

Erste Abtheilung. Mechanische Erscheinungen.

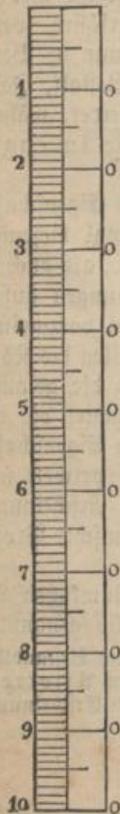
Erster Abschnitt.

Von den mechanischen Eigenschaften der Körper im allgemeinen.

* §. 5. Allgemeine Eigenschaften.

Solche Eigenschaften, welche allen Körpern zukommen, sind: Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Porosität, Theilbarkeit, Schwere, Beweglichkeit. Die ersten beiden Eigenschaften, Ausdehnung und Undurchdringlichkeit, heißen nothwendige allgemeine Eigenschaften, weil ohne sie kein Körper gedacht werden kann oder nicht für uns vorhanden sein würde. Die anderen können zufällige allgemeine Eigenschaften genannt werden, weil wir uns wohl einen Körper auch ohne dieselben denken können. Denn ob schon z. B. alle uns bekannten Körper schwer sind, so wäre es doch nicht geradezu unmöglich, daß ein Körper aufgefunden würde, welcher keine Schwere besäße.

(Fig. 1.)



+ §. 6. Ausdehnung. [Handwritten: 1/4000000]

Jeder Körper ist ausgedehnt, d. h. er nimmt einen Raum ein, wie schon im mathematischen Begriffe des Körpers liegt. Die Größe des von einem Körper eingenommenen Raumes heißt sein Volumen. Wir unterscheiden an jedem Körper drei Ausdehnungen: Länge, Breite und Höhe.

Dasjenige Maß, nach welchem naturwissenschaftliche Angaben gegenwärtig am häufigsten ausgedrückt werden, ist das neuere französische Metermaß. Ein Meter (= 3,078 par. Fuß = 3,186 rheinl. Fuß) ist der zehnmillionste Theil vom nördlichen Meridianquadranten der Erde. Derselbe wird zunächst in 10 Decimeter, der Decimeter in 10 Centimeter und der Centimeter in 10 Millimeter eingetheilt. Ein Millimeter ist also der 1000te Theil des Meter. Eine Länge von tausend Metern führt dagegen den Namen Kilometer. Fig. 1 stellt die ungefähre Größe eines in Centi- und Millimeter eingetheilten Decimeters dar. Vierzig Millionen solcher Decimeter würden zusammen dem Umfange der Erde gleichkommen. - 38, 227

§. 7. Undurchdringlichkeit.

Die Undurchdringlichkeit ist die Eigenschaft, vermöge deren zwei Körper nicht zugleich in demselben Raume sein können. — In einem Cylinder, welcher mit einem beweglichen Kolben geschlossen ist, wird die Luft um so mehr zusammengedrückt, je größer der auf den Kolben ausgeübte Druck ist; niemals aber ist es möglich, die Luft ganz zu verdrängen, den Kolben bis auf den Boden so niederzupressen, daß gar kein Zwischenraum bliebe, vorausgesetzt, daß der Kolben vollkommen dicht an die Wände des Cylinders anschließt, so daß keine Luft entweichen kann.

Auf gleichem Grunde beruht die Taucherglocke, in welcher das Wasser um so höher steigt, je tiefer dieselbe eingesenkt wird, ohne jedoch wegen des Widerstandes der eingeschlossenen Luft den obern Boden zu erreichen. (Hallé konnte in einer solchen mit noch vier anderen Personen 1½ Stunde auf dem Meeresboden zubringen. Ein längeres Verweilen verhinderte die durch das Athmen verdorbene Luft.)

Die Undurchdringlichkeit ist diejenige Eigenschaft, welche uns mit Sicherheit über das Vorhandensein der Körper außer uns belehrt, indem dieselben nämlich vermöge ihrer Undurchdringlichkeit dem Eindringen unseres eigenen Körpers, insbesondere der Finger widerstehen. Nur die Zeugnisse des Tastsinnes geben uns volle Gewißheit von der Existenz der Körper außer uns, während das Auge sich auch wohl durch bloße Bilder, z. B. im Spiegel, täuschen läßt.

Da, wie schon oben bemerkt, die Luft in der Taucherglocke durch das Athmen der unter derselben befindlichen Personen sehr bald verdorben wird, so pflegt man gegenwärtig dieselbe durch einen langen Schlauch, welcher bis über die Oberfläche des Wassers hinauf reicht, mit der äußern Luft zu verbinden und vermittelst einer Druckpumpe durch den Schlauch frische Luft in die Taucherglocke einzupumpen. Bei fortgesetztem Pumpen wird nicht bloß die Glocke ganz mit Luft gefüllt, sondern es entweichen auch, wenn mit Pumpen fortgefahren wird, beständig Luftblasen am untern Rande der Glocke, so daß auf diese Art die Luft in der Glocke fortwährend erneuert wird.

§. 8. Porosität.

Das den Raum Erfüllende, vermöge dessen die Körper dem Eindringen anderer Körper widerstehen, nennen wir Materie. Die Menge der in einem Körper enthaltenen Materie nennen wir seine Masse und die Größe dieser Masse, verglichen mit dem Raume, welchen der Körper einnimmt, seine Dichtigkeit. Die Dichtigkeiten zweier Körper verhalten sich daher bei gleichem Volumen wie ihre Massen und bei gleicher Masse umgekehrt wie ihre Volumina.

Die von der Materie eines Körpers nicht ausgefüllten leeren Zwischenräume nennt man Poren. In einem Schwamme können wir dieselben schon mit bloßen Augen, bei vielen anderen Körpern mit Hilfe des Microscopes wahrnehmen. Häufig können wir auch aus gewissen Erscheinungen, welche die Körper uns darbieten, auf das Vorhandensein von Poren schließen. So läßt sich z. B. durch Leder schon bei einem mäßigen, durch dichtes Holz bei stärkerem Drucke Quecksilber pressen; Wasser und andere Flüssigkeiten nehmen Luft in sich auf, welche aus denselben, wenn sie erwärmt werden, in Gestalt kleiner Bläschen entweicht. Selbst die dichtesten Körper, die Metalle, sind nicht ohne Poren. Wenn eine mit Wasser angefüllte goldene Kugel einem starken Drucke ausgesetzt wird, so bedeckt sich ihre Oberfläche mit einem feinen Thau.

Dieser Versuch ist zuerst 1661 von den Mitgliedern der Akademie zu Florenz ausgeführt worden. Die goldenen Hohlkugeln waren, um dieselben mit Wasser füllen zu können, mit einem Deckel versehen, welcher festgeschraubt und überdies verlöthet wurde. Bei einem von außen ausgeübten Drucke von solcher Stärke, daß die Kugel ihre Gestalt verändert, vermindert sich ihr Raumesinhalt, obschon die Größe der Oberfläche unverändert bleibt, da bei gleich bleibender Oberfläche die Kugel unter allen Körpern den größten körperlichen Inhalt hat. Es wird daher, wenn die goldene Kugel so stark zusammengedrückt wird, daß eine Aenderung der Gestalt eintritt, auch auf das eingeschlossene Wasser ein Druck ausgeübt, welcher bei hinreichender Stärke, wie schon oben angeführt, veranlaßt, daß sich die Kugel an ihrer äußern Oberfläche mit einem feinen Thau bekleidet. — Auch mit anderen Metallen ist später der nämliche Versuch und mit gleichem Erfolge ausgeführt worden.

§. 9. Theilbarkeit.

Alle Körper lassen sich theilen, und so weit unsere Erfahrung reicht, diese Theile wieder in kleinere Theile zerlegen. Fragt man nun, ob diese Theilung sich ins Unendliche fortsetzen lasse, so ist zu erwiedern, daß einerseits noch niemand auf Körpertheilchen gestoßen ist, von denen sich hätte behaupten lassen, daß sie nicht weiter theilbar seien, andererseits aber natürlich kein Mensch, wenn er auch das höchste Alter erreichte, dahin gelangen könnte, die Materie wirklich ins Unendliche zu theilen. Dazu kommt, daß sehr kleine Theile sich zuletzt der Wahrnehmung unserer Sinne und der Behandlung unserer Instrumente entziehen.

Ein Beispiel sehr feiner auf künstlichem Wege hervorgebrachter Vertheilung liefert die Vergoldung. Es ist bekannt, daß ein Dukaten hinreicht, die Statue eines Mannes zu Pferde zu vergolden. So vielmal die Fläche des Dukaten in der Oberfläche des Reiters und Pferdes enthalten ist, so vielmal muß die überkleidende Goldschicht dünner als der Dukaten sein. Noch unvergleichlich feiner sind die Vertheilungen, welche bei der Verflüchtigung riechender Stoffe stattfinden. Legt man ein kleines Stückchen Moschus etwa von der Größe eines Hirsekorns in ein Zimmer, so wird binnen kurzer Zeit sich der Geruch desselben durch den ganzen Raum des Zimmers verbreiten, welches auch bei mäßiger Größe doch leicht einige tausend Kubiffuß umfaßt; und selbst wenn die Luft mehrmals am Tage gewechselt wird, wird der Moschusgeruch doch noch längere Zeit in dem Zimmer wahrzunehmen sein.

Bei der Anfertigung des sogenannten Golddrahtes, welcher zu den Lyoner Treffen verwandt wird, wird eine Silberstange erst vergoldet und dann zu seinem Drahte ausgezogen. Indem Raumtür aus dem Gewichte des verbrauchten Goldes das Volumen desselben und aus der Länge und Dicke des Drahtes dessen Oberfläche berechnete, ergab sich die Dicke der Vergoldung = $\frac{1}{31500}$ Par. Linie. Dennoch erwies sich die Vergoldung auch unter dem besten Microscope als eine zusammenhängende Fläche ohne alle Unterbrechung. (Gehler's Phys. Lex. Bd. 2. S. 507.)

Von der atomistischen Hypothese wird weiter unten bei den chemischen Erscheinungen ausführlicher die Rede sein.

§. 10. Aggregatzustand. $\frac{1}{1} (\frac{x}{x})$

In Hinsicht des Widerstandes, welchen die Körper der wirklichen Theilung entgegensetzen, zeigen dieselben ein sehr verschiedenes Verhalten. Wir unterscheiden in dieser Beziehung drei Zustände der Körper: fest, flüssig und luftförmig, welche wir Aggregatzustände nennen. Diese können jedoch keinen wesentlichen Unterschied begründen, nach welchem sich die Körper in verschiedene Classen theilen ließen, da der nämliche Körper alle drei Zustände durchlaufen kann; so z. B. kennen wir das Wasser im luftförmigen

Zustände als Dampf, für gewöhnlich im flüssigen Zustande und im festen Zustande als Eis. Auch die meisten Metalle vermögen wir mit Hilfe der Wärme in alle drei Zustände zu versetzen; und wenn uns dasselbe noch nicht bei allen Körpern gelungen ist, so kann dieses einerseits darin seinen Grund haben, daß wir nicht im Stande sind, die erforderliche Wärme hervorzubringen; andererseits erleiden viele Körper in hohen Hitzeegraden eine chemische Zersetzung. So wird z. B. das Holz bekanntlich in der Hitze verkohlt, d. h. die gasförmigen Bestandtheile Wasserstoff und Sauerstoff entweichen (in Verbindung mit etwas Kohlenstoff) und der feste Kohlenstoff bleibt zurück.

Wir nennen einen Körper fest, dessen Theile sich nur bei Anwendung einer bedeutenden Kraft trennen oder verschieben lassen. Absolut fest würde ein Körper sein, dessen Theile sich gar nicht trennen oder verschieben ließen. Einen solchen Körper gibt es in der Natur nicht. Flüssig heißt ein Körper, dessen Theile sich sehr leicht trennen oder verschieben lassen, und luftförmig heißen diejenigen Körper, welche sich überdies leicht zusammendrücken lassen und bei nachlassendem Drucke wieder ausdehnen.

§. 11, a. Festigkeit.

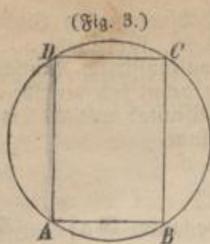
Die Festigkeit eines Körpers ist der Widerstand, welchen derselbe der Trennung seiner Theile entgegensetzt. Unter den Metallen besitzt Eisen, unter den Holzarten haben Eichen- und Buchenholz die größte Festigkeit.

Man unterscheidet absolute, relative und rückwirkende Festigkeit. — Unter der absoluten Festigkeit versteht man den Widerstand, welchen ein Körper dem Zerreißen entgegensetzt. Dieselbe wächst bei dem nämlichen Körper in gleichem Verhältnisse mit dem Querdurchschnitte; ein doppelt so dicker Eisendraht vermag also viermal so viel zu tragen, weil bei Verdoppelung des Durchmessers die Größe des kreisförmigen Querdurchschnitts sich vervierfacht.

Die relative Festigkeit ist der Widerstand, welchen ein Körper dem Zerbrechen entgegensetzt. Wenn man einen gleichförmigen Balken von rechteckigem Querdurchschnitt an beiden Enden unterstützt und in der Mitte belastet, so steht die relative Festigkeit desselben in gleichem Verhältnisse mit der Breite, im quadratischen der Höhe und im umgekehrten der Länge. Es vermag also ein doppelt so breiter Balken auch doppelt so viel, ein doppelt so hoher viermal so viel, aber ein doppelt so langer Balken unter übrigens gleichen Umständen nur halb so viel zu tragen. Derselbe Balken besitzt eine größere relative Festigkeit, wenn die schmalen Seiten waggerect, die breiten Seiten aufrecht stehen. — Hohle Röhren besitzen eine größere Festigkeit, als massive Cylinder von gleichem Gewichte und gleicher Länge. Die röhrenförmigen Knochen gewähren also den Vortheil, daß sie bei geringem Gewichte doch eine große relative Festigkeit besitzen.

Die rückwirkende Festigkeit ist der Widerstand, welchen ein Körper, der von oben her belastet wird, dem Zerdrücken oder Brechen entgegensetzt. Die genauere Feststellung ihrer Gesetze ist jedoch mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Sie wächst im allgemeinen mit der Größe des Querdurchschnittes und nimmt mit der Höhe ab.

An den festen Körpern unterscheiden wir ferner folgende Verschiedenheiten. Ein Körper heißt hart, dessen Theile sich sehr schwer verschieben lassen; unter allen bekannten Körpern besitzt der Diamant die größte Härte. Das Gegentheil von hart heißt weich. Spröde heißt ein Körper, dessen Theile schon bei einer geringen Ver-



(Fig. 3.)
 schiebung sich gänzlich trennen, z. B. Glas; das Gegentheil von spröde ist zähe. Die Theile eines zähen Körpers lassen sich leicht verschieben, setzen aber der Trennung einen großen Widerstand entgegen. Dehnbar heißt ein Körper, welcher sich leicht nach der einen oder andern Dimension verlängern läßt, ohne daß hierdurch der Zusammenhang seiner Theile ganz aufgehoben wird. Die meisten Metalle sind dehnbar; die größte Dehnbarkeit besitzt das Gold.

Ueber die absolute Festigkeit der Körper sind von Musschenbroek und anderen Physikern zahlreiche Versuche angestellt worden. Die folgende Tabelle gibt für verschiedene Substanzen die Belastung in Pfunden an, welche erforderlich ist, um einen Stab von einer Par. Quadratlinie Querdurchschnitt zu zerreißen.

Stahl	800 bis 1000	Eichenholz	180
Eisendraht	420	Buchenholz	140
Kupferdraht	280	Kiefernholz	90 bis 140
Messingdraht	340	Weißtanne	90 bis 110
Golddraht	466	Lindenholz	95
Silberdraht	350	Glas	20
bleidraht	27	Hanfseile	40 bis 60

In Hinsicht der relativen Festigkeit führen wir noch an, daß aus einem cylindrischen Baumstamme der rechteckige Balken von der größten relativen Festigkeit dann erhalten wird, wenn bei dem rechteckigen Durchschnitte ABCD, Fig. 3, sich die Höhe BC zur Breite AB verhält wie die Diagonale eines Quadrates zur Seite, also wie $\sqrt{2} : 1 = 1,414 \dots$ (S. Algebraische Analysis, Essen, 1869. S. 19.)

§. 11, b. Elasticität.

Elasticität ist die Eigenschaft eines Körpers, daß er bei Einwirkung äußerer Kräfte eine Veränderung in der Lage seiner Theile erfährt, bei nachlassendem Drucke aber seine Gestalt wieder herstellt. Vollkommen elastisch würde ein Körper sein, welcher vollständig und mit derselben Kraft, mit welcher er gedrückt worden ist, seine vorige Gestalt wieder herstellte. Die vollkommenste Elasticität besitzen die luftförmigen Körper. Flüssigkeiten erleiden auch bei sehr großem Drucke nur eine geringe Verminderung ihres Volumens, so z. B. Wasser bei dem ungeheuren Drucke von 100 Atmosphären (d. h. bei dem Drucke einer Wassersäule von 3200 Par. Fuß Höhe) nur ungefähr $\frac{1}{200}$.

Unter den festen Körpern besitzen Kautschuk (gummi elasticum), Stahl, geschlagenes Messing, Fischbein u. a. m. eine bedeutende Elasticität. Glas, welches in größeren Massen bekanntlich so spröde ist, zeigt, in seine Fäden oder dünne Blättchen ausgezogen, eine hohe Elasticität.

Höchst mannigfaltig sind besonders die Anwendungen, welche der elastische Stahl findet; wir führen als Beispiele an: die Federn in Schlössern und Taschenmessern, die Springsfedern in Polstern, die spiralförmig gewundenen Federn in Taschen- und Tafeluhren, welche, indem sie sich etwas aufrollen, das Räderwerk in Bewegung setzen, die elastischen Federn in den sogenannten Ziehwagen u. a. m.

Wahrscheinlich verhalten sich alle Körper, so lange die auf sie einwirkende Kraft eine gewisse Grenze nicht übersteigt, vollkommen elastisch. Innerhalb der Grenze der vollkommenen Elasticität, welche jedoch für verschiedene Körper sehr verschieden ist, gilt das Gesetz, daß die Veränderung des Volumens eines Körpers der Größe der einwirkenden Kraft proportional ist.

Man nennt die Belastung, welche nach diesem Gesetze erforderlich sein würde, um einen stabförmigen Körper von bestimmtem Querdurchschnitte bis zur doppelten Länge auszudehnen, wenn er bis dahin vollkommen elastisch bliebe, den Elasticitäts-Modulus. Derselbe ist bei einem Querdurchschnitt von einem Par. Quadratzoll für

vulkanisirtes (mit Schwefel verbundenes) Kautschuk gleich 144 Pfund*), für Buchen-, Eichen- und Tannenholz ohngefähr gleich 2, für Eisen 20 bis 26, für Stahl 30 bis 44 Millionen Pfund. Hängt man also an einen Stab von vulkanisirtem Kautschuk, welcher einen Quadratzoll Querdurchschnitt hat, 144 Pfund, so dehnt sich derselbe bis zur doppelten Länge aus; belastet man einen eben so dicken Eisenstab mit 20 bis 26 Pfund, so verlängert sich derselbe um ein Milliontel seiner Länge.

§. 12. Gase und Dämpfe.

Man theilt die luftförmigen Körper in Dämpfe und Gase. Die Dämpfe behalten die luftförmige Gestalt nur bei hoher Temperatur oder geringem äußeren Drucke; bei größerem Drucke dagegen oder verminderter Wärme kehren sie in den flüssigen Zustand zurück, in welchem sie sich uns am häufigsten zeigen, so z. B. Wasser, Spiritus, Aether u. dgl. Diejenigen Luftarten, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und nicht allzustarkem Drucke die luftförmige Gestalt behalten, nennt man Gase. Hiernach findet also zwischen Gasen und Dämpfen kein wesentlicher Unterschied statt, zumal viele Gase (wie z. B. Chlor, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Ammoniak u. a. m.) bei Anwendung großer Kälte und starken Druckes in den flüssigen Zustand übergehen. Andere dagegen, wie z. B. atmosphärische Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff u. a. m. haben sich bis jetzt noch nicht flüssig darstellen lassen.

* §. 13. Cohäsion und Adhäsion. V V

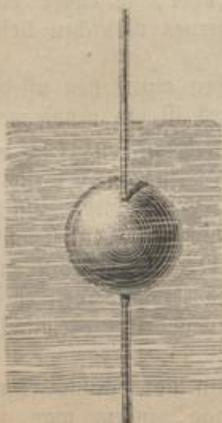
Wenn man zwei sorgfältig abgeschliffene Metallplatten an einander hält, so bemerkt man, daß sie der Trennung mit einer nicht unbedeutenden Kraft widerstehen. Dasselbe findet statt, wenn man eine ebene Fläche eines festen Körpers mit der Oberfläche einer Flüssigkeit in Berührung bringt. Es findet also zwischen den Theilen zweier sich berührenden Körper eine Anziehung statt, welche, wie man sich leicht überzeugen kann, im allgemeinen um so größer ist, in je mehr Punkten sich beide Körper berühren. Man nennt diese zwischen den Theilen zweier verschiedenen Körper stattfindende Anziehung Adhäsion. Die anziehende Kraft aber, welche die sich berührenden Theile des nämlichen Körpers auf einander ausüben, heißt Cohäsion. Sie zeigt sich uns bei den festen Körpern in dem Widerstande, welchen sie der Trennung oder Verschiebung ihrer Theile entgegensetzen, und bei den Flüssigkeiten in dem Bestreben, wenn sie nicht durch störende Einwirkungen daran verhindert werden, die Kugelgestalt anzunehmen, wie wir z. B. an den Regentropfen sehen. Es kann nämlich in einer gleichartigen flüssigen Masse, auf welche keine anderen Kräfte einwirken als die Anziehung, welche die materiellen Theile derselben auf einander ausüben, offenbar nur bei einer gleichförmigen Vertheilung der Masse um den Mittelpunkt, also bei der Kugelgestalt, Gleichgewicht stattfinden. Hiernach dürfte die Erde, welche nach der Annahme der Geologen sich früher in einem geschmolzenen Zustande befunden hat, nicht bloß im bildlichen, sondern im eigentlichen Verstande einem Tropfen im Weltraum zu vergleichen sein. — Wenn aber größere flüssige Massen auf einer festen Unterlage ruhen, bewirkt die Schwere, zum Theil auch die Anziehung der berührenden Theile der Unterlage ein Auseinanderfließen und verhindert so die Bildung der Kugelgestalt.

*) 1 Pfund = 500 Gramm. S. unten §. 29 Anm.

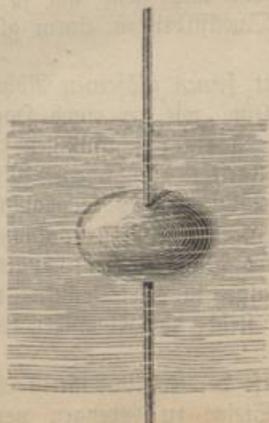
Erscheinungen, welche auf der Adhäsion der sich berührenden Theile verschiedener Körper beruhen, sind: das Anlegen des Staubes an die Decke und die Wände des Zimmers, das Schreiben mit Kreide und Bleistift, das (galvanische) Vergolden oder Verkupfern, das Plattiren (Zusammenwalzen einer Kupfer- und Silberplatte), auch das Schreiben mit Dinte, indem nämlich das in der Flüssigkeit schwebende Dintenpulver nach der Verdunstung derselben an dem Papier vermöge der Adhäsion haftet. — Ferner gehören hierher das Leimen, Kitten, Löthen u. s. w. Da nämlich die Oberflächen fester Körper, auch wenn sie auf's sorgfältigste polirt sind, niemals ebene Flächen bilden, so können sie sich immer nur in einer sehr beschränkten Zahl von Punkten berühren, und es kann daher zwischen denselben nur eine schwache Adhäsion stattfinden. Viel inniger dagegen berühren sich eine feste und eine flüssige Masse; und da diese Berührung fortbesteht, nachdem der flüssige Körper, nämlich der flüssige Leim, erstarrt ist, so hält die hieraus hervorgehende starke Adhäsion, so wie auch die Cohäsion der Theile des Leimes unter sich die beiden durch den Leim verbundenen Körper zusammen. Aehnliches gilt vom Kitten und Löthen, ferner von der Vergoldung im Feuer, dem Verzinnen, dem Belegen der Spiegel mit Amalgam und dgl. m.

Von der zwischen festen und luftförmigen und zwischen flüssigen und luftförmigen Körpern stattfindenden Adhäsion werden wir weiter unten (§. 77) ausführlicher handeln. Auch größere Flüssigkeitsmassen gestalten sich zu Kugeln, wenn dieselben der Einwirkung der Schwere entzogen werden. Man gelangt hierzu durch das folgende von dem belgischen Physiker Plateau angegebene Verfahren. Da Wasser specifisch schwerer, Alkohol leichter als die verschiedenen Sorten Oele, z. B. Olivenöl ist, so läßt sich aus Wasser und Alkohol, wenn man dieselben in angemessenem Verhältnisse mengt, eine Mischung herstellen, welche mit dem Oele genau gleiches specifisches Gewicht hat. Bringt man nun in diese Mischung mittelst eines langhalsigen Trichters, dessen Spitze man etwa bis zur Mitte in die Flüssigkeit einsetzt, etwas Olivenöl, so gestaltet sich das vorsichtig eingegossene Oel, wenn die Mischung mit dem Oele genau gleiches specifisches Gewicht hat, zu einer Kugel, welche nach Entfernung des Trichters frei in der Flüssigkeit schwebt. Ist dagegen die Mischung specifisch leichter oder schwerer als das Oel, so löst sich dasselbe von der Spitze des Trichters in einzelnen Tropfen ab, welche zu Boden gehen oder langsam an dem Trichter emporsteigen. Man vereinigt dann zunächst mittelst eines Drahtes, dessen Spitze man mit Oel bestrichen hat, diese Tropfen zu einer größern Kugel und setzt hierauf vorsichtig so lange Wasser oder Spiritus zu, bis die Oelkugel frei in der Mischung schwebt.

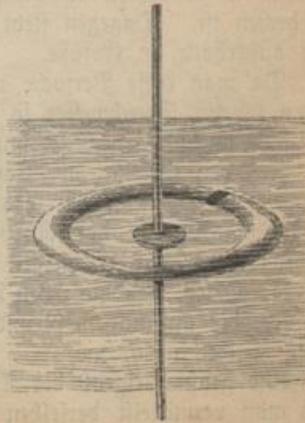
(Fig. 4.)



(Fig. 5.)



(Fig. 6.)



Befindet sich die Flüssigkeit in einem Kasten mit Glaswänden, in welchem eine kleine eiserne Scheibe so angebracht ist, daß sich dieselbe rasch um eine durch ihre Mitte gehende Aze drehen läßt, so kann man noch folgende Versuche anstellen: Vermittelt des Drahtes bewegt man die Deltugel nach der eisernen Scheibe, welche man vorher mit Del bestrichen hat, daß diese von der Deltugel ganz umhüllt wird (Fig. 4). Wird dann die Scheibe um ihre Aze mit allmählich zunehmender Geschwindigkeit gedreht, so breitet sich die Kugel zuerst zu einem Rotations-Ellipsoid (Fig. 5) und endlich zu einem Ringe (Fig. 6) aus.

× §. 14. Capillarität.

In Hinsicht der Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern findet zunächst folgende Verschiedenheit statt:

1) Wenn man einen festen Körper in eine Flüssigkeit getaucht hat und dann wieder herauszieht, so bleiben entweder Theilchen des Flüssigen an der Oberfläche des festen Körpers haften, und man sagt dann, der feste Körper werde von dem flüssigen benetzt, oder dieses ist nicht der Fall. Im ersteren Falle ist offenbar die Adhäsion zwischen dem festen und flüssigen Körper größer als die Cohäsion der Theile der Flüssigkeit unter sich; im andern Falle findet das Umgekehrte statt. So wird z. B. Glas von Wasser, aber nicht von Quecksilber benetzt. Vom Quecksilber werden Gold, Silber, Kupfer, Blei, aber nicht Eisen benetzt. Vom Wasser bleiben fette Körper unbenetzt. Man kann daher die mit Fett bestrichene Hand ins Wasser tauchen und trocken wieder herausziehen. — Die Federn der Schwimmvögel sind durch eine ölige Fettigkeit gegen das Naßwerden, eben so viele Baumknospen, z. B. die der Korkkastanie, durch fettiges Harz der einhüllenden Schuppen gegen das Einbringen des Regens gesichert.

2) Wenn kleinere Mengen einer Flüssigkeit sich auf einer Unterlage befinden, welche von demselben benetzt wird, z. B. Wasser auf Glas, so fließen sie aus einander. Dagegen sammelt sich Quecksilber auf Glas, Wasser auf fettigen Körpern in kleinen Kugeln, Tropfen, an.

3) Eine Flüssigkeit steht in einem Gefäße, dessen Wände sie benetzt, z. B. Wasser in einem Glase, am Rande höher, als in der Mitte und bildet also eine concave Oberfläche. Dagegen steht in einem Gefäße, dessen Wände nicht benetzt werden, die Flüssigkeit, z. B. Quecksilber in einem Glase, am Rande tiefer als in der Mitte, und die Oberfläche der Flüssigkeit ist also convex.

4) Wenn man ein gläsernes Röhrchen ins Wasser taucht, so steigt das Wasser in demselben in die Höhe und zwar um so höher, je enger das Röhrchen ist. Dagegen steht Quecksilber in einem gläsernen Röhrchen tiefer als außerhalb im Gefäße.

Da man diese Versuche mit feinen gläsernen Röhrchen anzustellen pflegt, deren innerer Durchmesser so klein, wie der eines Haares ist, so nennt man die hier angeführten Erscheinungen die Erscheinungen der Capillarität.

Auf den Gesetzen der Capillarität beruht eine Menge bekannter Erscheinungen: das Einsaugen des Wassers von Schwamm, Löschpapier, Zucker, trockenem Holze u. dgl. Körpern, deren Poren zusammenhängende feine Canäle bilden; ferner das Aufsteigen der Dinte in dem Spalte der Feder, des Weingeistes, Deles, geschmolzenen Talges in den Dochten; das Feuchtwerden einer Mauer, die auf nassem Grunde steht; das Abwischen des Schweißes vermittelt eines Tuches u. a. m.

Wie groß übrigens die Kraft der Capillarität ist, kann man daraus sehen, daß man vermittelt derselben Steine zu sprengen vermag, indem man in

Spalten Keile von trockenem Holze eintreibt und sie dann befeuchtet, wodurch sie ausgedehnt werden und die Felsen aus einander reißen. Eben so werden Stricke, welche durch eine bedeutende Kraft gespannt sind, verkürzt, indem sie sich in der Dicke ausdehnen, wenn man sie befeuchtet.

Zu den oben angeführten Erscheinungen, welche auf der Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern beruhen, können noch die beiden folgenden hinzugefügt werden.

5) Wenn man aus einem Gefäße eine Flüssigkeit, welche die Wände desselben benetzt, unter einem kleinen Neigungswinkel ausgießt, so fließt die Flüssigkeit nicht senkrecht, sondern an den Wänden des Gefäßes herab. Dieses ist weniger bei einer Flüssigkeit der Fall, welche die Wände des Gefäßes nicht benetzt. Daher ist es leichter, aus einem vollen Gefäße Quecksilber als Wasser auszugießen.

6) Körper von geringem Durchmesser schwimmen auf Flüssigkeiten, von denen sie nicht benetzt werden, auch wenn sie specifisch schwerer sind. So z. B. kann man eine Nähnadel auf Wasser zum Schwimmen bringen; dieses gelingt aber nicht, wenn man die Nadel vorher durch Waschen mit Weingeist von allem anhaftenden Fette reinigt. Eben so vermögen viele Insekten über die Oberfläche des Wassers zu laufen oder vielmehr hinzugleiten, ohne daß sie einsinken.

Man zeigt die Erscheinung der Haarröhrchen zweckmäßig auf die Art, daß man dünnwandige Gasentbindungsröhrchen vor der Lampe bis zum Glühen erhitzt und in seine Röhrchen auszieht. Man sieht in diesen, wenn man sie mit dem einen Ende in Wasser oder noch besser in eine Auflösung von Kupferoxydamonial taucht, die Flüssigkeit in raschem Laufe bis zur Höhe von 6–10 Zoll emporsteigen.

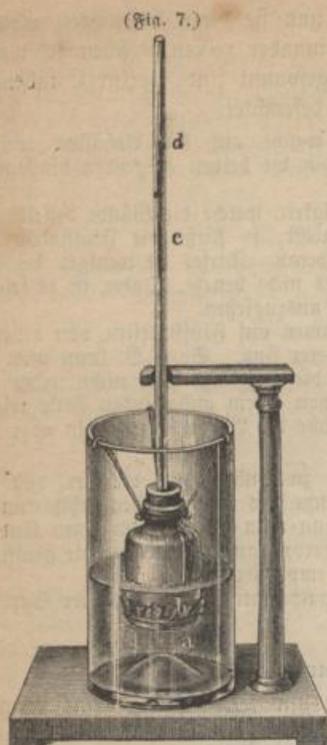
La Pläce hat zuerst eine umfassende mathematische Theorie der Capillarerscheinungen im Jahre 1806 gegeben.

§. 13. Endosmose.

Manche Flüssigkeiten, wie z. B. Wasser und Del, zeigen keine Neigung sich zu vermischen; selbst wenn sie durcheinander geschüttelt werden, lagern sie sich nach einiger Zeit wieder nach der Verschiedenheit ihres specifischen Gewichtes über einander, so daß das leichtere Del auf dem schwereren Wasser schwimmt. Andere Flüssigkeiten, wie Wasser und Weingeist, zeigen ein entgegengezettes Verhalten; wenn man in ein Gefäß erst Wasser und dann vorsichtig darüber Weingeist gießt, so mischen sich beide Flüssigkeiten allmählich mit einander und nach einiger Zeit enthalten auch die untersten Schichten Weingeist und die obersten Schichten Wasser. Es muß daher Wasser in dem leichteren Weingeist emporgestiegen und Weingeist in dem schwereren Wasser zu Boden gegangen sein. So wie Wasser und Weingeist verhalten sich auch die Auflösungen von Zucker oder irgend einem Salze in Wasser und reines Wasser.

Eine noch auffallendere Erscheinung, welche man mit dem Namen Endosmose (von *εἰδος* hinein und *ὄσμος* Stoß) bezeichnet, bietet der folgende Versuch dar. Wenn man an einem Medizinglase den Boden absprengt*) und dasselbe unten mit einer thierischen Blase überbindet, hierauf mit einer Auflösung von Kupfervitriol in Wasser füllt und den Hals mit einem Korke, durch welchen eine gläserne Röhre hindurchgeht, verschließt, dann dieses Gläschen b (Fig. 7) in ein mit Wasser gefülltes Gefäß a so weit einsenkt, daß beide Flüssigkeiten gleiche Höhe haben, so sieht man sehr bald die Flüssigkeit in dem innern Glase b steigen und sich allmählich in der Röhre c zu einer beträchtlichen Höhe erheben, während das Wasser in dem äußeren

*) Was leicht geschieht, wenn man dasselbe mit einem glühenden Eisen umfährt und dann in kaltes Wasser taucht.



Gefäße a fällt. Es muß daher Wasser durch die Blase aus dem weiteren Gefäße in das engere getreten sein. Daß aber auch umgekehrt Kupfervitriollösung durch die Blase in der entgegengesetzten Richtung hindurchgegangen ist, zeigt die blaue Färbung der Flüssigkeit in dem äußeren Gefäße. — Bringt man in das äußere Gefäß Kupfervitriollösung und in das innere und die Röhre Wasser, so fällt dasselbe in diesen, während die Flüssigkeit in dem äußeren Gefäße steigt. — Dasselbe Verhalten wie Wasser und Kupfervitriollösung in dem angeführten Versuche zeigen auch Wasser und Weingeist, reines Wasser und eine Auflösung von Zucker oder irgend einem Salze in Wasser u. a. m.

Ähnliche Erscheinungen zeigen nicht bloß animalische, sondern auch vegetabilische Membranen, in geringem Maße auch Thon und andere poröse anorganische Körper.

Die Ursachen, durch welche die Erscheinungen der Endosmose hervorgerufen werden, ja selbst die Gesetze derselben sind bis jetzt mit voller Sicherheit noch nicht ermittelt. Ohne Zweifel aber beruhen die-

selben auf der ungleichen Anziehung, welche die Theile der porösen Blase auf die verschiedenen Flüssigkeiten ausüben, welche sich zu beiden Seiten derselben befinden.

Die Endosmose ist als eine Hauptursache des Einsaugens des Wassers durch die Spitzen der Wurzelfasern und des Aufsteigens des Pflanzensaftes im Stamme bis an die Spitze der Zweige und der Blätter anzusehen. Da nämlich das Wasser, welches die Wurzeln in der Erde umgibt, weniger nicht gelöste Theile enthält, als der in den Zellen der Wurzelfasern befindliche Saft, so muß das Wasser vermöge der Endosmose in diese Zellen eindringen, den Saft derselben verdünnen und dann weiter in solche Zellen, welche noch dichtere Säfte enthalten, übergehen und so aus der Wurzel in den Stengel und zuletzt bis zu den äußersten Zweigen und den Blättern emporsteigen. Indem aber die Blätter fortwährend wässerige Theile ausdünsten, wodurch der in den Zellen derselben enthaltene Pflanzensaft verdichtet wird, muß während der wärmeren Jahreszeit, so lange überhaupt die Pflanze mit Blättern bekleidet ist, eine fortdauernde aufsteigende Bewegung des von den Spitzen der Wurzelfasern eingefogenen Wassers, überhaupt des Pflanzensaftes von der Wurzel bis zu den Blättern hin stattfinden.

Ueber die Endosmose haben seit 1822 verschiedene Physiker Untersuchungen angestellt. — Als Dütrochet in das innere Gefäß eine Auflösung von Zucker in zwei Theilen Wasser brachte und statt einer geraden Röhre eine doppelt gekrümmte Röhre anwendete, welche in ihrem unteren Theile Quecksilber enthielt, war nach zwei Tagen durch den Druck des durch die Blase hindurchgegangenen und in der Röhre aufgestiegenen Wassers das Quecksilber über drei Fuß emporgetrieben worden. Da nun

Quecksilber (ohngefähr) 14mal schwerer als Wasser ist, so würde in einer geraden Röhre das Wasser gegen 42 Fuß gestiegen sein.

Wenn die den Boden des inneren Glases bildende Blase nicht ganz dicht an die Außenwand dieses Glases anschließt, vielmehr die Flüssigkeiten nicht bloß durch die Poren der Blase, sondern auch zwischen der Blase und dem Glase in einander übergehen können, so wird durch diesen Uebergang der beabsichtigte Erfolg vereitelt. Der Versuch gelingt am sichersten, wenn man das innere Gefäß nur so weit einsenkt, daß die äußere Flüssigkeit nicht über den obern Rand der Blase treten kann.

Dasselbe Verhalten wie Flüssigkeiten, zeigen auch Gase, wenn dieselben durch einen porösen Körper getrennt sind. Man nennt diese Erscheinung die Diffusion der Gase. Dieselbe bewirkt, daß aus einer Flasche, in welcher sich irgend ein Gas befindet, auch wenn die Flasche verkorkt und umgekehrt gestellt und der Hals mit Wasser angefüllt ist, das Gas allmählich entweicht und die atmosphärische Luft in die Flasche tritt.

§. 16. Krystallisation. 770

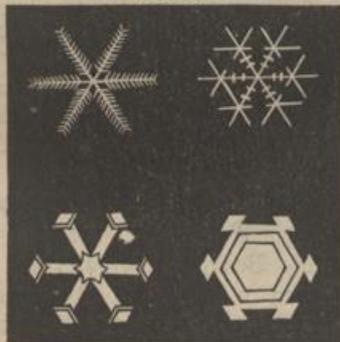
Auf der Anziehung, welche die Theile der Körper auf einander ausüben, beruht auch die merkwürdige Erscheinung, daß sich dieselben bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand zu regelmäßigen Gestalten zu verbinden pflegen. Man nennt diese regelmäßigen Körper Krystalle. Dieselben werden im allgemeinen um so größer und vollständiger, je langsamer der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand geschieht. Die schönsten Krystalle liefert uns die Natur in den Edelsteinen und anderen Mineralien.

Wir kennen zwei Mittel, feste Körper flüssig zu machen, erstens durch Auflösen im Wasser, Weingeist, Säuren und anderen Flüssigkeiten und zweitens durch Schmelzen im Feuer. Wenn man Kochsalz oder Zucker in Wasser auflöst und dann in einem offenen Schälchen die Flüssigkeit verdunsten läßt, so sieht man das Salz in Würfeln, den Zucker in vier- und sechsseitigen Säulen anschließen.

Die Krystalle legen sich gern an feste Körper an; es bilden sich daher die ersten Krystalle an den Wänden oder am Boden des Gefäßes. Beim Kandiszucker pflegt man durch Einführung von Fäden die Krystallbildung zu befördern; beim Hut Zucker dagegen sucht man durch Umrühren die Krystallbildung zu verhindern.

Wenn man Schwefel in einem Tiegel schmilzt, denselben dann allmählich erkalten läßt, und nachdem die oberste Schicht erstarrt ist, dieselbe durchsticht

(Fig. 8.)



und die noch flüssige Masse ausgießt, so sieht man, daß im Innern der erstarrte Schwefel in regelmäßigen Nadeln angeschossen ist.

Auch das Wasser zeigt beim Frieren Neigung zum Krystallisiren. An den gefrorenen Fensterscheiben bemerkt man feine Eisknadeln, welche regelmäßig sich unter Winkeln von 60°, auch wohl von 30° an einander legen. Eben so zeigen die Schneeflocken, von denen Fig. 8 einige Beispiele darstellt, regelmäßige Gestaltungen, welchen die Form des regelmäßigen Sechsecks zu Grunde liegt.

Auf dem krystallinischen Gefüge beruht es auch, daß viele Mineralien sich nach gewissen Richtungen vorzüglich leicht spalten lassen, wie man dies besonders deutlich am Kalkspath beobachten kann.

Die Krystallisation ist jedesmal mit Wärmeentwicklung, nicht selten auch mit Lichtentwicklung verbunden.

Auf ähnliche Weise, wie oben für den Schwefel angegeben, erhält man aus geschmolzenem Wismuth würfelförmige Krystalle.

Viele Substanzen lösen sich in größerer Menge in heißem als in kaltem Wasser auf. So vermögen 2 Loth kaltes Wasser nur ohngefähr $\frac{1}{2}$ Loth Salpeter, 2 Loth siedendes Wasser dagegen über 4 Loth Salpeter aufzulösen. Läßt man die letztere Auflösung allmählich erkalten, so krystallisirt der größte Theil des in derselben enthaltenen Salpeters in sechsseitigen Säulen und nur etwa $\frac{1}{2}$ Loth Salpeter bleibt in der erkalteten Flüssigkeit zurück. Die Krystalle fallen jedoch bei einer weniger concentrirten Auflösung schöner und größer aus.

Das Bittersalz, (welches etwa zur Hälfte aus schwefelsaurer Magnesia, zur Hälfte aus Krystallwasser besteht), ist ohngefähr in der dreifachen Gewichtsmenge kalten Wassers (von 10° C.) löslich; es vermögen daher 2 Loth kaltes Wasser nur etwa $\frac{2}{3}$ Loth Bittersalz aufzulösen; dagegen können 2 Loth siedendes Wasser ohngefähr 3 Loth Bittersalz auflösen. Wenn diese heiße Auflösung erkaltet, so scheidet sich aus derselben ein Theil des Salzes in großen vierseitigen Säulen aus.

Wenn man zu 4 Loth siedendem Wasser sowohl Salpeter als auch Bittersalz, von jedem etwa 2 Loth hinzusetzt, so krystallisirt beim Erkalten der Auflösung jedes der Salze für sich; die entstandenen Salpeterkrystalle sind frei von Bittersalz; die Bittersalzkrytalle enthalten keinen beigemengten Salpeter. — Die Krystallisation bietet daher dem Chemiker das sehr geeignete Mittel dar, Salze, welchen andere Substanzen beigemischt sind, von diesen zu scheiden, chemisch rein darzustellen.

Solche Salze, welche, wie das Kochsalz, in ziemlich gleichen Mengen kalten und heißen Wassers löslich sind, werden nicht durch Abkühlung, sondern durch Verdunstung des Wassers zum Krystallisiren gebracht.

§. 17. Beweglichkeit.

Unter Bewegung verstehen wir die Veränderung des Ortes, unter dem Orte die Stelle, welche ein Körper im Raume einnimmt. Um den Ort eines Körpers zu bestimmen, sind wir genöthigt, denselben auf andere Körper zu beziehen, deren Lage wir als gegeben annehmen. Wollen wir z. B. angeben, wo wir uns selbst befinden, so beziehen wir uns auf unseren Wohnort; die Lage unseres Wohnortes bestimmen wir, indem wir gewisse Punkte oder Linien auf der Erde als gegeben annehmen; wollten wir aber weiter fragen, wo die Erde sich befindet, so werden wir uns leicht überzeugen, daß wir hierauf keine bestimmte Antwort zu geben im Stande sind. Selbst wenn wir auch die Lage der Erde gegen andere Weltkörper zu bezeichnen vermöchten, so würde man uns doch weiter nach der Lage dieser Weltkörper fragen können. Es ist hiernach wohl einleuchtend, daß es überhaupt nicht möglich ist, den absoluten Ort eines Körpers im Raume anzugeben, und daß wir nur im Stande sind, den relativen Ort eines Körpers zu bestimmen, indem wir ihn auf andere Körper beziehen, deren Lage wir uns als gegeben denken. Eben so vermögen wir nur die relative, niemals die absolute Bewegung eines Körpers festzustellen.

Bei einer jeden Bewegung berücksichtigen wir den Weg, den der Körper zurücklegt, die Zeit, die Geschwindigkeit, die Richtung, die Masse des bewegten Körpers und die Kraft, welche die Bewegung hervorbringt.

Den Weg messen wir nach Fuß, Meilen u. dgl., die Zeit nach Jahren, Tagen, Stunden u. s. w. Durch die Vergleichung des Weges mit der Zeit gelangen wir zu dem Begriffe der Geschwindigkeit. Legt ein Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Wege zurück, so versteht man unter Geschwindigkeit den in einer Zeiteinheit zurückgelegten Weg. Als Zeiteinheit nimmt man in der Regel die Secunde an. Legt ein Körper in

gleichen Zeiten ungleiche Wege zurück, so versteht man unter der Geschwindigkeit den Weg, welchen der Körper in der Zeiteinheit zurücklegen würde, wenn der Zustand der Bewegung, in welchem er sich in einem bestimmten Momente befindet, unverändert fort dauerte. — Eine Bewegung, bei welcher die Geschwindigkeit beständig dieselbe bleibt, heißt gleichförmig; ändert sich aber die Geschwindigkeit, so heißt die Bewegung ungleichförmig. Die ungleichförmige Bewegung kann beschleunigt und verzögert sein. Ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung ist ein fallender Körper und ein Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper. Das einzige bekannte Beispiel einer gleichförmigen Bewegung ist die Agedrehung der Erde*) und wahrscheinlich auch die der übrigen Himmelskörper.

Wenn der Weg eines Körpers eine gerade Linie ist, so behält derselbe beständig dieselbe Richtung bei; beschreibt aber ein Körper eine krummlinige Bahn, so nimmt er in jedem folgenden Punkte derselben eine andere Richtung an. Man findet diese für einen bestimmten Punkt einer krummlinigen Bahn, indem man an dieselbe durch diesen Punkt eine Tangente zieht.

Die Kräfte, welche Bewegung hervorbringen, können momentan oder continuirlich wirken. Als eine momentan wirkende Kraft können wir den Stoß ansehen. Ein Beispiel einer continuirlichen Kraft ist die Schwere.

Da wir die Kräfte selbst nicht wahrzunehmen vermögen, vielmehr auf das Vorhandensein derselben nur aus ihren Wirkungen schließen, so werden wir auch nach diesen die Größe der bewegendes Kräfte beurtheilen müssen. Es ist klar, daß eine Kraft um so größer sein muß, je größer die Geschwindigkeit ist, welche sie einem Körper ertheilt, und je größer die Masse dieses Körpers ist. Weiter unten (S. 36) werden wir sehen, daß die Größe einer bewegendes Kraft im geraden Verhältnisse der Masse und Geschwindigkeit steht.

Auf einen Körper können auch zu gleicher Zeit mehrere Kräfte wirken. So wird z. B. der Mond zu gleicher Zeit von der Erde und der Sonne angezogen, Schiffe werden häufig durch die vereinte Kraft des Windes und der Ruder fortbewegt, u. dgl. m. Wenn auf einen Körper mehrere Kräfte so wirken, daß durch dieselben keine Bewegung hervorgebracht wird, so sagt man: die Kräfte halten sich das Gleichgewicht, wie dieses z. B. bei zwei gleichen, nach entgegengesetzten Richtungen wirkenden Kräften der Fall ist.

Die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte heißt Statik, die Lehre von der Bewegung Mechanik. Man unterscheidet die Statik im engeren Sinne, welche bloß von den festen Körpern handelt, von der Hydrostatik und Aero-Statik, welche das Gleichgewicht der flüssigen und luftförmigen Körper zu ihrem Gegenstande haben. Eben so behandeln die Mechanik, Hydraulik und Pneumatik die Gesetze der Bewegung fester, flüssiger und luftförmiger Körper. — Ubrigens faßt man auch wohl alle hier genannten Wissenschaften in den Gesamtnamen Mechanik im weitesten Sinne zusammen.

*) Wenigstens kommt diese einer gleichförmigen Bewegung so nahe, daß wir eine Abweichung hiervon nicht nachzuweisen im Stande sind. Wenn aber die Erde, wie von den meisten Geologen angenommen wird, in einer allmählich fortschreitenden Abkühlung begriffen ist, so muß auch die Zeit ihrer Agedrehung sich verkürzen, da in Folge der Zusammenziehung alle Punkte der Erde der Agedrehung näher rücken und folglich kleinere Kreise durchlaufen, — wenn auch diese Verkürzung erst in Jahrtausenden eine merkliche Größe erlangen dürfte.

Beispiele von Geschwindigkeiten in einer Secunde:

Geschwindigkeit eines Fußgängers, welcher 3 Meilen in 5 Stunden zurücklegt	4 Fuß.
eines Windhundes	80 "
eines englischen Rennpferdes	40 "
des berühmten Rennpferdes Sterling	80 "
eines Adlers	100 "
einer Brieftaube	120 "
eines schnellsegelnden Schiffes	14 "
eines Postwagens, welcher eine Meile in 50 Minuten zurücklegt	8 "
eines Dampfwagens, welcher in einer Stunde 6 Meilen macht	40 "
der meisten Flüsse	3—4 "
der Donau	5—6 "
eines mäßigen Windes	10 "
eines Sturmwindes	50 "
des heftigen Orkanes	120 "
des Schalles in der Luft	1044 "
einer Büchsenkugel	1500 "
einer 24pfündigen Kanonenkugel	2300 "
der Erde in ihrer Bahn (ohngefähr)	4 Meil.
des Lichtes	42000 "

Zu den vorstehenden Beispielen fügen wir noch hinzu: die Rotationsgeschwindigkeit eines Punktes auf dem Aequator der Erde beträgt 1431,5 Par. Fuß (1481,7 preuß. Fuß).

§. 18, a. Das Trägheitsgesetz und die Schwingkraft.

Von der Ruhe und der Bewegung der Körper gilt das Fundamentalgesetz: Jeder Körper beharrt so lange im Zustande der Ruhe oder Bewegung, bis er durch irgend eine äußere Ursache hieran verhindert wird. Was zunächst die Ruhe anlangt, so leuchtet uns die Nichtigkeit des Satzes sogleich ein. Daß aber auch jeder bewegte Körper das Bestreben hat, den Zustand der Bewegung, die er einmal erlangt hat, beständig beizubehalten, können wir durch keinen Versuch nachweisen, da bei allen auf der Erde bewegten Körpern Widerstand der Luft und Reibung vermindern auf die Geschwindigkeit derselben einwirken, bis sie zuletzt zur Ruhe kommen. Nur die Bewegungen der Himmelskörper bieten uns Beispiele solcher Bewegungen dar, welche, so weit unsere Erfahrungen reichen, mit unverminderter Geschwindigkeit fortbauern.

Daß aber jeder einmal in Bewegung gebrachte Körper diese Bewegung fortzusetzen strebt, lehren uns unzählige Erfahrungen: — Wenn der Wagen, in welchem wir sitzen, plötzlich anhält, so schwanken wir nach vorn; fährt derselbe plötzlich ab, so schwanken wir nach hinten; — der Dampfwagen setzt seine Bewegung fort, auch wenn die Maschine aufgehört hat zu wirken; — der Stein in unserer Hand, welchen wir durch rasche Schwingungen unseres Armes in Bewegung setzen, fährt fort sich zu bewegen, auch nachdem unsere Hand ihn losgelassen hat; — eben so setzen der Pfeil, welchen die Elasticität der Sehne, die Kugel, welche die Expanzion der Pulverdämpfe im Flintenlaufe in Bewegung setzte, ihre Bewegung noch fort, nachdem die Ursache dieser Bewegungen längst aufgehört hat zu wirken. — Der Hammer oder das Beil wird am Stiele befestigt, wenn man mit dem entgegengesetzten Ende des Stieles gegen eine feste Wand stößt oder auf dasselbe einen Schlag ausübt. — Auch folgende Beispiele gehören hierher: Wenn aus dem Mastkorbe eines schnell segelnden Schiffes ein Stein fällt, so fällt derselbe doch neben dem Maste nieder, obschon das Schiff während des Falles sich fortbewegt hat, weil nämlich der Stein die Bewegung, welche er mit dem

ganzen Schiffe theilte, so lange er sich im Mastkorbe befand, auch während des Fallens beibehält. — Ähnliches gilt von den Bällen, welche Kunstreiter auf rasch laufenden Pferden in die Höhe werfen und wieder auffangen.

Ueber bewegende Kräfte bemerken wir schon vorläufig Folgendes: Wenn eine Kraft andauernd auf einen bewegten Körper in der Richtung seiner Bewegung wirkt, so nimmt seine Geschwindigkeit fortwährend zu, wovon die in Folge der Schwere fallenden Körper (vergl. unten S. 38) ein deutliches Beispiel geben. Wie groß aber auch die auf einen Körper einwirkende Kraft sein mag, der vorher ruhende Körper beginnt seine Bewegung mit verschwindend kleiner Geschwindigkeit und diese nimmt nur allmählich zu. Umgekehrt: Wenn ein Körper frei beweglich ist, so reicht auch die kleinste Kraft aus, denselben in Bewegung zu setzen. — Anders verhält sich dies, wenn ein Körper auf einer Unterlage ruht; dann ist der Körper nicht frei beweglich, und die bewegende Kraft muß stark genug sein, um die Reibung zu überwinden. — Zwischen einer großen und einer kleinen Kraft ist nur der Unterschied, daß die erstere in kürzerer Zeit einem frei beweglichen Körper eine beträchtliche Geschwindigkeit erteilt, wozu die letztere eine längere Zeit gebraucht.

Der Zug auf der Eisenbahn beginnt seine Bewegung, wie groß auch die Kraft der gespannten Dämpfe der Locomotive sein mag, nur mit ganz geringer Geschwindigkeit, und diese nimmt nur allmählich zu, um so rascher, je größer die Spannkraft der Dämpfe ist. Es ist ganz unmöglich, daß der Zug sich sofort mit bedeutender Geschwindigkeit in Bewegung setzt. — Liegt die Bahn vollkommen horizontal und wirken die Dämpfe mit gleichbleibender Stärke, so leisten dieselben anfangs ein Doppeltes; sie überwinden die der Bewegung entgegenstehenden Hindernisse, Reibung und Widerstand der Luft, und vermehren die Geschwindigkeit des Zuges. Hat diese eine gewisse Größe erreicht, so wird die Dampfkraft nur noch zur Ueberwindung der der Fortbewegung entgegenstehenden Hindernisse verwendet; der Zug bewegt sich nun lediglich zufolge des Trägheitsgesetzes mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter, ohne daß die Dampfkraft hierzu unmittelbar etwas beiträgt.

Ganz Ähnliches gilt von einem Wagen, welcher auf einer festen und horizontalen Straße von Pferden fortgezogen wird. Soll der Wagen sehr rasch abfahren, d. h. in kurzer Zeit eine bedeutende Geschwindigkeit erlangen, so müssen die Pferde anfangs sehr stark anziehen, wobei es denn geschehen kann, daß zu schwache Stricke reißen, während dieselben gehalten haben würden, wenn die Pferde auch zu Anfange nur mit mäßiger Kraft angezogen hätten. Die Geschwindigkeit, mit welcher überhaupt die Fahrt gemacht werden soll, wäre ebenfalls sehr bald, wenn auch ein wenig später, erreicht worden.

Wenn ein Faden eben stark genug ist, um ein schweres Gewicht zu tragen, so kann dasselbe an dem Faden von dem Fußboden aufgehoben werden, wenn langsam emporgezogen wird. Der Faden zerreißt dagegen und das Gewicht wird nicht aufgehoben, wenn der Zug mit großer Festigkeit erfolgt.

Auch das bekannte Kunststück gehört hierher, bei welchem ein Kartenblatt auf die Mündung einer Flasche und auf die Karte gerade über der Mündung ein kleines Geldstück gelegt wird. Wird das Kartenblatt nicht zu rasch fortgezogen, so reicht die Reibung aus, das aufliegende Geldstück fortzubewegen. Wird aber das Kartenblatt horizontal mit Festigkeit fortgeschneilt, so wirkt die Reibung nur eine äußerst kurze Zeit auf das Geldstück ein, sie erteilt demselben daher auch nur eine ganz geringe Verschiebung und das Geldstück fällt in die Mündung der Flasche.

§. 18, b. Fortsetzung.

Ein bewegter Körper hat nicht bloß das Bestreben, seine Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung der Bewegung unverändert beibehalten, also in gerader Linie fortzuschreiten. Rein in Bewegung gesetzter und dann sich selbst überlassener Körper beschreibt eine krummlinige Bahn, wenn er nicht durch fortwährende Einwirkung einer continuirlichen Kraft hierzu genöthigt wird; — die geworfenen Körper zieht die Schwere, die Planeten die Anziehung der Sonne von der geraden Linie ab. Wenn die anziehende Kraft der Sonne plötzlich zu wirken aufhörte, so würden die Planeten nach der

Richtung der Tangente des Punktes ihrer Bahn, in welchem sie sich gerade beim Aufhören dieser Anziehung befänden, vermöge des Trägheitsgesetzes in gerader Linie fortgehen.

Die Schwere, nicht die krummlinige Bewegung unserer Hand ist der Grund, daß wir im Bogen werfen; wir vermögen keinen Stein um die Ecke zu werfen.

Jeder bewegte Körper hat, wie wir gesehen haben, das Bestreben, in gerader Linie fortzugehen, und setzt daher, wenn er durch irgend eine Ursache genöthigt ist, eine krummlinige Bahn zu durchlaufen, derselben einen Widerstand entgegen. Man nennt diesen Widerstand in der wissenschaftlichen Sprache: Schwungkraft*) oder Centrifugalkraft. Dieselbe ist es, welche den Faden spannt, an welchem wir einen geschwungenen Stein halten; sie ist der Grund der abgeplatteten Gestalt der Erde; sie nöthigt uns, bei raschem Laufen oder Reiten im Kreise den Oberleib nach dem Mittelpunkte des Kreises hinzuneigen, bis die Schwere der nach außen treibenden Schwungkraft das Gleichgewicht hält; sie bewirkt die Gefahr des Umwerfens bei einem Wagen, welcher im raschen Laufe um eine Ecke biegt, und veranlaßt, daß auf Eisenbahnen die Schienen an der äußeren Seite der Curven eine etwas höhere Lage als an der inneren erhalten, starke Krümmungen aber ganz vermieden werden müssen.

Die Schwungkraft ist dem Quadrate der Geschwindigkeit des bewegten Körpers direkt und dem Radius der Krümmung umgekehrt proportional.

Außerdem wächst dieselbe natürlich in gleichem Verhältnisse mit der Masse des bewegten Körpers.

Die Wirkung der Schwungkraft zeigt sich sehr deutlich beim Roulettepiel.

Auf derselben beruht auch das bekannte Kunststück mit einem Glase Wasser, welches man in einen Reifen stellt, der so rasch umgeschwungen wird, daß weder das Glas aus dem Reifen fällt, noch das Wasser ausfließt.

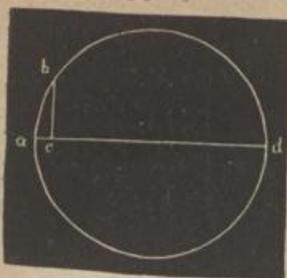
Wenn in einem nicht luftleeren Thermometer durch Erschütterung oder einen anderen Umstand eine Luftblase zwischen das Quecksilber gekommen ist, wodurch natürlich das Thermometer unbrauchbar wird, so läßt sich dieselbe dadurch beseitigen, daß man das Thermometer mit dem oberen Ende an einen Bindfaden befestigt und dann rasch im Kreise schwingt. Die Schwungkraft treibt das schwerere Quecksilber vom Mittelpunkte der Drehung weg, also nach der Kugel, und die leichtere Luftblase begibt sich über das Quecksilber nach der Spitze der Röhre hin.

Auf dem Principe der Centrifugalkraft beruhen auch mehrere gewerbliche Vorrichtungen; so unter andern der sogenannte Hydroextractor, welcher in Kattundruckereien und Bleichen angewendet wird, um das Auswinden der nassen Zeuge zu ersetzen. Derselbe besteht im wesentlichen aus einem cylinderförmigen Kessel mit vielfach durchlöchernten Wänden, welcher mit großer Geschwindigkeit um seine Aze gedreht werden kann. Bei der Umdrehung wird aus dem an die innere Seite der Wände angelegten feuchten Zeuge das Wasser vermöge der Centrifugalkraft ausgetrieben.

Das oben über die Größe der Schwungkraft angegebene Gesetz kann auf elementarem Wege in folgender Weise abgeleitet werden: Es sei ab (Fig. 9) ein sehr kleiner Bogen, welchen der bewegte Körper in der Zeiteinheit durchläuft; dann gibt, wenn wir durch den Endpunkt b eine Senkrechte bc auf den durch den andern Endpunkt a gehenden Durchmesser ad ziehen, ac die Entfernung an, um welche sich der bewegte

*) Im gemeinen Leben verbindet man mit diesem Worte einen andern Begriff; man versteht nämlich hierunter das Bestreben der Körper, den Zustand der einmal erlangten Bewegung vermöge des Trägheitsgesetzes beizubehalten; so z. B. in dem Worte Schwungrad, dessen Anwendung keineswegs auf der Schwungkraft, sondern lediglich auf dem Trägheitsgesetze beruht.

(Fig. 9.)



Körper in der Zeiteinheit von der durch *a* gehenden Tangente, welche er vermöge des Trägheitsgesetzes zu durchlaufen strebt, entfernt hat und kann daher als Maß der Schwingkraft dienen. Da wir den Bogen *ab* sehr klein angenommen haben, so werden wir denselben füglich mit der Sehne *ab* verwechseln dürfen. Denken wir uns noch *bd* gezogen, so ist in dem rechtwinkligen Dreiecke *abd*

$$ac : ab = ab : ad, \text{ also } ac = \frac{ab^2}{ad}$$

Nun ist *ab* offenbar der (tangentialen) Geschwindigkeit des bewegten Körpers, also ab^2 dem Quadrate dieser Geschwindigkeit proportional und *ad* gleich dem doppelten Radius, wonach durch die

eben erhaltene Formel die Richtigkeit des obigen Gesetzes dargethan ist.

Sezen wir den Radius = *r*, so ist der Durchmesser *ad* = $2r$, die Peripherie = $2r\pi$, und wenn wir die Umlaufszeit *t* nennen, der in der Zeiteinheit durchlaufene Bogen $ab = \frac{2r\pi}{t}$, folglich $ac = \frac{4r^2\pi^2}{t^2 \cdot 2r} = \frac{2r\pi^2}{t^2}$.

Wir können daher auch das Gesetz über die Größe der Schwingkraft in der folgenden, für weiter unten (§. 20) auszuführende Ableitungen bequemen Form ausdrücken:

Die Schwingkraft ist bei einer kreisförmigen Bewegung dem Radius direct und dem Quadrate der Umlaufszeit umgekehrt proportional.

Wir haben einmal die Schwingkraft dem Radius umgekehrt und das anderemal direct proportional angegeben. Zwischen diesen Angaben findet jedoch nur ein scheinbarer, kein wirklicher Widerspruch statt, indem sie sich auf ganz verschiedene Voraussetzungen beziehen. Das letztere findet statt, wenn zwei auf ungleichen Kreisen bewegte Körper, z. B. zwei auf der Erdoberfläche in ungleichen Abständen vom Aequator befindliche Körper, in der nämlichen Zeit einen Umlauf vollenden; dann ist die Schwingkraft für den auf dem größeren Kreise bewegten Körper die größere und zwar im Verhältniß der Größe des Radius. Das erstere ist der Fall, wenn zwei auf verschiedenen Bahncurven ungleicher Krümmung durchlaufen, in gleichen Zeiten gleich große Wege zurücklegen, also der eine in der Secunde eben so viel Fuß, wie der andere durchläuft. Dann ist die Schwingkraft für den auf der stärker gekrümmten Bahn bewegten Körper, d. h. auf der Bahn, welche den kleineren Krümmungsradius hat, die größere. Sie ist dann dem Radius umgekehrt proportional.

§. 19, c. Erhaltung der Drehungsebene.

Aus dem Trägheitsgesetze erklärt sich auch die Erscheinung, daß ein Körper, welcher sich frei um eine Aze dreht, die Lage derselben beizubehalten strebt, und einer Kraft, welche hierin eine Aenderung zu bewirken strebt, einen Widerstand entgegensetzt. Bei der Umdrehung beschreiben nämlich alle Theilchen des Körpers Kreise, deren Ebenen auf der Aze senkrecht stehn, und deren Mittelpunkte in die Aze fallen. Zufolge des Trägheitsgesetzes aber hat jedes Theilchen in jedem Punkte des von demselben durchlaufenen Kreises das Bestreben, in der Richtung der Tangente, also in einer geraden Linie fortzugehen, welche in die Ebene dieses Kreises fällt. Dasselbe setzt daher einer Kraft, welche es aus dieser Ebene abzulenken strebt, einen Widerstand entgegen, welcher um so beträchtlicher ist, je rascher die Umdrehung erfolgt. Es erklärt sich hieraus (wenigstens theilweise) die Erscheinung, daß eine Scheibe, ein Rad, ein Reifen, auch wenn sie eine etwas schiefe Lage haben, nicht umfallen, so lange sie rasch genug dahin rollen. Eben so beruht auf dem Angeführten die Erscheinung, daß die Aze der Erde bei dem Umlaufe um die Sonne, (abgesehen von einer kleinen Aenderung, welche aus der abgeplatteten

Gestalt der Erde und der von Sonne und Mond ausgeübten Anziehung entspringt), beständig in paralleler Lage fortschreitet. Ähnliches findet bei den übrigen Planeten statt.

Ein zur Darlegung des erörterten Principis von Bohnenberger construirter Apparat besteht aus einer um eine Aze drehbaren Kugel, welche (in ähnlicher Art wie die Schiffslampe, Fig. 34, aber nicht innerhalb zweier, sondern innerhalb dreier Ringe so angebracht ist, daß die Aze jede beliebige Lage annehmen kann. Hat man nun durch Abziehen einer um die Aze der Kugel gewundenen Schnur diese in rasche Umdrehung versetzt, so bleibt die Aze auch bei einer Wendung des ganzen Apparates ihrer ursprünglichen Lage parallel.

Auf dem Trägheitsgesetze beruht eben so der weiter unten (S. 40, b) zu beschreibende Pendelversuch von Foucault.

§. 19. Von der Schwere. *(Grunp) I*

Alle uns bekannten Körper sind schwer, d. h. sie haben das Bestreben, sich dem Mittelpunkte der Erde zu nähern; werden Körper durch eine Unterlage verhindert, diesem Streben zu folgen, so üben sie einen Druck aus, welchen wir Gewicht nennen. Schwere und Gewicht unterscheiden sich also von einander wie Ursache und Wirkung.

Wir unterscheiden absolutes und specifisches Gewicht; unter dem absoluten Gewichte verstehen wir den Druck an und für sich, welchen ein Körper vermöge der Schwere auf eine Unterlage ausübt. Zum Begriffe des specifischen Gewichtes gelangen wir, indem wir zugleich das Volumen des Körpers berücksichtigen. In der Regel werden hierbei alle anderen Körper mit dem Wasser verglichen, und wenn wir z. B. das specifische Gewicht des Platins = 21 setzen, so heißt dies: Platin ist 21 mal so schwer, als ein gleich großes Volumen Wasser, oder ein Volumen Platin wiegt eben so viel, als 21 gleich große Volumina Wasser. Wir drücken das absolute Gewicht nach Pfunden, Loten u. s. w. aus. Das specifische Gewicht dagegen ist eine bloße Verhältniszahl, welche anzeigt, wie vielmals ein Körper so schwer ist, als ein gleiches Volumen Wasser. — (Die Mittel, das specifische Gewicht der Körper zu bestimmen, werden wir weiter unten S. 53 u. 74 kennen lernen.)

Das absolute Gewicht eines Körpers dient uns zugleich als Maß der Masse desselben. Wir nehmen nämlich an, daß sich die Massen zweier Körper, welche wir an sich nicht zu ermitteln vermögen, wie ihre absoluten Gewichte verhalten. Masse und Gewicht sind jedoch darum nicht gleich bedeutende Ausdrücke. So vermindert sich z. B. das Gewicht eines Körpers, wie wir gleich weiter sehen werden, mit der Entfernung von der Erdoberfläche, während doch seine Masse dieselbe bleibt.

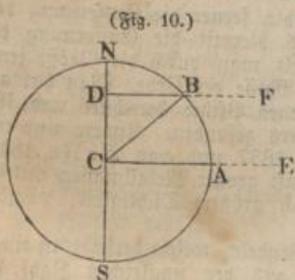
Wenn ein Körper nicht unterstützt ist, so fällt er; ohne den Widerstand der Luft würde ein fallender Körper in der ersten Secunde (ohngefähr) 15 Par. Fuß durchlaufen; in jeder folgenden Secunde aber legt er einen größeren Weg zurück, da seine Bewegung wegen der fortbauenden Wirkung der Schwere eine beschleunigte ist. Von den Gesetzen des freien Falles werden wir unten (in S. 38) ausführlich handeln.

Die Richtung der Schwere geht nach dem Mittelpunkte der Erde; ganz streng gilt dieses jedoch nur für den Aequator und die Pole der Erde; an anderen Stellen weicht die Richtung der Schwere, da die Erde keine vollkommene Kugel ist, ein wenig von der Linie nach dem Mittelpunkte ab.

Wir haben uns die Schwere nicht als eine von dem Mittelpunkte der Erde ausgehende, sondern als eine Kraft zu denken, welche durch die gesammte Anziehung, die alle materiellen Theile der Erde ausüben, hervor gebracht wird; sie ist deshalb nach dem Mittelpunkte gerichtet, weil um diesen die gesammte Masse der Erde gleichförmig vertheilt ist.

Die Schwere ist am größten an der Erdoberfläche; sie nimmt ab, wenn wir uns von der Oberfläche nach der Höhe oder Tiefe entfernen. Die erste Hälfte dieses Satzes, daß die Schwere um so mehr abnimmt, je mehr wir uns über die Oberfläche der Erde erheben, also auf hohen Bergen geringer als im Thale ist, sind wir leicht geneigt zuzugeben. Von der Richtigkeit der andern Hälfte, daß die Schwere im Innern der Erde mit der Tiefe ebenfalls abnehmen muß, überzeugen wir uns durch folgende Ueberlegung: Denken wir uns zunächst in den Mittelpunkte der Erde, so ist klar, daß die anziehenden Kräfte hier nach allen Seiten gleich stark wirken und sich gegenseitig aufheben, also die Schwere im Mittelpunkte gleich Null ist. Wir würden hier, wo es kein oben und unten mehr gibt, jede beliebige Lage nach Willkür annehmen und in derselben beharren können, ohne je besorgen zu müssen, zu fallen. — Entfernen wir uns nun vom Mittelpunkte nach der Oberfläche hin, so ist klar, daß die anziehende Kraft der Masse, welche wir unter uns zurückgelassen haben, die anziehende Kraft der Masse, welche sich noch über uns befindet, übertrifft und zwar um so mehr, je weiter wir uns vom Mittelpunkte entfernen und der Oberfläche nähern, und daß folglich die Schwere an der Oberfläche, wo die ganze Masse nach unten hin anziehend wirkt, am größten sein muß.

Die Schwere ist aber auch nicht für alle Gegenden der Erdoberfläche dieselbe; sie ist am Aequator am kleinsten und nimmt nach den Polen hin zu, theils deshalb, weil wegen der abgeplatteten Gestalt der Erde die Punkte des Aequators um ohngefähr drei Meilen weiter vom Mittelpunkte der Erde entfernt sind, als die Pole, theils deshalb, weil die Verminderung, welche die Schwere durch die aus der Aendrehung der Erde hervorgehende Schwingkraft erfährt, am Aequator mehr als in höheren Breiten beträgt. Ist näm-



lich A (Fig. 10) ein Punkt des Aequators, B ein zwischen dem Aequator und dem Pole gelegener Punkt der Erdoberfläche, so ist zunächst die aus der Aendrehung der Erde hervorgehende Schwingkraft in A größer als in B, weil der Abstand AC des Punktes A von der Drehungsaxe NS größer ist als der Abstand BD des Punktes B von dieser Axe und also der Punkt A in der nämlichen Zeit einen größeren Kreis beschreibt, als der Punkt B. Zweitens wirkt in A die Schwere in der

Richtung AC, die Schwingkraft in der Richtung AE, und da diese Richtungen einander gerade entgegengesetzt sind, so wird die Schwere hier um die volle Größe der Schwingkraft vermindert. Im Punkte B dagegen wirkt die Schwere in der Richtung BC, die Schwingkraft in der Richtung BF, und da diese Richtungen einen (stumpfen) Winkel einschließen, so wird hier die Schwere zwar ebenfalls durch die Schwingkraft vermindert, aber nicht um die volle Größe derselben (vergl. unten §. 24 u. 25). Die Verminderung, welche

die Schwere durch die Schwingkraft erfährt, ist also aus zwei Gründen in B kleiner als in A, erstens weil schon an sich die Schwingkraft in B kleiner als in A ist, und zweitens weil in B die Schwere nicht um die volle Größe, sondern nur um einen Theil dieser kleinern Schwingkraft vermindert wird.

Die Schwere ist unter dem Aequator ohngefähr um $\frac{1}{300}$ kleiner als in unseren Breiten und ohngefähr um $\frac{1}{200}$ kleiner als am Pole. Man würde daher mit einem gleichen Aufwande von Muskelkraft am Aequator eine Last von 100 \mathcal{L} , in unseren Breiten von $99\frac{2}{3}$ \mathcal{L} und am Pole $99\frac{1}{2}$ \mathcal{L} tragen können*).

Die angeführten Bestimmungen sind durch die Beobachtungen von Pendelschwingungen (vergl. unten S. 40) erhalten worden. Da nämlich das Pendel durch die Schwere in Bewegung gesetzt wird, so ist klar, daß dasselbe an einem Orte um so rascher schwingen, also in einem Tage, einer Stunde um so mehr Schwingungen machen muß, je größer an diesem Orte die Schwere ist. Umgekehrt wird man aus der verschiedenen Zahl der Schwingungen, welche dasselbe Pendel an zwei Orten in der nämlichen Zeit macht, auf die verschiedene Größe der Schwere an beiden Orten schließen können. Ein Pendel, welches am Aequator Secunden schwingt, also in jeder Stunde 3600 Schwingungen macht, macht in unseren Breiten ohngefähr 5 und am Pole 9 Schwingungen mehr in der Stunde.

Eben so haben Beobachtungen von Pendelschwingungen gezeigt, daß die Schwere auf hohen Bergen geringer ist, als im Thale.

Wir haben oben gesagt, daß die Schwere eine Folge der Anziehung sei, welche alle Theile der Erde auf die Körper ausüben. Wenn diese Ansicht richtig ist, müssen auch die Körper auf der Erdoberfläche sich gegenseitig anziehen. Da aber die Masse des größten Berges, wenn sie mit der Masse der Erde verglichen wird, nur als ein sehr Geringes erscheint, so können auch diese Anziehungen nur sehr klein sein. Sehr sorgfältig angestellte Versuche**), bei welchen man ein Pendel zu beiden Seiten eines Berges aufhing, haben wirklich gezeigt, daß das Pendel ein wenig von der Richtung nach dem Mittelpunkte der Erde gegen die Masse des Berges hin abgelenkt wurde./

Indem man die Masse des Berges zu ermitteln suchte, ferner die Entfernung derselben von dem aufgehängten Pendel bestimmte und hiermit die Entfernung des Pendels vom Mittelpunkte der Erde verglich, so erhielt man durch die Größe jener Ablenkung ein Mittel zur Abschätzung der gesammten Masse der Erde. Man hat auf diese Art die Masse der Erde zu etwa 10 Quadrillionen Pfund berechnet und ihre Dichtigkeit 4,7mal so groß, als die Dichte des Wassers gefunden. Andere und mit großer Sorgfalt (von Cavendish 1797, von Reich 1837 und von Baily 1842) angestellte Versuche, bei denen man die anziehende Kraft großer Metallmassen mit der Anziehung der Erde verglich, haben für diese eine noch größere Dichtigkeit, nämlich 5,3 bis 5,7 ergeben.

Endlich hat Airy (1834) aus Beobachtungen an Pendeln, welche derselbe in einem Bergwerkschachte und an der Oberfläche anstellte, aus der ungleichen Zahl der Schwingungen, welche dieselben in gleichen Zeiten vollendeten, die ungleiche Größe der Schwere an den Beobachtungspunkten und die mittlere Dichtigkeit der Erde, letztere = 6,5 hergeleitet.

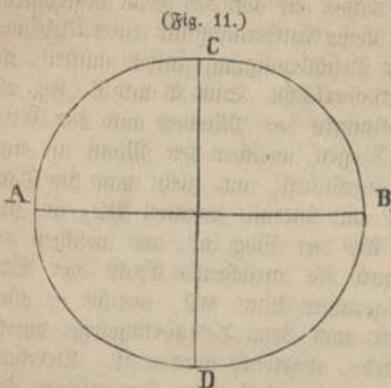
Obschon die Ergebnisse dieser mit großer Schwierigkeit verbundenen Versuche von einander abweichen, so führen sie doch übereinstimmend zu dem in geologischer Hinsicht

*) Bezeichnet g die Schwere am Aequator, g' die Breite eines Ortes, so ist die Schwere an demselben = $g(1 + 0,0032 \sin^2 \varphi)$.

**) Diese Versuche sind in den Jahren 1774—1776 von Maskelyne und Hutton in der Nähe des Berges Schhallien an der Grenze von Schottland angestellt worden.

höchst wichtigen Resultate, daß die Erde im Innern eine größere Dichtigkeit als an der Oberfläche besitzt, indem die Massen, welche die Erdrinde zusammensetzen, nur etwa 3mal so dicht als Wasser sind.

Ueber die Gestalt der Erde bemerken wir noch Folgendes: Nach den mit der äußersten Sorgfalt ausgeführten Gradmessungen übertrifft der Durchmesser die Aze ohngefähr um $\frac{1}{300}$ (genauer $\frac{1}{299}$). Obschon die in verschiedenen Gegenden der Erde vorgenommenen Messungen zu keinem genau übereinstimmenden Resultate geführt haben, so scheint doch die Gestalt der Erde der eines Sphäroids sehr nahe zu kommen. — Man versteht aber unter einem Sphäroid einen Körper, welcher entsteht,



wenn man eine Ellipse um ihre größte oder kleinste Aze dreht. In Betreff der Gestalt der Erde hat man sich eine Ellipse vorzustellen, deren große Aze AB (Fig. 11) die kleine CD nur um $\frac{1}{300}$ übertrifft, und sich dieselbe um die kleine Aze CD gedreht zu denken. Die bei dieser Umdrehung in gänzlicher Ruhe bleibenden Punkte C und D entsprechen den Polen und der von dem Punkte A oder B beschriebene Kreis entspricht dem Aequator der Erde.

Wie wir oben gesehen haben, muß die Schwere am Aequator sowohl wegen der aus der Azendrehung der Erde hervorgehenden Schwingkraft, als auch wegen der größeren Entfernung der Punkte des Aequators vom Mittelpunkte der Erde kleiner

sein, als an den Polen. Wenn wir nach Anleitung der Anmerkung zu S. 18, b die Linie ac in Fig. 9 berechnen, indem wir als Zeiteinheit eine Secunde annehmen und diese Größe mit dem Fallraume für eine Secunde (15 Par. Fuß ohngefähr) vergleichen, so finden wir, daß die Schwingkraft am Aequator nahe dem 289. Theile der Schwere gleich ist. Nach S. 18 wächst die Schwingkraft, wenn die Umlaufszeit abnimmt und zwar im umgekehrten quadratischen Verhältnisse. Nun ist 289 das Quadrat von 17, und es würde folglich die Schwingkraft am Aequator der Schwere gleichkommen, wenn sich die Erde 17mal rascher, also in der Zeit von ohngefähr 1,4 Stunden um ihre Aze drehte. Es würden dann die Körper am Aequator schwerlos, ohne Gewicht sein; bei noch rascherer Azendrehung aber würden alle losen Körper fortgeschleudert werden.

§. 20. Das Newton'sche Gravitationsgesetz.

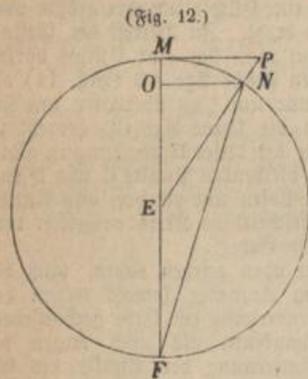
Wenn wir uns von der Erde entfernen, so nimmt die Schwere ab und zwar im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde*), d. h. in einem Abstände vom Mittelpunkte, welcher dem doppelten, dreifachen Radius gleich ist, ist die Schwere nur der vierte, neunte Theil von der Schwere an der Oberfläche der Erde.

Newton hat dieses Gesetz zuerst für die Kraft nachgewiesen, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht. Indem er nämlich für die bereits bekannten Bahnen, welche die Planeten um die Sonne beschreiben, die Größe der Schwingkräfte (Centrifugalkräfte) berechnete, fand er, daß dieselben dem Quadrate der Abstände der Planeten von der Sonne umgekehrt proportional sind, und da nun die Schwingkraft (Centrifugalkraft) offenbar durch die anziehende Kraft der Sonne (Centripetalkraft) aufgehoben werden muß, damit der Planet sich nicht nach dem Trägheitsgesetze in gerader Linie fortbewege, sondern seine krummlinige Bahn um die Sonne beschreibe, so folgte hieraus,

*) Dieses Gesetz gilt jedoch nur für größere Entfernungen von der Erde; in der Nähe der Oberfläche bringt die abgeplattete Gestalt der Erde Abweichungen von demselben hervor.

daß auch die Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht, umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Planeten von der Sonne abnimmt.

Newton untersuchte nun weiter (1682), ob dieses Gesetz auch für die Kraft gälte, mit welcher die Erde den Mond anzieht. Da nämlich der Abstand des Mondes von der Erde ohngefähr 60 Erdhalbmessern gleich ist, so muß ein Körper in der Entfernung des Mondes von der Erde mit einer 3600mal schwächeren Kraft als an der Oberfläche der Erde angezogen werden.



Es wird daher ein von der Erde angezogener Körper in dieser Entfernung mit einer 3600mal geringeren Beschleunigung fallen müssen, als an der Erdoberfläche. Sind M und E (Fig. 12) die Mittelpunkte des Mondes und der Erde, MN der Bogen, welchen der Mond in einer Secunde durchläuft, und zieht man die Tangente MP und hiermit parallel NO, so gibt offenbar MO den Weg an, um welchen der Mond durch die anziehende Kraft der Erde von der geraden Linie MP, welche er ohne diese Kraft nach dem Trägheitsgesetze durchlaufen würde, abgelenkt worden ist. Berechnet man nun aus der bekannten Umlaufszeit des

Mondes (27 Tage 8 Stunden ohngefähr) zunächst die Größe des Bogens MN und hieraus die Linie MO, so findet man, daß sich dieselbe zu dem Fallraume eines Körpers an der Erdoberfläche (15 Par. Fuß) wie 1 : 3600 verhält, folglich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernung des Mondes und eines Punktes an der Oberfläche der Erde vom Mittelpunkte der Erde. Die nämliche Kraft also, welche den Stein zur Erde zieht, ist es zufolge des Newton'schen Gesetzes auch, welche den Mond in seiner Bahn erhält.

Da der mittlere Abstand des Mondes von der Erde ohngefähr 51,800 geogr. Meilen, also der Umfang der Mondbahn 325,500 Meilen beträgt und der Mond seinen Umlauf um die Erde in ohngefähr 27 Tagen 8 Stunden = 2,361,600 Secunden vollendet, so ist der Bogen MN, welchen der Mond in einer Secunde durchläuft, = 0,138 M. Da dieser Bogen nur einen sehr kleinen Theil des ganzen Umfangs ausmacht, so werden wir denselben ohne erheblichen Fehler mit der Sehne MN verwechseln können. Ziehen wir nun noch den Durchmesser MF, dann verhält sich in dem rechtwinkligen Dreieck MNF $MO : MN = MN : MF$.

Wir erhalten also für die Größe, um welche der Mond durch die Anziehung der Erde während einer Secunde von der geradlinigen Tangente MP abgelenkt wird, den Werth

$$MO = \frac{MN^2}{MF} = \frac{0,138^2}{103600} \text{ Meilen,}$$

oder da eine geogr. Meile ohngefähr = 22,800 Par. Fuß ist,

$$MO = \frac{0,138^2 \cdot 22800}{103600} = 0,00418 \text{ Par. Fuß.}$$

Bezeichnen wir diese Größe mit s, den Fallraum eines Körpers an der Erdoberfläche in der ersten Secunde, welcher bekanntlich 15 Par. Fuß beträgt, mit f, so bekommen wir die Proportion $s : f = 0,00418 : 15$, wofür wir auch annähernd, da wir ja überhaupt nur mit Näherungswerten gerechnet haben, setzen können $s : f = 1 : 3600$.

Zur Auffindung des Gravitationsgesetzes wurde Newton besonders durch die vorgegangenen Entdeckungen des großen Kepler in den Stand gesetzt. Kepler hatte nämlich bereits gefunden (s. unten S. 42), daß sich die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten (t und t') wie die Kuben der mittleren Abstände von der Sonne (r und r') verhalten, also $1) t^2 : t'^2 = r^3 : r'^3$.

Nun sind aber nach §. 18, b die Schwingkräfte k und k' den Radien direct und den Quadraten der Umlaufzeiten umgekehrt proportional; also

$$2) k : k' = \frac{r}{t^2} : \frac{r'}{t'^2} = r t'^2 : r' t^2 = (r : r') \cdot (t'^2 : t^2)$$

Nach (1) verhält sich $t'^2 : t^2 = r^3 : r'^3$.

Setzen wir diesen Wert von $t'^2 : t^2$ in (2) ein, so ergibt sich

$$3) k : k' = r'^2 : r^2$$

d. h. die Schwingkräfte zweier Planeten und folglich auch die Kräfte, mit welchen dieselben von der Sonne angezogen werden, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer mittleren Abstände von der Sonne.

Durch Vergleichung der Kraft, mit welcher der Mond von der Erde angezogen wird, mit der Kraft, mit welcher die Sonne die Erde oder einen anderen Planeten anzieht, läßt sich auch die Masse der Sonne im Vergleich zur Masse der Erde berechnen. Man findet so, daß die Masse der Sonne ohngefähr 360,000mal größer als die Masse der Erde ist. Eben so läßt sich für die Planeten, welche von Nebenplaneten begleitet sind, aus dem Abstände vom Hauptplaneten und der Umlaufzeit die anziehende Kraft des Hauptplaneten, also auch seine Masse berechnen. Größere Schwierigkeit bietet diese Ableitung bei denjenigen Planeten dar, welchen ein Trabant fehlt; man benutzt dann für diesen Zweck die in §. 22 angeführten Perturbationen, worauf wir jedoch hier nicht näher eingehen können. /

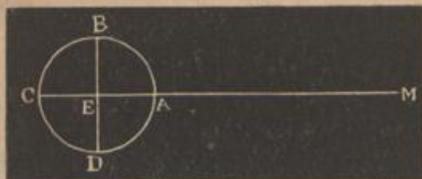
§. 21. Ebbe und Flut.

Daß auch umgekehrt der Mond die Erde anzieht, beweisen die Erscheinungen der Ebbe und Flut. Man bemerkt nämlich an den Küsten größerer Meere täglich ein zweimaliges Steigen (Flut) und Fallen (Ebbe) des Meerwassers. Der Unterschied zwischen dem höchsten Stande bei der Flut und dem niedrigsten bei der Ebbe ist für verschiedene Küsten sehr verschieden; er beträgt an den norddeutschen Küsten bei windstillem Wetter ohngefähr 12 Fuß. Die Flut erreicht ihre größte Höhe, nachdem der Mond durch den Meridian des Ortes gegangen ist, und dann ohngefähr 12 Stunden später, wenn er diesem Punkte gegenüber steht. Die Ebbe und Flut treten nicht immer zu derselben Tageszeit ein, sondern verspäten sich mit jedem folgenden Tage ohngefähr um 50 Minuten ganz eben so wie die Durchgänge des Mondes durch den Meridian. Die Unterschiede zwischen dem höchsten Stande des Meerwassers bei der Flut und dem tiefsten Stande bei der Ebbe sind beträchtlicher, wenn sich der Mond auf seiner elliptischen Bahn in der Erdnähe, als wenn er sich in der Erdferne befindet. Die höchsten Fluten (Springfluten) finden zur Zeit des Neu- und Vollmondes statt.

Diese Thatfachen lassen wohl keinen Zweifel, daß die Erscheinungen der Ebbe und Flut ihre Entstehung wesentlich der anziehenden Kraft des Mondes verdanken.

Um diese Einwirkung des Mondes deutlicher einzusehn, erinnern wir zunächst daran, daß ohne die anziehende Kraft der Sonne die Erde zufolge des Trägheitsgesetzes in gerader Linie nach der Richtung der Tangente des Punktes ihrer Bahn, in welchem sie sich beim Aufhören dieser Anziehung gerade befände, fortgehen würde. Durch die anziehende Kraft der Sonne wird eine fortwährende Ablenkung von der geraden Linie, gleichsam ein beständiges Fallen gegen die Sonne hin veranlaßt, in Folge dessen die Erde eine elliptische Bahn beschreibt. Denken wir uns nun noch die anziehende Kraft des Mondes hinzutretend, so wird diese ebenfalls eine, wenn auch wegen der schwächeren Anziehungskraft des Mondes unvergleichlich kleinere Ablenkung von der elliptischen Bahn gleichsam ein geringes Fallen der Erde gegen den Mond hin herbeiführen. Ist M (Fig. 13) der Mittelpunkt des Mondes, E der Mittelpunkt der Erde und $ABCD$ ein durch diese Punkte gehender Durchschnitt derselben, so wird offenbar der Punkt A , welcher den Mond im Zenith hat, stärker, der Punkt C , welcher den Mond im Nadir hat, schwächer angezogen als der Mittelpunkt E . Denken wir

(Fig. 13.)



uns nun die ganze übrige Erdmasse weg und nur die 3 Punkte A, E, O übrig bleibend, so wird A mit größerer, O mit geringerer Beschleunigung gegen den Mond hin fallen, als der Mittelpunkt E, und in Folge dieser Verschiedenheit sich der gegenseitige Abstand dieser Punkte von einander vergrößern. Ähnliches wird auch dann eintreten, wenn die Erde an ihrer

Oberfläche mit einer Wasserschicht umgeben ist. Das Wasser wird in A und C wegen der verschiedenen Beschleunigung durch den Mond sich vom Mittelpunkte E entfernen, also steigen und in Folge hiervon bei B und D fallen. Diejenigen Gegenden, für welche der Mond im Zenith oder Nadir steht, werden also Flut und diejenigen, welche ihn im Horizonte erblicken, werden Ebbe haben, und da die Erde sich in 24 Stunden um ihre Aze dreht, so werden auch die angeführten Erscheinungen in dieser Zeit einen Umlauf um die Erde machen.

Ebbe und Flut können sich jedoch nur in weit ausgedehnten Meeren zeigen und sind in Binnenmeeren, wie in der Ostsee, im Caspischen Meere und dgl. unmerklich. Denn da hier alle Theile der Oberfläche eine fast gleiche Anziehung durch den Mond erleiden, so kann das Wasser auf keiner Stelle derselben beträchtlich höher als an einer andern Stelle stehen.

Nach dieser Darstellung müssen auch durch die anziehende Kraft der Sonne Ebben und Fluten hervorgerufen werden; diese sind jedoch unvergleichlich schwächer als die vom Monde bewirkten. Denn wenn auch die Erde von der Sonne weit stärker angezogen wird, so findet doch wegen der ungeheuren Entfernung der Sonne von der Erde zwischen der Kraft, mit welcher die der Sonne zugewendeten Theile der Erde, und derjenigen, mit welcher die abgewendeten angezogen werden, ein weit geringerer Unterschied statt, als bei der Anziehung durch den viel nähern Mond der Fall ist. — Bei den Neu- und Vollmonden vereinigen sich die von der Sonne bewirkten Fluten mit den vom Monde hervorgebrachten Fluten und verstärken dieselben. In Hinsicht der Neumonde ist die Richtigkeit dieser Behauptung an sich einleuchtend, da hier Sonne und Mond an der nämlichen Seite der Erde sich befinden und daher beide in gleichem Sinne wirken. Dasselbe muß aber auch bei dem Vollmond stattfinden, bei welchem Sonne und Mond an entgegengesetzten Seiten der Erde stehn, wie schon daraus hervorgeht, daß zufolge der vorhergehenden Auseinandersetzung durch den Mond bei A und C Fluten, bei B und D Ebben sowohl dann bewirkt werden, wenn der Mond sich dem Punkte A, als wenn sich derselbe dem Punkte C gegenüber befindet. Da nun das nämliche offenbar auch von der Wirkung der Sonne gelten muß, so müssen folglich eben so wohl verstärkte Fluten eintreten, wenn Sonne und Mond sich wie beim Neumonde an derselben Seite der Erde befinden, als auch wenn dieselben sich wie beim Vollmonde gerade gegenüber stehn. — Um dieses noch deutlicher zu zeigen, fügen wir Folgendes hinzu:

Wie wir oben gesehen haben, hängt die Größe der Fluten in A und C (Fig. 13) von dem Unterschiede der Anziehungen ab, welche diese Punkte vom Monde oder von diesem und der Sonne erleiden. Bezeichnen wir nun mit M die Kraft, mit welcher der nähere Punkt A vom Mond M angezogen wird, und mit $M - m$ die Kraft, mit welcher der Mond auf den weiter entfernten Punkt C anziehend wirkt, ferner mit S die Anziehung, welche beim Vollmonde die diesem gegenüberstehende Sonne auf den Punkt A ausübt, und mit $S + s$ die Anziehung, welche der der Sonne nähere Punkt C von derselben erfährt, so ergeben sich als Resultirende der nach entgegengesetzten Richtungen wirkenden Anziehungen für den Punkt A die Differenz $S - M$, für den Punkt C aber $S + s - (M - m) = S - M + s + m$. Diese Resultirenden unterscheiden sich also beim Vollmond um die Größe $s + m$, während sich ohne die Wirkung der Sonne die Anziehungen, welche die Punkte A und C vom Monde allein erleiden würden, nur um die Größe m unterscheiden. Es wird folglich beim Vollmonde, eben so wie beim Neumonde, die durch den Mond hervorgebrachte Flut durch die Sonne verstärkt. — Bei dem ersten und letzten Viertel dagegen treffen die von der Sonne bewirkten Ebben mit den Mondfluten zusammen und schwächen dieselben. Die Fluten sind daher größer beim Neu- und Vollmonde als bei dem ersten und letzten Viertel.

Die Verschiedenheit dieser Fluten führt zu einer Vergleichung zwischen der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes, woraus sich auf die Masse des Mondes

schließen läßt. Man hat auf diese Art gefunden, daß die Masse des Mondes ohngefähr dem 80sten Theile von der Masse der Erde gleich ist.

§. 22. Perturbationen der elliptischen Bahnen der Planeten.

So wie die Sonne, die Erde und der Mond sich gegenseitig anziehen, so ziehen auch die Planeten einander an. Diese gegenseitigen Anziehungen bewirken, daß die Planeten keine vollkommenen Ellipsen um die Sonne beschreiben, und da sie bei jedem Umlaufe ihre gegenseitigen Stellungen verändern, also auch verschoben auf einander einwirken, nie wieder genau denselben Weg durchlaufen, sondern immer abweichende Bahnen beschreiben, welche gleichsam in kleinen Schwankungen um eine vollkommene Ellipse oscilliren.

Diese Perturbationen sind jedoch, verglichen mit der eigentlichen elliptischen Bewegung, welche durch die anziehende Kraft der Sonne bewirkt wird, nur sehr klein, da die ungeheure Masse der Sonne die Masse aller Planeten zusammen um mehr, als 800mal übertrifft. Irrig dagegen ist die Ansicht, daß die Planeten in festen, durchaus unveränderlichen Bahnen die Sonne umkreisen. In der Natur findet sich überhaupt nichts Bleibendes, Ruhendes; ewig unveränderlich ist nur die Macht und Liebe des Schöpfers.

Aus den Perturbationen des Uranus hat der Pariser Astronom le Verrier das Vorhandensein und selbst den Ort eines jenseits des Uranus sich um die Sonne bewegenden, aber bis dahin noch unbekanntem Planeten, des Neptun hergeleitet, welcher wirklich nahe an der vorher verkündigten Stelle am 23. September 1846 aufgefunden worden ist.

So wie nach dem Newton'schen Gesetze die Kräfte, mit denen die Körper sich gegenseitig anziehen, mit der Entfernung rasch abnehmen, eben so müssen diese Kräfte nach demselben Gesetze mit der Annäherung stark wachsen, und sie müssen bei der unmittelbaren Berührung unvergleichlich am stärksten sein; und wirklich haben wir oben in §. 13 gesehen, daß die Theile der Körper bei der Berührung starke Anziehungen äußern, welche dagegen schon bei dem kleinsten wahrnehmbaren Abstände unmerklich werden. Wir können hiernach vermuthen, daß die Cohäsion, Adhäsion und Schwere nicht verschiedene Kräfte, sondern nur Modifikationen ein und derselben Grundkraft sind.

Zweiter Abschnitt.

Von den mechanischen Erscheinungen fester Körper.

§. 23. Zusammensetzung und Zerlegung paralleler Kräfte.

Wenn auf einen Punkt eines Körpers mehrere Kräfte wirken, so können sich dieselben entweder gegenseitig aufheben, z. B. zwei gleiche, nach entgegengesetzten Richtungen wirkende Kräfte, oder sie bringen eine Bewegung hervor. Im letzteren Falle ist es immer möglich, sich eine Kraft zu denken, welche allein im Stande ist, die nämliche Bewegung hervorzubringen. Ein Beispiel, wo mehrere Kräfte zusammen eine Bewegung hervorbringen, ist ein Rammkloß, wie man sie zum Einrammen der Pfähle gebraucht. Dasselbe wird durch eine Menge Seile, die sich in einem Punkte vereinigen und an ihren Enden von einer großen Zahl Menschen angezogen werden, in die Höhe gehoben. Es ist klar, daß eine hinreichend große Kraft diese Bewegung allein hervorbringen würde. — Eine Kraft, welche allein das nämliche wirkt als mehrere gegebene Kräfte zusammen, wird die Resultirende, auch Mittelkraft, und die gegebenen Kräfte werden Seitenkräfte oder Componenten genannt.