

Von dem Gange der Penduluhren, durch Herrn Lambert.

Das die gemeine Stadtuhren sich nach der Witterung ändern, darüber führt man täglich Klagen. Man hat daher zu den Wanduhren mit schweren Pendeln mehr Zutrauen gefaßt, nachdem man gefunden, daß sie mehrere Monate durch, sehr richtig und gleichförmig gehen, das will sagen, keine Unrichtigkeiten von mehrern Minuten zeigen. Indessen sind sie doch nicht von aller Ungleichheit in dem Gange frey. Bey dem Anlasse, daß *Richer* in Cayenne sein Pendul verkürzen mußte, fiel man in Frankreich darauf, eher der Wärme als der unter dem Aequator geringern Schwere die Schuld bezumessen, und ungeachtet man nachher den Einfluß der verschiedenen Schwere in die Länge des Penduls einräumte, so blieb man doch dabey, daß auf die veränderliche Wärme zugleich mit Rücksicht genommen werden müsse, weil sie doch in der That die Länge desselben ändern kan. Die Bemerkung, daß nicht alle Metalle sich von gleicher Wärme gleich stark ausdehnen, gab ferner Anlaß, die Pendul aus Stangen von verschiedenem Metalle dergestalt zusammen zu setzen, daß das Pendul der veränderlichen Wärme unerachtet immer gleiche Länge behalten sollte. Damit glaubte man nun die vollkommenste Genauigkeit erreicht zu haben, und man rühmte, daß die Penduluhren mit solchen Stangen nun mehrere Monate lang um keine 2 Sekunden unrichtig giengen. Dieses hatte nun *Picard* bereits im vorigen Jahrhundert von seiner Uhr mit ganz-einfacher Pendulstange auch gerühmt. Es ist aber dabey immer nicht gesagt worden, ob man die Probe lange Zeit und bey jedem hellem Wetter wiederholt habe, und damit kan eine solche Uebereinstimmung gar wohl nur von zufälligen Ursachen herrühren.

Ueberhaupt scheint es auch, daß man den Einfluß der Wärme zu groß ansetze, wenn man annimmt, daß 30 Grade des *Reaumur'schen* Thermometers, die Länge der Pendulstange um $\frac{1}{3}$ Linien, das will sagen um $\frac{1}{216}$ Theil ändern. Dieses würde 20 Sekunden tägliche Aenderung austragen, und wenn ein im Sommer nach der mittlern Zeit gerichtetes Pendul im Winter bey strenger Kälte mit der mittlern Zeit verglichen werden sollte, so würde es in einem Monate 10 Minuten nach und nach voreilen, wenn die glei-

che Kälte einen Monat lang fortdauern sollte. Oder wenn wir die Rechnung nach dem mittlern Laufe der Witterung vornehmen, und die Aenderung der Wärme vom Sommer zum Winter nur auf 20 Grade setzen, so müßte ein im Julio genau nach der mittlern Zeit gehendes Pendul nach und nach dergestalt voreilen, daß es in einem halben Jahre um 20 Minuten zu frühe gehen, und erst im folgenden halben Jahre wieder um eben so viel sich verspätigen würde. Ueber eine so gar merkliche Ungleichheit in dem Gange der Penduluhren hätte man sich längst schon aufgehalten, wenn sie wirklich wäre.

Wir haben indessen hierüber wenige in einem fortgehende Beobachtungen. Dieses hat auch Herrn *Wollaston* bewogen, dergleichen ein ganzes Jahr durch anzustellen, und sie in den *Philosophical-Transactions* Vol. 61. 1771 bekannt zu machen. Die Pendulstange an seiner Uhr ist von Holz, und dieser Umstand ist sehr wesentlich, weil das Holz sich in der Kälte, wo nicht mehr ausdehnt, doch wenigstens nicht zusammenzieht. Nach des berühmten *Celsius* Versuchen beträgt die Veränderung für 28 *Reaumur'sche* Grade $\frac{1}{800}$ Theil der ganzen Länge, demnach am Pendul für 24 Stunden Zeit, 7 Secunden Unterschied; so daß also für jede 4 *Reaumur'sche* Grade, um die sich die Wärme ändert, ein Pendul von Fichtenholze, um 1 Secunde in 24 Stunden geschwinder oder langsamer geht. Der Erfolg hievon ist nun wiederum, daß wenn ein solches Pendul im Winter genau mit der mittlern Zeit übereinschlägt, es im Sommer $7\frac{1}{2}$ Minuten voreilen werde. Geht es aber im Frühling mit der mittlern Zeit zu gleichen Schritten, so verspätiget es sich bis im Sommer um etwan $2\frac{1}{2}$ Minuten, so wie es hingegen vom Herbst bis im Winter um eben so viel nach und nach zu geschwinde geht.

Indessen führe ich diese Berechnung nur an, um den Erfolg bey hölzernen Pendulstangen zu erläutern. Denn die Versuche des Herrn *Celsius* waren wohl bis auf solche Kleinigkeiten nicht genau genug, und dann kan ich auch nicht sagen, ob des Herrn *Wollaston* Pendulstange von eben solchem Holze, bloß getrocknet oder mit Oel geränkt waren. Es erhellet aber aus seinen Beobachtungen, daß seine Uhr in der That den Winter über langsamer, und hingegen im Sommer geschwinder gieng, als sie der mittlern Zeit nach gehen sollte. Den ganzen Erfolg habe ich in bey-

gefügter

gefügter Tabelle vorgestellt, welche eigentlich nur eine Abkürzung derjenigen ist, die Herr *Wollaston* in den *Philos. Transact.* gegeben.

Ich habe nämlich Kürze halber das Verzeichniß der Sterne weggelassen, mit welchen Herr *Wollaston* seine Uhr verglichen, und überdies habe ich, wenn derselbe an gleichem Tage mehrere Vergleichen angegeben hatte, das Mittel genommen, und es in der Tabelle angesetzt. Einigen Beobachtungen, die Herr *Wollaston* als nicht ganz zuverlässig angegeben, habe ich das Zeichen † beygefügt.

Aus bemeldter Tabelle erhellet nun, daß Herr *Wollaston* seine Uhr vor dem 1sten Nov. 1770 scheint gerichtet zu haben. Vielleicht war es am 1sten Novemb. selbst vermittelt gleichgroßer Sonnenhöhen.

Sodann verglich er seine Uhr nach und nach mit andern Sternen und oft auch mit der Sonne. Der Erfolg hievon ist, daß seine Vergleichung, wenn sie mehrmalen mit einerley Stern geschahe, nur auf eine Art, wenn sie aber mit verschiedenen Sternen geschahe, auf eine doppelte Art, vom wahren abweichen konnte, weil die Verzeichnisse von der geraden Aufsteigung der Sterne eben auch nicht alle mögliche Genauigkeit haben. Ich führe dieses an, weil daraus erhellet, daß eben auch nicht alle kleine Ungleichheiten, so die Tafel angiebt, auf Rechnung der Uhr müssen gesetzt werden.

Dieses voraus angemerkt, so sieht man aus der Tafel, daß die Uhr vom 1sten Nov. an bis nach dem 7ten Febr. immer langsamer gieng. Daß sich von da an die Verspätigung verminderte, gegen den 3ten Jun. = 0 wurde, und von da an sich in eine positive Voreilung verwandelte, welche bis gegen den 28sten August immer zunahm, von da an aber wieder nach und nach geringer wurde.

Nun hätte sie auf den 31sten Oct. = 0 werden sollen. Da aber die Uhr an diesem Tage noch 98 Secunden voreilte, so folgt hieraus, daß entweder der wärmeren Tage mehrere gewesen sind als der kälteren, oder daß das Pendul vom Anfange an um etwas hätte länger seyn müssen, oder endlich, daß beyde Ursachen zugleich statt gefunden haben.

Dem sey nun, wie ihm wolle, so werde ich die Schuld ganz auf das Pendul schieben, da sich ohne Mühe ein Pendul gedenken läßt, welches den 1sten Nov. 1770 mit 0 anfängt, und den 31sten

Oct. 1771 wieder auf 0 zurücke kömmt. Der ganze Erfolg dieser Voraussetzung ist, daß ein solches Pendul wohl nicht genau diejenige Länge hat, die es haben müßte, um viele Jahre durch immer das Mittel zu halten.

Die 98", um welche das *Wollastonsche* Pendul endlich zu viel voreilte, sind demnach auf das ganze Jahr zu vertheilen, weil diese Voreilung als durch das ganze Jahr gleichförmig anzusehen ist. Um aber der hiebey für jeden Tag erforderlichen Reguldetri und Reduction überhoben zu seyn, habe ich die sämmtlichen Zahlen der Tafel construirt, und die Aenderung sodann in der Figur vorgenommen. Den Erfolg stellt nun, wiewohl nach einem klei-

Tab. V nern Maafsstabe die 6. Figur vor, wo die Abscissenlinie AB, auf **Fig. 6.** welcher die Monate gezeichnet sind, zwischen der grössten und kleinsten Ordinate mitten durchgeht, die krumme Linie CDE aber unterhalb die Verspätigung, oberhalb aber die Voreilung der Uhr anzeigt. Die Scale ist auf MN gezeichnet. Diese Linie ist, wie man sieht, überhaupt betrachtet, sehr regulär, ungeachtet sie dennoch wegen des sehr feuchten und theils selbst im Sommer nicht allzuwarmen Jahrganges von 1770 auf 1771 nicht als das wahre Mittel aus sehr vielen Jahren angesehen werden kan.

Daher mag es nun zum Theile kommen, daß die tiefste Ordinate gegen das Ende des Febr. fällt, weil wegen des Anfangs feuchten Winters der Frost später eintritt, und nach Herrn *Wollastons* Bericht auch in England im Februar noch sehr stark war.

Die höchste Ordinate trifft ebenfalls erst auf den Anfang des Septembers, weil 1771 das schöne Wetter ebenfalls erst dann anfing.

Uebrigens werde ich die von Herrn *Wollaston* bemerkte Veränderung in dem Gange seines Penduls weder der hölzernen Stange noch der Wärme allein zuschreiben. Man hat dem Oele, womit die Räderaxen bestrichen sind, längst schon auch einen Antheil an solchen Ungleichheiten zugeschrieben. Ich werde aber überdies noch eine vierte Ursache angeben, auf die man bisher noch wenig Rückficht genommen zu haben scheint.

Diese ist die *Dichtigkeit* oder *specifische Schwere der Luft*, und zwar nicht sowohl weil sie der Bewegung des Penduls einen *Widerstand* entgegen setzt, sondern bloß weil sie eine, und zwar sehr veränderliche, specifische Schwere hat.

Ich setze, die Linse des Penduls sey mit Bley gefüllt, so wird dieses 5000 bis 6000 mal schwerer seyn, als die Luft, deren Raum sie einnimmt, wenn die Luft sehr dichte, und besonders wenn sie mit vielen Dünsten angefüllt ist. Eine solche Luft vermindert demnach die auf das Pendul wirkende Kraft der Schwere um $\frac{1}{7000}$ oder $\frac{1}{8000}$ Theil, und der Erfolg ist, das das Pendul in 24 Stunden 7 bis $8\frac{1}{2}$ Schwünge weniger macht, als im luftleeren Raume.

Nun kan nach *Musschenbroecks* Versuchen die Dichtigkeit der Luft von 2 bis auf 1 abnehmen, und damit wird auch ein bleyernes Pendul in der dichtesten Luft und in 24 Stunden 4 Schwünge weniger machen, als wenn die Luft sehr dünne ist. Nun ist die Luft des Winters theils wegen der Kälte, theils wegen der häufigern Dünste überhaupt dichter, als im Sommer. Aus diesem Grunde muß demnach das Pendul im Sommer geschwinder, als im Winter gehen. Wenn demnach die hölzerne Pendulstange des Herrn *Wollaston* sich durch die Wärme und Kälte gar nicht veränderte, so würde die Abwechselung in der Dichtigkeit der Luft, so wie auch die mehrere Flüssigkeit des Oeles schon hinreichend seyn, die von ihm beobachteten Veränderungen in der Geschwindigkeit seines Ganges herfür zu bringen.

Es ist überhaupt zu wünschen, das künftig noch mehrere solche Beobachtungen mit verschiedenen Arten von Penduln gemacht werden. Man sieht, das sie *eine Art von meteorologischen Instrumenten* abgeben, und das es sich der Mühe verlohnet, sie zugleich mit den übrigen zur Wetterkunde gehörigen Instrumenten, besonders auch mit dem Hygrometer und dem *Guerickschen* Manometer zugleich zu beobachten. Die Theorie der Dichtigkeit und specifischen Schwere der Luft gewinnt dabey, und jeder Beobachter setzt sich dadurch in Stand, das, was an den Anomalien seiner Penduluhr eine jährlich wiederkehrende Abwechslung hat, und zugleich den größten Theil derselben beträgt, genauer kennen zu lernen, und sich sodann in die einzelnen kleineren Anomalien besser zu finden.

Um aber die Meteorologische Sprache des Penduls behörig zu verstehen, so ist zu bemerken, das die Ordinaten der krummen Linie CDE eigentlich nicht die Gröfse der jedesmal wirkenden Ursachen,

fachen, sondern die Summe ihrer Wirkungen vorstellen, so wie diese sich vom 1sten November an nach und nach aufhäuft. Die GröÙe der jedesmal wirkenden Ursachen wird durch $\frac{dy}{dx}$ bestimmt,

wenn durch dx das Element der Abscissen, durch dy aber die in diesem Zeittheilchen dx gewirkte Beschleunigung oder Verspätigung in dem Gange des Penduls vorgestellt wird. Es kömmt demnach darauf an, an die krumme Linie CDE für jeden beliebigen Punkt derselben Tangenten zu ziehen, und den Winkel zu messen, unter welchem sie die Axe AB durchschneiden. Die Tangente dieses Winkels wird das Maass der jedesmal in den Gang des Penduls wirkenden Ursachen seyn, sofern sie denselben beschleunigen oder verspätigen.

Diese Construction muß sehr genau seyn, zumal wenn man jeder kleineren Veränderungen Rechnung tragen will. Denn die tägliche Veränderung geht nicht viel über 2 Secunden, auch wenn sie am größten ist. Es kan aber seyn, daß die Beobachtungen wegen der ihnen eigenen Unrichtigkeiten statt dieser 2 Secunden, 3, oder auch nur 1 angeben; und daher muß aus mehrern und auch mehrere Tage fortgesetzten Beobachtungen das Mittel, und zwar mit gehöriger Behutsamkeit genommen werden. Will man aber nur den Erfolg für ganze Wochen oder Monate haben, so geht dieses leichter an, weil man sodann nur die Differenzen der Ordinaten zu nehmen hat. So Z. E. finden sich für den

Nov. — 47°	Mart. + 14°	Jul. + 47°
Dec. — 52	Apr. + 33	Aug. + 28
Jan. — 55	Mai + 53	Sept. — 24
Febr. — 9	Jun. + 56	Oct. — 43

Ich habe übrigens vermittelst der Tangenten die krumme Linie FGIK constructirt, deren Ordinaten den Differentialien der Ordinaten der Linie CDE proportional sind, und demnach das Maass der täglichen Beschleunigung oder Verspätigung des Penduls angeben, wenn sie auf der zwischen dem Mai und Juni aufwärts gezeichneten Scale gemessen werden. Die größte Verspätigung trifft auf das Ende des Decembers, und beträgt täglich

täglich 24 Secunden. Die größte Beschleunigung trifft auf das Ende des sehr warm und trocken gewesenenes Maies. Der kalte und feuchte Junius läßt sich hier an der schnellen Abnahme der Ordinaten erkennen, und eben dieses zeigt sich auch bey dem sehr feucht und kalt gewesenenen August, wo die Ordinaten merklich schneller, als in dem ungleich schöner gewesenenen Septem-ber abnehmen.

Wenn man übrigens solche Uhren machen wollte, die sich noch ungleich merklicher nach dem Wetter ändern, so müßte die Linse des Penduls von einer sehr leichten Materie, z. E. von einem holgeblasenen Glase seyn. Denn ist z. E. die Linse nur 430 mal schwerer, als die dichteste Luft, so wird die auf ein solches Pendul wirkende Kraft der Schwere um $\frac{1}{430}$ Theil geringer, und das Pendul macht in 24 Stunden 100 Schläge weniger, als es im luftleeren Raume machen würde, und in die 50 Schläge täglich weniger, als in der dünneften Sommerluft.



Gang der Wollaston'schen Penduluhr mit der						
	1770		1771			
	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	Mart.	Apr.
1	+ 0", 5			-129", 7		-108", 8
2	- 2, 6					-108, 2
3				-132, 0		-107, ±
4	- 2, 2			-133 ±		
5				-136, 8		-105, 3
6			- 97", 5			
7				-139, 3		
8			-100, 1			-103, 8
9			-101, 3		-125", 3	-102, 2
10			-102, 6		-123, 9	
11			-103, 2	-137, 0	-122, 3	- 99, 0
12				-135, 5		
13	- 10, 2		-105, 6	-136, 4	-120, 9	- 97, 5
14				-135, 7		
15					-120, 1	
16		- 51 ±				
17	- 17, 3			-133, 4		- 90, 0
18						
19						- 86 ±
20	- 20, 8					- 85, 0
21						
22		- 66, 3	-114, 9			
23		- 66, 8		-133, 4	-116, 2	
24	- 21, 0				-115, 6	
25		- 74, 0	-120, 7			- 79, 4
26	- 23, 9					
27	- 24, 4	- 76, 6	-121, 3		-111, 8	- 76, 2
28	- 25, 6				-110 1	
29						
30		- 82, 1			-108, 8	
31					-109, 8	

mittlern Zeit verglichen.

Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	
	— 5", 5		+ 112, 0		+ 130, 9	1
	— 3, 1	+ 56, 8			+ 131, 2	2
		+ 58, 7	+ 118, 1			3
			+ 119, 1		+ 131, 2	4
— 59, 5	+ 5, 3	+ 60, 2	+ 120, 7		+ 130, 9	5
			+ 123, 0			6
			+ 123, 9			7
	— 13, 6		+ 126, 9			8
			+ 127, 2	+ 145, 5		9
	— 18, 0		+ 129, 4	+ 145, 5	+ 127, 5	10
					+ 126, 7	11
— 47, 6				+ 145, 0	+ 126, 5	12
— 45, 4						13
				+ 143, ±	+ 124, 5	14
			+ 138, 9	+ 141, 4	+ 123, 4	15
						16
— 41, 6			+ 140, 9	+ 141, 4	+ 122, 3	17
			+ 141, 1	+ 140, 7		18
— 38, 6	— 35, 6			+ 139, 8	+ 119, 9	19
— 36, 2				+ 138, 9		20
	+ 38, 4			+ 138, 0		21
						22
— 33, 7	+ 39, 4	+ 90, 9		+ 136, 5	+ 115, 2	23
	+ 40, 6	+ 92, 8				24
		+ 94, 3				25
— 27, 8		+ 95, 1				26
	+ 45, 7			+ 133, 9	+ 107, 5	27
			+ 146, 1		+ 106, 5	28
— 20, 1	+ 47, 7	+ 100, 8	+ 146, 0	+ 132, 0		29
— 18, 3				+ 131, 9		30
— 15, 4	+ 51, 3	+ 107, 7	+ 145, 7	+ 131, 6	+ 100, ±	31
			+ 145, 4		+ 99, 2	
					+ 98, 1	

E N D E.