

### III.

*Versuche über den Widerstand, welchen Luft in  
langen Röhren in ihrer Bewegung leiden soll,*

von

LEHOT, DESORMES und CLEMENT.

(Vorgel. in d. *Soc. philomat.* zu Paris den 20. April 1811.)

Frei übersetzt von Gilbert.

Es findet sich in No. 152. des *Journal des mines* eine Stelle aus des Herrn Baders Abhandlung über das englische Cylindergebläse übersetzt, in welcher eine sehr sonderbare Erfahrung erzählt wird, die der berühmte Eisenhüttenmeister Wilkinton gemacht haben soll \*). Er habe, heisst es, ein Gebläse, 5000 Fufs (1620 Meter) entfernt von dem Hohofen, in welchem es wirken sollte, angelegt, und eine Windleitung, welche aus 12 Zoll (33 Centim.) weiten Röhren aus Gufs Eisen bestand, grade nach dem Ofen geleitet, aber nicht die geringste Bewegung der Luft am Ende dieser Leitung hervorzubringen vermocht, und sich gezwungen gesehen, die Sache aufzugeben. Es wird hinzugefügt, man habe das Sicherungs-Ventil des Gebläses verschlossen, und nun sey das grofse oberflächliche

\*) Dieselbe Stelle, welche Herr C. R. v. Buffe in Freyberg in diese *Annalen* J. 1805. St. 8. (B. XX. S. 404.) eingerückt und zu erklären versucht hat. Gilbert.

Wasserrad, welches das Gebläse trieb, zum Stillstehn gekommen, ohne daß man an dem entfernten Theile der Röhre den schwächsten Luftzug verspürt habe, obschon man sich versichert gehabt, daß die Windleitung nicht verstopft gewesen sey. Aus allen kleinen Oeffnungen in der Nähe des Rades sey die Luft mit Gewalt herausgedrungen, aber schon in 600 Fuß Entfernung habe man aus einem kleinen Loche kaum noch so viel Wind erhalten, daß eine Lichtflamme davon bewegt worden sey.

Diese Erzählung steht in offenem Widerspruche, nicht bloß mit der angenommenen Theorie der Bewegung der elastischen Flüssigkeiten, sondern auch mit mehreren Versuchen, die man häufig anstellt. Dennoch ist sie noch nicht gehörig beleuchtet worden; vielmehr scheinen einige in ihr ein unverdientes Zutrauen gesetzt zu haben.

Beim Anlegen des Pumpenwerks, das das Wasser aus der Seine bis auf die Spitze des Hügels von *Marly* hob, hatte man die Vorsicht gebraucht, in der 4116 Fuß (1370 Metr.) langen Röhrenfahrt, welche das Wasser dem Aquaduct zuführte, mit Hähnen versehene Löcher in verschiedenen Entfernungen anzubringen, und nicht eher, als bis das Wasser bis zu ihnen gelangt war, die Hähne zuzudrehen. Man hatte sich nemlich eingebildet, die lange Luftsäule, welche die Röhrenstrecke füllte, bevor die Pumpe in Gang gesetzt wurde, adhäre sehr stark an den Wänden der Röhren, und die Kraft des Wasserrads werde nicht zureichen, diese ganze

Luftsäule heraus zu treiben, daher man glaubte, man müsse sie Theilweise durch jene Löcher entweichen lassen. Da der Erfolg günstig war, unterliefs man nicht, ihn der Vorlicht zuzuschreiben, mit der man auf das Heraustreiben der Luft aus der Röhrenstrecke bedacht gewesen war; und so erhielt sich die Ueberzeugung, ein Wasserrad von 36 Fuß (12 Meter) Durchmesser, auf das fallendes Wasser mit seiner ganzen Kraft, der von 500 Pferden gleich, wirke, vermöge nicht, die Adhärenz der Luft an einer 4 Zoll (11 Centim.) weiten und 4216 Fuß (1370 Metr.) langen Röhrenfahrt zu überwinden, ob man gleich diesem Rade mit Recht zugetraut hatte, das es das Wasser auf eine senkrechte Höhe von 493 Fuß (160 Meter) heben werde.

Es ist schade, das man in dem Versuche, von welchem Hr. Bader Nachricht giebt, die Dichtigkeit der Luft in dem Gebläse nicht gemessen hat. Wahrscheinlich war sie indess nicht geringer als die Dichtigkeit, welche sich in dem Gebläse du Creusot erreichen läst, das nach den eignen Angaben des Hrn. Wilkinson's eingerichtet ist; sie steigt manchmal bis auf 6 Fuß (2 Meter) Wasserhöhe, welche einer Luftsäule von ungefähr 5000 Fuß (1620 Meter) Höhe gleich gilt. Nach jenem Versuche würde also die Reibung der Luft in einer 12 Zoll (53 Centim.) weiten und 5000 Fuß (1620 Meter) langen Röhrenfahrt aus Gulseisen mehr als hinreichen, dem Drucke einer eben so hohen Luftsäule das Gleichgewicht zu halten;

oder mit andern Worten: es würde eine 12 Zoll (35 Cent.) weite Röhre auf die Luft so mächtig einwirken, daß die Luft sich in ihr in einer Höhe von 5000 Fuß (1620 Meter) erhalten könnte, ohne daß eine andre Kraft dazu mitwirkte; ein Satz, der so bizarr ist, daß man ihn kaum auszusagen wagt.

Es war nach diesen Bemerkungen interessant, durch neue Versuche den wahren Widerstand auszumitteln, den die Luft bei ihrer Bewegung durch Röhren leidet, und den Hr. Bader für viel größer als den Widerstand hält, welchen das Wasser unter gleichen Umständen erleidet. Wir haben einige *Versuche* dieser Art angestellt, und wollen hier die Resultate derselben mittheilen.

In einer der unterirdischen Strecken (*galleries*) des Kanals der Ourcq befinden sich zwei ein wenig gekrümmte Röhrenfahrten aus Gufseisen, die jede 25 Centim. (9 Zoll) weit und  $447\frac{1}{2}$  Meter (1380 Fuß) lang sind. Wir verstopften das Ende einer dieser Röhren mit einem Stöpsel, durch den ein kleines Loch ging, in welches das Rohr eines mit einer Klappe versehenen Handblasbalgs paßte. In demselben Augenblicke, wenn wir mit diesem Blasebalg einen Stoß gaben, schlugen wir an der andern Röhre mit einem Hammer, und jedesmahl fand sich am andern Ende, daß die Flamme eines vor der Röhrenfahrt gehaltenen Lichts in demselben Augenblicke in Bewegung gerieth, in welchem der Schlag des Hammers gehört wurde. Diese Gleichzeitigkeit in der Fortpflanzung des Schalls und der

Wirkung des Windes leidet gar keinen Zweifel; denn wir würden die geringste Verschiedenheit in derselben wahrgenommen haben, da wir das Ohr an die eine Röhre hielten und die Lichtflamme vor der Mündung der andern Röhre im Auge hatten.

Wir nahmen darauf Statt des Blasebalgs einen Desagnüller'schen Ventilator \*) von 1 Meter Durchmesser, welcher drei Flügel hatte, verbanden die Oeffnung um die Axe desselben mit der Mündung der Röhrenfahrt, und gaben in dem Augenblicke, wenn er in Bewegung gesetzt wurde, einen articulirten Ton an. Der Beobachter am andern Ende der Röhre sah die Lichtflamme sich bewegen zu gleicher Zeit, als er den Ton hörte.

Wir müssen hierbei jedoch bemerken, daß die größte Geschwindigkeit des Windes erst eine ziemliche Zeit später als die erste Wirkung desselben eintraf, wie sich aus der Neigung eines kleinen Anemometers beurtheilen ließ. Dasselbe Mittel belehrte uns, daß, wenn unsere lange Luftsäule eine bedeutende Geschwindigkeit angenommen hatte, diese, wenn wir den Ventilator plötzlich anhielten, nur sehr langsam abnahm. Betrug die größte Geschwindigkeit ungefähr 4 Meter, so verfloßen 67 Sekunden, ehe die Bewegung unmerklich wurde.

Belehrt durch diese Versuche, daß der geringe Druck, den unser kleiner Ventilator hervorbrachte, hinreiche, in der langen Röhrenfahrt einen sehr

\*) Nach Art des Windfächers oder der Wettertrommel der Bergleute; vergl. *Annal. N. F. B.* 7. S. 128. *Gilbert.*

merkbaren Wind zu erzeugen, wünschten wir die Geschwindigkeit dieses Windes zu messen. Wir stellten zu dem Ende an die Oeffnung der Röhrenfahrt ein Anemometer, das aus einer rechteckigen Platte von Weißblech, 1800 Quadr. Millim. groß und 3,45 Grammes schwer, bestand, welche sich um eine Axe drehte, und durch die Neigung, in die sie versetzt wurde, die Geschwindigkeit des Windes angab. Hielt sich die Platte ganz horizontal, so mußte der Wind, wie sich aus unsrer Rechnung ergab, eine Geschwindigkeit von ungefähr 4 Meter in der Sekunde haben. Beobachtungen mit der Pitot'schen Röhre gaben dasselbe Resultat. Der Ventilator machte dann in der Sekunde drei Umläufe.

Der Wind äußerte sich nicht nur dann auffallend und schnell am Ende einer 447,5 Meter (1380 Fuß) langen Röhre, wenn dieses Ende allein offen war, und alle Luft hergab, die der Ventilator einfog; sondern auch als wir diese Oeffnung bis auf 9 Centim. verminderten, und unmittelbar am Ventilator in der Röhre eine gleich weite Oeffnung anbrachten, wurden Anemometer, welche in diesen Oeffnungen standen, sehr merkbar geneigt; und während der Anemometer zunächst beim Ventilator eine Geschwindigkeit von 2,75 Meter (8,5 Fuß) anzeigte, zeigte der am andern 447,5 Meter (1380 Fuß) entfernten Ende befindliche Anemometer 1,62 Meter (5 Fuß) Geschwindigkeit. Und doch waren die Röhrenfahrten noch nicht untersucht worden, und

es drang daher wahrscheinlich durch mehrere ihrer zahlreichen Fugen Luft hinein.

Wir haben also gefunden, daß schon ein Druck von 2 bis 3 Millimeter (1 bis  $1\frac{1}{4}$  Linien) Wasserhöhe hinreicht, in einer 25 Centim. (9 Zoll) weiten Röhre einen ganz beträchtlichen Wind hervorzubringen, welcher ein Licht in 447,5 Meter (1386 Fuß) Abstand, das vor dieser großen Oeffnung steht, ausbläst, und daß die Fortpflanzung dieses Windes mit derselben Geschwindigkeit als die Fortpflanzung des Schalls vor sich geht. Nach der Schrift des Herrn Bader soll in einer viel weitem Röhre die ganze Kraft eines Wasserrads, welche sich recht gut auf 2 Meter (6 Fuß) Wasserhöhe, also auf das 100fache jener schätzen läßt, kaum zugereicht haben, die Flamme eines 200 Meter (600 Fuß) entfernten Lichtes in Bewegung zu setzen. Unsere Versuche sind also im vollkommensten Widerspruche mit denen, welche Hr. Bader dem Hrn. Wilkinson zuschreibt, und es ist zu vermuthen, daß irgend ein Umstand, den man übersehen hat, in diesen letztern irre geführt hat.

Wir haben diese Gelegenheit zugleich benutzt, die *Geschwindigkeit des Schalls* in den Röhren zu messen. Sie fand sich 340,5 Meter in einer Secunde, bei einer Temperatur von 12,5 der Cent. Skale und 0,76 Meter Barometerstand. Diese Geschwindigkeit weicht nur um 2,5 Meter von der ab, welche sich aus den Versuchen der Akademie ergeben hat \*).

\*) Nach den hier mitgetheilten Resultaten der Versuche der

Der durch die Röhren selbst fortgepflanzte Schall läßt sich sehr leicht von dem durch die Luft fortgepflanzten unterscheiden, und hat eine viel größere Geschwindigkeit, als dieser; doch haben wir sie viel kleiner gefunden, als Hr. Biot sie angiebt \*); sie schien uns nur 593 Meter in einer Secunde zu seyn. Die Röhrenfahrt bestand indess aus einer großen Menge durch Schrauben an einander befestigter Röhren, zwischen welchen Lederscheiben oder andere weiche Körper lagen, und läßt sich daher nicht für einen homogenen Körper nehmen. In diesem würde die Geschwindigkeit des Schalls ohne Zweifel viel größer gewesen seyn.

- Die Uebereinstimmung aller Thatfachen, welche wir hier mitgetheilt haben, mit der wahren Theorie der Bewegung der elastischen Flüssigkeiten, scheint uns alle Erklärungen überflüssig zu machen.

Herren Verfasser beträgt die Geschwindigkeit des Schalls 1048,2 par. Fuß für 10° R., eine Temperatur, für welche die Tafel in der vorbergehenden Abhandlung 1049,5 p. F. angiebt; ihr Resultat stimmt also viel näher, als sie selbst glauben, mit den Versuchen der pariser Akademie überein,

*Gilbert.*

\*) *Annal. N. F. B. V. S. 407. f. G.*