IV.

UNTERSUCHUNGEN UND ERFAHRUNGEN

über

*die Seitenmittheilung der Bewegung in
flüssigen Körpern, angewandt auf die
Erklärung verschiedener hydraulischer
Erscheinungen,*

von

J. B. VENTURI,

Prof. der Physik zu Modena.*)

I N H A L T.

Apparat zu den Versuchen. — Man muß gegen jede hydraulische Theorie, selbst gegen die meines Aufsatzes, mißtrauisch seyn, wenn sie nicht durch die Erfahrung bewährt wird.

Wenn sich in einer Flüssigkeit Theilchen bewegen, so ziehen sie die ruhenden, zur Seite liegenden Theilchen der Flüssigkeit mit sich fort, *Satz 1, Versuch 1, 2.* — Diese Erscheinung bezeichne ich mit dem Ausdrucke: *Seitenmittheilung der Bewegung*, und betrachte sie als ein Erfahrungs-Princip, ohne sie zu erklären.

*) *Recherches expérimentales sur le principe de communication latérale dans les fluides, appliqué à l'explication de différens phénomènes hydrauliques, par J. B. Venturi, à Paris 1797, 88 Seit. in 8.* Diese kleine Schrift, voll sorgfältiger hydrodynamischer Versuche, der Bossut, Prony und Coulomb, in ihrem Censur-Berichte an das National-Institut, mit Recht Werth beilegen, und von deren englischer Uebersetzung schon ein zweiter Abdruck

Wenn man Wasser aus einem Gefäße, ein Mahl durch eine Oeffnung einer dünnen Platte, das andere Mahl durch eine eben so weite cylindrische horizontal gestellte Röhre, aus einem Gefäße auslaufen läßt, so wird der Ausfluß im letztern Falle größer als im erstern, und zwar immer um gleich viel, die Röhre mag ein konisches Mundstück von der Form, in welche sich der Wasserstrahl beim Durchgange durch eine dünne Platte zusammenzieht, haben oder nicht, *Satz 1, Versuch 3, 4.* — Die Geschwindigkeit des Wasserstrahls ist in dem Innern dieser beiden Röhren größer, als wenn der Strahl durch eine dünne Platte hervorströmt; und zwar ist es der Druck der Atmosphäre, der dieses bewirkt, *Satz 3, Versuch 5, 6, 7.* — Im luftleeren Raume findet der verstärkte Ausfluß durch beide Röhren nicht statt, *Versuch 2.*

Durch eine *hinabgehende* Röhre, die mit einem konischen Mundstücke von erwähnter Art versehen und unter einem Gefäße angebracht ist, fließt das Wasser so aus, wie es die Höhe des Wasserstandes über der untern Oeffnung der Röhre mit sich bringt. Ergänzung von Guiglielmini's Theorie hierüber. *Satz 1, Versuch 9, 10, 11, 12.*

In *konischen*, horizontal gestellten Röhren von einer gewissen Gestalt, ist es die Seitenmittheilung der Bewegung im Wasser der Röhre, welche den Luftdruck zur Wirksamkeit bringt, wodurch die Geschwindigkeit im Innern der Röhre und der Ausfluß durch sie vermehrt werden, *Satz 5.* Doch bleiben in Absicht dieser Vermehrung die Versuche immer unter der Theorie; warum? *Versuch 13, 14, 15.* Grenzen dieser Vermehrung, *Versuch 16, 17.*

veranstaltet ist, verdiente um so mehr in unsern Annalen ins Deutsche übergetragen zu werden, da sie eine oft übersehene Seite bei der Bewegung des Wassers und den Ausfluß desselben durch Röhren auffaßt, und mehrere Erscheinungen glücklich erklärt, von welchen man bisher nicht gehörig Rechenenschaft geben konnte, wie das besonders aus Vergleichung dieses Aufsatzes mit dem vorbergehenden von Vince erhellt. *d. H.*

In den *cyllindrischen*, horizontal gestellten Röhren nähert sich diese Vermehrung des Ausflusses dem Maximum nicht so sehr, als in den konischen Röhren, *Satz 6, Versuch 18*. Warum das in einer einfachen cyllindrischen Röhre der Fall ist. Aus derselben Ursache ist die Geschwindigkeit, womit der Wasserstrahl aus dem Ende einer solchen horizontal gestellten Röhre hervorkommt, geringer, als die, womit er durch eine dünne Platte herausströmt, *Versuch 19*; eben so bei aufwärts oder bei herabwärts gerichteten Röhren, *Versuch 20 21*. — Die Seitenmittheilung der Bewegung findet in cyllindrischen Röhren nur in einer sehr kleinen Länge statt, *Versuch 22*.

Der Ausfluß aus einer gegebenen cyllindrischen Röhre läßt sich durch schickliche Hülfsröhren, bei einerlei Wasserstand, um mehr als das Doppelte erhöhen, *Satz 7*. — Ein römisches Gesetz darüber. — Anwendung auf Schornsteine. — Verringerung des Ausflusses durch Knien und Biegungen, *Versuch 23*; durch bauchige Erweiterungen, *Versuch 24*.

Der Apparat, dessen ich mich bei meinen Versuchen grössten Theils bedient habe, ist mit dem des berühmten Poleni *) einerlei, und in der ersten Figur Taf. IX, vorgestellt. Das Behältniß *X*, von kegelförmiger Gestalt, hat einen Durchmesser von 40 Zoll in *CE* und von 30 Zoll in *OP*. *FP* ist eine breite dünne Kupferplatte, die in vertikaler Lage von innen an die Wand des Gefäßes befestigt, und worin eine runde Oeffnung *P*, durch die das Wasser aus dem Behälter ausströmt, eingelassen ist. Das Klappen-Ventil *FS*, das mittelst der Handhabe *K* regiert wird, öffnet oder verschließt die Oeffnung; das Charnier desselben ist oberhalb *F* an der Seite des Gefäßes angebracht, um dadurch zu

*) *De Castellis*; auch in der Sammlung hydraulischer Schriften, Band 3, zu Parma abgedruckt.

verhindern, daß die herabfinkenden Wassertheile den Ausfluß durch die Oeffnung *P* nicht hemmen mögen. Vor diese Oeffnung wurden, den Umständen nach, mancherlei Röhren angesetzt, die mit Sorgfalt aus Blechstreifen von der besten Art gemacht waren, indem man die beiden Schärfeu jedes Streifens der Länge nach zusammengeschweifte hatte. Die Kupferplatte war so dünn, daß der Rand der Oeffnung *P* höchstens eine Viertellinie in der Dicke hatte.

Das obere Gefäß *Z* diente, das Wasser im Behälter *X*, während des Ausfließens aus *P*, beständig in der Höhe der Linie *CE* zu erhalten. Man zog den Stöpsel *AB* mehr oder weniger zurück, und hatte dadurch den Zufluß des Wassers in den Behälter *X* in seiner Gewalt. Der Kasten *DL* verhinderte, daß das Wasser nicht durch den Fall aus *Z* in eine Bewegung gerieth, die auf das Ausfließen durch die Oeffnung *P* hätte Einfluß haben können, und durch den Einschnitt *Q* wurde das überflüssige Wasser aus dem Behälter abgeleitet, so daß es hier unverändert in der Höhe *CE* 32,5 parisische Zoll über dem Mittelpunkte der Oeffnung *P* stand. War dieser Wasserstand, (den Venturi häufig die Ladung, *charge*, des Behälters nennt,) anders, so wird dieses jedesmahl ausdrücklich angegeben werden.

Ein großer Theil der folgenden Versuche ist unter den Augen des Publikums auf dem physikalischen Theater von Modena gemacht worden; bei

andern hatte ich mehrere Kenner zu Zeugen. Es waren dabei mehrere Personen auf Einmahl behülflich. Einer zählte laut die Sekunden nach einer Pendel-Uhr; in dem Augenblicke von 60" zog ein Zweiter das Ventil *FS* zurück; und ein Dritter liefs durch den Stopfel *B* so viel Wasser aus *Z* einfließen, als nöthig war, damit immer auch ein wenig durch *Q* abflofs. In einem bestimmten Augenblicke, über den man vorher übereingekommen war, ward alles verschlossen. Jeder Versuch wurde mehrere Mal hinter einander wiederholt, bis die Uebereinstimmung der Resultate alle Furcht vor Irrthum entfernte. Selbst in den verwickeltsten Fällen, glaube ich, hat sich nicht mehr als $\frac{1}{40}$ Irrthum einmischen können.

Die angegebenen Maafse sind alle von einer Toise genommen, die nach der der pariser Akademie be-
richtetigt ist, und die der Bürger Lalande mir 1783 zuzuschicken die Güte hatte. Diese Maafse, und eben so alle übrige des achtzehnten Jahrhunderts, werden zwar dem Schicksale nicht entgehen, das ihnen durch die Einrichtung des neuen Mètre zubereitet ist. Man wird sie indefs jederzeit auf dieses neue Maafs reduciren können, wenn man bemerkt, dafs sich der Fuß zum Mètre wie 100 zu 308 verhält.

Die besten Physiker sind wider alle abstrakte Theorie von der Bewegung flüssiger Körper mißtrauisch, und selbst die großen Geometer gestehen, dafs die Methoden, die ihnen so überraschende Fort-

schritte in der Mechanik fester Körper gewährten, in der Hydraulik nur zu Resultaten führen, welche für die meisten besondern Fälle viel zu allgemein und unbestimmt sind. *) Von dieser Wahrheit durchdrungen, habe ich mich mit der Theorie nur in so weit beschäftigt, als sie sich mit den Thatfachen verbinden liefs, und sofern sie nöthig war, um die Erfahrungen unter Einen Gesichtspunkt zu fassen. Selbst das wenige Theoretische läfst sich entbehren, und man kann die folgenden Sätze blofs als Resultate der Erfahrung ansehen.

Wenn ich das schätzbare Werk des Bürgers Bossut über die *Hydrodynamik* anführe, so thue ich es nach der Ausgabe von 1786. **)

*) Das liegt aber nicht an der Theorie selbst, sondern an der Unvollkommenheit der Analysis, deren brauchbarer Theil, kaum ein Jahrhundert alt, noch nicht zu der Vollkommenheit, die man wohl wünschen möchte, gediehen ist. Ehe das nicht geschehen ist, werden freilich die allgemeinen hydraulischen Untersuchungen mehr der Analysis als der Hydraulik selbst zu statten kommen; allein man würde unbillig seyn, wenn man daraus der Theorie Vorwürfe machen wollte. d. II.

**) Ich ziehe dieses Werk bei weitem allen frühern vor, da es sich auf Principien der Erfahrung und der Theorie zugleich gründet. Ausser demselben habe ich noch einige Bemerkungen benutzt, die mir die Bürger Bossut und Prony nach der Lesung meines Aufsatzes mittheilten. V.

Erster Satz.

Die Bewegung eines flüssigen Körpers theilt sich den zur Seite liegenden Theilen mit, die in Ruhe sind.

Newton behauptet, *) daß, wenn irgend eine Bewegung sich in einem flüssigen Körper über die Oeffnung *BC* hinaus fortpflanzt, (Taf. IX, Fig. 2,) sie sich, von dieser Oeffnung an, wie aus einem Mittelpunkte divergirend verbreite, und in geraden Linien eben sowohl gegen die zur Seite liegenden Theile, (*parties laterales*,) *N*, *K*, als gegen *S* fortpflanze. Man würde die Anwendung dieses Theorems nicht geradezu und unmittelbar auf einen Wasserstrahl machen können, der mit Gewalt aus der Oeffnung *BC* auf die Oberfläche eines ruhigen Wassers springt, denn es treten in diesem Falle Umstände ein, welche die Wirkung, die das Newtonsche Princip ausagt, in besondere Arten von Bewegung verwandeln. Unterdeffen theilt doch auch der Strahl *BC* seine Bewegung den zur Seite liegenden Theilen *N*, *K* mit, nur daß er sie nicht nach den Richtungen *P*, *Q* forttreibt, sondern vielmehr mit sich nach *S* zu fortführt.

Versuch 1. Die cylindrische Röhre *AC*, (Taf. IX, Fig. 3,) geht horizontal in den Kasten *DEFB*, der bis *DB* mit Wasser angefüllt ist. Ihr gegen über fängt, ein wenig von ihrem Ende *C* entfernt, ein kleiner rechteckiger Kanal von Blech an, *SMBR*, dessen oberer Theil *SR* offen ist, und dessen Bo-

*) *Princip. math.*, lib. 2, prop. 42, cas. 3.

den MB schief steht und auf dem Rande des Kastens B ruht. Die Breite desselben beträgt 24, und der Durchmesser der Röhre AC , deren Ende A an der Oeffnung P in der ersten Figur angebracht ist, 14,5 Linien. Läßt man nun das Wasser aus dem Behälter X der ersten Figur durch die Röhre AC auslaufen, so steigt der Wasserstrom den kleinen Kanal MB hinan, und ergießt sich aus dem Kasten durch den Strahl BV . Es entsteht alsdann in dem Wasser des Kastens $DEFB$ eine strömende Bewegung; das Wasser tritt aus demselben in den Kanal SR , geht mit dem Strahle AC durch MBV , und in wenig Sekunden sinkt das Wasser von DB bis nach MH herunter.

Versuch 2. Man nähere einen sehr beweglichen Körper dem Wasserstrahle PR , Fig. 1, der aus der Oeffnung P in das untere Gefäß RT hinabstürzt. Dieser Körper wird von der Luft, die mit dem Strahle PR herunterströmt und die zum Theil das Wasser in dem untern Gefäße verschluckt, mit fortgetrieben werden.

Diese beiden Erfahrungen beweisen ziemlich deutlich, daß der flüssige Körper, der durch BC , (Fig. 2,) geht, seine Bewegung den zur Seite liegenden Theilen N , K wirklich mittheilt; nur stößt er sie nicht gegen P , Q , sondern zieht sie mit sich nach S fort. Und das ist es eben, was ich mit dem Kunstworte: *Seitenmittheilung der Bewegung in den flüssigen Körpern*, bezeichne. Newton hat diese Mittheilung gekannt. Er leitet davon die Fort-

pflanzung der kreisförmigen Bewegung aus den innern Wasserschichten auf die äußern bei einem Wirbel her. Ist es aber das klebrige Wesen (!) und das gegenseitige Aneinanderhängen der Theile des flüssigen Körpers, oder ist es ihr wechselseitiges Ineinandervirken, oder endlich das Entfernen der bewegten Theile von den übrigen, worin der Grund dieser Seitenmittheilung der Bewegung zu suchen ist? Vielleicht, daß sich, wenn wir ihre Wirkungen werden gesehen haben, hierüber Einiges wird sagen lassen. Für jetzt wollen wir, worin auch ihr Grund liegen mag, uns lieber an die Thatfache selbst halten, wie sie uns die Erfahrung giebt, sie *als ein Princip* betrachten, und uns einzig und allein bemühen, sie auf besondere Fälle und auf die Erklärung mannigfaltiger Erscheinungen anzuwenden. *) Und zwar sey das Erste, was ich versuchen

- *) Dieses Phänomen der Seitenmittheilung der Bewegung scheint mir aus der Natur des Wassers, wie die Theorie sie zum Grunde legt, ohne die mindeste Schwierigkeit erklärbar zu seyn. Indem der Wasserstrahl *A*, (Fig. 2,) bei *BC* auf das ruhende Wasser in *PSQ* stößt, wird er anfangs aufgehalten. Dadurch entsteht ein Druck und Gegendruck, der unmittelbar nach der Richtung des Strahls *AS*, und mittelbar nach allen übrigen Richtungen wirkt, indem, vermöge der Natur des Flüssigen, der Druck, den es nach Einer Richtung leidet, nach allen gleichförmig fortgepflanzet wird. Daher muß das Wasser rings um *PSQ* zu in Bewegung kommen, nur daß, wenn es nach *S* zu ausweichen

will: mittelst dieses Princip, besser als es bisher geschehen ist, zu erklären: *die Vermehrung, die man*

kann und im Fließen ist, der Strom *A* nur mit dem Ueberschusse seiner Geschwindigkeit über den Strom *S*, gegen diesen und die umliegenden Wassertheilchen drückt, und daher dann die Kraft, die sie zur Seite treibt, geringer ist. Können überdies die Seitentheilchen *N*, *K* nicht zur Seite frei ausweichen, so wird ihre Bewegung nach diesen Richtungen bald unmerklich, und sie gerathen, vermöge des Drucks gegen die Seiten des Gefäßes und des daraus entstehenden Gegendrucks, ebenfalls in eine Bewegung nach *S* zu, wohin ein freyer Abfluß stattfindet. — Dafs das Wasser in Versuch 1 die viereckige Röhre hinauffließt, geschieht vermöge der Zersätlung, welche in der Bewegung desselben beim Stosse gegen die schiefe Ebene *MB* vorgeht, und dieser Versuch kann daher schwerlich die Seitenmittheilung der Bewegung im Wasser darthun. Ob in Versuch 2 eine wirkliche Seitenmittheilung der Bewegung nach *PY*, Fig. 1, auf die umgebende Luft vor sich geht, möchte gleichfalls zweifelhaft seyn, da die wahrgenommene Bewegung in diesem Falle vielleicht allein von dem Zuströmen der Luft herrührt, die dadurch veranlaßt wird, dafs die länger fallenden Wassertheilchen, vermöge der größern Geschwindigkeit, die sie durch den Fall erhalten, sich von den später herausströmenden trennen, und die umgebende Luft ihren Zwischenraum ausfüllen muß. — Sind indess beide Versuche vielleicht nicht zum besten ausgedacht, um die Wirklichkeit einer Seitenmittheilung der Bewegung, nach Venturi's Sinn, darzuthun, so kann man doch sein Princip, aus

*in dem Ausflusse durch eine Oeffnung wahrnimmt, wenn man an die Oeffnung Röhren ansetzt. *)*

Zweiter Satz.

Verengert man in einer cylindrischen Röhre, die vor die Oeffnung P eines Behälters angesetzt wird, den Theil zunächst am Gefüße, der Form gemäß, in welcher sich ein Wasserstrahl beim Ausflusse durch eine Oeffnung einer dünnen Platte zusammenzieht; so bleibt der Ausfluß derselbe, als in der unverengerten Röhre.

Es ist bekannt, daß, wenn Wasser aus einem Behälter durch eine kreisförmige Oeffnung einer der Wände ausfließt, und diese Wand dünn ist, der Wasserstrahl nicht weit von der Oeffnung sich zusammenzieht, so daß der Durchmesser desselben sich bis auf 0,8 des Durchmessers der Oeffnung verringert. **) Pole ni bemerkte zuerst, daß, wenn

obigen theoretischen Gründen, nicht bezweifeln, und viele der folgenden Erklärungen, welche Venturi darauf gründet, sind neu und scharfsinnig.

d. H.

*) Diesen Theil des Aufsatzes theile ich in dem gegenwärtigen Stücke ununterbrochen mit, indess ich die andern, für viele vielleicht noch interessanteren, Anwendungen für das folgende Stück der Annalen verspare.

d. H.

**) Vergleiche den vorigen Aufsatz von Vince, Seite 405. Venturi selbst theilt am Ende seiner

vor eine solche Oeffnung eine cylindrische Röhre von demselben Durchmesser und einer zwei bis vier-mahl größern Länge angesetzt wird, der Ausfluß sich ungefähr im Verhältnisse von 100 zu 133 vermehrt. Um dieses zu erklären, nahm er an: der Wasserstrahl ziehe sich in den Röhren weniger, als beim Ausflusse aus einer dünnen Platte zusammen. Diese Voraussetzung war ganz scheinbar, läßt sich aber auf die Erfahrung nicht anwenden, welche die Ueberschrift ausagt und die folgenden Versuche begründen.

Versuch 3. Vor der Oeffnung *P* in Fig. 1 wurde eine dünne Platte mit einer kreisförmigen Oeffnung von 18 Linien im Durchmesser angebracht, und es flossen in das Gefäß *V* vier Kubikfuß Wasser, in der Zeit von 41".

Ich setzte darauf eine cylindrische Röhre, von eben dem Durchmesser, und 54 Linien lang, vor die Oeffnung; vier Kubikfuß Wasser flossen nun in 31" aus.

Endlich vertauschte ich diese einfache cylindrische Röhre mit einer zusammengesetzten, wie sie Fig. 5 darstellt, deren Theile folgende Abmessungen in Linien hatten: $AC = GI = MN$, 18; DF , 14,5; AB , 11; BG , 10; GM , 37; AM , 58 Linien. Bei dieser zusammengesetzten Röhre

Schrift als Zugabe genauere Untersuchungen über die Gestalt und Umstände dieser Verengung mit, die man im folgenden Aufsatze findet. *d. H.*

flossen, wie bei der einfachen cylindrischen, vier Kubikfuß Wasser in 51" aus.

Das konische Stück $ACDF$ hat beinahe die Gestalt, in welcher sich der Wasserstrahl beim Ausflusse durch eine dünne Platte zusammenzieht. Das Wasser ging also im letztern Falle durch eine Verengung, beinahe der gleich, welche sich beim Auströmen durch die Oeffnung in einer dünnen Platte von selbst im Wasserstrahle bildet, und dennoch hatte der Ausflufs in demselben Verhältnisse, wie bei einer einfachen cylindrischen Röhre, zugenommen. Folglich muß die Geschwindigkeit der Schicht DF , so wie überhaupt des konischen Stücks $ACDF$, gröfser seyn, als die des Wasserstrahls, der von der dünnen Platte verengert wird. *Worin liegt aber der Grund der vermehrten Geschwindigkeit, die sich in dem Innern der Röhre erzeugt? Alles kommt hier darauf an, diesen zu entdecken.*

Das konische Stück $ACDF$ allein verursacht keine Veränderung im Ausflusse. Davon überzeugte mich

Versuch 4, bei welchem das konische Stück, abgetrennt von dem übrigen Theile $DGMNIF$ der Röhre, vor die Oeffnung P angesetzt wurde. Die vier Kubikfuß Wasser flossen nunmehr in 42" aus, welches, bis auf eine Sekunde, mit der Zeit des Ausflusses durch die bloße Oeffnung der Platte übereinstimmt. Der kleine Unterschied von 1" kommt daher, weil es fast unmöglich ist, der Röhre

ACDF vollkommen die Form zu geben, in welche sich der Wasserstrahl von selbst zusammenzieht.

Dritter Satz.

Der Druck der Luft macht, daß durch eine cylindrische Röhre, welches auch ihre Richtung ist, mehr Wasser aus einem Gefüße ausströmt, als, bei übrigen gleichen Umständen, durch die Oeffnung in einer dünnen Platte.

Ein schwerer flüssiger Körper, der durch eine hinabgehende cylindrische Röhre fließt, strebt, seine Bewegung in ihr zu beschleunigen. Die untern Schichten suchen sich von den obern zu trennen, und bewirken dadurch, daß der Druck der Atmosphäre die Geschwindigkeit der obern Schichten vermehrt. Diese successive Beschleunigung durch die Schwere kann in keiner horizontalen oder aufsteigenden Röhre statt finden; indessen werden wir doch sogleich sehen, daß der Druck der Luft selbst in diesen letztern Lagen dahin wirkt, die Geschwindigkeit des Fluidi im Innern der Röhre zu vermehren. Rechtsfragen, die in meinem Vaterlande über die Menge des Wassers in einem Wässerungs-Kanale aufgeworfen wurden, richteten mein Augenmerk hierauf, und ich stellte im Jahre 1792 öffentlich, auf dem physikalischen Theater zu Modena, folgende Versuche an.

Versuch 5. Ich setzte an die Oeffnung *P*, (Fig. 1.) eine cylindrische Röhre an, die 54 Linien in der

Länge, 18 Linien im Durchmesser, und 9 Linien weit von der Oeffnung *P* ringsum 12 kleine Löcher hatte. Als diese Löcher geöffnet waren, flossen vier Kubikfuß Wasser in 41" heraus, gerade wie durch die Oeffnung der dünnen Platte. Nicht ein Tropfen sickerte durch die Löcher, der Wasserstrahl füllte aber die Röhre nicht. Man stopfte darauf ein Loch nach dem andern mit nassem Leder zu. So lange noch ein Loch offen war, blieb der Ausfluß derselbe; da aber endlich alle 12 Löcher fest verstopft waren, füllte der Wasserstrahl die ganze Röhre aus, und man erhielt die vier Kubikfuß Wasser in 31".

Versuch 6. An eine cylindrische Röhre *KLV*, (Fig. 6,) welche wiederum 18 Linien im Durchmesser und 57 Linien in der Länge hatte, wurde 8 Linien weit von *K* die Glasröhre *QRST* angebracht, deren unteres Ende im Gefäße *T* in gefärbtem Wasser stand. Nachdem ich diesen Apparat an die Oeffnung *P*, (Fig. 1,) angesetzt hatte, flossen vier Kubikfuß Wasser wiederum in 51" aus; dabei stieg aber das gefärbte Wasser in der Röhre *TR* bis nach *S*, 24 Zoll hoch über der Oberfläche des Wassers in *T*, hinan.

Ich verkürzte darauf den Arm *RT* der Glasröhre, so daß er nur um sechs Zoll länger als *RQ* blieb. Nun stieg das gefärbte Wasser beim Ausfließen die ganze Glasröhre *TRQ* hinan, vermischte sich mit dem durch *KV* strömenden Wasserstrahle,
und

und floß mit demselben durch V ab, so daß in kurzer Zeit das Gefäß T ausgeleert war.

Als ich diesen Versuch mit der zusammengesetzten Röhre, Fig. 5, wiederholte, blieben die Resultate dieselben.

Versuch 7. Nunmehr setzte ich die vorige cylindrische Röhre KL , (Fig. 6,) in einer aufwärts gehenden, fast vertikalen Lage vor die Oeffnung R , (Fig. 8,) an den Kasten HI an, dessen offenes Ende H mit dem Wasserbehälter X , (Fig. 1,) in freier Verbindung stand. Die Höhe des Wasserstandes in diesem Behälter, über dem obern Ende V der angeetzten Röhre, betrug 27,5 Zoll. Diese Röhre war ein klein wenig geneigt, damit der ausfließende Strahl nicht auf sich selbst zurückfiel. Die Glasröhre QRT , (Fig. 6,) ward in dieser Lage so eingerichtet, daß sie, wie vorher, in das gefärbte Fluidum T senkrecht hingab. Als ich nun das Ventil öffnete, flossen vier Kubikschuh in 34" ab. Das gefärbte Fluidum stieg in der Röhre RT bis zu der Höhe von beinahe 20 Zoll. Durch eine 18 Zoll weite Oeffnung in einer dünnen Platte würden bei einem gleich hohen Wasserstande von 27,5 Zoll vier Kubikfuß in 45" ausgeströmt seyn.

Versuch 8. In einem cylindrischen Gefäße, das 4,5 Zoll weit war, wurde, unweit des Bodens, in die senkrechte Seitenfläche eine Blechplatte mit einer kreisförmigen Oeffnung von 4,5 Zoll Durchmesser eingesetzt. Als dieses Gefäß, bis zu einer Höhe von 8,3 Zoll über dem Mittelpunkte der Oeffnung,

mit Wasser gefüllt wurde, fiel das Wasser beim Ausfließen durch die Oeffnung um 7 Zoll in einer Zeit von 27",5. Da ich aber an diese Oeffnung eine eben so weite, 11 Linien lange cylindrische Röhre ansetzte, senkte sich dieselbe Wassermenge um 7 Zoll in 21".

Ich wiederholte in der Folge den Versuch unter einem Recipienten der Luftpumpe, in welchem das Quecksilber nur noch 10 Linien hoch stand, und hier senkte sich die Oberfläche des Wassers im Gefäße um 7 Zoll, stets in der Zeit von 27",5, gleich viel, ob die Oeffnung bloß von einer dünnen Platte gebildet oder mit einer cylindrischen Hülfsröhre versehen war.

Bei dem 6ten und 7ten Versuche mißt die Höhe des gefärbten Wassers in der Glasröhre die active GröÙe des Luftdrucks, die sich über die Oberfläche des Wassers im Behälter X verbreitet, um den Ausfluß zu vermehren. *) Alsdann hätte man aber z. B. beim sechsten Versuche 32,5 + 24 Zoll Waf-

*) Wir werden nämlich sogleich sehen, daß beim Ausflüsse durch senkrechte Röhren oder durch Oeffnungen, die gegen die Weite des Gefäßes eine beträchtliche GröÙe haben, der Luftdruck thätig wird. Er hält das Wasser im GefäÙe stetig beisammen, und drückt gegen die Oeffnung gerade so stark, als von oben auf die oberste Wasserschicht des Behälters. Den gegen die Oeffnung wirkenden Luftdruck mißt das gefärbte Wasser in der Glasröhre unmittelbar, und mithin auch mittelbar den auf der Oberfläche des Behälters X activen Luftdruck. d. H.

ferstand, über der Mündung *P*, bei der Berechnung der Geschwindigkeit des Ausströmens durch diese Mündung, in Anschlag zu bringen, und in der That verhält sich auch fast $\sqrt{32,5} : \sqrt{56,5} = 51'' : 41''$, wie es die allgemeine Theorie von der Bewegung flüssiger Körper, die durch eine kleine Oeffnung aus Gefäßen herausströmen, fordert. Eben so ist es mit dem 7ten Versuche bewandt. *)

Daniel Bernoulli hatte den 7ten Versuch mit hinabsteigenden und mit kegelförmigen divergirenden Röhren gemacht, und erklärte den Erfolg lediglich aus seiner Theorie von der Erhaltung der lebendigen Kräfte. Euler und d'Alembert machten ihm aber bemerklich, daß sich der Druck der Atmosphäre mit hinein mische. **) Ob nun gleich der Fall mit der herabgehenden Röhre von dem Falle mit der horizontalen oder aufwärts steigenden Röhre verschieden ist, so kann doch die Kenntniß des ersten Falles die des zweiten erleichtern. Ueberdies finden sich die Gründe, die in beiden Fällen wirken, oft mit einander verbunden, und es ist nothwendig, beide genau zu kennen, um ihre Resultate von einander zu unterscheiden. Das ist der Grund, warum ich mich bei dem folgenden Satze auf einen Augenblick von meinem Hauptgegenstande entferne, und den Ausfluß durch *hinab-*

*) Vergleiche Vince's ähnliche Versuche, im vorigen Aufsatze, S. 408.

**) d'Alembert *Traité des fluides*, Art. 149.

gehende Röhren betrachte. Ich werde dann sogleich wider zu den horizontalen und aufwärts gehenden Röhren, und zu der Ursache des vermehrten Ausflusses durch sie, zurückkehren.

Vierter Satz.

Durch eine hinabgehende cylindrische Röhre, deren oberes Ende die Form des zusammengezogenen Wasserstrahls hat, ist der Ausfluß so groß, als es die Höhe des Wasserstandes über dem untern Ende der Röhre mit sich bringt.

Die Alten hatten bemerkt, daß eine heruntergehende Röhre den Ausfluß aus einem Gefäße vermehrt. *) Mariotte meinte, das Wasser ströme durch CQ , (Fig. 7,) mit einer Geschwindigkeit, welche beinahe die mittlere Proportionale zwischen den beiden Geschwindigkeiten sey, die zu den Höhen AB , AC gehören. **) Schon Guiglielmini suchte die Ursache dieses vermehrten Ausflusses in dem Gewichte der Atmosphäre, und behauptete, die Geschwindigkeit in CQ entspreche der ganzen Höhe AC , ***) wobei er aber mit Unrecht vor-

*) *Calix deexus amplius rapit.* Frontin. *de aqueduct.*, Art. 36. Man sehe auch die *Pneumatica* des Hero unter den alten Mathematicern, in der Ausgabe von 1693, p. 157.

**) *Mouvement des eaux.* Par 3, Disc. 2.

***) *Epist. hydrostatic.*; *Oper.*, Tom. I, p. 312.

aussetzt, der Druck in *C* sey für den Zustand der Bewegung und für den der Ruhe einerlei. Bei seinen Versuchen nahm er weder auf die Verringerung des Ausflusses durch die innern Ungleichheiten der Röhren, noch auf die Vermehrung, welche durch die Gestalt der Röhren selbst verursacht wird, Rücksicht, und es war in der That ein sonderbares Ohngefahr, daß beide Vernachlässigungen sich gerade compensirten. Seit Guiglielmini hat niemand, so viel ich weiß, hierüber entscheidendere Versuche angestellt. Ich werde daher die Aussage meines vierten Satzes aus dem Princip des virtuellen Ansteigens und aus dem Drucke der Luft so zu erklären suchen, daß sie weder von Seiten der Theorie noch der Erfahrung irgend einem Einwurfe ausgesetzt bleibt.

Es sey *BLKO* eine kegelförmige Röhre, nach der Form des verengerten Wasserstrahls gebildet,*) und *LCQK* eine cylindrische Röhre vom Durchmesser dieser Verengung. Indem die Wasserschicht *LK* durch *LC* hinabfließt, strebt sie, ihre Bewegung nach den Gesetzen der Schwere zu beschleunigen, und sucht daher, während sie von *LK* nach *MN* geht, sich von der nächstfolgenden Schicht

*) Wenn ich von der Form des verengerten Wasserstrahls rede, so muß man allezeit das Conoid verstehen, das durch das Fluidum beim Herausströmen aus einer Oeffnung in einer dünnen Platte gebildet wird.

zu trennen, und zwischen *LK* und *MN* einen luftleeren Raum zu bilden. Dieses geschieht so in der ganzen Länge der Röhre *LC*. Der Druck der Luft, der an sich auf der obern Wasserfläche *A* und auf dem untern Ende der Röhre *C* gleich stark ist, wird, so viel es nöthig ist, wirksam, um diese Leere zu verhindern, indem der Druck auf *A* den Ausfluss vermehrt, der Druck auf *C* dagegen die Summe der Beschleunigungen aufhebt, die ohne dies längs *LC* entstehen würden, und dadurch macht, daß das Fluidum in der Röhre continuirlich bleibt. *)

*) Da die Geschwindigkeit fallender Körper nach dem Quadrate der Zeit zunimmt, so wird der Unterschied in den Geschwindigkeiten zweier nach einander fallender Wasserschichten immer größer, und sie streben daher, sich immer weiter von einander zu entfernen. Beim Ausströmen durch die Oeffnung in einer dünnen Platte hindert nichts ihr Entfernen, da die benachbarte Luft in den Zwischenraum hineinströmt, und sie zertheilen sich in Tropfen. In einer Röhre können sich dagegen zwei Schichten nicht von einander trennen, ohne einen luftleeren Raum zwischen sich zu bilden, und dieser kann wegen des Luftdrucks von oben herab auf der obern, und von unten hinauf auf der untern Schicht nicht entstehen. Dafür wird aber dieser Luftdruck thätig, und er ist es, der bei je zwei nächsten der fallenden Wasserschichten in der Röhre, die obere beschleunigt, die untere retardirt, und zwar beide um gleiche GröÙe, da er auf beide gleich stark wirkt. Nun aber kann der Luftdruck auf die mittlern Schichten lediglich durch

Es sey t die Zeit, welche die stetig zusammenhängende Wasserfäule $LCQR$ braucht, um die Röhre LC zu durchströmen; gleich viel, welches die Geschwindigkeit in L und die successive Be-

feinen Einfluß auf die oberste oder unterste in der Röhre wirken, und die Summe beider Wirkungen muß, (damit nirgends eine Trennung der Schichten vor sich geht und das Wasser immer stetig die Röhre ausfülle,) genau die Beschleunigung der Wassertheilchen während ihres Falles durch die Röhre LC aufheben. Um die Hälfte dieser Beschleunigung wird folglich die oberste Schicht beschleunigt und die unterste retardirt werden müssen. Wegen der größern Beschleunigung jeder der folgenden Schichten durch die Schwere nimmt für sie die Wirkung der Beschleunigung des Luftdrucks auf der obern Schicht ab; eine der mittlern Schichten wird durch diesen Druck gar nicht beschleunigt werden; und auf die darunter befindlichen wirkt der entgegengesetzt gerichtete Luftdruck, der die unterste Schicht retardirt. Auf diese Art fällt das Wasser in der ganzen Röhre mit gleicher Geschwindigkeit und erfüllt sie stetig.

In Gefäßen, wo die Oeffnung im Boden, im Vergleiche mit der Weite, sehr klein ist, fällt diese Wirkung des Luftdrucks fort. Denn was den Wasser-Cylinder, der senkrecht über der Oeffnung steht, betrifft, so würde dieser allein sich gerade so wie in einer Röhre verhalten; da er aber ringsum von Wassertheilchen umgeben ist, welche durch die kleinste Kraft verschiebbar sind, so dringen diese sogleich bei der Trennung der Schichten zwischen die Schichten ein, gerade so wie die Luft bei

beschleunigung von L bis C ist. Gefetzt, diese Wasserfäule steige dann wieder von D nach E in die Höhe, so wird sie in der nämlichen Zeit t den Raum $DE = LC$ durchlaufen, und dabei die ganze Beschleunigung, die sie von L bis C erlangt hatte, verlieren. *) Folglich wird der Druck der Säule ED die Zeit t hindurch erfordert, um die successive Beschleunigung, die durch den Fall von L bis C erlangt wird, zu vernichten und den Wasserstrahl in der Röhre LC stetig beisammen zu erhalten. Mit-

dem Wasserstrahle, der sich in Tropfen zertheilt. Daher geschieht in diesem Falle der Ausfluß in der Stelle der größten Verengung mit einer Geschwindigkeit, welche zum Wasserstande als Fallhöhe gehört, (s. S. 404.) Das Hineinströmen der Seitentheilchen ist am Boden am stärksten, wo der Unterschied in der Geschwindigkeit zweier auf einander folgender Wasserschichten am größten ist; und dadurch wird die Verengung des ausfließenden Strahls bewirkt, welcher bei einer Röhre, wo alle Schichten gleiche Geschwindigkeiten haben, nicht statt findet.

Hat die Oeffnung am Boden gegen die Weite des Gefäßes eine beträchtliche Größe, so sind der Seitentheilchen nicht genug vorhanden, daß nicht durch ihr Abfließen auch eine Trennung der Wasserschichten bewirkt werden, und mithin der Luftdruck wirksam werden sollte; daher denn der Ausfluß mit einer geringern Geschwindigkeit geschehen muß. d. H.

*) Aus dem nämlichen Grunde, warum das bei dem von der Schwere auf eine ähnliche Art beschleunigten Pendel der Fall ist. d. H.

hin muß der Theil des Luftdrucks auf CQ , der dazu dient, die Summe der Beschleunigungen durch LC aufzuheben, dem Drucke der Wasserfäule ED gleich seyn. Und da sich der nämliche Druck auf die obere Wasserfläche A äußert, und diese um gerade so viel beschleunigt, als er die letzte Wasserschicht CQ retardirt; so wird, wenn wir $FA = LC$ setzen, das Fluidum LK die Geschwindigkeit haben, die der Höhe $FL = AC$ zukommt; abgesehen von der Verzögerung, welche die innern Ungleichheiten der Röhre $LCQK$ hervorbringen könnten. *)

*) Venturi's Erklärung läuft also auf folgendes hinaus. Der Luftdruck auf die obere Wasserfläche A und auf die untere C ist an sich gleich groß, so daß er im Stande der Ruhe den Druck der Wasserfäule AC auf CQ weder vermehrt noch vermindert. Sobald aber das Wasser anfängt zu fallen, wird ein Theil des untern Luftdrucks dazu verwandt, die Beschleunigung der Wasserschichten aufzuheben, hört also auf, dem ihm entsprechenden Theile des Drucks auf die obere Wasserfläche A das Gleichgewicht zu halten. Dieses vermehrt daher nun den Druck der gesammten Wassermasse, und es erfolgt alles so, als wenn bei gleich wirkamen Luftdruck von oben und von unten nun in dem Gefäße das Wasser bis F stünde.

Diese Erklärung entspricht den Gründen der vorigen Anmerkung, bis auf einen Punkt, in welchem sich Venturi geirrt zu haben scheint, wenn er nämlich behauptet, der Luftdruck auf der untersten Schicht hebe die ganze Beschleunigung der

Versuch 9. 1. Aus einer kreisförmigen Oeffnung, von 18 Linien im Durchmesser, flossen durch die Platte *P*, (Fig. 1,) bei einem Wasserstande von 40 Zoll, über dem Mittelpunkte der Oeffnung, vier Kubikschuh Wasser in 38" ab.

2. Als ich darauf an die Oeffnung *P* eine 18 Zoll lange Röhre *ACD*, (Fig. 4,) horizontal ansetzte, deren vorderes Ende *AC* die Gestalt des zusammengezogenen Wasserstrahls und in *A* einen Durchmesser von 18 Linien hatte, geschah der Ausfluß von vier Kubikschuh Wasser in 48" *)

3. Unter dem horizontalen Boden des Wasserbehälters, (Fig. 7,) angebracht, so daß die Röhre senkrecht hinabging, flossen aus ihr, bei einer Wasserhöhe *AC* über der untern Oeffnung der Röhre,

Schichten während ihres Falles durch die Röhre auf, und eben so groß sey der Luftdruck auf die oberste Schicht. Wie wir gesehen haben, hebt der untere Luftdruck nur die *halbe* Beschleunigung auf, und mit dieser halben Beschleunigung wirkt auch nur der Luftdruck von oben. Ob wohl auch bei diesem Umstande der Ausfluß durch *LK* von einer Wasserhöhe $FL = AC$, und durch *CQ* beim Wasserstande *AC* gleich ist?

d. H.

*) Daß diese Zeit nicht, wie in Versuch 3, kürzer, als beim Ausflusse aus der bloßen Oeffnung ohne Röhre war; das liegt an der Länge der Röhre, die in Versuch 3 nur 4 Zoll 10 Linien, hier aber 18 Zoll betrug, wie das Venturi weiter unten genügend erklärt.

d. H.

die, gleich der vorigen, 40 Zoll betrug, gerade wie zuvor, vier Kubikschuh in 48" aus.

Versuch 10. Ich wiederholte diesen Versuch mit einer kreisförmigen Oeffnung von 11,2 Linien im Durchmesser, und mit einer vor sie angepassten Röhre, von Fig. 4, unter den nämlichen Umständen wie im vorigen Versuche. Es flossen vier Kubikschuh Wasser, das erste Mahl in 98", das zweite Mahl in 130", und das dritte Mahl in 129" aus.

Da bei jedem dieser beiden Versuche im zweiten und dritten Falle, durch dieselben Röhren, ein gleich großer Ausfluß erfolgte; so mußte jedes Mahl in beiden Fällen eine gleiche Kraft den Ausfluß bewirken. Nun aber ist diese Kraft in den beiden ersten Fällen, d. h., bei einer bloßen Oeffnung, und bei einer davor gesetzten horizontalen Röhre, von Fig. 4, dieselbe; folglich wirkt auch einerlei Kraft im ersten und dritten Falle. Dafs aber dessen ungeachtet die Geschwindigkeit, womit der Ausfluß im ersten und in den beiden andern Fällen geschieht, verschieden ist; das liegt in der Verzögerung, welche in Röhren durch ihre innern Ungleichheiten hervorgebracht wird. *)

Versuch 11. Die Wasserhöhe *AB*, (Fig. 7,) blieb während dieses Versuchs unverändert 52,5 Zoll, die Oeffnung *BO* 18 Linien im Durchmesser, und die davor geletzte *hinabgehende* Röhre *BOCQ* hatte die Form des verengerten Wasserstrahls. In-

*) Vergleiche Versuch 3,

dem ihre Länge vergrößert wurde, verminderte sich die Zeit des Ausflusses von vier Kubikschuh Wasser folgendermaßen:

Länge der Röhre BC, in Zollen.	Zeit des Ausflusses von 4 Kubikfuß Wasser,		Differenz zwischen Erfahrung und Theorie.	Verzögerungen, nach Versuch 12 berechnet.
	nach der Erfahrung.	nach d. Theorie, abgesehen von den Verzögerungen.		
3	41"	40"	1"	1", 3
12	38"	35", 2	2", 8	3", 4
24	35"	31", 2	3', 8	5"

Die fünfte Columne dieser Tabelle ist den Verzögerungen proportional berechnet, die in dem folgenden Versuche durch die innern Ungleichheiten der Röhren erzeugt wurden. Boffut bemerkte,*) daß diese Verzögerungen nach einem etwas geringern Verhältniße als die Geschwindigkeiten des Ausströmens wachen; und das ist vielleicht der Grund des Unterschiedes, den man zwischen der vierten und fünften Columne bemerkt.

Versuch 12. Ich brachte an die Oeffnung P, (Fig. 1,) die Röhren des vorhergehenden Versuchs nach einander in einer *horizontalen* Lage an. Die Höhe des Wasserstandes war jederzeit 32,5 Zoll über dem Mittelpunkte der Oeffnung.

Länge der Röhre BC in Zollen.	Zeiten, worin 4 Kubikfuß ausflossen.	Differenzen, (durch die Länge der Röhre bewirkt.)
0	41"	0
3	42", 5	1", 5
12	45"	4"
24	48"	7"

*) Boffut *Hydrodyn.*, Art. 622.

Ich muß hier noch bemerken, daß die Cohäsion der Wassertheilchen unter einander auf die Verstärkung des Ausflusses, wenn vor die Oeffnung *BO*, (Fig. 7,) die Röhre *BC* angesetzt wird, nur sehr wenig Einfluß haben kann. *) Denn wenn man bei *K* ein Loch macht, so wird diese Vermehrung geringer oder hört ganz auf, und das Wasser nimmt die Röhre nicht mehr continuirlich ein.

Jetzt wollen wir die Röhren wieder in *horizontaler* und *aufwärts gehender* Lage betrachten.

Fünfter Satz.

In einer konischen Hilfsröhre vermehrt, welches auch ihre Richtung ist, der Luftdruck den Ausfluß, in dem Verhältnisse des äußern Schnitts der Röhre zum Schnitt des verengerten Wasserstrahls, wofern nur die Form der Röhre in ihrem ganzen Innern die Seitenmittheilung der Bewegung zuläßt.

Wir haben oben gesehen, (Satz 3,) daß der Druck der Atmosphäre den Ausfluß durch angesetzte Röhren vermehrt, wie auch ihre Stellung seyn mag. Jetzt kommt es darauf an, die Art und Weise zu untersuchen, wie die Atmosphäre bei dieser Vermehrung wirkt, und das Resultat dieser Wirkung jenem Versuche gemäß zu bestimmen. Ich fange mit dem Falle an, der sich am meisten dazu eignet,

*) s'Gravesande und Andere haben die Vermehrung des Ausflusses durch abwärtsgehende Röhren, der natürlichen Cohäsion der Wassertheilchen zugeschrieben.

die Wirkung der Atmosphäre zu befördern, nämlich mit dem Ausflusse durch konische divergirende horizontal gestellte Röhren; eine Gestalt, die wir noch nicht betrachtet haben.

Es werde vor die Oeffnung der dünnen Platte *P* das Ende *AB* einer Röhre *AEBF*, (Fig. 10,) angesetzt. Der Theil *ABCD* entspricht beinahe der Form des verengerten Wasserstrahls, und ändert daher, wie wir gesehen haben, den Ausfluß nicht merklich, (Versuch 4.) Der Wasserstrahl, der durch *CD* hervorströmt, sollte seinen Weg in der cylindrischen Gestalt *CDHG* fortsetzen. Aber wenn die zur Seite liegenden Theile *CEG*, *DFH* der konisch divergirenden Röhre, Wasser im Zustande der Ruhe enthalten; so wird der cylindrische Strahl *CDHG* seine Bewegung den Seitentheilen, (erst den nähern, dann den fernern,) nach und nach mittheilen, (Satz 1:) und wofern die Divergenz der Seiten *CE*, *DF* die ist, bei welcher die gleichwindeste und vollständigste Seitenmittheilung der Bewegung statt findet; so wird das ganze Fluidum in dem abgekürzten Kegel *CDEF* endlich die Geschwindigkeit des durch *CD* hervorströmenden Wasserstrahls annehmen. Bei dieser Voraussetzung würde, während die Wasserschicht *CDQR* mit unveränderter Geschwindigkeit und Dicke nach *RQTS* ströme, eine Leere in der körperlichen Zone *RmrSQnoT* entstehen. Oder gesetzt, die *S* nicht *CDQR* breite sich, indem sie ihre progressive Geschwindigkeit behält, in *RQTS*

aus; so könnte das nicht anders geschehen, als indem ihre Dicke verringert, mithin diese Schicht von der folgenden getrennt, und zwischen beiden eine Leere erzeugt wird, die der erwähnten Zone gleich ist. Das nämliche würde in der ganzen Länge der Röhre CE geschehen; und nimmt man die Dicken Gm constant an, so würde die Summe aller dieser leeren Räume der körperlichen Zone $VEzGzIFH$ gleich seyn.

Aus dieser Betrachtung erhellet, daß die Seitenmittheilung der Bewegung in einer konischen Röhre, die horizontal oder vertikal liegt, die nämliche Wirkung hervorbringt, welche die Schwere in der abwärts gehenden Röhre des vierten Satzes bewirkt. Die Atmosphäre macht auch hier einen Theil ihres Drucks auf das Behältniß und auf EF wirksam. Wenn die Wirksamkeit der Atmosphäre auf das Behältniß die Geschwindigkeit der Schicht CD um ein Gewisses vermehrt, so wird sich diese Geschwindigkeit dem ganzen Fluidum $CDFE$ mittheilen, und das Streben nach der Leere wird statt finden, wie vorher. — Da aber die Wirksamkeit der Atmosphäre sich auf gleiche Weise über EF ausbreitet, so wird sie in EF dem Wasser die ganze Geschwindigkeit rauben, welche durch ihren Druck in CD entstand. Es kommt dabei nur auf eine Vermehrung der Geschwindigkeit in CD an, welche, indem sie zu gleicher Zeit derselben Masse in EF wieder entzogen wird, das Fluidum in der Röhre continuirlich bestimmen erhält. Man findet durch

Rechnung, daß dieses geschieht, wenn die Geschwindigkeit von D in dem Verhältnisse von CD^2 zu EF^2 vermehrt wird.

Wenn man die allgemeinen Gesetze der Bewegung auf die Seitenadern des durch AB herausströmenden Wasserstrahls anwendet; so zeigt sich, daß sie sich bestreben, eine krumme Linie zu beschreiben, welche innerhalb des Wasserbehälters, z. B. in A , anfängt, und gegen CSE fortgeht. Um die Natur dieser krummen Linie zu bestimmen, müßte man die gegenseitige Convergenz der Wasseradern in AB , das Gesetz der Seitenmittheilung der Bewegung zwischen diesen Adern selbst, und ihr divergirendes Fortschreiten von C nach E kennen und in Rechnung bringen; Rechnungen, welche das ganze Vermögen der Analysis übersteigen dürften. Ehe nicht die Röhre $ABFE$ die Gestalt dieser krummen Linie, welche die Natur selbst vorschreibt, erhält, wird die Erfahrung jederzeit mehr oder weniger unter dem bleiben, was die Theorie giebt.

Versuch 13. Ich setzte vor die Oeffnung P , bei 32,5 Zoll Wasserstand, die zusammengesetzte Röhre $ABFE$, (Fig. 10,) worin $AB = EF$ 18; AC 11; CD 15,5; und CG 49 Linien hielt: und vier Kubikschuh Wasser flossen aus in 27",5.

Die Oeffnung einer dünnen Platte gab, wie wir gesehen haben, unter den nämlichen Umständen, vier Kubikschuh Wasser in 41". (Versuch 5.) Da nun der Wasserstrahl 0,64 der Oeffnung weit war, so müßte, zufolge dieses fünften

Satzes.

Satzes, der Ausfluß aus der Röhre *ABFE* in 26'', 24 erfolgt seyn. Der Versuch weicht davon nur um 1'', 26 ab.

Versuch 14. Ich setzte zwischen die beiden kegelförmigen Röhren des vorigen Versuchs eine cylindrische Röhre, die 3 Zoll lang war und 15,5 Linien im Durchmesser hatte, wie sie in Fig. 12 abgebildet ist. Diese Röhre verzögerte den Ausfluß um eine Sekunde; er geschah in 28'', 5.

Versuch 15. An eine Röhre, (Fig. 11,) worin das konische Stück *ABCD* dieselben Dimensionen als vorhin hatte, und das Stück *CDFE* 78 Linien lang und in *EF* 23 Linien weit war, brachte ich drei Glasröhren an; die erste *DX* in der Verengung *CD*, und in der Entfernung von 26 Linien von ihr und von einander, die beiden andern *NR* und *OZ*. Das untere Ende dieser drei Röhren stand in einem Gefäße mit Quecksilber *Q*. Während des Ausfließens stieg das Quecksilber in der Röhre *DX* 53, in *NR* 20,5, und in *OZ* 7 Linien hoch; welches mit einer Wasserhöhe von 62 Zoll in *DX*, von 24 Zoll in *NR* und von 8,1 Zoll in *OZ* übereinkommt. Dabei flossen an Wasser vier Kubikschuh in 25'' aus.

Ich schnitt das Stück *PNFE* der Röhre ab; das übriggebliebene *ABNP* gab den nämlichen Ausfluß in 31''.

In der abgekürzten kegelförmigen Röhre *ACPBDN* ist das Verhältniß des Schnitts *N* zum Schnitte des verengerten Wasserstrahls, (der

0,64 des Schnitts AB betrug,) gleich $41 : 30$. Der Versuch gab also bei der letztern abgekürzten Röhre einen Ausfluß, der nur um 1" langsamer war, als er es nach der Theorie seyn sollte.

Bei der unverkürzten Röhre $CDFE$ hat man $\sqrt{(62 + 32,5)} : \sqrt{32,5} = 41'' : 24''$. Der Unterschied der Wasserhöhe in den beiden Röhren DX , NY , welcher 38 Zoll beträgt, muß von der Bewegung des Fluidi von C nach P herrühren; er ist um $\frac{1}{11}$ geringer als nach der Theorie. Dieser Ausfall nimmt noch zu in den Theilen PQ , QE , und das zwar deshalb, weil der Wasserstrahl von CD an hinabgeht, daher die Seitenmittheilung der Bewegung in der nämlichen Schicht nicht mehr auf eine gleichförmige Art erfolgt. Die verschiedenen Theile des Wasserstrahls nehmen unregelmäßige Bewegungen an, und bilden selbst Wirbel im Innern der Röhre, wobei der Strahl ungleichförmig, in stärkern und schwächern Sprüngen, und zerstreuet herausgeht. Diese unregelmäßigen Bewegungen, die sich um so stärker äußern, je länger die Röhre und je weiter ihre Oeffnung ist, möchte man schwerlich auf irgend eine Theorie zurückführen können, und es bleibt uns daher nur übrig, ihre Wirkungen durch Versuche genauer zu bestimmen.

Versuch 16. Ich gab der Röhre $CDFE$, (Fig. 11,) 148 Linien in der Länge, und dem Durchmesser EF 27 Linien. Das Uebrige blieb wie im vorigen Versuche. Vier Kubikschuh Wasser flossen aus in 21"; die Ungleichheit und Unre

gelmäßigkeit in der Bewegung des Wasserstrahls waren bei diesem Versuche grösser als bei dem vorhergehenden.

Die Röhre *CDFE* über 148 Linien zu verlängern, war unnütz; der Strahl erfüllte alsdann den Theil der Röhre nicht, der über diese Länge hinzugefügt war, und die Zeit des Ausflusses blieb immer 21". Dieser Ausfluss ist beinahe noch einmal so groß, als der Ausfluss, der durch die Oeffnung der dünnen Platte geschah, und der größte, den ich bei einer Wasserhöhe von 32,5 Zoll, durch hinzugesetzte Röhren, deren Achse horizontal lag, je habe erreichen können.

Zwar brachte ich es dahin, dass die vier Kubikschuh aus der Röhre *CDFE*, als ich sie in horizontaler Lage bis auf 204 Linien verlängert hatte, in 19" ausflossen. Zu dem Ende musste ich aber in das Innere der Röhre bei *O* etwas Hervorragendes setzen, welches den Wasserstrahl hinaufzuspringen, und so die ganze Röhre auszufüllen zwang.

Versuch 17. Ich nahm eine stärker divergirende horizontale Röhre *CDFE*, (Fig. 11;) sie war 117 Linien lang und bei *EF* 36 Linien im Durchmesser; das Uebrige blieb wie vorher. Der Ausfluss geschah in 28", und der Strahl erfüllte nicht den ganzen Schnitt *EF*. Der Erfolg war der nämliche, wenn man nach und nach die Röhre abschnitt, bis *CE* nicht länger als 20 Linien blieb und der äußere Durchmesser nur 18 Linien enthielt.

Dann erfüllte der Strahl die ganze Röhre, und der Ausfluß geschah ebenfalls in 28".

Als ich CE 20 Linien Länge gab, und den äußern Durchmesser EF bis zu 20 Linien erweiterte, machte sich der Wasserstrahl von den Wänden der Röhre los, und der Ausfluß von vier Kubikfuß erfolgte in 42", wie in Versuch 6.

Diese Versuche belehren uns, daß, wenn man die Divergenz der Wände der Röhre abändert, es in der Seitenmittheilung der Bewegung ein *Minimum* und *Maximum* von Effekt giebt. Das *Minimum* ist durch den letzten Versuch bestimmt. Es scheint, die Seitenmittheilung hört auf, ihre Wirkung zu äußern, wenn die beiden Seiten der Röhre unter sich einen Winkel machen, der größer ist als 16° . Der 15te Versuch bestimmt nahe das *Maximum* der Wirkung, welches statt findet, wenn jener Winkel ungefähr 3° faßt. Vielleicht, daß diese Grenzen auch von irgend einer Funktion der Geschwindigkeit mit abhängen.

Sechster Satz.

In den cylindrischen Röhren ist der Ausfluß geringer als in den konischen, die mit ihnen denselben Enddurchmesser haben, dabei aber von dem Punkte an, wo der Wasserstrahl sich am stärksten zusammenzieht, divergiren.

Die allgemeine Theorie ist für beide Gestalten der Röhre einerlei; allein der Verlust von lebendiger Kraft ist in den cylindrischen größer, und die Wir-

kung, die aus der Mittheilung der Bewegung in diesen Röhren entsteht, kann sich seinem *Maximum* nicht nähern, wie das in den kegelförmigen der Fall ist. Die Röhre *ACNM*, (Fig. 5,) habe in *ACFD* die Gestalt des verengerten Wasserstrahls, und der cylindrische Theil *GINM* den Durchmesser *MN*, größer als *DF*. Aus dem, was beim vorigen Satze gesagt ist, sieht man ein, daß die Seitenmittheilung der Bewegung eine Leere in der körperlichen Zone *RORSXQTZ* zu bewirken strebt. Wenn in dieser Röhre die Bewegung den Seitentheilchen vollkommen mitgetheilt würde, so müßte der Druck der Atmosphäre, um die Leere zu hindern, die Geschwindigkeit des verengerten Wasserstrahls *CD* in dem Verhältnisse von DF^2 zu MN^2 vergrößern.

Allein die cylindrische Gestalt der Röhre hebt jederzeit einen ansehnlichen Theil dieser Wirkung auf. Denn indem die kleinen Wasseradern *AD* durch die krumme Linie *DR* fortströmen, stoßen sie plötzlich auf die Seiten der Röhre *GM* in *R*, und verlieren dort einen Theil ihrer Bewegung. Es entstehen in dem Raume *GDR* Wirbel, wie in einem Becken, in welches das Wasser durch einen Kanal einfließt, und jeder dieser Wirbel ist ein Effekt, der verloren geht, und verringert den Ausfluß. Daher kommt es, daß in cylindrischen Röhren der Ausfluß weit weniger, als nach dem Verhältnisse von DF^2 zu MN^2 vermehrt wird.

Verfuch 18. Man kann sich einen Begriff von diesen Stößen und Wirbeln im Innern der cylindrischen Röhre, und von deren Wirkung auf den Ausfluß des Wassers machen, wenn man die Zeit des Ausflusses aus verschiedenen horizontalen Hälfröhren, wie sie hier zusammengestellt ist, erwägt. Alle diese Röhren hatten in ihren beiden äußersten Enden einen Durchmesser von 18 Linien, in ihrer Achse eine Länge von 5 Zoll, und an ihrem innern Ende eine kegelförmige Röhre, in Gestalt des verengerten Wasserstrahls, die Röhre in Fig. 6 ausgenommen. Die Höhe des Wasserstandes war stets 32,5 Zoll über dem Mittelpunkte der Oeffnung.

Es flossen aus dem Wasserbehälter X, Fig. 1, vier Kubikfuß Wasser aus:

	in Zeit von
durch die Mündung in einer dünnen Platte P	41"
durch eine einfache cylindrische Röhre, wie	
Fig. 6, — — —	51"
durch eine Röhre, gestaltet wie Fig. 5, —	31"
durch dieselbe Röhre, als das Stück	
DFIG minder divergent gemacht wurde,	30"
durch eine Röhre, wie Fig. 9, —	32",5
durch die konische Röhre Fig. 10 —	27",5
durch die Röhre Fig. 5, wenn das Stück	
GINM 23,5 Linien weit und 84 Linien	
lang, alles übrige wie vorher war —	27".

Vielleicht wird man fragen, ob in dem Innern der einfachen cylindrischen Röhre KLV, (Fig. 6,) die nämliche Vergrößerung der Geschwindigkeit und die nämliche Verengerung des Wasserstrahls,

wie in der zusammengesetzten Röhre, Fig. 5, statt finde? Nach den von mir aufgestellten Grundfätzen zu urtheilen, hat *erstens* der Schnitt KL , (Fig. 6,) die nämliche vergrößerte Geschwindigkeit, als, (nach Satz 2,) der Schnitt AC in einer nach Fig. 5 gestalteten Röhre. Denn es kommt hier zum Drucke des Wassers im Behälter der Luftdruck hinzu, welcher in Versuch 6 und 7 die gefärbte Flüssigkeit aus dem Glase T in der Röhre TR emportrieb. *Zweitens* muß auch die Richtung der flüssigen Theile, die durch diese Schnitte hindurchströmen, in beiden Fällen die nämliche seyn, weil sie bloß von dem Impuls abhängen kann, den die Wassertheilchen in dem Innern des Behälters bekommen, und dieses ist für beide Fälle derselbe. Sobald endlich *drittens* in Fig. 6 die flüssigen Theile durch den Schnitt KL hindurch sind, äußert sich in ihnen sogleich die Seitenmittheilung der Bewegung; und bevor sie zu der Stelle der größten Verengerung des Wasserstrahls kommen, zu der sie sonst in DF , (Fig. 5,) gelangen würden, und beim Ausflusse einer dünnen Platte wirklich gelangen, weichen sie seitwärts in der krummen Linie Lxz aus. Und zwar geschieht das mit derselben vermehrten Geschwindigkeit, worin in Röhren durch den activ werdenden Luftdruck Wasser ausströmt. Daraus entstehen dann Stöße und Wirbel in der angesetzten cylindrischen Röhre, welche jederzeit einen Theil der lebendigen Kraft des Fluidums zerstören.

Ist dieses der Fall, so kann der Wasserstrahl aus der Röhre nie mit der Geschwindigkeit ausströmen, die

er vermöge des Wasserstandes im Behälter annehmen sollte, und die sich beim Ausflusse aus der Oeffnung einer dünnen Platte wirklich fast ganz vorfindet. *) Der folgende Versuch zeigt, daß dieses in der That der Fall ist, und daß die Verminderung der Geschwindigkeit, mit der das Wasser aus der Röhre hervor kommt, der Zeit entspricht, um welche der Ausfluß nach der Erfahrung länger dauert, als er nach der Theorie dauern sollte.

Versuch 19. Als das Wasser bei *P*, (Fig. 1,) bloß aus der Oeffnung einer dünnen Platte ausströmte, und die senkrechte Höhe *PM* 54 Zoll betrug, war die horizontale Weite *MN*, durch die der Wasserstrahl sprang, 81,5 Zoll. Nachdem an die nämliche Mündung die cylindrische Röhre Fig 5 ange-
 setzt war, betrug diese horizontale Weite, vom Perpendikel durch das äußere Ende der Röhre an gerechnet, 69 Zoll. Nach der Theorie sollte der Ausfluß von vier Kubikschuh durch diese Röhre in

*) Beim Austritte aus der Röhre wirkt der Luftdruck, der das Wasser in der Röhre stetig beisammen hält, der Richtung des Strahls entgegen, und retardirt ihn um eben so viel, als er die oberste Schicht beschleunigte. Daher die geringere Geschwindigkeit beim Ausflusse im Vergleiche mit einer kleinen Oeffnung, bei der die Retardation nicht statt findet. Als zweiter Grund gefällt sich dazu das von Venturi angegebene Anstoßen der Wasserdarn gegen die Seiten der Röhre. d. H.

26'',24 erfolgen, er erfolgte aber in 31'', und es verhält sich beinahe $31'' : 26'',24 = 81,5 : 69$.

Das nämliche findet bei einem Versuche statt, den Michelotti, (Tom. 2, p. 22 und 23,) anstellte. Da PM 19,55 Fufs betrug, und das Wasser aus der Oeffnung einer dünnen Platte ausströmte, war MN 23,2 Fufs; hingegen nur 20 Fufs, da man vor die Oeffnung eine cylindrische Röhre ansetzte, die nicht einmahl die schickliche Länge hatte.

Diese Theorie von der Seitenmittheilung der Bewegung läßt sich gerade so auf herunter gehende und aufwärts steigende Röhren anwenden, so oft die Form dieser Röhren die Seitenmittheilung zuläßt. In den herunter gehenden Röhren muß man die Vergrößerung des Ausflusses, der hierdurch verursacht wird, zu dem, den die Beschleunigung der Schwere hervorbringt, und dessen GröÙe wir im vierten Satze bestimmt haben, hinzufügen; in den aufwärts steigenden Röhren davon abziehen, da ihnen die Schwere der Seitenmittheilung der Bewegung entgegen wirkt. Der siebente *Versuch* gehörte für aufwärts steigende Röhren; hier noch mehrere andere, für beide Lagen der Ausflußröhre.

Versuch 20. Ich setzte die Röhre $ABFE$, Fig. 11, (Versuch 15,) an die Stelle der hinabgehenden Röhre $BCQO$ in Fig. 7. Die Höhe des Wassers in dem Behälter über dem untern Ende der Röhre war 41,5 Zoll; vier Kubikschuh Wasser flossen aus in 22''.

Ich brachte die nämliche kegelförmige Röhre *ABFE* an die Oeffnung *R* in Fig. 8, um einen aufwärts gehenden ein wenig geneigten Strahl zu erhalten; die Wasserhöhe des Behältnisses über dem obern Ende der Röhre war 23 Zoll, und der Ausfluß von vier Kubikschuh Wasser geschah in 30".

Die Zeit des Ausflusses in Versuch 15 war 25". Vergleicht man diese mit der hier gefundenen Zeit, so ist beinahe $\sqrt{41,5} : \sqrt{52,5} = 25'' : 22''$. Und $\sqrt{23} : \sqrt{32,5} = 25'' : 30''$.

Versuch 21. Eine dünne Platte, mit der kreisförmigen Oeffnung von 4,5 Linien im Durchmesser, war in *R*, (Fig. 8,) so angebracht, daß der heraus springende Strahl ein wenig von der Vertikallinie abwich, und die Höhe des Wasserstandes über *R* betrug 31,7 Zoll. Ein Kubikschuh Wasser sprang in 161" hervor. — Aus einer angesetzten cylindrischen Röhre von eben demselben Durchmesser, die 10 Linien lang war, sprang 1 Kubikschuh Wasser in 121" heraus.

Bei einer Wasserhöhe von 56 Zoll gab die nämliche Oeffnung, ohne Röhre, einen Kubikschuh Wasser in 123", und bei der nämlichen davor gesetzten Röhre, in 91".

Diese beiden Resultate verbunden, geben für den Ausfluß mittelst senkrecht aufsteigender Strahlen aus der Oeffnung einer dünnen Platte, und aus einer cylindrischen Hülfsröhre, ein Mittelverhältniß von 100 zu 134, und dieses war gerade auch das Verhältniß beim horizontalen Ausflusse der Wasserstrahlen.

Versuch 22. Ich brachte die Glasröhre QRT , (Fig. 6,) an der zusammengesetzten Röhre $ACMN$, Fig. 5, im Punkte S an, so daß die Entfernung BS 24 Linien betrug. In dieser Lage stieg das Fluidum T nicht mehr in der Röhre an, ein Beweis, daß die Seitenbewegung des Fluidi in der cylindrischen Röhre sehr nahe um die Stelle vorgeht, wo der Wasserstrahl sich am meisten verengert, und daß folglich DR plötzlich auf die Seitenwand GM stößt.

Aus diesem Versuche sehen wir auch, daß die Entfernung BR , in welcher die seitwärts gehenden Wasseradern DR an die Seiten der Röhre anschlagen, nicht ganz 24 Linien beträgt. Wenn man DO 20 Linien setzt, so ist die Zeit, in welcher das Theilchen D den Raum DO durchströmt, in meinen Versuchen kleiner als $0'',01$. Zerfallen wir die krummlinige Bewegung DR in die beiden Bewegungen nach DO , OR , und setzen, daß die Beschleunigung nach OR gleichförmig sey, so wird man finden, daß diese Beschleunigung wenigstens fünfmal größer ist, als die der schweren Körper. Bestünde die Seitenkraft nach OR bloß aus der gegenseitigen Attraktion der Wassertheile, so müßte diese Attraktion des Theilchens D nicht nur die Trägheit des Theilchens selbst, sondern auch die Trägheit der andern Theilchen überwinden, die der Achse näher sind und D in seinem Ausweichen durch DR folgen; müßte ihnen folglich eine Summe von Beschleunigungen eindrücken, die bei wei-

tem grösser wäre, als die Beschleunigung der Schwere. Nun aber ist die Stärke der Attraktion eines Wassertheilchens nicht grösser, als die natürliche Schwere eines Wasserfädchens, das höchstens eine Linie lang ist. Folglich ist die Seitenmittheilung der Bewegung, welche die Beschleunigung durch *OR* verursacht, eine weit grössere Wirkung, als durch die gegenseitige Attraktion der Wassertheilchen hervorgebracht werden könnte.

Siebenter Satz.

Der Ausfluss aus einer gegebenen cylindrischen Röhre lässt sich durch schickliche Hülfsröhren, bei einerlei Wasserstände, in dem Verhältnisse von 10 zu 24 vermehren:

Ich werde hier die verschiedenen Maassregeln entwickeln, die man nehmen muss, wenn man aus einer cylindrischen Röhre von gegebener Länge den grösstmöglichen Ausfluss aus einem Behälter bewirken will.

1. *Das vordere Ende der Röhre AD, (Fig. 12,) muss mit einem konischen Mundstücke AB, von der Form des verengerten Wasserstrahls, versehen seyn;*)* dieses vermehrt den Ausfluss im Verhältnisse von 10 : 12,1. Jede andere konische Form des Mundstücks vermehrt ihn weniger. Ist es z. B. in *A* zu weit, so fällt die grösste Verengung des Wasser-

*) Boffut, Art. 509.

strahls über *B* hinaus, und der Querschnitt des Strahls ist dort kleiner als der Querschnitt der Röhre.

2. *An dem andern Ende der Röhre BC bringe man gleichfalls eine Röhre CD in Gestalt eines abgekürzten Kegels an, die 9mahl so lang als in C weit ist, und deren hinterer Durchmesser in D den vordern in C 1,8mahl in sich faßt.* Der Ausfluß wird dadurch im Verhältnisse von 12,1 : 24 vermehrt, (Versuch 16,) und folglich wird der Ausfluß durch beide Ansätze *AB*, *CD* in einem Verhältnisse von 10 : 24 vergrößert.

Im alten Rom kauften sich Privat-Personen das Recht, Wasser aus den öffentlichen Behältern in ihre Häuser abzuleiten. Das Gesetz verbot ihnen, die ableitende Röhre innerhalb der ersten 50 Schuh größer zu machen, als die Oeffnung, die man ihnen in dem Behälter zugestanden hatte. *) Der Gesetzgeber wußte also, daß eine angesetzte Röhre, die größer wäre als die Mündung, den Ausfluß vermehrt; allein er hatte nicht gemerkt, daß man das Gesetz hintergehen konnte, wenn man die Röhre *CD* über 50 Schuh hinaus anbrachte.

Aus dieser zweiten Regel lernen wir, daß es gut ist, wenn man die Röhren eines Kamins in dem Zimmer nicht allzu weit macht, und dafür sie weiter oben in dem Gebäude in der Form *CD*, (Fig. 12,) erweitert. Diese obere Erweiterung wird selbst

*) Frontin. *de aquaeduct.*, Art. 105, 106 et 112.

dann das Haus vom Rauche frei erhalten, wenn man die Feuerherde in den obern Stockwerken nicht mit hinlänglich langen Schornsteinen versehen kann. Dasselbe ist der Fall bei chemischen Oefen, die eine grofse Hitze geben sollen.

3. Die Röhre *BC* muß geradlinig, ohne Knie und ohne Krümmung seyn. Zu den Versuchen, die Boffut hierüber gemacht hat, *) füge ich folgenden hinzu.

Versuch 23. Die beiden Röhren *ABC*, *DEF*, (Fig. 13,) waren 15 Zoll lang, hatten ein konisches Mundstück, in Gestalt des verengerten Wasserstrahls, waren in *A*, *D* 18 Linien, übrigens 14,5 Linien weit, und wurden an die Mündung *P* des Behälters Fig. 10 angesetzt, daß ihre Biegungen in einer horizontalen Ebene lagen. Ich hatte sie beide sorgfältig aus Kupfer arbeiten und mit Silber löthen lassen. Die Biegung *DEF* war rechtwinklig, und die Biegung *BC* nach einem Quadranten geformt. Um dieses zu bewerkstelligen, hatte man die Röhre mit geschmolzenem Blei ausgegossen, damit sie ihre Weite beim Biegen nicht änderte. Der Ausfluß aus diesen beiden Röhren wurde mit dem Ausflusse aus einer cylindrischen geradlinigen Röhre von denselben Dimensionen verglichen. Ich erhielt, bei einer Wasserhöhe von 32,5 Zoll, 4 Kubikschuh Wasser, aus der geraden cylindrischen Röhre in 45'', aus der krummlinigen *ABC* in 50'', und aus

*) Art. 631 seqq.

der Röhre *DEF*, die das rechtwinklige Knie hatte, in 70".

4. *Es kommt viel darauf an, dass die Röhre BC, (Fig. 12,) in ihrer ganzen Länge gleich weit sey.* Dabei ist es nicht genug, keine einwärts gehenden Beulen zuzulassen, sondern die Röhre muss auch nirgends Bauchungen haben, da diese den Ausfluss fast eben so stark, als es die Beulen thun, vermindern. Die Röhre *AO*, (Fig. 14,) liefert, bei ihren vielen Erweiterungen *DE*, *HI*, doch weit weniger Wasser, als geschehen würde, wenn sie in ihrer ganzen Länge den Durchmesser *B* hätte. Hier ein Versuch, der dieser Theorie völlig entspricht.

Versuch 24. Das konische Mundstück *A*, (Fig. 12,) hatte die Gestalt des verengerten Wasserstrahls, und wurde an die Oeffnung *P*, (Fig. 1,) angebracht; weiterhin hatte die Röhre abatzweise bauchige Erweiterungen von folgender Grösse: Die Durchmesser betrugen in *A* 11,2, in *B*, *C*, *F*, *G* u. s. w. 9, und in *D*, *E*, *H* u. s. w. 24 Linien; die engern Stücke *BC*, *FG* u. s. w. waren 20, die konischen *CD*, *EF*, *GH* u. s. w. 15, und die cylindrischen Erweiterungen *DE*, *HI* u. s. w. im ersten Falle 38, im zweiten 76 Linien lang. Indess blieb der Erfolg des Versuchs für beide Fälle der nämliche.

Zahl der erweiterten Stellen.	Zeit des Ausflusses von vier Kubikschuh Wasser.
0	109"
1	147"
3	192"
5	240"

Ich setzte darauf vor die Oeffnung *P* eine cylindrische Röhre, ohne Erweiterungen, welche dieselbe Form und denselben Durchmesser wie *ABC*, und dabei eine Länge von 36 Zoll hatte, das ist, dieselbe Länge als die vorige Röhre mit fünf Erweiterungen. Nun flossen vier Kubikschuh Wasser in 148" aus.

Während das Wasser von *C* nach der Mitte der Erweiterung *DE* fließt, geht ein Theil der Bewegung in die Wassertheilchen, welche in der Erweiterung zur Seite liegen, von der Richtung *CF* abwärts, divergirend über, und verliert sich in Wirbeln oder im Anstöße wider die Seitenwände. Folglich bleibt für das folgende Stück der Röhre *FE* eine Geschwindigkeit, die um so viel kleiner ist. Gerade derselbe Grund macht, daß der Puls in den Arterien über die Pulsadergeschwulste, (*Aneurismen*,) hinaus aufhört, oder doch nur schwach ist.

Aus dieser Betrachtung läßt sich noch folgern, daß, wenn die innern Unebenheiten einer Röhre -

den Ausfluß vermindern, dabei das Reiben des Wassers an den Wänden nicht sehr in Betracht kommt. Eine geradlinige Röhre möchte immerhin inwendig polirt und in ihrer ganzen Länge weiter als die Oeffnung seyn, an welche man sie vorsetzt, doch würde sie, wenn sie Erweiterungen hätte, den Ausfluß um vieles vermindern. Dieses ist ein merkwürdiger Umstand, auf den man vielleicht bei der Verfertigung hydraulischer Maschinen nicht genug gesehen hat. Bei ihnen sind Bauchungen nicht minder schädlich als Knien und Vereengerungen, und manchemahl kann durch eine einzige erweiterte Stelle einer Röhre der ganze Vortheil einer sinnreichen Anordnung hydraulischer Maschinen verloren gehen. *)

(Die Fortsetzung folgt.)

*) Hier sollte nun der Seite 428, Anmerk. 2, versprochene Aufsatz Venturis: *Ueber die Verengerung eines Wasserstrahls der durch eine Oeffnung in einer dünnen Platte austritt*, folgen. Um aber den Platz nicht den beiden folgenden Aufsätzen zu benehmen, muß ich ihn bis auf das erste oder zweite Heft des folgenden Bandes versparen. *M. H.*