Theorie

des

Englischen Zylindergebläses

von

Joseph Baader,

der Arzneywissenschaft Doktor, der churfl. Akademie der Wissenschaften in München, und der königl. medizinischen Gesellschaft zu Edinburg Mitglied, dann Sr. churfl. Durchl. zu Pfalzbaiern Machinen-Inspektor.

Das Zylindergebläse gehört zu jenen Erfindungen, die sich mehr durch Einfachheit als durch Scharfsinn empfehlen, und bey welchen man sich am meisten darüber wundern muß, daß sie nicht längst von tausend mittelmäßigen Köpfen erzeugt und ausgeführt worden sind. Diese überaus wichtige Maschine ist in England und Schottland bereits seit zwanzig Jahren mit den auffallendsten Vortheilen allgemein an die Stelle der in jeder Rücksicht mangelhaften Bälge vor den Schmelzöfen sowohl als vor den Frischfeuern eingeführt, und hat in dem ganzen Hüttenwesen mehr als irgend eine andere Erfindung neuerer Zeiten Epoche gemacht. Ihre Konstruktion ist an sich sehr einfach, da sie im Grunde nichts anders als eine Kompressionspumpe oder ein Luftdruckwerk im Großen ist, und in der That liegt das Verdienst des Erfinders nicht sowohl im Entwurfe des Planes, als in Auffindung der Mittel, und Ueberwindung der Schwierigkeiten, die der Ausführung desselben im Wege standen. Der Dauer und Genauigkeit wegen müssen die Zylinder nothwendig von Metall seyn *); man wählte hiezu gegossenes Eisen als das wohlfeilste und

*) Man hat in Schlesien und anderswo mit hölzernen Zylindern (Tonnen) Versuche gemacht, in denen gelederte Scheiben (Kolben) auf und nieder bewegt werden; allein der Schwierigkeiten nicht zu gedenken, mit denen

dauerhafteste. In Deutschland, wo man überhaupt im Eisenhüttenwesen, und besonders in Verfertigung von Gußwaaren noch um ein Jahrhundert hinter den Engländern zurück ist, würde die genaue Anfertigung so großer eiserner Zylinder jedem, dem sich diese Idee zufälligerweise dargestellt hätte, ganz und gar unausführbar geschienen haben, und der erste Keim einer so glücklichen Erfindung wäre hiemit sogleich in seiner Geburt erstickt worden. In England hingegen, wo man alles auszuführen wagt, was nicht an sich unmöglich ist, wo man schon früher mit dem ganzen Apparat zum Giessen und Ausbohren großer eiserner Zylinder (für die Dampfmaschinen) versehen war, bedurfte es nur des Ohngefährs eines glücklichen Einfalls, um dem erzeugten Gedanken sogleich Geist, Leben und Wirksamkeit zu geben.

Da

---

die genaue Anfertigung und das Ausbohren so großer zylindrischer Tonnen verknüpft ist (wozu ein nicht minder kostbarer Apparat als zum ausbohren eiserner Zylinder gehörte) scheint die geringe Dauer, da die innere Fläche sehr bald ausgeschliffen werden muß, und die unvermeidliche sehr beträchtliche Reibung den Werth einer solchen Zylindermaschine noch unter die gewöhnlichen hölzernen Bälge herab zu setzen. — Auf dem Harz hat man neuerlich prißmatische hölzerne Kasten vorgerichtet, in denen scharf gelederte Tafeln die Stelle der Kolben vertreten. Diese sind zwar leichter zu verfertigen als die Zylinder, doch, was die Reibung und geringe Dauer betrift, denselben Einwürfen ausgesetzt. Reibung von Leder auf Holz kann nicht anders als sehr beträchtlich seyn, und beyde Flächen müssen sich daher auch schnell abnützen. Eine solche Windkastenmaschine würde ohne Zweifel noch bessere Dienste leisten, wenn die bewegliche Tafel oder der Kolben mit Federleisten statt des Leders versehen würde, nach Art der hölzernen Bälge, von welchen sie aber alsdann nur in der Form verschieden wären.

Da es hier nicht meine Absicht ist, eine vollständige Beschreibung der englischen Blasemaschinen mit allen dazu gehörigen verschiedenen Vorrichtungen zu liefern, so will ich nur das Wesentliche ihrer Einrichtung, so viel nämlich zur Uebersicht meines Gegenstandes nöthig ist, in möglichster Kürze voraus schicken.

Die Blasemaschinen werden in England allgemein entweder durch die Kraft des Wassers mittels Ober- und Unterschlächtiger Räder, oder durch die Kraft des elastischen Wasserdampfes mittels der Dampf- oder Feuermaschine (Steamengine) in Bewegung gesetzt. Die älteste Vorrichtung, deren man sich bey Wasserrädern bediente, bestand in zweyen 5 bis 6 Fuß im Durchmesser weiten und eben so hohen vertikal nebeneinander stehenden Zylindern, deren gelederte Kolben wechselweise durch über selben angebrachte Schwengel und Gewichtkasten in die Höhe gezogen, und durch die an der Welle des Rades angebrachten Wellfüsse oder Dazen niedergedrückt wurden. Aus jedem Zylinder strömte die unter dem Kolben zusammengedrückte Luft durch ein besonders am Boden des Zylinders angebrachtes Windrohr in die gemeinschaftliche Forme. Nachdem man aber durch die Erfahrung sich überzeugt hatte, daß ein ununterbrochener gleichförmiger Luftstrom aus einem einzigen Blaserohr für den Gang eines Schmelzofens weit zuträglicher sey, als der abgesetzte ungleichförmige Kreuzwind aus zweyen Düsen, so setzte man drey, auch 4 solche Zylinder dergestalt nebeneinander, daß die von ihren wechselweise gehobenen und niedergedrückten Kolben eingezogene und ausgestossene Luft in einer hinlänglich weiten gemeinschaftlichen Windleitung (von gegossenen eisernen Röhren) angehäuft, und durch das am Ende derselben befestigte Windrohr oder Düse in beständig gleichförmigem Strome ausgeblasen wurde. Natürlicherweise muß bey einer solchen Vorrichtung jeder Zylinder mit zwey Ventilen versehen werden

 deren

deren eines beym Steigen des Kolben sich öfnet, und beym Rückzuge desselben sich verschließt, indeß das andere der vom niedergehenden Kolben zusammengepreßten Luft den Durchgang in die Windleitung verstattet, ihr aber den Rückweg in den Zylinder verwehrt, wenn der Kolben wieder steigt. Die Bewegung der Kolben geschieht bey diesen Maschinen durch cykloidische an der Welle des Wasserrades befestigte von Eisen gegossene Wellfüsse, noch häufiger aber durch krumme Zapfen und Hebel nach Art der Wasserkünste, und man erhält auf diese Art, wenn nur die Windleitung weit und lang genug ist, ein ganz ununterbrochenes sehr gleichförmiges Gebläse.

Wo es am nöthigen Aufschlagwasser gebricht, und die Herbeyschaffung desselben mit beträchtlichen Schwierigkeiten und Unkosten verknüpft ist, bedient man sich in England der Dampfmaschine zur Betreibung des Zylindergebläses, und diese Vorrichtung ist daselbst bey weitem die gewöhnlichste, weil bey den allgemein mit Steinkohlen betriebenen Schmelzöfen der Bau einer ganz aus Gußeisen bestehenden Dampfmaschine, so wie der Betrieb derselben durch den Abfall der Steinkohlen, in der That weniger Kosten verursacht, als oft die Herbeyschaffung der zu einer gleichen Wirkung erfoderlichen Aufschlagwasser und die Anlage und Unterhaltung großer Teiche thun würde. Zudem gewährt die Dampfmaschine hier den besondern höchstwichtigen Vortheil, daß man eine Schmelzhütte unmittelbar auf Steinkohlen- und Eisensteinflöze bauen, folglich den Transport der rohen Materialien ersparen, auch zu ihrer Stelle einen erhabenen trockenen Grund wählen kann. Eine solche Maschine besteht aus einem einzigen Blasezylinder, und einem Windbehälter (Regulator). Erster, gewöhnlich 5 bis 6 Fuß im Durchmesser und 7 Fuß lang, steht vertikal, unten ganz offen, oben mit einem Deckel verschlossen, durch dessen Mitte in einer kurzen mit gezupften Tau (Oakum) Luft-

dicht

dicht gemachten verschlossenen Büchse (Stuffing box) die eiserne genau abgedrehte Kolbenstange spielt, welche an ihrem obern Ende mittels einer Gelenkkette mit dem großen Hebel (Balancier) der Dampfmaschine in derselben Verbindung steht, wie die Schachtstangen einer durch die Dampfmaschine bewegten Wasserkunst. Der Kolben selbst hat zwey mit Klappen bedeckte Oefnungen, durch welche die äussere Luft eindringt, wenn derselbe durch sein eigenes Gewicht im Zylinder niedersinkt, die sich aber verschliessen, wenn er durch die am andern Ende des Hebels wirkende Kraft des Wasserdampfes oder des Druckes der Athmosphäre aufwärts gezogen wird, da dann die über dem Kolben im Zylinder verdichtete Luft ein über dem Deckel zur Seite angebrachtes Ventil aufstößt, und durch selbes in den Windbehälter oder Regulator überströmt. Letzter ist ein über dem Blasezylinder vertikal befestigter $7\frac{1}{2}$ bis $8\frac{1}{2}$ Fuß im Durchmesser weiter, 4 bis 5 Fuß hoher Zylinder, der oben ganz offen ist, und an dessen Boden unmittelbar die Windleitung anfängt. Der in diesem Zylinder befindliche mit Gewicht beladene Kolben (dessen Stange oben durch eine Leitung in senkrechter Richtung erhalten wird) wird durch die aus dem Blasezylinder eingestossene Luft, welche durch die mit einer engen Blaseröhre versehene Windleitung nicht schnell genug ausströmen kann, während dem Steigen des Kolben im Blasezylinder, aufwärts gedrückt, sinkt aber währendem Rückzuge desselben durch sein eigenes Gewicht wieder in seine tiefste Stelle nieder, und drückt die unter ihm befindliche verdichtete Luftmasse in die Windleitung, bis er durch einen neuen Zufluß von Luft aus dem Blasezylinder wieder zum Steigen genöthigt wird, so daß durch dieses wechselweise Steigen und Fallen des beladenen Kolben ein ununterbrochener sehr gleichförmiger Luftstrom erhalten wird. Man sieht, daß dieser Windbehälter, den man Regulator with the flying piston (Windbehälter mit frey schwebenden Kolben) nennt, mit dem

ge-

gemeinen Schmied- oder Doppelbalge auf einerley Prinzip beruhet. — Fig. I. ist ein vertikaler Durchschnitt eines solchen Gebläses mit dem schwebenden Kolben.

An einigen Orten bedient man sich statt diesem Windbehälter einer andern Vorrichtung, die man Water-regulator nennt. Man führt nämlich vom Deckel des Blasezylinders A (Fig. 2) ein weites eisernes Rohr h h nach einem in einiger Entfernung angebrachten aus gegossenen eisernen Platten zusammengesetzten, gegen 30 Fuß langen, 8 bis 10 Fuß breiten, und 6 Fuß tiefen prißmatischen Kasten a b c d, welcher oben verschlossen, unten ganz offen in einem weitern bis zur Hälfte mit Wasser angefüllten steinernen Behälter MNOP so befestigt steht, daß das Wasser unter demselben allenthalben freyen Durchgang hat. Die in diesem umgestürzten Gefässe nach einigen wiederholten Kolbenzügen des Blasezylinders angehäufte verdichtete Luft drückt die innere Wasserfläche n m nieder, indeß die ausser dem Gefäße im Zwischenraum f g enthaltene Wassermasse durch das aus dem Gefäße verdrängte Wasser vermehrt immer höher steigt, bis der Kolben im Blasezylinder seinen höchsten Standpunkt erreicht hat, und das Einströmen der Luft durch das Rohr h h aufhört. Von dem Augenblicke, da nun die Klappe V zufällt, fängt die ausser dem Gefäße a b c d befindliche Wassersäule, welche bis itzt von der eingesperrten verdichteten Luft gehoben wurde, wieder an zu sinken, und die innere Wasserfläche m n, welche itzt steigt, drückt, als ein Kolben, die Luft aus dem Windbehälter durch das Blaserohr K K, so daß auch während dem Rückzuge des Kolben B der Luftstrom ununterbrochen fortgesetzt wird. Da übrigens die Stärke oder Geschwindigkeit des ausströmenden Windes mit der Höhe der drückenden Wassersäule (der lothrechten Erhöhung des äussern Wasserspiegels f g über dem innern m n) in geradem Verhältniß steht, diese aber vom Anfange des Kolbenhubes beständig zunimmt, und beym Rückzuge in gleichem Maaße abnimmt, so begreift man vorläufig, daß durch diese Vorrichtung zwar ein ununterbrochenes, aber nicht ganz gleichförmiges Gebläse erhalten werden kann. Wenn man indessen dem Windkasten nur eine hinreichende Weite gegen den Inhalt des Blasezylinders giebt, so daß während dem Spiel der Maschine die Wasserfläche im Zwischenraume nur um einige Zolle fällt und steigt, so hat dieser Umstand auf den Gang und die Wirkung des Gebläses keinen merklichen, vielweniger einen nachtheiligen, Einfluß.

Vor einigen Jahren machte man auf einer Eisenhütte zu Muirkirk in Schottland noch mit einer dritten Art von Regulator den Versuch, welche an Einfachheit die beyden eben beschriebenen übertrift. Man baute nämlich eine sehr große allenthalben verschlossene vollkommen Luftdicht gemachte Kammer, in welche die Luft, so wie in den letzt beschriebenen im Wasser stehenden Windkasten, aus dem Blasezylinder bey jedem Kolbenzuge durch ein mit einer Klappe versehenes Rohr eingeschöpft wurde, und aus welchem sie durch ein am andern Ende angebrachtes Blaserohr beständig ausströmte. Die Schwierigkeit, einen so ungeheuren Rezipienten, (dessen körperlicher Inhalt, wenn das Gebläse nur einigermassen gleichförmig seyn soll, jenen des Blasezylinders wenigstens 200 mal übertreffen muß) so wie die Kostbarkeit seiner Anlage und die ziemlich lange Zeit, welche bey jedesmaligem Anlaß der Maschine auf das Anfüllen desselben verwendet werden muß, waren indessen wohl die Ursachen, warum diese Vorrichtung, ihrer Einfachheit ungeachtet, so viel mir bewußt, nirgends nachgeahmt worden ist.

§. 1. In einem vollkommen ausgebohrten metallnen Zylinder abcd (Fig. 3) welcher oben ganz offen, unten aber mit einem Boden versehen ist, denke man sich einen ohne Reibung beweglichen Kolben oder Stempel A der inwendig allenthalben genau anschließt. Im Boden des Zylinders sey eine Oefnung w, und der Kolben stehe Anfangs so tief im Zylinder, daß er den Boden beynahe berührt. Zieht man nun den Kolben mit einer mäßigen Geschwindigkeit aufwärts, so dringt die äussere Luft durch die Oefnung w in den Zylinder, und füllt in jedem Augenblicke den Raum zwischen dem Boden desselben und dem Kolben aus. Dennoch wird man dabey einen Widerstand fühlen, der um desto beträchtlicher ist, je schneller der Kolben aufgezogen wird, und je kleiner die Oefnung ist. Dieser Widerstand rührt von dem Druck der Athmosphäre auf die obere Fläche des Kolbens her, und es entsteht hier folgende Aufgabe:

Die Geschwindigkeit des Kolben C, seine Oberfläche *A*, und der Querschnitt der Bodenöfnung *w* sind gegeben; man sucht die Größe des Druckes, womit die äussere Luft der Bewegung des Kolbens widersteht.

Aufl. Man kann sich den Druck der Athmosphäre als das Gewicht einer gleichförmig dichten unelastischen Luftsäule vorstellen, deren Höhe wir k nennen wollen; die Höhe einer Wassersäule, die mit dieser Luftsäule im Gleichgewicht steht, sey h; das Verhältniß der Dichtigkeit der Luft zur Dichtigkeit des Wassers sey $\delta : \Delta$, so wird $k : h = \Delta : \delta$, also $k = h.\frac{\Delta}{\delta}$. Ferner sey u die der Höhe k zugehörige Geschwindigkeit, und g die Beschleunigung der Schwere, so muß, da die Quadrate der Geschwindigkeiten sich wie die Höhen verhalten, $u^2 : 4gh = k : h = \Delta : \delta$

also

also $u^2 = 4gh\frac{\Delta}{\delta}$ seyn. $2\sqrt{\frac{\Delta}{\delta}}$) ist demnach die dem ganzen Druck der Athmosphäre zukommende Geschwindigkeit, mit welcher nämlich die gemeine Luft in einen vollkommen leeren Raum eindringt Nun sey die Geschwindigkeit, womit die Luft durch die Oefnung w währendem Aufzuge des Kolbens in den Zylinder tretten muß, um denselben beständig voll zu erhalten, = S, so muß $S = c.\frac{A}{w}$ seyn, und so lange $c.\frac{A}{w} < u$ bleibt, wird in jedem Augenblicke der Bewegung der Raum zwischen dem Kolben und dem Boden des Zylinders mit Luft von gemeiner Dichtigkeit angefüllt seyn. Obschon aber nun die Luft unter dem Kolben mit der äussern Luft über demselben beständig von einerley Dichtigkeit ist, so findet doch von oben ein Gegendruck statt; denn die Luft unter dem Kolben wirkt während der Bewegung desselben nur in so fern auf denselben, als sie mit der äussern Luft durch die Oefnung w zusammenhängt, und ist eigentlich nur das Medium, durch welches die äussere Luft gegen die untere Fläche des Kolbens wirkt. Dieser Druck der äussern Luft kann aber, bey wirklicher Bewegung, unmöglich dem ganzen Druck der Athmosphäre gleich seyn, da ein Theil des letztern auf die Geschwindigkeit S, womit die Luft durch die Oefnung w einströhmt, verwendet wird; folglich wirkt nur noch der Ueberrest. Man nenne die der Geschwindigkeit S zuständige hydrostatische Höhe y, so hat man $y : h = S^2 : u^2$, und $y = h.\frac{S^2}{u^2}$. Unten gegen den Kolben aufwärts wirkt also ein Druck, welcher gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe $h - y$; von oben hingegen niederwärts übt die Athmosphäre ihren ganzen Druck aus, welcher dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe h gleicht; daher bleibt von oben auf den Kolben ein Druck, der dem Unterschiede von beyden, oder einer

Wassersäule gleich ist, deren Höhe $= h - (h - y) = y$ ist. Man nenne diesen Druck p, so ist $p = A.y$, oder, wenn β die Anzahl Pfunde heißt, welche der Kubikfuß Wasser wiegt, $p = A.y.\beta$ ℔ $= Ah.\frac{s^2}{u^2}.\beta$. Nun ist aber $S^2 = c.\frac{{}^2A^2}{w^2}$, und $u^2 = 4gh\frac{\Delta}{\delta}$, daher $p = A.\frac{A^2.c^2.\delta}{w^2.4g\Delta}\beta$ ℔. Nennt man die in einer Sekunde durch die Oefnung w eingezogene Luftmenge M, so ist $M = A.c$. Folglich auch $p = A.\frac{M^2\delta}{w^2 4g\Delta}\beta$ ℔. Dieser Widerstand verhält sich also, bey gleichen Luftmengen, umgekehrt wie das Quadrat des Querschnittes der Oefnung w, und es fließt hieraus die Regel, **daß man bey einer vortheilhaften Einrichtung eines Gebläses die Oefnungen, durch welche die Luft eingezogen wird, so groß, als es die Umstände erlauben, machen müsse.**

§. 2. Wenn die Oefnung w mit einer Klappe bedeckt ist, so wird sich diese beym Aufzuge des Kolben nicht eher öfnen, als bis die Luft im Zylinder zu einem solchen Grade verdünnt ist, daß der Druck der äussern Luft, oder eigentlich das Uebergewicht derselben, auf die untere Fläche der Klappe dem Gewichte derselben gleich wird; je schwerer nun die Klappe ist, desto mehr wird die Dichtigkeit der Luft im Zylinder von der Dichtigkeit der äussern abweichen, und desto weniger wird die Klappe sich aufrichten. Das Gewicht der Klappe verursacht demnach beym Aufziehen des Kolben einen doppelten Widerstand, einmal indem es eine wirkliche Verdünnung der Luft über demselben bewirkt, und dann weil hiedurch die eigentliche Oefnung durch welche die Luft eindringt, verkleinert wird. Die genaue Bestimmung dieses Widerstandes würde hier auf Rechnungen führen, die ziemlich verwickelt, im Grunde aber doch ganz entbehrlich

lich sind, da man denselben durch hinlängliche Erweiterung der Ventilöfnung, und ein an der Klappe über ihr Gelenk hinaus angebrachtes Gegengewicht willkührlich vermindern kann. Bey einer solchen Einrichtung wird man der Wahrheit ziemlich nahe kommen, wenn man überhaupt die Sache so betrachtet, als wenn gar keine Klappe vorhanden, die Ventilöfnung aber um die Hälfte kleiner wäre, als sie wirklich ist. Heißt daher die ganze Weite dieser Oefnung w, so hat man allgemein, mit Rücksicht auf das Gewicht der Klappe, $p = A.\frac{A^2.c^2.\delta}{w^2.2g\Delta}.\beta = A.\frac{M^2.\delta}{2g\Delta.w^2}.\beta.$

§. 3. Wenn bey Anlegung eines Zylindergebläses alles auf das vortheilhafteste eingerichtet werden soll, so entsteht die Frage, wie groß die Ventilöfnung seyn müsse, damit der im vorigen §. bestimmte Widerstand so klein als möglich ausfalle? — Wenn man den Bruch $\frac{A^2.c^2.\delta}{w^2\,2g\Delta} = \frac{1}{40}$ setzt, so kömmt für p auf den Quadratfuß des Kolben gegen $1\frac{1}{2}$ ℔, welches bey einer großen Maschine im Vergleich mit der eigentlichen Last unbedeutend ist; und hieraus ergiebt sich $w = \sqrt{\left(\frac{40A^2.c^2.\delta}{2g\Delta}\right)} = A\,c.\sqrt{\left(\frac{20.\delta}{g\Delta}\right)}$ Setzt man Kürze halber $g = 16$, und $\frac{\delta}{\Delta} = \frac{1}{800}$, so hat man allgemein

$$w = A\,c\sqrt{\left(\frac{20}{12800}\right)} = \frac{A\,c}{\sqrt{640}} = \frac{A\,c}{25} \text{ beynahe, oder } w = \frac{1}{25} M.$$

§. 4. Die Erfahrung zeigt, daß während dem Aufzuge des Kolben (obgleich derselbe mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit ununterbrochen bewegt wird) die Klappen, durch welche die Luft in den

Zylinder eindringt, nicht, wie man erwarten sollte, unbeweglich aufgerichtet stehen, sondern in beständig fächelnden Bewegung bald ofsen, bald zu sind. Die Ursache hievon ist wohl keine andere als diese: in dem ersten Momente der Bewegung des Kolben wird die Luft über der Klappe verdünnt, daher wird solche plötzlich von der äussern Luft aufgestossen. Da aber, eben wegen dieser Verdünnung, zugleich auf einmal so viel Luft in den Zylinder dringt, daß sie den ganzen Raum plötzlich ausfüllt, so wird auf einen Augenblick das Gleichgewicht wieder hergestellt, und die Klappe fällt zu. Allein da der Kolben zu steigen fortfährt, so entsteht gleich darauf eine neue Verdünnung, die Klappe öfnet sich wieder, und so wechselt das Oefnen und Zufallen derselben in gleichförmigen Zeittheilchen beständig ab, so lange der Kolben aufwärts gezogen wird.

§. 5. Das bisher vorgetragene betrift den Aufzug des Kolben, oder den einsaugenden Hub; ich schreite nunmehr zur Berechnung der eigentlichen Last, oder desjenigen Widerstandes, womit die durch den niedergehenden Kolben im Zylinder zusammengedrückte Luft denselben entgegen wirkt. Denn da es die Absicht erfodert, eine gewisse Menge Luft durch eine kleine Oefnung mit beträchtlicher Geschwindigkeit auszutreiben, so ist hiezu ein verhältnißmäßiger Grad von Verdichtung nothwendig. Es sey nun

v die Geschwindigkeit, womit die zusammengepreßte Luft durch die kleine Oefnung ausbläset.

δ die Dichtigkeit der gemeinen Luft.

$m\delta$ Dichtigkeit der zusammengedrückten Luft.

h Die Höhe einer Wassersäule, die mit dem Druck der Athmosphäre im Gleichgewicht steht.

h+z Höhe einer Wassersäule, die mit der verdichteten Luft das Gleichgewicht hält,

so ist $m\delta : \delta = h + z : h$

also $m = \frac{h+z}{h}$ und $z = h\,(m - 1)$ Das Verhältniß der Dichtigkeit der gemeinen Luft zu der des Wassers sey wieder $\delta : \Delta$; Ferner sey λ die Geschwindigkeit, die ein schwerer Körper erhält, indem er von der Höhe $h + z$ herunter fällt. Nun kann man sich den Druck der zusammengepreßten Luft im Zylinder als das Gewicht einer Säule eines durchaus gleichförmigen, folglich unelastischen, Fluidums vorstellen, dessen Dichte $= m\delta$, und dessen Höhe $= y$ ist. Soll daher dieses Fluidum (die verdichtete Luft) mit der Wassersäule $h + z$ im Gleichgewicht stehen, so muß

$$y : h + z = \Delta : m\delta,$$

und $y = (h+z)\,\frac{\Delta}{m\delta}$ seyn.

Die der Höhe y zugehörige Geschwindigkeit sey ϕ; so wird, da sich die Höhen wie die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten,

$$y : h + z = \phi^2 : \lambda^2$$

Folglich $\phi^2 : \lambda^2 = \Delta : m\delta$, und $\phi^2 = \lambda^2 . \frac{\Delta}{m\delta}$ seyn. Es ist aber

$\lambda^2 = 4g\,(h + z)$ daher $\phi^2 = 4g\,(h + z)\,\frac{\Delta}{m\delta}$

und, weil $h + z = mh$,

$$\phi^2 = 4gh . \frac{\Delta}{\delta}$$

$2\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}})$ ist demnach die Geschwindigkeit, mit welcher die verdichtete Luft in einen reinen leeren Raum eindringen würde, und eben dieselbe, welche dem ganzen Druck der Athmosphäre zukömmt. (§. 1)

diese

diese Geschwindigkeit ist für alle möglichen Grade von Verdichtung vollkommen gleich, und eben dieselbe, mit welcher gemeine Luft in einen reinen leeren Raum eindringt. Nun scheint es zwar auf den ersten Anblick etwas sonderbar, daß Luft, die zu irgend einem Grade verdichtet ist, mit keiner größern Geschwindigkeit in einen leeren Raum ströhmen sollte, als dünnere oder gemeine Luft; allein es ist doch der Natur der Sache vollkommen gemäß, und der Anschein des Widerspruches verschwindet gänzlich, wenn man bedenkt, daß die ausströhmende Luft in dem einen Falle ein wirklich dichteres Fluidum ist als im andern, und daß also die Momente oder Wirkungen in beyden Fällen denoch verschieden sind, und sich gerade wie die Dichtigkeiten oder die zusammendrückenden Kräfte verhalten. Die Richtigkeit dieses Satzes fließt auch schon unmittelbar aus dem obigen Verhältnisse $y : h + z = \Delta : m\delta$; denn es ist $h + z = mh$, folglich $y = mh . \frac{\Delta}{m\delta} = h . \frac{\Delta}{\delta} = \lambda$ (§. 1.) Da also die Höhen beyder Luftsäulen gleich sind, so gehört ihnen auch einerley Geschwindigkeit zu, ihre Dichtigkeiten mögen so verschieden seyn, als man will. So wie z. B. Queckfilber durch eine Oefnung am Boden eines Gefäßes, über welchem es 12 Zoll hoch steht, mit derselben Geschwindigkeit auslaufen wird als Wasser, oder jede andere Flüßigkeit, welche gleich hoch in demselben Gefäße stünde.

§. 6. $2\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}})$ wäre demnach die Geschwindigkeit, mit welcher die verdichtete Luft aus dem Zylinder blasen würde, wenn der Raum ausser demselben vollkommen luftleer wäre; allein da die athmosphärische Luft denselben allenthalben umgiebt, und dem herausfahrenden Luftstrahle mit ihrem ganzen Drucke entgegen wirkt, so

muß

muß offenbar ein Theil jener Kraft erst darauf verwendet werden, diesen Gegendruck zu tilgen, und die eigentliche Geschwindigkeit, mit welcher die verdichtete Luft in die athmosphärische wirklich ausbläset, wird diejenige seyn, welche dem Uebergewichte von beyden zukömmt. Man kann sich nämlich den Druck der Athmosphäre und jenen der im Zylinder verdichteten Luft als zwo schwere durchaus gleichförmig dichte, folglich unelastische, dabey gleich hohe Luftsäulen denken, deren aber jede von verschiedener Dichtigkeit oder spezivischer Schwere ist. Beyde lassen sich also füglich als zwo unelastische tropfbare Flüssigkeiten, derer Dichtigkeiten δ und $m\delta$ sind, vorstellen, welche in zwey senkrechten durch eine gemeinschaftliche Mündung a (Fig. 4.) verbundenen Röhren ABCD und MNOP gleich hoch stehen. In diesem Falle muß nun offenbar ein Theil des Fluidums $m\delta$ erst das Gleichgewicht mit dem dünnern Fluido δ herstellen, ehe das erste dem letztern entgegen ströhmen kann. Dieser Theil sey fgqi, und die ganze Höhe qa heiße y, qi aber x, so wird (da sich die Höhen gleich drückender Flüssigkeiten wie ihre Dichtigkeiten verhalten) $x : y = \delta : m\delta$, folglich $x = \frac{y}{m}$ seyn. Die Sache wird sich nun eben so verhalten, als ob das Gefäß ABCD mit einer Flüssigkeit von gleicher Dichte, aber nur auf die Höhe x angefüllt wäre, oder, welches gleichviel ist, als ob das Gefäß ABCD ganz leer, das andere aber mit dem Fluido $m\delta$ über der Oefnung a auf die senkrechte Höhe $y - x$ angefüllt wäre. Die wahre Geschwindigkeit, mit welcher das dichtere Fluidum in das dünnere, oder die verdichtete Luft in die athmosphärische überströhmen wird, ist daher $v = 2\sqrt{g(y-x)} = 2\sqrt{g\left(y - \frac{y}{m}\right)}$

$= 2\sqrt{gy\left(1 - \frac{1}{m}\right)}$ woraus $m = \frac{4gy}{4gy - v^2}$ folgt,

und

und da (nach §. 1. und §. 5) $y = k = h\frac{\Delta}{\delta}$ ist, so ist

$$m = \frac{4gh\frac{\Delta}{\delta}}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2}$$

und $v = 2\sqrt{hg\frac{\Delta}{\delta}\left(1 - \frac{1}{m}\right)}$.

§. 7. Weil nun (nach §. 5.) $z = h\,(m - 1)$ ist, so wird auch

$$z = h\left(\frac{4gh\frac{\Delta}{\delta}}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2} - 1\right)$$

$$= h.\frac{v^2}{4gh\frac{\Delta}{h} - v^2}$$

und

$$v = 2\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}.\left(\frac{z}{h+z}\right)}.$$

Oben auf den niedergehenden Kolben drückt nun die Athmosphäre gleich einer Wassersäule von der Höhe h; von unten entgegen die verdichtete Luft gleich einer Wassersäule von der Höhe $h + z$. Der eigentliche Widerstand ist daher dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe $h + z - h = z$ gleich. Heißt dieser Widerstand P, die Fläche des Kolbens A, so hat man, im Beharrungsstande, $P = Az$, und durch Substitution obiger Werthe von z,

$$\left.\begin{array}{l} P = A.\,h\,(m - 1) \\ P = A.\,h\dfrac{v^2}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2} \end{array}\right\} \text{in Kubickfüssen Wasser ausgedrückt.}$$

§. 8.

§. 8. Die letzten Formeln von m und z zeigen, daß sich v^2 an $4gh\frac{\Delta}{\delta}$, das ist: v an u (§. 1.) zwar unendlich nähern, aber demselben doch nie gleich werden könne; denn in diesem Falle würde

$$m = \frac{4hg\frac{\Delta}{\delta}}{0} = \infty, \text{ und auch } z = h\frac{v^2}{0} = \infty$$

welches unmöglich ist. Für v = 1284 wäre, (wenn man nach rheinischem Maaße $4gh\frac{\Delta}{\delta} = 1650000$ annimmt) m = 1227, d. i. die Luft müßte schon beynahe zweymal dichter seyn als Wasser, und die Wassersäule, welche der Luft in einem solchen Zustande (wenn er möglich wäre) das Gleichgewicht hielte, müßte über 40458 Fuß hoch seyn.— Hieraus fließt folgender für die Pnevmatick äusserst wichtige Satz:

Die Luft kann nie (auch wenn ihre Elastizität, und die Festigkeit der Gefäße keine Gränzen hätte) zu einem solchen Grade verdichtet werden, daß die Geschwindigkeit, mit welcher sie durch eine Oefnung aus einem verschlossenen Gefäße ausströmt, welches mit gemeiner Luft umgeben ist, so groß würde, als diejenige Geschwindigkeit, mit welcher gemeine Luft in einen reinen leeren Raum dringt.

§. 9. Wenn die Oefnung, durch welche die Luft aus dem Zylinder gedrückt wird, mit einer Klappe verschlossen ist, welche sich nicht eher öfnet, als bis die Luft in demselben auf einen gewissen Grad verdichtet ist, (wie bey dem englischen Zylindergebläse der Fall ist) so frägt sich, welchen Weg der Kolben im Zylinder zurücklegen muß, ehe die Dichtigkeit der von ihm zusammengedrückten Luft zum Beharrungsstande kömmt? — Es sey die anfängliche Entfernung des Kolben in seinem höchsten Stande vom Boden des Zylinders $= l$, der gesuchte Weg $= x$, so ist (weil sich die Dichtigkeiten verkehrt, wie die Räume verhalten) $l : l - x = m\delta : \delta$ also $l - x = \frac{l}{m}$, und $x = l\left(1 - \frac{1}{m}\right) = l.\frac{z}{h+z}$. Vom Anfange der Bewegung nimmt daher der Widerstand gegen den Kolben beständig zu, und seine Geschwindigkeit, falls die wirkende Kraft zu den absoluten oder unveränderlichen gehört, muß ohngefähr in demselben Maaße verzögert werden, als solche, ohne diesen Widerstand, beschleunigt würde. Die Bewegung wird also gleich vom Anfange beynahe gleichförmig, von dem Augenblicke aber, da der Kolben den Weg x zurückgelegt hat, und die Klappe geöfnet ist, ganz gleichförmig seyn, und der Kolben mit einer unveränderlichen Geschwindigkeit niedergehen, die sich zur Geschwindigkeit der durch die Oefnung ausströhmenden verdichteten Luft verhält, wie der Querschnitt derselben zur Fläche des Kolbens. Heißt die Geschwindigkeit des letzten c, der ausströhmenden Luft v, die Fläche des Kolben A, der Oefnung f, so ist nunmehr bis ans Ende des Hubes $c = v.\frac{f}{A}$ und $v = c.\frac{A}{f}$, daher auch

$$P = A h.\frac{c^2.\frac{A^2}{f^2}}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - c^2.\frac{A^2}{f^2}}.$$

§. 10. Die letzte Formel gründet sich auf die Voraussetzung, daß die verdichtete Luft ans dem Zylinder durch die Klappe unmittelbar in die athmosphärische überströhmt. Da indessen (nach der oben beschriebenen Einrichtung der englischen Blasemaschinen die Luft aus den Zylindern entweder in eine gemeinschaftliche geräumige Wind-

lei-

leitung, oder in einen Regulator, folglich allemal in einen Raum getrieben wird, der im Beharrungsstande schon mit Luft von der Dichte $m\delta$ angefüllt ist, so entsteht hier folgende Aufgabe:

Die beständige Dichte $m\delta$ der Luft im Gefässe B (Fig. 5) ist bekannt, ingleichen die Fläche des Kolbens A, die Weite der Oefnung f, durch welche die Luft aus dem Zylinder in den Behälter B gedrückt wird, und die Weite der Oefnung a, durch welche sie aus letzterm mit der unveränderlichen Geschwindigkeit v ausbläset. Man soll, für den Beharrungsstand, den Widerstand gegen den niedergehenden Kolben A bestimmen.

Aufl. Es ist natürlich, daß die Luft im Zylinder dichter seyn muß, als im Behälter, da sie durch die Oefnung f in ein Medium bläßt, dessen Dichte schon $m\delta$ ist. Die Dichte in A sey also $= \mu\delta > m\delta$, die Geschwindigkeit im Durchgange durch f sey u, so muß, wenn die Dichte in B währender Bewegung des Kolbens dieselbe bleiben soll, die durch a ausströhmende Luft in jedem Augenblicke durch eine gleiche Menge aus dem Zylinder durch f ersetzt werden; da nun die Dichten und Oefnungen verschieden sind, so kann diese Bedingung nicht anders erfüllt werden, als wenn $u : v = a\,m\delta : f.\mu\delta$, folglich $u = v.\frac{a\,m}{f.\mu}$ ist; daher wird $\mu = m.\frac{a\,v}{f\,u}$. Man kann nun diesen Fall wieder so wie jenen (§. 6) betrachten, da ein dichteres Fluidum $\mu\delta$ in ein dünneres $m\delta$ überfließt. Die Dichte des letztern ist bekannt: man sucht die Dichte des erstern. — Nennt man, wie dort, die Höhe einer gleichförmigen Luftsäule von der Dichte $\mu\delta$, welche mit der ganzen Luftsäule $y.m\delta$ das Gleichgewicht hält, x, so wird auch hier $x : y = m\delta : \mu\delta$, und $x = y.\frac{m}{\mu}$

seyn. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft aus A nach B überströhmt, wird demnach der Höhe $y - x$ zugehören, und es wird $u = 2\sqrt{g(y-x)} = 2\sqrt{gy\left(1-\frac{m}{\mu}\right)}$ seyn. Setzt man diesen Ausdruck für u in obige Gleichung $\mu = m.\frac{a.v}{f.u}$, so ergiebt sich

$$\mu = m.\frac{av}{2f\sqrt{gy\left(1-\frac{m}{\mu}\right)}}$$

$$\mu.\sqrt{\left(1-\frac{m}{\mu}\right)} = m.\frac{av}{2f\sqrt{yg}}$$

$\sqrt{(\mu^2 - m\mu)} = m.\frac{av}{2f\sqrt{gy}}$ eine Gleichung vom zweyten Grade, woraus man $\mu = \frac{1}{2}m\left(1+\sqrt{\left(1+\frac{a^2v^2}{gyf^2}\right)}\right)$ findet. Es ist aber (nach §. 6.) $m = \frac{4gy}{4gy - v^2}$

Folglich $\mu = \frac{2gy}{4gy - v^2}\left(1+\sqrt{\left(\frac{a^2v^2}{gyf^2}+1\right)}\right)$

und, weil $y = h\frac{\Delta}{\delta}$ ist,

$$\mu = \frac{2gh\frac{\Delta}{\delta}}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2}\left(1+\sqrt{\left(\frac{a^2v^2\delta}{ghf^2\Delta}+1\right)}\right)$$

Heißt itzt der Widerstand gegen den niedergehenden Kolben P, so ist $P = Ah(\mu - 1)$ (siehe §. 7.) und, nach den gehörigen Versetzungen, endlich

$P =$

$$P = Ah.\left[\frac{v^2 + 2gh\frac{\Delta}{\delta}\left(\sqrt{\frac{a^2v^2\delta}{ghf^2\Delta}+1}\right)-1)}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2}\right]$$

oder, wenn c die Geschwindigkeit des Kolben im Beharrungsstand ist,

$$P = Ah\left[\frac{c^2.\frac{A^2}{a^2} + 2gh\frac{\Delta}{\delta}\left(\sqrt{\frac{c^2A^2\delta}{ghf^2\Delta}+1}\right) - 1)}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - c^2.\frac{A^2}{a^2}}\right].$$

§. 11. Aus dem letzten §. erhelet, daß der Unterschied zwischen der Dichte der Luft im Zylinder und der im Regulator desto beträchtlicher seyn muß, je kleiner die Oefnung f ist, und es gehört daher zur Vollkommenheit der Maschine, diese Oefnung so weit zu machen, daß der davon herrührende Widerstand so unbedeutend als möglich werde. Wie sehr beträchtlich dieser Widerstand werden kann, wenn die Oefnung zu klein ist, soll folgendes Beyspiel zeigen: Es sey die Geschwindigkeit, mit welcher die verdichtete Luft beständig durch das Blaserohr aus dem Regulator ausströhmt, oder v = 400 Fuß, so wird (wenn man nach Rheinländischem Maaße g = 15, 625 h = 33, und $\frac{\delta}{\Delta} = \frac{1}{800}$ setzt) die Dichte der Luft im Behälter, oder m = 1, 11034 seyn. Nun sey der Querschnitt der Oefnung, durch welche die Luft aus dem Zylinder in den Behälter überströhmt, oder f = a, so wird (nach dem vorhergehenden §.) die Dichte der Luft in B, oder $\mu = \frac{1}{2}\, m\left(1 + \sqrt{1 + \frac{400.400}{412500}}\right)$

$$= \tfrac{1}{2}\, m\left(1 + \frac{2391}{2029}\right) = 1{,}08206.\, m, \text{ also } \mu = 1{,}201455.$$

Die

Die der Dichte $m\delta$ entsprechende Wassersäule ist nun

$$z = 33\,(1{,}11034 - 1) = 33 \cdot 0{,}11034$$
$$= 3{,}64 \text{ Fuß hoch.}$$

Die Höhe der Wassersäule hingegen, welche dem Druck der Dichte $\mu\delta$ das Gleichgewicht hält,

oder $z' = 33\,(1{,}201455 - 1) = 33 \cdot 0{,}201455$
$$= 6{,}648 \text{ Fuß.}$$

Der Widerstand wird demnach in diesem Falle schon beynahe doppelt so groß, als wenn dieselbe Menge Luft mit derselben Geschwindigkeit unmittelbar aus dem Zylinder ausgeblasen würde *).

§. 12. Es entsteht nunmehr die Frage: **Wie groß muß die Oefnung f gemacht werden, wenn der aus dem Durchgange der Luft durch dieselbe herrührende Widerstand so unbedeutend werden soll, daß man solchen in der Rechnung ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann?** — Es ist

$$\mu : m = \tfrac{1}{2}\, m\left(\sqrt{1 + \frac{v^2 a^2}{g y f^2}}\right) : m$$
$$= 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2 a^2}{g y f^2}}\Big) : 2$$

Sollte daher $\mu = m$ seyn, so müßte der Bruch $\frac{v^2 a^2}{g y f^2}$ ganz verschwinden. Dieß kann freylich nicht anders geschehen, als wenn v oder $a = 0$ wird, d. i. wenn gar keine Bewegung statt findet. Für diesen Fall also wird die Dichte der Luft in beyden Gefässen

A

*) Aus dieser Berechnung erhellet die unnütze Kraftverschwendung bey einer mir bekannten Vorrichtung auf einer Preußischen Eisenhütte, wo drey gewöhnliche hölzerne Bälge mit ihren engen Düsen in einen gemeinschaftlichen Wasserregulator blasen.

A und B gleich groß seyn, die Oefnung f sey so groß oder so klein als man will. Allein wenn eine wirkliche Bewegung statt finden soll, so müssen v und a bestimmte Größen seyn, und es kann der Werth des Bruches $\frac{v^2 a^2}{g y f^2}$ nur durch die Größe f verändert werden. Ganz würde er verschwinden, wenn $f = \infty$ wäre. Da aber dieses nicht möglich ist, so muß f wenigstens so groß gemacht werden, daß der Nenner ein sehr beträchtliches Verhältniß zum Zähler bekömmt. Man setze also $\frac{v.^2 a^2}{g y f^2} = \frac{1}{1000}$, so wird

$\sqrt{1 + \frac{v^2 a^2}{g y f^2}} = \sqrt{1{,}001)} = 1{,}0005$, und $\mu =$

$\frac{1}{2} m (1 + 1{,}0005) = 1{,}0002 . m$, folglich nur um $\frac{2}{10000}$ oder

$\frac{1}{5000}$ von m verschieden, welches gänzlich unbedeutend ist. Wir haben daher einen Grundsatz, nach welchem die Weite der Oefnung f für jeden Fall bestimmt werden kann, wenn v und a gegeben sind. Es wird nämlich $f^2 = 1000 \frac{v.^2 a^2}{g y} = \frac{1000}{412500} v.^2 a^2$

$= \frac{v.^2 a^2}{412{,}5}$, und $f = \frac{v. a.}{20{,}28}$, oder geradewegs $f = \frac{1}{20}$ v. a.

§. 13. Wegen der durch die Klappe verursachten Verengerung der eigentlichen Oefnung, durch welche die Luft aus dem Zylinder in die Windleitung dringt, kann man eigentlich nur die Helfte der ganzen Ventilöfnung in Anschlag bringen, und es muß daher, wenn die Weite dieser Oefnung = f ist, f = 0,1. va seyn. Sonst wird wegen diesem Umstande

$$P = Ah\left\{\frac{v^2 + 2gh\frac{\Delta}{\delta}\left(\sqrt{\frac{4a^2v^2.\delta}{ghf^2\Delta}+1}\right) - 1)}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2}\right\}$$

§. 14. Die Erfahrung zeigt, daß vier Zylinder, deren Kolben durch vier ins Viertel gestellte Krummzapfen, und eben so viele Hebel, oder durch zwey unter einem rechten Winkel zusammengesetzte Krummzapfen vermittels zweyer Hebel oder Balanziers mit einer Kolbenstange an jedem Ende, wechselweise in Bewegung gesetzt werden, mit Beyhilfe einer ziemlich langen und weiten Windleitung einen sehr beständigen und gleichförmigen Wind herfürbringen. Mit 3 Zylindern geht es zwar, bey einem ähnlichen Mechanismns, zur Noth auch noch an, doch ist der Wind dabey schon weniger egal, und läßt bey jedem Kolbenwechsel sehr merklich nach — Aber zwey Zylinder, wenn ihre Kolben durch krumme Zapfen oder eine andere Vorrichtung wechselweise so bewegt werden, daß der eine in derselben Zeit steigt, da der andere fällt, können, ohne Regulator, nimmermehr zu einem guten Gebläse hinreichen. Denn der Zwischenraum von dem Zeitpunkte, da der eine Kolben zu blasen aufhört, bis zu dem Augenblicke, da der andere zu wirken anfängt, würde bey einer solchen Einrichtung, besonders bey einem langsamen Kolbenspiele, viel zu merklich seyn, und könnte wohl für ein Paar Sekunden ein gänzliches Stocken oder Aussetzen des Windes verursachen. Auch wäre die Wirkungsart der Kurbel (ihrer sonstigen guten Eigenschaften unbeschadet) in diesem Falle besonders aus dem Grunde nachtheilig, weil sie den Kolben im Anfange des Hubes sehr langsam, in der Mitte am schnellsten, am Ende wieder langsam bewegt. Folglich da immer nur ein Zylinder auf einmal bläset, und die Geschwindigkeit des Luftstrohmes mit der Geschwindigkeit des

Kol-

Kolben in geradem Verhältniß steht, würde auch der Wind sehr ungleich seyn. — Indessen kann man doch auch mit zween Zylindern schon ein sehr gleichförmiges und ganz ununterbrochenes Gebläse machen, wenn man ihre Kolben durch cykloidische Wellfüsse (oder auch durch halb gezahnte Räder) so in Bewegung setzt, daß der eine Kolben schon wieder zu blasen anfängt, ehe der andere noch ganz seine tiefste Stelle erreicht hat, besonders, wenn man der Windleitung, in welche beyde Zylinder gemeinschaftlich wirken, eine gehörige Weite giebt.

§. 15. Die Theorie des **Regulators mit dem schwebenden Kolben** beruhet auf sehr einfachen Gesetzen, es kömmt nämlich nur darauf an, daß der belastete Kolben während der Zeit, da die Luft aus dem Blasezylinder in den Regulator eindringt, von dem Ueberschuße derselben gerade so hoch gehoben wird, als er binnen der Zeit des Rückzuges jenes Kolben im Blasezylinder niedersinkt, damit durch die Oefnung des Blaserohrs in beyden Zeiten gleich viel Luft ausströhme, und da überdieß die Geschwindigkeit des Luftstrahles, folglich die Dichte der Luft unter dem schwebenden Kolben immer dieselbe bleiben soll *), so fließt hieraus für die Einrichtung einer solchen Maschine die Regel: **Man mache beyde Zeiträume vollkommen gleich, und gebe dem Regulator eine solche**

Wei-

---

*) Im strengsten Sinne kann freylich diese Gleichförmigkeit nicht statt finden, da in dem einen Falle das Gewicht des Kolbens nebst der Reibung desselben von der unter ihm verdichteten Luftmasse überwunden werden muß, im andern Falle hingegen ihre Dichte nur jenem Gewichte weniger dem Widerstande der Reibung entspricht. Der Unterschied, welcher der doppelten Reibung gleich ist, hat indessen auf die Wirkung des Gebläses keinen merklichen Einfluß.

Weite, daß der Inhalt seines Kolbenhubes wenigstens der Hälfte von jenem des Blasezylinders gleich werde. — Da indessen auch bey der sorgfältigsten Anordnung eine so genaue Gleichförmigkeit im Gange der Maschine schwerlich zu erhalten ist, so würde, falls der Kolben des Blasezylinders seinen Hub auch nur um den zehnten Theil einer Sekunde zu früh vollendet, der schwebende Kolben im Regulator (weil er seine tiefste Stelle, von der er sich zu heben anfieng, noch nicht ganz erreicht hat) am Ende des zweyten Kolbenzuges etwas höher stehen, als am Ende des ersten Zuges, und da er bey fortgesetztem Spiele immer ein Bisgen mehr steigt als er fällt (wäre auch der Unterschied noch so gering) so ist die natürliche Folge, daß solcher bald den Rand des Regulators erreichen, und aus solchem herausgeworfen würde. Dieses zu verhüten, bringt man am schwebenden Kolben (Fig. 1) eine 4 bis 5 Zoll weite Oefnung an, welche mit einem genau passenden Ventile m bedeckt ist. Dieses Ventil, welches Waste valve heißt, und mit Bley beschwert ist, wird durch den doppelarmigen, an der Kolbenstange befestigten, eisernen Hebel ab aufgezogen, sobald das Ende desselben b, indem er mit dem Kolben höher steigt, an einen über dem Regulator in gehöriger Höhe befestigten Balken c stößt, da dann auf einmal soviel Luft unter diesem Ventile herausfährt, daß der Kolben nicht weiter steigen kann. — Weil übrigens die Bewegung des belasteten Kolben, als einer trägen Masse, beym Wechsel eines jeden Hubes nicht plötzlich verändert werden kann, sondern nach den Gesetzen der Beschleunigung erfolgt, so muß natürlicher Weise jedesmal einige Zeit darauf gehen, um sein Moment erst zu tilgen, und ihm dann eine gewisse Geschwindigkeit nach entgegengesetzter Richtung mitzutheilen. So muß dieser Kolben z. B., vermöge seiner Trägheit, auch dann noch zu steigen fortfahren, wenn schon die Klappe V verschlossen ist, und aller Zufluß aus dem Bla-

se-

sezylinder gänzlich aufgehört hat. Indessen nimmt die Dichte der Luft im Regulator (deren Masse ganz unbedeutend ist) schon in dem Augenblicke ab, da die Klappe zufallt, und sie wird, da das Ausströhmen derselben durch das Blaserohr beständig fortfährt, bald so sehr verdünnt, daß der schwere Kolben, noch ehe er seinen Rückweg beginnt, ein beträchtliches Uebergewicht erhält. Er fällt also mit einemmal mit einer merklich beschleunigten Geschwindigkeit einige Zolle, bis die durch einen solchen Schlag plötzlich in einen engern Raum gepreßte Luft durch ihre (itzt wieder überwiegende) Federkraft ihn hemmt, und wieder auf eine kleine Höhe zurück treibt; und solchergestalt erfolgt das Steigen und Fallen dieses schwebenden Kolben in beständig abnehmenden Schwingungen, ohngefähr nach demselben Gesetze, nach welchem eine mit Gewicht beladene plötzlich freygelassene Feder oszilliert. Diese Gesetze mit aller analytischen Schärfe zu bestimmen, wäre ohne Zweifel die schwerste Aufgabe in der höhern Pnevmatick; da dergleichen äusserst mühsame und weitläuftige Untersuchungen indessen doch keinen Nutzen in der Anwendung haben, und der enge Raum einer akademischen Abhandlung mir nur die wichtigsten Punkte meines Gegenstandes zu erörtern erlaubt, so begnüge ich mich hier damit, dieses Phönomen des Schwankens, welches an dem schwebenden Kolben sichtbar, und am Geräusche des durch das Blaserohr ausfahrenden Windes sogar deutlich hörbar ist, im Vorbeygehen angezeigt und erklärt zu haben.

§. 16. Wenn demnach bey dieser Maschiene eine solche Einrichtung getroffen wird, daß der Hub und Rückzug des Kolben in gleichen Zeiträumen geschieht, folglich in beyden Zeiträumen dieselbe Menge Luft aus dem Regulator bläset, so ist (wenn die Geschwindigkeit des Kolben C und seine Fläche A heißt) die in jeder Sekunde ausgeblasene Menge verdichteter Luft $= av = \frac{1}{2}$ A. C. also $a^2 v^2 =$

$\frac{1}{4}A^2.C^2$ und $v^2 = C^2.\frac{A^2}{4a^2}$. Setzt man diese beyden Ausdrücke in die Gleichung §. 13, so erhält man allgemein für die Vorrichtung mit einem Blasezylinder, und Regulator mit schwebenden Kolben

$$P = Ah\left[\frac{C^2.\frac{A^2}{4a^2} + 2gh\frac{\Delta}{\delta}\left(\sqrt{C^2.\frac{A^2}{f^2}.\frac{\delta}{gh\Delta} + 1}\right) - 1\Big)}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - C^2.\frac{A^2}{4a^2}}.\right]$$

§. 17. Wenn die Luft aus dem Zylinder in einen Behälter von unveränderlichem Inhalte (Windkammer) gedrückt wird, aus welchem sie durch eine kleine Oefnung beständig ausbläset, so wird dieser Behälter nach einigen wiederholten Kolbenzügen mit Luft angefüllt seyn, deren Dichte am Ende eines jeden Hubes (den Widerstand der Klappe abgerechnet) der Dichte der im Zylinder enthaltenen Luft gleich ist. Heißt diese Dichte im Behälter am Ende des Hubes $\mu\delta$, so wird (nach §. 7.) $\mu = 1 + \frac{P}{Ah} = \frac{Ah + P}{Ah}$ und die Geschwindigkeit des durch das Blaserohr ausströhmenden Windes $v = 2\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}\frac{P}{Ah+P}}$) seyn. Da aber, wenn die Klappe zufällt, aller Zufluß aus dem Zylinder aufhört, nnd das Ausströhmen der Luft aus dem Behälter doch immer fortfährt, so muß nothwendigerweise die Dichtigkeit derselben von diesem Zeitpunkte an mit jedem Augenblicke abnehmen, und zwar desto schneller, je kleiner der Inhalt dieses Behälters ist. Man begreift hieraus vorläufig, daß durch eine solche Vorrichtung nie ein ganz gleichförmiges Gebläse erhalten werden kann, indem die Dichte der Luft im Behälter vom Anfange des Kolbenhubes bis ans Ende desselben beständständig zunimmt, und währendem Rückzuge bis zu dem Augenblicke, da sich die Klappe wieder öfnet, in gleichem Maaße wieder abnimmt, daß indessen durch ein schickliches Verhältniß des Inhaltes jenes Behälters zur Zeit des Rückzuges des Kolben doch soviel zu erhalten ist, daß die beyden Gränzen der anfänglichen Dichte und der Dichte am Ende des Hubes nicht zu weit von einander entfernt, folglich die davon herrührende Ungleichheit des Windes nicht zu merklich werde. Wenn man daher diese beyden Gränzen willkührlich festsetzet, so kömmt es darauf an, eine Gleichung zwischen dem Inhalte des Gefäßes und der Zeit zu finden, in welcher sich dasselbe ohne Zufluß ausleeret, und es entsteht folgende Aufgabe:

Aus dem Behälter B, welcher mit Luft angefüllt ist, deren anfängliche Dichte $= \mu\delta$, bläset solche durch eine kleine Oefnung a beständig aus; man sucht die Zeit t, in welcher ihre Dichte zu $m\delta$ abnimmt.

Auflösung. (I). Die anfänglich im Behälter enthaltene Luftmenge ist $= B\mu$, am Ende der Zeit t aber $= Bm$, folglich die in der Zeit t ausgetrettene Luftmenge $= B\mu - Bm$; diese Menge heisse q, so ist die in dem Zeitelemente dt ausgetrettene kleine Luftmasse $= dq = d(B\mu - Bm) = -Bdm$; ist die Geschwindigkeit des durch die Oefnung a blasenden Luftstrohmes, am Ende der Zeit t, $= u$, so wird, weil sich in der unendlich kleinen Zeit dt Dichte und Geschwindigkeit der Luft nicht verändern, auch $dq = amu.dt$ seyn, und man hat $amu.dt = -Bdm$. Es ist aber (nach §.6.) $u = 2\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}\left(\frac{m-1}{m}\right)}$, also $2adt\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}(m^2-m)} = -Bdm$,

$$\frac{2adt\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}})}{B} = \frac{-dm}{\sqrt{m^2 - m}}$$

und $$\frac{2at\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}})}{B} = -\int\frac{dm}{\sqrt{m^2 - m})} + \text{Const.}$$

(II.) Um nun diese Gleichung zu integrieren, setze man $m - \frac{1}{2} = x$, so hat man $m^2 - m = x^2 - \frac{1}{4}$ und $dm = dx$, folglich $\frac{dm}{\sqrt{m^2 - m})} = \frac{dx}{\sqrt{x^2 - \frac{1}{4}})}$

Nun setze man weiter $\sqrt{x^2 - \frac{1}{4}}) = y - x$, so wird

$$x^2 - \frac{1}{4} = y^2 - 2yx + x^2$$

Folglich $2yx = y^2 + \frac{1}{4}$

und $x = \frac{y^2 + \frac{1}{4}}{2y}$

daher $y - x = \frac{y^2 - \frac{1}{4}}{2y} = \sqrt{x^2 - \frac{1}{4}})$

Weil nun $2yx = y^2 + \frac{1}{4}$, so ist $ydx + xdy = ydy$

also $ydx + \left(\frac{y^2 + \frac{1}{4}}{2y}\right) dy = ydy$

und $$dx = dy - dy\left(\frac{y^2 + \frac{1}{4}}{2y^2}\right)$$
$$= dy\left(\frac{y^2 - \frac{1}{4}}{2y^2}\right)$$

also $$\frac{dx}{\sqrt{x^2 - \frac{1}{4}})} = \frac{dy\left(\frac{y^2 - \frac{1}{4}}{2y^2}\right)}{\frac{y^2 - \frac{1}{4}}{2y}} = \frac{dy}{y}$$

(III.)

(III.) Weil nun bekanntermassen das Differenzial einer veränderlichen Grösse durch diese Grösse selbst getheilt dem Differenzial des natürlichen Logarithmus derselben gleich ist, so hat man (nach I)

$$\frac{2at\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}}{B} = -\ \text{lognat}\ y + \text{Const.}$$

Es ist aber (nach II) $y = x + \sqrt{x^2 - \frac{1}{4}}$

$= m - \frac{1}{2} + \sqrt{m^2 - m}$ daher

$$\frac{2at\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}}{B} = \text{Const} - \text{lognat}\left(m - \tfrac{1}{2} + \sqrt{m^2 - m}\right)$$

Da nun für $t = 0$, $m = \mu$, und zugleich $x = \mu - \frac{1}{2}$ seyn muß, so wird

$$0 = \text{Const} - \text{lognat}\left(\mu - \tfrac{1}{2} + \sqrt{\mu^2 - \mu}\right)$$

$$\text{Const} = \text{lognat}\left(\mu - \tfrac{1}{2} + \sqrt{\mu^2 - \mu}\right)$$

also $$\frac{2at\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}}{B} = \text{lognat}\left(\mu - \tfrac{1}{2} + \sqrt{\mu^2 - \mu}\right) - \text{lognat}\left(m - \tfrac{1}{2} + \sqrt{m^2 - m}\right)$$

$$= \text{lognat}\left[\frac{\mu - \frac{1}{2} + \sqrt{\mu^2 - \mu}}{m - \frac{1}{2} + \sqrt{m^2 - m}}\right]$$

Woraus sich endlich

$$t = \frac{B}{2a\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}} \cdot \text{lognat}\left[\frac{\mu - \frac{1}{2} + \sqrt{\mu^2 - \mu}}{m - \frac{1}{2} + \sqrt{m^2 - m}}\right]$$

ergiebt.

§. 18.

§. 18. Setzt man in der letztgefundenen Gleichung m = 1, so erhält man die Zeit, in welcher die Dichte der Luft im Behälter mit der natürlichen oder äussern Luft gleich wird, folglich das Ausblasen gänzlich aufhört,

$$t = \frac{B}{2a\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}} \text{ lognat } \left(2\mu - 1 + 2\sqrt{\mu^2 - \mu}\right)$$

§. 19. Setzt man die den Dichtigkeiten μ und m entsprechenden Wasserhöhen = z und β, so ist

$$\mu = \frac{h + z}{h}$$

$$\text{und } m = \frac{h + \beta}{h}$$

und man kann daher die Gleichung §. 17. auch so schreiben

$$t = \frac{B}{2a\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}} \text{ lognat } \left[\frac{\frac{1}{2}h + z + \sqrt{z^2 + hz}}{\frac{1}{2}h + \beta + \sqrt{\beta^2 + h\beta}}\right]$$

Da dann für die Zeit, in welcher das Ausströhmen gänzlich aufhort, β = 0 wird, folglich

$$t = \frac{B}{2a\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}} \text{ lognat } \left[\frac{\frac{1}{2}h + z + \sqrt{z^2 + hz}}{\frac{1}{2}h}\right]$$

§. 20. Wenn man demnach die Grössen μ und m, oder z und β willkührlich festgesetzt hat, und die Zeit t, während welcher die Klappe zwischen dem Zylinder und Behälter verschlossen bleibt, bestimmt ist, so findet man den körperlichen Inhalt des letztern

$$B = \frac{2at\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}}{\text{lognat}\left[\frac{\mu - \frac{1}{2} + \sqrt{\mu^2 - \mu}}{m - \frac{1}{2} + \sqrt{m^2 - m}}\right]}$$

oder

$$\text{oder } B = \frac{2at\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}})}{\text{lognat}\left[\frac{\frac{1}{2}h + z + \sqrt{z^2 + hz}}{\frac{1}{2}h + \beta + \sqrt{\beta^2 + h\beta}}\right]}$$

Es sey z. B. $a = \frac{1}{30}$ □ Fuß, $t = 5$ Sekunden, $2\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}$ nach Rheinländischem Maaße $= 1285$, $h = 33'$, $z = 5'$, $\beta = 4{,}8'$, so wird $\frac{\frac{1}{2}h + z + \sqrt{z^2 + hz})}{\frac{1}{2}h + \beta + \sqrt{\beta^2 + h\beta})}$ $= \frac{21{,}5 + \sqrt{190})}{21{,}3 + \sqrt{181{,}44})} = \frac{35{,}28}{34{,}76}$. Nun ist der gemeine Logarithmus von $35{,}28 = 1{,}547528$, und von $34{,}76 = 1{,}541079$, also lognat. $\frac{35{,}28}{34{,}76} = 2{,}302585 \times 0{,}006449 = 0{,}01484937 \ldots$ daher $B = \frac{\frac{5}{30} \cdot 1285}{0{,}01484937} = 14086$ Kubickfuß.

§. 21. Der Wasser-Regulator ist ein Windbehälter von veränderlichem Inhalte, und hat mehr Aehnlichkeit mit dem Regulator mit schwebendem Kolben, da die beständig nachdrückende innere Wasserfläche, während der Zeit, da die Klappe verschlossen bleibt, den Raum in dem Verhältnisse vermindert, als die verdichtete Luft durch das Blaserohr ausströhmt. Weil aber die Dichte der im Behälter zurückbleibenden Luftmasse, folglich die Geschwindigkeit und Stärke des Windes in jedem Augenblicke durch die Höhe der drückenden Wassersäule (den vertikalen Abstand der äussern Wasserfläche von der innern) bestimmt wird, und diese während dem

U Hube

Hube des Kolbens beständig wächst, während seinem Rückzuge beständig abnimmt, so wird, auch hier, wie beym Behälter von unveränderlichem Inhalte, die Geschwindigkeit der ausströhmenden Luft am Ende des Hubes am größten, und beym Anfange desselben am kleinsten seyn. Wenn daher dieser Unterschied nicht zu merklich werden soll, so kömmt es auch hier darauf an, die Verhältnisse der ganzen Vorrichtung so vortheilhaft anzuordnen, daß jene Veränderung immer zwischen gewissen bestimmten Gränzen bleibe. Dieß führt auf folgende Aufgabe:

In dem prißmatischen Gefässe ABCD (Fig. 6.) welches bis rs mit Wasser angefüllt ist, steht umgestürzt ein kleineres prißmatisches Gefäß EFGH befestigt, welches mit Luft bis ik angefüllt ist, deren Dichte zur Dichte der gemeinen Luft sich verhält, wie $\mu : 1$; die Höhe der dieser Dichte entsprechenden Wassersäule ci ist $= z$. Man sucht die Zeit t, welche von dem Augenblicke, da die zusammengedrückte Luft durch die kleine Oefnung a auszublasen anfängt, verfliessen muß, bis die Dichte der im Gefässe EFGH enthaltenen Luft $= m$ wird.

Auflösung. Es sey die innere Weite des Gefässes
EFGH = — — — A
Der Flächeninhalt des äussern Wasserspiegels crsc = — B
Die Höhe cF vom äussern Wasserspiegel bis an den Rand
des Gefässes = — — — q
Die Entfernung des innern Wasserspiegels von diesem Rande,
oder Fi = — — — b

Die Entfernung desselben am Ende der Zeit t oder Ff $=$ x

Die Höhe eF, zu welcher der äussere Wasserspiegel in derselben Zeit niedersinkt $=$ y

Die Geschwindigkeit der durch a ausströhmenden Luft am Ende der Zeit t $=$ u

(I.) So ströhmt in dem Zeittheilchen dt eine kleine Luftmasse aus, deren körperlicher Inhalt im Gefässe EFGH $=$ audt ist. Weil nun in demselben Zeitelemente der innere Wasserspiegel sich um das unendlich kleine Stückgen dx erhebt, so kann diese Luftmenge auch durch Adx ausgedrückt werden, und es ist daher

$$audt = Adx.$$

Es ist aber $u = 2\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}\left(\frac{m-1}{m}\right)}$ (§. 6.)

Folglich $\dfrac{2adt\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}}{A} = \dfrac{m^{\frac{1}{2}}dx}{\sqrt{m-1}}$

(II.) Da die ganze Wassermasse in, und ausser dem Gefässe EFGH immer dieselbe bleibt, so ist offenbar $B.ce = A.if$; es ist aber $ce = cF - eF = q - y$, und $if = Ff - Fi = x - b$,

also $B(q - y) = A(x - b)$

$By + Ax = Bq + Ab$

und $y = \dfrac{Bq + Ab - Ax}{B}$

Am Ende der Zeit t ist die Höhe der drückenden Wassersäule $ef = Fe - Ff = y - x$, folglich $m = \dfrac{h + y - x}{h}$

und $x = y - h(m - 1)$

$$= \frac{Bq + Ab - Ax}{B} - h\,(m - 1)$$

$$Bx + Ax = Bq + Ab - Bh\,(m - 1)$$

$$\text{also } x = \frac{Bq + Ab - Bh\,(m - 1)}{A + B}$$

$$\text{und } dx = -\,dm.\frac{Bh}{A+B}$$

Setzt man diesen Ausdruck für dx in die Gleichung (I.) so erhält man $\frac{2adt\sqrt{gh\frac{\Delta}{\delta}}}{A} = \frac{-m^{\frac{1}{2}}dm}{\sqrt{m-1}}.\frac{Bh}{A+B}$

$$\text{oder } 2adt\sqrt{\frac{g\Delta}{h.\delta}}\left(\frac{A+B}{A.B}\right) = \frac{-m^{\frac{1}{2}}dm}{\sqrt{m-1}}$$

$$\text{also } 2at\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}\left(\frac{A+B}{A.B}\right) = -\int m^{\frac{1}{2}}dm\,(m-1)^{-\frac{1}{2}} + \text{Const.}$$

(III.) Um diese Gleichung zu integrieren, setze man $m - 1 = y^2$, so wird $m = y^2 + 1$, und $dm = 2ydy$.

$$\text{Folglich } \frac{m^{\frac{1}{2}}dm}{\sqrt{m-1}} = \frac{(y^2+1)^{\frac{1}{2}}\,2ydy}{y}$$

$$= 2dy\,(y^2+1)^{\frac{1}{2}}$$

Nun ist

$$2\,dy\,(y^2+1)^{\frac{1}{2}} = dy\,(y^2+1)^{\frac{1}{2}} + dy\,(y^2+1)^{\frac{1}{2}}$$

$$= dy\,(y^2+1)^{\frac{1}{2}} + \frac{dy\,(y^2+1)}{(y^2+1)^{\frac{1}{2}}}$$

Hievon ist das Integral

$$\int\left[dy\,(y^2+1)^{\frac{1}{2}} + y^2dy\,(y^2+1)^{-\frac{1}{2}}\right] + \int dy\,(y^2+1)^{-\frac{1}{2}}$$

$=$

Es

Es ist aber das Integral des ersten Theils, nämlich

$$\int\left[dy(y^2+1)^{\frac{1}{2}} + y^2 dy (y^2+1)^{-\frac{1}{2}}\right] = y\sqrt{y^2+1)}$$

und das Integral des zweyten Theils, oder

$$\int dy(y^2+1)^{-\frac{1}{2}} = \text{lognat.}\,(y+\sqrt{y^2+1)})$$

also das vollständige Integral

$$\int 2dy(y^2+1)^{\frac{1}{2}} = y\sqrt{y^2+1)} + \text{lognat}(y+\sqrt{y^2+1)})$$

(IV.) Substituirt man itzt für y und y^2+1 wieder die obigen Werthe $\sqrt{m-1)}$ und m, so ergiebt sich

$$\int\frac{m^{\frac{1}{2}}dm}{\sqrt{m-1)}} = \sqrt{m-1)}\sqrt{m)} + \text{lognat}\left[\sqrt{m-1)}+\sqrt{m)}\right]$$

$$= \sqrt{m^2-m)} + \text{lognat}\left[\sqrt{m)}+\sqrt{m-1)}\right]$$

Folglich nach II.

$$\frac{2at\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta})}(A+B)}{AB} = C - \sqrt{m^2-m)} - \text{lognat}\left[\sqrt{m)}+\sqrt{m-1)}\right]$$

Weil nun für $t = 0$, hier $m = \mu$ wird, so ist

$$\text{Const} = \sqrt{\mu^2-\mu)} + \text{lognat}\left[\sqrt{\mu)}+\sqrt{\mu-1)}\right]$$

und endlich

$$\frac{2at\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta})}(A+B)}{AB} = \sqrt{\mu^2-\mu)} + \text{lognat}\left[\sqrt{\mu)}+\sqrt{\mu-1)}\right]$$

$$-\sqrt{m^2-m)} - \text{lognat}\left[\sqrt{m)}+\sqrt{m-1)}\right]$$

$$= \sqrt{\mu^2-\mu)} - \sqrt{m^2-m)} + \text{lognat}\left[\frac{\sqrt{\mu)}+\sqrt{\mu-1)}}{\sqrt{m)}+\sqrt{m-1)}}\right]$$

wor-

woraus sich $t = \frac{AB}{(A+B)2a\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}}$

$$\left[\sqrt{\mu^2-\mu}-\sqrt{m^2-m}+\text{lognat}\left(\frac{\sqrt{\mu}+\sqrt{\mu-1}}{\sqrt{m}+\sqrt{m-1}}\right)\right]$$ ergiebt.

§. 22. Setzt man in der letzten Gleichung $m = 1$, so findet man die Zeit, in welcher das Ausströhmen der Luft aus dem Gefässe gänzlich aufhört,

$$t = \frac{AB}{(A+B)2a\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}}\left[\sqrt{\mu^2-\mu}+\text{lognat}\left(\sqrt{\mu}+\sqrt{\mu-1}\right)\right]$$

§. 23. Wenn man die Höhen der drückenden Wassersäulen ei und ef = z und β setzt, so verwandelt sich obige Gleichung (§. 21.) in folgende $t = \frac{AB}{(A+B)2a\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}}$

$$\left[\frac{\sqrt{z^2+hz}-\sqrt{\beta^2+h\beta}}{h}+\text{lognat}\left[\frac{\sqrt{h+z}+\sqrt{z}}{\sqrt{h+\beta}+\sqrt{\beta}}\right]\right]$$

Da dann für $m = 1$, $\beta = 0$ wird, und $t =$

$$\frac{AB}{(A+B)2a\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}}\left[\frac{\sqrt{z^2+hz}}{h}+\text{lognat}\left[\frac{\sqrt{h+z}+\sqrt{z}}{\sqrt{h}}\right]\right]$$

§. 24. Wenn also die Zeit t (binnen welcher die Klappe zwischen dem Zylinder und Regulator verschlossen bleibt) gegeben ist, und

die

die Grössen μ und m festgesetzt sind, so kann man A und B durch Rechnung finden. Es wird nämlich

$$A = \frac{2at\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}}{\sqrt{\mu^2-\mu} - \sqrt{m^2-m} + \mathrm{lognat}\left[\frac{\sqrt{\mu}+\sqrt{\mu-1}}{\sqrt{m}+\sqrt{m-1}}\right] - \frac{2at\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}}{B}}$$

Setzt man A = B, so wird

$$t = \frac{A\sqrt{h\delta}}{4a\sqrt{g\Delta}}\left[\sqrt{\mu^2-\mu} - \sqrt{m^2-m} + \mathrm{lognat}\left[\frac{\sqrt{\mu}+\sqrt{\mu-1}}{\sqrt{m}+\sqrt{m-1}}\right]\right]$$

und

$$A = B = \frac{4at\sqrt{\frac{g\Delta}{h\delta}}}{\sqrt{\mu^2-\mu} - \sqrt{m^2-m} + \mathrm{lognat}\left[\frac{\sqrt{\mu}+\sqrt{\mu-1}}{\sqrt{m}+\sqrt{m-1}}\right]}$$

§. 25. Wenn bey einer Blasemaschine der größtmögliche Effekt herfürgebracht werden soll, so muß vor allem der schädliche Raum im Untertheile des Zylinders, d. i. derjenige Raum, welcher zwischen dem Boden des Zylinders und dem Kolben in seinem tiefsten Stande zurückbleibt, soviel möglich vermieden werden, weil ohne diese Vorsicht ein grosser Theil der bewegenden Kraft unnütz verschwendet wird. — Es sey ABCD (Fig. .) ein Zylinder, mit einem beweglichen Kolben AD, und einer Oefnung a im Boden, die mit einer Klappe bedeckt ist, welche sich nicht eher öfnet, als bis die Luft im Zylinder auf einen gewissen Grad $\mu\delta$ verdichtet ist, d. i. bis der Kolben im Zylinder einen gewissen Weg zurückgelegt hat; dieser Weg sey AM, und die ganze Länge des Kolbenzugs AO, so daß zwischen dem Kolben in seinem tiefsten Stande, und dem Boden des Zylinders der schädliche Raum OBCP zurückbleibt, so wird (da sich

die

die Räume elastischer Flüssigkeiten verkehrt wie ihre Dichtigkeiten verhalten) $MB : AB = \delta : \mu\delta$, also $MB = AB\frac{1}{\mu}$ seyn. Heißt nun die Oberfläche des Kolben A, die Länge seines Hubes $AO = b$, die ganze Länge des Zylinders vom höchsten Kolbenstande bis an den Boden, oder $AB = l$, und die Menge der auf einen Hub ausgeblasenen verdichteten Luft K, so ist $K = A . MO = A\,(b - AM)$ Es ist aber $AM = AB - MB = AB - \frac{AB}{\mu} = l\left(\frac{\mu - 1}{\mu}\right)$ Folglich $K = A\left(b - l\left(\frac{\mu - 1}{\mu}\right)\right)$ Nun ist $l = AO + OB$, oder, wenn die Höhe OB des schädlichen Raumes x heist, $l = b + x$, also $K = A\left(b - (b + x).\left(\frac{\mu - 1}{\mu}\right)\right)$

$$= A\left(\frac{b}{\mu} - x\left(\frac{\mu - 1}{\mu}\right)\right) = A\left(\frac{b - x\,(\mu - 1)}{\mu}\right)$$

Diese Luftmenge auf natürliche Dichte reduziert ist daher $K . \mu = A\,(b - x\,(\mu - 1))$ also nur in dem Falle $= A\,b$ dem ganzen körperlichen Inhalte des Kolbenzuges, wenn $x = 0$, d. i., wenn der Kolben jedesmal ganz bis an den Boden des Zylinders niedergeht; in jedem andern Falle leidet diese Menge, bey gleichem Kraftaufwande, einen Verlust oder Abgang, der desto beträchtlicher ist, je grösser der schädliche Raum, und jemehr die Luft zusammengedrückt wird.

§. 26. **Aufgabe: Die Luftmenge Q, welche in jeder Sekunde ausgeblasen werden soll, die Anzahl der Zylinder N, und die Anzahl der Hübe n, welche jeder Kolben in einer Minute machen soll, sind bestimmt; man soll die Dimensionen der Zylinder angeben.**

Aufl.

Aufl. Die Menge Luft (natürlicher Dichte) die auf einen einzelnen Kolbenzug ausgeblasen werden soll, sey K, so wird in einer Minute N. n. K., also in jeder Sekunde $\frac{N.\,n.\,K}{60}$ Kubickfuß ausgeblasen, daher ist $K = \frac{60\,Q}{Nn}$. Wenn man voraussetzt, daß jeder Kolben bis an den Boden des Zylinders niedergeht (§. 25.) so wird $K = A.\,b$ folglich $A = 60\,\frac{Q}{b.\,N.\,n}$ und $b = 60.\frac{Q}{A.\,N.\,n}$ Heißt der Durchmesser eines Kolben oder Zylinders (man nimmt an, daß alle Zylinder von gleicher Grösse sind) D, so ist bekanntlich $A = 0{,}785\,..\,D^2$, also $D = \sqrt{1{,}273\,..\,A)}$ $= \sqrt{1{,}273.\,60\frac{Q}{b\,N\,n}}) = \sqrt{76{,}38\frac{Q}{b\,N\,n}})$. Umgekehrt, wenn die Dimensionen der Maschine bekannt sind, kann man auch die mittlere Luftmenge, welche in einer Sekunde ausgeblasen wird, berechnen. Es ist nämlich $Q = \frac{0{,}785\,D^2.\,b\,n.\,N}{60} = 0{,}1308\,D^2.b.n\,N$ z. B. bey einer durch Wasser betriebenen Maschine zu Carron in Schottland ist $N = 4$, $D = 4{,}5'$, $b = 4'$, und $n = 6$, folglich $Q = \frac{4{,}5^2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 4}{76{,}44} = 25{,}4$ oder beynahe $25\frac{1}{2}$ Kubickfuß in jeder Sekunde. Indessen ist die wirklich ausgeblasene Luftmenge allemal etwas kleiner als die berechnete, weil ein geringer Verlust durch die Lederung, und bey dem Wechsel der Ventile unvermeidlich ist.

§. 27. Die Reibung der gelederten Kolben in den Zylindern ist zwar an sich unbedeutend in Vergleich mit jener, welche die gewöhnlichen hölzernen Bälge verursachen, indessen ist solche als Hindernißlast bey Berechnung eines Zylindergebläses keineswegs zu vernachlässigen. Die absolute Grösse dieses Widerstandes läßt sich freylich allgemein nicht bestimmen, da solche in jedem individuellen Falle von der mehr oder minder genauen Anfertigung der Zylinder, und der Lederung der Kolben abhängt, doch kann man als eine aus der Erfahrung bey den englischen Blasemaschinen hergeleitete Regel annehmen, **daß die Reibung eines nicht zu scharf gelederten Kolben in einem gut ausgebohrten Zylinder ein Pfund für jeden Zoll des Durchmessers beträgt.** Da man sich übrigens bey einer solchen Maschine, aus leicht zu begreifenden Ursachen, keiner flüssigen Schmiere zur Verminderung der Reibung bedienen darf, so ist man auf den Einfall gerathen, die Zylinder mit grobem Reißbley (Molybdena) auszureiben, welches nicht allein als Schmiere die Friktion beträchtlich vermindert, und das Leder erhält, sondern auch die an der innern Fläche befindlichen, meist unvermeidlichen kleinen Löcher (Gußblasen) vollkommen ausfüllt.

§. 28. Wenn bey einem Zylindergebläse die gehörige Einrichtung getroffen wird, daß die Dichte der Luft in der Windleitung im Beharrungsstande unveränderlich $= m\delta$ *) und die Geschwindigkeit des aus dem Blaserohr ausströhmenden Windes $= v$ ist, so frägt sich: wie groß ist der Effekt der Maschine, oder das zur Bewegung nöthige Moment der Kraft? — Es sey Q die Menge na-

*) Beym Wasserregulator oder Windbehälter ist statt m das Mittel zwischen μ und m zu nehmen.

natürlicher Luft, welche in jeder Sekunde ausgeblasen wird, so ist, mit Beybehaltung aller übrigen Benennungen:

$$Q = a.v.m = a.c\frac{A}{a}m = A.c.m$$

Weil nun $P = Ah\dfrac{v^2}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2}$ ist (§. 8.)

so ist $A = \dfrac{P}{hv^2}\left(4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2\right)$

und $Q = \dfrac{Pc}{hv^2}\left(4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2\right)m$

aber $m = \dfrac{4gh\frac{\Delta}{\delta}}{4gh\frac{\Delta}{\delta} - v^2}$ (§. 6.)

Folglich $Q = \dfrac{P.c}{hv^2}.4gh\dfrac{\Delta}{\delta} = 4g\dfrac{\Delta}{\delta}.\dfrac{P.c}{v^2}$

und $P.c = \dfrac{Q.v.^2\delta}{4g\Delta}$. Weil nun bey jeder Vorrichtung, immer ein Kolben sich wirkend verhalten muß, so ist der letzte Ausdruck (ohne Rücksicht auf den Widerstand beym einsaugenden Hube, auf Reibung und den Widerstand der Ventile) die allgemeine Bestimmung des Kraftmomentes, welches erfodert wird, eine gegebene Luftmenge mit einer gegebenen Geschwindigkeit auszublasen.

Bey den unvollkommenen Kenntnissen, die wir bis itzt noch von den Gesetzen der Bewegung flüssiger Körper, besonders der elastischen, besitzen, mag dieser Versuch einer Theorie einer der wichtigsten Maschinen (der ursprünglich bloß zu meinem eigenen Gebrauche bestimmt war) noch immer die Stelle einer vollständigern Arbeit ersetzen, und wenigstens für das Bedürfniß des Baumeisters hinreichen, da solche die Auflösung aller bey der Anlage eines Zylindergebläses vorkommenden Aufgaben, und die Grundsätze enthält, nach welchen die schicklichsten Verhältnisse der verschiedenen Theile einer solchen Maschine bestimmt werden müssen. Aus eigener Erfahrung kann ich versichern, daß ich mich von der Richtigkeit meiner Formeln in der Anwendung sowohl bey einigen neuen Anlagen, die ich selbst in England gemacht habe, als bey vielen Maschinen, die ich im Gange zu beobachten Gelegenheit hatte, überzeugt habe. In so ferne das hier vorgetragene Raisonnement auf richtigen dynamischen Grundsätzen beruht, können die daraus hergeleiteten Formeln auch die Wahrheit nicht weit verfehlen, obwohl solche ohne Zweifel durch künftig zu machende Versuche und Entdeckungen noch manche Berichtigung und Zusätze erhalten dürften. So z. B. ist es nicht unwahrscheinlich, daß der durch eine kleine Oefnung ausgetriebene Luftstrahl eine ähnliche Zusammenziehung leidet, wie der aus einem vollen Gefässe durch eine Bodenöfnung ausströhmende Wasserstrahl. — Auch der Widerstand, den die Länge der Windleitungen, so wie der, den die verschiedenen Büge und Krümmungen derselben verursachen, und der, nach allgemeinen Erfahrungen, noch weit beträchtlicher ausfällt, als jener, welchen das Wasser in langen Röhrenstrecken leidet, ist noch keineswegs bestimmt. Es ist eine jedem Hohofenmeister in England bekannte Thatsache, daß, wenn der Wind aus einem und demselben Behälter oder Regulator durch gerade Röhren

von

von einerley Weite und unter demselben Winkel nach verschiedenen Formen geführt wird (wie dann österš mehrere Oefen zugleich durch eine Maschine betrieben werden) das kürzere Rohr (auch wenn der Unterschied nur 12 bis 15 Fuß beträgt) um ein merkliches stärker bläset als das längere, wenn gleich die Oefnungen beyder Blaseröhren vollkommen einerley Weite haben. Aeusserst merkwürdig ist die Erfahrung, welche der berühmte englische Eisenhüttenmeister, Herr John Wilkinson, vor mehrern Jahren zufälligerweise über diesen Gegenstand gemacht hat, und zu deren Erklärung unsere gegenwärtige Pnevmatick ganz unzulänglich ist *). Er gerieth auf den Einfall, einen Bach mit einem starken Gefälle zur Betreibung eines Hohofens zu benützen, der 5000 Fuß, (ohngefähr eine englische Meile) von der Stelle entfernt war. In dieser Absicht baute er ein grosses oberschlächtiges Rad mit einer vollständigen Zylindermaschine, und führte eine Windleitung von 12 Zoll weiten gegossenen eisernen Röhren von der Maschine gerade nach dem Ofen. Als nun die ganze Anlage vollendet war, und man das erstemal Wasser aufs Rad schlug, zeigte sichs zum grossen Erstaunen aller Gegenwärtigen, daß die zusammengepreßte Luft durch die kleinsten Oefnungen und Fugen, vorzüglich aber durch ein mit Gewicht beschwertes Ventil (Wastevalve) an der Maschine selbst entwischte, indeß aus der Oefnung am entfernten Ende der Röhrenleitung durch ein vorgehaltenes Licht nicht einmal die geringste Bewegung zu bemerken war! -- Man verstopfte hierauf alle Fugen auf das sorgfältigste, und beschwerte das

*) Ich habe die Erzählung dieses sehr sonderbaren Versuches unmittelbar aus dem Munde des Hrn. Wilkinson selbst, und des Hrn. James Watt in Birmingham, der auch Augenzeuge war; auch ist die Thatsache in England allgemein bekannt.

Ventil nach und nach mit soviel Gewicht, daß die verdichtete Luft solches gar nicht mehr zu heben vermögend war, und das Rad, bey vollem Aufschlagwasser, sich immer langsamer und langsamer bewegte, bis es endlich ganz stille stand. Allein obwohl nunmehr die Luft in der Maschine offenbar auf einen so hohen Grad verdichtet war, daß ihre Elastizität der ganzen vorhandenen Kraft das Gleichgewicht hielt, so war doch an dem entfernten Ende der Windleitung noch nicht der schwächste Luftzug zu spüren. Natürlicherweise entstand jezt der Verdacht, daß die Röhrenstrecke an irgend einer Stelle durch einen Zufall verstopft wäre, und um diese Hypothese zu prüfen, steckte man in die Mündung der Windleitung bey der Maschine eine lebende Kaze, welche, nachdem ihr der Rückweg verschlossen ward, nach einiger Zeit an dem andern offenen Ende (von welchem das enge Blaserohr abgenommen war) glücklich herauskam, folglich die ganze Röhrenleitung ohne Widerstand durchlaufen hatte! — Nunmehr zuerst gerieth man auf die Vermuthung, es müsse in der Länge der Röhren selbst eine bisher unbekannte Ursache dieser sonderbaren Erscheinung liegen, und, um sich hievon zu überzeugen, ließ Hr. Wilkinson von dem äussersten Ende an bis zur Maschine in einem Abstande von 30 zu 30 Fuß Löcher in die Röhrenleitung bohren, da dann erst in einer Entfernung von 600 Fuß von der Maschine ein schwacher Luftstrohm zu bemerken war, der allmählich stärker und lebhafter ward in dem Verhältnisse als die Oefnungen sich der Maschine näherten *). Ich überlasse es jedem Gelehrten, die

---

*) Es ist sehr zu bedauern, daß bey diesem kostbaren Versuche (der wohl schwerlich jemals in dem Maaßstabe wiederholt werden dürfte) es Niemanden einfiel, das Gesetz, nach welchem die Dichte der Luft in der

die physische Ursache dieser Verzögerung zu erklären, oder das Gesetz theoretisch aufzufinden, nach welchem der Widerstand einer durch eine lange Röhrenleitung bewegten Luftmasse mit der Länge derselben zunimmt. Meine eigenen Gedanken und Muthmassungen über diesen Gegenstand hier vorzutragen, würde eben so unbescheiden als unnütz seyn. Vielweniger würde ich es wagen, mich in die Untersuchung einer so äusserst delikaten und verwickelten Materie einzulassen, nachdem bekanntermassen, in minder schwierigen Aufgaben, die größten Männer unsers Jahrhunderts mit dem tiefsten Scharfsinn, den feinsten Kunstgriffen und Meisterstreichen der höhern Analysis auf Resultate gerathen sind, die mit der Erfahrung, und folglich mit der Wahrheit auf keine Weise übereintreffen. Ich bin vielmehr der Meynung, daß Gegenstände dieser Art ganz ausser dem Gebiethe der reinen Mathematick liegen, und ich glaube, daß man sich mit dergleichen analytischen Untersuchungen zwar auf eine angenehme und unschuldige Art die Zeit verkürzen kann, wenn man sie doch auf keine nützlichere Beschäftigung zu verwenden weiß, daß man aber dieses Gesetz, (so wie manches andere, was uns noch in der Hydrodynamick mangelt) nicht anders als auf dem Wege der Erfahrung durch zahlreiche im Grossen angestellte Versuche wird auf-

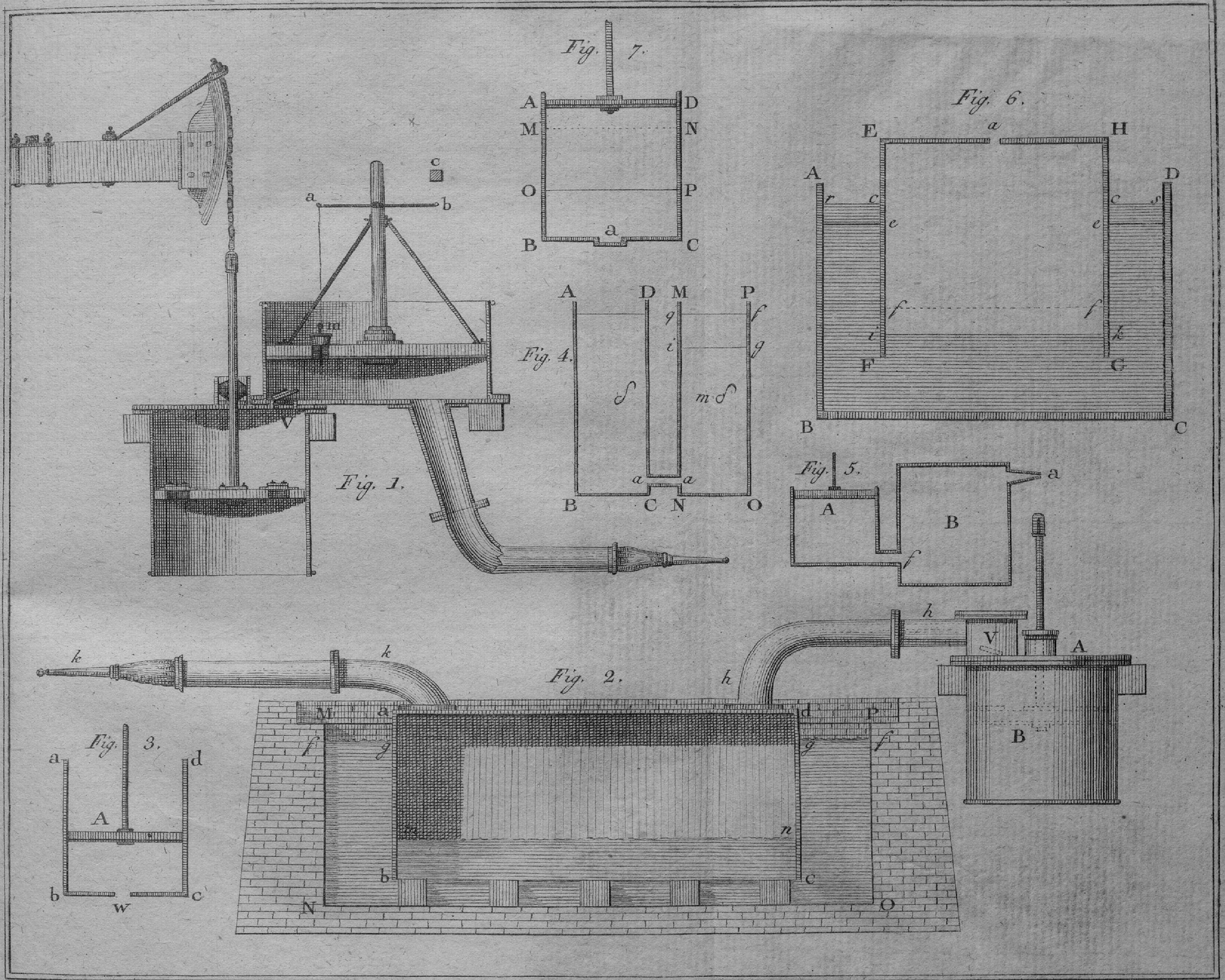
finden

---

der Röhrenleitung abnahm (durch eine leicht anzubringende Vorrichtung mit umgebogenen gläsernen Röhren, welche mit Wasser oder Queeksilber angefüllt würden) zu beobachten. Uebrigens gehört hieher auch die den Bergleuten schon längst bekannte Thatsache, daß die Wetterblasenden Maschinen nur bis auf eine gewisse Weite wirken, daß ihr Effekt in dem Verhältnisse schwächer wird, je länger die Lottenstrecke geführt wird, und daß selbst die mächtigste aller Wettermaschinen, die Wassertrommel, nicht über 60 Lachter weit bläset. —

finden können, und daß es überhaupt weit sicherer und klüger gehandelt sey, zuerst die Thatsache historisch in Gewißheit zu bringen, und nachher vielleicht eine passende Theorie zu erfinden, wodurch solche auf eine für den menschlichen Verstand befriedigende Art erklärt und bewiesen werden kann, als gleich mit dem Beweise den Anfang zu machen, sich in einen Labyrinth von unsichern Schlußketten zu verlieren, und der Natur Gesetze vorzuschreiben, die sie nicht befolgt, und an die sie nicht gedacht hat. —

Ilde-



Joseph Baader delin.

Jos. Zimerman̄ Calc. Elect. Sc. Mon.