Zur Einführung in die Physik.

1. Teil.

Durch die „Lehrpläne für die höheren Schulen", wie sie durch die Circularverfügung des Ministers der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal-Angelegenheiten vom 31. März 1882 in Preußen zu allgemeiner Durchführung gelangt sind, wird für den Unterricht in der Physik die Lehraufgabe der Gymnasien folgendermaßen festgesetzt:

„Kenntnis der wichtigsten Erscheinungen und Gesetze aus den verschiedenen Zweigen der Physik sowie der einfachsten Lehren der Chemie. Kenntnis der wichtigsten Lehren der mathematischen Geographie."

Ferner findet sich in den Erläuterungen hierzu:

„Diejenigen Zweige der Physik, welche vorzugsweise experimentelle Behandlung gestatten, (Electricität, Magnetismus, Wärme) fallen der Lehrzeit der Sekunda zu, womit außerdem ein kurzer chemischer Lehrkursus zu verbinden ist. In der Prima tritt bei der Mechanik, Optik und mathematischen Geographie die mathematische Begründung der Gesetze hinzu, soweit es die Kenntnisse der Schüler gestatten."

Außerdem heißt es in der Ordnung der Entlassungsprüfung:

„In der Physik muß der Schüler eine klare Einsicht in die Hauptlehren von den Gesetzen des Gleichgewichts und der Bewegung der Körper, von der Wärme, dem Magnetismus und der Elektricität, dem Schalle und dem Lichte gewonnen haben."

Durch diese Verordnungen ist der Gang des physikalischen Unterrichts an Gymnasien im ganzen und großen so festgestellt, wie es dem Entwickelungsgange der Schüler, ihrem geistigen Interesse am meisten entspricht, indem dieselben durch das Experiment für diese Disziplinen gewonnen, zum weiteren Nachdenken angeregt und so allmählich zum Verständnis und zur Würdigung der abstrakten Naturgesetze und einer mehr rechnenden Physik erzogen werden.

Wenn man jedoch den physikalischen Unterricht ohne weiteres mit den der Sekunda zugewiesenen Disciplinen: „Magnetismus, Elektricität, Wärme, chemischer Kursus" beginnt, so wird man bald auf gewisse Schwierigkeiten stoßen, die darin bestehen, daß man zur Erklärung der zu besprechenden Erscheinungen Begriffe heranziehen muß, welche dem Schüler noch nicht bekannt sind, und deren Erläuterung nur auf breiterer Grundlage erfolgen kann; Begriffe, die es angezeigt erscheinen lassen, die Ausführungen über dieselben als eine Einleitung dem lehrplanmäßigen physikalischen Unterrichte voranzuschicken.

Im Folgenden möge es gestattet sein, diese Schwierigkeiten zu entwickeln und, nachdem dadurch die Notwendigkeit einer Einleitung dargethan ist, die Ausführungen über die sich ergebenden Begriffe zu einer Einleitung zusammenzustellen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Beginnen wir mit der Wärme, so werden wir gleich bei der Besprechung des Siedepunktes auf den Luftdruck geführt: „Eine Flüssigkeit siedet dann, wenn die Expansivkraft der in ihr enthaltenen Moleküle gleich dem darauf lastenden Luftdrucke ist.“ Wir sehen uns hier vor die Alternative gestellt, die Erklärung des Siedens auf einen unbekannten Begriff aufzubauen, oder diesen Begriff selbst vorher weiter zu erörtern. Daß das letztere das Richtige ist, unterliegt wohl keinem Zweifel. Nun aber ist grade der Luftdruck ein Begriff, dessen Wesen nicht mit wenigen Worten abgethan ist, der vielmehr die Kenntnis der gasförmigen, sowie der flüssigen Körper, des Druckes, den die letztern ausüben, und der Gesetze, nach denen er wirkt, zur Voraussetzung hat. Es müßte mithin hier ein längerer Abschnitt über flüssige und luftförmige Körper eingeschoben werden, welcher mit der Lehre von der Wärme sonst in keinem Zusammenhange stände. Daß dies unthunlich ist, leuchtet ein; wir verweisen daher das Kapitel über den Luftdruck mit den vorbereitenden Abschnitten in die Einleitung zur Physik. —

Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist abhängig von der Erhebung über den Meeresspiegel; je höher wir uns über denselben erheben, um so niedriger ist der Siedepunkt. — Woher rührt dies? — Wiederum vom Luftdrucke. —

Indem die über uns lagernde Luftmasse immer geringer wird, je mehr wir uns über den Meeresspiegel erheben, nimmt in gleichem Verhältnisse der Luftdruck ab; je geringer aber der Luftdruck, um so leichter können die in einer Flüssigkeit enthaltenen Moleküle denselben überwinden und der durch die Erwärmung verstärkten Expansivkraft folgend sich zu Dämpfen ausdehnen. Die Abhängigkeit zwischen Luftdruck und Siedepunkt ist so gesetzmäßig, daß man aus der Höhe des Siedepunktes auf die Erhebung über den Meeresspiegel schließen kann; es beruht darauf die thermometrische Höhemessung: Hypsometrie.

In gleicher Weise fordert der allgemein nach der Wärmelehre behandelte Abschnitt über Meteorologie die Kenntnis des Luftdruckes.

Die Bewegungen der Luft, Land- und See-Winde, Passatwinde, Stürme sind stets Circulations- oder Wirbel-Bewegungen; sie werden durch Änderungen in den Wärmeverhältnissen der Erdoberfläche hervorgebracht und äußern sich besonders durch ihre Einwirkung auf den Luftdruck. Beobachtet man zur selben Zeit Luftdruck und Wind an verschiedenen Punkten eines größeren Teiles der Erdoberfläche, so findet man das von Buys-Ballot gefundene Gesetz bestätigt: Stellt man sich so auf, daß man in der Richtung des Windes schaut, so liegt das Gebiet geringsten Luftdrucks, ein „barometrisches Minimum“, eine „Depression“, nach vorn zur Linken. Da wir nun einerseits wissen, daß eine Depression in unseren Gegenden fast stets von Westen nach Osten fortschreitet, andererseits aber auch, daß sie die Witterungsverhältnisse, welche an ihren verschiedenen Punkten bestehen, meistens unverändert nach den Orten fortschiebt, wohin sie gelangt, so ergiebt sich hieraus die Möglichkeit, das kommende Wetter vorauszubestimmen. Auch diese beruht demnach hauptsächlich auf der Kenntnis des Luftdrucks.

Auch der chemische Lehrkursus der Sekunda verlangt gebieterisch die Bekanntschaft mit dem Luftdrucke, sowie den darauf beruhenden Apparaten.

Der bei fast jedem chemischen Experimente unentbehrliche Heber, die Pipette, der Luftsaug-Apparat, das Wassertrommelgebläse, die Wasserluftpumpe 2c. können ohne Kenntnis des Luftdruckes nicht verstanden werden. — Insbesondere ist zur Bestimmung eines Gasvolums Kenntnis des Gesetzes notwendig, nach welchem sich das Volumen bei Vergrößerung resp. Verminderung des Luftdruckes ändert, das Gesetz von Boyle-Mariotte: „Je größer der Druck, je geringer das Volumen, und zwar ist das Volumen dem Drucke umgekehrt proportional (coteris paribus). Allerdings muß auch das Gesetz von Gai-Lussac hinzugenommen werden, welches die Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur feststellt; dieses kann indessen, da die Kenntnis des Thermometers bei unseren heutigen Sekundanern vorausgesetzt werden darf, ohne vorhergehende weitere Grundlage entwickelt werden.

Obwohl nun die Reduzierung eines Volumens v von der Temperatur t^0 und dem Drucke p mm

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

auf die Temperatur von 0^0 und den Druck von 760 mm durch eine für den Anfänger etwas komplicierte Formel: $v_0 = \frac{v.\ p}{760\ (1+\alpha t)}$, — wo unter α die Ausdehnungskonsficient der Gase: 0,00366 verstanden ist, — ausgeführt wird, so ist sie doch mit Rücksicht auf ihre Wichtigkeit nicht wohl zu umgehen. Denn unsere ganze neuere Molekül- und Atom-Theorie beruht auf dem Satze, daß sich die Gase zu gleichen oder multiplen Volumen verbinden; es wird sich aber an das Gesetz der gleichen Volumina sofort die Frage anknüpfen: Wann haben zwei Gase gleiche Volumina? Und darauf muß dann die Antwort erfolgen: Wenn sie bei einer Temperatur von 0^0 und bei einem darauf lastenden Drucke von 760 mm einen gleichen Raum einnehmen.

Mit dem Luftdrucke hängt unmittelbar zusammen die Kenntnis der Luftpumpe; aber auch schon aus anderen Gründen erscheint die Behandlung derselben in der Einleitung höchst wünschenswert.

Es kommen im Gebiete der Wärmelehre, sowie der Elektricität so manche Apparate vor, welche möglichst luftleer gemacht sind, und es ist wohl nicht zu bezweifeln, daß jemand, der nicht die Art und Weise kennt, wie man die Luft auspumpt, sich von sogenannten luftleeren Räumen kaum eine klare Vorstellung machen kann. So ist z. B. das Radiometer — die Lichtmühle — eine luftleer gepumpte Glasglocke, in welcher sich ein um eine vertikale Achse drehbares Aluminiumkreuz befindet, an dessen Armen vier zu seiner Ebene senkrechte Aluminiumblättchen befestigt sind. Diese sind auf den analogen Seiten geschwärzt, so daß bei Drehung des Kreuzes entweder die schwarzen oder die blanken Seiten die vorderen sind. Der Flügelapparat dreht sich unter Einfluß der Wärme und des Lichtes, indem die berußten Flächen mehr Wärme und Licht absorbieren und daher die anprallenden Gasmoleküle stärker gegen die Wandung zurückwerfen und umgekehrt, als die nicht berußten, und die Drehung desselben ist von dem Grade der Luftentleerung sowie von der Entfernung der Wärmequelle abhängig. Der Apparat ist für die Schule deshalb wichtig, weil er in Ermangelung einer Thermosäule und eines Multiplikators benutzt werden kann, um das Grundgesetz der Wärmestrahlung nachzuweisen: „Die Wärmestrahlung ist dem Quadrate der Entfernung vom strahlenden Körper umgekehrt proportional."

Auch in der Elektricitätslehre haben wir es verschiedentlich mit der Luftentleerung zu thun. Wir erinnern nur an das elektrische Ei, in dem die Elektricität bei zunehmender Luftverdünnung mehr und mehr büschelförmig von einem Pole zum anderen übergeht, an die Geisslerschen Röhren mit ihren prächtigen Farbenerscheinungen und an die fast völlig luftleeren Crookeschen Röhren, in welchem die losgerissenen Elektrodenteilchen in geradem Fluge vom negativem Pole strahlenförmig leuchtend entströmen, leicht von ihrer Bahn abzulenken durch Annäherung einer elektrischen oder magnetischen Kraft, ein Beweis des nahen Zusammenhangs zwischen Licht, Elektricität und Magnetismus.

Auch in der Akustik *) ist die Luftpumpe unentbehrlich, um zu zeigen, daß nur in der Luft ein Schall entstehen und sich fortpflanzen kann, daß aber im luftleeren Raume ein in regelmäßigen Schwingungen erzitternder Körper, eine angeschlagene Glocke, keinen Ton mehr giebt, daß also ohne unsere Atmosphäre die Oberfläche der Erde eine klang- und tonlose Einöde sein würde. —

Wesentlich erleichtert und gestützt wird die Lehre von den luftförmigen Körpern durch die Kenntnis der Gesetze, unter denen die tropfbar flüssigen Körper stehen. Und wie dadurch einerseits die Lehre von den flüssigen Körpern wünschenswert erscheint, so wird sie andererseits auch gefordert durch den chemischen Lehrkursus. Die verschiedensten chemischen Apparate setzen die Gesetze des Gleichgewichts flüssiger Körper voraus, so um nur einen zu nennen, der Gasometer mit seiner Wasserstandsröhre, ebenso wie in der Physik der Kessel der Dampfmaschine, das Gesetz der kommunicierenden Röhren; die Berechnung eines über einer Flüssigkeit abgesperrten Gasvolumens aber erfordert neben der Kenntnis des Luftdruckes und des Mariotteschen Gesetzes die Bekanntschaft mit dem Drucke der Flüssigkeiten.

*) Dieselbe wird zweckmäßig mit der Optik in Unterprimo, also vor der Mechanik durchgenommen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Da die Gase gewöhnlich über Wasser aufgefangen werden, so hat man behufs ihrer Volumbestimmung den Druck des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes abzuziehen; man hat hier also mit dem Übergange der Flüssigkeiten in die Luft zu rechnen und wird passend schon vorher ein Kapitel über die Verdunstung der Flüssigkeiten einschalten, zumal da in dem Kursus von der Reibungselektricität das Aufhören der Isolierfähigkeit von Kautschuk, Glas 2c. in feuchter Luft nur dadurch erklärt werden kann, daß sich die gasförmige Luftfeuchtigkeit an festen Körpern, wenn sie eine niedrigere Temperatur haben, als die umgebende Luft, leicht in Tropfenform absetzt und sie mit einem leitenden Wasserüberzuge bedeckt.

Endlich würde zur Erklärung der Torsionswage von Coulomb ein Abschnitt über die Elasticität fester Körper vorangeschickt werden können; indessen könnten die nötigen Sätze auch in den physikalischen Kursus selbst eingeflochten werden.

Schauen wir uns unter den übrigen Lehrgegenständen der Sekunda um, so werden wir bald bemerken, daß man auch auf anderem als physikalischen, nämlich auf mathematischem Gebiete um einen Teil dieser Begriffe nicht herum kann. Es sind dies nämlich die Lehren der Hydrostatik, insofern sie den Druck der Flüssigkeiten und das specifische Gewicht der Körper behandeln; denn in allen algebraischen Aufgabenbüchern sind unter den eingekleideten Gleichungen 1. und 2. Grades stets eine Anzahl solcher enthalten, die sich darauf beziehen; so z. B. die bekannte Aufgabe des Archimedes von der Krone des Königs Hiero von Syracus. Will man nicht überhaupt auf solche, übrigens sehr lehrreiche Aufgaben verzichten, so wird man sie an dieser Stelle behandeln müssen; dann aber ist es ratsam, im physikalischen Unterricht, etwa in einer Einleitung, mit dem Drucke der Flüssigkeiten, dem Archimedischen Principe und dem specifischen Gewichte bereits bekannt gemacht zu haben.

Blicken wir noch einmal auf die voranzuschickenden Gegenstände zurück, so bemerken wir, daß sie wiederum die Besprechung gewisser anderer, damit zusammenhängender Punkte verlangen.

Elasticität nicht ohne die Festigkeit der Körper. — Das specifische Gewicht, sowie das Archimedische Princip nicht ohne die Lehren vom Boden-, Seiten-Druck, vom Drucke nach oben, sowie vom Auftrieb der Flüssigkeiten, und diese wieder nicht ohne das Gesetz von den kommunicierenden Röhren; die Aufnahme von flüssigen Körpern durch luftförmige nicht ohne vorhergehende Darlegung der Aufnahme von festen Körpern durch flüssige. Dem Beweise vom Vorhandensein des Luftdrucks wird zweckmäßig ein Kapitel über die Messung desselben, die Barometer, das Mariottesche Gesetz, das Manometer, — der Erklärung und den Versuchen mit der Luftpumpe die einfachsten auf dem Luftdruck beruhenden Apparate: die Saug- und Druck-Pumpe, die Heber, die Kompressionspumpe, die Spritzflasche, Feuerspritze 2c. beigefügt werden.

So würden wir denn etwa folgende Einteilung für den voranzuschickenden Stoff erhalten:

I. Feste Körper:	§ 1.	Festigkeit der Körper.
	§ 2.	Elastizität.
II. Flüssige Körper:	§ 3.	Fortpflanzung des Druckes der Flüssigkeiten.
	§ 4.	Gesetz der kommunicierenden Röhren.
	§ 5.	Bodendruck der Flüssigkeiten.
	§ 6.	Druck der Flüssigkeiten nach oben.
	§ 7.	Seitendruck der Flüssigkeiten.
	§ 8.	Archimedisches Princip.
III. Luftförmige Körper:	§ 9.	Luftdruck.
	§ 10.	Quecksilberbarometer.
	§ 11.	Aneroidbarometer.
	§ 12.	Schwankungen des Luftdrucks.
	§ 13.	Gesetz von Mariotte.
	§ 14.	Blasebalg, Cylindergebläse.
	§ 15.	Heber, Pumpe.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

III. Luftförmige Körper:	§ 16.	Heronsball, Feuerspritze.
	§ 17.	Die Luftpumpen.
	§ 18.	Experimente mit der Luftpumpe.
IV. Verhalten der drei Körperarten zu einander:	§ 19.	Lösung fester Körper.
	§ 20.	Verdunstung der Flüssigkeiten.

Man erkennt leicht, daß dieser Stoff abgesehen von den beiden ersten und letzten Paragraphen zusammenfällt mit den Hauptlehren der Aerostatik und Hydrostatik. Will man daher keine besondere Einleitung in die Physik, so läßt sich im wesentlichen dasselbe dadurch erreichen, daß man die „Aerostatik und Hydrostatik" an die Spitze der gesammten Physik stellt. Selbstverständlich dürfen diese dann nicht in der ausgedehnteren und mehr rechnenden Weise des Primakursus durchgenommen werden.

An manchen Anstalten wird dementsprechend mit „Aerostatik und Hydrostatik" begonnen; bei sehr vielen Gymnasien aber werden diese Disciplinen, wie die Programme darthun, erst im Primakursus der Mechanik behandelt.

Es dürfte von Interesse sein, zu erfahren, daß auch nach dem in Frankreich geltenden „Plan d'Études des Lycées" im wesentlichen die oben geforderte Einleitung in die Physik vorgeschrieben ist.

Es heißt dort: *)

Programmes de l'Enseignement Secondaire Classiques. Prescrits par arrête du 22 janvier 1885.

Classe de Troisième. (U II.)

(Quatorze ans.)

Physique.

(2 heures par semaine pendant toute l'année.)

Ce cours devra être essentiellement expérimental. — Les applications usuelles les plus simples devront être indiquées. — Pesanteur. — Équilibre des liquides et des gaz. — Divers états de la matière. — Direction de la pesanteur. — Centre de gravité, poids. Balance. — Surface libre des liquides en équilibre. — Égalité de pression en tous sens. — Pressions sur les parois, vases communicants. — Principe d'Archimède. — Application à la mesure des poids spécifiques; aréomètres à poids constant. — Pression atmosphérique; baromètre. — Loi de Mariotte; expériences de Mariotte. — Machine pneumatique. — Pompes. — Presse hydraulique. — Siphon — Aérostats.

Chaleur.

Dilatation des corps par la chaleur. — Thermomètre. — Définition du dégré. — Maximum de densité de l'eau. — Définition des chaleurs spécifiques. — Principe de la méthode des mélanges. — Fusion. — Solidification — Dissolution. — Cristallisation. — Chaleur de fusion (simple définition). Vaporisation: vapeurs saturantes et non saturantes. — Maximum de tension. — Définition de l'état hygrométrique. — Pluie, neige, rosée. — Evaporation, ébullition, distillation. — Chaleur de vaporisation (simple définition). — Froid produit par l'évaporation. — Conductibilité.

Classe de Seconde. (OII.)

(Quinze ans.)

Physique.

(2 heures par semaine pendant un semestre.)

Électricité. — Magnétisme. — Production de l'électricité par le frottement. — Électrisation par influence: électroscope à feuilles d'or; électrophore; machine électrique. Condensateur: bouteille de Leyde; batteries. Pile de Volta. — Piles de Daniell, de Bunsen. — Courant électrique. Effects physiologiques, physiques et chimiques — Principe de la pile thermo-électrique. — Aimants naturels et artificiels. — Définition de la déclination et de l'inclination. — Expériences d'Oerstedt. — Galvanomètre. — Action des courants sur les courants. — Action de la terre sur un courant fermé, mobile autour d'un axe vertical; conducteurs astatiques. — Solénoïde: comparaison du solénoïde et de l'aimant

*) Siehe Praktische Physik, I Jahrgang, Nr. 1.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

— Aimantation par les courants; électro-aimants. — Principe du télégraphe électrique. — Induction par les courants et les aimants. — Bobine de Ruhmkorff.

Acoustique.

Production du son. — Propagation — Vitesse dans l'air et dans l'eau. — Réflexion du son. — Écho. — Intensité; hauteur. — Cordes vibrantes; loi des longueurs — Principaux intervalles musicaux. — Harmoniques. — Timbre. — Lois experimentales des tuyaux sonores.

Classe de Philosophie (I)

Physique et Chimie.

(2 heures par semaine pendant toute l'année.)

Optique.

Propagation rectiligne de la lumière. — Vitesse. — Lois de la réflexion. — Miroirs plans. — Miroirs sphériques concaves et convexes. Réfraction. — Prisme. — Lentilles. — Loupe. — Principe de la lunette astronomique, du microscope et du télescope. — Décomposition et recomposition de la lumière. — Spectre solaire. — Spectres des diverses sources lumineuses. — Chaleur rayonnante. — Photographie. — Revision et compléments rélatifs à la Physique et à la Chimie. — Principe de l'inertie. — Forces. — Lois de la chute des corps Machine d'Atwood. — Pendule. — Applications. Travail. — Force vive. — Énergie. — Équivalent mécanique de la chaleur. — Application aux principaux phénomènes physiques. — Machine à vapeur: condenseur, détente. — Principe des machines magnéto-électriques. — Transmission de la force. — Galvanoplastie: dorure argenture. Téléphone.

Worin liegt denn nun der tiefere Grund, daß dem physikalischen Kursus erst diese einleitenden Betrachtungen vorangehen müssen? Welchem Umstande ist es zuzuschreiben, daß wir das Gebäude der Physik nicht sofort zu seiner bisher erreichten stolzen Höhe emporbauen können?

Ich möchte mit einem Vergleiche antworten: Ein Baumeister, der ein Gebäude aufführen will, wird niemals zu bauen anfangen, ohne vorher den Boden, auf welchem es stehen, das Material, aus welchem es errichtet werden soll, untersucht zu haben. Trifft er harten, felsigen Boden, so mag er mit dem Baue beginnen; findet er aber weichen, moorigen Untergrund, so wird er zuvörderst Brunnen in die Tiefe senken, und auf diesen als Pfeilern das Fundament aufmauern; bei der Auswahl des Materials aber wird er solches bevorzugen, welches Feuchtigkeit und Dürre, Wind und Wetter hinreichenden Widerstand entgegensetzt.

Werfen denn auch wir einen Blick auf den Boden und das Material für das Gebäude der Physik!

Die Materialien sind die Experimente, welche an den verschiedenen Körperarten, festen, flüssigen und luftförmigen, ausgeführt werden; der Boden aber, auf dem sie aufzubauen sind, die uns umgebende Natur. Wir werden daher auch diese vornehmlich untersuchen müssen, ob sie unseren Experimenten förderlich oder hemmend ist und in welcher Weise sie darauf einwirkt. Würden wir unsere Experimente außerhalb der umgebenden Natur, z. B. ohne Einwirkung des Luftdruckes ausführen können, so wäre eine vorausgehende Betrachtung desselben unnötig; da wir aber unsere Versuche im allgemeinen nicht davon frei machen können, so müssen wir zunächst die Einwirkung der Luft darauf kennen lernen. In gleicher Weise werden wir aber auch die wesentlichen Eigenschaften der Materialien selbst, mit denen wir operieren, aufsuchen müssen. Die Einleitung in die Physik muß also enthalten: Die Grundeigenschaften der festen, flüssigen und luftförmigen Körper; wir könnten sie vielleicht übertiteln als: Der Schauplatz der physikalischen Erscheinungen.

Man könnte gegen diese Einleitung verschiedenes einwenden.

1. Sind diese Kapitel nicht zu schwer verständlich?

Wenn sie in elementarer Weise behandelt werden, so gehören sie mit zu den leichtesten Abschnitten der Physik; die schwierigen Punkte derselben können späterhin leicht nachgeholt werden.

2. Bieten sie für den Anfänger auch hinreichendes Interesse?

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Man braucht sich nur an die Experimente mit der Luftpumpe zu erinnern, um sich zu überzeugen, daß ihnen eine große Anziehungskraft innewohnt.

Zersplittern sie nicht die Kräfte des Schülers und die Disciplinen?

Durchaus nicht. — Repetitionen sind ja doch notwendig und zwar soll jede folgende den Stoff tiefer durchdringen. Wenn also im Primakursus der Mechanik die Hydrostatik und Aerostatik wiederholt werden, so wird man mit Rücksicht auf die Einleitung des Sekundakursus über das Einfachere schnell hinweggehen und sich hauptsächlich auf die Vertiefung des bereits Bekannten werfen können. Was endlich die Zeit anbetrifft, welche für die Einleitung notwendig ist, so dürfte diese 8—10 Wochen nicht überschreiten, und es würde somit etwa die Einleitung in die Physik und der Magnetismus das Sommertertial der Untersekunda ausfüllen, während die Reibungselektricität das zweite und der Galvanismus das dritte Tertial in Anspruch nehmen würde.

Für Obersekunda würde dann der chemische Lehrkursus, die Wärmelehre und eventuell die Akustik übrig bleiben.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

2. Teil.

Einleitung.

1. Hälfte.

§ 1.

Festigkeit der Körper.

1. Versuch. Gleich dicke Holz-, Siegellack- und Eisenstangen werden auf ihre Bruchfestigkeit geprüft: Das Eisen zeigt die größere Festigkeit.
2. Demonstrations-Objekt. Die Mineralien der Mohsschen Härteskala.

Der Schauplatz der physikalischen Erscheinungen ist die Oberfläche der Erde, soweit sie überhaupt dem menschlichen Wirken und Beobachten zugänglich ist, d. h. bis in die Tiefe der Bergwerke und bis zur äußersten Grenze der Atmosphäre, insofern uns ihr Dasein durch das Aufleuchten von Meteoren ersichtlich gemacht wird.

Die Körper, welche wir auf diesem Gebiete wahrnehmen, lassen sich in drei große Gruppen einteilen: 1) feste, 2) flüssige, 3) luftförmige.

Die festen Körper sind solche, deren Teile nur mit Gewalt von einander getrennt werden können. Repräsentant derselben ist unser Erdboden, den wir so unbedingt als fest voraussetzen, daß selbst die geringste Erschütterung — auch das stärkste Erdbeben bringt nur eine verhältnismäßig geringe Bewegung der Erdoberfläche hervor — in uns ein Gefühl maßlosen Grauens hervorruft. Die Erde liefert uns die verschiedenen Arten fester Körper, den harten Stahl, das dehnbare Gold, das leicht schmelzbare Blei, die spröden Gesteine; ihr entsprießt das zähe, elastische Holz.

Der Grad der Festigkeit dieser Körper ist sehr verschieden und richtet sich wesentlich nach der Art und Weise, wie man dieselben auf die Probe stellt.

Seile und Ketten, an welchen große Lasten hängen, die Säulen der hydraulischen Presse, welche einen bedeutenden Zug zu ertragen haben, sind dem Zerreißen ausgesetzt; der Widerstand, den sie denselben entgegenstellen, heißt Zug- oder absolute Festigkeit. Pfeiler, Balken, welche ein Giebeldach, eine Brücke 2c. zu tragen haben, werden zermalmt, wenn der auf ihnen lastende Druck zu groß wird; die Größe des Widerstandes, den sie leisten, ist die rückwirkende oder Druck-Festigkeit. Die aus dem Mauerwerk hervortretenden Balken, welche die Balkone, Decken 2c. der Häuser tragen, die Balanciers der Dampfmaschinen, die oft sehr große Gewichte zu heben haben, können bei zu schwerer Belastung abgebrochen werden: der Widerstand, welchen sie dem Abbrechen entgegensetzen, ist die Bruch- oder relative Festigkeit. Unter Drehungs- oder Torsions-Festigkeit endlich versteht man den Widerstand, den Körper zeigen, welche der Gefahr des Abdrehens ausgesetzt sind, wie dies z. B. an den Achsen von Rädern der Fall ist, deren Enden nicht in genau gleicher Weise gedreht werden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Es ist klar, daß es von großem Interesse ist, die Festigkeit der verschiedenen Materialien genau kennen zu lernen, um sofort die Dicke, Breite und Länge einer Säule, eines Balkens 2c. bestimmen zu können, der eine gegebene Belastung zu tragen hat. Daher sind schon seit alter Zeit umfangreiche Versuche zur Bestimmung derselben angestellt worden. Da aber die Materialien nicht immer gleichmäßig gebaut sind, so können auch die daraus herstammenden Zahlen überall nur als Mittelwerte gelten.

Um die Zugfestigkeit zu bestimmen, befestigt man einen Körper an einem Ende und hängt so lange Gewichte daran, bis ein Zerreißen erfolgt. So kann man an einen Messingdraht von 1 qmm Querschnitt ein Gewicht von 60 kg anhängen, ehe die Trennung der Teilchen eintritt. Man hat auf diese Weise das Gesetz aufgefunden, daß die Zugfestigkeit für dasselbe Material lediglich vom Querschnitte abhängig und zwar dem Querschnitte direkt proportional ist.

Die Anzahl von kg die man an eine Stange von 1 qmm Querschnitt anhängen muß, um sie zum Zerreißen zu bringen, nennt man Festigkeits-Modul. Die Tabelle I giebt die Festigkeits-Module für die bekanntesten Körper. — In der Praxis darf man einen Körper nur mit einem Bruchteil seines Festigkeitsmoduls belasten. Dasjenige Gewicht in kg, mit dem man einen Körper belasten darf, ohne der Sicherheit zu schaden, nennt man Sicherheitsmodul. Derselbe beträgt bei Metallen $^1/_6$, bei Hölzern $^1/_{10}$ des Festigkeitsmoduls. (Tabelle I.)

Auch die rückwirkende Festigkeit ist, wenn die Höhe des Körpers nicht viel größer wie die Dicke, lediglich vom Querschnitte abhängig, und zwar demselben proportional; bei größerer Höhe wird sie geringer.

Die Bruchfestigkeit ist direkt proportional der Breite des Körpers und dem Quadrate der Höhe, aber umgekehrt proportional der Länge. Daraus folgt, daß man bei Balken von rechteckigem Querschnitte eine größere Festigkeit erzielen wird, wenn man sie auf die schmale, als wenn man sie auf die breite Seite legt.

Denn betrachten wir zwei Balken von gleicher Länge, von denen der erste ein Quadrat von 1 cm, der zweite ein Rechteck von 1 und 2 cm Seitenlänge zum Querschnitte hat, und nehmen die Festigkeit des ersten als Einheit an, so ist die Festigkeit des zweiten, wenn wir ihn auf die breite Seite legen, doppelt so groß wie die angenommene Einheit, wenn wir ihn aber auf die schmale Seite (die „hohe Kante") legen, 2^2 d. h. 4 mal so groß. —

Mit Balken, die auf die hohe Kante gelegt sind, kann man hohle Röhren, hohle Knochen 2c. vergleichen; ihre Festigkeit ist gegen ihr Gewicht verhältnismäßig groß.

Die Torsionsfestigkeit ist unabhängig von der Länge der Achse, dem Kubus des Durchmessers der Welle direkt proportional.

Unter Härte eines Körpers versteht man den Widerstand gegen das Ritzen durch einen anderen Körper. Dieselbe kommt besonders bei Mineralien in Betracht. Mohs hat folgende Härteskala aufgestellt, in der jeder folgende Körper den vorhergehenden ritzt, ohne von ihm geritzt zu werden:

1) Talk, 2) Gyps, 3) Kalkspat, 4) Flußspat, 5) Apatit, 6) Feldspat, 7) Quarz, 8) Topas, 9) Korund, 10) Diamant.

---

1. Anmerkung: „Ein Körper ist auf 10-fache Sicherheit gebaut" heißt, er bricht erst dann, wenn man ihn mit einem 10 mal so schweren Gewichte belastet; demnach wird bei Metallen auf 6-fache, bei Holz auf 10-fache, bei Mauersteinen aber wird auf 20-fache Sicherheit gebaut.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tabelle I.

Festigkeits- und Elasticitäts-Tabelle.

Material	Elasticitäts-Modulus	Elasticitätsgrenze für Zug	Elasticitätsgrenze für Druck	Absolute Festigkeit	Rückwirkende Festigkeit
Schmiedeeisen	20200	$\frac{1}{1250}$	$\frac{1}{1250}$	40,40	31,32
Gußeisen	10100	$\frac{1}{1562}$	$\frac{1}{821}$	14,54	79,97
Gußstahl	30000	$\frac{1}{462}$	—	100,00	—
Tannenholz	1293	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{666}$	9,70	4,85
Fichtenholz	1212	$\frac{1}{536}$	$\frac{1}{714}$	8,08	4,04
Kiefernholz	1293	$\frac{1}{444}$	$\frac{1}{592}$	10,50	5,25
Eichenholz	1212	$\frac{1}{469}$	$\frac{1}{563}$	8,08	5,39

§ 2.

Elasticität.

1. Dem.-Obj.: Kautschuk, Elfenbein, Stahl- und Messingfedern, — Ziegel und gebrannter Thon.
2. Dem.-Obj.: Gummi-Bälle, Luftkissen, Luftbüchsen zum Retardieren von Pendelbewegungen an Thüren, Galvanometern, Bremsdynamometern 2c.
3. Dem.-Obj.: Federwage, Dynamometer.

Erläuterungen: Wenn man einen Körper durch Druck oder Zug aus seiner Gestalt herausbringt, so kehrt er nach dem Aufhören der Kraft entweder wieder in seine frühere Gestalt zurück, — er ist elastisch —, oder nicht, und dann nennen wir ihn unelastisch. Im letzteren Falle bleibt er entweder in der neuen Form, — er ist geschmeidig, dehnbar, oder endlich er verliert den Zusammenhang seiner Teile gänzlich, — er ist spröde.

Beispiele von spröden Körpern liefern schnell abgekühltes Glas, Glasthränen, d. h. Tropfen von Glasmasse, die man noch heiß in kaltes Wasser hat fallen lassen und Bologneser-Fläschchen; die ersteren springen in unzählige Stücke, wenn man ihre Spitze abbricht, die letzteren, wenn man ein frisch abgespaltenes Stückchen Feuersteins hineinfallen läßt. — Geschmeidige Körper sind die Metalle in der Wärme, besonders die edlen Metalle. — Von elastischen Körpern sind hauptsächlich zu merken: Kautschuk, Elfenbein, Stahl- und Messingfedern, sowie Luft in abgeschlossenen Räumen.

Kein Körper ist vollkommen elastisch, seine Änderung darf eine gewisse Grenze nicht überschreiten, wenn er wieder in seine frühere Gestalt zurückkehren soll. Die größte Veränderung, welche ein Körper erfahren darf, ohne die Fähigkeit der vollkommenen Wiederherstellung zu verlieren, heißt Elasticitätsgrenze. — Dasjenige Gewicht im kg, welches einen elastischen Körper zur doppelten Länge auszuziehen vermag, ist der Elasticitätsmodulus; der reciproke Wert desselben wird auch der Elasticitätscoefficient genannt, er giebt den Bruchteil an, um welchen sich die Länge eines elastischen Stabes ändert, wenn er mit 1 kg belastet wird.

Wir benutzen die Elasticität der Luft zu Luftkissen, des Stahles, Messings 2c. zu Uhren, Thüren, Thürklinken, Polstern, Federwagen und Wagenfedern, zum Abschwächen von Stößen 2c. Auf Elasticität beruhen das Abprallen der Körper beim Stoße, die Erscheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme. —

Innerhalb der Elasticitätsgrenze gilt das Gesetz, daß die Veränderung des Volumens eines Körpers dem einwirkenden Gewichte proportional ist. Da wir nun Kräfte am bequemsten durch Gewichte

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

messen, so besitzen wir in elastischen Körpern, z. B. in Federwagen, einfache Kraftmesser (Dynamometer). Übt z. B. eine Kraft an einer Federwage denselben Zug oder Druck aus wie ein Gewicht von 10 kg, so bezeichnen wir dieselbe als eine Kraft von 10 kg.

Da kein Körper vollkommen unelastisch, also jeder Körper wenigstens in geringem Grade elastisch ist, so wird jeder Körper einem auf ihn ausgeübten Drucke oder Zuge einen Gegendruck entgegen setzen, der, solange die Veränderung des Körpers noch innerhalb der Elasticitätsgrenze liegt, dem einwirkenden Drucke gleich ist (Princip von der Gleichheit der Aktion und Reaktion).

Die Elasticitätsmodule sind wie die Festigkeitsmodule durch Versuche festgestellt. Tabelle I giebt eine Übersicht derselben, wobei immer das Gewicht in kg angegeben ist, die elastischen Körper aber als stabförmige Körper von 1 qmm angenommen werden.

Unter Torsionselasticität verstehen wir die Kraft, mit welcher ein an einem Ende befestigter Stab, eine Saite, wenn sie eine gewisse Torsion erfahren, wieder in ihre Gleichgewichtslage zurückzukehren suchen. Dieselbe ist unter sonst gleichen Umständen dem Torsionswinkel, sowie bei runden Stäben der 4. Potenz des Radius direkt, der Länge aber umgekehrt proportional. Auf ihr beruht die Torsionswage zum Messen sehr kleiner Kräfte.

§ 3.

Flüssige Körper.

Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten.

1. Vers. In einen durchlöcherten, mit Wasser gefüllten Glasballon wird ein dicht schließender Stempel eingetrieben. Beobachtung: Das Wasser spritzt aus allen Öffnungen gleichmäßig hervor.
2. Vers. In einen mit Wasser gefüllten Raum gehen möglichst leicht senkrecht nach unten drei dicht schließende Kolben, deren Querschnitte sich verhalten wie 10:7:7. Beobachtung: Legt man auf den ersten ein Gewicht von 1000 g, so werden die beiden anderen herausgetrieben und es bedarf zweier Gewichte von 700 g, um Gleichgewicht herzustellen.
3. Vers. Das Modell einer hydraulischen Presse wird in Gebrauch genommen.

Erläuterungen: Flüssig nennen wir diejenigen Körper, deren Teile sich schon durch sehr geringe Kraft beliebig gegen einander verschieben lassen, und deren Volum durch Druck nur unmerklich verändert werden kann.

Repräsentant derselben ist das Wasser als der am meisten verbreitete flüssige Körper. Alkohol, Aether, Schwefelkohlenstoff und Benzin sind jedoch viel leichter beweglich und kommen daher einer vollkommenen Flüssigkeit näher als das Wasser.

Die flüssigen Körper lassen sich nur durch einen sehr starken Druck und auch dann nur um einen fast verschwindend kleinen Bruchteil ihres Volumens zusammenpressen; dadurch unterscheiden sie sich von den luftförmigen, die jeder Änderung des Druckes nachgeben. Innerhalb der Grenzen der Kompressibilität sind sie vollkommen elastisch.

Da sich die Teile einer Flüssigkeit sehr leicht nach allen Richtungen verschieben lassen, so wird ein auf sie ausgeübter Druck nicht nur wie bei festen Körpern in der Richtung der drückenden Kraft selbst wirken, sondern die Teilchen werden nach allen Seiten hin dem Drucke auszuweichen suchen und daher den Druck nach allen Richtungen hin in der gleichen Stärke übertragen. Daß dies wirklich der Fall ist, sehen wir an einem mit vielen Öffnungen versehenen Gefäße, in dem eine Flüssigkeit einem Drucke ausgesetzt wird; sofort spritzt dieselbe nach allen Richtungen daraus hervor. Daß aber der Druck auch in gleicher Stärke fortgeflanzt, d. h. daß auf gleiche Flächenstücke ein gleicher Druck ausgeübt wird, erkennen wir an einem Wassergefäße, in das zwei dicht schließende Kolben von gleichem Querschnitte senkrecht hineingleiten können. Belasten wir nämlich den einen mit einem Gewichte, gegen das der Ein-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fluß der Reibung vernachlässigt werden kann, so wird der andere Kolben emporgedrückt und wir müssen auf ihn dasselbe Gewicht legen, um Gleichgewicht herzustellen. Es wirkt also ein Druck, der auf eine Flüssigkeit ausgeübt wird, auf alle gleichen Flächenstücke mit gleicher Stärke. Senken wir in dasselbe Gefäß jetzt einen Kolben von doppelt so großem Querschnitt ein, so bedarf es eines doppelt so großen Gewichtes, um den auf ihn ausgeübten Druck aufzuheben.

Das folgt auch sofort, wenn wir uns den Querschnitt desselben in zwei Einheits-Querschnitte zerlegt denken. Auf jeden wirkt der einfache Druck, also auf beide der doppelte.

Senken wir in ein Gefäß mit Flüssigkeit zwei Kolben, deren Querschnitte sich verhalten wie 1:100, so können wir durch Auflegung eines kg auf den ersten einen Druck von 100 kg auf den zweiten hervorbringen.

Auf diesem Principe beruht die hydraulische Presse, in welcher durch Druck auf einen schmalen Kolben ein starker Druck auf einen großflächigen Kolben erzielt wird.

Mittels des Kolbens h wird aus dem Behälter m Wasser durch das Ventil i in den eisernen Cylinder a gepumpt, in welchem sich der dicht schließende Kolben b befindet. Verhalten sich die Querschnitte der Kolben wie 1:500, so wirkt auf den letzteren ein 500 mal so großer Druck, als wir auf den ersten ausüben. Lassen wir auf diesen eine Kraft von 1000 kg einwirken, so beträgt der Druck auf den großen Kolben 500 000 kg, abgesehen von der Reibung an den Wänden, die denselben um etwa $^1/_4$ verringern mag. Mit einer solchen Kraft wird also ein zwischen dem Kolben und einer gegenüberliegenden festen Wand angebrachter Körper zusammengepreßt. Man benutzt den Apparat zum Pressen von Tuch und Papier, zum Probieren von Drahtseilen, Ankerketten, Stäben zu Kettenbrücken, überhaupt zur Untersuchung der absoluten wie rückwirkenden Festigkeit.

1. Anmerkung: Wasser wird bei einem Drucke von 100 Atmosphären, d. h. einer Wassersäule von 1000 m Höhe um $^1/_{200}$ zusammengepreßt. Steigt man also im Meere in immer größere Tiefen, so wird die Dichtigkeit des Meerwassers um ein kleines zunehmen, jedoch so wenig, daß sie erst in der Tiefe von 1000 m die Dichte an der Oberfläche um $^1/_{200}$ übertrifft.

§ 4.

Oberfläche flüssiger Körper; kommunicierende Röhren.

1. Versuch. Über einem Oelbade wird ein Bleilot aufgehängt.
2. Versuch. In ein System von kommunicierenden Röhren wird in Intervallen Wasser gegossen: Dasselbe stellt sich stets gleich hoch.
3. Versuch. Eine Kanalwage wird zum Nivellieren benutzt.
4. Versuch. Ein Springbrunnen wird in Thätigkeit versetzt.

Die Oberfläche des Wassers auf unserer Erde besitzt annähernd die Gestalt eines sog. Rotationssphäroids, wie die Erdoberfläche selbst. Beschränken wir uns auf einen hinreichend kleinen Teil derselben, so können wir von der Krümmung desselben absehen; es erscheint uns also die Oberfläche jeder kleineren Wassermasse als eine Ebene. Wir bezeichnen dieselbe als Horizontalebene und ein darauf errichtetes Lot als Vertikallinie oder Vertikale.

Denken wir uns in einem Gefäße mit ruhender Flüssigkeit einen Teil der Flüssigkeit fest werdend, ohne daß eine Volum-Veränderung eintritt, so kann dadurch das Gleichgewicht nicht gestört werden; die Oberfläche der Flüssigkeit wird also nach wie vor in einer Horizontalen liegen. Wird an Stelle der fest gewordenen Flüssigkeit eine feste Wandung gesetzt, welche das Gefäß in zwei mit einander in Verbindung stehende Teile zerlegt, so muß dasselbe gelten, d. h.:

„In zwei kommunicierenden Gefäßen steht eine Flüssigkeit im Falle des Gleichgewichtes gleich hoch."

Dies Gesetz läßt sich leicht durch Versuche bestätigen.

Anwendung findet dasselbe z. B. in der Kanalwage, zwei vertikalen Glascylindern, die durch

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

eine Blechröhre verbunden sind. Das Ganze ist mit gefärbter Flüssigkeit gefüllt und auf einem Stative mit drei Füßen aufgestellt. Die Kanalwage ist ein Nivellierinstrument, d. h. sie dient zum Abstecken horizontaler Linien, resp. zu messen, wie viel ein Punkt A der Erde höher liegt als ein anderer B. Man stellt zu diesem Zwecke das Instrument in dem ersten Punkte so auf, daß die Mitte M desselben grade über dem Punkte A liegt und schlägt bei B einen mit einem Maßstabe versehenen Pflock ein. Man visiert nun über die Oberflächen C und D des Wassers in den Glasröhren weg nach der sog. Nivellierlatte EF, welche ein Gehilfe so lange am Pflocke auf und niederschiebt, bis man gerade über die Wasserflächen hinweg nach dem Mittelpunkt der Scheibe an der Nivellierlatte sieht. Die Scheibe ist, um aus der Ferne die Mitte E genauer erkennen zu können, in zwei weiße und zwei schwarze kreuzweis liegende Quadrate geteilt. Mißt man nun die Höhen MA und EB, so ist die Differenz derselben gleich der Höhendifferenz der beiden Punkte A und B.

Hierher gehören auch die Wasserstandsmesser an Gasometern und Dampfkesseln, vertikale Glasröhren, deren unteres und oberes Ende mit dem niedrigsten und höchsten Teile des Wasserbehälters luftdicht verbunden sind, in denen die Höhe der Flüssigkeit die Flüssigkeitshöhe im Behälter anzeigt.

Auf dem gleichen Gesetz beruhen die Wasserleitungen, Systeme von Röhren, die sämtlich mit einem hoch gelegenen Bassin, in welches das Wasser meistens aus einem Flusse 2c. mittels Dampfkraft hinaufgepumpt wird, in fester Verbindung stehen. Da sich das Wasser in den Röhren ebenso hoch einzustellen strebt, wie im Bassin, so wird dasselbe, wenn die Öffnungen niedriger liegen, da hinaus fließen und zum Gebrauche verwendet werden können; es geht hieraus aber hervor, daß man die Ausflußröhren nur etwa bis zur Höhe des Bassins emporführen darf.

Bringt man tief unterhalb des Bassins eine nach oben gerichtete Ausflußröhre an, so wird das Wasser in seinem Bestreben, sich mit dem Wasser im Bassin in gleiche Höhe einzustellen, dort hervorströmen und einen Springquell bilden, der allerdings wegen der Reibung in den Röhren und des Luftwiderstandes nur etwa $^2/_3$ dieser Höhe erreicht.

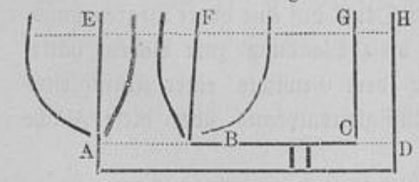
Mit dem Springbrunnen verwandt ist der artesische Brunnen. In hügeligen, wellenförmigen Gegenden, wo Sand- und Thon-Schichten in der Erdrinde mit einander abwechseln, kommt es oft vor, daß sich in den Sandschichten, die zwischen undurchlässigem Thon liegen, Wasser ansammelt und bis zu den Spitzen der benachbarten Hügel anstaut. Wenn man dann die Thonschichten an dem tiefsten Punkte der Thalsohle durchsticht, so strömt das Wasser dort wie bei einem Springquell hervor. Derartige Brunnen finden sich vorzüglich in der Grafschaft Artois in Flandern; man hat sie daher artesische genannt; man hat aber solche selbst in der afrikanischen Sandwüste hergestellt.

§ 5.

Bodendruck der Flüssigkeiten.

1. Dem. Obj. Apparat mit verschiedenen weiten kommunicierenden Röhren.
2. Dem. Obj. Reals Extrativ-Presse.

Erläuterungen.



Jede Flüssigkeit übt auf einen in ihr befindlichen Körper einen gewissen Druck aus. Bringen wir in die Verbindungsröhre der zwei kommunicierenden Gefäße einen Pflock, der sich wasserdicht aber doch leicht beweglich an die Wand anschließt, und gießen dann Flüssigkeit in das eine Gefäß hinzu, so wird der Pflock nach der entgegengesetzten Seite getrieben und umgekehrt. Dieser Druck wird natürlich mit dem Querschnitte der Verbindungsröhre sich ändern, andererseits mit der Höhe der Flüssigkeit wachsen.

Die Wasserschicht unterhalb der Ebene ABCD hält sich das Gleichgewicht. Der Druck des Wassers oberhalb AB ist bei senkrechten Wänden offenbar gleich dem Gewichte des darüber befindlichen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wassers; diesem Drucke wird durch den Gegendruck der Wassersäule auf der anderen Seite über CD das Gleichgewicht gehalten. Ob die Gefäßwände über AB weiter oder enger sind, bei gleicher Höhe AE hält immer derselbe Gegendruck CDHG der bald größeren, bald kleineren Flüssigkeitsmenge über AB das Gleichgewicht; d. h. alle diese Flüssigkeitsmengen üben denselben Druck aus. —

Wir sehen, es kommt auf die Masse der Flüssigkeit gar nicht an, sondern nur auf die Größe der betrachteten Druckfläche und die Höhe des Wassers im Gefäße. Der Druck auf irgend einen Teil des Bodens ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche den Boden zur Grundfläche und die Erhebung des Flüssigkeitsniveaus über denselben zur Höhe hat.

Den thatsächlichen Beweis für diesen Satz liefert der Pascalsche Apparat, in welchem eine durch ein gewisses Gewicht vor eine Ausflußöffnung gepreßte Gummiplatte bei derselben Erhebung des Wassers über diese Platte niedergedrückt wird, so verschieden auch die Flüssigkeitsgefäße sein mögen.

Man benutzt das Gesetz des Bodendrucks in Reals Extraktivpresse, bei der in einem weiteren Gefäße, das oben in eine dünne Röhre ausläuft, zwischen zwei porösen Thonplatten, die zu extrahierenden Stoffe (Pflanzenteile 2c.) sich befinden. Füllt man Gefäß und Röhre mit der Extraktionsflüssigkeit (Alkohol, Aether 2c.), so stehen die Stoffe unter demselben Drucke, als wenn der Apparat bis zum Flüssigkeitsniveau die Weite des unteren Gefäßes hätte. Da die Extraktionsfähigkeit mit dem Drucke wächst, so leuchtet der Nutzen einer solchen Presse sofort ein.

Auf ähnlichem Principe beruht die Appreturpresse. Dieselbe besteht ebenfalls aus einem weiteren, cylindrischen Gefäße, in dem ein Kolben wasserdicht auf und niedergeht, mit einer oben angebrachten längeren Röhre. Füllt man den Apparat bis zum Rande des Rohres mit Wasser, so wird der Kolben mit einer ungeheuren Kraft auf die Unterlage gepreßt, wenn man nur die Röhre hinreichend lang nimmt. Ist z. B. der Kolbenquerschnitt 1 qm, die Röhrenhöhe 50 m, so ist der Druck gleich dem Gewichte einer Wassersäule von 50 cbm, d. h. gleich: 50 t = 1000 Centner.

Anwendung derselben in Zeug- (Kattun-) Fabriken, mechanischen Webereien 2c.

§ 6.

Druck der Flüssigkeiten nach oben.

1. Vers. Eine Glasröhre, vor deren untere Öffnung eine Metallplatte mittels eines Fadens wasserdicht angedrückt ist, wird in ein Glasgefäß mit Wasser gesenkt; Beob.: Die Platte bleibt nach dem Eintauchen auch ohne Fadenzug am Glase haften; läßt man vorsichtig Wasser in die Röhre fließen, so fällt sie nicht eher ab, als bis das Wasser innen ungefähr so hoch steht, wie außen.

2. Dem.-Obj. Modell eines Fahrstuhles oder Elevators oder Abbildung eines solchen.

Erläuterungen: Da die Flüssigkeitsteilchen dem an einer beliebigen Stelle der Flüssigkeit wirkenden Drucke wegen ihrer vollkommen leichten Verschiebbarkeit nach allen Richtungen hin zu entweichen suchen, so wird der Druck nach allen Seiten derselbe sein müssen; es wird daher der Druck auf ein in einem beliebigen Punkte der Flüssigkeit aufgehängtes Flächenstückchen derselbe bleiben müssen, wie man dasselbe auch richten mag. Daher wird der Flüssigkeitsdruck auf irgend eine in der Flüssigkeit angebrachte horizontale Fläche von oben gerade so groß sein wie von unten. Der Druck auf eine obere Begrenzungswand ist daher derselbe, als wenn die darüber stehende Flüssigkeit diese Wandung zum Boden hätte. Daher ist der Flüssigkeitsdruck auf eine obere Begrenzungsfläche gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche diese Fläche als Grundfläche und die Erhebung des Flüssigkeitsniveaus über diese Fläche zur Höhe hat.

Wenn man daher in eine Flüssigkeit eine unten eben abgeschliffene und mit einer ebenen Platte versehene Röhre einsenkt, so wird die Flüssigkeit die Platte gegen die Röhre drücken, und wenn man vorsichtig Wasser in die Röhre gießt, wird die Platte erst dann abfallen, wenn das bis zum äußeren Niveau noch fehlende Flüssigkeitsquantum dem Gewichte der Platte gleichkommt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Auf dem Bodendrucke nach aufwärts beruht der Wolffsche anatomische Heber, der hydrostatische Blasebalg; es gründen sich hierauf ferner die Fahrstühle und Elevatoren, sowohl für Personen wie für Güter, wie sie besonders im Anschlusse an eine Wasserleitung leicht angebracht werden können.

Der Druck wird durch das Wasser im Centralbehälter hervorgebracht, welches bei Öffnung eines Hahnes in den Druckcylinder eintreten und den Fahrstuhl in die Höhe treiben kann. Die Schließung dieses und Öffnung eines anderen Hahnes läßt das Wasser wieder ausströmen und der Fahrstuhl sinkt langsam nieder. Fahrstühle hat man in Gasthöfen und größeren Privathäusern; ähnlich eingerichtete Apparate, mittels deren man auf Bahnhöfen oder industriellen Werken Lasten aus einer Etage in die andere hebt oder senkt, nennt man Elevatoren.

Die größte durch solche Apparate noch zu hebende Last findet man durch Multiplikation der Druckhöhe mit dem Kolbenquerschnitt, vorausgesetzt, daß das Gewicht des sich bewegenden Apparats selbst durch ein Gegengewicht äquilibriert ist.

§ 7.
Seitendruck der Flüssigkeiten.

1. Vers. Eine nicht zu kleine Flasche, deren in der Nähe des Bodens befindliche seitliche Öffnung durch einen Kork leicht verschlossen ist, wird mit Wasser gefüllt und an einem Faden frei aufgehängt. Wird durch einen schnellen, kräftigen, tangentialen Schlag der Stöpsel entfernt, so bewegt sich die Flasche entgegen dem ausfließenden Wasserstrahle.

2. Vers. In ein Segnersches Rad wird Wasser geschüttet; Beob.: Es dreht sich den Ausflußstrahlen entgegen rund. — Dasselbe mit einer Turbine.

Erläuterungen: Da der an einer Stelle der Flüssigkeit befindliche Druck nach allen Richtungen der gleiche ist, so wird auf ein Element der Seitenwand eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes derselbe Druck wirken, als wenn es in gleicher Höhe horizontal läge, d. h. der Druck ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche dies Element zur Grundfläche und die Erhebung des Flüssigkeitsniveaus über dasselbe zur Höhe hat. Wir können dies leicht durch eine Figur veranschaulichen, indem wir diese Erhebung senkrecht zum Elemente hinzeichnen. Verbinden wir die Endpunkte zweier solcher Lote, so giebt uns jede Parallele zur Senkrechten, so weit sie zwischen der Wandung und der genannten Verbindungslinie liegt, die zu jedem Elemente gehörige Druckgröße. Der Druck auf einen sehr schmalen, vertikalen Teil der Seitenfläche wird daher abgesehen von der Größe dieses Elementes durch den Inhalt desjenigen Trapezes dargestellt sein, welches zwischen den beiden äußersten Parallelen liegt. Der Inhalt dieses Trapezes ist aber gleich dem eines Rechtecks, welches das Stück der Seitenwand zur Grundlinie und das Mittel aus den beiden äußersten Höhen zur Höhe hat. Daher ist der Druck auf einen Teil der Seitenfläche eines mit Flüssigkeit erfüllten Raumes gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche diesen Teil zur Grundfläche und die Erhebung des Flüssigkeitsniveaus über den Mittelpunkt oder Schwerpunkt dieser Fläche zur Höhe hat.

In einem Gefäße, in dem die Flüssigkeit zur Ruhe gekommen ist, müssen sich diese Seitendrucke das Gleichgewicht halten. Wenn aber der Seitendruck nach einer Seite hin aufgehoben wird, indem man z. B. einen Teil der Seitenfläche wegnimmt, so wird der Druck auf den entgegengesetzten Teil der Seitenwand überwiegen und der Körper wird sich entgegen der Richtung des ausfließenden Strahles fortbewegen.

Dies geschieht z. B. bei einer mit einer seitlichen Öffnung versehenen Flasche, sobald wir den Kork, der die Seitenöffnung verschließt, plötzlich wegnehmen. Auf gleichem Principe beruht das um eine vertikale Achse drehbare Segnersche Wasserrad, welches an 4 horizontal liegenden Ausflußröhren je eine seitliche Öffnung besitzt, aus welchen das Wasser in gleichem Sinne ausfließt, sodaß das Rad nach der entgegengesetzten Richtung getrieben wird; ebenso die Turbinen, welche man zum Treiben von Mühlen 2c. verwendet und mittels deren man mehrere hundert Pferdekräfte erhalten kann.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Man nennt diese Rückwirkung Reaktionswirkung; dieselbe findet auch Anwendung bei den Reaktions-Dampfschiffen, bei denen aus seitlichen Röhren Wasser ausgepreßt wird. Dadurch daß diese beliebig gestellt werden können, kann man das Dampfschiff nach Belieben regieren, vorwärts und rückwärts, langsamer und schneller treiben lassen; stellt man die eine Röhre nach vorn, die andere nach hinten, so dreht sich das Schiff um seine Achse, nach der einen oder anderen Seite, langsamer oder schneller, je nach Einstellung der Röhren.

§ 8.

Archimedisches Princip.

1. Vers. Ein Metallcylinder wird unter einer Hülse, in welche er genau paßt, angehängt und der ganze Apparat an einer Wage ins Gleichgewicht gebracht. Sobald man den Cylinder ins Wasser taucht, wird das Gleichgewicht gestört und erst dann wieder hergestellt, wenn man die Hülse mit Wasser füllt.

Erläuterungen. Sind die Moleküle einer Flüssigkeit im Gleichgewichte, so ist es offenbar gleichgiltig, ob die Teilchen, welche ja sämtlich in Ruhe neben einander liegen, mit einander in fester Verbindung gedacht werden, oder nicht. Denken wir uns aber die Teilchen in einem abgegrenzten Raum der Flüssigkeit in fester Verbindung mit einander, so werden sie einen festen Körper vorstellen, der in der Flüssigkeit schwebt. Dieser Körper wird von der Flüssigkeit grade getragen und zwar können es nur die auf seine Oberfläche einwirkenden Druckkräfte sein, die ihn im Gleichgewichte halten. Da der Körper mit einer Kraft nach unten getrieben wird, welche gleich seinem Gewichte ist, so müssen die Oberflächenkräfte sich zu einer ebensogroßen Kraft zusammensetzen. Man nennt diese Kraft den Auftrieb.

Der Auftrieb hält dem Gewichte des Körpers genau das Gleichgewicht; er muß daher gleich dem Gewichte dieses Körpers oder, was dasselbe ist, der durch diesen verdrängten Wassermasse und der Anziehungskraft der Erde entgegen gerichtet sein. Da diese aber durch den Schwerpunkt des festen Körpers geht, so muß auch der Auftrieb durch diesen Punkt, d. h. durch den Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse gehen. Da ferner ein fester Körper, wie wir uns ihn gedacht haben, in allen Lagen in der Flüssigkeit im Gleichgewichte ist, so wird der Auftrieb stets durch denselben Punkt, den Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse gehen; diesen Punkt können wir daher als Angriffspunkt der Auftriebskraft betrachten.

Da der Auftrieb die Resultierende aller auf die Oberflächenelemente des betrachteten Raumes wirkenden Druckkräfte ist, so hängt er nicht ab von der in demselben vorhandenen Masse, ist also derselbe, ob die Masse schwerer, ebenso schwer oder leichter ist, als ein gleich großes Volumen Flüssigkeit; ebenso ist er unabhängig von der Verteilung der Masse im Raum.

Daraus ergiebt sich das Archimedische Princip: „Ein jeder Körper wird in einer Flüssigkeit um so viel leichter, als das verdrängte Flüssigkeitsvolum wiegt; sein Gewicht in einer Flüssigkeit ist daher: $Q-T$, wenn Q das Gewicht des Körpers in der Luft, und T das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeit ist."

Ist der Körper schwerer als die verdrängte Flüssigkeit, so wird er mit dem Übergewichte seines Eigengewichts über den Auftrieb zu Boden sinken; um ihn im Gleichgewichte zu erhalten, bedarf es daher nur einer diesem Überdrucke gleichen Kraft. Daher erklärt es sich, daß ein Stein im Wasser viel leichter ist, als in der Luft, daß ein Hund im Wasser einen erwachsenen Menschen tragen kann ꝛc. Wiegt ein Körper grade so viel wie die von ihm verdrängte Flüssigkeit, so wird er an jedem Punkte der Flüssigkeit im Gleichgewichte sein; wiegt er aber weniger, so wird er durch den Auftrieb an die Oberfläche der Flüssigkeit gehoben, er wird schwimmen.

Das Archimedische Princip läßt sich auch auf folgende Art beweisen: Wenn in einer Flüssigkeit ein rechtwinklig parallelepipedischer Körper vertikal eingetaucht ist, so werden die umliegenden Wasser-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

teilchen auf denselben Druckkräfte ausüben, von denen die seitlich wirkenden sich gegenseitig aufheben, da jeder einzelnen eine gleichgroße, entgegengesetzt wirkende gegenübersteht. Die Druckkräfte auf die obere und untere Fläche werden sich aber nicht aufheben, da sie gleich den Gewichten derjenigen Flüssigkeitssäulen sind, welche die Grundflächen zum Boden und die Erhebung des Wasserniveaus über dieselben zu Höhen haben; es wird daher der untere Druck den oberen um das Gewicht derjenigen Flüssigkeitsmasse überwiegen, welche das Volumen des Prismas ausfüllt. Ein solcher Körper wird also um das Gewicht derjenigen Flüssigkeitssäule leichter, welche er verdrängt. — Jeden beliebigen anderen Körper können wir nun in lauter rechtwinklige Parallelepipeda zerlegen Nehmen wir nun die Querschnitte der Prismen hinreichend klein gegen ihr. Länge, so können wir ohne merklichen Fehler statt der schrägen Endflächen solche setzen, welche senkrecht zu den Seiten der Prismen stehen. Dann wird nach Obigem jedes einzelne Prisma und mithin auch der ganze Körper leichter um das Gewicht der Flüssigkeitsmasse, welche er verdrängt.

1. Anmerkung: Geschichtliches. Archimedes († 212 a Chr. n.) wurde getötet durch einen römischen Krieger bei der Eroberung von Syracus, das er lange durch sinnreiche Maschinen gegen die Römer verteidigt hatte. —

König Hiero von Syracus hatte einem Goldschmiede eine bestimmte Anzahl Pfunde Goldes gegeben, daß er ihm eine Krone daraus mache. Die gelieferte Krone wog dieselbe Anzahl Pfunde; doch vermutete Hiero einen Betrug und beauftragte Archimedes, die Krone zu untersuchen. — Lange wußte Archimedes nicht, wie er dies ausführen könne, endlich kam er beim Baden auf den Gedanken, daß jeder Körper um das Gewicht der von ihm verdrängten Wassermasse leichter werde, daß daher ein Pfund Gold, weil es ein kleineres Volum habe, als ein Pfund Silber, um weniger leichter werden müsse als ein Pfund Silber, und daß er aus der Gewichtsveränderung der Krone im Wasser einen Schluß auf die Bestandteile derselben machen könne. Bekannt sind seine Worte: *Εὕρηκα, εὕρηκα* = Ich hab's, ich hab's!

2. Anmerkung: Unter dem specifischen Gewichte eines Körpers verstehen wir das Verhältnis seines Eigengewichtes zu dem Gewichte eines gleichen Volums Wasser. Da ein Körper im Wasser um so viel leichter wird, als das von ihm verdrängte Wasservolum wiegt, so brauchen wir zur Bestimmung des specifischen Gewichts den Körper nur in der Luft und im Wasser zu wiegen und das Luftgewicht durch die Differenz der beiden erhaltenen Gewichte zu dividieren.

Die zweite Hälfte des 2. Teiles wird in einem der nächsten Programme veröffentlicht werden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf