

**Rita Wodzinski,**

Didaktik der Physik, Universität Kassel, Heinrich-Plett-Straße 40

e-mail: wodzinski@physik.uni-kassel.de

## **Druck als Zustandsgröße in der Sekundarstufe I**

(Vortrag auf dem Physics Teachers Day, 12.09.07, Osnabrück)

### **Einleitung**

Das Thema Druck ist in den letzten Jahren in den Lehrplänen immer weiter in den Hintergrund getreten. Je nach Bundesland und Schulform findet man das Thema in anderer Klassenstufe und mit anderer inhaltlicher Ausgestaltung. Ich selbst habe vor etwa 10 Jahren begonnen, mich intensiver mit dem Druck zu befassen. Aus dieser Zeit stammt auch das Unterrichtskonzept, das ich Ihnen später vorstellen möchte.

Was das Thema Druck aus meiner Sicht für Unterricht interessant macht, ist vor allem der Luftdruck und der Auftrieb, beides Themen, die unmittelbaren Bezug zur Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler haben und beides Themen, bei denen Physikunterricht wirklich eine veränderte Wahrnehmung der Umwelt erreichen kann, was noch immer als eines der höchsten Ziele von Physikunterricht gilt.

Der Grund, mich als Didaktikerin mit dem Thema Druck zu beschäftigen, war vor allem die Tatsache, dass es hierzu noch immer keine sachlich saubere und konsistente Elementarisierung gab. Auch wenn sich inzwischen die Idee vom Druck als Maß für das Gepresstsein durchsetze, werden noch immer viele verschiedene Druckbegriffe miteinander vermischt, die genau besehen gar nicht zusammenpassen. Das hat zur Folge, dass so, wie der Druck in vielen Schulbüchern dargestellt ist, man ihn eigentlich nicht verstehen kann. Hier gibt es also auch heute noch echten Handlungsbedarf, was die begriffliche Klärung angeht.

Zusätzlich zu den Schwierigkeiten von der Sache her kommen noch die Schwierigkeiten mit dem Alltagsverständnis zum Druck.

### **1. Was ist eigentlich Druck?**

#### **1.1 Alltagsvorstellung**

Wenn man Schülerinnen und Schüler vor dem Unterricht fragt, was sie unter Druck verstehen, äußern sie sich etwa in folgender Weise:

Druck ist ...

die Kraft, die auf Gegenstände einwirkt.

eine Kraft, die Gegenstände an die Seite drückt.

eine Kraft, die etwas fortbewegt.

eine Kraft, die auf etwas drückt.

wenn eine Kraft auf eine andere Sache einwirkt.

das ist, wenn Kräfte sich gegen Gegenstände oder andere Kräfte drücken.

Dies sind einige typische Beispiele aus einer schriftlichen Befragung, die einer unserer Studenten in 3 achten Realschulklassen durchgeführt hat. Diese Beispiele zeigen auch schon das Hauptproblem beim Druckbegriff, nämlich das Problem der Differenzierung zwischen Druck und Kraft.

Von den gesamten Äußerungen der 79 Schülerinnen und Schüler ließen mehr als die Hälfte eine derartig enge Verbindung zwischen Druck und Kraft erkennen. Schaut man genauer hin, kann man die Antworten nochmals unterteilen in 2/3, die explizit angeben, Druck ist eine Kraft, während das andere Drittel Formulierungen von der Art wählt: Druck ist, wenn Kraft ausgeübt wird.

Diese enge Verknüpfung zwischen Druck und Kraft lässt sich dadurch erklären, dass Druck mit Drücken verknüpft wird, was wiederum Kraft ausüben bedeutet. Anders gesagt bedeutet das: Im Alltagsverständnis wird Druck meistens verwendet, um eine Einwirkung auf einen Körper zu beschreiben. Der Druck in diesem Verständnis ist klar gerichtet. Beide Charakteristika entsprechen genau denen einer Kraft.

## 1.2 Vorstellung nach Unterricht

Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass die Schwierigkeiten mit der Differenzierung zwischen Kraft und Druck auch nach dem Unterricht bestehen bleiben. Dass dies so ist, liegt meines Erachtens auch daran, dass ein qualitatives Verständnis vom Druck kaum vermittelt wird. So ist man in der Regel zufrieden, wenn Schülerinnen und Schüler auf die Frage, was ist Druck, antworten:

Druck ist Kraft pro Fläche, oder $p=F/A$ .
--

Aber ist das eigentlich wirklich das, was man unter Druck versteht, oder ist das nicht vielmehr nur eine Vorschrift, wie man einem Druck einen Zahlenwert zuordnet?

Nimmt man diese Definition „Druck ist Kraft pro Fläche“ nämlich genau, dann ist im Vergleich zur Alltagsvorstellung lediglich der Einfluss der Fläche hinzugekommen. Druck ist nun nicht einfach eine Kraft, sondern eine auf eine Fläche verteilte Kraft.

Typische Beispiele, die häufig angeführt werden, um diese Definition verständlich zu machen, sind die

- unterschiedliche Belastung eines Parkettbodens durch Stöckelschuhe und Elefantenfüße,
- das unterschiedliche Einsinken eines Tisches im Teppich, wenn man Platten unterlegt,
- das erfolgreiche Eindringen eines spitzen im Vergleich zum stumpfen Nagel etc.

In diesen Beispielen wird dem Druck aber wie im Alltagsverständnis eine Einwirkung in eine bestimmte Richtung zugeordnet.

Anders gesagt: Reduziert man den Druck auf  $p=F/A$ , dann wird implizit ein Verständnis vermittelt, das dem Alltagsverständnis sehr nahe kommt. Neu hinzugekommen ist lediglich, dass die Einwirkung einer Fläche zugeordnet wird.

Dass tatsächlich beim Stöckelschuh die Wirkung der Kraft nicht in der Fläche liegt, sondern im Absatzrand, wo die Holzfasern auseinandergezerrt werden, macht dieses Beispiel übrigens auch fachlich nicht ganz einfach.

### **1.3 Angestrebte Vorstellung**

Vielleicht werden Sie sich jetzt fragen, wie man denn den Druck anders beschreiben könnte als über Kraft pro Fläche. Darum hier die Antwort, die ich mir von Schülerinnen und Schülern nach Unterricht zum Druck erhoffen würde:

Druck beschreibt das Gepresstsein eines Gases oder einer Flüssigkeit.  
Man kann dem Druck einen Zahlenwert zuordnen, indem man die Kraft pro Flächeneinheit bestimmt, die das Gas oder die Flüssigkeit auf eine Begrenzungsfläche ausübt.

Diese Darstellung entspricht der physikalischen Vorstellung vom Druck als Größe zur Beschreibung des Zustands eines Gases oder einer Flüssigkeit. Druck ist nicht einer Fläche, sondern eher einem Volumen oder besser gesagt einem Raumpunkt zugeordnet und besitzt keine Richtung.

Solche Vorstellungen sind dem Alltagsverständnis durchaus nicht fremd. Anknüpfungspunkte für solche Druckvorstellungen sind z.B. der Luftdruck, der Blutdruck, der Reifendruck, der Druck in der Pressluftflasche usw.

Wie Unterricht sich an dieser Vorstellung orientieren kann, werde ich Ihnen nachher zeigen.

## **2. Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten zum Druck**

### **2.1 Blickrichtung**

Ich möchte Ihnen nun einige Ergebnisse aus Untersuchungen zu Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten präsentieren, die weitere Ansatzpunkte dafür liefern, wie gegenwärtiger

Unterricht verbessert werden kann. Die Schülervorstellungsforschung ist deshalb so wichtig, weil sie uns lehrt, die Welt mit der Brille der Schülerinnen und Schüler zu sehen. Bezogen auf den Druck sind dafür vor allem die Untersuchungen von Séré aus den 80er Jahren aufschlussreich. Sie hat in ihren Untersuchungen Schülerinnen und Schüler mit verschiedenen Druckexperimenten konfrontiert und beobachtet, wie die Schülerinnen und Schüler diese Versuche beschreiben und erklären. Dabei wurde deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Beschreibung der Experimente vorrangig darauf achten, wo sich etwas bewegt. Diese Bewegungen werden dann unmittelbar in ein einfaches Ursache-Wirkungs-Schema eingeordnet.

Ein Beispiel dafür ist der folgende Versuch:

In einer verschlossenen Spritze befindet sich ein kleiner Luftballon. Dann wird auf den Stempel gedrückt und der Ballon schrumpft.

Eine typische Schülerantwort zur Erklärung dieses Versuchs ist: Die Luft bewegt sich auf den Ballon zu und drückt ihn zusammen.

Dass sich der Druck in der Luft verändert, ist aus Schülersicht für die Erklärung also gar nicht notwendig. Oder anders gesagt: Schülerinnen und Schüler beschreiben Druckphänomene über Bewegungen und nicht über Druckzustände.

Darüber hinaus kann man feststellen, dass Kinder immer nach einzelnen Ursachen suchen. Druckunterschiede, die aus physikalischer Sicht eine wesentliche Rolle spielen, werden nicht in Betracht gezogen.

Die starke Orientierung an den Bewegungen spielt auch eine wesentliche Rolle bei der Frage, wann Gase Kräfte ausüben. So werden bei Druck größer als der atmosphärische Luftdruck Kräfte nur dann angenommen, wenn sich das Gas bewegt, also z.B. bei Wind. Ein Gas, das sich in Ruhe befindet, übt nach Schüleransicht keine Kraft aus. Ein besonders prägnantes Beispiel dazu stammt ebenfalls aus der Untersuchung von Séré. Den Befragten wurde ein Blutdruckmessgerät um den Arm gebunden und anschließend aufgepumpt. Ohne Ausnahme gaben alle 17 Befragten an, dass die Luft im Blutdruckmessgerät nur so lange drücke, wie gepumpt wird. Im aufgeblasenen Zustand dagegen drücke die Luft nicht. Dieses Ergebnis ist besonders verblüffend, weil man ja den Druck eigentlich sehr gut spüren kann.

Dieses Beispiel lässt sich auch im Hinblick auf das Verständnis von Kräftegleichgewichten interpretieren: In den Augen der Schülerinnen und Schüler sind bei einem Kräftegleichgewicht offenbar keine Kräfte im Spiel. Nur wenn sich etwas bewegt, werden Kräfte angenommen. Dies hängt mit Vorstellungen zum Kraftbegriff zusammen, spielt aber natürlich auch für das Verständnis des Drucks eine wesentliche Rolle.

## **2.2 Konsequenzen für Unterricht**

Welche Konsequenzen haben diese Ergebnisse nun für Unterricht. Wichtigste Konsequenz aus meiner Sicht ist, dass es im Unterricht über Druck entscheidend darauf ankommt, Druckzustände und Druckänderungen überhaupt wahrnehmbar zu machen. Dazu gehört auch, dass eine Sprache entwickelt werden muss, mit der Druckzustände beschrieben werden können. Gerade deshalb ist die Idee vom Druck als Gepresstsein so wichtig.

Ein zweiter damit zusammenhängender Punkt ist, dass Unterricht sich gezielt darum bemühen muss, die Aufmerksamkeit von den Bewegungen weg und auf die Druckzustände hinzulenken. Denn wenn dies nicht gelingt, muss das Reden über Druck in den Augen der Schülerinnen und Schüler als aufgesetzt und unnötig wirken. In ihrem Alltagsdenken kommen sie schließlich gut ohne den Druck aus.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass für das Denken in Druckdifferenzen, also das Betrachten aller beteiligten Systeme gute Argumente gefunden werden müssen, damit es sich gegenüber der intuitiven Suche nach einfachen und einzelnen Ursachen behaupten kann.

## **2.3. Weitere Ergebnisse zu Schülervorstellungen**

Stichpunktartig nun noch ein paar weitere Ergebnisse aus Untersuchungen zu Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten mit dem Druck, die in den 80er Jahren von Séré in Frankreich und der Arbeitsgruppe um Driver in England durchgeführt wurden.

Eine besonders ausgeprägte Vorstellung zum Druck in Gasen ist, dass Luft unter atmosphärischem Luftdruck als normal, d.h. nicht gepresst angenommen wird, weil sie sich in den Augen der Schülerinnen und Schüler frei bewegen kann. Das bedeutet auch, dass die Luft der Umgebung in den Augen der Schülerinnen und Schüler keine Kraft ausübt.

Eine weitere weitverbreitete Fehlvorstellung zum Druck ist die Vorstellung vom saugenden Vakuum. Etwa 50% der Schülerinnen und Schüler vertreten diese Vorstellung vor und nach dem Unterricht. Offenbar gelingt es nicht, diese Vorstellung aufzubrechen, was sich mit dem Denken in einfachen Ursachen erklären lässt.

Zum Druck in Flüssigkeiten meinen etwa 50% der Schülerinnen und Schüler vor dem Unterricht, dass der Druck stärker nach unten als zur Seite drücke. Nach dem Unterricht vertreten noch etwa 25% diese Ansicht.

Dass der Druck mit der Tiefe zunimmt, wissen auch vor dem Unterricht schon 60% der Schülerinnen und Schüler. Hier ist das Vorwissen also relativ gut ausgeprägt. Allerdings glauben auch 40% der Schülerinnen und Schüler vor dem Unterricht, dass der Druck in

Flüssigkeiten von der Breite des Gefäßes abhängt. Sie verknüpfen also den Druck mit der Gesamtmasse oder der Gewichtskraft der Flüssigkeit.

Diese Ergebnisse sind etwas mit Vorsicht zu betrachten. Eigene Untersuchungen zu ähnlichen Fragestellungen haben gezeigt, dass es sehr stark vom Aufgabenkontext abhängt, wie die Schülerinnen und Schüler antworten und dass ihre Vorstellungen bei verschiedenen Aufgaben stark voneinander abweichen. In der eingangs bereits erwähnten Befragung unter den Realschulklassen stellte sich übrigens heraus, dass die Vorstellungen der Jungen sich sehr deutlich von denen der Mädchen unterschieden, und zwar in der Weise, dass die Mädchen über deutlich weniger Vorwissen zum Druck verfügen als die Jungen. Als Konsequenz daraus sollte man im Unterricht gerade auch im Hinblick auf die Mädchen viele Möglichkeiten schaffen, eigene Erfahrungen zum Druck zu sammeln.

### **3. Gegenwärtiger Unterricht vor dem Hintergrund der Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten**

Ich möchte nun auf der Grundlage dieser Überlegungen mit Ihnen zusammen einmal einen Blick auf traditionellen Unterricht zum Druck werfen. Die Hauptkritikpunkte die sich dabei ergeben, lassen sich in drei größere Bereiche gruppieren.

#### **3.1 Zu frühes Thematisieren der Definitionsgleichung**

Einer der Kritikpunkte ist das frühe Hinsteuern auf die Definitionsgleichung  $p=F/A$ , die man in allen traditionellen Einführungen zum Druck findet. Dies geht jedoch immer auf Kosten einer qualitativen Begriffsbildung. In neueren Schulbüchern ist durchaus zu erkennen, dass sich die Autoren um ein Hervorheben des Zustandscharakters bemühen. Doch bei der Diskrepanz zwischen dem Alltagsdenken und dem physikalischen Denken ist nicht zu erwarten, dass Hinweise in Merktexten ausreichen, um die Sichtweisen von Schülerinnen und Schülern zu verändern. Ist die Definitionsgleichung einmal formuliert, wird außerdem bei jeder Anwendung die Aufmerksamkeit zwangsläufig wieder auf Kräfte an Grenzflächen gelenkt und nicht auf den Zustand in der Flüssigkeit oder im Gas. Dadurch wird aber die Alltagsvorstellung, dass Druck etwas ähnliches ist wie eine Kraft, immer wieder bestätigt. Mein Rat wäre deshalb, die Definitionsgleichung für den Druck so spät wie möglich zu formulieren und solange es geht mit einem qualitativen Verständnis vom Druck als Maß für das Gepresstsein zu arbeiten, was den Charakter vom Druck als Zustandsgröße unterstreicht.

### **3.2 unglückliche Versuche**

Ein weiterer Kritikpunkt sind typische Versuche zum Druck, die aber aus meiner Sicht besonders unglücklich sind.

#### Kraft-Druck-Gerät

Ein Beispiel dafür ist der Versuch mit dem Kraft-Druck-Gerät, der in fast allen Einführungen an herausgehobener Stelle auftaucht. Aber versuchen Sie einmal, diesen Versuch aus den Augen der Schülerinnen und Schüler zu betrachten. Was man sieht ist, dass man verschieden stark auf die Stempel drücken muss, damit sich ein Gleichgewicht einstellt, bzw. damit sich nichts mehr bewegt. Der Druck in der Flüssigkeit oder dem Gas spielt dabei eigentlich gar keine Rolle. Die ganze Aufmerksamkeit liegt auf der Bewegung der Stempel, während an der Flüssigkeit oder dem Gas nichts zu beobachten ist.

Was man aber sehen soll ist, dass Kräfte auf unterschiedlich große Grenzflächen der Flüssigkeit gleichzeitig gemessen werden. Man muss sich schon ganz schön anstrengen, den Versuch in dieser Weise zu verstehen. Man beachte zusätzlich, dass es sich hier um eine Gleichgewichtssituation handelt, die von Schülerinnen und Schüler normalerweise als Abwesenheit von Kräften interpretiert wird.

Als weitere Schwierigkeit kommt hinzu, dass die auffälligen Auflageflächen gar nicht wichtig sind für die Interpretation. Statt dessen kommt es auf die Stempelflächen an, die beim Aufbau völlig in den Hintergrund treten. Ich möchte diesem Versuch keineswegs seine Berechtigung absprechen. Aber als zentralen Versuch für die Einführung des Drucks halte ich ihn einfach für ungeeignet.

#### Spritzkugel

Ein anderer Versuch, der in nahezu jedem Schulbuch zu finden ist, ist der Versuch mit der Spritzkugel. Er soll die Richtungsunabhängigkeit des Drucks demonstrieren. Das Problem bei diesem Versuch ist aber wieder, dass die Aufmerksamkeit nicht auf dem Druck in der Flüssigkeit liegt, sondern auf den Bewegungen: Was man aus Sicht der Schülerinnen und Schüler mit diesem Versuch sieht ist, dass Druck durch die Bewegung des Stempels erzeugt wird und dass man den Druck daran erkennt, dass das Wasser mit Druck herausspritzt. Der Druck in der Flüssigkeit dagegen ist eher nebensächlich. Damit wird also die Denkweise der Schülerinnen und Schüler, dass Druck mit Bewegung zu tun hat, implizit weiter bestärkt.

Was man eigentlich sehen soll ist, dass der Druck in der Flüssigkeit erhöht wird und dann vom Wasser in alle Richtungen gleichmäßige Kräfte ausgeübt werden. Wollte man den Versuch in diesen Sinne interpretieren, wäre es günstig, zunächst die Löcher zu schließen,

einen höheren Druck zu erzeugen und dann die Löcher freizugeben. Dass es in diesem Fall aber gar nicht mehr erstaunlich ist, dass die Flüssigkeit aus allen Löchern gleichmäßig herausspritzt, zeigt, dass die Spritzkugel eigentlich ein ganz anderes Phänomen zeigt, nämlich dass sich trotz der gerichteten Bewegung des Stempels im Gefäß ein statischer „ungerichteter Druck“ aufbaut. Entscheidend dafür ist allerdings die Größe und die Zahl der Löcher. Würde man die Löcher vergrößern oder mehr Löcher verwenden (im Extremfall z.B. ein Sieb), würde nämlich das Wasser sehr wohl verstärkt aus den Löchern herausströmen, die dem Stempel gegenüberliegen.

### **3.3. unglückliche Begriffsbildungen**

Ein dritter Kritikpunkt sind unglückliche Formulierungen, die häufig verwendet werden.

#### gleichmäßige Druckausbreitung

So ist auch in den eingangs zitierten Lehrplänen z.B. von der gleichmäßigen Druckausbreitung die Rede. Dies wird gerne über den Versuch mit der Spritzkugel demonstriert. Die Vorstellung eines sich ausbreitenden Drucks ist jedoch eher hinderlich. Sie unterstützt unnötigerweise die Idee, Druck sei an Bewegung geknüpft, mit der Druckausbreitungsrichtung als Richtung des Drucks. Damit werden aber wieder Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler bestärkt. Was eigentlich mit der Druckausbreitung gemeint ist, sollte man besser als gleichmäßige Kraftübertragung bezeichnen. Was den Druck angeht, sollte man sich darauf beschränken, dass Druck herrscht, evtl. noch, dass sich Druck aufbaut. Alles andere kann zu unnötigen Verwirrungen führen.

#### Druckkraft

Ein weiterer in vielen Schulbüchern anzutreffender, aber auch besonders unglücklicher Begriff ist der der Druckkraft. Er gehört in die gleiche Schublade wie die Begriffe „Arbeitsleistung“ oder „Stromspannung“. Er ist vermutlich gut gemeint, um als Brücke zwischen Druck und Kraft zu vermitteln, in Wirklichkeit unterstützt er aber eher die Schwierigkeiten, Druck und Kraft voneinander zu trennen.

Im Zusammenhang mit unglücklichen Formulierungen ist auch noch zu erwähnen, dass leider auch viele physikalisch gängige Formulierungen die Vermischung von Druck und Kraft unterstützen, z.B. Formulierungen wie Druck wird ausgeübt oder Druck auf eine Fläche, Druck nach unten etc.

McClelland hat diese unsaubere Sprechweise in einem Artikel einmal sehr nett kommentiert mit dem Satz:

Pressure is a scalar quantity, but teachers and authors do not appear to believe this in their hearts.

Er vergleicht die Sprechweisen zum Druck mit denen zur Temperatur. Die Temperatur ist wie der Druck eine Zustandsgröße, aber niemand käme auf die Idee, von der Temperatur in eine Richtung zu reden oder davon, dass Temperatur ausgeübt wird.

#### **4. Vorschlag eines alternativen Unterrichtskonzepts**

Ich denke, jetzt ist es an der Zeit, etwas konstruktiver zu werden, und Ihnen vorzustellen, wie Unterricht über Druck denn nun aus meiner Sicht aussehen sollte. Aus dem bisher Gesagten ist vermutlich bereits deutlich geworden, dass es mir bei einem Unterricht zum Druck vor allem auf folgende Aspekte ankommt.

- Von Anfang an sollte die Vorstellung vom Druck als Zustandsgröße im Zentrum stehen. Die qualitative Schlüsselidee dafür ist die Vorstellung vom Druck als Maß für das Gepresstsein. Sie sollte den gesamten Unterricht durchziehen. Auf alle anderen Druckbegriffe kann man verzichten.

Die Idee, den Druck über das Gepresstsein einzuführen, ist übrigens keineswegs neu. Sie wurde von verschiedenen Autoren vorgeschlagen, aber bislang hat sich niemand die Mühe gemacht, diese Idee einmal konkret und konsequent weiterzudenken.

- Um die Vermischung mit dem Kraftbegriff zu vermeiden, sollte die Definitionsgleichung für den Druck so spät wie möglich thematisiert werden. In meinem Konzept kommt sie erst im Zusammenhang mit dem Auftrieb vor. Dies ist die erste Stelle, an der es wirklich Sinn macht, Kräfte zu messen. Bis dahin kommt man mit qualitativen Überlegungen gut hin.
- Viele Versuche zum Druck lassen sich sehr einfach realisieren. Diese Chance sollte man meines Erachtens nutzen, um den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit zu geben, eigene Erfahrungen zu sammeln und so bleibende Erinnerungen zu prägen.
- Und als letzter Punkt sollte außerdem auf eine korrekte Sprechweise geachtet werden.

#### 4.1. Einfache Versuche zum Druck

Nun zu den Stunden im einzelnen. Als Einstieg in das Thema Druck bietet sich z.B. eine arbeitsteilige Gruppenarbeit mit einfachen Versuchen an, die alle auf die Idee des Gepresstseins hinführen und den Blick auf Druckzustände lenken. Ich habe einmal sechs Versuche, die sich für eine solche Gruppenarbeit anbieten, hier dargestellt, möchte aber nur auf einige genauer eingehen. Die anderen werden Sie vermutlich schon mit einem Blick erkennen.

(Luftballon in Flasche)

Ergebnis einer solchen Stunde könnte sein:

Luft lässt sich zusammendrücken.

Wenn Luft oder ein anderes Gas gepresst ist, sagt man, im Gas herrscht Druck. Je stärker das Gas gepresst ist, desto größer ist der Druck im Gas.

Diese Idee des Gepresstseins muss natürlich vom Lehrer oder der Lehrerin ins Spiel gebracht werden. Anschließend können aber alle Versuche in diesem Sinne interpretiert werden.

#### 4.2. Möglichkeiten, den Druck zu verändern

In der zweiten Stunde geht es dann um verschiedene Möglichkeiten, den Druck in einem Gas zu erhöhen. Dabei lassen sich eine Reihe von Alltagserfahrungen nutzen. Eine Möglichkeit der Druckerhöhung ist, das Volumen zu verringern, das einer festen Gasmenge zur Verfügung steht. Dies ist z.B. beim Knallen lassen einer Butterbrottüte der Fall. Eine andere Möglichkeit ist, in einem festen Volumen die Gasmenge zu erhöhen, wie z.B. beim Aufpumpen eines Fahrrads. Eine dritte Möglichkeit den Druck zu erhöhen, besteht in der Erhöhung der Temperatur des Gases wie z.B. beim Platzen von Spraydosen in Feuer.

Mit dem folgenden kleinen Versuch können diese drei Wege der Druckerhöhung nochmals zusammengefasst werden. Man benötigt dazu einen Erlmeyerkolben mit einem zweifach durchbohrten Gummistopfen, der sich relativ weit in den Hals des Gefäßes hineindrücken lässt, und eine dünne Glasröhre mit Absperrhahn. Die Glasröhre präpariert man so, dass man sie durch Ansaugen bis zur Mitte mit angefärbtem Wasser füllt und anschließend den Hahn sperrt.

Verschließt man den Glaskolben mit dem Stopfen und schließt dann das zweite Loch, passiert beim Öffnen des Hahns nichts ungewöhnliches: Das Wasser läuft aus. Wiederholt man den Versuch mit dem kleinen Unterschied, dass man vorher das kleine Loch schießt, spritzt plötzlich das Wasser heraus. Dies liegt natürlich daran, dass man mit dem Stopfen die Luft im Kolben komprimiert hat. Die anderen beiden Möglichkeiten sind, Luft in den Kolben zu

blasen und den Kolben zu erwärmen. Methodisch wichtig bei diesem Versuch ist vor allem, dass durch vorheriges Schließen des Hahns und nachträgliches Öffnen immer zwei unterschiedliche Zustände klar voneinander zu unterscheiden sind. Dies ist bei den meisten anderen Versuchen so nicht der Fall.

Weitere Beispiele, die man an dieser Stelle diskutieren kann, sind das Platzen von Reifen und Luftmatratzen in der Sonne, das Aufblasen eines Luftballons mit Körperwärme, das Ausbeulen von Tischtennisbällen in warmem Wasser. Man muss dabei darauf achten, dass das „verhinderte Ausdehnen“ der Luft bei Erwärmung als gesteigertes Gepresstsein interpretiert wird.

### **4.3. Luft hat einen Druck/ Über- und Unterdruck**

Im nächsten Unterrichtsabschnitt geht es dann um den Luftdruck. Es ist sinnvoll, diese Stunde mit einer Sammlung der Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler zu beginnen, da teilweise auch im Erdkundeunterricht der Luftdruck sehr gründlich behandelt wird.

Einigen Schülerinnen und Schülern ist dabei sicher bekannt, dass der Luftdruck einen Zahlenwert größer als null besitzt. Daraus muss im Sinne der Gepresstseinsvorstellung gefolgert werden, dass Luft um uns herum offenbar schon gepresst ist. Um dies plausibel zu machen, werden Luftdruckänderungen in einem Glaskolben bzw. in einer Vakuumlöcke simuliert.

Als einfaches Gerät dafür bietet sich eine selbstgebaute Pumpe an. Man braucht dafür einfach nur zwei Rückschlagventile und eine zugehörige Verzweigung, die man im Aquarienbedarf für etwa 5 DM bekommt. Aus diesem Zubehör und einem üblichen Kolbenprober lässt sich eine Handpumpe bauen, mit der man genügend große Unter- und Überdrücke in einem Erlenmeyerkolben erzeugen kann, dass man die Größenänderung eines Luftballons gut sehen kann.

Zunächst werden nur Druckerhöhungen betrachtet. Als Anzeige für den Druck bzw. das Gepresstsein der Luft, wird ein aufgeblasener Luftballon in das Gefäß gelegt, der sich bei Druckerhöhung gleichmäßig verkleinert. Wichtig bei diesem Versuch ist, dass die Luft im Gefäß nicht nur gegen den Ballon drückt, sondern gleichzeitig auch gegen alle anderen Begrenzungsflächen.

Als Ergebnis wird festgehalten:

Wie groß der Druck in der Luft ist, bzw. wie stark die Luft gepresst ist, erkennt man daran, wie stark die Luft gegen die Begrenzungen drückt. Wenn die Begrenzungen beweglich oder dehnbar sind, wie z.B. Luftballonhaut, kann man den Druck „sichtbar“ machen.
--

Für die weiteren Versuche bietet sich ein mit einem Luftballon überzogenes Marmeladenglas an, das als primitives Modell eines Druckmessgeräts verwendet wird. Die Frage, warum das Marmeladenglasmessgerät in der Umgebungsluft nichts anzeigt, obwohl doch in der Umgebung ein Luftdruck herrscht, kann die Aufmerksamkeit bereits darauf lenken, dass auch die Luft im Glas mitberücksichtigt werden muss.

Stellt man das Glas nun unter eine Vakuumglocke und evakuiert die Glocke, wölbt sich die Membran nach oben. Spätestens jetzt wird die Luft im Marmeladenglas für eine Beschreibung im Sinne des Gepresstseins unentbehrlich. Ergebnis der Diskussion ist schließlich: Die Luft außen ist jetzt weniger stark gepresst. Sie drückt deshalb weniger stark gegen die Membran als die Luft im Marmeladenglas.

Um die Beachtung von Druckdifferenzen noch stärker in den Mittelpunkt zu rücken, kann man folgende kleine Aufgabe diskutieren. Man zeigt Bilder des Marmeladenglasbarometers, bei denen die Membran unterschiedlich gedellt ist, und stellt die Frage, was man über den Druck in der Luft der Vakuumglocke sagen kann. Die Diskussion macht deutlich: Das einzige, was man mit Sicherheit über den Druck sagen kann, ist eine Aussage über das Verhältnis des Drucks von innen zu außen. Ob in der Vakuumglocke ein Unterdruck oder ein Überdruck herrscht, ist ohne weitere Hinweise nicht eindeutig festzustellen.

#### **4. 4. Vakuum saugt nicht, sondern Luft drückt**

Der nächste Unterrichtsabschnitt widmet sich dann dem Vakuum und der Fehlvorstellung, dass Vakuum saugt. „Vakuumverpackte“ Lebensmittel wie Kaffee oder Erdnüsse können den Ausgangspunkt bilden, um zunächst zu klären, was eigentlich ein Vakuum ist und was mit „Vakuumverpackung“ gemeint ist.

Öffnet man eine „vakuumverpackte“ Erdnusspackung, wird im Alltagsverständnis die Luft in die Packung hineingesogen. Die Frage, wer denn da eigentlich saugt, kann eine Interpretation im Sinne der unterschiedlich stark gepressten Luft einleiten.

Ergänzend dazu bietet es sich an, eine verschlossene Kaffeepackung unter eine Vakuumglocke zu legen und die Luft abzusaugen. Dabei sieht man sehr deutlich, wie sich die Packung aufbläht, was die Qualität des „Vakuums“ belegt. Wäre tatsächlich keine Luft in der Packung, wäre auch niemand da, der von innen gegen die Packung drücken kann.

Fazit dieser Diskussion ist:

Wenn zwei Luftmengen mit unterschiedlich großen Drücken z.B. durch eine Trennwand getrennt sind, drückt die Luft mit dem größeren Druck stärker gegen die Wand als die Luft mit dem kleineren Druck. Nimmt man die Trennwand weg, gibt es eine Bewegung vom größeren zum kleineren Druck hin. Die stärker gepresste Luft versucht, „sich Platz zu machen“.

In diesem Zusammenhang können auch der Mohrenkopf unter der Vakuumblocke, der Saugnapf und ähnliche Beispiele diskutiert werden. Weitere geeignete Beispiele sind das Knacken von Milchflaschen beim Öffnen, das Festkleben von Weingläsern, wenn man sie beim Abwaschen auf eine glatte Oberfläche stellt, oder das „Einsaugen“ eines gekochten Eis in eine Milchflasche.

Abschließend sollte auch der Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln gezeigt oder zumindest erwähnt werden. Er gibt einen Einblick in die Größe des Luftdrucks. Der Druck in Gasen ist damit vorerst abgeschlossen. Der nächste Schritt ist der Übergang zum Druck in Flüssigkeiten.

#### **4.5. Druck in Flüssigkeiten (qualitativ)**

Zu Beginn dieses Unterrichtsabschnitts ist es sinnvoll, sich zunächst ein Bild über die Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler zum Druck in Flüssigkeiten zu machen. Das Ergebnis dieser Phase könnte sein:

Auch Flüssigkeiten haben einen Druck. Der Druck in Flüssigkeiten nimmt mit der Tiefe zu.

Im nächsten Schritt wird diskutiert, inwieweit sich die Vorstellung vom Gepresstsein überhaupt auf Flüssigkeiten übertragen lässt. Dabei wird gezeigt, dass Flüssigkeiten sich nur sehr wenig zusammenpressen lassen.

Dass trotzdem auch mit Flüssigkeiten etwas passiert, wenn man sie zusammendrückt, kann man z.B. an Zahnpastatuben oder Senftuben sehen, die man im geschlossenen Zustand zusammendrückt und dann öffnet.

Wie man das Gepresstseins erkennt, lässt sich vom Druck in Gasen unmittelbar übertragen:

Den Druck in einer Flüssigkeit erkennt man wie bei Gasen an den Kräften auf die Begrenzungsflächen.

Nun kann der Druck in Wasser genauer untersucht werden. Einen geeigneten Druckanzeiger können sich die Schülerinnen und Schüler aus einem kleinen Luftballon und einem Strohhalm sehr leicht selbst bauen. Luftballon und Strohhalm werden einfach mit einem Gummiring

verbunden und mit farbiger Flüssigkeit gefüllt. In arbeitsteiliger Gruppenarbeit können die Schülerinnen und Schüler nun die diversen Abhängigkeiten des Drucks untersuchen, nämlich

- von der Tiefe
- von der Gefäßform
- von der Position im Gefäß bei gleichbleibender Höhe
- vom Gesamtwasserstand bei gleichbleibendem Abstand zur Oberfläche
- vom Gesamtvolumen des Gefäßes bzw. der Breite des Gefäßes
- von der Flüssigkeit

Anschließend wird mit der üblichen Druckdose nochmals nachgewiesen, dass das Wasser in allen Richtungen gleich stark drückt. Dies wird über das Gepresstsein verständlich.

Wasser drückt in allen Richtungen gleich stark auf eine Begrenzungsfläche, sofern die Begrenzungsfläche in der gleichen Tiefe liegt

Wenn man möchte, kann man dann die Tiefenabhängigkeit des Drucks noch über die Gewichtskraft des Wassers deuten.

#### **4. 6. Auftrieb /Druckberechnung**

Wie stark das Wasser gegen Grenzflächen drückt, kann man mit der Druckdose sichtbar machen, man kann es aber auch selbst spüren, wenn man einen Körper in Wasser eintaucht. Besonders eindrucksvoll ist der Effekt, wenn man einen Körper nimmt, dessen Dichte nahe der Dichte des Wassers ist, z.B. eine wassergefüllte Flasche. An diesem Beispiel wird zunächst der Auftrieb als Phänomen dargestellt, und über Kraftmessungen physikalisch genauer analysiert. Es wird festgestellt, dass die Auftriebskraft bei teilweisem Eintauchen stetig wächst und bei vollständigem Eintauchen konstant bleibt.

Im nächsten Schritt geht es darum, den Auftrieb mit dem Druck in Zusammenhang zu bringen. Die Tiefenabhängigkeit des Drucks erklärt zunächst, warum der Auftrieb bei teilweise eingetauchtem Körper mit der Eintauchtiefe zunimmt: Das Wasser drückt je nach Tiefe unterschiedlich stark gegen den Körper.

Dass der Auftrieb dann bei vollständigem Eintauchen konstant bleibt, kann darauf zurückgeführt werden, dass nun das Wasser von oben drückt. Jetzt geraten auch die anderen Seitenflächen in den Blick, deren Einfluß diskutiert werden muss.

Insgesamt führt die Diskussion zu dem Schluss: Bei teilweise eingetauchtem Körper ist die Auftriebskraft genau die Kraft, mit der das Wasser aufgrund des Drucks gegen den Boden drückt.

Danach können die Schülerinnen und Schüler diese Kraft für eine festgelegte Tiefe unmittelbar messen. Besonders gut eignen sich dafür Safttüten von 0,75 l Inhalt. Sie haben gegenüber den 1l-Packungen den Vorteil, dass man mit 10N-Kraftmessern arbeiten kann. Zur Aufhängung kann man einfache Einmachgummis verwenden. Um die Eintauchtiefe festzulegen, kann man mit breitem Klebeband alle drei Flächen wie hier bekleben. Dann lässt sich auch die horizontale Lage im Wasser gut kontrollieren. Misst man für die drei verschiedenen Lagen der Safttüte jeweils die Auftriebskraft, stellt man fest, dass die Kraft, mit der das Wasser in einer bestimmten Tiefe gegen die Safttüte drückt, ist umso größer ist, je größer die Fläche ist. Bei genauerer Betrachtung der Messwerte erkennt man auch die Proportionalität. Dies führt schließlich zu der Erkenntnis, dass das Wasser pro Flächeneinheit immer mit der gleichen Kraft gegen die Safttüte drückt.

Danach kann diskutiert werden, wie sich wohl die Auftriebskraft bei anderen Körpern verhalten würde. Dabei wird deutlich, dass der Quotient aus Kraft und Fläche nur eine Eigenschaft des Wassers und der Eintauchtiefe ist und vom eingetauchten Körper unabhängig ist. Um Fehlvorstellungen zu vermeiden, ist es wichtig, an dieser Stelle nochmals zu betonen, dass das Wasser bei der Safttüte nicht nur nach oben, sondern in alle Richtungen mit der gleichen Kraft pro Angriffsfläche drückt.

Am Ende kann dann der Quotient aus Kraft und Fläche als sinnvolles Maß für den Druck im Wasser festgelegt und zur Druckdefinition verallgemeinert werden.

Die vom Wasser pro Flächeneinheit ausgeübte Kraft ist ein Maß für den Druck im Wasser.

Ganz allgemein gilt:

Man mißt den Druck in einem Gas oder einer Flüssigkeit, indem man die Kraft pro Flächeneinheit bestimmt, die das Gas oder die Flüssigkeit auf die Begrenzungsflächen ausübt.

$$p=F/A$$

#### **4.7. Der Schweredruck in Wasser quantitativ**

Mit dieser Festlegung können jetzt Drücke über Kraftmessungen berechnet werden. Insbesondere kann man auch die Abhängigkeit des Drucks von der Wassertiefe jetzt quantitativ über Auftriebsmessungen untersuchen. Ergebnis des Versuchs ist: Der Druck steigt proportional zur Tiefe. Pro cm Wassertiefe steigt der Druck um 1 hPa.

Um die Gleichung für den Schweredruck in der üblichen Form  $p = \rho g h$  zu erhalten, sind folgende Überlegungen notwendig:

Die Kraft, mit der das Wasser auf eine bestimmte Fläche nach oben drückt, muss auch gleich der Kraft sein, mit der das Wasser auf eine gleich große Fläche nach unten drückt. Die Kraft nach unten ist jedoch anschaulich als Gewichtskraft der über der Fläche lastenden Wassersäule zu interpretieren. Dieser Idee wird genauer nachgegangen. Wenn sie zutrifft, müsste sich der Druck in einer bestimmten Tiefe einfach aus der Gewichtskraft der über einer bestimmten Fläche lastenden Wassersäule berechnen lassen. Diese Überlegung führt dann zunächst rechnerisch auf die Gleichung  $p = \rho g h$ , was mit den experimentell ermittelten Werten übereinstimmt. Der bekannte Versuch mit der Glasplatte, die durch Wasserdruck an einen Zylinder gepresst wird, und dann von oben schrittweise mit Wasser belastet wird, kann gut als zusätzliche Bestätigung dieses Zusammenhangs gezeigt werden.

Für den nur durch die Schwere in einer Flüssigkeit erzeugten Druck wird der Begriff Schweredruck eingeführt. Ergebnis dieser Diskussion ist schließlich:

Der Druck in einer Flüssigkeit wächst proportional zur Tiefe.

Der Schweredruck in einer Flüssigkeit ist gegeben durch  $p = \rho g h$ .

Mit der Gleichung für den Schwerdruck kann man jetzt rechnerisch zeigen, dass die Auftriebskraft der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit entspricht. Dies wird experimentell in der bekannten Weise mit dem Überlaufgefäß bestätigt.

Damit sind meine Ausführungen zum Unterrichtskonzept bereits am Ende. Natürlich lässt sich das Konzept noch beliebig ergänzen z.B. durch Druckbetrachtungen beim Tauchen, die Luftdruckmessung mit einem Wasserschlauch, oder auch Druck in technischen Anwendungen. Mit den hier dargestellten Inhalten sollten die Schülerinnen und Schüler jedoch über genügend Hintergrundwissen verfügen, dass ergänzende Themen ohne Schwierigkeiten erarbeitet werden können.

## 5. Schluss

Wenn man als Didaktiker Lehrerinnen und Lehrern ein Unterrichtskonzept vorschlägt, dann ist die Skepsis darüber, ob diese Ideen auch für Unterricht etwas taugen, durchaus berechtigt. Und ich gebe gerne zu, dass es vielleicht an der einen oder anderen Stelle noch etwas zu feilen gibt. Allerdings haben einige Lehrer die Idee des Gepresstseins aufgegriffen und zumindest den ersten Teil zum Druck in Gasen nach der Konzeption durchgeführt. Die Erfahrungen damit waren insgesamt ermutigend. Insbesondere hat sich gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler tatsächlich mit der qualitativen Idee des Gepresstseins

argumentieren und auch nach dem Unterricht die qualitativen Zusammenhänge noch gut in Erinnerung behalten.

Damit bin ich nun am Ende meines Vortrages. Ich hoffe, es ist mir gelungen, Sie davon zu überzeugen, dass das Thema Druck durchaus Spannenderes zu bieten hat als den Stempeldruck in Flüssigkeiten und dass man auch ohne Spritzkugel und Kraft-Druck-Gerät einen interessanten Unterricht zum Druck durchführen kann. Ich würde mich freuen, wenn zumindestens einige meiner Ideen bei Ihnen auf fruchtbaren Boden gefallen sind.