Über den Bodendruck ruhender Flüssigkeiten.

Von P. Beyersdorfer, Reichenbach/Oberlausitz.

Inhalt

Das Hydrostatische Paradoxon. — Herkömmliche Erklärungen desselben mit kritischen Betrachtungen. — Vergleichende Messung des Bodendrucks mit einer „Wasserwaage". — Versuch einer leicht begreiflichen Deutung des Bodendrucks. — Ein neuer verblüffender Vorlesungsversuch zum Bodendruck durch Übergang vom festen zum flüssigen Aggregatzustand. — [1]) — Berechnung des Bodendrucks zweier Wassermengen in verschieden geformten Gefäßen mit gleicher Bodenfläche und gleicher Höhe nach Temperatursteigerung. — Anschauungen über den flüssigen Aggregatzustand. — Tafel mit 3 Abbildungen.

Die verblüffende Tatsache, daß die Bodendruckkraft P ruhender Flüssigkeiten nur abhängig ist von der Größe der Bodenfläche F, der Höhe der über der Bodenfläche stehenden Flüssigkeitsschicht H und dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit s, daß sie aber völlig unabhängig ist von dem Volumen der über dem Boden F bis zur Höhe H stehenden Flüssigkeit, ist als hydrostatisches Paradoxon bekannt. Bereits Simon Stevin (1548 bis 1620) hat durch Messungen mit der Waage den experimentellen Nachweis dieser zunächst erstaunlichen Gesetzmäßigkeit erbracht und versucht, sie zu erklären.

Bevor unser neuer Versuch dargestellt wird, soll mit Rücksicht auf den breiten Leserkreis dieser Abhandlungen und nicht zuletzt, um an einem einfachen Beispiel die Grenzen unserer Erkenntnis aufzuzeigen, das hydrostatische Paradoxon beschrieben und in üblicher Weise erklärt werden.

Die 3 Gefäße a, b, und c der Abb. 1 haben alle die gleiche Bodenfläche F und die gleiche Höhe H bei in jeder beliebigen Höhe kreisförmigem Querschnitt. Die Inhalte der 3 Gefäße verhalten sich wie $1 : 2 : \frac{1}{2}$. Wenn wir den Durchmesser der Bodenfläche 2 cm und die Höhe der Gefäße 10 cm wählen, dann sind die Inhalte der 3 Gefäße:

$$
\begin{aligned}
Va &= 10\,\pi = 31{,}4\ cm^3,\\
Vb &= 20\,\pi = 62{,}8\\
Vc &= 5\,\pi = 15{,}7
\end{aligned}
$$

Messen wir mit der Waage (ähnlich Abb. 3) bei allen 3 Gefäßen den Druck, der auf den Boden ausgeübt wird, wenn jedes

[1]) Kurt Beyersdorfer hat wesentlichen Anteil an der gedanklichen und technischen Bearbeitung dieses Versuchs.

der Gefäße bis zu 10 cm Höhe mit Wasser gefüllt ist, dann stellen wir fest, daß bei jedem der 3 Gefäße der Druck auf den Boden von 2 cm ⌀ oder π cm² = 3,14 cm² Fläche 31,4 g beträgt, d. s. 10 g/cm²; gleichviel ob das Gewicht des Wassers wie im Gefäß *b* 62,8 *g* oder wie im Gefäß *c* nur 15,7 *g* beträgt.

Für das zylindrische Gefäß *a* ist das Ergebnis der Bodendruckmessung ohne weiteres einleuchtend, für das konische, oben weiter werdende Gefäß *b* leicht erklärlich, weil man sich unschwer vorstellen kann, daß die schräge Seitenwand den Druck des unmittelbar senkrecht über ihr stehenden Wassers aufnimmt. Wie erklärt man sich aber die doch unstreitig verblüffende Tatsache, daß bei dem konischen, oben enger werdenden Gefäß *c* der Bodendruck noch einmal so groß ist als das Gewicht seines Wasserinhalts? daß allgemein die Gesetzmäßigkeit gilt:

Bodendruckkraft = Bodenfläche × Flüssigkeitshöhe × spez. Gew.

oder $P = F \quad H \quad s$

oder daß der Bodendruck = Flüssigkeitshöhe × spez. Gew.

$P/F = H \quad s$ ist?

Eine übliche Erklärung (siehe H. Ebert, Lehrbuch der Physik 1917 Bd. I S. 88 ff.) faßt den Bodendruck als einen Sonderfall des Druckes im Innern ruhender Flüssigkeiten auf, von dem sie sagt: Infolge der leichten Verschiebbarkeit der Teilchen einer Flüssigkeit und ihrer Schwere muß sich im Innern eine Druckkraft äußern, welche der Größe der gedrückten Fläche proportional ist. Jedes Oberflächenelement eines in eine Flüssigkeit getauchten Körpers erfährt einen Druck, der senkrecht zur gedrückten Fläche steht (Normaldruck), und dessen Größe der Last einer von hier lotrecht bis zum Flüssigkeitsspiegel emporragenden Flüssigkeitssäule entspricht. — Wenn man sich dies immer gegenwärtig hält, dann ist an dem hydrostatischen Paradoxon nichts mehr paradox. Würde man die Flüssigkeitskörper in den Gefäßen *a*, *b* und *c* zu Eis erstarren lassen, so würden diese Eiskörper mit verschiedenen Gewichten — in unserem Beispiel mit den Gewichten 31,4 *g*, 62,8 *g* und 15,7 *g* — auf die Bodenplatte drücken. Hier tritt der prinzipielle Unterschied zwischen festen und flüssigen Körpern besonders klar zutage.

Dies die Erklärung in Anlehnung an Ebert. — Sie befriedigt uns nicht, weil sie das apodiktische Muß enthält, das die Frage herausfordert: Warum muß es denn so sein? Auf welche doch sicher die Antwort zu erwarten ist: wegen der leichten Verschiebbarkeit und der Schwere der Teilchen einer Flüssigkeit. — Denkt man hierbei nicht unwillkürlich an Fritz Reuters: Die Armut kommt von der Powerté? — Warum sagt man nicht einfach: Unser Versuch, in jeder Beziehung rein und sauber, hat gezeigt, daß $P/F = H \cdot s$, daß der Bodendruck nur der Höhe und dem spez. Gew. der Flüssigkeit proportional ist. Ein reiner Versuch ist doch der sauberste, einfachste anschauungsmäßige Beweis.

Die Forderung, die Felix Klein (Elementarmathematik vom höheren Standpunkt aus I, 3. Auflage S. 30) für die Mathematik erhoben hat: „keinerlei Versuche zum Erschleichen unmöglicher Beweise zu machen“, ist auch für physikalische Beweise bezw. Erklärungen aufzustellen.

Bei kritischen Forschern und Lehrern und deren Erklärungen merkt man übrigens bald, daß auch in bezug auf das Verstehen gemeinhin so selbstverständlich gegebene Erklärungen wie die des Bodendrucks bei Gefäß *d* Abb. 1 doch nicht so einfach und selbstverständlich sind. So zieht P. Lenard (Deutsche Physik 1936 Bd. I S. 168) die Mitwirkung der Gefäßwände heran, um die Verwunderlichkeit (das hydrostatische Paradoxon) leicht verständlich zu machen. „Beim Gefäß *d*“, schreibt er, „bewirkt die über der Horizontalebene des Wandpunktes *p* stehende Flüssigkeit einen ihrer Säulenhöhe entsprechenden normalen Druck auf die Wand; dadurch wird die Wand elastisch ein wenig nach oben verbogen, so daß ihre elastische Kraft entgegengesetzt gleich der Kraft des Flüssigkeitsdruckes wird, wie es die beiden Pfeile in der Abbildung andeuten, womit aber dann alles in der Flüssigkeit unterhalb *p* genau ebenso ist, als wäre bei *p* keine Wand, sondern dort und senkrecht darüber auch drückende Flüssigkeit, wie im Gefäß *a*.“

Dafür, daß auch Lenard die Deutung einfacher hydrostatischer Erscheinungen, wie der Kräfte im Innern ruhender Flüssigkeiten, gar nicht für so einfach hält und sich der Grenzen unseres Wissens betont bewußt bleibt, sei er selbst angeführt.

Zu seiner Darstellung der „Flüssigkeiten unter dem Einfluß der Schwere“ (1. c. S. 166) bemerkt er: „Man kann hier sowie im folgenden einwenden, daß die an einem Flüssigkeitsvolum angreifenden Kräfte zusammengesetzt werden wie an einem festen Körper, während das Volum in Wirklichkeit innere Bewegungen zuläßt. Diesem Einwand begegnet man nur äußerlich durch Zerlegung des Flüssigkeitsvolums in Volumelemente und Einzelbetrachtung derselben. In Wirklichkeit greifen die zusammenzusetzenden Kräfte garnicht an großen oder kleinen Flüssigkeitsvolumen an, sondern an den Molekülen der Flüssigkeit, die aber den hier zu betrachtenden Kräften gegenüber im Endergebnis in der Tat wie feste, innerlich nicht weiter bewegliche Körper sich verhalten. Der Druck in der Flüssigkeit wird durch die umgebenden Moleküle ausgeübt; die Gravitation greift an der Masse der Moleküle an.“ Und kurz vorher (1. c. S. 164) umreißt er die Grenzen unserer Kenntnis und Erkenntnis über den flüssigen Zustand mit der Anmerkung: „Die Kenntnis, welche man aus elektrischen und optischen Untersuchungen über die Atome und Moleküle erlangt hat, ist scheinbar eingehend; ihre große Unvollkommenheit geht aber schon daraus hervor, daß sie nicht ausreicht, um auch nur das Bestehen eines solchen besonderen

Aggregatzustandes, wie es der flüssige ist, vorauszusehen. Vielmehr wird man umgekehrt auch aus den Eigenschaften der Aggregatzustände immer weiter suchen müssen, die Moleküle und Atome besser zu begreifen."

Wir glauben, daß es immer noch das Richtigste ist, als Lehrer einfach den Versuch sprechen zu lassen und gleichsam wie die alten Inder zu verfahren: den anschaulichen Versuch vorzuführen und nicht viel mehr zu sagen als: „siehe!" — Dann begibt man sich nicht auf Schleichwege und sagt man keinesfalls mehr als man wirklich verantworten kann.

Um verschiedene hydrostatische Tatsachen anschaulich und leicht begreiflich vorzuführen, haben wir folgende einfache Vorrichtung aus Glasröhren hergestellt. — Abb. 2. — Der Teil *W* ist eine Flüssigkeits(wasser)waage. Auf diese werden die Gefäße *a* und *d*, ähnlich Abb. 1, aufgesetzt mittels Gummischlauchmuffen, Flansch oder Schliff. Für Versuche mit Wasser in den aufgesetzten Gefäßen füllt man die Waage mit Quecksilber oder Tetrachlorkohlenstoff; will man die Waage *W* mit Wasser füllen, dann füllt man die aufgesetzten Gefäße mit gefärbtem Benzin oder Benzol (Autobetriebstoff) oder einer beliebigen anderen Flüssigkeit, die spezifisch leichter ist als Wasser und sich nicht mit diesem mischt. — Die ganze Vorrichtung stellt nichts weiter als 2 hohlverbundene Räume, als 2 kommunizierende Röhren dar.

An Hand dieser einfachen Vorrichtung soll das hydrostatische Paradoxon anschaulich begreiflich gemacht oder „bewiesen" werden.

Auf eine freie Flüssigkeitsoberfläche wirkt offenbar nur eine Kraft: die Schwerkraft und zwar senkrecht zur Oberfläche, wenn die Flüssigkeit im Gleichgewicht ist, wenn an ihrer Oberfläche überall der gleiche Druck herrscht. Bei beschränkter Ausdehung der freien Flüssigkeitsoberfläche bildet diese eine horizontale Ebene (Niveau-Ebene) rechtwinklig zur Lotrichtung. Beispiele: Wasser in einem Teich, in einer Schüssel. Daran ändert sich nichts, wenn wir die Oberfläche durch Eintauchen von Trennwänden in mehrere beliebige Teile zerlegen, wenn nur zwischen oder unter den Trennwänden für die Flüssigkeit Verbindungsmöglichkeit (Kommunikation!) besteht.

Flüssigkeiten gleichen spezifischen Gewichts haben sonach in hohlverbundenen Räumen (kommunizierenden Gefäßen) gleiches Niveau und gleiches Potential. Wird in ein z. B. mit Wasser gefülltes Gefäß ein Rohr, das weit genug ist, eingetaucht, so steigt in dem Rohr das Wasser bis zum Niveau des Wassers im Gefäß. Auch wenn 2 Gefäße, 2 Bottiche, mit einem Rohr oder Schlauch verbunden werden, stellt sich das Wasser in den Bottichen auf gleiches Niveau ein. Gießkanne und Teekanne sind Beispiele aus dem Alltagsleben für kommunizierende Gefäße und Röhren.

Wer hat sich schon darüber gewundert, daß aus dem Schnabel der auf dem Tisch stehenden gefüllten Teekanne nicht fortgesetzt Tee heraus läuft, wo doch in dem beispielsweise kugelförmigen Teil der Teekanne sich eine ungleich viel größere Flüssigkeitsmenge befindet als im Schnabel? — Wahrscheinlich niemand. Durch fortgesetzte Anschauung und Erfahrung wird dies als selbstverständlich und ganz natürlich empfunden. Wir wollen uns hieran bei der verblüffenden Tatsache des Bodendrucks erinnern.

Wir nehmen jetzt unsere Vorrichtung der Abb. 2, stellen den Teil *W* mit seiner Symmetrieachse lotrecht und füllen ihn mit Quecksilber. Das Quecksilber stellt sich in den beiden Schenkeln oder Armen dieser Flüssigkeitswaage niveaugleich ein. Wir setzen nun die Gefäße *a* und *d* Abb. 1 auf die beiden Arme der Waage auf und füllen beide Gefäße gleichzeitig mit Wasser derart, daß es in beiden Gefäßen gleich hoch — niveaugleich — steht. Die Quecksilberwaage *W* bleibt im Gleichgewicht, obwohl die Wassermenge in *a* fast 8mal so groß und so schwer ist wie die Wassermenge in *d*. Wenn wir an die niveaugleiche Einstellung von Flüssigkeiten in hohlverbundenen Räumen denken und ganz besonders an unsere Teekanne, dann ist der eben beschriebene Versuch des Paradoxen und Verblüffenden entkleidet.

Zur Ableitung der schon eingangs gebrachten Gesetzmäßigkeit über den Bodendruck betrachten wir den Horizontalschnitt *A B C D* durch unsere Vorrichtung. Der Querschnitt *A B* ist gleich dem Querschnitt *C D*. Diese Querschnitte stellen gleichsam die Böden der Gefäße *a* und *d* dar. Ihre Fläche sei $F\ cm^2$. Es ist leicht einzusehen, daß die Druckkraft der Flüssigkeit in *a* gleich deren Gewicht ist. Das Gewicht der Flüssigkeit in dem zylindrischen Gefäß *a* ist

$$Pa = F\ cm^2 \quad H\ cm \quad s\ g/cm^3 \text{ oder } = F \quad H \quad s\ g,$$

mithin ist der Bodendruck $Pa/F = H \quad s\ g/cm^2$.

Wie der Versuch zeigt, hält die Flüssigkeit in *a* über *A B* der Flüssigkeit in *d* über *C D* das Gleichgewicht. Es muß demnach auf *C D* die gleiche Druckkraft lasten wie auf *A B*. Also ist

$$Pa = Pd = F \quad H \quad s\ g \qquad \text{oder}$$

$$Pa/F = Pd/F = H \quad s\ g/cm^2,$$

womit gezeigt ist, daß der Bodendruck nur der Höhe und dem spezifischen Gewicht der drückenden oder lastenden Flüssigkeit proportional ist.

Es sei jetzt unser besonders eindrucksvoller neuer Versuch beschrieben, der die Veranlassung für die bisher angestellten Überlegungen war und der besonders sinnfällig den Unterschied in der Druckkraftäußerung des festen und flüssigen Aggregatzustandes bei ein und demselben Stoff zeigt.

Ein massiver Aluminiumzylinder von etwa 25 mm ⌀ und 100 mm Länge (siehe Abb. 3) wird auf der Drehbank ausgebohrt. Die lichten Maße der Bohrung sind in Millimetern: $r = 8$, $r_1 = 7$, $r_2 = 3$, $r_3 = 2$, $h_1 = 10$, $h_2 = 90$ und $H = 100$. Das Gesamtvolumen der schwach konisch gehaltenen Bohrung ist

$$
\begin{aligned}
V &= \frac{h_1 \quad \pi}{3} (r^2 + r \quad r_1 + r_1^2) + \frac{h_2 \quad \pi}{3} (r_2^2 + r_2 \quad r_3 + r_3^2) \\
&= 1770\, mm^3 + 1790\, mm^3 \\
&= 3560\, mm^3.
\end{aligned}
$$

Aus einer der bekannten, zwischen 64° und 70° C schmelzenden Metallegierungen wird ein massiver Körper (Kern) geformt, der genau in die Bohrung des Aluminiumzylinders hineinpaßt, ohne jedoch zu klemmen. Der Kern muß aus der genau lotrecht festgehaltenen Aluminiumform bequem und willig herausgleiten, so daß sein Gewicht mit der bekannten Bodendruckwaage festgestellt werden kann. Die untere ringförmige Fläche des Aluminiumzylinders muß ebenso wie die dagegen gedrückte Platte der Bodendruckwaage sauber poliert sein. Das Gewicht des Kernes ist etwa 30 g. Beim spez. Gewicht des festen Kernmetalls von $s = 8{,}4$ ist das Gewicht des Kernes theoretisch

$$P = 3{,}56\ cm^3 \cdot 8{,}4\ g/cm^3 = 29{,}9\ g.$$

Der Aluminiumzylinder wird lotrecht fest eingespannt, der Kern von unten in die Bohrung eingeführt und schließlich die Bodendruckwaage mit der Gegendruckplatte unter dem Aluminiumzylinder sorgfältig und gut abdichtend angebracht. Werden 30 g Gewicht auf die Waagschale aufgelegt, dann ist die Waage im Gleichgewicht. Nun wird die Waagschale mit weiteren 150 g belastet, so daß im ganzen 180 g Gewichte auf ihr liegen. Jetzt wird der Aluminiumzylinder mit einer Gasflamme auf 70—80° C erwärmt. Der Kern schmilzt. Werden nunmehr 30 g Gewicht von der Waagschale weggenommen, so läuft das flüssige Metall des Kernes zwischen der Bodendruckplatte der Waage und dem Aluminiumzylinder heraus. Das auf der Waage lastende Gewicht des flüssigen Metalls, d. h. die Bodendruckkraft desselben ist also größer als 150 g, während das Gewicht des festen Metallkernes doch nur 30 g war.

Die folgende rechnerische Überlegung steht, wie nicht anders zu erwarten, mit dem Ergebnis des Versuchs in Einklang. Es ist der Bodendruck $P/F = H \quad s$, also die Bodendruckkraft, das Gewicht, $P = F \quad H \quad s = r^2 \ \pi \quad H \quad s$. Und da $r = 0{,}8\ cm$, $H = 10\ cm$ und $s = 7{,}6\ g/cm^3$ — das spez. Gew. des geschmolzenen Metalls ist etwa 10% kleiner als dasjenige des festen Metalls — wird $P = 0{,}8^2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 7{,}6\ g = 152{,}76\ g$.

Es sei hier eine weitere Betrachtung über den Bodendruck angeschlossen. Wir stellen die Frage:

Wir haben 2 Gefäße der Formen *a* und *d* (Abb. 1). Der Radius der Grundfläche bei *a* ist $r = 1\ cm$. Bei *d* ist $r = 1\ cm$, $r_1 = 0{,}1\ cm$, $h_1 = 1\ cm$ und $h_2 = 10\ cm$. Beide Gefäße sind bis zur Höhe $H = 11\ cm$ mit Wasser von 4° C gefüllt. Die Gesamthöhe beider Gefäße ist etwas größer als 11 cm, so daß sich das Wasser in den Gefäßen ohne überzulaufen ausdehnen kann. Wir erwärmen in beiden Gefäßen unter Ausschluß von Verdunstung das Wasser von 4° C um 20° C auf 24° C. Wie groß ist der Bodendruck in jedem der beiden Gefäße nach der Erwärmung? — Damit die Wärmeausdehnung des Gefäßmaterials vernachlässigt werden kann, wählen wir dieses aus geschmolzenem Quarz.

Die einfache Überlegung sagt einem zunächst: das Wassergewicht in beiden Gefäßen erfährt keine Änderung. Das Volumen des Wassers wird in beiden Gefäßen größer. Das spez. Gew. des Wassers wird bei der Erwärmung von 4° C auf 24° C kleiner. Dem Gefäß *a* muß man wesentlich mehr Wärmeenergie zuführen als dem Gefäß *d* um den Wasserinhalt um 20° C zu erwärmen: a sind 10 mal soviel Kalorien zuzuführen als *d*.

Die Rechnung möge die Antwort auf unsere Frage geben.

Das Gefäß *a* hat bis zur Höhe $H = 11\ cm$ das Volumen $Va = r^2 \pi \quad H = 1^2 \pi \quad 11 = 11 \pi = 34{,}5575\ cm^3$.

Sein Wasserinhalt bis zur Höhe H wiegt bei 4° C genau $Wa_4 = 34{,}5575\ g$, da das spez. Gew. des Wassers bei 4° C genau 1 ist.

Das Gefäß *d* hat bis zur Höhe $H = h_1 + h_2$ das Volumen $Vd = r^2 \pi \quad h_1 + r_1{}^2 \pi h_2 = 1^2 \pi \quad 1 + 0{,}1^2 \pi \quad 10 = 1{,}1 \pi = 3{,}45575\ cm^3$. Sein Wasserinhalt von 4° C wiegt $Wd_4 = 3{,}45575\ g$.

Die Bodendruckkraft ist in beiden Gefäßen $P_4 = r^2 \pi \quad H \quad 1\ g = 11 \pi\ g = 34{,}5575\ g$.

Jetzt wird das Wasser in beiden Gefäßen um 20° C auf 24° C erwärmt. Ein Gramm Wasser von 24° C nimmt den Raum von 1,002685 cm³ ein. Die 34,5575 g Wasser im Gefäß *a* haben nach dem Erwärmen auf 24° C das Volumen

$$Va_{24} = 34{,}5575 \quad 1{,}002685\ cm^3 = 34{,}6503\ cm^3.$$

Da $Va_4 = 34{,}5575\ cm^3$ war, ist die Volumvergrößerung $Va_{24-4} = 0{,}0928\ cm^3$. Da die Volumvergrößerung über den Querschnitt $r^2 \pi = 3{,}14159\ cm^2$ stattgefunden hat, ist die Steighöhe des Wassers $Ha_{24-4} = \dfrac{0{,}0928\ cm^3}{3{,}14159\ cm^2} = 0{,}02954\ cm$. Die Höhe des Wassers von 24° C in *a* ist sonach $Ha_{24} = 11{,}02954\ cm$ und die Bodendruckkraft ist, da das Wasser von 24° *C* das spez. Gewicht 0,997323 hat, $Pa_{24} = \pi \quad 11{,}02954 \quad 0{,}997323 = \pi \quad 11{,}00001\ g$. Die Bodendruckkraft ist genau die gleiche wie vor dem Erwärmen.

Wir betrachten jetzt das Gefäß *d* nach dem Erwärmen auf 24° C. Sein Wasserinhalt hat nach dem Erwärmen das Volumen $Vd_{24} = 3{,}45575 \quad 1{,}002685\ cm^3 = 3{,}46503\ cm^3$; da $Vd_4 =$

3,45575 cm^3 war, ist die Volumvergrößerung durch die Erwärmung $Vd_{24-4} = 0{,}00928\ cm^3$. Diese Volumvergrößerung hat über dem Querschnitt $r_1^2\ \pi = 0{,}1^2\ \pi = 0{,}0314159\ cm^2$ stattgefunden. Mithin ist die Steighöhe des Wassers im Gefäß d $Hd_{24-4} = \frac{0{,}00928\ cm^3}{0{,}0314159\ cm^2} = 0{,}2954\ cm$. Die Bodendruckkraft ist im Gefäß d nach dem Erwärmen $Pd_{24} = \pi \cdot 11{,}2954 \cdot 0{,}997323\ g = \pi\ \ 11{,}26516\ g$, da die Höhe des Wassers in d nach dem Erwärmen $Hd_{24} = 11{,}2954\ cm$ beträgt.

Während die Bodendruckkraft beim Gefäß a nach dem Erwärmen die gleiche geblieben ist, ist sie beim Gefäß d um 0,26516 $\pi\ g$ = ca. 0,8 g, entsprechend 2,4%, größer geworden.

Dies ist doch sicherlich auch ein verblüffendes Ergebnis, weil es nicht ohne weiteres vorauszusehen ist.

Der Weg des Studiums des flüssigen Zustandes ist deshalb besonders reizvoll, aber auch schwierig und mit zahlreichen Fallen durchsetzt, weil die Flüssigkeiten eine eigenartige Zwischenstellung einnehmen zwischen dem festen und dem gasförmigen Zustand: der flüssige Zustand hat manche Eigenschaften mit dem gasförmigen, aber auch manche mit dem festen kristallisierten Zustand gemeinsam.

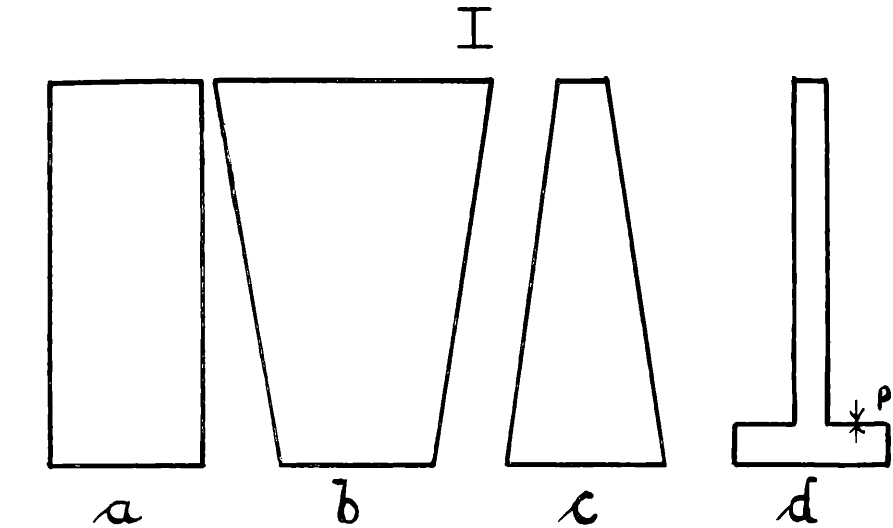
Im Zuge der geschichtlichen Entwicklung hat man zunächst die Verwandtschaft mit dem gasförmigen Zustand erkannt, als man das abweichende Verhalten stark verdichteter Gase von den idealen Gasgesetzen festgestellt hatte (V a n d e r W a a l s 1873).

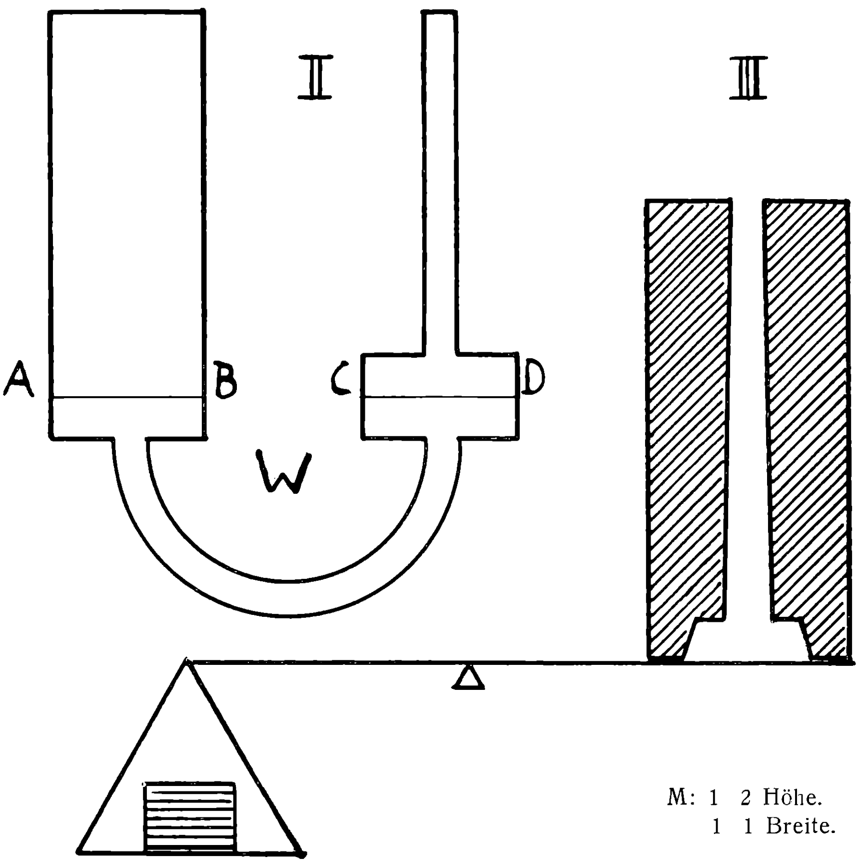
Als man später die thermischen Eigenschaften (spez. Wärme u. dergl.) von Flüssigkeiten und kristallisierten Körpern weitgehend ermittelt hatte, erkannte man, daß eigentlich die Flüssigkeiten mehr den festen Körpern ähneln als den Gasen. Und als M. L e h m a n n um die Jahrhundertwende die „flüssigen Kristalle" unter dem Polarisationsmikroskop aufgefunden hatte, mußte man daraus folgern, daß auch in Flüssigkeiten so geordnete Atom- und Molekülanordnungen vorkommen können wie in festen Kristallen.

Die Strukturforschung mittels der Röntgenstrahlen hat neuerdings gezeigt, daß geregelte Molekülanordnungen in Flüssigkeiten weit häufiger sind als es die „flüssigen Kristalle" vermuten ließen.

Wir können wohl heute die Vermutung aussprechen, daß in der Struktur des flüssigen Zustandes sich die Strukturen des gasförmigen und des festen Zustandes überschneiden. In der Nähe des Siedepunktes herrscht die Gasähnlichkeit, in der Nähe des Schmelz- oder Gefrierpunktes die Ähnlichkeit mit dem kristallisierten Zustand vor. Es handelt sich hier aber nur um Ähnlichkeiten, nicht um Gleichheit.

Hier wie anderwärts gibt es noch unendlich viel zu erforschen. Und am Ende wird man doch erkennen müssen: Ich weiß, daß ich nichts weiß.





M: 1 2 Höhe.
1 1 Breite.