A. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

§ 1. Ausdehnung, Undurchdringlichkeit, Mafs der Körper.

Ausdehnung. Jeder materielle Körper erfüllt den Raum nach drei Dimensionen: der Höhe, Länge und Breite, bis zu gewissen, von seinem eigenen Zustande und äusseren Einwirkungen bedingten Grenzen, was mit der Ausdehnung desselben bezeichnet wird.

Undurchdringlichkeit. Hieraus folgt, dass kein zweiter Körper gleichzeitig denselben Raum erfüllen kann, was als Undurchdringlichkeit bezeichnet wird. Dieselbe gilt bei festen Körpern für das Ganze ohne wesentliche Formänderung, wie uns der Widerstand zweier gegeneinander gestossener Gegenstände fühlbar macht; bei Flüssigkeiten und Dämpfen nur für ihre sich nebeneinander lagernden Einzelteile, welche sich gegenseitig nicht durchdringen, obwohl die gemeinsam angenommene äufsere Form dies so erscheinen lässt.

Das Mafs der Körper. Die Grösse der Ausdehnung der Körper wird nach Mafsen bestimmt. Wir messen dieselben nach der Linear- in einer, nach der Flächen- in zwei, nach der Körperausdehnung in drei Richtungen.

Längenmafs. Bei der grossen Mannigfaltigkeit der gebräuchlichen Mafse hat die Wissenschaft, später auch die deutsche Gesetzgebung, als Einheit das Meter*) (*m*) angenommen.

*Das Meter ist der zehnmillionste Teil eines Erdquadranten***).

Man teilt das Meter nach der Zehnteilung ein:

1 Meter (*m*)	=	10 Decimeter (*dm*)
	=	100 Centimeter (*cm*)
	=	1000 Millimeter (*mm*)
10 „	=	1 Dekameter
100 „	=	1 Hektometer
1000 „	=	1 Kilometer (*km*).

Das Meter ist gleich $38^1/_4$ rheinischen Zollen. Ein Zoll zerfiel in 12 Linien, 12 Zoll bilden einen Fuss, 12 Fuss eine Rute; 24000 Fuss = 1 deutsche geogr. Meile = 7,5 *km*.

Flächen- und Körpermafse. Als Flächenmafs bildet das Quadratmeter (*qm*), als Körpermafs das Kubikmeter (*cbm*) die

---

*) μέτρον, Mafsstab.

**) Erdquadrant = Entfernung des Pols vom Äquator (der 4. Teil eines Meridians). Man hatte zur Zeit der ersten Revolution in Frankreich dort durch genaue Gradmessungen die Grösse des Meters festgestellt.

Einheit. Für Flüssigkeiten bedient man sich der Hohlmafse, deren Einheit das Liter*) (*l*) ist.

Das Liter ist gleich 1 Kubikdecimeter oder 1000 Kubikcentimeter oder 1000000 Kubikmillimeter.

Das frühere Flächenmafs gebrauchte Quadratzoll, Quadratfuss und Quadratruten, sowie Quadratmeilen. Als Körpermafs galten der Kubikzoll, der Kubikfuss, die Kubikrute. Als Hohlmafs diente in Preussen das Quart, etwas grösser als das Liter.

§ 2. Teilbarkeit, Aggregatzustände.

Teilbarkeit. Ein fester Körper ist durch mechanische Gewalt (im Pulvermörser) in kleinere Teile zu trennen. Wir könnten uns denken, dass diese Teilbarkeit bis ins Unendliche reiche, da jedes kleine Teilchen noch kleiner gedacht werden kann. Diese Ansicht, die dynamistische genannt, ist aufgegeben worden. Die meisten Physiker nehmen heute eine begrenzte Teilbarkeit an, nach welcher die Stoffe aus kleinsten, nicht weiter teilbaren Teilen, den sog. Atomen**) bestehen. Dieselben haben gleiche Grösse und ein unveränderbares Volumen, bei ungleichen Grundstoffen aber ungleiche Schwere, worauf nicht allein die abweichende Schwere verschiedenartiger Stoffe, sondern auch die bei chemischen Verbindungen bestehenden, festen, ungleichen Mischungsgewichte der Bestandteile beruhen.

Die Atome setzen sich zu Gruppen, den Molekülen***) zusammen. Diese vereinigen sich untereinander in festen einfachen Verhältnissen, deren Studium die Aufgabe der Chemie ist, und tragen durch den mannigfaltigen geometrischen Aufbau ihrer Aneinanderreihung, der sog. Molekularstruktur, zu der Vielseitigkeit der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Stoffe wesentlich bei.

Die Atome, sowie die Moleküle berühren sich nicht direkt, sondern lassen Zwischenräume. Ihr Zusammenhang wird bedingt durch gegenseitige Anziehung, Attraktion, welche eine Grundeigenschaft der Materie ist. Die Grösse derselben ist direkt proportional der Masse und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung. Von der Grösse der Entfernungen hängen ausser anderen zu betrachtenden Eigenschaften die drei Aggregatzustände der Materie ab, zu denen alle Grundstoffe und viele Verbindungen fähig sind, nämlich der feste, der

---

*) λίτρα (Pfund), ein Mafs der Griechen.
**) Atom von ἄτομος (unteilbar).
***) *molecula*, Masseteilchen.

flüssige und der gasförmige Zustand, welche durch geeignete Mittel, z. B. die Zuführung von Wärme, in der genannten Reihenfolge, durch Entziehung von Wärme in rückläufiger Folge, ineinander übergeführt werden können. Das bekannteste Beispiel liefert das Wasser in seinen drei Gestaltungen als Eis, tropfbare Flüssigkeit und Dampf. Wir besitzen nicht die Mittel, diese Überführung an allen Stoffen auszuüben. So kennen wir die Kohle (auch als Graphit und Diamant) nur in fester Form, indem sie seither weder geschmolzen noch verdampft werden konnte. Wohl aber ist es gelungen, alle bekannten Gase, die atmosphärische Luft nicht ausgenommen, bei sehr niedriger Temperatur und hohem Druck flüssig oder fest zu machen, so dass die frühere Ansicht der Existenz permanenter oder incoërcibler*) Gase, als deren letzte Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff galten, unhaltbar geworden ist.

Die intermolekulare Attraktion wird Kohäsion genannt, das durch gegenseitige Anziehung bewirkte Haften zweier Körper aneinander Adhäsion. Wie kommt es nun, dass die Moleküle von der Kohäsion nicht gezwungen werden, sich bis zu völliger Berührung einander zu nähern? Man glaubte früher an eine gleichzeitig zwischen ihnen vorhandene, abstossende Kraft, die Repulsionskraft, welche dieses verhindern sollte. Heute wird angenommen, dass die intermolekularen Zwischenräume nicht leer, sondern von einem auch den Weltraum erfüllenden, äusserst feinen und beweglichen Stoff, dem Äther, ausgefüllt seien, dessen beständige wellenförmige Schwingungen in den festen Körpern von der Kohäsion gebändigt, in den Flüssigkeiten im Gleichgewicht gehalten werden, in den Gasen dieselbe überwinden. In diesen Ätherschwingungen besteht die Wärme, wie wir sehen werden.

Demnach zeigen die Aggregatzustände folgendes Verhalten:

1. *Ein fester Körper setzt einer Formveränderung oder Trennung seiner Teile Widerstand entgegen.*

Wir vermögen die Teilchen eines festen Körpers nur durch äussere Gewalt voneinander zu trennen. Der feste Körper besitzt daher eine bestimmte Form und Raumgrösse.

Wir nennen einen Körper, je nach dem Grade seiner Nachgiebigkeit gegen Druck, weich oder hart. Lässt er sich leicht ausdehnen, ohne dabei zu zerreissen, so ist er dehnbar, wie z. B. die Metalle; im Gegensatz dazu steht ein spröder Körper, wie das Glas, welcher bei äusserer Gewalt leicht zerbricht.

---

*) *coërceo*, bezwinge.

Elastisch nennen wir solche Körper, welche ihre frühere Form wieder von selbst annehmen, sobald diese durch äussere Kraft verändert worden war (Kautschukröhren, Spiralfeder). Die Festigkeit eines Körpers beurteilen wir nach dem Widerstande, den er leistet a) beim Zerreissen (absolute Festigkeit), b) beim Zerbrechen (relative Festigkeit), c) beim Zerdrücken (rückwirkende Festigkeit), d) beim Zerdrehen (Torsionsfestigkeit).

Diese verschiedenen Kohäsionsäusserungen können Veränderungen erleiden. Rasch gekühlte Gläser sind sehr spröde und zerspringen leicht bei Temperaturwechsel, um so eher, je dicker sie sind, da das Glas ein schlechter Wärmeleiter ist und zwischen den verschiedenen Teilen durch ungleichartiges Zusammenziehen Spannungen entstanden sind, welche so stark werden können, dass sie die Kohäsion überwinden. Durch langsames Abkühlen frisch geblasener Gläser in auf 300° C. erhitztem Öl entsteht das zähe haltbare Hartglas. Dem weichen Stahl wird durch Erhitzen und Abkühlen auf gewisse Grade (Anlassen) die erforderliche Härte verliehen. Umgekehrt wird spröder Eisendraht durch Ausglühen geschmeidig, das weiche Eisen der Wagenachsen dagegen durch die Erschütterungen bei langem Gebrauche brüchig.

2. *In tropfbar flüssigen Körpern ist durch Verstärkung der Ätherschwingungen die Entfernung der Moleküle voneinander so gross geworden und dadurch die Kohäsion so geschwächt, dass die Moleküle freie Beweglichkeit erlangt haben.*

Eine Flüssigkeit hat daher keine eigentümliche äussere Gestalt, sondern folgt bei mangelnder Unterstützung der Schwerkraft, indem sie in alle Hohlräume fliesst, diese ausfüllend, und die Gestalt der sie umschliessenden festen Aussenwände annimmt. Die Ätherschwingungen sind aber noch nicht gross genug, um die Moleküle zu Bewegungen in anderen Richtungen zu nötigen. Deshalb behaupten die Flüssigkeiten noch ein bestimmtes Volumen (Raumgrösse) und haben, infolge der gleichwirkenden Schwerkraft auf jedes gleich weit entfernte Molekül, eine kugelförmige Oberfläche, deren Mittelpunkt im Schwerpunkt der Erdkugel liegt. Die Oberflächen erscheinen unter 10 Quadratmeilen Ausdehnung, in welcher die Krümmung der Erdoberfläche dem Auge noch nicht auffällt, als horizontale Ebenen.

Fallende Flüssigkeiten ergiessen sich in zusammenhängenden Strahlen, welche bei vermindertem Zufluss in Tropfen zerreissen. Je nach der Leichtigkeit der Tropfenbildung nennt man die Flüssigkeiten dünn-, dick- oder zähflüssig. Zu ersteren gehören der Weingeist, der Äther, zu letzteren die fetten

Öle, Schwefelsäure (Vitriolöl), in noch höherem Grade die Balsame und Sirupe.

Die Grösse der Tropfen wächst mit dem Grade der Kohäsion innerhalb derselben und demjenigen der Adhäsion zum Gefässrande. Deshalb fliessen aus breiten dickwandigen Flaschen grössere Tropfen als aus schmalen dünnwandigen. Von Wasser und Salzlösungen rechnet man durchschnittlich 16—20, von Weingeist und Tinkturen 20—25, von Äther 50 Tropfen auf 1 *g*.

Die runde Gestalt der Tropfen erklärt sich durch die allseitig gleich stark wirkende Kohäsion der Moleküle untereinander, auf welche in Massen von geringer Raumausdehnung die Schwerkraft nahezu gleich stark einwirkt, während in gröſseren Massen die tiefer, der Erde näher liegenden Teile stärker angezogen werden und abreissen. Ehe diese Grenze überschritten wird, sieht man die Tropfen durch Wachsen ihres senkrechten Durchmessers oval werden. Man kann auch beliebig groſse runde Tropfen bilden aus Flüssigkeiten, welche sich nicht mit anderen vermischen, wenn die eine derselben der einseitigen Wirkung der Schwerkraft entzogen wird. Solches geschieht, wenn Olivenöl in ein Gemenge von Wasser und Alkohol von genau dem gleichen spezifischen Gewicht des Öls (0,916) gegossen wird. Das Öl schwebt, wie ein Weltkörper im Weltraum, in Gestalt einer Kugel in dem dasselbe umgebenden verdünnten Alkohol, von diesem allseitig nahezu den gleichen Druck erfahrend, während für die ganze Masse, die Flasche nebst Inhalt, das von der Schwerkraft bewirkte Gewicht nur den Boden der Flasche belastet.

3. *In gasförmigen oder elastisch flüssigen Körpern werden die Ätherschwingungen als so stark angenommen, dass sie die Moleküle selber zu beständigen eigenen Bewegungen nötigen, infolge deren sie sich noch weiter voneinander entfernen, als in Flüssigkeiten und das Gesamtvolumen nach allen drei Dimensionen so weit ausdehnen, als der bewegenden Kraft entspricht.*

Eine unbegrenzte Ausdehnung nach früherer Anschauung (wonach z. B. 2 Wasserstoffmoleküle ohne Hindernisse imstande sein sollten, das ganze Universum auszufüllen) ist weder mit der begrenzten Teilbarkeit und der atomistischen Theorie, noch mit dem Begriff eines bestimmten Kraftmaſses und dessen äquivalenter Arbeitsleistung vereinbar. Das Ausdehnungsvermögen der Gase ist aber ausserordentlich gross und übt auf umschliessende Widerstände einen Druck aus, Spannung oder Tension genannt. Diese steht in einem von Mariotte und Boile gleichzeitig entdeckten bestimmten Verhältnis zu der Dichtigkeit der Gase, welche der in einem Volumen enthaltenen Anzahl

der Moleküle entspricht. Nach diesem sog. Mariotteschen Gesetz ist das Volumen der Gase umgekehrt proportional dem auf demselben lastenden Druck. Drückt man ein Gas auf seine halbe Raumgrösse zusammen, so erhöht sich die Tension (Druck auf die Gefässwandung) auf das Doppelte, beim Zusammenpressen auf den vierten Teil auf das Vierfache derselben.

Abweichungen von dem Mariotteschen Gesetze finden sich bei Annäherung an die Verdichtungspunkte (Kondensation) der Gase und Dämpfe, indem die Volumina schneller abnehmen, als der wachsenden Spannung entspricht.

Die Grösse des Volumens und der Spannung der Gase ist von der Temperatur, dem Mafs der Wärme, abhängig. Zuführung von Wärme bedeutet Verstärkung der Äther- und Molekülschwingungen. Wenn das Volumen, durch die einschliessenden Wände verhindert, sich nicht vergrössern kann, so steigert sich die Spannung. Bei ungehinderter Ausdehnung bleibt die Spannung konstant. Nach dem von vielen Physikern geprüften und korrigierten, nach Gay-Lussac benannten Gesetz dehnen sich alle Gase beim Erwärmen von 0 auf 100° C. um 0,36680 ihres Volumens aus.

Ein geschlossener Raum vermag nur so viele gasförmige Moleküle aufzunehmen, wie dem Volumen und der Temperatur entsprechen. Wird das Volumen durch Zusammendrücken oder die Temperatur durch Abkühlung vermindert, so verdichtet sich ein entsprechender Teil des Gases zu fester oder flüssiger Substanz, während der übrige Teil gasförmig bleibt. Am leichtesten ist dieses bei Stoffen von mittleren Siedepunkten wie beim Wasser zu beobachten, desgleichen beim Erwärmen von Quecksilber, Jod oder Schwefel in Glasgefässen. Doch auch leicht zu kondensierende Gase, wie Chlor, schweflige Säure, in zugeschmolzenen Glasröhren, lassen dies deutlich erkennen.

Man unterscheidet zwei Formen, eigentliche Gase und Dämpfe, deren wesentlicher Unterschied nur in dem niedrigeren Verdichtungspunkt der ersteren gegenüber den letzteren, also den Siedepunkten der betreffenden Stoffe liegt. Die ersteren behaupten die Gasgestalt bei den auf der Erdoberfläche herrschenden Druck- und Temperaturverhältnissen. Einige derselben erfordern zu ihrer Kondensation die niedrigsten, künstlich erreichten Temperaturen und den stärksten Druck. Die Dämpfe sind unter zuerst genannten Bedingungen flüssig oder fest und erfordern zu ihrer Bildung die Zuführung von Wärme, nach deren Entziehung sie sich wieder leicht verdichten.

Beide Formen sind im farblosen Zustande vollkommen durchsichtig und unsichtbar. Die wenigen farbigen Gase und Dämpfe

des Schwefels, Chlors, Broms, Jods, Salpetrigsäureanhydrids etc. absorbieren einzelne Lichtarten und lassen die übrigen hindurch. Die meisten Dampf bildenden Stoffe verdunsten auch allmählich, in geringer Menge schon bei gewöhnlicher Temperatur, z. B. das Eis, das Wasser, Quecksilber, Hirschhornsalz, Kampfer. Diese Dünste sind in ihren allgemeinen Eigenschaften nicht verschieden von denjenigen der Gase.

Hier scheint es am Platze, die landläufigen, nur zu oft verwechselten Begriffe: Dampf, Dunst, Nebel, Rauch zu erklären. Farblose Gase und Dämpfe sind unsichtbar. Sie bilden die Hauptmasse der aus den Essen entweichenden Verbrennungsprodukte fast allen Heiz- und Leuchtmaterials und bestehen in Kohlensäure, Kohlenoxyd und Wasserdampf. Die sichtbaren, gemeinhin „Dampf“ oder „Rauch“ genannten Massen sind kein Dampf mehr, sondern durch Abkühlung oder Zersetzung aus jenem ausgeschiedene tropfbar flüssige oder feste Stoffe, welche von den Gasen getragen in diesen schwimmen. Die flüssigen Ausscheidungen bilden kugelförmige Bläschen (Dunstbläschen). Aus ihnen bestehen die Wolken, der Nebel und ein Teil des Essenrauches, namentlich von Dampfmaschinen. Ihre Farbe, meist weiss, hängt von dem durchfallenden und dem reflektierten Lichte ab. Die festen Ausscheidungen bestehen grösstenteils aus Stäubchen von fester Kohle, welche bei unvollständiger oder gestörter Verbrennung durch Mangel an Luftzutritt oder durch Abkühlung aus den Kohlenwasserstoffgasen, von dem Brennmaterial in der Hitze entwickelt, ausgeschieden werden, indem dann der Wasserstoff leichter und schneller verbrennt als der Kohlenstoff. Kein fester Körper kann direkt durch Erhitzen rauchen, sondern muss erst in Gas übergeführt werden, aus welchem dann der Rauch sich abscheidet. Auch die anorganischen Aschenbestandteile, Verbindungen von Alkali — Erdalkali — Metallen, liefern in grosser Hitze Metalldämpfe, welche an der Luft zu schwer flüchtigen Oxyden verbrennen und einen Teil des sichtbaren Rauches bilden. Desgleichen Chloride, Kochsalz, Salmiak, deren Dämpfe sich unzersetzt beim Abkühlen zu dickem weissen Rauch verdichten. Ebenso entweichen in der Metallindustrie oft grosse Mengen von Dämpfen der leichter flüchtigen Metalle: Zink, Blei, Arsen, Zinn, verbrennen zu Oxyden und verunreinigen als schwerer Essenrauch die Atmosphäre.

Dunst ist gleichfalls unsichtbar, denn Verdunsten ist das langsame Verdampfen von festen oder flüssigen Stoffen (Hirschhornsalz, Kampfer, Eis, Wasser, Quecksilber) bei gewöhnlicher Temperatur. Wenn Dünste sichtbar werden, so bilden sie Nebel

oder Rauch. Ersteres ist bei konzentrierter Salzsäure und der sog. rauchenden Schwefelsäure der Fall, deren Dunst durch Wasseranziehung aus der Luft schwerer flüchtige Nebel von verdünnten Säuren liefert, letzteres, wenn Ammoniak an der Luft mit flüchtigen Säuren (Salzsäure, Essigsäure) zusammentrifft und sich zu Rauch von festen Salzen verbindet.

§ 3. Porosität.

Porosität ist die Eigenschaft der meisten festen Körper, als Folge ihrer Struktur, zahlreiche innere Hohlräume frei zu lassen. Dieselben, Poren genannt (nicht zu verwechseln mit den viel kleineren Zwischenräumen der Moleküle), sind von sehr verschiedener Gröfse, finden sich am meisten in dem komplizierten Aufbau organischer Gebilde, jedoch auch in einfachen und zusammengesetzten anorganischen Stoffen, namentlich den krystallinisch gebildeten, am wenigsten in amorphen geschmolzenen Massen, wie dem Glase.

Die Poren können durch Druck von aussen verkleinert werden, wobei das Volumen der Stoffe ab-, die Dichtigkeit und die Schwere gleicher Raumteile zunehmen. Solches geschieht beim Hämmern und Walzen der Metalle, bei Herstellung des Presstorfes. Durch Druck von innen nach aussen werden die Poren grösser, die Körper umfangreicher und leichter. Aus einer Tonne Steinkohlen werden durch die Spannung der Gase, 1,7 Tonnen Koks. Ebenso bildet sich der lockere Bimsstein durch Wasserdampf in erstarrender Lava.

Viele Körper behalten die durch äusseren oder inneren Druck angenommene kleinere oder grössere Ausdehnung und die veränderte Gestalt. Andere meist spröde Körper, wie Glas, Stahl, aber auch weiche, wie Kautschuk, Leder, setzen dieser Gewalt einen bleibenden Widerstand entgegen und nehmen nach Beseitigung jener ihre ursprüngliche Ausdehnung und Gestalt wieder an. Diese werden elastisch genannt.

Die Porenwände bilden gleichsam eine innere Fläche der Körper, welche um so grösser wird, je zahlreicher die Poren sind. In diese vermögen Flüssigkeiten und Gase einzudringen und werden dort durch Flächenanziehung (Adhäsion) mit um so grösserer Kraft festgehalten, je feiner die Poren sind. Bekannt ist, wie grosse Wassermengen ein grobporiger Badeschwamm aufzusaugen, und wie leicht man den grössten Teil derselben durch Druck wieder auszupressen vermag. Die feinen Poren der Kohle, namentlich der Knochenkohle (*ebur ustum*) halten aus Flüssigkeiten aufgenommene Farbstoffe und

Gase so fest, dass sie zum Entfärben und Desinfizieren verwendet werden können. Der Platinschwamm der Döbereinerschen Zündmaschinen verdichtet in seinen Poren den Wasserstoff so stark, dass die aus demselben frei werdende Wärme ihn an der atmosphärischen Luft entzündet.

Die Poren vermögen Flüssigkeiten und Gase nicht allein in sich aufzunehmen, sondern sie auch infolge ihres Zusammenhanges untereinander, bei einseitigem Druck durch die Stoffe nach der anderen Seite hindurch zu lassen. Hierauf beruht das Filtrieren von Flüssigkeiten durch die Poren des Fliesspapieres, Filzes, einer Thonplatte oder Sandschicht, welche trübende ungelöste Stoffe zurückhalten, ebenso das Filtrieren von Gasströmen durch Watte zum Zurückhalten von Ansteckungskeimen.

Flüssigkeiten haben keine Poren und sind deshalb äusserst wenig zusammendrückbar.

In Gasen können auch keine Poren angenommen werden. Ihre starke Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit kann nur durch Einschränkung oder Erweiterung der Schwingungsbahnen ihrer Moleküle erfolgen. Wegen ihres Widerstandes beim Zusammendrücken und ihres Bestrebens sich auszudehnen werden sie elastisch-flüssig genannt.

B. Die Kraftäusserungen zwischen den Körpern (Attraktion).

Die Attraktion wirkt als:
Kohäsion zwischen den Molekülen eines Körpers,
Adhäsion zwischen den Berührungsflächen zweier Körper,
Gravitation zwischen räumlich getrennten Körpern.

Da auch die gegenseitige Berührung der Moleküle keine wirkliche ist, diese vielmehr, wie wir gesehen haben, durch Zwischenräume getrennt sind, so sind die genannten drei Arten der Anziehung nur Abstufungen einer Gattung, für welche alle das Newtonsche Gesetz gilt: „Die Anziehung ist proportional den Massen und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernungen derselben voneinander.“

§ 4. Kohäsion und Adhäsion.

Die Kohäsion hatten wir Gelegenheit, bei den Aggregatzuständen zu betrachten. Ihr nahe verwandt, in vielen Fällen