiertes Wasser in der Form von Nebel bezeichnet, der Terminus Wasserdampf daher häufig inadäquat benutzt wird.

## 2 Analyse der Lernausgangslage

### 2.1 Vorerfahrungen und Vorkenntnisse zu wissenschaftlichen Methoden

In einigen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass auch schon Kinder im Grundschulalter in der Lage sind, Experimente zu planen, Daten zu interpretieren und über diesen Prozess zu reflektieren. Allerdings benötigen Grundschulkin- der dabei viel unterstützenden Kontext, die Forschungsmethoden selbst müssen Gegenstand der unterrichtlichen Reflexion werden (Möller/Kleickmann/Sodian 2014). U.a. können beim Experimentieren Schwierigkeiten auftreten, die kognitive Konflikte auslösen. Aus diesem Grund sind metakognitive Fähigkeiten, wie z.B. die Selbstkontrolle beim Arbeiten auch beim Experimentieren nicht zu unterschätzen. Neuere Forschungsarbeiten belegen, dass gerade Kinder mit ungünstigen Eingangsvoraussetzungen sich in Experimentierphasen im Sachunterricht als hilflos erleben und diese Lerngelegenheiten daher nicht entsprechend nutzen können (Ziegler 2014).

Mit Blick auf wissenschaftliche Modelle und wissenschaftliches Modellieren liegen Untersuchungen zu Schülervorstellungen aus der Sekundarstufe vor. Zusammenfassend belegen diese Studien, dass die Mehrzahl der Lernenden ein „naives Modellverständnis“ aufweist – Modelle werden als wirklichkeitsgetreue 1:1-Abbildungen der Realität bzw. als verkleinerte oder vergrößerte Darstellungen interpretiert. Dabei steht die Anschauungsfunktion von Modellen deutlich im Mittelpunkt. Die Rolle von Modellen im Erkenntnisprozess bleibt dagegen weitgehend unbeachtet – auch bei älteren Lernenden (Gogolin et al. im Druck). Lässt man Grundschulkin- der z.B. Modelle zum Wasserkreislauf konstruieren, be-

rücksichtigen diese häufig nur die sichtbaren Komponenten und Elemente des Wasserkreislaufes, um diesen zu illustrieren, weniger um diesen zu erklären oder vorherzusagen. In Bezug auf das wissenschaftliche Modellieren als Denk-, Arbeits- und Handlungsweise belegen allerdings erste Studien aus den USA, dass Grundschulkinder durchaus in der Lage sind, Modelle zu konstruieren, zu nutzen und evidenzgestützt zu überarbeiten, wenn diese Prozesse im Unterricht angewandt und reflektiert werden – die Unterstützung der Lehrkraft hat sich dabei als zentral erwiesen (z.B. Forbes/Vo/Zangori/Schwarz 2015).

## 2.2 Vorstellungen zum Thema Aggregatzustände und ihre Übergänge

Neben der Unterscheidung zwischen festen und flüssigen Stoffen fällt Lernenden der Grundschule insbesondere das Verständnis von gasförmigen Stoffen schwer. Eine Hauptschwierigkeit stellt dabei die Erkenntnis dar, dass Gase dauerhafte Substanzen sind, die Masse besitzen und Raum einnehmen. Das Verständnis dieser Eigenschaften von Gasen ist allerdings eine Voraussetzung für das Verständnis der Aggregatzustandsänderung, z.B. beim Prozess der Verdunstung im Wasserkreislauf. Es ist wahrscheinlich, dass man am Beginn des Unterrichts zum Wasserkreislauf verschiedene Gruppen von Schülervorstellungen vorfindet (Russell/Harlen/Watt 1989): 1) Die Vorstellung, dass sich Wasser gar nicht verändert sowie, dass Wasser verschwindet, sich sozusagen entmaterialisiert. 2) Vorstellungen, dass Wasser eine Ortsveränderung vornimmt, ohne dass jedoch eine Veränderung des Aggregatzustandes berücksichtigt wird. Als Auslöser für diese Ortsveränderung werden sowohl menschliche als auch tierische oder mythische Akteure in Betracht gezogen, die das Wasser entweder selbst beanspruchen oder bewirken, dass das Wasser an einen anderen Ort übergeht. 3) Vorstellungen, nach denen das Wasser in wahrnehmbaren und auch nicht-wahrnehmbaren Formen transformiert und konserviert wird. Wahrnehmbare Formen, in die das Wasser nach diesen Vorstellungen überführt werden kann, wären beispielsweise Nebel oder Wassertröpfchen, nicht wahrnehmbare Formen Wasserdampf. Diese Vorstellungen stehen dem wissenschaftlichen Konzept am nächsten. Auch zur Kondensation wurden Untersuchungen zu Schülervorstellungen durchgeführt. Johnson (1998) konfrontierte Schüler/innen mit der Frage, woher das Kondenswasser an einer gekühlten, zuvor trocken geputzten Limonadendose stamme. Typische Schülervorstellungen zur Erklärung des Kondensationsphänomens waren u.a. die veränderte Temperatur als Ursache für die Tröpfchenbildung, eine Eisschicht, die sich im Kühlschrank um die Dose gebildet habe, Wasser, das aus dem Inneren der Dose stamme und Wasser, das aus der Luft komme. Es zeigt sich zudem, dass einige Schüler/innen relativ unspezifisch die Kälte als Ursache für die Tröpfchenbildung ausmachen.

### 3 Beispiele für den Unterricht: Kondensationsphänomene untersuchen und modellieren

#### 3.1 Fachdidaktische Überlegungen

Auch wenn bei diesem Thema nicht sichtbare Phänomene berücksichtigt werden müssen, setzen wir zunächst bei sichtbaren Prozessen an, um diese systematisch zu untersuchen. Dabei sollen die Schüler/innen eigenständig ihre Beobachtungen machen. Die Versuche sind so ausgewählt, dass aus den Beobachtungen und Messungen der Kinder Muster und Regelmäßigkeiten entdeckt werden können, welche dann Schlussfolgerungen zur Erklärung der Phänomene erlauben. Dabei kommt Modellen und dem Modellieren in unserem Vorschlag aus zwei Gründen eine entscheidende Rolle zu. Zum ersten nutzen wir Modelle, um die nicht-sichtbaren Komponenten des Wasserkreislaufs sowie die Erklärungsmechanismen anschaulich zu machen. Zum zweiten arbeiten die Schüler/innen (in der eher angloamerikanischen Tradition – Forbes et al. 2015) mit selbst konstruierten Modellen. Anhand dieser werden die Vorerfahrungen und Vorstellungen deutlich, die die Schüler/innen zu Beginn des Unterrichts haben. Im Verlauf des Unterrichts werden sie dann genutzt, um wissenschaftliche Fragen zu formulieren, Hypothesen abzuleiten und Vermutungen aufzustellen, Untersuchungen zu planen und durchzuführen, Phänomene zu erklären und diese Erklärungen zu kommunizieren und zu verteidigen. Dabei werden immer wieder Phasen eingezogen, in denen die Schüler/innen mit Unterstützung der Lehrkraft die Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen diskutierten und reflektieren.

Die in diesem Artikel genannten Praxisanregungen wurden in Klassen der 4. Jahrgangsstufe erprobt und dort erfolgreich evaluiert; sie können aber sicherlich auch schon am Ende der dritten Klasse umgesetzt werden.

#### 3.2 Inhaltliche Strukturierung des Unterrichts

Im hier skizzierten Beispiel wird der Fokus auf die Kondensation gelegt. Dies ist (gemeinsam mit dem gegenläufigen Prozess der Verdunstung) eines der drei zentralen Konzepte im Rahmen des komplexen Themas „Wasserkreislauf“. (Hinzu kommen „Versickerung und Grundwasser“ sowie die konstante Bewegung des Wassers der Erde in der globalen Zirkulation). Bezogen auf die Modellierungskompetenz sollen die Lernenden die Gelegenheit erhalten, eigene Modelle zu konstruieren, diese zu testen, zu evaluieren und zu überarbeiten und zum anderen über (multiple) Modelle zu reflektieren.

Wie eine Übertragung in den Themenbereich „Verdunstung“ aussehen kann, wurde an anderer Stelle veröffentlicht (Lange/Forbes/Helm/Hartinger 2014) – die Umsetzung für den Bereich „Versickerung und Grundwasser“ wird im Begleitband zur geographischen Perspektive dargelegt (vgl. Lange-Schubert/Schubert/Böschl/Forbes 2016).

## 4 Aufgaben und Aufträge

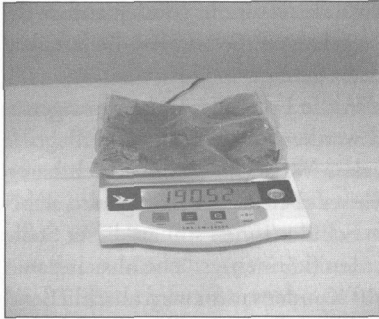
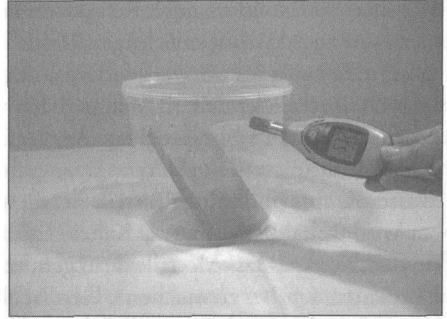
### 4.1 Einstieg: Initialmodelle konstruieren und Vorwissen aktivieren

Den Einstieg in das Thema bildet ein Ankerphänomen der Lebenswirklichkeit, welches die vorliegenden Vorstellungen der Kinder aktivieren und sie gleichzeitig motivieren soll. Dafür entnimmt die Lehrkraft aus einer Kühlbox eine sehr kalte Getränkedose und wischt diese vor den Augen der Kinder trocken. Die Kinder beobachten, wie die Flasche wieder beschlägt und stellen Vermutungen zur Erklärung des Phänomens auf, die an der Seitentafel gesammelt werden. Die Brücke zu Modellen und zum Modellieren wird geschlagen, indem die Lehrkraft ein Gespräch über den Nutzen und Zweck von Modellen in der Wissenschaft initiiert – dies kann natürlich auch schon im Vorfeld geschehen. Sie erklärt, was Forscher/innen und Wissenschaftler/innen tun, wenn sie etwas sehen – wie etwa Wasser, das sich auf einer Dose bildet – und sie dieses Phänomen nicht gleich erklären können: „Sie zeichnen ihre Ideen als Modell auf. Damit können sie ihre Ideen überprüfen und anderen Forscher/innen ihre Idee(n) zeigen und besser erklären. Auch Unsichtbares kann in so einem Modell vorkommen.“ Damit die Kinder nun selbst wie die Wissenschaftler/innen arbeiten können, erhalten sie ein Arbeitsblatt, mit dem Auftrag aufzuzeichnen, wie es ihrer Meinung nach zur Ansammlung der Wassertropfen an der Dose gekommen ist. Typische Erklärungen der Kinder sind, dass das Wasser aus dem Inneren der Dose stammt (z.B. dass die Dose undicht war), dass die Flüssigkeit in der Dose verdunstet und durch die Öffnung nach außen gelangt ist, um dort zu kondensieren, dass das Wasser von Wolken im Himmel stammt und dass das Wasser aus der Luft stammt.

### 4.2 Untersuchungen durchführen, Modelle testen, evaluieren und überarbeiten

Im nächsten Schritt des Unterrichts führen die Kinder dann selbstständig Untersuchungen durch. Dies erfolgt unter einer doppelten Zielsetzung. Zum einen sollen sie die Gelegenheit erhalten, Kondensationsphänomene gezielt zu beobachten, um Schlussfolgerungen zur Herkunft des Wassers und zur Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz ableiten zu können. Zum zweiten können sie dann ihre (Initial-)Modelle (und damit ihre ursprünglichen Erklärungsansätze) an der Wirklichkeit überprüfen. Dazu sollen die Schüler/innen unter Zuhilfenahme ihres Initialmodells zu Beginn einer jeden Untersuchung vermuten, was ihrer Meinung nach geschehen wird. Dabei gilt folgende Regel: Erst wenn alle Kinder ihre Vermutungen aufgeschrieben und mit der Gruppe besprochen haben, darf der Versuch durchgeführt werden.

In einer ersten Untersuchung werden kalte Kühlkompressen aus der Kühlbox auf eine Präzisionswaage gelegt. Mit Hilfe einer Stoppuhr wird alle dreißig Sekunden innerhalb eines zweiminütigen Intervalls der Stand der Gewichtsanzeige notiert (vgl. Abbildung 1).

**Abb. 1:** Kühlkomresse wiegen**Abb. 2:** Luftfeuchtigkeit messen

Die Kinder können innerhalb weniger Sekunden eine Zunahme des Gewichts beobachten. Diese Beobachtung wird insbesondere die Kinder irritieren, die vermuten, dass die Feuchtigkeit bei Kondensationsphänomenen aus dem jeweiligen Behälter selbst stammt. Lernende mit dieser Vorstellung sollten vermuten, dass das Gewicht konstant bleibt (da sich das Wasser nur von außen nach innen bewegt). Um die beobachtete Gewichtszunahme zu erklären, müssen die Lernenden diese Vermutung zurückweisen und die Luft als Ursprungsort des Wassers in Betracht ziehen. In der zweiten Untersuchung wird ein kaltes Kühlelement in einer verschließbaren Box platziert und alle dreißig Sekunden festgestellt, wie sich die Luftfeuchtigkeit innerhalb der Box ändert (dafür wird der Fühler eines Hygrometers, welches kostengünstig über Internet-Versandhändler bezogen werden kann, durch ein kleines Loch in den Behälter eingeführt, so dass die Box nicht mehr geöffnet werden muss, vgl. Abb. 2). Die Kinder können beobachten, dass sich Wasser am Kühlelement sammelt und die Luftfeuchtigkeit gleichzeitig sinkt. Diese Untersuchung adressiert erneut die Vorstellung, dass das Wasser aus dem Inneren stammt. Durch die Beobachtung der abnehmenden Luftfeuchtigkeit im Behälter können die Kinder zu dem Schluss kommen, dass das sich bildende Wasser aus der Luft stammt bzw. dass der in der Luft befindende Wasserdampf sich in Wasser verwandelt. In der dritten Untersuchung vergleichen die Schüler/innen eine kalte Dose, die direkt aus der Kühlbox kommt, mit einer warmen. (Nicht nötig, aber sehr spektakulär ist es, wenn man den Effekt noch verstärkt, indem man die Dosen in die Nähe eines Verneblungsgerätes hält.) Die Kinder können beobachten, dass sich nur an der kalten Dose Wassertropfen bilden. Sie sollen somit erkennen, dass die Temperaturdifferenz die Kondensation beeinflusst.

Die Schüler/innen notieren während der Untersuchungen ihre Beobachtungen und Messungen in Forscherheften und sind aufgefordert, ihre Ergebnisse in der Kleingruppe zu diskutieren. Dazu sind im Forscherheft neben offenen Notizfeldern auch strukturierende Aufgabenstellungen vorgesehen. Diese sollen die Lernenden darin unterstützen, nicht nur rein beschreibende, illustrierende Modelle

zu generieren, sondern auch Relationen und Gründe mit in ihr Modell aufzunehmen, um zu erklärungs mächtigen Modellen zu gelangen. So werden die Schüler/innen z.B. explizit nach der Herkunft des Wassers gefragt.

Im sich anschließenden Klassengespräch werden die Ergebnisse zusammengetragen, reflektiert und besprochen. An der Tafel werden Skizzen, wichtige Begriffe und Erkenntnisse festgehalten. Dazu gehört, dass Wasser in Form unsichtbaren Wasserdampfs in der Luft verteilt ist, dieses Wasser aber wieder flüssig, also sichtbar wird, sobald es auf etwas Kaltes trifft. Den Schüler/innen soll an dieser Stelle bewusst werden, dass Modelle dazu genutzt werden (können), solche unsichtbaren Elemente „sichtbar zu machen“. Der Fachbegriff Kondensation wird abschließend eingeführt. In einem weiteren Schritt der Ergebnissicherung sollen die Schüler/innen die neu gelernten Inhalte auf das Einstiegsp hänomen übertragen und begründet zu den zuvor aufgestellten Vermutungen Stellung nehmen.

#### 4.3 Modelle vergleichen und evaluieren

Anschließend zeigt die Lehrkraft ein oder zwei etablierte(s) Vergleichsmodell(e) der Kondensation und erklärt, dass andere Forscher/innen diese Modelle konstruiert haben, um ihre Idee zu veranschaulichen und das Phänomen zu erklären. Die Kinder werden aufgefordert, zu den Modellen Stellung zu nehmen und zu begründen, was ihnen an diesen gefällt, was ihnen nicht gefällt und was man besser machen könnte. Dabei sollen die Kinder sich auf die zuvor gemachten Untersuchungen beziehen, z.B. durch die Frage: „Zeigt das Modell, wo das Wasser herkommt? Zeigt das Modell, wie es zur Tropfenbildung kommt?“ Nach der Diskussion über die „fremden“ Modelle sollen sie diese mit ihren eigenen Modellen vergleichen. Es kann herausgearbeitet werden, was sie an ihren eigenen Modellen gelungen oder nicht gelungen finden. Das Ziel hierbei ist es, die Schüler/innen aktiv zu reflektierter Modellkritik anzuregen und herauszuarbeiten, dass es keine richtigen oder falschen Modelle gibt, solange diese sich mit den Beobachtungen decken. Wichtige Kriterien, die nach Meinung der Kinder ein gutes Modell ausmachen, werden an der Tafel gesammelt.

#### 4.4 Ein Konsensmodell finden

Abschließend erhalten die Schüler/innen nun noch einmal die Gelegenheit, ihr Initialmodell zu überarbeiten und ggf. zu verbessern, bevor sie ihre Modelle gemeinsam analysieren und evaluieren, um zu einem Klassen-Konsens-Modell zu kommen – das sich explizit nicht an dem etablierten Modell orientieren muss. Hierfür hat sich die Place-Mat-Methode als hilfreich erwiesen, bei der die Kinder ihre individuellen Modelle an den Seiten positionieren und in der Mitte in einem Ko-Konstruktionsprozess ein „Konsensmodell“ erstellen, das die besten Merkmale ihrer individuellen Modelle vereint. Sofern dieser Prozess der Klasse noch nicht

vertraut ist, sollte er im Klassengespräch erfolgen, wobei die Lehrkraft die Diskussion moderiert. Leitfragen, die die Diskussion in den Kleingruppen oder im Plenum strukturieren, sind z.B. die Fragen nach den zu berücksichtigenden Komponenten und nach der Art und Weise, wie diese dargestellt werden sollten. Diese Modelle sollten dann genutzt werden, um bislang nicht besprochene Phänomene aus der Lebenswelt zu erklären und vorherzusagen (z.B. „Was passiert mit einer Brille, wenn man an einem kalten Wintertag von draußen nach drinnen kommt?“ oder „Wie kommt es, dass Nebel entsteht?“). Abschließend können die so konstruierten Modelle auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie mit Blick auf ihre Erklärungsmacht analysiert werden. Es bietet sich an, den Themenbereich „Verdunstung“ direkt vorher oder nachher nach selbigem Schema zu erarbeiten.

## 5 Zu erwerbende Kompetenzen konkret

Eine so gestaltete Lernumgebung sollte die Schüler/innen beim Aufbau der folgenden, im Perspektivrahmen formulierten, Kompetenzen (in z.T. unterschiedlicher Intensität) unterstützen. Die Lernenden können:

- Untersuchungen sachorientiert durchführen (indem sie die Versuche durchführen, Ergebnisse notieren und Modelle nutzen, um Vorhersagen zu machen, Vermutungen zu überprüfen und Phänomene zu erklären);
- Beobachtungen vergleichen und dabei zunehmend sachbezogene Merkmale (hier Temperatur und Aggregatzustand) identifizieren und zur Erklärung nutzen;
- ausgewählte Größen messen und die Messwerte für Vergleiche (u.a. mit den eigenen Vermutungen in Form der Initialmodelle) nutzen;
- sinnliche Wahrnehmungen und gemessene Größen geeignet fixieren und eindeutig darstellen (hier v.a. mit den selbst entwickelten Modellen);
- methodisch gesicherte Größen von subjektiven/individuellen Interpretationen unterscheiden (z.B. durch das Testen der Initialmodelle durch Versuche, das Notieren von Beobachtungen und das Ziehen von Schlussfolgerungen);
- die Notwendigkeit der Evidenzprüfung durch Anwendung naturwissenschaftlicher Verfahren erkennen und diese anwenden (z.B. durch das Testen und Evaluieren der (Initial-)Modelle);
- erste Modellvorstellungen aufbauen sowie den interpretativen Charakter von Wissen und Modellen erkennen (keine 1:1 Abbilder der Realität);
- komplexere Versuche nach Anleitung zunehmend selbständig durchführen und durch vor- und nachbereitende kognitive Aktivitäten auswerten;
- Veränderungen der nicht lebenden und lebenden Natur wahrnehmen und auf Regelmäßigkeiten zurückführen (hier Aggregatzustandsänderungen von Wasser);

– anderen einen Sachverhalt unter Nutzung und Anwendung der gefundenen Lösungen und Erkenntnisse erklären und sich dabei sprachlich verständlich und angemessen äußern, argumentieren (hier unter Rückgriff auf Modelle als Kommunikationsmedium).

Die Ergebnisse der Evaluation zeigen, dass Grundschul Kinder in einem solchen Unterricht gute Lernfortschritte erzielen, zum einen mit Blick auf die naturwissenschaftlichen Erkenntnismethoden, zum anderen mit Blick auf die Fachinhalte. Erforderlich ist die Unterstützung durch die Lehrkraft, z.B. in Reflexionsphasen, bei denen darüber gesprochen wird, inwiefern das Anwenden der Modelle für die Erkenntnisgewinnung hilfreich war.

Gut erfassen kann man hier auch die Lernfortschritte der Kinder, wenn man ihre Initialmodelle mit den Postmodellen vergleicht und dabei Bewertungen auf zwei Ebenen vornimmt: zum einen auf der Ebene des Modellierens und des Umgangs mit Modellen (z.B.: Werden sichtbare und unsichtbare Komponenten berücksichtigt? Werden erklärende Elemente modelliert? Gibt es Beschriftungen?) und zum anderen auf der Inhaltsebene (z.B.: Sind die Aussagen sachadäquat und ausdifferenziert? Sind die Aussagen erst in Ansätzen oder schon weitgehend generalisiert?). So kann eine prozessbezogene und kompetenzorientierte Leistungserfassung und -bewertung umgesetzt werden. Abbildung 3 zeigt exemplarisch zwei Prä- und Post-Modelle von Schüler/innen der vierten Jahrgangsstufe.

Schlussendlich ist es uns ein Anliegen zu betonen, dass der Unterricht auch die unter 3.2 skizzierten Bereiche thematisieren sollte. Auch zur Verdunstung, zum Grundwasser und zur Wasserbewegung auf globaler Ebene haben Kinder häufig alternative Vorstellungen. Studien zeigen, dass Zeichnungen zum Wasserkreislauf hauptsächlich die (sichtbaren) Komponenten und Prozesse der Atmosphäre (Wolken, Regen) aufgreifen, während das Grundwasser selten berücksichtigt wird (Ben-Zvi Assaraf/Orion 2010). Dazu konstruieren Schüler/innen in der Regel eher statische Modelle ohne dynamische Aspekte, bei denen die verschiedenen Prozesse (Verdunstung, Kondensation, Versickerung) nicht mit Bewegung von Wasser assoziiert werden, sondern Ortszuschreibungen wie „oben“ oder „unten“ überwiegen. Die Komponenten des Wasserkreislaufes werden eher isoliert betrachtet, Interaktionen zwischen Wasser an einem Ort und Wasser an einem anderen Ort nur selten berücksichtigt (a.a.O.). Um diese alternativen und fragmentierten Vorstellungen nicht weiter zu verstärken, sollte der Unterricht u.E. alle drei thematischen Konzepte adressieren – das hier beschriebene Vorgehen zur Einbindung von Untersuchungen und Modellen sowie Modellierungsprozessen kann eine Blaupause für die jeweilige Umsetzung sein.

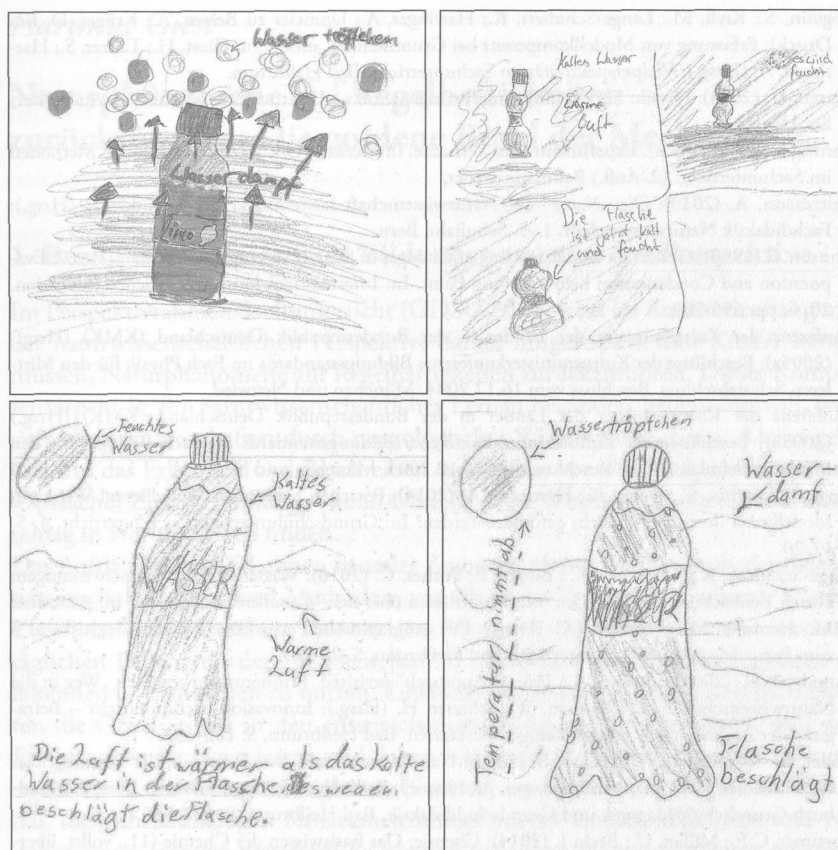


Abb. 3: Prä-/Post-Modelle zweier Schüler/innen

## Literatur

- Adamina, M. (2013): Kompetenzorientierung im Sachunterricht am Beispiel der geographischen Perspektive. In: Gläser, E.; Schönknecht, G. (Hrsg.): Sachunterricht in der Grundschule. Entwickeln – gestalten – reflektieren. Frankfurt am Main: Grundschulverband (Beiträge zur Reform der Grundschule, 136), S. 171-183.
- Ben-Zvi Assaraf, O.; Orion, N. (2010): System thinking skills at the elementary school level. In: Journal of Research in Science Teaching, 47, pp. 540-563.
- Duit, R.; Gropengießer, H.; Stäudel, L. (Hrsg.) (2004): Naturwissenschaftliches Arbeiten. Unterricht und Materialien 5-10. Seelze.
- Forbes, C.T.; Vo, T.; Zangori, L.; Schwarz, C. (2015): Supporting students' scientific modeling when learning about the water cycle. In: Science and Children, 53, 2, pp. 42-49.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hrsg.) (2013): Perspektivrahmen Sachunterricht. Vollständig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. Bad Heilbrunn.