

I Einleitung

*„Ich denke, dass Dinge schwimmen,
wenn sie wenig wiegen und sinken,
wenn sie viel wiegen.“*

Mit diesen Worten antwortet ein Grundschüler der vierten Klasse auf die Frage, woran es liegt, dass manche Gegenstände schwimmen und andere sinken. Die Aussage zeigt, dass der Schüler die Masse als entscheidende Größe für das Schwimmverhalten eines Gegenstands betrachtet. Möglicherweise hat er im Alltag mehrfach beobachtet, wie Gegenstände mit hohen Massen sinken, und ist von der Korrektheit seiner Antwort überzeugt. Aus physikalischer Sicht spielen beim Schwimmen und Sinken neben der Masse allerdings weitere Variablen wie das Volumen des Gegenstands oder die Dichte des Mediums, in dem der Gegenstand untersucht wird, eine Rolle.

Das physikalische Phänomen des Schwimmens und Sinkens taucht in vielen Bereichen unseres täglichen Lebens auf. Deshalb ist es nicht überraschend, dass bereits im naturwissenschaftlichen Sachunterricht der Grundschule versucht wird, den Schüler/innen ein grundlegendes Verständnis für die physikalischen Gesetzmäßigkeiten im Wasser zu vermitteln. Da die Thematik vielen Schüler/innen allerdings Probleme bereitet (z.B. K. Möller, 1999; Smith et al., 1985), sind verschiedene Lernunterstützungsmaßnahmen maßgeblich für den Wissenserwerb (K. Möller, 2006).

Bestandteil dieser Forschungsarbeit sind Interventionsstudien, in denen das Thema Schwimmen und Sinken im Sachunterricht der Grundschule gelehrt wird. Als Unterrichtsmaterial kommen dabei Comics zum Einsatz, welche speziell für die Interventionsstudien erstellt wurden und durchgängig Bestandteil des Unterrichts sind. Sie dienen der Anleitung von Experimenten und enthalten Arbeitsaufträge. Außerdem sind Lernaufgaben in den Comics integriert, welche von den Schüler/innen schriftlich zu lösen sind.

Comics werden eingesetzt, da sie die Möglichkeit bieten, den Lerngegenstand durch Sequenzen zu strukturieren. Außerdem können Text-Bild-Kombinationen die Schüler/innen sprachlich unterstützen und den Aufbau eines mentalen Modells begünstigen (z.B. R. E. Mayer, 2012, 2022; R. E. Mayer & Moreno, 2003). Comics können also lernunterstützend wirken.

Grundschul Kinder sind in vielerlei Hinsicht heterogen. Beispielsweise unterscheiden sie sich hinsichtlich ihrer Lernvoraussetzungen (z.B. Martschinke & Frank, 2002; Stanat et al., 2017). Aus der Forschung ist bekannt, dass Schüler/innen mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen nicht gleichermaßen von Lernunterstützungen profitieren (z.B. Kalyuga, 2008; Kalyuga et al., 1998; H. Lee et al., 2006; Spanjers et al., 2011; Yeung et al., 1998). Der Expertise-Umkehr-Effekt besagt, dass Lernende mit niedrigeren Lernvoraussetzungen von Unterstützungsmaßnahmen profitieren, aber solche Unterstützungen umgekehrt bei Ler-

nenden mit günstigeren Voraussetzungen nachteilig sind (Kalyuga, 2007; Kalyuga et al., 2003). Erklärt wird der Effekt unter anderem mit der Cognitive Load Theory (Sweller, 1988, 1994, 2010, 2012; Sweller et al., 2011; Sweller et al., 2019). Diese geht davon aus, dass das Arbeitsgedächtnis lediglich eine begrenzte Anzahl an Informationen aufnehmen kann und überflüssige Informationen kontraproduktiv sind. Das Arbeitsgedächtnis der Schüler/innen mit höheren Lernvoraussetzungen wird also belastet anstatt entlastet, wenn sie Informationen erhalten, die sie nicht benötigen. Schüler/innen mit niedrigeren Lernvoraussetzungen wiederum können ohne Lernunterstützungen kognitiv überfordert werden und sind auf diese angewiesen (z.B. Arnold, 2015; Kalyuga, 2008; Lipowsky, 1999; K. Möller, 2006).

Grundsätzlich wurde der Expertise-Umkehr-Effekt in ersten Untersuchungen der Sekundarstufe I nachgewiesen (z.B. Kalyuga et al., 1998; H. Lee et al., 2006; Richter et al., 2018; Spanjers et al., 2011; Yeung et al., 1998), jedoch unzureichend in der Primarstufe. Im Bereich der Grundschule liegen bislang keine aufschlussreichen Untersuchungen vor. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, diese Forschungslücke zu schließen.

Dafür werden für die Interventionsstudien dieser Forschungsarbeit zwei differenzielle Comics erstellt. Die Comics unterscheiden sich dabei in ihrer Gestaltung, um Schüler/innen mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen gerecht zu werden. Der eine Comic enthält zusätzliche Lernunterstützungen in Form von Visualisierungen, um Schüler/innen mit niedrigeren Lernvoraussetzungen (sprachlich und kognitiv) zu unterstützen. Der andere Comic enthält keine zusätzlichen Lernunterstützungen in Form von Visualisierungen. Dieser wird für Schüler/innen mit höheren Lernvoraussetzungen erstellt.

Die beiden Comicvarianten werden als adaptive Lernsettings verstanden. Bei der Gestaltung der Comics wird versucht, diese an die Lernvoraussetzungen (niedrigere versus höhere) der Schüler/innen anzupassen. Die Comicvarianten als adaptive Lernsettings sollen dabei eine differenzielle und gezielte Förderung der Schüler/innen ermöglichen und den Lernerfolg im naturwissenschaftlichen Sachunterricht unterstützen.

Ziel der Forschungsarbeit

Bestandteil der vorliegenden Forschungsarbeit sind quasi-experimentelle Interventionsstudien im Sachunterricht der Grundschule. Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist es zu analysieren, inwiefern verschiedene Schülermerkmale und der Lernerfolg von Schüler/innen im Themenbereich Schwimmen und Sinken von differenziellen Lernmaterialien beeinflusst werden.

Da es Hinweise aus der Lehr-Lernforschung gibt, dass Lernende mit verschiedenen Lernvoraussetzungen unterschiedlich gefördert werden können (z.B. Jiang et al., 2018; Kalyuga, 2008; Kalyuga et al., 1998; Kalyuga et al., 2001; C. H. Lee & Kalyuga, 2011; H. Lee et al., 2006; McNamara et al., 1996; Pollock et al., 2002; Richter & Scheiter, 2019; Richter et al., 2016, 2018; Roelle & Berthold, 2013; Spanjers et al., 2011), finden außerdem Untersuchun-

gen mit Blick auf die Lernvoraussetzungen der Schüler/innen statt. Dadurch können mögliche differenzielle Auswirkungen der Lernmaterialien eruiert werden. Auf Basis der Ergebnisse werden Empfehlungen für die Unterrichtspraxis ausgesprochen.

Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in die vier Bereiche „Einleitung“, „Theoretischer Teil“, „Empirischer Teil“ sowie „Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick“ gegliedert.

Teil II legt den Grundstein der Forschungsarbeit. Dort wird der theoretische Hintergrund zum Thema Schwimmen und Sinken sowie zum Medium Comic beleuchtet und ein Konzept zur Gestaltung des Lernmaterials für den Unterricht der Interventionsstudien dargestellt. Kapitel 1 befasst sich dabei mit dem theoretischen Hintergrund zum Schwimmen und Sinken. Es wird zunächst veranschaulicht, warum das Thema als Unterrichtsgegenstand für die Interventionsstudien Verwendung findet. Danach wird das Schwimmen und Sinken aus physikalischer Sicht beleuchtet. Anschließend werden Forschungsbefunde hinsichtlich der Lehr-Lern-Forschung aufgezeigt.

Im zweiten Kapitel folgt der theoretische Rahmen zum Comic als Medium. Es wird definiert, was unter einem Comic zu verstehen ist. Außerdem erfolgt eine Analyse des Comics als unterrichtliches Lernmaterial.

Im dritten Kapitel steht ein Konzept zur Gestaltung des Lernmaterials für die eigenen Interventionsstudien im Fokus. Hierbei wird auf die Theorie von sogenannten adaptiven Lernsettings eingegangen. Im Anschluss daran wird ein Konzept zur Gestaltung eines eigenen Comics zum Schwimmen und Sinken vorgestellt.

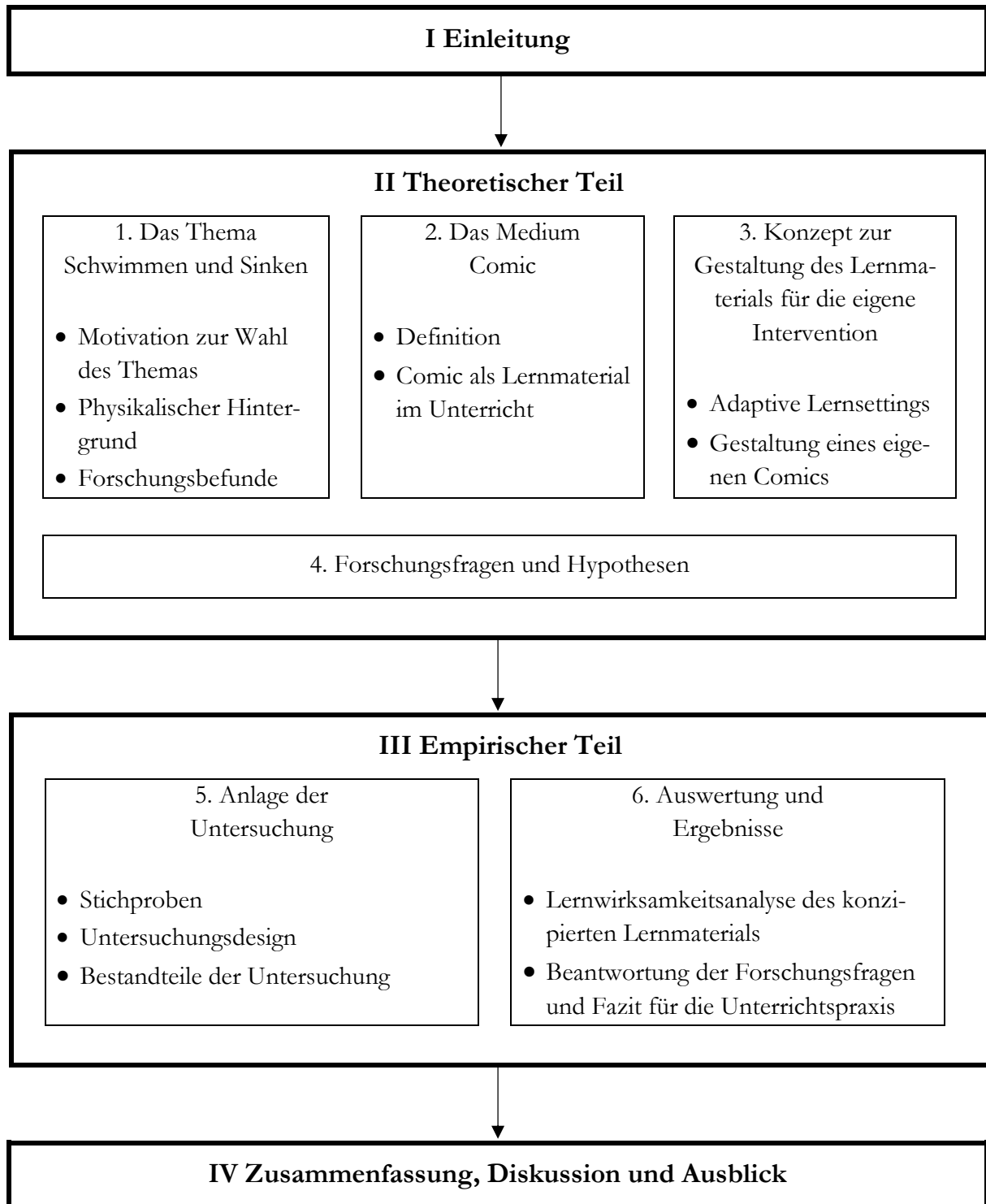
Am Ende des theoretischen Teils werden in Kapitel 4 die Forschungsfragen und Hypothesen der Arbeit formuliert.

In Teil III dieser Dissertation wird die empirische Umsetzung der Forschungsarbeit dargestellt. Im Rahmen des fünften Kapitels findet die Beschreibung der Anlage der Untersuchung statt (Strichproben, Untersuchungsdesign und Untersuchungsinstrumente).

Die Auswertung und Interpretation der Daten sind anschließend Inhalt des sechsten Kapitels. Hierbei erfolgt eine Lernwirksamkeitsanalyse der konzipierten Lernmaterialien, die Beantwortung der Forschungsfragen und eine Diskussion der Ergebnisse.

In Teil IV der Arbeit werden die theoretischen Hintergründe und empirischen Befunde zusammengefasst. Bestandteil dieses Schlussteils ist außerdem eine Diskussion zur Forschungsarbeit und ein Ausblick in mögliche weiterführende Studien.

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über den Aufbau der vorliegenden Dissertation.



Teil II
Theoretischer Teil

1. Das Thema Schwimmen und Sinken

Bestandteil dieser Forschungsarbeit sind Interventionsstudien im naturwissenschaftlichen Unterricht der Primarstufe, in der das konzeptuelle Verständnis zum Schwimmen und Sinken gefördert werden soll. In diesem Kapitel wird zunächst die Motivation aufgegriffen, warum das Thema als Unterrichtsgegenstand für die Interventionsstudien gewählt wird (Abschnitt 1.1). Danach erfolgt ein Aufriss des physikalischen Hintergrunds zum Schwimmen und Sinken (Abschnitt 1.2), um die relevanten physikalischen Größen des Themas aufzuzeigen. Anschließend werden bestehende Unterrichtsansätze und ausgewählte Forschungsbefunde zum Schwimmen und Sinken beleuchtet (Abschnitt 1.3).

1.1 Motivation der Wahl des Unterrichtsgegenstands Schwimmen und Sinken

Im folgenden Abschnitt wird die Motivation dargelegt, warum das Schwimmen und Sinken als Unterrichtsgegenstand für die eigenen Interventionsstudien in der Primarstufe gewählt wird. Dabei sind drei Merkmale für die Wahl maßgeblich, die nachfolgend beschrieben werden.

- Als erstes ist die curriculare Bedeutung des Themas aufzuführen. Das Unterrichtsthema Schwimmen und Sinken taucht in beinahe allen Bundesländern in den Lehrplänen oder Kerncurricula für den Primar- und Sekundarbereich auf (Rösch et al., 2017). Das Thema ist dabei über verschiedene Schulstufen hinweg Bestandteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Die Existenz eines bildungsstufenübergreifenden Spiralcurriculums ist daher nicht verwunderlich. Ziel dieses Spiralcurriculums ist es, die Kompetenzen der Kinder und Jugendlichen im Bereich Schwimmen und Sinken vom Kindergarten, über die Grundschule bis hin zur Sekundarstufe I stufengerecht zu fördern und die Übergänge (vom Kindergarten in die Grundschule und von der Grundschule in die Sekundarstufe I) zu vereinfachen (Rösch et al., 2017).
- Zweiter Grund für die Wahl des Unterrichtsgegenstands ist die Alltagsrelevanz und damit verbunden das große Interesse von Grundschulkindern, das Thema zu bearbeiten (K. Möller & Wyssen, 2017). Das Phänomen des Schwimmens und Sinkens begegnet bereits jungen Kindern in vielen verschiedenen Situationen. Ob beim Baden in der Badewanne, beim Tauchen im Schwimmbad, beim Schwimmenlassen von Ästen im See oder beim Beobachten von Schiffen im Meer – das Thema ist in der Lebenswelt der Kinder präsent und Gegenstand eigenständiger Erfahrungen und Denkweisen. Zum einen ergeben sich dadurch Möglichkeiten für Lehrende, an vorunterrichtliche Erfahrungen anzuknüpfen und das Interesse der Lernenden zu wecken. Zum anderen stellt dies eine große Herausforderung für die Lehrenden dar, da potenzielle Schülerfehlvorstellungen fest verankert sind

und ein Konzeptwechsel zu wissenschaftlich korrekten Vorstellungen schwierig ist (Schecker et al., 2018).

- Ein weiterer zentraler Grund für die Wahl des Themas ist das Bestehen zahlreicher und jahrelang andauernder Forschung im Bereich Schwimmen und Sinken im schulischen Kontext (z.B. Jonen & Möller, 2005; K. Möller, 1999; K. Möller et al., 2002; Paik et al., 2017; Teo et al., 2017). Dadurch können zum Beispiel Instruktionsmaßnahmen gewählt werden, welche bereits empirisch als lernförderlich identifiziert wurden. Außerdem kann auf Forschungsbefunde zu Schülervorstellungen zurückgegriffen werden. Dadurch können bekannte Schülervorstellungen während der Intervention adressiert und aufgearbeitet werden.

1.2 Physikalischer Hintergrund zum Schwimmen und Sinken

Zum Verständnis des Phänomens des Schwimmens und Sinkens spielen verschiedene physikalische Größen wie die Dichte, die Masse, das Volumen, der Druck oder der Auftrieb eine Rolle. In diesem Abschnitt wird der physikalische Hintergrund des Schwimmens und Sinkens dargestellt, um eine fachliche Grundlage für die nachfolgenden Kapitel zu schaffen. Dabei findet zunächst die Beschreibung der Dichte als physikalische Größe statt (Abschnitt 1.2.1). Danach wird der Druck in einem ruhenden Fluid (Abschnitt 1.2.2) beleuchtet, um anschließend den Auftrieb und das archimedische Prinzip (Abschnitt 1.2.3) zu thematisieren. Abschließend erfolgt eine Erklärung des Phänomens des Schwimmens und Sinkens mithilfe von zwei verkürzten Darstellungen (Abschnitt 1.2.4).

1.2.1 Dichte

Das Verhältnis zwischen der Masse m eines Körpers zum Volumen V des Körpers ist als die mittlere Dichte bekannt:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Als Formelzeichen für die mittlere Dichte findet der griechische Buchstabe ρ (rho) Verwendung. Sie wird meist in der SI-Einheit *Kilogramm pro Kubikmeter* oder in *Gramm pro Kubikzentimeter* angegeben. Da eine übliche Volumeneinheit für Flüssigkeiten der Liter l ist, wird bei Flüssigkeiten auch die Einheit *Kilogramm pro Liter* verwendet. In dieser Einheit beträgt die mittlere Dichte von Wasser mit einer Temperatur von 4 °C zum Beispiel $1 \frac{kg}{l}$.

Die Dichte ist im Wesentlichen eine Materialeigenschaft eines Körpers und beispielsweise unabhängig von seiner Form. Über sie können die Bedingungen zum Schwimmen und Sinken abgeleitet werden. Hat ein Körper eine höhere mittlere Dichte als das Medium, in dem er untersucht wird, dann sinkt er. Bei gleicher mittlerer Dichte von Körper und Medium,

schwebt der Körper. Bei einer geringeren mittleren Dichte des Körpers im Vergleich zum Medium, schwimmt der Körper.

Einen Einblick in die Dichten verschiedener Materialien beziehungsweise Gegenstände gibt Tabelle 1.1.

| Material beziehungsweise Gegenstand | Dichte in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ |
|---------------------------------------|--|
| Interstellarer Raum | 10^{-20} |
| Bestes Laborvakuum | 10^{-17} |
| Luft: 20 °C und 1,013 bar Druck | 1,21 |
| 20 °C und 50,66 bar Druck | 60,5 |
| Styropor | $1 \cdot 10^2$ |
| Eis | $0,917 \cdot 10^3$ |
| Wasser: 20 °C und 1,013 bar Druck | $0,998 \cdot 10^3$ |
| 20 °C und 50,66 bar Druck | $1,000 \cdot 10^3$ |
| Meerwasser: 20 °C und 1,013 bar Druck | $1,024 \cdot 10^3$ |
| Blut | $1,60 \cdot 10^3$ |
| Eisen | $7,9 \cdot 10^3$ |
| Quecksilber | $13,6 \cdot 10^3$ |
| Gold | $19,3 \cdot 10^3$ |
| Erde: Durchschnittswert | $5,5 \cdot 10^3$ |
| Kern | $9,5 \cdot 10^3$ |
| Kruste | $2,8 \cdot 10^3$ |
| Sonne: Durchschnittswert | $1,4 \cdot 10^3$ |
| Kern | $1,6 \cdot 10^3$ |
| Weißer Zwerg (Kern) | 10^{10} |
| Uran (Kern) | $3 \cdot 10^{17}$ |
| Neutronenstern (Kern) | 10^{18} |
| Schwarzes Loch (1 Sonnenmasse) | 10^{19} |

Tabelle 1.1: Einblick in einige Dichten (Koch et al., 2007)

Neben der mittleren Dichte ist der Begriff der relativen Dichte eines Körpers geläufig. Diese stellt das Verhältnis der Dichte eines Materials zu einer Referenz dar. Beispielsweise hat Gold, wenn als Referenz Wasser hinzugezogen wird, eine relative Dichte von 19.3. Diese Zahl kommt zustande, da Gold eine 19.3-fache Masse des gleichen Volumens an Wasser hat.

Es ist bekannt, dass sich die Dichte von Materialien mit der Temperatur oder dem Einwirken von Druck verändert. Die meisten Materialien dehnen sich zum Beispiel mit steigender Temperatur aus, wodurch sich deren Dichte verändert.

Bei Feststoffen und Flüssigkeiten kommt es bei Erwärmung oder Hinzugabe von Druck allerdings nur zu einer geringen Ausdehnung. Aufgrund der marginalen Volumenänderung kann die Abhängigkeit der Dichte von Temperatur und Druck bei Festkörpern und Flüssigkeiten daher als näherungsweise unabhängig angesehen werden. Bei Gasen ist dies wiederum anders. Die Dichte hängt hier von der Temperatur und dem Druck ab (siehe Beispiel Luft in Tabelle 1.1). Deshalb müssen diese Größen immer zusammen mit der Dichte angegeben werden (Tipler & Mosca, 2009).

1.2.2 Druck in einem ruhenden Fluid

Beim Eintauchen eines Körpers in ein Fluid¹ entsteht eine Kraft, die das Fluid auf die Oberfläche des Körpers ausübt. Diese Kraft F , welche von der Wirkungsfläche A abhängt und senkrecht zur Oberfläche des Körpers gerichtet ist, nennt man den Druck p des Fluids:

$$p = \frac{F}{A}$$

Die Maßeinheit des Drucks ist *Pascal*. Sie ist nach Blaise Pascal benannt und definiert als *Newton pro Quadratmeter*. Außerdem ist das *Bar* als Einheit geläufig. Dabei entsprechen 10^5 *Pascal* einem *bar*.

Sporttaucher wissen, dass der Druck im Wasser mit der Tiefe zunimmt. Ebenso ist Bergsteigern eine Abnahme des Drucks mit steigender Höhe bekannt. Der gemessene Druck wird dabei als hydrostatischer Druck bezeichnet, da beide Male von ruhenden (statischen) Fluiden ausgegangen wird (Koch et al., 2007). Im Folgenden wird der hydrostatische Druck in Bezug auf die Höhe beziehungsweise Tiefe am Beispiel Wasser hergeleitet, indem ein/e Wassersäule/Zylinder mit der Querschnittsfläche A betrachtet wird. Abbildung 1.1 veranschaulicht solch eine Wassersäule.

¹ Gase und Flüssigkeiten werden in der Physik als Fluide bezeichnet.