

III.

VERSUCHE

über die Flüssigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen,

vom

Herrn Professor GERSTNER
in Prag. *)

Das Wasser ist bisher gewöhnlich für vollkommen flüssig angesehen worden; auf dieser Voraussetzung beruhen alle Sätze der Hydrostatik und Hydraulik. Wenn wir aber bedenken, daß das Wasser seinen flüssigen Zustand nur der Wärme zu verdanken hat, und daß es bei der Abnahme der Wärme zu einem festen Körper, (zu Eis,) wird: so ergibt sich die wahrscheinliche Vermuthung von selbst, daß *die Flüssigkeit des Wassers bei verschiedenen Wärmegraden verschieden seyn könne*, und daß dieser Umstand, falls er Statt findet, auf die Bewegung des Wassers einen merklichen Einfluß haben müsse. Diese Betrachtungen bewogen mich, im Winter zu Ende des Jahrs 1796 hierüber einige Versuche anzustellen, aus welchen deutlich zu ersehen ist, daß der Widerstand beim Laufe des Wassers in Flüssen und Röh-

*) Aus den neuern Abhandlungen der königl. Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften, Band 3, Prag 1798. Physik-mathem. Theil, S. 141 — 160. q.

renleitungen, den einige Schriftsteller der Rauigkeit des Flußbettes und einer daraus entstehenden Reibung, andere der Adhäsion des Wassers an die Wände der Röhren u. s. w., beigemessen haben, grösstentheils, im eigentlichen Verstande, *der unvollkommenen Flüssigkeit des Wassers* zuzuschreiben ist.

Zuerst werde ich die gewählte *Geräthschaft* und die *Verfahrungsart*, nachher die *Versuche*, und endlich einige *Folgerungen* daraus anführen, welche der Aufmerksamkeit des Hydraulikers, des Physiologen, und überhaupt jedes Naturforschers nicht unwerth scheinen.

Die *gebrauchte Geräthschaft* war sehr einfach. Ein Gefäß von verzinnem Eisenbleche, ein Schwimmer, mit einem darauf gesteckten Maassstäbchen, einige Glasröhren, eine Wasserwage, ein Thermometer, und eine Sekundenuhr, machten den ganzen Apparat aus, wovon ich nun jeden Theil insbesondere beschreiben werde.

Das *Gefäß* war cylindrisch, $11\frac{1}{2}$ Pariser Zoll hoch und hatte, (in der Wärme meines Zimmers bei 13° Reaum. gemessen,) 4 Zoll 11 Linien im Durchmesser; seine Querschnittsfläche enthielt demnach 19 Quadratzoll. Ungeachtet dieses Gefäß durch seine ganze Höhe keinen vollkommen genauen Cylinder bildete, so war es doch zufällig so gerathen, dafs, wenn sich irgendwo der Durchmesser um $\frac{1}{3}$ oder höchstens $\frac{1}{2}$ Linie grösser fand, der zugehörige Querdurchmesser in derselben Fläche

wieder um eben so viel kleiner war, so daß ich in den Querschnittsflächen nirgends einen Unterschied finden konnte, der mehr oder weniger als $\frac{1}{2}$ Quadratzoll betragen hätte.

Dieses cylindrische Gefäß liefs ich noch mit einem andern umgeben, welches $5\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser und $11\frac{3}{4}$ Zoll Höhe hatte, so daß zwischen den Wänden beider Cylinder allenthalben, wie auch unten am Boden, $\frac{1}{4}$ Zoll Zwischenraum blieb. Dieser Zwischenraum wurde, bei Versuchen mit höhern Temperaturen, mit heißem Wasser von der verlangten Temperatur angefüllt, um dadurch für den innern Cylinder eine gleichförmigere und beständige Erwärmung zu erhalten. Nahe am Boden des Cylinders war eine Oeffnung von $4\frac{1}{2}$ Linie im Durchmesser; durch diese Oeffnung ging in horizontaler Richtung eine kurze blecherne Röhre, welche an die Wände des innern und äußern Cylinders angelöthet war. Zugleich wurde dafür gesorgt, daß nichts von dieser Röhre über die inwendige Fläche des Gefäßes hervorstand, sondern daß sie mit dem innern Cylinder so viel möglich eben gemacht wurde. Oben war dieses Gefäß mit einem darauf passenden, in der Mitte erhabenen Deckel versehen, der in seiner Mitte eine 9 Linien weite Oeffnung hatte, durch welche der Maafsstab des Schwimmers ganz frei, und ohne sich an den Rand der Oeffnung anzulehnen, niederzugehen pflegte.

Der *Schwimmer* bestand aus einem hölzernen Kreuze, dessen beide Arme jeder $9\frac{1}{2}$ Linie breit,

2 Linien dick und 4 Zoll 8 Linien lang waren, und das ein rundes, etwa $1\frac{1}{2}$ Linie dickes, senkrecht darauf gestecktes Stäbchen trug, welches mit aller Sorgfalt in Zolle und Zehntelzolle eingetheilt war. Man setzte den Schwimmer sammt dem Stäbchen einige Stunden lang auf warmes Wasser, bis er sich vollkommen angetrunken hatte, und richtete dann die Abtheilungen des Maafsstäbchens so ein, daß jeder Theilungspunkt bei der Oberfläche des Deckels genau die Höhe des Wasserstandes über der Mitte der Ausflußöffnung anzeigte. Eben so wurde auch dieser Schwimmer vor dem Anfange eines jeden Versuchs einige Stunden lang auf Wasser gesetzt, damit er sich jedesmahl vorher vollkommen antrinken, und bei den Versuchen selbst keine Unrichtigkeiten mehr veranlassen sollte. Ueberdies wurde der Stand des Stäbchens während der Versuche noch mehrmahls geprüft, und jeder Versuch, worin sich eine Unrichtigkeit vermuthen liefs, verworfen.

Die *Glasröhren* wurden aus einem sehr grossen Vorrathe 6 bis 7 Fuß langer Barometer-Röhren ausgewählt. Man nahm hierbei vorzüglich auf gleiches reines Glas, ohne Knöpfe, und auf einen gleichförmigen Durchmesser Rücksicht. Die ausgewählten Röhren wurden nachher noch einer sorgfältigern Prüfung unterworfen, indem man sie, so wie gewöhnlich die Thermometer-Röhren, mittelst einer hineingelassenen 4 bis 5 Zoll langen Quecksilberfäule, Zoll für Zoll prüfte. Nur diejenigen

Stücke dieser Röhren, in welchen die Quecksilberfäule sich nicht über $\frac{1}{80}$ ihrer Länge änderte, wurden für tauglich angenommen. Das übrige wurde beiderseits abgebrochen, und das Ende der Röhren bis auf die erforderliche Länge abgeschliffen. Endlich wurde die erwähnte Quecksilberfäule auf einer Probirwage genau abgewogen. Dieses Gewicht diente, nebst der Länge, welche die Quecksilberfäule in der Röhre einnahm, den Durchmesser derselben weit genauer zu berechnen, als es durch irgend eine andere mikroskopische Messung möglich gewesen seyn würde. Die hierbei nöthige eigenenthümliche Schwere des Quecksilbers wurde mittelst eines eigenen Versuchs bestimmt, und gleich 13,70 gefunden.

Um den Einfluss, den die Verschiedenheit des Durchmessers der Röhren auf die Bewegung des Wassers hervorbringt, von dem Einflusse, den die Längen der Röhren haben, abzufondern, liefs ich Röhren von verschiedenem Durchmesser genau einerlei Länge geben, und dann diese Länge, bei möglichst ungeändertem Durchmesser, abändern. Die Durchmesser selbst wurden fast von eben der Gröfse als in den Versuchen des Oberst-Lieutenants du Buat genommen, damit man beide Versuchsreihen um so zuverlässiger mit einander vergleichen, daraus die Wärme, bei welcher du Buats Versuche angestellt sind, bestimmen, und danach für den Gebrauch seiner empirischen Rechnungsformel eine bestimmtere Richtschnur erhalten möchte.

Das eine Ende jeder Glasröhre wurde mit einem hölzernen zapfenförmigen Ansatze bekleidet, um sie damit sicherer und bequemer an das cylindrische Gefäß anstecken, und nach geendigtem Versuche wieder wegnehmen zu können. Die durchbohrte Oeffnung dieser zapfenförmigen Ansätze war genau so groß, als es die Stärke jeder Glasröhre erforderte, und der äußere Umfang derselben paßte genau in die S. 162 erwähnte blecherne Röhre des cylindrischen Gefäßes. Zugleich wurde dafür gesorgt, daß das Ende dieser Zapfen sammt dem Ende der durchgesteckten Glasröhre mit der innern Fläche des Gefäßes eine vollkommene Ebene bildete. Die Nothwendigkeit dieser Voricht erhellet aus den Versuchen des Chevalier Borda, *Mém. de l'Acad. de Paris, An. 1766.*

Die *Wasserwaage* diente, sowohl den Tisch, worauf das Gefäß stand, als auch die Röhren vollkommen horizontal zu stellen. Röhren, deren Glas ein wenig gebogen war, wurden so gelegt, daß die Fläche ihrer Biegung horizontal zu liegen kam, damit nämlich die Bewegung des Wassers durch die Röhren, so viel möglich, weder steigen noch fallen, sondern in einer horizontalen Ebene fortgehen möchte.

Das *Thermometer* war von Hrn. Abbé Gruber mit vieler Genauigkeit verfertigt. Die Kugel hatte nur 5 Linien im Durchmesser, und der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und Siedepunkte, der in 80 gleiche Theile getheilt war, eine Län-

gē von 11 Zollen. Man konnte daher Zehnthteile eines Grades sehr leicht unterscheiden.

Die *Verfahrungsart* war nun folgende. Nachdem das Gefäß und die angesteckte Röhre in die erforderliche horizontale Stellung gebracht, und die Ausflußöffnung der letztern gehörig verschlossen war, wurde in das Gefäß heißes Wasser gegossen, und der Schwimmer mit dem Maafsstabe darauf gesetzt. Man wartete nun die Zeit ab, bis durch allmähliche Abkühlung die Temperatur des Wassers dem bestimmten Thermometer-Grade nahe kam. Gesah dieses, so wurde das Gefäß mit seinem Deckel verschlossen, die Ausflußöffnung der Röhre geöffnet, und das Auge mit dem Rande der Oeffnung des Deckels in horizontaler Lage gehalten; und in dieser Stellung wurden die Zeitsekunden bemerkt, bei welchen die Abtheilungen des Maafstabes unter die Ebene der Oeffnung hinabsanken.

Diese Verfahrungsart gewährte den doppelten Vorthail, *erstens*, daß man jedesmahl eine ganze Reihe Versuche, gewöhnlich von 10,7 bis 0,7 Zoll Wasserhöhe, erhielt, und *zweitens*, daß ein Versuch den andern berichtigte, indem die Zwischenzeiten von einer Abtheilung zur andern dem Gesetze einer sich offenbarenden Reihe folgen mußten. Denn zeigte sich z. B. die Zwischenzeit von einer Abtheilung zur nächstfolgenden um 1 oder höchstens 2 Sekunden zu klein; so mußte die zu beobachtende Zwischenzeit für die nächstvorhergehende oder nächstfolgende Abtheilung um eben so viel zu

groß seyn. Die Bedenklichkeit, daß die Oberfläche des Wassers im Gefäße eine kleine hinabsinkende Bewegung habe, und deswegen mit einem ruhigen Wasserstande keine vollkommene Vergleichung zulasse, fällt weg, wenn wir bedenken, daß diese Bewegung des Wassers im Gefäße bei der größten angesteckten Röhre über 500-, und bei der kleinsten über 5000mahl kleiner ist, als die Bewegung des Wassers durch die Glasröhre. Wenn wir noch überdies bedenken, daß bei diesen Versuchen selbst die Geschwindigkeit des Wassers durch die Röhren nicht sehr erheblich war, so erhellet von selbst, daß die Oberfläche des Wassers im Gefäße weit ruhiger seyn mußte, als wenn man, auf was immer für eine Art, von oben in das Gefäß hätte Wasser zugießen wollen, um dadurch eine beständige Wasserhöhe zu erhalten.

Der Schwierigkeit, dem Wasser eine bestimmte *Wärme* zu geben, und sie eine so lange Zeit hindurch, als das volle Gefäß zu seiner Ausleerung, besonders bei engen Röhren, nöthig hatte, zu erhalten, wurde dadurch abgeholfen, daß man für jede Temperatur zwei Reihen Versuche machte, die erste bei einem um 1 oder 2 Grade höhern, und die zweite bei einem gleichen oder eben so viel niedrigeren Thermometer-Grade; woraus sich nachher die Zeit-Momente für den dazwischen liegenden bestimmten Thermometer-Grad sehr zuverlässig berechnen ließen. Es versteht sich übrigens von selbst, daß die Versuche für einen höhern Thermometer-

Grad in einem warmen Zimmer, und für einen niedrigen in einem eben so kalten Zimmer gemacht wurden, so daß sich die Temperatur während einer Versuchsreihe im ersten Falle nur sehr wenig, im letztern aber gar nicht änderte. Jedesmahl wurde die Wärme des Wassers mit dem Thermometer nicht nur im Gefäße, sondern auch beim Ausflusse desselben am Ende der Röhre gemessen. Der Unterschied war jedoch so geringe, daß es unnütz seyn würde, beide anzuführen; man hat in dieser Rücksicht von beiden bloß das Mittel in Rechnung genommen.

Weil sich die *Bewegung des Wassers* leichter aus seiner Geschwindigkeit, nämlich aus dem Raume, den es während einer Sekunde in den Röhren zurücklegte, als aus der Zeit des Ausflusses, beurtheilen läßt; so habe ich in folgenden Tabellen die *Geschwindigkeiten* angeführt, welche bei jeder Wasserstandshöhe erfolgten, und nur am Ende, noch zum Ueberflusse, die Zeiten angemerkt, in welchen das Wasser von 10,7 bis auf 5,7 und 0,7 Zolle ausgefloßen ist. Die Art, wie diese Geschwindigkeiten berechnet wurden, wird folgendes Beispiel deutlich machen. Die erste Röhre, welche 0,0674 Zoll im Durchmesser, folglich 0,00357 Quadrat-Zoll zur Oeffnung hatte, gab bei 30° Wärme folgende Beobachtungen.

Höhe des Wasserstandes.	Zeiten des Ausflusses,	Unterschiede.
10,7 Zoll	0'0"	
10,6 —	0'33"	33"
10,5 —	1'6"	33"
10,4 —	1'32½"	33½"
10,3 —	2'13"	33½"
10,2 —	2'47"	34"
10,1 —	3'21"	34"
10 —	3'55½"	34½"

Um hieraus die Geschwindigkeit, welche dem Wasserstande 10,2 zugehört, zu finden, wird die Zeit für den nächst vorhergehenden Wasserstand 10,3, von der Zeit für den nächstfolgenden 10,1, d. i. 2'13" von 3'21" abgezogen; der Unterschied beträgt 68 Sekunden. Daraus folgt die Geschwindigkeit des Wassers im Gefäße $= \frac{0,2}{68}$ Zoll. Wird

nun diese Geschwindigkeit mit der Querschnittsfläche des Wassers im Gefäße, (19 Quadrat-Zoll,) multiplicirt, und mit der Querschnittsfläche der Röhre, (0,00357 Quadrat-Zoll,) dividirt; so erhalten wir die Geschwindigkeit des Wassers durch die Röhre gleich 15,6 Zollen, so wie sie in der folgenden ersten Versuchsreihe angegeben wird.

Beim Ausflusse des Wassers aus der Mündung der Röhren verdient noch eine *Erscheinung* angemerkt zu werden. Gewöhnlich bildet der mit einer großen Geschwindigkeit herausfließende Wasserstrahl, wie bekannt, eine Parabel. Diese verwandelte sich bei abnehmender Geschwindigkeit in

eine gerade senkrechte Linie, welche an der Mündung mit der horizontalen Länge der Röhre einen rechten Winkel bildete. Nachher bog sich der Wasserstrahl in eine zurückgehende krumme Linie, welche ihre Convexität der Röhre zuwendete. Endlich bei noch kleinern Geschwindigkeiten floß das Wasser horizontal unten an der Röhre zurück, und trennte sich von derselben in Tropfen, die in verschiedenen Entfernungen von der Ausflußöffnung herabfielen. Um das letztere zu verhindern, und das nämliche Wasser zum Gebrauche für mehrere Versuche zu sammeln, wurde rückwärts, (beiläufig 1 Zoll von der Mündung,) ein Faden um die Röhre gebunden, und das Wasser an demselben gesammelt, und in das zum Auffangen bestimmte Gefäß hinabgeleitet. Diese Veränderungen im Ausflußstrahle werden in folgenden Versuchstabellen durch die Buchstaben *s* und *h* angezeigt: nämlich *s* bedeutet den senkrechten Fall des Wasserstrahls in einer geraden Linie, und *h* den Anfang der horizontalen zurückgehenden Bewegung derselben.

Der beträchtliche Einfluß, den die Verschiedenheit der Wärme auf die Bewegung des Wassers verursachte, hatte noch den Wunsch erregt, auch über *den Einfluß, den etwa die verschiedenen Bestandtheile des Wassers hervorbringen*, Versuche anzustellen. Zu dieser Absicht habe ich die Versuche mit den zwei längern Röhren, bei welchen nämlich dieser Einfluß sich am größten hätte zeigen müssen, sowohl mit *reinem destillirten Wasser*, als auch mit *gemei-*

nem trüben Flusswasser wiederholt. Das letztere wurde jedoch vorher durch ein leinenes Tuch gefeilt, um dadurch die gröbern Unreinigkeiten, welche die Röhren vielleicht verstopft, und überhaupt nur Unregelmäßigkeiten verursacht haben würden, davon abzuscheiden. Dieses filtrirte Wasser blieb aber noch immer nur halb durchsichtig, und setzte nach geendigten Versuchen, bei einer Ruhe von 14 Tagen, einen feinen Schlamm ab, wodurch es etwas heller wurde. Weil aber die angestellten Versuche zeigten, daß dieser aufgelöste Schlamm nur kleine Aenderungen in der Bewegung des Wassers hervorbrachte, die mit den von der Wärme herrührenden in keinen Vergleich kommen; so schien eine weitere Analyse des gebrauchten Flusswassers zur gegenwärtigen Absicht überflüssig.

Versuch I.

mit einer Röhre von 0,0674 Zoll,

Höhen des Wasser- standes in Zollen.	Geschwindigkeit des Wassers bei einer Wärme.			
	30°		20°	
	destillirt. Wasser	trübes Fluss- wasser	destillirt. Wasser	trübes Fluss- wasser
10,7	16,2	16,2	13,4 _h	13,4 _h
10,2	15,6	15,6	12,8 _h	12,8 _h
9,7	14,9	14,9	12,2	12,1
9,2	14,3 s	14,2 s	11,7	11,5
8,7	13,7	13,5 _h	11,1	10,9
8,2	13,1	12,8 _h	10,5	10,2
7,7	12,5 _h	12,1	9,9	9,6
7,2	11,8	11,4	9,3	9
6,7	11,1	10,7	8,7	8,4
6,2	10,3	10	8	7,8
5,7	9,5	9,2	7,3	7,1
5,2	8,7	8,4	6,7	6,5
4,7	7,8	7,6	6,1	5,8
4,2	6,9	6,8	5,4	5,2
3,7	6	5,9	4,7	4,6
3,2	5,2	5,1	4	4
2,7	4,4	4,3	3,3	3,3
2,2	3,6	3,5	2,7	2,6
1,7	2,7	2,6	2	2
1,2	1,8	1,7	1,4	1,3
0,7	1	0,9	0,7	0,6
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses			
5,7	35'34"	34'40"	44'35"	43'36"
0,7	157'20"	145'50"	207'50"	189'50"

und II.

($\frac{4}{5}$ Linien,) Durchmesser und 33 Zoll Länge.

durch die Röhre in pariser Zollen,

von Reaumür. Graden :

10°		4°		nach du Routs Formel berechnet
destillirt. Wasser	trübes Fluss- wasser	destillirt. Wasser	trübes Fluss- wasser	
10	10,1	7,8	7,7	8,9
9,6	9,6	7,5	7,4	8,7
9,1	9,1	7,2	7,1	8,4
8,6	8,5	6,9	6,8	8,2
8,2	8	6,5	6,4	7,9
7,7	7,5	6,2	6	7,7
7,2	7	5,8	5,6	7,4
6,8	6,6	5,5	5,3	7,2
6,4	6,1	5,1	4,9	6,9
5,9	5,6	4,7	4,5	6,6
5,4	5,1	4,3	4,1	6,3
5	4,7	4	3,7	6
4,5	4,2	3,6	3,4	5,6
4	3,7	3,2	3	5,2
3,5	3,2	2,8	2,6	4,8
3	2,8	2,4	2,2	4,4
2,5	2,3	2	1,8	4
2	1,8	1,6	1,4	3,6
1,5	1,3	1,2	1	3,1
1	0,9	0,8	0,6	2,5
0,5	0,4	0,4	0,3	1,8

in Minuten und Sekunden.

60'58"	59'25"	76'19"	74'16"
291'40"	261'20"	381'	327'

Versuch III.

mit einer Röhre von 0,1353 Zoll,

Höhen des Wasser- standes in Zollen.	Geschwindigkeit des Wassers bei einer Wärme					
	40°		30°		20°	
	destill. Wasser	trübes Fluss- wasser	destill. Wasser	trübes Fluss- wasser	destill. Wasser	trübes Fluss- wasser
10,7	26,6	26,5	26,1	26,6	26,6	27,7
10,2	26,1	26	25,6	26,2	26,1	27,4
9,7	25,6	25,5	25,1	25,8	25,6	27,1
9,2	25	24,9	24,6	25,3	25,1	26,7
8,7	24,4	24,3	24	24,7	24,6	26,2
8,2	23,7	23,6	23,3	24,1	24,1	25,7
7,7	22,9	23	22,5	23,4	23,6	25,1
7,2	22,1	22,3	21,8	22,7	23,1	24,5
6,7	21,2	21,5	21,2	22	22,6	23,8
6,2	20,3	20,7	20,8	21,3	22	22,9
5,7	19,4	19,8	20,3	20,6	21,3	21,9
5,2	18,5	19	19,7	19,9	20,3	20,7
4,7	17,6	18,1	19	19,1	19,1	19,4
4,2	16,7	17,3	18,2	18,2	17,7	17,8
3,7	15,8	16,5	17,2	17	16,1	16
3,2	14,9	15,7	15,9	15,4	14,4	14
2,7	14	14,8	14,3	13,7	12,5	12
2,2	13	13,8	12,3	12	10,5	10
1,7	11,6	12,6	9,9 _s	10,3	8,4 _s	8,8 _s
1,2	9,3 _s	10,6 _s	7,4 _s	8,5 _s	6,3 _h	6 _h
0,7	5,2	7	4,6 _h	5,2	4	3,2
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses					
5,7	4'51"	4'51"	4'54"	4'46"	4'49"	4'29"
0,7	13'16"	12'40"	13'50"	13'20"	14'42"	15'

und IV.

($1\frac{3}{5}$ Linien,) Durchmesser und 33 Zoll Länge.

durch die Röhre in pariser Zollen,

von Reaumür. Graden:

15°		10°		4°		1°	nach du Routs Formel.
destill. Wasser	trübes Fluß- wasser	destill. Wasser	trübes Fluß- wasser	destill. Wasser	trübes Fluß- wasser	destill. Wasser	
28,3	29,5	27,1	28,3	25,1	24,7	22,6	23,4
28,1	28	26,8	27,6	24,3	24,1	22,1	22,8
27,7	28,3	26,4	26,8	23,4	23,4	21,5	22,1
27,2	27,7	25,8	26	22,5	22,6	20,8	21,5
26,6	27,1	25,1	25,1	21,5	21,8	20	20,8
25,9	26,4	24,2	24,1	20,5	20,8	19	20,1
25,1	25,4	23,2	23,1	19,5	19,7	18	19,4
24,1	24,6	22,1	22	18,4	18,5	16,9	18,7
23	23,4	20,9	20,9	17,3	17,2	15,8	17,9
21,8	22	19,6	19,7	16,1	16	14,7	17,1
20,4	20,4	18,3	18,5	14,9	14,8	13,6	16,3
18,9	18	16,9	17,1	13,7	13,6	12,5	15,5
17,4	17	15,4	15,7	12,5	12,4	11,3	14,6
15,8	15,4	13,9	14,2	11,3	11,2	10,2	13,7
14,2	13,8	12,3	12,7	10	10	9,1 _s	12,8
12,5	12,2	10,7	11,1	8,8 _s	8,8 _s	8	11,8
10,8	10,6	9	9,5 _s	7,5	7,5	6,9	10,7
9	8,9 _s	7,3 _s	7,8 _s	6,1	6,1	5,7	9,5
7,1	7,1 _s	5,6	6,1	4,7 _h	4,7 _h	4,4 _h	8,1
5	5,0 _h	4	4,2 _h	3,2	3,2	3 _h	6,5
3	2,7 _h	2,3	2,3	1,8	1,7	1,6	4,6

in Minuten und Sekunden.

4'40"	4'28"	4'50"	4'46"	5'39"	5'41"	6'9"
16'50"	16'30"	19'17"	18'44"	23'37"	23'20"	25'20"

Versuch V.

mit einer Röhre von 0,07 Zoll, ($\frac{1}{8}$ Linien,) Durchmesser und 9,7 Zoll Länge.

Geschwindigkeit des reinen destillirt. Wassers durch die Röhre in parisi. Zollen.					
Höhen des Wasser- standes in Zollen.	bei einer Wärme von Reaum.				nach du Buats Formel.
	Graden:				
	30°	20°	10°	4°	
10,7	38,4	36	31	28,4	21
10,2	37,8	35,5	30,4	27,8	20,4
9,7	37,2	34,8	29,7	27,1	19,8
9,2	36,5	34	28,8	26,2	19,2
8,7	35,6	33	27,8	25	18,5
8,2	34,5	31,8	26,5	23,7	17,9
7,7	33,2	30,4	25,1	22,3	17,2
7,2	31,8	28,9	23,7	20,7	16,6
6,7	30,4	27,4	22,2	19,5	15,9
6,2	29	25,9	20,7	18,2	15,2
5,7	27,5	24,4	19,2	16,9	14,5
5,2	25,8	22,8	17,8	15,7	13,8
4,7	24	21,2	16,4	14,5 _s	13,1
4,2	22,1	19,5	15 _s	13,2 _s	12,3
3,7	20,2	17,7	13,5 _s	11,8 _h	11,5
3,2	18,2	15,8	12 _h	10,4	10,6
2,7	16,1	13,8 _s	10,4 _h	8,9	9,5
2,2	14 _s	11,6 _h	8,7	7,4	8,5
1,7	11,7	9,2	6,8	5,3	7,3
1,2	9	6,6	4,8	4,1	5
0,7	5,4	3,7	2,8	2,4	4,4
0,5	3,5	2,9	2	1,8	3,6
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.				
5,7	12'12"	13'26"	15'51"	18'3"	
0,7	39'	47'39"	60'31"	70'38"	

Versuch VI.

mit einer Röhre von 0,119 Zoll, ($1\frac{1}{2}$ Linien,) Durchmesser und 9,7 Zoll Länge.

Höhen des Wasser- standes in Zollen.	Geschwindigkeit des reinen destillirt. Wassers durch die Röhre in parif. Zollen, bei einer Wärme von Reaum. Graden:					nach du-Buats Formel.
	40°	30°	20°	10°	4°	
10,7	48,7	47,3	46,3	45,4	44	36,5
10,2	47,5	46,2	45,2	44,5	43,4	35,5
9,7	46,3	45	44,1	43,6	42,6	34,5
9,2	45	43,8	42,9	42,5	41,7	33,5
8,7	43,5	42,5	41,7	41,3	40,6	32,5
8,2	42	41,1	40,4	40	39,4	31,5
7,7	40,3	39,6	39	38,5	38	30,4
7,2	38,6	38,1	37,5	37	36,5	29,4
6,7	36,8	36,5	36	35,4	34,9	28,3
6,2	35,1	35	34,4	33,7	33,1	27,2
5,7	33,5	33,4	32,8	32	31,2	26,1
5,2	32	31,8	31,2	30,2	29,2	24,9
4,7	30,5	30,2	29,5	28,4	27,1	23,6
4,2	28,9	28,5	27,8	26,5	24,9	22,2
3,7	27,2	26,8	26	24,5	22,7 _s	20,7
3,2	25,3	24,9	24,1	22,5 _s	20,4	19,1
2,7	23,2	22,8 _s	22	20,4 _s	18,1	17,3
2,2	20,9 _s	20,4 _s	19,7 _s	18	15,7	15,3
1,7	18,4	17,5	16,8	15,1	13,2 _h	13,2
1,2	14,4 _h	13,8 _h	13,2 _h	11,8 _h	10,4 _h	10,8
0,7	9,4 _h	8,9 _h	8,5 _h	8,1 _h	7	8,1
0,5	7,2	7	6,7	6,1	5,4	7,3
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.					
5,7	3'28"	3'31"	3'34"	3'37"	3'42"	
0,7	9'51"	10'12"	10'31"	11'	11'57"	

Versuch VII.

mit einer Röhre von 0,156 Zoll, ($1\frac{1}{3}$ Linien,) Durchmesser und 7,9 Zoll Länge.

Höhen des Wasser- standes in Zollen.	Geschwindigkeit des reinen destillirt. Wassers durch die Röhre in parif. Zollen, bei einer Wärme von Reaum. Graden:					nach du Buats Formel.
	40°	30°	20°	10°	4°	
10,7	54	51,4	49,4	47,6	46	43,5
10,2	52,8	49,9	47,5	45,9	44,8	42,4
9,7	51,3	48,2	45,8	44,4	43,7	41,3
9,2	49,4	46,4	44,3	43,1	42,7	40,2
8,7	47	44,5	42,8	41,9	41,7	39
8,2	44,5	42,7	41,4	40,3	40,6	37,8
7,7	42	40,9	40,1	39,6	39,4	36,6
7,2	39,6	39,1	38,7	38,3	38,1	35,3
6,7	37,5	37,4	37,2	37	36,6	34
6,2	35,7	35,7	35,7	35,6	35,1	32,6
5,7	34,2	34,2	34,1	34	33,5	31,2
5,2	33,1	32,9	32,6	32,3	31,8	29,7
4,7	31,7	31,4	31	30,5	30	28,2
4,2	30,1	29,7	29,2	28,6	28	26,6
3,7	28,2	27,8	27,3	26,7	25,7	24,3
3,2	26	25,8	25,3	24,6	23,2	22,9
2,7	23,7	23,5	23	22,2	20,5	20,8
2,2	21,2	20,9	20,5	19,5	17,6	18,5
1,7	18,5	18	17,5	16,4	14,5	16
1,2	15,6	14,6	14,1	12,9	11,1	13,2
0,7	11	10,4 ^s	10 ^s	8,8 ^s	7,2 ^s	9,8
0,5	7,8	7,4	7	6,4	5,6	8,4
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.					
5,7	2'31"	2'36"	2'39"	2'42"	2'44"	
0,7	7'16"	7'26"	7'35"	7'55"	8'22"	

Ver-

Versuch VIII.

mit einer Röhre von 0,2 Zoll, ($2\frac{2}{3}$ Linien,) Durchmesser und 63 Zoll Länge.

Höhen des Wasser- standes in Zollen.	Geschwindigkeit des reinen destillirt. Wassers durch die Röhre in parisi Zollen, bei einer Wärme von Reaum. Graden:					nach du Buats Formel.
	40°	30°	20°	10°	2°,5	
10,7	25,7	25,2	24,7	24,2	23,7	23,9
10,2	25,2	24,7	24,2	23,8	23,4	23,3
9,7	24,7	24,2	23,7	23,3	23	22,7
9,2	24,2	23,7	23,2	22,8	22,5	22,1
8,7	23,7	23,1	22,6	22,3	22	21,4
8,2	23,1	22,4	22	21,7	21,4	20,7
7,7	22,4	21,7	21,3	21	20,7	19,9
7,2	21,7	21	20,6	20,3	20	19,1
6,7	20,9	20,2	19,8	19,5	19,2	18,3
6,2	20	19,4	19	18,7	18,4	17,5
5,7	19	18,5	18,2	17,8	17,4	16,7
5,2	17,9	17,6	17,3	16,8	16,4	15,8
4,7	16,8	16,6	16,3	15,8	15,2	14,9
4,2	15,8	15,5	15,3	14,8	13,8	13,9
3,7	14,7	14,4	14,3	13,7	12,2	12,9
3,2	13,6	13,2	13,1	12,6	10,6	11,8
2,7	12,4	12	12	11,4	8,9	10,7
2,2	11	10,7	10,6	9,6	7,2	9,5
1,7	9,5	9,4 _s	8,7 _s	7,5 _s	5,5 _s	8,2
1,2	7,9 _s	7	6,1 _s	5 _h	3,8 _h	6,7
0,7	5,5 _s	4,3 _h	3,3 _h	2,5	2,1 _h	5
0,5	3,8	2,8	2	1,6	1,4	4,2
von 10,7 bis	Zeiten des Ausflusses.					
5,7	2'14"	2'17"	2'20"	2'22"	2'24"	
0,7	6'23"	6'37"	6'58"	7'39"	8'46"	

Folgerungen.

Aus diesen Versuchen ist zu ersehen: 1. daß die Wärme, nicht etwa unbedeutende, sondern *sehr beträchtliche Aenderungen* in der Bewegung des Wassers verursacht. Die unten beigefetzten Zeiten des Ausflusses beweisen dieses auf eine vorzügliche Art. — Da in jeder dieser 8 Versuchsreihen Röhre, Gefäß, Wasser und Höhen des Wasserstandes, folglich alle äußere Ursachen, die auf die Bewegung des Wassers einen Einfluß haben, die nämlichen sind; so folgt offenbar, daß der Widerstand, welchen das fließende Wasser bildet, nicht allein in äußern Ursachen, sondern auch *in der Flüssigkeit des Wassers selbst* zu suchen sey.

2. Daß die Aenderungen, welche die Wärme in den Geschwindigkeiten des Wassers hervorbringt, beträchtlicher bei Röhren von einem *kleinern*, als bei Röhren von einem größern *Durchmesser* sind, und daß sie bei *kleinern Geschwindigkeiten* ansehnlicher als bei größern werden. Das erste ergibt sich aus der Vergleichung der verschiedenen Versuchsreihen unter einander; das zweite sehen wir in jeder Tabelle in den untersten Versuchen bei kleinen Wasserstandshöhen, wo die Verhältnisse der Geschwindigkeiten von einem Wärmegrade zum andern gewöhnlich größer sind, als bei größern Wasserstandshöhen.

3. Der Einfluß der Wärme ist *am größten in der Nähe des Gefrierpunkts*. Dies sehen wir vorzüglich

aus Versuch 3, wo die Abnahme der Geschwindigkeit des Wassers während einer Abkühlung von 4° bis 1° , also durch 3° des Reaum. Thermometers, weit größer ist, als durch 5° und 10° bei höhern Temperaturen. Auch ist sehr sichtlich, daß dieser Einfluss überhaupt nicht in Verhältniß der Wärme zu- und abnehme, sondern sein Maximum habe, welches sowohl von der Geschwindigkeit des Wassers, als auch von der Größe des Durchmessers der Röhre abhängt. *)

4. Die bekannte Formel des Chevalier du Buat, (*Principes d'Hydraulique vérifiés par un grand nombre d'Experiences faites par ordre du Gouvernement*, à Paris 1786, Chap. VII, oder Langsdorf's *Lehrbuch der Hydraulik*, §. 71 bis 79,) gilt, wenigstens bei diesen Röhren, für keinen bestimmten Wärme-grad. Gewöhnlich giebt sie die größern Geschwindigkeiten zu klein, und die kleinen zu groß. —

*) Sollte vielleicht das mindere specifische Gewicht des wärmern Wassers, und die Ungleichheit in der Ausdehnung des Wassers durch Wärme auf die beobachteten Anomalien Einfluss haben, (z. B. in Versuch 3 und 4, wo die Geschwindigkeiten bei 15° Wärme am größten, und viel beträchtlicher als bei 40° waren;) oder sollten diese Anomalien ein Zeichen seyn, daß der Verschiedenheit in der Flüssigkeit des Wassers hier zu viel zugeschrieben wird, und daß noch andere Ursachen hierbei mit im Spiele sind?,
d. H.

Diejenigen Versuche des Herrn Couplet, welche du Buat mit seiner empirischen Formel nicht übereinstimmend, und deswegen verdächtig gefunden hat, dürften demnach doch ihre Richtigkeit und den Grund ihrer Anomalien nicht so sehr in fremden Ursachen, als in der Temperatur des Wassers haben.

5. Die Wärme allein ist aus dem Grunde, weil sie die Flüssigkeit vermehrt, schon hinreichend, den *Kreislauf des Bluts und der Säfte* zu beschleunigen. Der Puls schlägt geschwinder unter den heißen Himmelsstrichen, als unter den kalten. Bei Röhren von sehr geringem Durchmesser, als z. B. diejenigen sind, wodurch die Arterien mit den Venen communiciren, macht die Wärme noch weit größere Aenderungen, als in unsern Versuchen vorkommen.

6. Eben so sehen wir, warum die *Vegetation* in warmen Sommertagen besser von statten geht, als im Herbste und Winter. Der zweite Theil der Folgerung 3 zeigt uns zugleich die Ursache, warum für gewisse Pflanzen nur ein bestimmter Wärmegrad am zuträglichsten ist, und warum sie sich nicht nur bei abnehmender, sondern auch bei zunehmender Wärme schlechter befinden.

7. Endlich erklären sich hieraus viele Erscheinungen, die bei dem *Laufe des Wassers in Röhren, Kanälen und Flüssen* beobachtet werden. In unbedeckten Gerinnen bleibt das Wasser sehr auffal-

lend zurück, wenn Schnee hineinfällt. Ungeachtet das Wasser noch nicht gefriert, so bildet sich hierbei ein Grundeis, welches dem Wasser mehr Consistenz giebt, und auf eine in die Augen fallende mechanische Art die Verzögerung des Wassers sichtbar macht, die wir durch die angeführten Versuche bei höheren Temperaturen gefunden haben.
