

Marie Fischer und Markus Peschel

Dichtephänomene in der Hochschullernwerkstatt

1 Einleitung

Die nachfolgend abgebildeten Phänomene „Latte macchiato“, „Punsch mit Orangenscheiben“, „Eiswürfel in Leitungswasser“, „Cocktail“ und „Münze auf einer Flaschenöffnung“ (Abb. 1) haben in erster Linie gemeinsam, dass sie sich unmittelbar mit Dichtewechselwirkungen erklären lassen, nur sehr schwierig jedoch mithilfe des Auftriebskraftkonzepts (zur fachlichen Klärung s. Kasten 1).¹

Dichtephänomene aus dem Seminar „Latte macchiato“

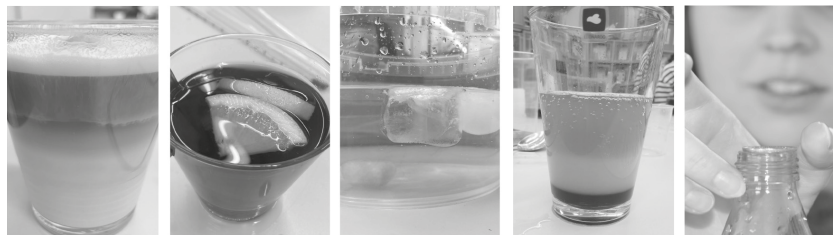


Abb. 1: Von links nach rechts: Latte macchiato (aufgeschäumte, warme Milch und Espresso), „Punsch“ (Tee mit Alkohol und Zucker) und Orangenscheiben; versch. Eiswürfel in Leitungswasser; versch. Flüssigkeiten (Sirup, Saft, eingefärbtes Mineralwasser); eine Münze auf einer Flaschenöffnung. © Marie Fischer

1 Als Gedankenexperiment zeigten wir diese Bilder den Teilnehmer*innen an unserem Vortrag zur 15. Internationalen Fachtagung der Hochschullernwerkstätten im März 2022 und haben sie dazu gefragt, was diese Phänomene gemeinsam haben und wie sie diese erklären würden. Wir erhielten folgende Antworten: Gefäße mit Flüssigkeiten; Dichteunterschiede bzw. hydrostatischer Auftrieb; unterschiedliche Dichte der Teilchen in den unterschiedlichen Flüssigkeiten durch unterschiedliche Temperaturen; schwimmen – schweben – sinken. Dabei handelt es sich nur bei den ersten vier Bildern um Flüssigkeiten. Auch lässt sich über den Temperaturunterschied (zwischen den Flüssigkeiten bzw. Gasen) das vorletzte Phänomen nicht erklären. Und: würde man von schwimmen, schweben oder sinken sprechen, wenn Flüssigkeiten übereinandergeschichtet sind wie beim ersten und vierten Phänomen?

Beide Erklärungsansätze werden in der Fachdidaktik (hier: Didaktik des Sachunterrichts) unter dem Thema *Schwimmen und Sinken* subsumiert (vgl. Wodzinski 2006). Dagegen lassen sich nicht alle abgebildeten Phänomene eindeutig diesem Thema zuordnen.²

In schulischen Experimentierangeboten werden komplexe Fragestellungen (z. B. *Warum schwimmt ein Schiff?*) häufig mit dem Auftriebskraftkonzept erklärt (vgl. Möller 2005; Wiesner, Gartmann & Wilhelm 2020), ein experimentierender Umgang mit Dichtephänomenen findet bisher im Sachunterricht aber nicht statt, obwohl Grundschulkinder über ein intuitives Dichteverständnis verfügen (s. Kap. 2) und Ideen aus Lernwerkstätten existieren, die dieses Dichteverständnis aufgreifen (z. B. Kinderforscher*zentrum HELLEUM³).

Aus der Forschung ist bekannt, dass auch Studierende Schwierigkeiten mit der fachlich fundierten Erklärung von Dichte- und Auftriebsphänomen haben (vgl. Barkhau et al. 2020).

Das Seminar fokussiert daher die Elaboration eines Dichtekonzeptes mittels eigenständigen Experimentierens zu Dichtephänomenen – aufbauend auf einem (zunächst) intuitiven Dichteverständnis der Studierenden.

Der Artikel beschreibt Vorüberlegungen konzeptioneller Art (Kap. 2), Durchführungsaspekte (Kap. 3) sowie Erkenntnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung (Kap. 4) zum Seminar „Latte macchiato“, das im Wintersemester 2021/22 mit Lehramtsstudierenden der Primarstufe an der Universität des Saarlandes in der Hochschullernwerkstatt (HLWS) GOFEX (Grundschullabor für Offenes Experimentieren) durchgeführt wurde.

2 Vorüberlegungen zum Seminar

Fachliche Klärung

Dichtekonzept: Dichte und Dichtewechselwirkungen

Die Eigenschaften, mit denen man – gemäß des Dichtekonzeptes – voraussagen kann, wie sich ein Festkörper oder ein Fluid in einem (weiteren⁴) Fluid verhält, sind die Dichten der beiden Medien (vgl. Wodzinski & Wilhelm 2018). Durch

2 So handelt es sich im Beispiel mit der Münze auf der Flasche um Dichtewechselwirkungen zwischen warmer und kalter Luft und nicht um Flüssigkeiten, weshalb man nicht von „Schwimmen und Sinken“ sprechen würde. Bei geschichteten Flüssigkeiten, wie bei einem Cocktail, scheint die Formulierung, der Sirup sei gesunken und der Orangensaft schwimme darauf, ebenfalls unpassend.

3 Weitere Informationen unter: <https://www.helleum-berlin.de/home/angebote/helleum-zuhause/gestapeltes-wasser/> [09.09.22]

4 Das Fluid muss dabei kein anderer Stoff sein, kann aber in einem anderen Zustand vorliegen (z. B. Eis in Wasser). Einflussgrößen, wie Temperatur oder Salzgehalt des Wassers, sind weitere Faktoren der Dichteänderung, weswegen sich z. B. Flüssigkeiten schichten können (siehe z. B. Meeresströmungen oder Latte macchiato (vgl. Defant 1985)).

unterschiedliche Dichten entstehen Wechselwirkungen zwischen Körper und Fluid bzw. Fluid und Fluid, die das *Schwimmverhalten* bzw. das Verhalten zueinander bedingen: „Im Allgemeinen schwimmt ein Körper [oder ein Fluid] auf einem [anderen] Fluid, wenn seine Dichte geringer ist als die des Fluids“ (Giancoli 2006, S. 462).

Die *allgemeine Dichte* ρ eines Stoffes wird definiert als Quotient aus Masse m pro und Volumen V : $\rho = \frac{m}{V}$ (vgl. Harms 1941).

Kinder im Grundschulalter berücksichtigen bei einer Betrachtung des Schwimmverhaltens (von zumeist Festkörper im Wasser) meist nur eine Dimension (in diesem Fall: Masse *oder* Volumen), was eine Hürde für das (mathematische) Verständnis der Dichte darstellt (vgl. Smith et al. 1997).

Diese mathematische Betrachtung ist jedoch u.E. nicht reglementierend für das Experimentieren mit Dichtephänomenen im Unterricht. Für den Experimentierprozess bietet dieses proportionale Verhältnis sogar einen besonderen Vorteil, denn die Dichte bleibt, unabhängig der eingesetzten Menge der Flüssigkeit oder der Größe des (Voll-)Körpers, konstant.⁵ Genauso kommt es beim Schichten von Flüssigkeiten nicht auf das Volumen der verwendeten Flüssigkeiten an⁶, was die Handhabung der Materialien in der HLWS auf eine intuitive und phänomenorientierte Weise ermöglicht.

Auftriebskraftkonzept: Auftriebskraft und Archimedisches Prinzip

Das Archimedisches Prinzip besagt: „Die Auftriebskraft, die ein Körper, der [vollständig; Anm. d. Verf.] in ein Fluid eingetaucht ist, erfährt, ist gleich der Gewichtskraft des durch diesen Körper verdrängten Fluids“ (Giancoli 2006, S. 461). Über das Schwimmverhalten eines Gegenstandes in einem Fluid entscheidet – gemäß Auftriebskraftkonzept – letztendlich das Größenverhältnis zwischen Gewichtskraft des Körpers und Auftriebskraft der Flüssigkeit (vgl. Wodzinski 2006; Wodzinski & Wilhelm 2018).

Sowohl die Gewichtskraft der *verdrängten* Flüssigkeit als auch die Gewichtskraft des Körpers sind abhängig von der Dichte des Materials und der Flüssigkeit. Das Archimedisches Prinzip ist also ohne ein (mindestens implizites) Verständnis der Dichte nicht zu verstehen.⁷ Dies legt u.E. eine Reihenfolge der Konzeptbearbeitung im Unterricht fest, die auch dem Seminar „Latte macchiato“ zu Grunde gelegt wurde.

5 So kann ein Eiswürfel im Glas mit Salz- oder Süßwasser ein Modell für einen Eisberg im Meer darstellen, da dort im Modell Flüssigkeit und Material des Körpers die gleichen sind wie im Original.

6 Für die Schichtungen im Latte macchiato spielt es also keine Rolle, *wie viel* Milch oder Kaffee geschichtet wird. Die Dichtewechselwirkungen zwischen den Flüssigkeiten und damit die Schichtungen sind unabhängig vom Volumen.

7 „Mit dem Archimedisches Gesetz wird nun auch verständlich, warum die Dichte im Vergleich zu Wasser über die Schwimmfähigkeit von Materialien entscheidet: Die Gewichtskraft des von einem Vollkörper verdrängten Wasservolumens kann man sich veranschaulichen, indem man sich den Vollkörper aus Wasser bestehend denkt. Ist die Dichte des Materials größer als die von Wasser, wiegt der Originalkörper mehr als der ‚Wasserkörper‘. Die Gewichtskraft ist also größer als die

In den meisten Experimentierangeboten für den Sachunterricht zum Thema *Schwimmen und Sinken* wird aber weniger ein anschlussfähiges Dichtekonzept adressiert, sondern frühzeitig und oftmals anschlussloses Auftriebskraftkonzept genutzt, obwohl sich, viele (Schwimm-)Phänomene über das Dichtekonzept erklären ließen. Das Auftriebskraftkonzept scheint – so die Analyse von Unterrichtsmaterialien (vgl. Fischer 2020) – dominant. Eine Beschäftigung der Lernenden mit Dichtephänomenen, mit der ein intuitives Dichteverständnis adressiert würde, bleibt dagegen zumeist vollständig aus (vgl. Fischer 2020).

Intuitives Dichteverständnis

Durch kognitions- und entwicklungspsychologische Forschungen (vgl. Wilkening, Huber & Cacchione, 2006) ist die Entwicklung eines *intuitiven* Dichteverständnisses im Vorschul- und Grundschulalter u. E. hinreichend belegt (vgl. auch Möller 1999).

Dieses bestehende intuitive Dichteverständnis zeigt sich bei Schüler*innen in Aussagen wie *Holz ist leichter als Wasser, deshalb schwimmt es*.

Aussagen, die ein intuitives Dichteverständnis zeigen

(Engelen et al. 2002; Möller 1999; Klewitz 1989)

- „Eisen ist auch schwerer als Holz.“
- „Der Stein, der ist ja schwerer als das Wasser.“
- „Holzstangen sind zum Floßbau besser geeignet als Eisenstangen, weil ‚leichter‘ sind als Metall.“
- „Holz ist leichter als Stahl.“
- „Wenn das Gewicht über einen größeren Raum verteilt ist, ist das leichter.“

Um diesem intuitiven Verständnis begegnen zu können, werden *Einheitswürfel*⁸ aus unterschiedlich schweren bzw. dichten Materialien verglichen, was *Schwere* als Vorläuferkonzept der Dichte einführt (vgl. Möller et al. 2006), ohne dass in der Primarstufe die Formel dafür eingeführt werden muss. Außerdem lassen sich die Begriffe *schwer* und *leicht* in ihrer Bedeutung durch gezielte Interventionen ausdifferenzieren, indem zu *schwer* oder *leicht für diese Größe* konzeptualisiert und das Dichteverständnis laboriert wird.

Solche Konzepte bzgl. der Dichte und bzgl. möglicher Wechselwirkungen mit einem Fluid (Wasser) könnten dann als „Ankerpunkt für die Ausbildung eines

Auftriebskraft und der Körper sinkt. Ist die Dichte des Materials kleiner als die von Wasser, wiegt der ‚Wasserkörper‘ mehr als der Originalkörper. Die Auftriebskraft ist also größer als die Gewichtskraft und der Körper steigt“ (Wodzinski 2006, S. 81).

8 Dies sind Würfel identischen Volumens aus verschiedenen Materialien (z. B. Holz, Styropor).

Konzeptes ‚Gesamtdichte des Systems Schiff‘ [„was bei offenen Hohlkörpern wie dem Schiff als mittlere Dichte bezeichnet werden kann; Anm. der Verf.] genutzt werden“ (Möller 1999, S. 157).

Obwohl ein (intuitives) Dichteverständnis, wie gezeigt, auch bei verschiedenen Unterrichtsmaterialien zum Experimentieren (z. B. KiNT-Boxen, (vgl. Möller 2005) u. a. mittels Einheitswürfeln angebahnt wird, wird der sukzessive Aufbau ausgehend von einem Dichteverständnis innerhalb der Unterrichtseinheit – auch im Sinne eines spiralcurricularen Aufbaus über Klassenstufen hinweg – nicht weiter verfolgt.⁹

In vielfältigen Handreichungen oder Schulbüchern (vgl. Neuböck-Hubinger, Peschel & Andersen, 2021) wird statt einer Weiterentwicklung des Dichteverständnisses zu einem Dichtekonzept¹⁰ nach dem „Schwimmen eines Schiffes“ gefragt (vgl. Möller 2005). „Schwimmen“ wird dann neu und meist nicht aus dem vorhandenen Dichteverständnis der Schüler*innen konzeptualisiert, sondern ein u. E. komplizierteres Verdrängungs- und Auftriebskraftkonzept als Alternative vermittelt.

Die bislang genutzten individuellen Erfahrungen der Schüler*innen mit Einheitswürfeln werden somit nicht innerhalb von bekannten (Dichte-)Konzepten über ein Konzept mittlerer Dichte auf einen zunächst geschlossenen, dann offenen Hohlkörper (z. B. Tischtennisball, später Schiff) übertragen (vgl. Stern et al. 2017), sondern alternativ basiert über Kräftebetrachtungen.¹¹ Dabei ist die Betrachtung eines (offenen) Hohlkörpers (Schiff) – als Sonderfall an der Grenzschicht von Wasser und Luft – u. E. eine zentrale Hürde für den Verständnisprozess innerhalb des Auftriebskraftkonzepts.

Das Schwimmverhalten beider Körper (geschlossene und offene Hohlkörper) lässt sich dagegen mit einem Dichtekonzept erklären, ohne Kraft- und Verdrängungskonzepte (Wasser) betrachten zu müssen.

9 Im Sachunterricht der Grundschule wird das Thema Schwimmen und Sinken zwar erarbeitet, der Lehrkraft wird jedoch keine Vorgabe zum Erklärungsansatz gemacht. In Sekundarstufe 1 wird dann im Physikunterricht der Klassenstufe 7 die Dichte thematisiert. Mithilfe der Dichte wird in Klassenstufe 8 das Archimedische Prinzip (als Ursache für den Auftrieb eines eingetauchten (Voll-/Fest-)Körpers in einer Flüssigkeit) und die Formel für die Auftriebskraft hergeleitet. U.E. ist das Dichtekonzept demnach als Vorläuferkonzept für die Berechnung der Auftriebskraft und für das Verständnis des Auftriebskraftkonzeptes zu betrachten, weshalb es für die fachliche Näherung an das Phänomen in der HLWS im Fokus stand.

10 Unter einem (intuitiven) Dichteverständnis subsumieren wir die *Schwere* als Vorläuferkonzeption, sowie das Umschreiben von Dichtewechselwirkungen ohne die Anwendung von Begriffen und Größen wie Masse oder Volumen. Bei einem elaborierten Dichtekonzept kann der Quotient aus Masse und Volumen gebildet und daraus Schlüsse auf die Wechselwirkungen, z. B. zwischen verschiedenen Flüssigkeiten, gezogen werden.

11 Spielt beim Einheitswürfel (Vollkörper) lediglich die Dichte des Materials eine Rolle, muss bei einem Hohlkörper das Material und die darin enthaltene Luft berücksichtigt werden (mittlere Dichte).

Als Alternative schlagen wir vor, Dichtephänomene (Abb. 1) zu thematisieren und damit zu experimentieren, um Grundlagen für ein Dichtekonzept zu entwickeln und erst dann Sonderfälle, wie das Schiff, zu berücksichtigen. Ein entwickeltes Dichtekonzept scheint zudem anschlussfähiger an andere Phänomene (Heißluftballons, Schichtungen aus Salz-/Süßwasser etc. (vgl. Fischer & Peschel 2023) als Verdrängungs- und Auftriebskraftkonzepte.

3 Latte macchiato: Durchführung des Seminars

Die Phänomenbegegnung (Abb. 1) war der zentrale Fokus des Seminars „Latte macchiato“, das im Wintersemester 2020/21 an der Universität des Saarlandes in der Hochschullernwerkstatt GOFEX mit dem Ziel der Sachauseinandersetzung der Studierenden und der Konzeptentwicklung stattfand (s. Kasten).¹² Das GOFEX als Hochschullernwerkstatt eignet sich dabei nicht nur als Raum, in dem benötigte Materialien zum Experimentieren zur Verfügung stehen, sondern gibt auch durch didaktische Konzepte der Öffnung den Experimentierprozess weitgehend an die Hand der Studierenden (vgl. Peschel 2014).¹³ Um sich gemeinsam über individuelle Beobachtungen hinsichtlich der präsentierten Phänomene auszutauschen, war es u. E. unabdingbar, dieses in Präsenz in der Hochschullernwerkstatt stattfinden zu lassen (vgl. auch Peschel et al. in diesem Band).

Lernziele des Seminars

Die Studierenden

- ... identifizieren Dichte-Phänomene in alltäglichen Situationen/Beobachtungen.
- ... erklären diese Phänomene fachlich.
- ... unterscheiden fachliche Erklärungen für Auftriebsphänomene (Dichtekonzept vs. Auftriebskraftkonzept) und erklären ihre Abwägungen für den unterrichtlichen Einsatz der beiden Erklärungen in der Grundschule.
- ... untersuchen Schulbuchseiten zum Thema „Schwimmen und Sinken“ auf fachliche Richtigkeit und sprachliche (In-)Konsistenz.
- ... erkennen die Wichtigkeit fachlicher Richtigkeit bzw. der Ausdifferenzierung zwischen fachlichen Konzepten am Beispiel des Phänomens *Auftrieb* in Aufgaben für den Sachunterricht der Grundschule.

¹² Erst nachrangig ist dabei die Wahl des inhaltlichen Themas der Phänomene zu betrachten. Vorstellbar wäre also die Seminarkonzeption zu anderen Themen (z. B. Schall) zu wiederholen.

¹³ Zur Rolle von Ab- und Anwesenheit der Dozierenden bzw. der Seminarleitung vgl. auch Kelkel in diesem Band.

Nach einer ersten einführenden Sitzung, die durch die Dozierenden gestaltet wurde, organisierten die Studierenden sich für die folgenden Sitzungen in Dreier- oder Vierergruppen. Von jeder Gruppe wurde ein Alltagsphänomen zum Thema einer folgenden Sitzung (Zeitraumen: 90 Minuten) gemacht, was die Präsentation des Phänomens samt fachlicher Klärung in Form einer Sachanalyse umfasste sowie die Bereitstellung eines *Experimentierangebotes* für die Kommiliton*innen beinhaltete. Die Studierenden erhielten mittels der angebotenen Phänomene und Materialien Gelegenheit, selbst zu experimentieren und eigene Beobachtungen anzustellen. Diese wurden anschließend versprachlicht, um sich darüber auszutauschen und über die Eignung des Phänomens, der Phänomenbegegnung sowie der experimentierenden Zugänge im Sachunterricht zu diskutieren. Die Seminarleitung ergänzte in den jeweiligen Sitzungen grundlegende theoretische und praktische Inhalte (z. B. Variablenkontrollstrategie, Exploration als Teil des Experimentierens), fachliche Grundlagen (Kasten in Kap. 2) sowie Einblicke in eigene Forschung (vgl. Neuböck-Hubinger, Peschel & Andersen, 2021), samt der Auseinandersetzung mit (Schulbuch-)Aufgaben.

4 Wissenschaftliche Begleitung

Das Seminar wurde von einer Studentin des Lehramts für Primarstufe im Rahmen einer Qualifikationsarbeit begleitet. Dabei wurden u. a. folgende Forschungsfragen untersucht (Krämer 2022):

- Welche Erklärungsansätze haben Studierende im Vergleich zu Kindern, um das Schwimmverhalten von Objekten in Fluiden zu erklären?
- Wie ausgeprägt ist das Vorwissen der Studierenden zum Thema Dichte?
- Können die Studierenden vor dem Besuch des Seminars bereits auf ein Dichtekonzept oder intuitives Dichteverständnis zurückgreifen?
- Ändern sich Vorstellungen und das Fachwissen von Studierenden zum Thema Dichte durch den Besuch dieser Lehrveranstaltung?

Die Untersuchung basiert auf einer Stichprobe von $n=25$ Studierenden des Lehramts Primarstufe. Von den befragten Studierenden nahmen $n=14$ (13 weiblich, 1 männlich) am Seminar „Latte macchiato (Dichte)“ (Experimentalgruppe EG) und $n=11$ (9 weiblich, 2 männlich) an einem anderen Seminar in der Didaktik des Sachunterrichts (Kontrollgruppe KG) teil.¹⁴

¹⁴ Eine Teilnehmerin nimmt an beiden Seminaren teil und wurde daher nicht in die Ergebnisse mit eingeschlossen. Die Gruppen können verglichen werden, da sie sich in den Aspekten Gruppenzusammensetzung, Einstellungen und fachliches Vorwissen nicht signifikant voneinander unterscheiden. In einem durchgeführten t-Test für unabhängige Stichproben (EG und KG) zeigte sich bspw. keine statistische Signifikanz im Unterschied der Versuchsgruppen bzgl. Vorwissen. $t(23)=-.361$, $p=.722$ zu Messzeitpunkt t1, akademisches Selbstkonzept (zusammengefasst: $t(23)=-.877$, $p=.443$) und Studienfachinteresse (zusammengefasst: $t(23)=.410$, $p=.591$).

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein Mixed-Methods-Design mit (1) einer quantitativen Fragebogenerhebung (demographische Daten; Interesse an naturwissenschaftlichen Themen; Allgemeines Selbstkonzept; Fragebogen zum Studienfachinteresse) mitsamt Vorwissenstest zum Thema Dichte (vgl. Yeend, Loverude & Gonzalez, 2001; Zenger & Bitzenbauer, 2022) im Pre-Post-Design mit zwei Messzeitpunkten und (2) qualitativen Interviews¹⁵ sowie teilnehmender Beobachtung¹⁶ durch die Studentin im Seminar durchgeführt.



Abb. 2: Ablauf der Erhebung zum Seminar „Latte macchiato“

Im Folgenden werden die ermittelten vorherrschenden Konzepte der Studierenden (Pre-Post-Erhebung) werden in der Tabelle skizziert:

15 In einem kurzen semistrukturierten, qualitativen Interview wurden vier Proband*innen der EG zu beiden Testzeitpunkten (t1 und t2) mit Bildern von verschiedenen Phänomenen (z. B. Heißluftballon, Heliumluftballon, Öl in Wasser, Büroklammer auf Wasser, Müsli) konfrontiert. Dabei sollten sie begründen, ob es sich dabei um Dichtephänomen handelt und diese Phänomene erklären. Als Distraktoren fungierten dabei Phänomene der Oberflächenspannung (Büroklammer auf Wasser) sowie der Paranuss-Effekt (Müsli).

16 Bei der offenen, teilnehmenden Beobachtung wurden die Interventionen und Angebote der Seminarleitung, die Teilnahme und Aussagen der Studierenden und das Verhalten beim Experimentieren hinsichtlich der Eigeninitiative der Studierenden erfasst und dokumentiert. Außerdem wurden die Stimmung im Seminar (Lehr-Lernklima) und die Unsicherheiten bezogen auf das eigene Fachwissen beobachtet.

Tab. 1: Antworten auf die Fragen „Warum schwimmt ein Schiff?“ und „Warum schwimmt ein Eisberg?“ (t1 und t2) mit Konzeptzuordnungen

| Konzept | Warum schwimmt ein Schiff? | | Warum schwimmt ein Eisberg? | |
|----------------------------------|---|--|-----------------------------|--|
| | Beispielhafte Äußerungen | Ergebnisse t1 (EG/KG) t2 (EG/KG) | Beispielhafte Äußerungen | Ergebnisse t1 (EG/KG) t2 (EG/KG) |
| Bewegungs-konzept | „Schiffe schwimmen, weil sie durch ihren Antrieb (entweder durch Motoren oder menschliche Kraft etc.) nach vorne getrieben werden und daher die Kraft, die nach vorne wirkt, größer ist als die Kraft, die die Schiffe evtl. nach unten zieht.“; „Weil es sich mithilfe des Antriebs durch einen Motor im Wasser auf horizontaler Ebene bewegt“ | 2(1/1) 0 | | |
| Luftkonzept (Hohlkörper-konzept) | „Ein Schiff schwimmt, da der Bug des Schiffs mit Luft gefüllt ist.“; „weil ein Schiff einen mit Luft gefüllten Hohlraum hat“, „da er Luft beinhaltet“ | 7(4/3) 5(3/2) | | |
| Gewichtskonzept | „Durch das Gewicht des Gegenstands“ | 2(1/1) 0 | | |
| Materialkonzept | „Aufgrund der Beschaffenheit des Materials“, „wegen seinem Material“, „ein Schiff schwimmt je nach dem durch die Form oder das Material“ | 3(2/1) 0 | | |
| Formkonzept | „Aufgrund der Form“, „wegen seiner Form“, „ein Schiff schwimmt je nach dem durch die Form oder das Material“ | 6(3/3) 6(3/3) | | |

| | | | | |
|----------------------------|---|------------------|--|---------------------|
| Verdrängungskonzept | „Da das Volumen eines Schiffes sehr groß ist, ist auch die vom Schiff verdrängte Menge an Wasser sehr groß. Daher kann das Schiff schwimmen.“ | 4(3/1) 6(3/3) | „aufgrund der Wasserverdrängung“, „das Gewicht des Wassers, was der Teil des Eisbergs, der unter Wasser liegt, verdrängt, ist größer als das Gewicht des Eisbergs, weshalb der Eisberg schwimmt“ | 2(1/1) 3(1/2) |
| Auftriebskraftkonzept | „Die Auftriebskraft des Wassers“, „Die wirkende Auftriebskraft ist sehr groß“, „Aufgrund des Auftriebs“, „da die Auftriebskraft der Gewichtskraft entspricht“ | 8(5/3) 8(3/5) | „Durch die Auftriebskraft“, „Die Auftriebskraft ist in diesem Fall größer als die Gewichtskraft“, „großes Volumen führt zu großer Auftriebskraft“ | 4(3/1) 3(1/2) |
| Dichtekonzept1 (allgemein) | „wegen der unterschiedlichen Dichteverhältnisse“, „Dichte des Materials“, „aufgrund der mittleren Dichte“ | 9(6/3) 8(7/1) | „da sich durch die Temperatur des Wassers auch die Dichte von diesem ändert.“ | 14(9/5) 18(11/7) |
| Dichtekonzept (richtig) | „geringere Dichte hat, Gegenstände mit einer geringeren Dichte schwimmen im Wasser“ | 2(1/1) 4(3/1) | „Da Wasser sich ausdehnt, wenn es kalt wird, hat es automatisch eine geringere Dichte als das flüssige Wasser“. „Eis hat eine geringere Dichte als Wasser (Dichteanomalie des Wassers)“ | 7(5/2) 15(8/7) |
| Dichtekonzept (falsch) | „weil seine Dichte größer als die Dichte der Flüssigkeit ist“ | 1(1/0) 1(1/0) | „Da Eis eine größere Dichte hat als Wasser schwimmt ein Eisberg.“ „Weil seine Dichte größer als die Dichte der Flüssigkeit ist“ | 3(2/1) 2(2/0) |
| Weitere Konzepte | „Oberflächenspannung“ | 1(1/0) 0 | „Oberflächenspannung“ | 2(1/1) 0 |
| Keine (schlüssige) Antwort | | | „Weil Eis auf der Wasseroberfläche schwimmt“, „das weiß ich nicht“, „weil er an der Wasseroberfläche im Wasser treibt“ | 4(1/3) 1(0/1) |

Im *Vorwissenstest* zum Thema Dichte (Yeend, Loverude & Gonzalez 2001; Zenger & Bitzenbauer, 2022) erreichten die Studierenden durchschnittlich 10,5 Punkte (EG) ($s=3,16$) bzw. 10,9 Punkte (KG) ($s=2,30$) von erreichbaren 21 Punkten.¹⁷ Die beiden Gruppen unterscheiden sich bzgl. des Vorwissens nicht statistisch signifikant voneinander (t-Test für unabhängige Stichproben $t(23)=-.361$, $p=.722$ zu Messzeitpunkt t_1).

Beispielitem aus dem Vorwissenstest zur Dichte (vgl. Zenger & Bitzenbauer 2022)

Ein Juwelier hat ein kleines Stück von einem großen, ungeschliffenen Diamanten abgeschnitten. Was lässt sich, im Vergleich zu der Dichte des ursprünglichen Diamanten, über die Dichte des kleinen Stückes sagen?

A: Die Dichte des kleinen Stückes ist gleich der Dichte des ursprünglichen Diamanten.

B: Die Dichte des kleinen Stückes ist kleiner als die Dichte des ursprünglichen Diamanten.

C: Die Dichte des kleinen Stückes ist größer als die Dichte des ursprünglichen Diamanten.

D: Man kann es nicht sagen, außer Masse und Volumen jedes Teils sind gegeben.

Wie kommst du zu diesem Schluss? _____

Wir schließen aus den Ergebnissen des Vorwissenstests, dass die Studierenden der KG und der EG vor dem jeweiligen Seminarbesuch über ein knapp ausreichendes und noch nicht elaboriertes Dichteverständnis verfügen. Vermutlich verfügen sie noch nicht über ein Dichtekonzept, welches zur Erklärung des Schwimmverhaltens (von Schiff oder Eisberg) genutzt werden könnte.

Die Auswertung zeigt, dass die Studierenden beider Gruppen zum Zeitpunkt t_1 das *Schwimmverhalten eines Schiffes* sehr vielfältig erklären. Aus den konkreten Äußerungen (Tab. 1) lässt sich auf Luft- (7), Form- (6), Material- (3), Gewichts- (2), Verdrängungs- (4), Auftriebskraft- (8) oder Dichtekonzept (12) schließen. Somit verwenden die Studierenden – bis auf Zweck- und Druckkonzepte¹⁸ – dieselben Konzepte wie Kinder (vgl. Banholzer 2008), obwohl(!) die Studierenden alle die Sekundarstufe durchlaufen haben, in der sowohl ein Dichtekonzept als

¹⁷ Unsere Ergebnisse entsprechen den Ergebnissen der Dichtestudie von Yeend et al. (2001), die den Test mit amerikanischen Highschool-Schüler*innen und -Lehrkräften durchgeführt haben.

¹⁸ Das Zweckkonzept und das Druckkonzept werden von den Studierenden gar nicht zur Beantwortung genutzt. Diese Konzepte scheinen somit stärker den kindlichen Vorstellungen zu entsprechen, wie bspw. der animistischen Denkweise, die dem Wasser oder dem Schiff einen eigenen Willen zuschreibt (vgl. Furtner 2016; Wagenschein 1971).

auch ein Auftriebskraftkonzept adressiert wird. Die Ähnlichkeit zu den Kinderaussagen entspricht auch Ergebnissen von Barkhau et al. (2020).

Unterrichten diese Studierenden das Thema *Schwimmen und Sinken* später im Sachunterricht, sind sie also vermutlich mit Antworten und Vorstellungen von Kindern konfrontiert, die ihren eigenen entsprechen. Sie greifen dann häufig auf Schulbücher oder Unterrichtsmaterialien zurück, mit denen anschlussfähige Konzepte eben nicht eindeutig (weiter-)entwickelt werden (s. Kap. 2; vgl. Neuböck-Hubinger, Peschel & Andersen 2021; Fischer & Peschel, 2022).

Das *Schwimmverhalten eines Eisbergs* (Tab. 1) wird dagegen nur anhand von Verdrängungs- (2), Auftriebskraft- (4) oder Dichtekonzept (24) erklärt, was darauf hindeutet, dass der Körper, nach dessen Schwimmverhalten gefragt wird, unterschiedliche Antworten zu evozieren scheint. Die Studierenden scheinen, ähnlich wie Kinder im Grundschulalter (vgl. Banholzer 2008; Engelen et al. 2002), kein konstantes Konzept zu besitzen, welches sie sicher auf verschiedene Situationen transferieren bzw. anwenden können. Insofern müsste dem *Körper* bei entsprechenden Erhebungen größere Aufmerksamkeit gewidmet werden, denn es wird häufig nur die Frage nach dem Schwimmen eines Schiffes gestellt.¹⁹ Das Konzept, mit dem sich Fragen nach dem Schiff *und* nach dem Eisberg gleichermaßen beantworten lassen würde, ist u. E. das Dichtekonzept, welches sich grundgelegt und elaboriert sowohl auf verschiedene Körper und Fluide (Gase und Flüssigkeiten) sowie Einflussfaktoren (Temperatur und Druck) anwenden lässt. Weitere fachliche Unsicherheit zeigen sich in Kurz- oder Einwortantworten, wo häufig nur Schlagwörter als Erklärung für das *Schwimmen* eines Schiffes oder Eisberges gegeben werden. Hier lässt sich nicht sicher extrahieren, ob das Konzept von den Studierenden sicher verstanden wird, was sich erst in der Anwendung des Konzeptes auf neue Phänomene und die Auseinandersetzung mit diesen durch Experimentieren zeigt.²⁰

Durch die *Teilnahme am Seminar „Latte macchiato“* erreichten die Studierenden der EG im Durchschnitt 4,71 Punkte ($\bar{x}=15,21$; $s=3,66$) mehr im Wissenstest verglichen mit dem Zeitpunkt t_1 .²¹ Dieser Lernzuwachs lässt sich derart deuten, dass ein Großteil der Studierenden ein elaboriertes Dichteverständnis entwickelt hat und auf dem Weg ist, Dichte zu konzeptualisieren. Als Antwort auf die Frage nach dem Schwimmverhalten von Schiff und Eisberg haben die Studierenden im Post-Test (t_2) das Bewegungs-, Gewichts- oder Materialkonzept nicht mehr genannt. Diejenigen, die im Vorwissenstest mehr Punkte erzielten, erreichten zum Zeitpunkt t_2 mehr Punkte ($r=.774$).

19 Weitaus seltener wird nach weiteren Gegenständen, z. B. einem Baumstamm, wie bei (Stern et al. 2002) gefragt.

20 Dies kann auch als Desiderat bisheriger Forschung verstanden werden, die sich überwiegend mit rein quantitativen Methoden den Äußerungen und Konzepten der Lernenden genähert hat (Engelen, Jonek & Möller 2002).

21 Dagegen betrug der Lernerfolg der KG im Durchschnitt nur 1,10 Punkte ($\bar{x}=12,2$; $s=2,42$).

5 Fazit

Das vorgestellte Seminar „Latte macchiato“ hatte zum Ziel, den Studierenden Möglichkeiten der Dichteauseinandersetzung über Phänomenbegegnungen zu ermöglichen. Dabei wurden Dichtephänomene präsentiert, beobachtet und diskutiert, die bisher wenig im Sachunterricht genutzt werden (vgl. Fischer 2020). Durch Phänomenbegegnungen, die ihnen zugrundeliegenden physikalischen Konzepte (Fokus Dichte) und die mit beidem verbundenen didaktischen Überlegungen wurden die Studierenden erstens mit ihren eigenen (fachlichen) Konzepten sowie zweitens mit bestehenden Unterrichtskonzeptionen zum Thema „Schwimmen und Sinken“ samt selbst erfahrener Vermittlungsproblematiken konfrontiert.

Die Hochschullernwerkstatt wurde in diesem Rahmen als Ort der Phänomenbegegnung sowie als Forschungsfeld genutzt. Es hat sich in der begleitenden Studie gezeigt, dass sich die unklaren Vorstellungen der Studierenden im Seminarverlauf deutlich zu einem elaborierten Dichtekonzept entwickelt haben. Dabei müssen weitere Studien zeigen, wie stabil (und anschlussfähig) diese Konzepte sind und ggf. inwiefern sie sich auf das didaktische Handeln der angehenden Grundschullehrkräfte bzw. auf den Transfer vom eigenen Experimentieren zum Inszenieren und Begleiten des Experimentierens von Grundschüler*innen im Sachunterricht auswirken.

Literatur

- Banholzer, A. (2008). *Die Auffassung physikalischer Sachverhalte im Schulalter*. Verlag Julius Klinkhardt.
- Barkhau, J., Kühn, C., Wilde, M. & Basten, M. (2020). „Alles, was schwer ist, geht unter.“ Warum Lehrer*innen Vorstellungen wichtig sind – Ein Konzept für eine Seminaresequenz zum Thema „Schwimmen und Sinken“. *Herausforderung Lehrer*innenbildung: Zeitschrift zur Konzeption, Gestaltung und Diskussion* (HLZ), 4, 2.
- Defant, A. (1958). *Wissenschaftliche Ergebnisse: Temperatur, Salzgehalt und Dichte an der Oberfläche des Atlantischen Ozeans*. De Gruyter.
- Engelen, A., Jonen, A. & Möller, K. (2002). Lernfortschrittsdiagnosen durch Interviews – Ergebnisse einer Pilotstudie zum „Schwimmen und Sinken“ im Sachunterricht der Grundschule. In: K. Spreckelsen, K. Möller & A. Hartinger (Hrsg.). *Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht* (S. 155–173). Verlag Julius Klinkhardt.
- Fischer, M. (2020). *Fachliche Konzepte zum Thema „Schwimmen und Sinken“ im naturwissenschaftlich-orientierten Sachunterricht*. Universität des Saarlandes. Unveröffentlicht.
- Fischer, M. & Peschel, M. (2023). Phänomenbasiertes Experimentieren in (Hochschul-)Lernwerkstätten. In: P. Kihm, M. Kelkel & M. Peschel (Hrsg.), *Interaktionen und Kommunikationen in Hochschullernwerkstätten*. S. 102–119. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Fischer, M. & Peschel, M. (2022). *Fachliche Konzepte zum Thema „Schwimmen und Sinken“ im Sachunterricht*. GDSU e.V, GDSUJournal, 13, o. S..
- Furtnr, M. (2016). *Kinderaussagen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen*. Eine Untersuchung historischer und aktueller Befunde im Kontext des Sachunterricht. Verlag Julius Klinkhardt.

- Giancoli, D. (2006). *Physik*. Pearson Studium.
- Harms, M. (1941). *Die Dichte flüssiger und fester Stoffe*. Springer Fachmedien.
- Janke, B. (1995). Entwicklung naiven Wissens über den physikalischen Auftrieb: Warum schwimmen Schiffe?. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 37 (2), 122–138.
- Klewitz, E. (1989). *Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts eine Untersuchung von Unterrichtsmodellen am Beispiel von „Schwimmen und Sinken“ vor dem Hintergrund der genetischen Erkenntnistheorie Piagets* (= Naturwissenschaft und Unterricht Didaktik im Gespräch Band 3). Westarp Verlag für Wissenschaften.
- Krämer, S. (2022). *Dichtevorstellungen von Studierenden des Lehramts für Primarstufe*. Universität des Saarlandes.
- Möller, K. (1999). Konstruktivistisch orientierte LehrLernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In W. Köhnlein, B. MarquardtMau & H. Schreier (Hrsg.). *Forschung zur Didaktik des Sachunterrichts* (S. 125-191). Verlag Julius Klinkhardt.
- Möller, K. (Hrsg.). (2005). *Die KiNTBoxen Kinder lernen Naturwissenschaft und Technik*. Klassenkisten für den Sachunterricht. Paket Schwimmen und Sinken. SpectraVerlag.
- Möller, K., Hardy, I., Jonen, A., Kleickmann, T. & Blumberg, E. (2006). Naturwissenschaften in der Primarstufe. Zur Förderung konzeptuellen Verständnisses durch Unterricht und zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen. In M. Prenzel & L. AllolioNäcke (Hrsg.). *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule*. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms BiQua (S. 161-193). Waxmann.
- Neuböck-Hubinger, B., Peschel, M. & Andersen, K. (2021). Das Unterrichtsthema „Dinge im Wasser“ in österreichischen Schulbüchern des Sachunterrichts – empirische Ergebnisse. *GDSU-Journal*, 12, 107-118.
- Peschel, M. (2014). Vom instruierten zum Freien Forschen Selbstbestimmungskonzepte im GOFEX. In E. Hildebrandt, M. Peschel & M. Weißhaupt (Hrsg.). *Lernen zwischen freiem und instruiertem Tätigsein* (S. 69-79). Verlag Julius Klinkhardt.
- Smith, C., Maclin, D., Grosslight, L. & Davis, H. (1997). Teaching for Understanding: A Study of Students' Preinstruction Theories of Matter and a Comparison of the Effectiveness of Two Approaches to Teaching about Matter and Density. *Cognition and Instruction*, 15(3), 317–393.
- Stern, E., Möller, K., Hardy, I. & Jonen, A. (2002). Warum schwimmt ein Baumstamm? *Physik Journal* 1, 3, 63–67.
- Stern, E., Schumacher, R. & Hänger, B. (2017). Anschlussfähiges Wissen aufbauen: Spiralcurricula für den Physikunterricht. *Anfangsunterricht PdN PHYSIK in der Schule*, 3, 5–9.
- Wagenschein, M. (1971). *Die pädagogische Dimension der Physik*. Westermann Verlag.
- Wiesner, H., Gartmann, G. & Wilhelm, T. (2020). *Ein Unterrichtskonzept zum Auftrieb im Sachunterricht*. Didaktik der Physik, Frühjahrstagung – Bonn 2020, 55–62.
- Wilkning, F., Huber, S. & Cacchione, T. (2006). Intuitive Physik im Kindesalter. In: W. Schneider, B. Sodian, N. Birbaumer, D. Frey, J. Kuhl & R. Schwarzer (Hrsg.). *Kognitive Entwicklung* (S. 823-859). Hogrefe.
- Wodzinski, R. (2006). Schwimmen und Sinken Ein anspruchsvolles Thema mit vielen Möglichkeiten. In G. Lück & H. Köster (Hrsg.). *Physik und Chemie im Sachunterricht*. Verlag Julius Klinkhardt.
- Wodzinski, R. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen im Anfangsunterricht. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Kopf & R. Duit (Hrsg.). *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 243-270). Springer Spektrum.
- Yeend, R. E., Loverude, M. & Gonzalez, B. (26. Juli 2001). Student Understanding of Density: A Crossage Investigation. per central. <https://www.per-central.org/document/ServeFile.cfm?ID=4313&DocID=1045&Attachment=1>
- Zenger, T. & Bitzenbauer, P. (2022). Die Dichte im Physikunterricht: Pilotierung einer deutschen Version des Density Survey. In S. Habig & H. van Horst (Hrsg.). *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik e. V. virtuelle Jahrestagung 2021 (S. 528-531).

Autor*innen**Fischer, Marie**

Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Didaktik des Sachunterrichts

Arbeits- und Forschungsschwerpunkte: Naturwissenschaftlich-orientierter Sachunterricht; (Offenes) Experimentieren im Sachunterricht; fachdidaktische Entwicklungsforschung

marie.fischer@uni-saarland.de

Peschel, Markus, Prof. Dr.

Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Didaktik des Sachunterrichts

Arbeits- und Forschungsschwerpunkte: Offenes Experimentieren, Digitalisierung, Hochschullernwerkstätten

markus.peschel@uni-saarland.de