

Anschlussfähiges Wissen aufbauen: Spiralcurricula für den Physikunterricht

E. Stern, R. Schumacher u. B. Hänger

1 Konzeptverständnis als Kernkompetenz

Wenn wir Menschen uns mit anderen Lebewesen hinsichtlich unserer Lernfähigkeit vergleichen, schneiden wir sehr gut ab: Wir haben als Spezies die Welt verändert, indem wir Kultur, Zivilisation, Wissenschaft und Technik entwickelt haben. Ermöglicht wurde dies vor allem durch institutionelles Lernen, wie es in der Schule vorgesehen wird. Wenn es gut läuft, können normal begabte Kinder in wenigen Jahren Kompetenzen erwerben, deren Entwicklung über Jahrhunderte ging und die von genialen Geistern vorangetrieben wurde. Ungeachtet dieser Leistung sind wir oft unzufrieden mit den Resultaten schulischen Lernens. Warum ist es so mühsam, eine Fremdsprache zu lernen? Warum sitzen Schülerinnen und Schüler über Jahre im Physik- und Mathematikunterricht, ohne das Wesentliche verstanden zu haben?

Aus der Sicht der kognitiven Psychologie heißt Lernen, die bestehende Wissensbasis so zu verändern, dass Anforderungen der Umgebung besser bewältigt werden können. Es hängt vom bereits verfügbaren Wissen ab, wie effizient eingehende Information verarbeitet wird. Dies gilt bereits für das Kindesalter: Lernen gilt als der mächtigste Mechanismus der kognitiven Entwicklung. In diesem Lebensabschnitt können die Grundlagen für späteres Lernen gelegt werden, indem anschlussfähiges Wissen erworben wird, das in den späteren Jahren verfestigt oder umstrukturiert werden kann. Prozedurales Wissen, also „Wissen wie“ entsteht durch Wiederholung und erlaubt die Verarbeitung von Information ohne wesentliche Beanspruchung von Arbeitsgedächtnisressourcen (mehr dazu siehe [1]). Geübte Leser erkennen Buchstaben auf einen Blick und haben so enge Assoziationen zwischen Buchstaben und Lauten aufgebaut, dass beides zusammen aktiviert wird. Ein im Lesen ungeübter Mensch hingegen muss jeden Buchstaben in einen Laut übertragen und daraus mühsam ein Wort konstruieren. Aus der Forschung ist hinreichend belegt, dass Trainings zur phonologischen Bewusstheit im

Kindergarten den Schriftspracherwerb erleichtern [2]. Eine frühe Prozeduralisierung ist auch im mathematischen Bereich hilfreich: In der Grundschule sollte ein mentaler Zahlenraum aufgebaut werden, der aus der Durchführung arithmetischer Operationen entstanden ist. Auch wenn elektronische Rechenhilfen eine Selbstverständlichkeit sind, muss das „1x1“ beherrscht werden [3], [4], [5]. Allerdings sollte es nicht einfach auswendig gelernt werden, sondern sich aus Rechenoperationen ergeben.

Während prozedurales Wissen durch Wiederholung aufgebaut wird und sich häufig der bewussten Wahrnehmung entzieht, entsteht deklaratives Wissen, also in Sprache, Schrift oder anderen Symbolsystemen repräsentierbares Wissen, durch sinnstiftende Aktivitäten im Austausch mit anderen Menschen oder von diesen verfasstem schriftlichem Material. Konzepte bzw. Begriffe erhalten ihre Bedeutung grundsätzlich durch die Verbindung zu anderen Konzepten. Bei den meisten Menschen liegen Begriffe wie „Wasser, nass, trinken, Durst, waschen“ eng beieinander. Haben sie erfolgreich Physikunterricht absolviert, wie er im dritten Teil dieses Artikels beschrieben wird, wird „Wasser“ auch mit „Druck“ und „Auftriebskraft“ assoziiert und bekommt so eine zusätzliche Bedeutung.

Missverständnisse zwischen Lehrpersonen und Schülerinnen und Schülern bestehen häufig darin, dass die gleichen Wörter verwendet werden, während die Netzwerke, in die sie eingebettet sind, sehr unterschiedlich sind. So wird das Konzeptwissen von Kindern zunächst von charakteristischen Oberflächenmerkmalen und nicht von theoriegeleiteten, definitorischen Merkmalen bestimmt, weil sie sich bei der Bildung von Begriffen in erster Linie von ihren Wahrnehmungen leiten lassen. Jüngere Grundschulkinder bejahen zum Beispiel die Frage, ob ein Haufen Reis etwas wiege, verneinen aber die Frage, ob ein einzelnes Reiskorn etwas wiege. Diese zunächst unverständliche Antwort wird nachvollziehbar, wenn man berücksich-

tigt, dass jüngere Kinder „Gewicht“ und „sich schwer anfühlen“ noch miteinander gleichsetzen. Auch dass der Wal ein Säugetier und kein Fisch ist, ist für Kinder schwer zu verstehen, weil sie Tiere zunächst nach ihrem Lebensraum einteilen. Dass die Art der Fortpflanzung – die man im Allgemeinen nicht zu sehen bekommt – ein sinnvolles Kriterium bei der Klassifikation von Tieren sein kann, versteht man erst im Zusammenhang mit zusätzlichem und tiefergehendem biologischen Wissen. Erst wenn ein Verständnis für den theoretischen Hintergrund vorliegt, der die Unterteilung in Säugetiere und Fische notwendig macht, werden nicht mehr charakteristische (lebt im Wasser, hat Flossen), sondern definitorische Merkmale (Nachwuchs wird lebend geboren und mit Muttermilch ernährt) zur Konzeptbildung herangezogen. Ein nach definitorischen Merkmalen und in einen Theoriekontext eingebettetes Begriffsnetzwerk sorgt also genauso wie prozedurales Wissen für eine effiziente Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis. Es bleiben freie Ressourcen für geistige Aktivitäten, die beispielsweise den Transfer von Wissen auf neue Gebiete fördern können.

Wie aber erwirbt man ein solches theoriegeleitetes abstrahiertes Konzeptnetzwerk? Dabei ist oft nicht das fehlende, sondern das bestehende Wissen ein Problem. Wer einen Strudel im Fluss oder abfließendes Wasser in der Badewanne beobachtet hat, kann sich durchaus vorstellen, dass das Wasser saugt. Wenn in Wasser eingetauchte Gegenstände untergehen, wird dies konsequenterweise damit erklärt, dass das Wasser sie nach unten saugt. Wer gesehen hat, wie der Wind – von Kindern oft mit Luft gleichgesetzt – Gegenstände aufwirbelt, wird die Tatsache, dass manche Gegenstände nicht im Wasser untergehen, damit erklären, dass die Luft sie nach oben zieht. Eine Erklärung dafür, dass vom Physikunterricht so wenig hängen bleibt, liegt darin, dass sich die Schülerinnen und Schüler bereits lange, bevor das Fach in der Schule gelehrt wurde, so viele Gedanken über Begriffe wie Arbeit, Energie oder Kraft

gemacht haben, dass für die Feinheiten, die die Physiklehrperson zu vermitteln versucht, in ihrem Wissensnetz zunächst kein Platz mehr ist [6], [7].

Konzeptwechsel gehört zu den sehr anspruchsvollen geistigen Tätigkeiten und erfordert professionelle, institutionalisierte Lerngelegenheiten. Wenn selbst sehr intelligente Schülerinnen und Schüler in Mathematik und in den Naturwissenschaften schlechte Leistungen erbringen, kann dies an suboptimalem Unterricht in den fortgeschrittenen Klassen liegen. Möglicherweise hätten die Schüler aber unabhängig von der Unterrichtsqualität mehr gelernt, wenn sie mit adäquatem konzeptuellem Vorwissen in den Unterricht gegangen wären. Wie zu Beginn erwähnt, konnten für Schriftsprachkompetenz und für Mathematik die überragende Rolle des Vorwissens für den weiteren Lernerfolg nachgewiesen werden, wobei gerade für Mathematik auch das deklarativ-konzeptuelle Wissen entscheidend war [8]. Beim naturwissenschaftlichen Lernen steht das Lernen von Konzepten im Mittelpunkt. Das benötigte prozedurale Wissen ist vor allem im sprachlichen Bereich anzusiedeln: Flexibilität und Eloquenz im Sprachgebrauch fördern den Aufbau und die Umstrukturierung konzeptueller Netzwerke.

Gezielt und früher als bisher üblich gefördert werden sollte im naturwissenschaftlichen Bereich der Aufbau von deklarativem Begriffswissen, und zwar mit dem Ziel, rechtzeitig die Umstrukturierung, Differenzierung und Erweiterung von Konzepten einzuleiten. Eine Differenzierung von Begriffswissen kann beispielsweise im Bereich „Schwimmen und Sinken“ in der Primarschule eingeleitet werden, wenn es um die Frage geht, warum Gegenstände im Wasser schwimmen oder sinken. Die meisten achtjährigen Kinder meinen, dass leichte Gegenstände schwimmen und schwere sinken. Das ist zwar falsch, aber es enthält anschlussfähige Komponenten. Es muss ergänzt werden, dass für die Frage, ob etwas schwimmt oder sinkt, entscheidend ist, ob es für seine Größe leicht oder schwer ist. Damit werden die Grundlagen für das Konzept der Dichte gelegt. Das Konzept von „Luft“, das die meisten Grundschüler mitbringen, muss hingegen einer stärkeren Umstrukturierung unterzogen werden, weil es inkompatible Komponenten enthält. So denken viele Kinder, dass Luft entweder kein oder sogar ein negatives Gewicht hat. Darum ist es wichtig, Kindern rechtzeitig in der Grundschule Lerngelegenheiten zu bieten, die das naturwissenschaftliche Verständnis verbessern. Im

Folgenden wird beschrieben, wie wir an der ETH Zürich ein Spiralcurriculum zur Physik entwickeln und überprüfen.

2 Die Schweizer MINT-Studie: Wie können wir die Schülerinnen und Schüler besser auf zukünftiges Lernen vorbereiten?

Um den naturwissenschaftlichen Unterricht auf der Grundlage der Lehr- und Lernforschung zu optimieren, wird am MINT-Lernzentrum der ETH Zürich unter der Leitung von *Elsbeth Stern* und *Ralph Schumacher* seit 2011 eine Längsschnittstudie mit ausgewählten Schulen in der Deutschschweiz durchgeführt. In dieser Studie werden Ergebnisse der Lehr- und Lernforschung umgesetzt, um den Unterricht besonders anregend und lernwirksam zu gestalten. Im Mittelpunkt dieser Studie steht die Frage, ob die Schülerinnen und Schüler, die bereits in der Primarschule optimierten naturwissenschaftlichen Unterricht erhalten haben, von späteren Lernangeboten auf der Sekundarstufe I und II stärker profitieren als Kinder bzw. Jugendliche, die in der Primarschule herkömmliche Lernangebote erhielten.

Dabei wird untersucht, wie sich der naturwissenschaftliche Unterricht auf den Aufbau von Wissen, auf das Interesse an naturwissenschaftlichen Themen sowie auf verschiedene Aspekte des Lernens und der geistigen Entwicklung der Schülerinnen und Schüler auswirkt. Unter anderem wird untersucht, wie sich sprachliche Fähigkeiten durch den Unterricht verändern. Wir erwarten einen positiven Einfluss, weil die Kinder Vorgänge detailliert beschreiben und Vermutungen aufstellen müssen. Die Studie ist langfristig angelegt, so dass den Schülerinnen und Schülern während ihres gesamten schulischen Curriculums von der Primarschule bis zum Schulabschluss immer wieder optimierte naturwissenschaftliche Unterrichtsangebote gemacht werden.

2.1 Naturwissenschaftlicher Unterricht ab der Primarschule

In der ersten Phase dieser Studie (Klassenstufen 1 bis 6) werden die von Kornelia Möller und ihren Kollegen von der Universität Münster entwickelten KiNT-Kisten zu den Themen „Luft und Luftdruck“, „Schall“, „Schwimmen und Sinken“ sowie „Brücken – und was sie stabil macht“ in der Primarschule eingesetzt. Sie umfassen sehr ansprechend gestaltete Experimentiermaterialien für die Schülerinnen und Schüler sowie sehr gut ausgearbeitete Ordner mit Anleitungen, Hilfestellungen und

inhaltlichen Informationen für die Lehrpersonen. Alle Lehrpersonen erhalten eine Fortbildung zu jedem Thema, bei der ihnen vermittelt wird, wie sie die Materialien effektiv einsetzen können. An der Studie haben bis jetzt über 360 Lehrpersonen sowie über 6000 Schülerinnen und Schüler teilgenommen. Um Lernfortschritte durch den Unterricht erfassen zu können, erhalten die Schülerinnen und Schüler vor und nach jedem Thema Fragebögen, die ihr Verständnis der behandelten Themen messen. Auf dieser Grundlage vergleichen wir die Werte mit gleichaltrigen oder auch älteren Schülerinnen und Schülern, die bisher keinen Unterricht in den entsprechenden Themen erhalten haben.

2.2 Erste Ergebnisse

Inzwischen liegen Daten für erste Antworten zu folgenden Fragen vor:

1) Können achtjährige Kinder bereits Physik verstehen?

Die Schülerinnen und Schüler erwerben naturwissenschaftliche Erkenntnisse, die die meisten von ihnen spontan nicht lernen würden. Viele Kinder denken beispielsweise, dass schwere Dinge im Wasser sinken und leichte schwimmen (Abb. 1). Erst durch den Unterricht lernen sie, dass es auch auf das Volumen ankommt. Sie verstehen jetzt, warum eine Stecknadel untergeht, aber ein schweres Schiff aus Stahl schwimmt. Auch dass sich Schall nicht in einem Vakuum ausbreiten kann, sondern ein Medium braucht, lernen die Kinder nicht spontan, durch den Unterricht hingegen schon. Wir haben die Leistungen von achtjährigen Kindern, die den Unterricht erhalten haben, mit den Leistungen von zwölfjährigen ohne Unterricht verglichen: Die Achtjährigen verstehen die physikalischen Inhalte deutlich besser. Auch konnten wir zeigen, dass Zweitklässler vom Unterricht zum Thema „Schwimmen und Sinken“ in ähnlicher Weise profitieren wie Viertklässler. Dies bestätigt die Vermutung,



Abb. 1: Warum schwimmt ein schweres Schiff aus Stahl, während ein kleines leichtes massives Stück Stahl untergeht?

dass es sinnvoll ist, bereits frühzeitig mit naturwissenschaftlichem Unterricht zu beginnen. Außerdem hat sich gezeigt, dass der Unterricht mit den KiNT-Materialien naturwissenschaftliches Wissen nachhaltig vermittelt. Denn auch ein Jahr nach dem Unterricht sind die Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler beispielsweise zu den Themen „Luft und Luftdruck“ sowie „Schwimmen und Sinken“ weiterhin stabil geblieben. An dieser Stelle soll das besondere Engagement und die Kompetenz der beteiligten Lehrerinnen und Lehrer hervorgehoben werden: Allen ist es gelungen, den Physikunterricht lernwirksam umzusetzen. In allen Klassen haben die Schülerinnen und Schüler dazugelernt und der durchschnittliche Lernerfolg ist sehr hoch.

2) Profitieren Mädchen und Jungen in gleichem Masse vom Physikunterricht in der Primarschule?

In Studien, die an Sekundarschulen durchgeführt werden, findet man noch immer große Geschlechtsunterschiede in Physik: Jungen schneiden deutlich besser ab als Mädchen. Nicht selten findet man Schülerinnen, die in allen Fächern sehr gute Leistungen zeigen – außer in Physik. Über Geschlechtsunterschiede im Primarschulalter ist bisher wenig bekannt. Deshalb waren wir sehr gespannt, ob in unserer Primarschulstudie Mädchen und Jungen in gleichem Masse vom Unterricht profitieren. Das war tatsächlich für alle vier Unterrichtseinheiten der Fall: Es gab kaum Leistungsunterschiede zwischen den Geschlechtern. Die Mädchen haben ähnlich gut wie die Jungen verstanden, welche physikalischen Prinzipien beim Bauen von Brücken berücksichtigt werden müssen und wie ein Schiff konstruiert sein muss, damit es nicht sinkt. Dieses Ergebnis hat uns sehr gefreut. Wir hoffen sehr, dass wir auch langfristig zeigen können, dass früher Physikunterricht dazu beiträgt, Geschlechtsunterschiede zu reduzieren.

3) Hat der Physikunterricht einen Einfluss auf das Verständnis von wissenschaftlichen Experimentiermethoden?

In Technik und Naturwissenschaften arbeitet man mit Experimenten, wenn man herausfinden möchte, ob ein bestimmter Faktor einen Einfluss hat. Wenn es mehrere Einflussfaktoren gibt, muss man darauf achten, dass nur ein einziger Faktor verändert wird, sonst ist es kein gutes Experiment. Ein Beispiel: Man möchte testen, ob ein großer oder

ein kleiner Fallschirm besser bremst. Fallschirme können sich aber auch in der Form (rund oder eckig) unterscheiden. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass Primarschulkinder nicht darauf achten, dass man, wenn man beispielsweise Fallschirme vergleichen möchte, die sich in der Größe unterscheiden, diese sich nicht auch in der Form unterscheiden dürfen. Wir konnten zeigen, dass Kinder, die unseren speziellen Unterricht erhalten haben, diesen Fehler seltener machen. Sie haben also ein allgemeines Experimentierverständnis erworben, das sie auf neue Situationen anwenden können.

3 Naturwissenschaftliche Konzepte erweitern: Von der Primarstufe zur Sekundarstufe I am Beispiel von „Schwimmen und Sinken“

Auf die Frage, warum etwas schwimmt oder sinkt, antworten Schülerinnen und Schüler abhängig von ihren Modellvorstellungen ganz unterschiedlich. Typische Präkonzepte sind die Vorstellungen, dass alles, was schwer ist, sinkt (Gewichtskonzept) oder dass etwas schwimmt, weil die darin enthaltene Luft den Körper nach oben zieht (Luftkonzept). Mit dem Materialkonzept (z. B. „Alles aus Holz schwimmt.“) weisen Kinder und Jugendliche ein Konzept auf, das sich zwar in vielen Alltagssituationen bewährt, aber zu falschen Aussagen führen kann. Während viele Holzsorten schwimmen, schwimmen nämlich gewisse Tropenholzsorten nicht. Hingegen lässt sich mit dem Dichtekonzept argumentieren, dass Tropenholz nicht im Wasser schwimmt, weil es eine größere Dichte hat.

Abb. 2: Bremst ein grosser Fallschirm besser als ein kleiner?



Aber auch die Erklärungskraft des Dichtekonzepts stößt an seine Grenzen, wenn es darum geht, warum ein Schiff aus Eisen schwimmen kann, obwohl Eisen eine größere Dichte als Wasser hat. Der Grund für diese mangelnde Erklärungskraft liegt darin, dass das Dichtekonzept auf Vollkörper beschränkt ist. Erst wenn das Dichtekonzept auf das Archimedische Prinzip erweitert wird, kann für beliebige Körper vorausgesagt werden, ob sie schwimmen oder nicht. Allerdings sagt das Archimedische Prinzip noch nichts darüber, warum überhaupt eine Auftriebskraft wirkt. Erst mit der Erkenntnis, dass im Wasser Druck herrscht, der aufgrund des Eigengewichts des Wassers mit der Tiefe zunimmt, und dass deshalb die am Körper angreifenden Druckkräfte in eine nach oben gerichtete Kraft resultieren, lässt sich verstehen, wie die Auftriebskraft zustande kommt.

In Tab. 1 sind die verschiedenen Konzepte gemäß ihrer Erklärungskraft hierarchisch angeordnet und in Fehl-, Alltags- und Expertenkonzepte eingeteilt. Eine solche Einteilung erlaubt es, für den Unterricht Lernwege zu gestalten, die eine Weiterentwicklung von Vorstellungen er-

Konzept	Beispielantworten
Gewichtskonzept	Alles, was schwer ist, sinkt.
Luftkonzept	Etwas schwimmt, weil es Luft drin hat und die Luft die Sachen nach oben zieht.
Materialkonzept	Alles, was aus Holz ist, schwimmt.
Dichtekonzept	Öl schwimmt auf Wasser, weil es eine kleinere Dichte hat.
Archimedeskonzept	Die Auftriebskraft ist gleich der Gewichtskraft des verdrängten Wassers.
Druckkonzept	Auftrieb entsteht, weil der Wasserdruck mit der Wassertiefe zunimmt.

Tab. 1: Schülervorstellungen und -antworten für den Themenbereich Hydrostatik. Beispiel Auftriebskraft: Was schwimmt – was sinkt? Fehlkonzept (oben ■), Alltagskonzept (Mitte ■) und Expertenkonzept (unten ■)

Ein Würfel befindet sich im Wasser. Von links und von oben drückt das Wasser auf dem Würfel. Je länger der Pfeil, desto stärker drückt das Wasser. Drückt das Wasser auch von den anderen Seiten? Wenn ja, zeichne weitere Pfeile ein.

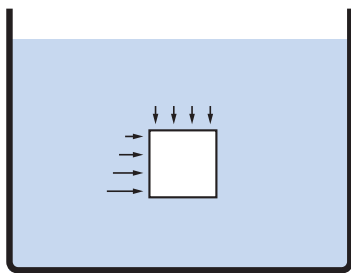


Abb. 3: Nach Bearbeitung dieser Aufgabe können die Lernenden erklären, weshalb eine Auftriebskraft entsteht.

möglichen. Zudem können wir Schülerantworten anhand dieser Kategorien einteilen und mithilfe von Vor- und Nachtests die Lernentwicklung verfolgen.

3.1 Ausgangspunkt nach der Unterrichtseinheit „Schwimmen und Sinken“

Nach Abschluss der Unterrichtseinheit „Schwimmen und Sinken“ können die Schülerinnen und Schüler mit dem Archimedischen Prinzip erklären, warum ein Schiff aus Eisen schwimmt. Für die Frage „Wie kommt es, dass ein Schiff schwimmt, ein Metallklotz hingegen nicht?“ wird in den Materialien folgende stufengerechte Antwort vorgeschlagen:

„Das Schiff ist sehr schwer, es wird stark nach unten gezogen. Weil es so gross ist, braucht es ganz viel Platz im Wasser und verdrängt viel Wasser. Das verdrängte Wasser drängt an seinen Platz zurück und drückt das Schiff ganz stark nach oben. Wenn das weggedrängte Wasser so schwer ist, wie das ganze Schiff, dann schwimmt das Schiff.“

Die Schülerinnen und Schüler haben damit ein wissenschaftlich adäquates Konzept erarbeitet, mit dem sie voraussagen können, ob ein Körper schwimmt oder sinkt. Im Verlauf des Lernprozesses haben sie Fehlkonzepte korrigieren und Alltagskonzepte zu tragfähigen wissenschaftlichen Erklärungen erweitern können. Die Schülerinnen und Schüler verstehen aber zu diesem Zeitpunkt noch nicht, warum

das Wasser eingetauchte Körper nach oben drückt. An dieser Stelle lässt sich mit einer weiterführenden Unterrichtseinheit an das mit den KiNT-Materialien erworbene Wissen anknüpfen: Die Schülerinnen und Schüler lernen, wie der Auftrieb durch den Schweredruck des Wassers zustande kommt.

3.2 Die Unterrichtseinheit „Wie entsteht die Auftriebskraft?“

Zu Beginn wird den Schülerinnen und Schülern aufgezeigt, dass ihre bisherigen Erkenntnisse zum Auftrieb im Wasser nicht ausreichen, um verstehen zu können, wie die Auftriebskraft entsteht. Als kognitiv aktivierenden Einstieg, werden die Lernenden gefragt, weshalb das Wasser in Abbildung 2 den Topf nicht etwa zur Seite schiebt, wenn es von der Seite her an seinen Platz zurückdrängt. Die Frage dient dazu, den Schülerinnen und Schülern die Grenzen ihres bisherigen Wissen aufzuzeigen und sie anzuregen, genauer zu untersuchen, was das Wasser mit den Gegenständen macht, wenn sie eingetaucht werden.

Ausgehend von dieser Frage lernen die Kinder mithilfe verschiedener Experimente den Wasserdruck als Phänomen kennen. Nach dieser qualitativen Auseinandersetzung untersuchen sie den Wasserdruck auch quantitativ. Mithilfe eines einfachen U-Rohr-Manometers, bestimmen sie, dass der Wasserdruck allein von der Wassertiefe

und nicht von der Gefäßform (konvex vs. konkav, siehe Abb. 4) abhängt. Die Einsichten aus den beiden Sequenzen werden anschließend zusammengeführt, um zu beantworten, wie die Auftriebskraft entsteht. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass ein Körper im Wasser eine nach oben gerichtete Kraft erfährt, weil das Wasser stärker von unten als von oben auf den Körper drückt.

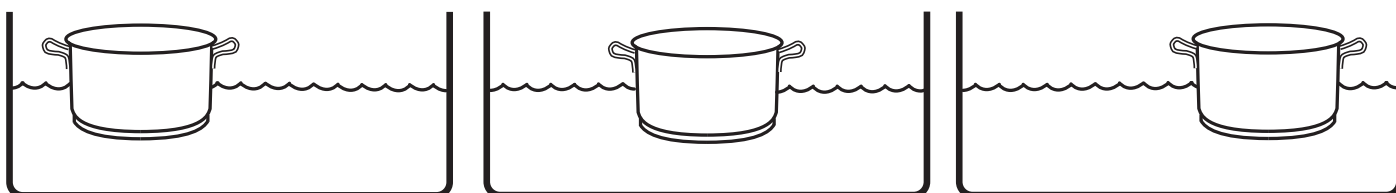
3.3 Erste Hinweise auf Wissenstransfer

Diese Unterrichtseinheit wird im Rahmen der Schweizer MINT Studie eingesetzt, um zu untersuchen, welchen Einfluss optimierter naturwissenschaftlicher Unterricht ab der Primarschule auf das zukünftige Lernen hat: Profitieren Schülerinnen und Schüler, die zuvor Unterricht mit den KiNT-Materialien erhalten haben, von diesem Unterrichtsangebot stärker als Jugendliche, die zuvor herkömmlichen Unterricht erhalten haben? Erste Hinweise sprechen dafür, dass die Versuchsgruppe bei vergleichbarem Vorwissen tatsächlich stärker von diesem Unterricht profitiert als die Kontrollgruppe. Ein möglicher Grund für diesen Unterschied liegt darin, dass die Schülerinnen und Schüler mit den KiNT-Unterrichtseinheiten in der Primarschule Inhaltswissen erworben haben, das den Transfer erleichtert und sie dadurch besser als herkömmlicher Unterricht auf zukünftiges Lernen vorbereitet.

4 Abschließende Bemerkungen

Wir möchten mit diesem Artikel dafür plädieren, bereits mit jüngeren Kindern mit stufengerechtem Physikunterricht zu beginnen, um die Grundlagen für die in diesem Fach besonders anspruchsvollen konzeptuellen Lernprozesse zu legen. Wie ein Spiralcurriculum aussehen könnte, haben wir dargestellt. Die zukünftige didaktische Herausforderung besteht darin, für zentrale Lernbereiche weitere Spiralcurricula zu entwickeln. Damit diese ihre Wirkung voll entfalten können, müssen alle Lehrpersonen einen Blick für das Lernen ihrer Schülerinnen und Schüler entwickeln, der über

In welche Richtung wird der Topf vom Wasser gedrückt? Zeichne mit einem Pfeil ein!



Was vermutest du, warum drückt das Wasser so, wie du es eingezeichnet hast?

Abb. 4: Kognitiv aktivierender Einstieg der Unterrichtseinheit „Wie entsteht die Auftriebskraft?“

ihre eigene Schulstufe hinausgeht. Sie müssen deren Lerngeschichte kennen und ihr Vorwissen nutzen. Gleichzeitig müssen sie sich immer wieder vergegenwärtigen, wie das in ihrem Unterricht vermittelte Wissen zukünftige Lerninhalte erschließen kann.

Literatur

- [1] Stern, E., Schalk, L., & Schumacher, R. (2016). Lernen. In J. Möller, M. Köller, & T. Riecke-Baulecke (Eds.), *Basiswissen Lehrerbildung* (S. 106–117). Seelze: Klett-Kallmeyer.
- [2] Schneider, W. (2012). Die Relevanz früher phonologischer Bewusstheit für den späteren Schriftspracherwerb. *Frühe Bildung*, 1(4), 220–222.
- [3] Stern, E. (1999). Development of mathematical competencies. In F.E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Individual development from 3–12: Findings from the Munich Longitudinal Study* (pp. 154–170). Cambridge: Cambridge University Press.
- [4] Stern, E. (2005). Knowledge restructuring as a powerful mechanism of cognitive development: How to lay an early foundation for conceptual understanding in formal domains. In P. D. Tomlinson, J. Dockrell & P. Winne (Eds.), *Pedagogy – teaching for learning* (pp. 153–169). Leicester: British Psychological Society.
- [5] Stern, E. (2009). The development of mathematical competencies: Sources of individual differences and their developmental trajectories. In W. Schneider & M. Bullock (Eds.), *Human development from early childhood to early adulthood: Evidence from the Munich Longitudinal Study on the Genesis of Individual Competencies (LOGIC)* (pp.221–236). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- [6] Carey, S. (2000) *The Origin of Concepts*, *Journal of Cognition and Development*, 1:1, 37–41.
- [7] Hardy, I., Jonen, A., Möller, K. & Stern, E. (2006). Why does a large ship of iron float? Effects of instructional support in constructivist learning environments for elementary school students' understanding of „floating and sinking“. *Journal of Educational Psychology*, 98, 307–326
- [8] Staub, F. & Stern, E. (2002). The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains: quasi-experimental evidence from elementary mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 93, 144–155

Anschriften der Verfasser

Prof. Dr. Elsbeth Stern, ETH Zürich
 Institut für Verhaltenswissenschaften
 Clausiusstr. 59, CH-8092 Zürich
 E-Mail: stern@ifv.gess.ethz.ch

Dr. Ralph Schumacher, ETH Zürich, MINT-
 Lernzentrum, Clausiusstr. 59, CH-8092 Zürich
 E-Mail: ralph.schumacher@ifv.gess.ethz.ch;



Abb. 5: Die Lernenden untersuchen den Wasserdruck für verschieden geformte Vasen mit einem U-Rohr-Manometer.

Dr. Brigitte Hänger, FH Nordwestschweiz
 Pädagogische Hochschule FHNW
 Clarastr. 57, CH-4058 Basel
 E-Mail: brigitte.haenger@fhnw.ch