

Zweite Lehrstufe.

I. Abschnitt.

Von den Körpern im allgemeinen.

(I. Lehrstufe, §§ 1—6.)

A. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

§ 51. Porosität und Teilbarkeit. Aus unseren früheren Betrachtungen über die allgemeinen Eigenschaften der Körper ergab sich, 1. das jeder Körper einen Raum einnimmt, welcher nicht zugleich von einem anderen Körper eingenommen werden kann (**Ausdehnung** und **Undurchdringlichkeit**), 2. das weder ruhende noch bewegte Körper ihren Zustand selbst ändern können (**Trägheit** oder **Beharrungsvermögen**), 3. das alle Körper schwer sind (**Schwere**). Die Frage: ob der von einem Körper eingenommene Raum von dem Stoffe des Körpers ganz oder nur teilweise ausgefüllt wird, und andere derartige, die innere Beschaffenheit der Körper betreffende Fragen blieben damals unerörtert.

Sowohl die tägliche Erfahrung, wie auch geeignete Versuche lehren, das die Körper ihren Rauminhalt ändern, wenn *äußere Kräfte* (Druck oder Zug) auf sie einwirken. Gewisse feste Körper, namentlich Metalle, lassen sich durch Hämmern, Pressen, Walzen u. dgl. so stark verdichten, das ihr spezifisches Gewicht dadurch merklich erhöht wird (§ 17). Die Raumveränderung, welche Flüssigkeiten durch äußeren Druck erleiden, ist eine so geringe, das man bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts glaubte, sie seien überhaupt nicht zusammenpressbar. Durch den Druck von 1 Atmosphäre, d. h. von 1 kg auf 1 qcm (§ 84a) wird Wasser z. B. nur um $\frac{1}{20000}$, Quecksilber um 3 Milliontel seines ursprünglichen Rauminhaltes zusammengepresst. Am bedeutendsten ist die Raumveränderung, welche luftförmige Körper durch Zu- oder Abnahme des äußeren Druckes erleiden. — Welchen Einfluß übt die *Wärme* auf den Rauminhalt der Körper aus? (§ 31).

Aus der Veränderlichkeit des von einem Körper eingenommenen Raumes läßt sich schließen, das der Stoff den Raum der Körper nicht ganz ausfüllt, das also in allen Körpern Zwischenräume, Poren, enthalten sein müssen. Zahlreiche *Erfahrungen* bestätigen diese Annahme.

In manchen festen Körpern kann man die Poren schon mit bloßen Augen oder doch bei Anwendung eines Vergrößerungsglases erkennen (Beispiele!). Bei anderen Körpern läßt sich aus dem Eindringen von Flüssigkeiten schliessen, daß sie Poren enthalten. Thüren und Fenster quellen bei feuchter Luft, Pflaster- und Mauersteine sind nach anhaltendem Regenwetter noch längere Zeit feucht, aus Kreide steigen im Wasser Luftblasen auf u. s. w. Hohle und ganz mit Wasser gefüllte Metallkugeln überziehen sich mit feinem Tau, wenn sie einem bedeutenden Drucke ausgesetzt werden; dieselbe Erscheinung zeigen die eisernen Röhren hydraulischer Pressen (§ 79). Durch Holz läßt sich Quecksilber leicht hindurchpressen. Auch an flüssigen Körpern lassen sich, wie folgende Versuche zeigen, Erscheinungen wahrnehmen, welche das Vorhandensein von Poren beweisen.

***Versuch a.** Kehrt man eine 60—80 cm lange Glasröhre, welche man in ihrer unteren Hälfte mit Wasser, in der oberen mit Weingeist gefüllt und dann verschlossen hat, mehrmals um, sodafs die Flüssigkeiten sich mischen, so füllt die Mischung die Röhre nicht mehr ganz aus.

***Versuch b.** Schüttelt man in einem verschlossenen Gefäße kaltes Wasser und Kohlensäure durcheinander, so dringt letztere zum Teil in das Wasser ein, was sich leicht zu erkennen giebt, wenn man das Gefäß umgekehrt unter Wasser öffnet. (Aufsteigen des W. durch den Luftdruck.)

Daß die Substanz der luftförmigen Körper sehr locker sein muß, folgt sowohl aus der Leichtigkeit, mit welcher solche Körper sich im luftefüllten Raume verbreiten (z. B. Wasserdampf und Leuchtgas in der atm. Luft), als namentlich aus der starken Raumveränderung, welche diese Körper durch Zu- oder Abnahme eines äußeren Druckes, wie auch durch Temperaturveränderung erleiden.

Der Raum, welchen die Körper einnehmen, wird von dem Stoffe, aus dem sie bestehen, nicht vollständig ausgefüllt; im Innern aller Körper sind Zwischenräume, Poren, vorhanden. (**Porosität.**)

Bem. Im gewöhnlichen Sprachgebrauch pflegt man nur diejenigen Körper porös zu nennen, deren Poren leicht zu erkennen sind, z. B. Schwamm, Bimsstein, Holz u. s. w.

Eine andere Eigenschaft, welche allen Körpern zukommt, ist die **Teilbarkeit**. Feste Körper lassen sich zerschneiden, zerfeilen, zerreiben, zerschlagen u. s. w. Mit einem Flüssigkeitstropfen läßt sich eine Nadelspitze viele hundert mal benetzen. Eine sehr weitgehende Teilung zeigen riechende Stoffe beim Verflüchtigen. Ein Stück Moschus z. B. erfüllt ein ganzes Haus mit seinem Geruche, ohne daß ein Gewichtsverlust nachweisbar ist. Eine sehr große Teilbarkeit zeigen auch manche Farbstoffe beim Auflösen in einer Flüssigkeit.

Versuch c. Gießt man einen Tropfen Anilinrot oder Fuchsin in ein Glas W. und mischt die Flüssigkeiten durch Umrühren, so erscheint das ganze W. gefärbt (1 gr Fuchsin färbt 1000 kg W. noch deutlich rot).

Diese und andere Erscheinungen geben deutlich zu erkennen, daß die Körper sich in sehr kleine Teile zerlegen lassen. Wenngleich man

nun auch die Teilung der Körper sich beliebig weit fortgesetzt denken könnte, so ist man doch infolge gewisser Erscheinungen zu der Annahme gezwungen, daß man bei fortgesetzter Teilung schließlic Teilchen erhalten würde, welche durch äußere Kräfte nicht weiter zerlegbar sind. Diese kleinsten, sinnlich nicht mehr wahrnehmbaren Teilchen, welche noch die charakteristischen Eigenschaften des geteilten Körpers besitzen, werden **Moleküle**,¹⁾ d. h. **Massenteilchen** genannt.

Der Stoff aller Körper besitzt die Eigenschaft der **Teilbarkeit**.
Jeder Körper ist aus äußerst kleinen, durch äußere Kräfte nicht weiter zerlegbaren Teilchen (Molekülen) zusammengesetzt.

Jeder Körper stellt hiernach ein **Aggregat**, d. h. ein aus kleinsten Teilchen zusammengefügtes Ganze dar. Dies ist der Grund, warum man die drei Zustände der K., nämlich den festen, flüssigen und luftförmigen Zustand, als **Aggregatzustände** bezeichnet (§ 1).

Die Veränderlichkeit des Rauminhaltes der Körper führt zu dem Schlusse, daß die Moleküle eines Körpers sich nicht unmittelbar berühren.

Durch die Einwirkung gewisser Naturkräfte, deren Erforschung dem Gebiet der Chemie angehört, läßt sich die Teilung des Stoffes noch weiter fortsetzen. Leitet man z. B. den el. Strom durch Wasser, so entstehen aus diesem zwei luftförmige Körper, welche sich voneinander und vom Wasser wesentlich unterscheiden; der eine wird Wasserstoff, der andere Sauerstoff genannt. Beide Stoffe besitzen ganz andere Eigenschaften als das Wasser und lassen sich durch keine bekannte Naturkraft zerlegen. Derartige Erscheinungen haben zu der weiteren Annahme geführt, daß die Moleküle der Körper chemisch noch weiter zerlegbar sind und Gruppen von Teilchen der einfachen Stoffe bilden. Diese kleinsten Stoffteilchen, welche sich auch chemisch nicht weiter zerlegen lassen, heißen **Atome**.²⁾

Die **Ausdehnung** und **Undurchdringlichkeit** werden, da ohne sie kein Körper gedacht werden kann, wesentliche, die **Trägheit**, **Schwere**, **Porosität** und **Teilbarkeit** dagegen unwesentliche oder zufällige allgemeine Eigenschaften genannt.

Übungsstoff. 1. Welchen Einfluß muß die Veränderung der Temp. eines K. auf das spec. Gew. desselben ausüben, u. w.? — 2. In welchem Aggregatzustande tritt dieser Einfluß am wenigsten hervor? Grund! — 3. Wie wird sich das spec. Gew. einer geprägten Goldmünze zu dem eines gegossenen goldenen Ringes verhalten, u. w.? (Gleiche Zusammensetzung vorausgesetzt.) — 4. Bleche werden gewalzt. Einfluß auf den Rauminhalt und auf das spec. Gew.? — 5. Bei welchen K. wird bei den Angaben des spec. Gew. auf Temp. und äußeren Druck besonders Rücksicht genommen werden müssen, u. w.? — 6. Vgl. die festen und flüssigen K. miteinander hinsichtlich des Einflusses, welchen Temp. und Druck auf den Rauminhalt derselben ausüben. — 7. Auf die Schwankungen des Luftdruckes wird bei genauer Angabe des spec. Gew. der festen und flüssigen K. keine Rücksicht genommen, wohl aber auf die Temp.; w.? — 8. Welche allgemeine Eigenschaft der K. kommt beim Filtrieren zur Anwendung? — 9. Wenn in glasierte Thongefäße heiße Flüssigkeiten gegossen werden, so steigen oft aus kleinen Rissen zahlreiche Luftbläschen auf. Erkläre dies. — 10. Welche bekannte Veränderung erleiden Pfeifenköpfe von Meeresschaum oder Thon durch das Rauchen? Erkl.! — 11. Welche Schlüsse folgen aus der bekannten Ersch., daß einige Salz- oder Zuckerkörner ausreichen, den Geschmack eines ganzen Glases W. zu ändern? — 12. Unter dem Mikroskop erscheint eine Flgk., welche durch natürliche Teilung eines löslichen Stoffes gefärbt oder in ihrem Geschmacke verändert worden ist, selbst bei der stärksten Vergrößerung durchaus gleichartig. Schlüsse! — 13. Inwiefern kann uns eine stark duftende Blume über

¹⁾ molecula, kleine Masse. — ²⁾ ἄτομος (átomos), unteilbar.

die Teilbarkeit des Stoffes belehren? (Blumenduft wird durch Verflüchtigung ätherischer Öle hervorgerufen.)

B. Wirkungen der Molekularkräfte.

§ 52. Kohäsion und Expansion. Nach der Annahme, daß alle Körper aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt sind, läßt sich der Unterschied zwischen den festen, flüssigen und luftförmigen Körpern auch in folgender Weise ausdrücken:

Fest heißen Körper, deren Massenteilchen so innig zusammenhängen, daß sie einer Verschiebung oder Trennung einen merklichen Widerstand entgegensetzen; flüssig solche, deren Teilchen nur einen so geringen Zusammenhang haben, daß sie sich äußerst leicht verschoben und voneinander trennen lassen; luftförmig solche, deren Teilchen einen Zusammenhang kaum erkennen lassen, vielmehr das Bestreben äußern, sich immer weiter voneinander zu entfernen.

Der Zusammenhang der Moleküle eines Körpers heißt Kohäsion,¹⁾ die Erscheinung, daß die Moleküle der luftförmigen Körper jeden ihnen dargebotenen Raum ausfüllen, Expansion.²⁾

Die Ursachen der Kohäsion und Expansion erkennt man in anziehenden und abstofsenden Kräften, welche in unmeßbar kleinen Entfernungen zwischen den Molekülen der Körper wirksam sind:

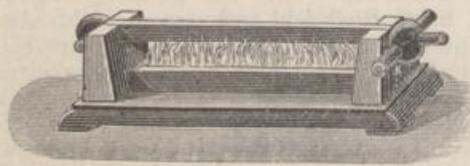
Molekularkräfte.

Bem. Die beiden Ausdrücke Kohäsion und Expansion werden auch für die Molekularkräfte (Kohäsionskraft und Expansivkraft) selbst gebraucht.

Gewisse Erscheinungen des täglichen Lebens lassen schließen, daß die Stärke der Molekularkräfte sich mit der Temperatur der Körper ändert. Stark erhitzte Wasserdämpfe z. B. können Maschinen treiben, heftige Explosionen bewirken u. s. w.; eiserne Reifen vermögen, wenn sie glühend um geborstene Türme, Räder oder dergl. gelegt und dann abgekühlt werden, bei ihrer Zusammenziehung große Widerstände zu überwinden.

Versuch. Läßt man eine beinahe bis zum Glühen erhitzte Eisen-

Fig. 179.



stange, welche an ihren Enden mittelst eines starken gußeisernen Bolzens und einer Schraube in einem eisernen Gestell (Fig. 179) befestigt ist, genügend erkalten, so zieht sie sich so kräftig zusammen, daß der Bolzen zerbricht.

Durch Wärme werden die anziehenden Molekularkräfte geschwächt, die abstofsenden verstärkt; Abkühlung bewirkt das Gegenteil.

1) cohaerere, zusammenhängen. — 2) expandere, auseinandertreiben.

Je nachdem die anziehenden oder abstofsenden Kräfte im Innern eines Körpers überwiegen, ist der Körper fest oder luftförmig. Sind beide Kräfte nahezu im Gleichgewichte, so erscheint der Körper flüssig. Der Aggregatzustand eines Körpers ist demnach von dem Verhältnis abhängig, in welchem die Molekularkräfte hinsichtlich ihrer Stärke zu einander stehen.

Luftförmige Körper, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und dem gewöhnlichen Drucke auch im flüssigen Zustande vorkommen, werden als Dämpfe, die übrigen als Gase bezeichnet. (Wasserdämpfe, dagegen Sauerstoff-, Wasserstoff- und Kohlen säure gas.)

Gase lassen sich wie Dämpfe durch sehr starke Abkühlung, wenn sie zugleich einem starken äußeren Drucke ausgesetzt werden, zu Flüssigkeiten verdichten. Durch einen Druck von mehreren hundert Atmosphären (ebensoviel kg auf 1 qcm) und eine Kälte von mehr als -100° C ist es gegen Ende des Jahres 1877 gelungen, selbst diejenigen Gase, welche bis dahin für permanent („unbezwinglich“) gehalten wurden, nämlich Wasserstoff und die Bestandteile der atm. Luft (Stickstoff und Sauerstoff), in Flüssigkeiten zu verwandeln.

Übungsstoff. 1. Vgl. Eis, W. und Wasserdampf hinsichtlich der Stärke der in denselben wirksamen Molekularkräfte miteinander. — 2. Was sollte man nach dem Verhältnis, in welchem die Molekularkräfte in Flgkn. zu einander stehen, in betreff der Zusammendrückbarkeit flüssiger K. eigentlich erwarten, u. w.? — 3. Wodurch läßt sich das Verhältnis der Molekularkräfte in einem K. leicht ändern? (Beispiele!) — 4. Nenne ein Metall, in welchem bei gewöhnlicher Temp. die anziehenden und abstofsenden Molekularkräfte nahezu im Glgew. sind. — 5. Desgl. feste K., in denen die abstofsenden Molekularkräfte durch Erhitzung der K. plötzlich und sehr heftig wirken. Anwendung! — 6. Welches K. bedient man sich, um mittelst desselben durch Molekularkraft andauernd mechanische Arbeiten zu verrichten? — 7. Inwiefern kann man sagen, daß die abstofsenden Molekularkräfte bei luftf. K. durch die ganze Masse, bei Flgkn. aber nur an der Oberfläche überwiegen? — 8. Wodurch kann man bewirken, daß die abstofsenden Molekularkräfte bei einer Flgk. auch in deren Innerem überwiegen? — 9. Bei welchem sehr bekannten festen K. bewirken die abstofsenden Molekularkräfte leicht eine Verdunstung? — 10. Angenommen, der in Fig. 179 dargestellte Eisenstab lasse sich durch Belastung von 12 Ctr. um ebensoviel verlängern, als er sich bis zum Zerbrechen des Bolzens verkürzte; was würde daraus folgen? — 11. Die Anwendung der Molekularkraft zum Betriebe von Maschinen erfordert eine sorgfältige Überwachung derselben. Zu diesem Zwecke wird der Dampfkessel vor dem ersten Gebrauche der Maschine durch Wasserdruk mittelst Druckpumpe auf seine Stärke geprüft. (Sicherheitsventil.) a. Warum ist solche Vorsicht nötig? b. Wodurch können die im Dampfe wirkenden Kräfte in den vorgeschriebenen Grenzen gehalten (gleichsam gezügelt) werden?

§ 53. Verschiedenheit der Kohäsion fester Körper.

Elasticität und Festigkeit. Vergleicht man die festen Körper miteinander in Bezug auf das Verhalten, das sie bei einer Verschiebung ihrer Teilchen äußern, so ergeben sich wichtige Unterschiede. Während harte Körper, z. B. Eisen oder Stahl, äußere Eindrücke schwer annehmen, lassen sich weiche Körper, wie Thon, Wachs oder dergl., leicht zusammendrücken. Spröde Körper, wie z. B. Glas und Siegelack von gewöhnlicher Temperatur, zerspringen leicht, wenn man sie biegt, während zähe Körper, wie stark erhitztes Glas, erwärmtes Siegelack u. dergl., leicht jede Veränderung ihrer Gestalt erleiden, ohne den Zusammenhang zu verlieren. Besonders wichtig ist das Verhalten elastischer Körper, das z. B. bei gewundenen Stahldrähten, dünnen

Stahlstäben, sehr dünnen Glasfäden, Kautschuk u. dgl. sehr auffällig hervortritt, wenn man die Körper biegt oder streckt und dann wieder losläßt.

*Die Kraft, mit welcher ein Körper nach einer durch äußere Kräfte hervorgerufenen Änderung seiner Gestalt die ursprüngliche Gestalt wieder anzunehmen strebt, wird **Elasticität** genannt.*

Je nachdem die Gestalt eines elastischen Körpers nach der Einwirkung der äußeren Kraft mit der ursprünglichen Gestalt desselben genau übereinstimmt oder nicht, heißt der Körper *vollkommen* oder *unvollkommen elastisch*. Die festen Körper sind nur innerhalb gewisser Grenzen (Elasticitätsgrenzen) vollkommen elastisch. Wird ihre Gestalt über diese Grenzen hinaus verändert, so kehren die Teilchen nicht wieder in die ursprüngliche Lage zurück; es erfolgt entweder eine bleibende Formveränderung oder eine plötzliche Trennung der Teilchen, indem der Körper zerreißt, zerbricht u. s. w. Körper, welche ihre Elasticitätsgrenze schon nach einer geringen Gestaltsänderung erreichen und die veränderte Form beibehalten, wie z. B. Blei, heißen *unelastisch*. — Flüssigkeiten und Gase nehmen nach einem auf sie ausgeübten Drucke ihren ursprünglichen Raum immer genau wieder ein und können daher als vollkommen elastisch bezeichnet werden.

Die Elasticität findet sowohl in der Natur, als im praktischen Leben wichtige Anwendungen. Da das Knochengerüst des menschlichen und tierischen Körpers (besonders im jugendlichen Alter) sehr elastisch ist, so werden Erschütterungen und Stöße, welchen der Körper beim Laufen, Springen u. dgl. ausgesetzt ist, bedeutend abgeschwächt. Im praktischen Leben pflegt man zu demselben Zwecke Federn von Stahl anzuwenden, z. B. bei den zur Personenbeförderung dienenden Fuhrwerken, in den Polstern mancher Möbeln u. s. w. In Taschenuhren, Spieldosen u. dgl. benutzt man die Elasticität als bewegende Kraft, indem man eine gewundene Feder spannt und diese auf das Räderwerk einwirken läßt. Als Druckkraft wirkt die Elasticität z. B. in Thür- und Gewehr-schlössern, an den Klappen mancher Blasinstrumente u. s. w. — Anwendung der Elasticität zur Bestimmung der Gewichte der Körper, sowie zum Messen von Druck- und Zugkräften (Federwage, Dynamometer).

Für die Maschinen- und Bautechnik ist die genaue Kenntnis der Elasticitätsgrenzen der zu verwendenden Materialien ganz besonders wichtig (Bau von Eisenbahnbrücken u. dgl.), da dieselben niemals so stark belastet werden dürfen, daß die Elasticitätsgrenze erreicht wird. Man unterscheidet in der Technik eine vierfache Art der Elasticität: Zug-, Druck-, Biegungs- und Drehungs- oder Torsions-Elasticität, je nachdem die Belastung den elastischen Körper in die Länge zu ziehen sucht oder ihn zusammenzudrücken, zu biegen oder zu drehen strebt.

Da die Kohäsion der Körper von der Temperatur derselben abhängig ist, so muß eine Temperaturveränderung der Körper auch eine Änderung der durch die Kohäsion bedingten Eigenschaften zur Folge haben. Dies wird durch die Erfahrung bestätigt. Die härtesten Metalle erweichen im Feuer; Glas läßt sich, wenn es stark genug erhitzt ist, beliebig gestalten, während es bei gewöhnlicher Temperatur spröde ist u. s. w. Bei manchen Körpern, wie beim Stahl und dem Glase, bewirkt eine starke und schnelle Abkühlung eine bedeutende Härte und Sprödigkeit. Stählerne Werkzeuge erlangen auf diese Weise den zu ihrem Gebrauche nötigen Härtegrad. Die bekannten Glastränen und die Bologneser Flaschen erhalten ihre merkwürdigen Eigenschaften durch schnelle Abkühlung der geschmolzenen Glasmasse in kaltem Wasser oder in der Luft. (*Versuch!)

Um Glaswaren mäfsig hart (möglichst haltbar) zu machen, bringt man sie unmittelbar nach ihrer Herstellung in sogen. Kühlöfen oder taucht sie in heifse Flüssigkeiten. Glasfäden (Glaswolle) und Spiralen von Glas sind auferordentlich elastisch.

Den Widerstand, welchen ein fester Körper der Trennung seiner Teilchen entgegengesetzt, bezeichnet man als Festigkeit. Je nach der Art dieses Widerstandes unterscheidet man eine vierfache Festigkeit und zwar nennt man den Widerstand gegen das Zerreißen **Zug-** oder **absolute Festigkeit**, den Widerstand gegen das Zerbrechen **Bruch-** oder **relative Festigkeit**, den Widerstand gegen das Zerdrücken **Druck-** oder **rückwirkende Festigkeit** und den Widerstand gegen das Zerdrehen **Drehungs-** oder **Torsionsfestigkeit**.

Nach der Erfahrung ist die Festigkeit eines Körpers nicht allein von der Beschaffenheit seines Stoffes, sondern auch von seiner Form und Ausdehnung abhängig. In letzterer Beziehung sind folgende Sätze wichtig:

1. Die Zugfestigkeit wächst wie der Querschnitt des Körpers.

Um z. B. einen Eisendraht zu zerreißen, ist eine 2-, 3-, 4-... mal so grofse Kraft erforderlich, wenn der Querschnitt desselben 2-, 3-, 4-... mal gröfser genommen wird; die Länge ist ohne Einflufs auf die Zugfestigkeit.

2. Die Bruchfestigkeit eines an beiden Enden unterstützten rechteckigen Balkens wächst ebenso wie die Breite, aber wie das Quadrat der Höhe des Querschnittes; sie steht ferner im umgekehrten Verhältnis zur Länge des Balkens. Wird ein Balken z. B. 2-, 3-, 4-... mal so breit genommen, so kann er 2-, 3-, 4-... mal soviel tragen; wird er im Querschnitt aber 2-, 3-, 4-... mal so hoch genommen, so kann er 4-, 9-, 16-mal soviel tragen; bis 2-, 3-, 4-facher Länge kann er nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ der vorigen Belastung tragen.

3. Die Druckfestigkeit wächst wie der Querschnitt des Körpers, nimmt aber mit der Höhe ab. Hohle Pfeiler und Säulen haben eine gröfsere Druckfestigkeit als massive, wenn beide aus demselben Stoffe bestehen und Höhe und Gewicht bei beiden gleich sind. Verhältnismäfsig hohe Körper biegen sich nach der Seite aus und zerbrechen dann.

4. Die Torsionsfestigkeit ist von der Form der Körper abhängig und bei hohlen Körpern bedeutend gröfser als bei massiven. Dasselbe mufs z. B. bei dem Bau von Radwellen berücksichtigt werden.

Übungsstoff. 1. Welche auf die Festigkeit und Elasticität bezüglichen Eigenschaften zeigt Glas bei gewöhnlicher und bei sehr hoher Temp., nach plötzlicher und nach allmählicher Abkühlung, bei gewöhnlicher Stärke und wenn es sehr dünne Fäden bildet? — 2. Vgl. Stahl und Blei, ferner Thon und Kautschuk hinsichtlich ihrer von der Kohäsion abhängigen Eigenschaften miteinander. — 3. Glas läfst sich mit einem Diamant, Eisen mit Glas, Kupfer mit Eisen und Blei mit Kupfer ritzen. Was folgt hieraus betreffs der Härte dieser K.? — 4. Es ist eine sehr wichtige Regel der Maschinen- und Bautechnik, elastische K., welche einem starken Drucke oder Zuge ausgesetzt sind, niemals bis zu ihrer Elasticitätsgrenze zu belasten; w.? — 5. Unterschied zwischen den Stöfsen beim Gehen auf Stelzen und auf den Füfsen? Erkl.! — 6. Warum sollen beim Springen die Zehen und nicht die Hacken den Boden zuerst berühren? — 7. Welche bekannte Ersch. zeigt sich, wenn man

kleine scheibenförmige Steine kräftig in sehr schräger Richtung auf Wasser wirft. Grund! — 8. An einem Baugerüste werde ein Stein hinaufgezogen. Ist die Gefahr, daß das Seil zerreißt, anfangs größer, oder wenn der Stein nahezu oben ist (gleichmäßige Beschaffenheit des Seiles vorausgesetzt)? Grund! — 9. Kreisflächen verhalten sich wie die Quadrate ihrer Durchmesser zu einander. Wievielmals schwerer zerreißt hiernach ein Eisendraht von 3 mm als ein anderer von 1,5 mm Dicke? — 10. Tragen gleichdicke Balken bei gleicher materiellen Beschaffenheit und gleicher Länge mehr, wenn ihr Querschnitt quadratisch oder wenn er rechteckig ist, u. w.? (Beispiel: Querschn. 576 qcm, Seiten 24 cm oder 18 und 32 cm.) — 11. Welche Form giebt man den Wagebalken, u. w.? — 12. Vorteile der Γ Form von Eisenbahnschienen und sogen. Υ Trägern, der Röhrenform von Eisenbahnbrücken, der hohlen Knochen und hohlen Halme der Gräser!

§ 54. Adhäsion. Kapillarität. Absorption.

1. Adhäsion. Daß die Massenteilchen der Körper einander anziehen, giebt sich nicht nur durch den Zusammenhang der Teilchen eines und desselben festen und flüssigen Körpers zu erkennen, sondern auch dadurch, daß verschiedene Körper bei gegenseitiger inniger Berührung aneinander haften. Eis z. B. haftet mit großer Kraft an den Fensterscheiben, Siegellack haftet am Papier, Kreide an der Tafel, Staub an den Wänden, Tinte an der Feder, Wasser, Öl u. dgl. am Gefäße u. s. w. Auch läßt sich ein derartiges Anhaften der Luft nachweisen.

Versuch a. Werden gewisse Pflanzenblätter (z. B. von Rosen, Erdbeeren, Kohl, Kapuzinerkresse) in Wasser getaucht, so bleiben sie (manche nur an der Unterseite) wegen der daran haftenden Luft unbenetzt und zeigen durch die vollständige Zurückwerfung der Lichtstrahlen einen silberähnlichen Glanz (§ 99). — Oder: Füllt man den einen Schenkel einer 2—3 mm weiten, U förmigen, inwendig trockenen Glasröhre vorsichtig mit Wasser, so steigt dieses im anderen Schenkel wegen der am Glase haftenden Luft nicht bis zu gleicher Höhe.

Die Erscheinung, daß zwei Körper bei hinlänglicher Berührung aneinander haften, wird Adhäsion oder Flächenanziehung genannt.

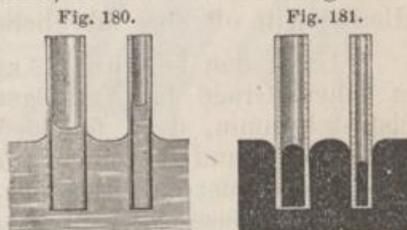
Als Ursache der Adhäsion ist die zwischen den Massenteilchen der sich berührenden Körper wirksame Anziehungskraft anzusehen. Adhäsionserscheinungen kommen bei den Körpern aller Aggregatzustände vor.

Da die Adhäsion eine Molekularwirkung ist, so müßte sie z. B. bei gleichartigen festen Körpern ebenso groß sein wie die Kohäsion. Daß dies meist nicht der Fall ist, hat seinen Grund teils in den Unebenheiten der Oberflächen, teils darin, daß eine Luftschicht auf den Körpern haftet, welche die innige Berührung verhindert. Wo diese Hindernisse beseitigt sind, da haften die Körper, mögen die Stoffe gleichartig oder verschieden sein, auch mit großer Kraft aneinander. In der Natur haben z. B. die aus Gesteinstrümmern oder dergl. zusammengesetzten Felsarten, wie Konglomerate, Sandstein u. s. w., durch bedeutenden Druck ein festes Gefüge erlangt. Unter den Kunstprodukten finden bei Glasspiegeln, ferner bei allen vergoldeten, versilberten, verzinkten, vernickelten Gegenständen u. s. w. infolge der unmittelbaren Berührung der ungleichartigen Stoffe starke Adhäsionswirkungen statt (inwiefern?). — Von den Flüssigkeiten adhäreren diejenigen besonders stark, welche auf festen Körpern erhärten, wie Leim, Gummi u. dgl. Flüssigkeiten adhäreren auch aneinander, selbst wenn sie sich nicht mischen, wie man z. B. an der Ausbreitung von Öltropfen auf Wasser sieht. — Luftförmige Körper werden

durch Adhäsion auf der Oberfläche fester Körper verdichtet und an denselben so festgehalten, daß es oft schwierig ist, eine derartige Gasschicht vollständig zu entfernen. Barometerröhren z. B. müssen, damit die inwendig am Glase haftende Luft ganz entweicht, mit Qu. gefüllt und darauf ausgekocht werden. Entfernt man von einer Fensterscheibe an einer Stelle die Luthaut dadurch, daß man mit den Fingerspitzen darüber streicht, so werden die Züge durch Behauchen sichtbar (Hauchbilder).

2. Kapillarität. Kommen Flüssigkeiten mit sehr porösen festen Körpern in Berührung, so dringen sie gewöhnlich in die Körper ein und verbreiten sich in denselben. Hierbei steigen sie auch über dem Flüssigkeitsspiegel in den Poren hinauf. (Beispiele!) Diese Erscheinung kann jedoch, wie folgender Versuch zeigt, nur dann eintreten, wenn die Flüssigkeit den Körper benetzt, die Adhäsion zwischen dem festen Körper und der Flüssigkeit also größer ist als die Kohäsion der Flüssigkeit.

Versuch b. Werden 2 ziemlich enge Glasröhren von verschiedener Weite (Fig. 180 und 181) in Wasser getaucht, so steht die Flüssigkeit in beiden Röhren höher als im Gefäße und zwar am höchsten in der engeren Röhre, die Oberfläche der Flüssigkeit in der Röhre ist hohl oder konkav. Stellt man die Röhren in Quecksilber, so tritt das Umgekehrte ein: die Flüssigkeit steht in beiden Röhren tiefer als im Gefäße und zwar am tiefsten in der engeren Röhre; die Oberfläche der Flüssigkeit in den Röhren ist erhaben oder konvex. Beim Herausheben der Röhren haftet das Wasser überall am Glase, während das Quecksilber nur an einzelnen Stellen in sehr kleinen Tropfen daran hängen bleibt. — Entgegengesetztes Verhalten von Wasser und Quecksilbertropfen auf Glas.



Diese Erscheinungen erklären sich daraus, daß die Adhäsion zwischen Glas und Wasser größer ist als die Kohäsion des W., die Adhäsion zwischen Glas und Qu. hingegen kleiner ist als die Kohäsion des Qu.

Sehr enge Röhren werden Kapillarröhren¹⁾ oder Haarröhrchen genannt.

In einem Haarröhrchen steigt eine Flüssigkeit, welche das Röhrchen benetzt, um so höher hinauf, je enger das Röhrchen ist; findet eine Benetzung nicht statt, so steht die Flüssigkeit im eingetauchten Röhrchen um so tiefer unter dem Flüssigkeitsspiegel, je enger das Röhrchen ist: Kapillaritätserscheinungen oder Haarröhrchenwirkungen.

Wachs, Stearin, überhaupt Körper, deren Oberfläche fettig ist, werden vom Wasser nicht benetzt. Auf solchen Körpern bildet es in kleinen Mengen kugelförmige Tropfen, während es auf Glas, Holz u. s. w. auseinanderfließt. Beim Quecksilber findet eine Benetzung nur dann statt, wenn es mit Gold, Silber, Zink, Kupfer oder einzelnen anderen Metallen in Berührung kommt; Platin, Eisen, Glas, Holz und die meisten anderen Körper werden nicht davon benetzt.

Haarröhrchen kommen in großer Menge im Holz und Bast aller höheren Pflanzen vor. Im menschlichen und tierischen Körper verzweigen sich die Gefäße zu

¹⁾ capilla, Haar.

immer feineren Haarröhrchen und sind eben dadurch z. B. für eine reichliche Zufuhr und Verteilung der Ernährungsflüssigkeiten im Körper ganz besonders geeignet. In Schwämmen, Zucker, Löschpapier, dem lockeren Boden u. s. w. bilden die engeren Zwischenräume gleichsam Netze von Haarröhrchen.

Eine nützliche Anwendung findet die Kapillarität im täglichen Leben namentlich durch das Aufsaugen des Öles in den Dochten unserer Lampen, ferner beim Gebrauche von Schwämmen, Handtüchern u. dgl., beim Waschen der Kleidungsstücke, beim Dichten der Fugen von zusammengetrocknetem hölzernen Waschgerät u. s. w. — Um Gebäude in nassen Lagen gegen das Eindringen der Bodenfeuchtigkeit zu schützen, wird das Mauerwerk des Fundamentes mit Asphalt bestrichen. Schutz der Außenwände durch Ölfarbe oder Wasserglas.

3. Absorption. Die molekulare Anziehung, welche feste wie flüssige Körper auf die mit ihnen in Berührung stehenden Gase ausüben, bewirkt nicht nur eine Verdichtung des Gases an der Oberfläche der anziehenden Körper, sondern auch ein Eindringen in das Innere derselben und eine Verdichtung des eingedrungenen Gases. Hierbei tritt oft eine merkliche Temperaturerhöhung ein.

Unter den festen Körpern besitzt frisch ausgeglühte Holzkohle in hohem Grade das Vermögen, Gase zu absorbieren oder aufzusaugen. Platinschwamm, d. h. feinporöses Platin, vermag Wasserstoff so heftig aufzusaugen und in seinem Innern zu verdichten, daß derselbe sich dadurch entzündet (Wasserstoffzündmaschine). Flüssigkeiten saugen sehr leicht Gase auf. Wasser von gewöhnlicher Temperatur vermag ohne besonderen Druck einen gleichen Raumteil Kohlensäure zu verschlucken (Kohlensäuregehalt des Brunnenwassers); durch Anwendung eines starken Druckes läßt sich die Aufnahme bedeutend vergrößern (künstliche Herstellung von kohlensäurehaltigen Getränken). Wasser, das lange mit der atm. Luft in Berührung ist, saugt aus derselben sowohl Stickstoff als auch besonders Sauerstoff ein, sodaß die im Wasser aufgelöste Luft ungefähr $\frac{1}{2}$ und nicht wie die atm. Luft $\frac{1}{4}$ soviel Sauerstoff als Stickstoff enthält.

Am größten ist das Absorptionsvermögen des Wassers für Ammoniakgas, von welchem es bei 0° und dem Druck von einer Atmosphäre mehr als das 700fache seines eigenen Volumens zu verschlucken vermag.

Die Adhäsionserscheinung, daß gasförmige Körper in die Poren fester und flüssiger Körper eindringen und hier festgehalten werden, wird Absorption¹⁾ genannt. Genauere Versuche lehren:

Die Menge des absorbierten Gases nimmt mit dem Drucke, welcher auf das Gas ausgeübt wird, zu und mit der Temperatur ab.
Im übrigen ist die Absorption von der Beschaffenheit beider sich berührenden Körper abhängig

Manche Körper, wie Kochsalz, Ackererde, Holz, Darmsaiten, entfettete Haare, konz. Schwefelsäure u. s. w., vermögen Wasserdämpfe aus der Luft leicht aufzusaugen, und werden deshalb hygroskopisch genannt.

Bem. Das Wort **Absorption** wird auch noch in weiterem Sinne gebraucht. Man sagt z. B., der Ackerboden absorbiere sowohl flüssige als luftförmige Nährstoffe der Pflanzen, ferner Kohle absorbiere im Wasser gelöste übel-

¹⁾ absorbëre, einsaugen, verschlucken.

riechende Stoffe, Farbstoffe u. dgl. Wegen dieser Eigenschaft wird Holzkohle zum Filtrieren von Trinkwasser, Knochenkohle zum Entfärben von Flüssigkeiten, zur Entkalkung von Zuckersäften in Zuckerfabriken u. s. w. benutzt.

Eine Aufsaugung gasförmiger Stoffe findet in den Körpern der lebenden Geschöpfe namentlich an allen denjenigen Oberflächen statt, welche mit der atm. Luft in unmittelbarer Berührung stehen, und deren Zellwände stark durchfeuchtet sind (Atmungsorgane). — Der von den Gewässern aus der Luft aufgenommene Sauerstoff ist den Kiementieren zur Atmung unentbehrlich. — Das in die Poren und Spalten der Gesteine eindringende Wasser nimmt Sauerstoff aus der Luft auf und bewirkt dadurch eine allmähliche Verwitterung selbst der härtesten Felsen. Im Ackerboden erlangt das Wasser durch die Aufsaugung von Kohlensäure ein größeres Vermögen, mineralische Bestandteile des Bodens aufzulösen und sie für die Pflanzenwurzeln zur Aufnahme geeignet zu machen.

Übungsstoff. 1. Erkläre die in Fig. 182 dargestellte Ersch. — 2. Warum tritt diese Ersch. um so weniger ein, je schräger das Gefäß gehalten wird? — 3. Erkläre die Wirkung von umgebogenen Gefäßrändern und Tüllen. — 4. Desgl., daß jene Ersch. bei wässerigen Flgkn. nicht leicht eintritt, wenn der Rand fettig ist. — 5. Beschreibung und Zweck des in Fig. 183 dargestellten Verfahrens! — 6. Warum werden Wasservögel nicht naß? — 7. Goldene Ringe werden weiß, wenn sie mit Qu. in Berührung kommen. Erkl.! — 8. Qu.-Tropfen lassen sich aus den Ritzen eines Fußbodens mit einem amalgamierten Zink- oder Kupferstreifen leicht auf sammeln; in welcher Weise? — 9. Führe Beispiele an, in denen von der Adhäsion Anwendung gemacht wird. — 10. Desgl. Fälle, in denen die Adhäsion belästigend wirkt. — 11. Warum müssen Wasserstandsrohre ziemlich weit sein, wenn sie den Flüssigkeitsstand richtig anzeigen sollen? — 12. Wenn man über den Rand eines mit W. gefüllten Gefäßes einen durchnästen Docht hängt, sodafs das eine Ende desselben ins W. eintaucht und das andere (äußere) tiefer liegt als der Wasserspiegel, so fängt der Docht nach einiger Zeit an zu tropfen. Erkl.! — 13. Zeugleinen, Rouleauxschnüre u. dgl. sind bei feuchtem Wetter stärker gespannt. Erkl.! — 14. Wenn Papier mit Kleister bestrichen wird, so krümmt es sich. Nach welcher Seite? Erkl.! — 15. Zur Anfertigung bauchiger Fässer werden die Dauben auswendig angefeuchtet und innen erwärmt. Erkläre die Wirkung! — 16. Woraus kann man schliessen, daß W. Kohlensäure absorbiert? — 17. Das Eis enthält gewöhnlich zahlreiche Luftblasen. Auf welche Eigenschaften des W. läßt sich dies zurückführen? — 18. Worin mag es seinen Grund haben, daß frisch ausgeglühte Kohle diese Eigenschaft in bedeutend höherem Grade besitzt als nicht ausgeglühte? — 19. Die auf Schiffen zur Aufbewahrung des Trinkwassers dienenden Fässer werden inwendig verkohlt; warum wohl?

Fig. 182.

Fig. 183.



§ 55. Diffusion der Flüssigkeiten und Gase. Da die als Adhäsion bezeichnete Anziehung sowohl zwischen den Körpern verschiedener Aggregatzustände, als auch zwischen den Körpern eines und desselben Aggregatzustandes stattfindet, so bleiben noch die Adhäsionswirkungen zu betrachten übrig, welche zwei Flüssigkeiten und zwei Gase aufeinander ausüben.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß gewisse Flüssigkeiten sich miteinander mischen lassen, andere nicht. Während z. B. Wasser und Weingeist oder Wasser und eine Kochsalzlösung nach und nach eine immer gleichmäßigere Mischung bilden, ordnen sich Wasser und Öl nach ihren spec. Gewichten und bleiben dauernd getrennt. Im letzteren Falle ist bei jeder der beiden Flüssigkeiten die Kohäsion stärker, im ersteren schwä-

cher als die zwischen denselben wirksame Adhäsion. Erscheinungen der ersteren Art treten, wie folgende Versuche zeigen, auch ein, wenn die Flüssigkeiten sich nur berühren, ja sogar dann noch, wenn sie durch eine Scheidewand getrennt sind, welche beide Flüssigkeiten aufzusaugen vermag.

Versuch a. Gießt man in einen Glascylinder zunächst etwas Wasser, das mit Lackmullösung blau gefärbt ist, und darauf etwa mit Hülfe einer ziemlich weiten Trichterröhre Salzsäure vorsichtig an den Boden des Gefäßes, so wird das specifisch leichtere Wasser gehoben und es tritt an der Berührungsstelle eine Rotfärbung ein, welche schon in kurzer Zeit merklich nach oben fortschreitet.

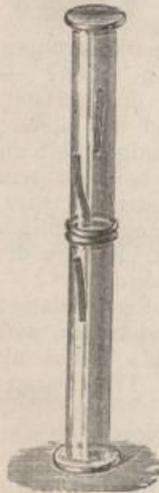
Fig. 184.



Versuch b. Ein kurzer Glascylinder oder eine sogen. Glaszelle (a, Fig. 184) werde am unteren Ende mit Tierblase oder Pergamentpapier sehr dicht verschlossen, darauf ganz mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol gefüllt und, nachdem man in der oberen Mündung eine Glasröhre luftdicht befestigt hat, in Wasser aufgehängt. Nach kurzer Zeit steigt die Flüssigkeit in der Röhre hinauf und das Wasser im Gefäße fängt an sich bläulich zu färben.

***Versuch c.** Stellt man zwei gleichweite Glascylinder (Fig. 185), von denen der eine Kohlensäure, der andere atm. Luft und einige angefeuchtete Streifen von blauem Lackmuspapier enthält,

Fig. 185.



so aufeinander, daß die spec. schwerere Kohlensäure sich unten befindet, so mischen sich die Gase allmählich miteinander. Das Lackmuspapier färbt sich dabei rot und zwar schon in kurzer Zeit, wenn die Cylinder in offener Verbindung stehen, nach längerer Zeit, wenn sie etwa durch eine Gipsplatte oder durch Pergamentpapier oder Tierblase voneinander getrennt sind. — Enthält der obere Cylinder Wasserstoff, der untere atm. Luft, und ist an letzterem statt des Fußes eine mit gefärbtem W. gefüllte Manometerröhre (U förmige Glasröhre) befestigt, so erfolgt ebenfalls eine Mischung der Gase, welche durch das Aufsteigen der Flüssigkeit im äußeren Schenkel der Röhre angezeigt wird.

Wenn zwei mischbare Flüssigkeiten oder zwei Gase sich unmittelbar berühren, oder durch eine dünne poröse Wand von einander getrennt sind, so vermischen sie sich allmählich: Diffusion¹⁾ oder Vermischung.

Die Diffusion zweier durch eine poröse Scheidewand voneinander getrennten Flüssigkeiten wird mit dem besonderen Namen Osmose²⁾ bezeichnet.

Wärme begünstigt die Diffusion der Flüssigkeiten. — Die Flüssigkeiten wie die Gase diffundieren mit verschiedener Geschwindigkeit. Durch eine organische Haut (Membran) diffundieren von den Flüssigkeiten diejenigen, welche Krystallform annehmen können, wie Wasser, Lösungen von Salzen,

1) diffundēre, ausgießen. — 2) ὀσμὸς (ōsmós), Stofs.

Zucker u. dgl. bedeutend schneller als die, welche nicht krystallisierbar sind und mit Wasser schleimige Massen bilden, z. B. Leim, Eiweiss, Gummi u. dgl. Hiervon macht man in der Zuckerfabrikation zur Gewinnung des Zuckers aus den Rüben praktischen Gebrauch. — Von den Gasen diffundiert Wasserstoff am schnellsten, atm. Luft diffundiert schneller als Kohlensäure, Stickstoff schneller als Sauerstoff.

In der Natur ist die Diffusion namentlich für die Vorgänge der Ernährung der Organismen von grösster Bedeutung. Beim menschlichen und tierischen Körper gelangen die Nährflüssigkeiten durch Diffusion aus den Verdauungshöhlen in die Gefässe und aus diesen in die Gewebe; bei den Pflanzen dringen die flüssigen Nährstoffe durch Diffusion von aussen in die Wurzeln, die luftförmigen Nährstoffe (Kohlensäure) aus den mit der freien Luft in offener Verbindung stehenden inneren Hohlräumen (Intercellularräume der Blätter), nachdem sie zunächst von der Feuchtigkeit der Zellwände absorbiert worden sind, in das Innere der Zellen. In ähnlicher Weise vollzieht sich auch der als Atmung bezeichnete Gasaustausch (Ausscheidung von Kohlensäure und Aufnahme von Sauerstoff) bei allen lebendigen Geschöpfen. Infolge von Diffusion ist der Gehalt der atmosphärischen Luft an Sauerstoff und Stickstoff (den beiden Gasen, aus welchen die atm. Luft zusammengesetzt ist) überall derselbe, nämlich 21% Sauerstoff und 79% Stickstoff. Die durch Atmung oder Verbrennung entstehenden Ungleichheiten gleichen sich allmählich wieder aus; die Winde und die Erwärmung der Luft durch die Sonne befördern diesen Ausgleich.

Übungsstoff. 1. Worin stimmen Kapillarität, Absorption und Diffusion überein, und wodurch unterscheiden sie sich? — 2. In allen höheren Pflanzen kommen zahlreiche Kapillarröhrchen vor, welche von Zellen umgeben sind. Wie läßt sich hiernach die Ersch. erklären, dafs abgeschnittene Pflanzenteile (Blumen und beblätterte Zweige) sich lange frisch erhalten, wenn man sie in W. stellt, während sie sonst rasch welken? — 3. Welche von den beiden bei Versuch b angewandten Flgkn. diffundierte am schnellsten, und woraus war dies zu schliessen? — 4. Bis zu welchem Zustande zweier Flgkn. kann die Diffusionsströmung sich fortsetzen? — 5. Um die Zuckersäfte aus den Rüben zu gewinnen, werden letztere zerschnitten und mit W. übergossen; letzteres wird mehrmals wiederholt. Welchen Vorteil bietet das Zerschneiden der Rüben? Warum ist es vorteilhafter, das W. öfters zu erneuern, als die ursprüngliche Wassermenge längere Zeit einwirken zu lassen? — 6. Wird ein in Scheiben zerschnittener Rettig mit Kochsalz bestreut, so „zieht er Wasser“, d. h. die Scheibenflächen werden feuchter, als sie vorher waren. Worin mag dies seinen Grund haben? — 7. Warum ändert W., in welchem längere Zeit Erbsen, Bohnen oder dergl. gelegen haben, namentlich bei höherer Temp. seinen Geschmack? — 8. In Weingeist schrumpfen weiche tierische Gewebe stark zusammen. Erkl.! — 9. Warum wurde bei Versuch c der Cylinder, welcher Kohlensäure enthielt, unter, der Wasserstoff enthaltende Cylinder dagegen über den mit Luft erfüllten Cylinder gestellt? — 10. Welchen Nachteil bringt die Diffusion bei der Füllung eines Luftballons mit Wasserstoff und warum ist bei der Füllung mit Leuchtgas dieser Nachteil nicht in demselben Grade vorhanden?

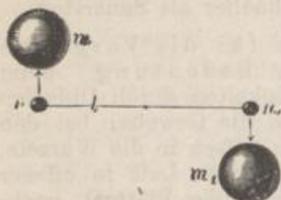
C. Allgemeine Massenanziehung oder Gravitation.

§ 56. Die früher besprochenen Erscheinungen der Schwere (§§ 4 und 6: Druck, Zug, freier Fall) können als die bekanntesten Äußerungen einer Anziehungskraft angesehen werden, welche zwischen den Massen aller im Weltraume vorhandenen Körper wirksam ist, und von welcher die als Schwerkraft bezeichnete Anziehungskraft der Erde nur einen besonderen Fall bildet.

Dafs zwischen den Körpern der Erde eine solche Kraft wirkt, hat man aus verschiedenen Versuchen geschlossen. Ein in der Nähe eines freistehenden Berges aufgehängtes Lot hängt nach der Seite des Berges

hin etwas schräg, wie man wiederholt durch Versuche nachgewiesen hat (zum ersten Male 1738 am Chimborazo, dann 1774 am Shehallien in Schott-

Fig. 156.



land und später noch an verschiedenen anderen dazu geeigneten Bergen). Ferner haben mit großer Sorgfalt angestellte Versuche ergeben, daß ein sehr empfindliches Horizontalpendel (sogen. Drehwage, l Fig. 186) aus seiner Gleichgewichtslage merklich gedreht wird, wenn man jedem Kugelmasschen des Pendels eine mehrere Centner schwere Bleikugel (m und m_1) sehr nahe bringt. Aus diesen Versuchen, die auch mit anderen Stoffen (Glas, Elfenbein u. s. w.) wiederholt wurden, muß man schließen, daß eine Anziehung zwischen allen Körpern der Erde vorhanden und daß diese eine gegenseitige ist; wenn man von dieser Anziehung in den meisten Fällen nichts wahrnimmt, so ist dies darin begründet, daß sie zu gering ist, um die Bewegungshindernisse zu überwinden. *Die Schwerkraft ist nur ein besonderer Fall dieser allgemeinen Massenanziehung*, der fallende Stein wird von der Erde angezogen, ebenso wie das Lot der Anziehung des Berges und das Kugelmasschen der Drehwage der Anziehung der verhältnismäßig großen Gewichte folgt. *Die Anziehung zwischen der Erde und den irdischen Körpern ist eine gegenseitige und der Erdmittelpunkt nur scheinbar der Sitz der Schwerkraft*, da eine Kugel von gleichmäßiger Dichte einen außerhalb derselben befindlichen Körper ebenso anzieht, als ob ihre ganze Masse in ihrem Mittelpunkte vereinigt wäre.

Schon etwa 100 Jahre früher, ehe diese gegenseitige Anziehung für die Körper der Erde nachgewiesen wurde, war durch astronomische Berechnungen von Newton (1682) der Beweis geführt worden, daß die Himmelskörper sich gegenseitig anziehen. Nachdem es Newton gelungen war, die Bewegung der Planeten aus der Annahme einer mit dem Quadrate der Entfernung abnehmenden Anziehung zwischen Sonne und Planeten zu erklären, fand er ferner, daß es ein und dieselbe Kraft ist, welche den fallenden Stein zur Erde zieht, den Mond in seiner Bahn erhält und überhaupt die Bewegungen der Himmelskörper im Weltenraume regelt (§ 75).

Alle Körper ziehen einander an. Die Anziehungskräfte verhalten sich gradeso wie die anziehenden Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen: Newtons Gravitationsgesetz.¹⁾

In Zeichen: $P : P_1 = M : M_1$, wenn die Entfernungen (E und E_1) gleich sind,
 $P : P_1 = E_1^2 : E^2$, „ „ Massen (M und M_1)

Beispiel: Die Anziehung ist 2-, 3-, 4-... mal so groß, wenn die Masse bei gleichen Entfernungen das 2-, 3-, 4-... fache beträgt, aber nur $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$... so groß, wenn die Entfernung bei gleichen Massen 2-, 3-, 4-... mal so groß ist.

Daß wir trotz der gegenseitigen Anziehung beim freien Falle, z. B. eines Steines, nur eine Bewegung des Steines gegen die Erde, nicht aber eine Bewegung der Erde gegen den Stein hin wahrnehmen, findet seine Erklärung in den ungleichen Massen der beiden Körper. Die Bewegung

¹⁾ grāvitas, die Schwere.

der Erde ist sovielmal kleiner als die des Steines, als ihre Masse größer ist, d. h. also: sie ist so gut wie gar nicht vorhanden.

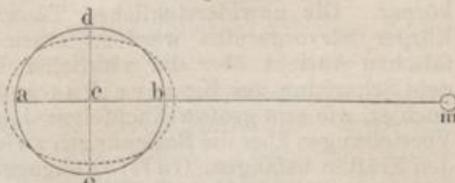
Die Wirkung der Schwerkraft nimmt von den Polen nach dem Äquator hin ab. Dies hat seinen Grund theils darin, daß die Erde an den Polen abgeplattet ist, theils in dem Einflusse der Centrifugalkraft der Erde (§ 76). Die Feder einer sehr empfindlichen Federwage würde demnach durch denselben Körper in der Nähe der Pole stärker zusammengedrückt werden als in den Äquatorgegenden. (Dieser Gewichtsunterschied beträgt für 1 kg ungefähr 5 g; der Radius des Poles ist nahezu um $\frac{1}{227}$ kleiner als der des Äquators.) Auch von der Oberfläche der Erde nach dem Innern hin muß die Schwere abnehmen.

Masse und Gewicht. Nach der Annahme, daß alle Körper aus kleinsten Teilchen zusammengesetzt sind, ist das Gewicht eines Körpers gleich der Summe der Druck- oder Zugwirkungen aller Massenteilchen desselben. Ist der Stoff zweier Körper verschieden, so hat bei gleicher Anzahl der Massenteilchen derjenige Körper das geringste Gewicht, dessen Massenteilchen am leichtesten sind. Die Massen zweier Körper können somit nach dem Gewichte derselben miteinander verglichen werden; Masse und Gewichte sind einander proportional. — Die Zahlen, welche das Gewicht der Raumeinheit, also das spec. Gewicht der Körper ausdrücken, sind hiernach zugleich der Ausdruck für die Masse der Raumeinheit oder die Dichte der Körper.

Mit Hilfe der oben genannten Drehwage (Fig. 186) ist es nach den sehr genauen Versuchen, die von Cavendish (1797), Reich (1835) und anderen angestellt worden sind, möglich gewesen, die Dichte der Erde zu berechnen. Es ergab sich die Zahl 5,6 . . ., die der Dichte des Magneteisens sehr nahe kommt, woraus geschlossen werden muß, daß das Erdinnere aus erheblich schwereren Gesteinen besteht, als die Erdoberfläche.

Übungsstoff. 1. Woraus folgt, daß Rauminhalt und Gew. der K. streng genommen veränderliche Größen sind? — 2. Ein und derselbe K. werde an Orten, welche auf derselben Erdhälfte von Norden nach Süden sehr weit auseinanderliegen, in Meereshöhe gewogen a. mittelst einer Hebelwage, b. mittelst einer Federwage. Beide Wagen seien äußerst empfindlich. Ergebnis? Grund! — 3. Am Boden eines tiefen Schachtes wird ein K. offenbar von einem Teile der Erdmasse nach dem Erdmittelpunkte, von dem übrigen Teile in entgegengesetzter Richtung angezogen. Einfluß a. auf das Gew. des K., b. auf den Gang einer in derselben Tiefe aufgehängten Pendeluhr. — 4. Im Mittelpunkte der Erde muß jeder K. gewichtslos erscheinen; warum wohl? — 5. Welches Gew. würde ein K., der an der Erdoberfläche 1 kg wiegt, an einem Punkte haben, welcher a. um die einfache, b. um die doppelte Länge des Erdradius von der Erde entfernt ist? — 6. Die Masse des Mondes beträgt etwa $\frac{1}{80}$ der Erdmasse. Wie groß ist darnach die Schwerkraft des Mondes im Vergleich zur Schwerkraft der Erde in einem Punkte, der vom Centrum des Mondes um die Länge des Erdradius entfernt ist? — 7. Wie groß ist dieselbe an der Oberfläche des Mondes, wenn der Monddurchmesser $\frac{3}{11}$ des Erddurchmessers beträgt? — 8. Wie groß ist die Schwerkraft an der Oberfläche der Sonne im Verhältnis zur Schwerkraft der Erde, wenn die Masse der Sonne ungefähr 350 000 mal so groß ist als die der Erde und der Halbmesser der Sonne zu 112 Erdhalbmessern angenommen wird? — 9. Wie schwer würde hiernach ein K. von 1 kg Gew. auf einer Federwage erscheinen müssen, wenn statt der Erdanziehung eine Kraft wirkte, welche a. der Schwerkraft des Mondes, b. der Schwerkraft der Sonne gleich wäre? — 10. Die Ebbe und Flut, d. h. das täglich zweimal eintretende Fallen und Steigen des Meeres, hängt hauptsächlich von der Stellung ab, welche der Mond gegen einen Ort der Erde einnimmt (Fig. 187). Es tritt an einem

Fig. 187.



Orte im Weltmeere Flut ein, wenn der Mond seine höchste Stellung für den Ort eingenommen hat, und wenn er sich (12 St. 25 Min. später) auf der gerade entgegengesetzten Seite der Erde befindet, Ebbe dagegen, wenn der Mond auf- oder untergeht. Versuche dies zu erklären. — 11. Die Entfernungen des Mondes von der Erde sind verschieden. Welchen Einfluß muß dies auf die Höhe der Flut ausüben, u. w.? — 12. Stehen Sonne und Mond an derselben oder an entgegengesetzten Seiten der Erde, so ist die Flut am größten. Erkl.! — 13. Wie müssen sich die im Winter, wenn die Sonne uns näher ist, zur Zeit des Voll- und Neumondes entstehenden Fluten zu den Fluten verhalten, welche im Sommer entstehen, wenn die Sonne weiter entfernt ist? Grund! — 14. Wie mag es sich erklären, daß z. B. in der Nordsee die Fluten bedeutend später eintreffen, als man nach der Zeit ihrer Entstehung in der offenen See und nach der anfänglichen Geschw. ihres Fortschreitens (ungefähr 120 geogr. Meilen in einer Stunde) erwarten sollte?

II. Abschnitt.

Mechanik.

(I. Lehrstufe, §§ 7—21.)

A. Von den festen Körpern.

a. Bewegungen und Kräfte im allgemeinen.

§ 57. Ruhe und Bewegung. Arten der Bewegung. Geschwindigkeit. Beschleunigung. Nach unseren Beobachtungen befinden sich die Körper im Zustande der **Ruhe**, d. h. *sie ändern ihre Lage im Raume nicht*, oder im Zustande der **Bewegung**, d. h. *wir nehmen eine Veränderung ihrer Lage wahr*. Bei der Beurteilung, ob ein Körper sich im Zustande der Ruhe oder der Bewegung befindet, beziehen wir die Lage des Körpers auf seine Umgebung. Hierbei sind wir mancherlei Täuschungen ausgesetzt. So erscheint uns z. B. ein Gebäude gewöhnlich in Ruhe, obgleich es an der Umdrehung der Erde um ihre Achse, wie auch an der Bewegung der Erde um die Sonne teilnimmt; fahren wir in einem Eisenbahnzuge sehr schnell daran vorüber, so scheint es sich zu bewegen (relative Ruhe und Bewegung).

Wie schwer es in manchen Fällen ist, zu einer richtigen Erkenntnis darüber zu gelangen, welcher von zwei Körpern, die ihre gegenseitige Lage ändern, der ruhende oder der bewegte sei, zeigen namentlich die Bewegungen der Himmelskörper. Die unwiderstehlichen Täuschungen, welche bei der Beobachtung dieser Körper hervorgerufen werden, haben die Menschheit Jahrtausende lang in einer falschen Ansicht über die wirklichen Bewegungsvorgänge derselben erhalten. Erst dem Scharfsinn des Kopernikus gelang es, diese Täuschungen nachzuweisen; aber auch er, wie sein großer Nachfolger Johann Kepler waren teilweise noch in falschen Vorstellungen über die Beziehungen zwischen den Bewegungen und den sie verursachenden Kräften befangen. Galilei dagegen erkannte dieses Verhältnis richtig und sprach es in dem **Gesetz der Trägheit** aus (vergl. § 3). Nach diesem haben wir nicht in der unveränderten Fortdauer, sondern gerade in der Veränderung