

liche annimmt, so scheint sie sich für einen vibrirenden Körper des Pendels zu eignen. Da aber die Bewegung desselben nur in zwei Richtungen erfolgt, und der Widerstand der Luft allein auf die beiden Seiten des Pendels Einfluß ausübt: so sieht man leicht, daß die Linsenform für ein Pendel geeigneter ist als die sphärische Form, und daß man sie aus diesem Grunde am meisten gebraucht.^{*)}

32. Wenn die Reibung und der Widerstand der Luft auf die kleinstmögliche Größe gebracht worden ist, so hat man für die Vollkommenheit eines Pendels viel gewonnen; indessen entspringt für die Richtigkeit noch ein großes Hinderniß aus der Veränderung der Temperatur, welche, indem sie das Pendel nach den verschiedenen Wärme- oder Kältegraden verlängert oder verkürzt, dasselbe in ungleichen Zeiten schwingen macht. Das folgende Kapitel handelt von dem Einfluß der Temperatur auf die Metalle, und von der Art diese Wirkung auf das Pendel aufzuheben.

Zweites Kapitel.

Vom Einfluß der Temperatur auf die Metalle. Vom Compensationspendel.^{**)}

Erster Artikel.

Vom Einfluß der Temperatur auf die Metalle.

33. Die Veränderung der Temperatur hat auf die Körper Einfluß, indem sie dieselben ausdehnt oder verdichtet. Wärme bewirkt Ausdehnung und Kälte Verdichtung.

34. Feste Körper dehnen sich durch den Einfluß der Temperatur weniger aus und ziehen sich weniger zusammen als die flüssigen. Quecksilber dehnt sich mehr als irgend ein festes Metall aus. Die Metalle unter einander condensiren und erweitern sich in sehr verschiedenem Grade nach der Temperatur; aber von allen Dilatationstafeln, welche es bis jetzt giebt, sind diejenigen, welche auf die Erfahrungen von Lavoisier und Laplace gegründet sind, als die vollkommensten zu betrachten. Hier folgt eine, welche als Basis zur Berechnung der Compensation dienen kann.

^{*)} Ferdinand Berthoud hat durch Versuche gefunden, daß ein Pendel von linsenförmiger Form an seiner Bewegung ein Zehntel weniger verliert als das sphärische Pendel.

^{**)} Unter dem Worte Compensation versteht man den Mechanismus, welcher in den Uhren angewendet wird, um die Wirkung einer veränderten Temperatur auf die Dauer des Regulators, sei es ein Pendel oder eine Unruhe, zu vernichten.

Tafel

vom Verhältniß der Ausdehnung mehrer Metalle von 0° bis zum Siedepuncte, wobei die zum Versuch gediente Länge zu 1,000,000 Theilen angenommen ist.

Die Metalle haben bei sied. Wasser.	Ausdehnungen nach Decimaltheilen.	Ausdehnungen nach gemeinen Brüchen.
Platina	0,000856	$\frac{1}{1168}$
Ungehärteter Stahl	0,001079	$\frac{1}{927}$
Geschmiedetes Eisen	0,001220	$\frac{1}{819}$
Drabteisen	0,001235	$\frac{1}{810}$
Pariser Feingold	0,001552	$\frac{1}{644}$
Messing	0,001878	$\frac{1}{533}$
Fein Silber	0,001909	$\frac{1}{524}$
Blei	0,002848	$\frac{1}{351}$
Zink	0,002942	$\frac{1}{340}$
Quecksilber ^o)	0,018018	$\frac{1}{55}$

Lineare Ausdehnungen

folgender Metalle vom Gefrier- bis zum Siedepuncte, die Stange von einer Toise Länge.

Eisen	1,054 Linien.
Messing	1,630 "
Zink	2,539 "
Quecksilber	15,658 "

Hiernach ergibt sich für einen Zoll eine Ausdehnung von

Eisen	0,0146 Linien.
Messing	0,0226 "
Zink	0,0352 "
Quecksilber	0,2172 "

35. Glas erleidet beinahe die nemliche Ausdehnung als Platina, und dehnt sich mehr oder weniger aus nach den verschiedenen Theilen woraus es zusammengesetzt ist. Auch ist zu erwähnen, daß dieselben Metalle nicht immer genau den nemlichen Grad von Ausdehnung haben. Messing zum Beispiel dehnt sich mehr oder weniger aus nach dem größern oder geringern Antheil Zink, welches dem Kupfer beigemischt ist. Eisen soll sich mehr oder weniger nach seinen verschiedenen Graden der Reinheit ausdehnen. Dieß gilt von allen Metallen, und man sieht demnach, daß es, um eine vollkommene Compensation zu erlangen, nicht hinreichend ist, direct die Regeln zu befolgen, welche man durch die Dilatationstafeln festsetzen kann; aber daß es durchaus nothwendig ist, die Compensation durch Versuche zu berichtigen.

^o) Die Kenntniß von der Ausdehnbarkeit der hier angezeigten Metalle ist für den Uhrenbau hinreichend; die Dilatationstafeln in dem Lehrbuche der Physik von Biot, und in dem chemischen Wörterbuche von Ure enthalten die Dilatationsverhältnisse einer sehr großen Anzahl Metalle.

36. Die Metalle dehnen sich aus oder verdichten sich nach Verhältniß ihrer Länge. Ein Metallstab, dessen Länge drei Fuß, die Breite und Dicke eine Linie ist, dehnt sich bei gleichem Wärmegrade an Länge weder mehr noch weniger aus als ein anderer Stab von derselben Länge aber von doppelter oder dreifacher Stärke; allein die größere Stärke widersteht längere Zeit dem Einfluß der Temperatur.

37. Wenn man den Ausdehnungsgrad eines Stabes von gegebener Länge kennt, so ist es leicht den Grad der Ausdehnung eines Stabes zu finden, welcher von dem erstern an Länge verschieden ist.

Nimmt man die Länge eines Stabes zu 40 Zoll an, und die eines andern Stabes zu 50 Zoll, so wird, wenn die Ausdehnung des erstern 0,55 Linie beträgt, der Ausdehnungsgrad desjenigen von 50 Zoll durch folgende Proportion gefunden:

$$40 : 50 = 0,55'' : x$$

$$x = \frac{50 \times 0,55}{40} = \frac{5 \times 0,55}{4} = 0,6875''.$$

38. In dem folgenden Artikel wird man den Einfluß der Temperatur auf das Pendel sehen. Das, was wir über den Einfluß der Temperatur sagen werden, genügt, um die nöthigen Regeln zur Compensation zu bestimmen.

Zweiter Artikel.

Vom Einfluß der Wärme und Kälte auf das Pendel und auf das Zeitmaaß durch das Pendel und der Compensation. — Vom Pyrometer und von der Art die Pendelprobe in dem Pyrometer zu machen. — Von dem Quecksilberpendel.

39. Aus dem vorhergehenden Artikel ist bekannt, daß die Temperatur im Allgemeinen auf die Metalle Einfluß hat; folglich das Pendel durch Wärme sich verlängert und durch Kälte verkürzt. Die Temperatur ändert sich fortwährend, und diese stete Veränderung ändert beständig die Lage des Pendels. Die Dauer der Vibrationen hängt von der Länge des Pendels ab, und wenn diese letztere sich ändert, so wird auch die Zeit der Vibrationen geändert. Im Sommer verlängert sich das Pendel und macht weniger schnelle Schwingungen; im Winter hingegen verkürzt es sich und die Schwingungen werden schneller. Die Erfahrung hat uns der Vernunft gemäß von dieser Wahrheit überzeugt.

40. Die Veränderung in der Länge des Pendels ist indessen nicht groß genug, um der Genauigkeit des Zeitmaaßes beträchtlich zu schaden, und die Pendel, welche man in Uhren anwendet, die zum Gebrauch des gemeinen Lebens bestimmt sind, bedürfen keiner Compensation, um so mehr, weil die gemeinen Uhren sich meistens in einer sehr wenig veränderten Temperatur befinden. Astronomische Uhren hingegen, welche eine strenge Genauigkeit haben müssen, machen eine genaue Compensation durchaus erforderlich. Man hat gefunden, daß in unseren Klimaten eine Pendeluhr, welche in der Kälte des Winters reguliert wurde, während der Wärme im Sommer auf 20 Secunden und mehr in einem Tage nachgeht, und daß im Gegentheil eine Uhr, während des Sommers bei derselben Wärme reguliert, im Winter eben so viel voreilt. Die Compensation ist also unerläßlich.

41. Man erlangt diese Compensation, indem man die Pendelstange aus zwei Metallen von sehr verschiedener Ausdehnbarkeit zusammensetzt, und indem man sie so verbindet, daß die Wirkung der

Temperatur auf das Eine diese nemliche Wirkung auf das andere Metall aushebt: so daß der vibrirende Körper oder die Pendellinse, oder um sich genauer auszudrücken, der Schwingungsmittelpunct des Pendels allezeit in einer gleichen Entfernung von der Aufhängungsachse bleibe. Es würde nutzlos sein, bei Beschreibung der weniger vollkommenen Mittel zur Compensation zu verweilen, welche in Anwendung gebracht worden sind; daher will ich sofort zur Beschreibung des Compensationspendels übergehen, welches ich in meinen neuern astronomischen Uhren angewendet habe.^{*)}

42. Tafel II, Fig. 1. stellt das Compensationspendel dar; a a sind zwei Stäbe von Eisen, welche an ihren Enden mit zwei Messingstücken b b und c c durch genügend starke Stifte, welche hindurch gehen, fest verbunden sind; d und d sind zwei an den beiden Messingstücken b b und c c befestigte Zinkstäbe. Die beiden Stäbe a a durchdringen das Stück c c, und die in dieses Stück gemachten Passagelöcher sind groß genug, damit die Bewegung der Stäbe daselbst frei von Statten gehen könne. Der mittlere Stab, dessen oberes Ende den Aufhängebalken trägt, ist von Eisen, und geht ohne Bälottement frei durch das obere Messingstück b b. Das untere Ende dieses Stabes tritt in ein Rohr aus Messing, welches besser in Fig. 2. zu sehen ist. Dieses Rohr ist mit seinem untern Ende auf das Messingstück c c Fig. 1. durch eine Schraube befestiget. Der mittlere Stab geht in diesem Rohr fast bis zu dem Stück c c herab, d. h. ungefähr bis zu $\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung von c c, und ist in der Mitte des Rohrs durch einen Nagel m, Fig. 2. befestiget. Dieser Nagel hat einen Hühnerkopf, und geht mittels der Löcher, welche in das Rohr und in den Stab gebohrt sind, zugleich durch das Rohr und den Eisenstab hindurch.

Die Linse L, welche man durch die Schraube n erhöhen und senken kann, wird von c c durch einen starken Stift getragen, welcher so wohl c c als auch die Stange der Linse durchdringt. Man würde auch die Stange in c c durch eine Schraube befestigen können, was dasselbe wäre; p Fig. 1., welches Fig. 3. noch deutlicher zeigt, ist ein kleines Gewicht, welches man nach Belieben längs der Stange von der Mitte auf und abschieben kann.^{**)} Es ist jetzt leicht, die Wirkungen dieses Pendels zusammen zu fassen. Indem man annimmt, daß die Wärme auf das Pendel Einfluß hat, so ist einleuchtend, daß das Stück c c vom Aufhängepuncte des Pendels herabgeht oder sich entfernt; denn der mittlere Stab sowohl als das Messingrohr verlängert sich durch die Wärme. Die auf dem Stück c c und auf b b befestigten Zinkstäbe verlängern sich ebenso durch die Wärme, und bewirken durch

*) Die Compensationsmethode welche ich beschreiben will, ist in einem astronomischen Pendel in Anwendung gebracht worden, das ich auf Befehl des Königs ausgeführt habe, und womit Sr. Majestät geruhet dem Officier Herrn v. Falkon in Wien ein Geschenk zu machen. Da diese Uhr gewiß diejenige ist, für welche ich sowohl in Hinsicht der Ausführung als in der Wahl der Grundsätze zur Construction doppelte Sorge getragen habe; so glaube ich nicht besser thun zu können, als hier die Compensationsart zu beschreiben, welche dabei angewendet wurde. Man wird aus der Beschreibung sehen, daß ich ein einfaches und sicheres Mittel in Anwendung gebracht habe, durch welches der Astronom die Compensation selbst vollkommen machen kann, ohne das Pendel aus seiner Lage zu bringen, und fast ohne den Gang der Uhr zu stören.

**) Dieses Gewicht hat mit der Compensation nichts gemein; seine Bestimmung ist, durch dieses Mittel die Uhr näher nach mittlerer Zeit oder Sternzeit regulieren zu können, als mittels der Schraube, wie davon in der Folge dieses Werkes Erwähnung gethan wird. Diese Idee verdanken wir Huyghens dem Erfinder der Pendeluhren; er hat sie in seinem *Horologium oscillatorium* (*Opera varia*, Lugduni, 1724, Tome I. pag. 46) bekannt gemacht; sie ist einfach, sie ist glücklich.

ihre größere Ausdehnung, daß das Stück bb weit mehr steigt, als ee herabgegangen ist; aber die Verlängerung der beiden Stäbe aa und des Riegels, welcher die Linse durchdringt, macht das Stück cc und die Linse L herabgehen. Der obere Theil derselben steigt durch die Wärme; denn der untere Rand auf die Schraube n sich stützend, kann nicht herabgehen, so daß die Ausdehnung dieser Linse von unten nach oben statt findet. Durch Kälte finden die entgegengesetzten Wirkungen statt.

43. Nimmt man nun an, daß die Summe der Ausdehnung beider Zinkstäbe und der Linse gleich ist der Summe der Ausdehnung des Stabes in der Mitte und der beiden Stäbe aa , so ist einleuchtend, daß der Schwingungsmittelpunct des Pendels, während des Einflusses der Wärme, die nämliche Entfernung vom Aufhängepuncte des Pendels behält, und daß die Compensation eben so genau ist, als sie während der Kälte durch die entgegengesetzten Wirkungen sein würde.

44. Die hier angezeigten Dimensionen sind diejenigen, welche für eine genaue Compensation geeignet sind; indem man den mittleren Stab seiner ganzen Länge nach vom Aufhängepuncte bis zu ee von Eisen voraussetzt, und vom Messingrohr abstrahirt:

Ganze Länge des mittleren Eisenstabes worunter die Aufhängefeder mit begriffen ist	35 Zoll. — Lin.
Länge eines jeden Eisenstabes aa , von einem Stifte bis zu dem andern	23 — —
Länge des die Linse durchdringenden Riegels von cc bis zur Schraube, welche die Linse trägt	7 — 6 —
Länge der Zinkstäbe von einem Stifte bis zu dem andern	22 — 3 —
Distanz vom Stützpunkte der Linse nahe bei der Schraube, bis zum Schwingungsmittelpuncte, sehr nahe von	5 — 3 —

45. Folgende Berechnung wird die Nichtigkeit der hier angezeigten Dimensionen erweisen. Wenn man die Länge des mittleren Stabes mit denen der Stäbe aa und des die Linse durchdringenden Riegels zusammen addirt, so wird man haben $35 + 23 + 7\frac{1}{2} = 65\frac{1}{2}$ Zoll. Indem man die 5 Zoll 3 Linien der Linse von der Schraube bis zum Schwingungsmittelpuncte des Pendels mit der Länge der Zinkstäbe zusammen addirt, so wird man haben $22\frac{1}{2} + 5\frac{1}{2} = 27\frac{1}{2}$ Zoll, deren Ausdehnung die der $65\frac{1}{2}$ Zoll Eisen compensiren soll.

Wir wissen, daß die Ausdehnung des Eisens ist:	0,001220 oder $\frac{1}{819}$
die des Zinkes	0,002942 oder $\frac{1}{340}$
und die des Bleies	0,002848 oder $\frac{1}{351}$

Indem aber die Stäbe von Zink sind, und das Innere der Linse aus Blei besteht, so muß man die mittlere Ausdehnung dieser beiden Metalle durch Rechnung finden nach dem Verhältniß des Zinkes, welches hier 22 Zoll 3 Linien ist, und des Theils der Linse, welcher in die Berechnung der Compensation kommt, und welcher 5 Zoll 3 Linien beträgt, und man wird zum mittlern Gliede beider Ausdehnungen $\frac{1}{347}$ erhalten, welcher Bruch als Grundlage zur Berechnung der Compensation dienen kann. Diese zu finden, wenn das Verhältniß der Dimensionen richtig ist, sage man: die Ausdehnung des Eisens ist $\frac{1}{819}$, und die des Zink und Bleies $\frac{1}{347}$, folglich verhält sich die Ausdehnung des Zinkes und Bleies zu der des Eisens wie 819 zu 342, was uns folgende Proportion giebt:

$$819 : 342 = 65\frac{1}{2} : x$$

$$x = \frac{342 \times 65\frac{1}{2}}{819} = 27\frac{1}{2} \text{ Zoll.}$$

46. Man sieht also, daß zwischen den (§. 44.) angezeigten Dimensionen (wo die Summe der Länge des Zinkes und der $5\frac{1}{2}$ Zoll der Linse in Allem $27\frac{1}{2}$ Zoll macht), und denen welche wir durch Rechnung erhalten haben, die Differenz nur $\frac{1}{4}$ Zoll beträgt, was für ein Pendel, Null ist, und welches seine größte Präcision nur erlangt, nachdem es den Pyrometerversuchen unterworfen und nach denselben berichtigt worden ist. Ueberdies ist der Einfluß von $\frac{1}{4}$ Zoll mehr langen Zinkes ganz gering, und bewirkt am Pendel, nach der (§. 34.) angezeigten linearen Ausdehnung, bei 40 Grad Temperaturveränderung, eine Verkürzung von 0,0025 oder $\frac{1}{40000}$ Linie. Wir wissen sowohl durch Rechnung als durch Erfahrung, daß $\frac{1}{10}$ Linie Veränderung in der Pendellänge im Gange der Uhr binnen 24 Stunden eine Veränderung von einer Secunde bewirkt, folglich wird die Veränderung von 0,0025, oder von $\frac{1}{40000}$ Linie der Pendellänge nur $\frac{1}{4}$ Secunde in 24 Stunden, bei einer ebenso beträchtlichen Veränderung als die von 40 Graden, betragen.

47. Es ist hier der Ort von dem Gebrauch des Messingrohrs Rechenschaft zu geben, welches ich am Compensationspendel angewendet habe, und von dem Vortheil den dieses Rohr darbietet, um eine streng genaue Compensation erlangen zu können.

Dieses Rohr ist in der Berechnung der Compensation durchaus nicht betheiligt, und der Stab ist bis zu dem Stück e e von seiner ganzen Länge angenommen worden. Es ist klar, daß die Compensation gar zu schwach gewesen wäre, wenn das Rohr, oder nur ein Theil desselben an der Ausdehnung Theil gehabt hätte; denn, da Messing eine größere Ausdehnbarkeit hat als Eisen, so würden in diesem Falle die Zinkstäbe zur gehörigen Compensation nicht die erforderliche Länge gehabt haben. Um also vom Messingrohr Gebrauch machen zu können, muß man den Zinkstäben nothwendig mehr Länge geben als die (§. 44.) für ein Pendel ohne Rohr angezeigten 22 Zoll 3 Linien.

48. Hier die Dimensionen eines Compensationspendels mit Messingrohr: die Linse von 7 Zoll Durchmesser, wovon man sehr angenähert von der Schraube bis zum Schwingungsmittelpuncte rechnen kann, daß die Compensation Theil hat 5 Zoll 3 Linien.
 die Zinkstäbe, jeder 24 " — "
 die Eisenstäbe a a, jeder 24 " 9 "
 der Mittelstab mit Inbegriff der Aufhängungsfeder 35 " — "
 das Messingrohr 12 " — "
 der Riegel, welcher durch die Linse geht 7 " 6 "

Da aber der mittlere Eisenstab mitten in der Länge des Messingrohrs befestiget ist, nemlich 6 Zoll von der Schraube entfernt, so werden die Längen, welche als Basis zur Berechnung der wahren angezeigten Dimensionen dienen, 29 Zoll von Eisen und 6 Zoll von Messing = 35 Zoll für die ganze Länge dieses mittleren Stabes sein, worunter die Aufhängungsfeder mit begriffen ist.

49. Um die Richtigkeit dieser Dimensionen durch Rechnung zu rechtfertigen, sage man: die ganze Länge der Stäbe und des Riegels, welcher die Linse durchdringt, und den Schwingungsmittelpunct des Pendels herabgehen machen, ist 29 Zoll + 24 Zoll 9 Linien + 7 Zoll 6 Linien = 61 Zoll 3 Linien aus Eisen, und die Länge des messingnen Theils des Rohr 6 Zoll. Die Zinkstäbe, welche den Schwingungsmittelpunct des Pendels steigen machen, sind 24 Zoll lang, und der Theil der Linse, welcher diese nemliche Wirkung hervorbringt, ist 5 Zoll 3 Linien von Blei, was in Allem 29 Zoll und 3 Linien von Zink und Blei macht. Wenn die Ausdehnung von 61 Zoll 3 Linien Eisen und 6 Zoll Messing

gleich der Ausdehnung von 24 Zoll Zink und 5 Zoll 3 Linien Blei ist, so ist die Compensation gut, und die angezeigten Dimensionen sind geeignet.

Um sich derselben zu versichern, sage man:

Die Ausdehnung von 61 $\frac{1}{2}$ Zoll Eisen läßt sich ausdrücken durch	$\frac{61,25}{819}$
Die von 6 Zoll Messing durch	$\frac{6}{533}$
Die ganze Ausdehnung ist demnach	$\frac{61,25}{819} + \frac{6}{533}$ für

67 $\frac{1}{2}$ Zoll; man addire diese beiden Brüche, dividire die Summe durch 67 $\frac{1}{2}$, und man findet nach der Reduction einen Bruch, welcher zum Zähler die Einheit und zum Nenner 781,6 hat.

Man mache so fort eine ähnliche Operation für die Ausdehnung des Zinks und des Bleies, und sage:

Die Ausdehnung von 24 Zollen Zink läßt sich ausdrücken durch	$\frac{24}{340}$
Die von 5 $\frac{1}{2}$ Zoll Blei durch	$\frac{5,25}{351}$
Die gesammte Ausdehnung dieser 29 $\frac{1}{2}$ Zoll Zink und Blei durch	$\frac{24}{340} + \frac{5,25}{351}$

Diese beiden Brüche addirt und durch 29,25 dividirt, geben einen Bruch, welcher nach der Reduction die Einheit zum Zähler und 341,9 zum Nenner haben wird.

Nachdem man diese beiden Zahlen 781,6 und 341,9 gefunden hat, wird man folgende Proportion haben:

$$781,6 : 341,9 = 67,25 : x$$

$$x = \frac{341,9 \cdot 67,25}{781,6} = 29,44.$$

Diese Zahl 29,44 drückt die Länge aus, die der Zink und das Blei haben soll, um die Berechnung einer vollkommenen Compensation zu bewirken. Die Differenz, welche zwischen der (§. 48.) angezeigten Dimension des Bleies und Zinkes von 29,25 Zollen, und der durch Rechnung gefundenen von 29,44 Zollen, ist also:

$$29,44 - 29,25 = 0,19 \text{ Zoll};$$

was so viel sagen will, als: die Zinkstäbe sind um $\frac{1}{5000}$ Zoll zu kurz. Nach der Tabelle linearer Ausdehnungen wissen wir daß ein Zoll Zink bei 80 Grad Raum. sich um 0,0352 Linien, oder bei 40 Graden um 0,0176 Linien ausdehnt; und folglich für 0,19 Zoll Zink wird dieß eine Ausdehnung von 0,0033 Linien geben. Diese Verlängerung wird die Uhr binnen 24 Stunden bei 40 Grad Temperaturveränderung um 0,33 oder $\frac{1}{3}$ Secunde nachgehen machen.

50. Dieses Nachgehen von $\frac{1}{3}$ Secunde binnen 24 Stunden für 40 Grad Temperaturveränderung ist fast Null. Indessen kann man dieß mittels des Messingrohrs noch vermeiden. Wir wissen, daß der in der Mitte des Pendels befindliche Eisenstab in der Mitte des Rohrs durch den Nagel befestiget ist, welcher durch das Rohr und den Stab geht, und daß folglich die Ausdehnung des Mittelstabes aus 29 Zoll Eisen und 6 Zoll Messing (§. 48.) besteht. Nehmen wir in der That an, daß der

Stab auf dem Rohre bei einem Drittel seiner Länge oder bei 4 Zoll Abstand vom Stück e e befestiget wird; alsdann wird die Ausdehnung im Verhältniß von 31 Zoll Eisen und 4 Zoll Messing stehen, d. h., es wird die Ausdehnung von 2 Zoll Eisen größer aber auch die von 2 Zoll Messing kleiner sein.

Aus der Tafel für lineare Ausdehnungen (§. 34) sehen wir, daß ein Zoll Eisen sich ausdehnt um 0,0146 Linien
und daß ein Zoll Messing sich ausdehnt um 0,0226 "

Oder folglich die Differenz der Ausdehnungen für einen Zoll bei einer Veränderung von 80° R. ist 0,0080 "

Und diejenige von 2 Zoll 0,0160 "

Dieß macht für 2 Zoll, wenn die Temperaturveränderung 40 Grad R. ist . . 0,0080 "

Da der Nagel in der Mitte des Rohrs, oder 4 Zoll von e e, oder in 2 Zoll Entfernung von der Mitte des Rohrs befestiget ist, so verkürzt sich das Pendel

durch die Wärme um 0,0080 Linien — 0,0033 = 0,0047 Linien.

Es giebt folglich zwischen der Mitte des Rohrs und dem Drittel desselben einen Punct, wo die Compensation streng genau ist.

Um den Punct zu finden, bis zu welchem man den Nagel von der Mitte des Rohrs entfernen muß, damit die Compensation nach der Berechnung vollkommen werde, sage man:

die Ausdehnung von 1 Zoll Messing bei einer Veränderung von 80 Grad R. ist . . 0,0226 Linien

diejenige von 1 Zoll Eisen und derselben Veränderung 0,0146 "

Der Unterschied der Ausdehnung von 1 Zoll Messing und derjenigen von 1 Zoll Eisen ist folglich 0,0080 "

Aber für eine Thermometerveränderung von 40 Gr. Reaum., wird die Differenz der Ausdehnung nur die Hälfte sein, oder 0,0040 "

Nun ist aus Paragraph 49 bekannt, daß das Pendel den sehr kleinen Werth von 0,0033 Linien compensirt; und um zu finden, wie viel der Nagel fallen oder e e genähert werden soll, um eine vollkommene Compensation zu bewirken, rechne man folgender Maassen: der mittlere Stab dehnt sich 0,0040 Linie weniger aus, wenn man den Nagel einen Zoll fallen läßt, wie viel muß man ihn fallen lassen, damit für denselben mittleren Pendelstab die Ausdehnung 0,0033 Linie betrage? das heißt:

$$0,0040 \text{ Linie: } 1 \text{ Zoll} = 0,0033 \text{ Linie: } x.$$

$$x = \frac{1 \text{ Zoll} \times 0,0033}{0,0040} = 0,828 \text{ Zoll oder in gemeinen Brüchen } \frac{33}{40} \text{ Zoll.}$$

Um nach der Rechnung eine genaue Compensation zu erlangen, müßte man folglich den Nagel des Loches von der Mitte des Rohrs um $\frac{33}{40}$ Zoll entfernen, und die Distanz zwischen e e und diesem Nagel würde folglich $5\frac{7}{40}$ Zoll sein.

51. Der Rechnung zu Folge giebt es also eine vollkommene Compensation; aber sie ist nicht sicher; nichts desto weniger würde man bei Anwendung dieses Pendels in einer Uhr einen völlig gleichen Gang in der stärksten Kälte und Wärme erhalten; denn, wie wir (§. 35) bemerkt haben, ist man nicht ganz sicher, daß die angewandten Metalle sich streng in dem Verhältniß ausdehnen, welches nach Anzeige der Ausdehnungstafel, als Basis zur Berechnung gedient hat.

52. Es ist folglich nothwendig die Compensation durch Pyrometerversuche zu untersuchen; und wenn man fände, daß dieselbe nicht so genau wäre, als sie die Rechnung anzeigen würde: so wäre es

leicht durch das Messingrohr nachzuhelfen, und zu diesem Zweck ist es geeignet, dasselbe sowohl als den Eisenstab, oberhalb und unterhalb der Stelle, wo der Nagel der Rechnung nach befestiget ist, mit einer großen Anzahl Löcher zu versehen. Wenn das Pendel nach dem Pyrometer zu wenig compensirt wäre, so brauchte man nur den Nagel zu senken; wenn es hingegen zu sehr compensirt wäre, würde man den Nagel erhöhen müssen.

Je näher die Wechsellöcher einander sind, um so mehr kann man eine vollkommene Compensation erreichen. Wenn zehn Löcher in den Umfang eines jeden Zolles gebohrt wären, so würden die Löcher $\frac{1}{10}$ Zoll von einander entfernt sein, und die Vermehrung oder Verminderung der Compensation, welche man erreichen könnte, indem man den Nagel, welcher den Stab und das Rohr durchdringt, in ein Nebenloch steckte, würde 0,004: 10 oder 0,0004 Linien sein, was in dem Gange der Uhr binnen 24 Stunden bei 40 Grad Temperatur-Veränderung 0,04 oder $\frac{1}{25}$ Secunde betragen würde.

53. Bevor ich zu dem Verfahren, die Richtigkeit der Compensation eines Pendels am Pyrometer zu untersuchen, übergehe, muß ich bemerken, daß es nutzlos wäre, Versuche über diesen Gegenstand anzustellen, wenn nicht hinsichtlich der Festigkeit der Construction dieses wichtigen Theils einer astronomischen Uhr vorher alle Vorsicht getroffen worden wäre. Ueberhaupt ist es das Senken, welches bei den Zinkstäben Statt haben kann, worauf man seine Aufmerksamkeit richten muß; dieselben tragen die ganze Last der Linse, welche wenigstens zwölf Pfund beträgt, und wenn diese Stäbe nicht die gehörige Stärke hätten, so könnten sie sich entweder senken oder biegen; denn Zink hat nicht die Härte und Festigkeit des Eisens. Die Erfahrung hat mich gelehrt, daß es schicklich ist den Zinkstäben ziemlich die doppelte Stärke der Eisenstäbe zu geben; indem man diejenigen von Eisen zu 3 Linien Durchmesser annimmt, ist es dienlich den Zinkstäben 5 bis $5\frac{1}{2}$ Linie Durchmesser zu geben, und folglich wird kein Biegen oder Senken zu befürchten sein. Nothwendig müssen auch die Stifte, welche die Zinkstäbe mit den beiden Stücken e e und c c verbinden, gehörige Stärke fast $1\frac{1}{2}$ Linie im Durchmesser haben, und in der ganzen Länge (Tiefe) der Löcher aufliegen; denn ohne diese Vorkehrung würde man Gefahr laufen, daß das Gewicht der Linse dieselben nicht hinderte sich in den Zink zu vertiefen oder die Masse zusammen zu drücken, was in dem Pendel allmählich eine genugsam merkliche Verlängerung verursachen, und so die Quelle hinreichend beträchtlicher Störungen in dem Gange der Uhr sein würde. *) Die Methode, die Zinkstäbe durch Stifte zu befestigen, welche die Stäbe und Stücke durchdringen die sie enthalten, ist die gebräuchliche; indessen ist es einleuchtend, daß man besser die Stücke e e und b b in Löcher bringt, welche am Boden platt sind, und die Enden der Zinkstäbe so eintreten macht, daß das ebene Ende derselben in allen Punkten auf dem flachen Boden ruht.

Nach dieser Methode erhielt man an den Enden der Zinkstäbe Flächen von hinreichender Größe, um durch die Last der Linse nicht comprimirt werden zu können. Auf gleiche Weise wäre es noth-

*) Die Erfahrung hat mich genugsam überzeugt, wie nothwendig es ist, starke Stifte anzuwenden und sie noch so zu machen, daß dieselben in allen Punkten und in der ganzen Länge der Löcher im Zink tragen. Mein erstes Compensationspendel, welches ich einige Tage nach einander in dem Pyrometer gelassen habe, verlängerte sich von Tag zu Tag um eine sehr kleine Größe; aber nichts destoweniger war eine vollkommene Regelmäßigkeit dieses Pendels zu hoffen. Nach einiger Ueberlegung fand ich die Ursache des Uebels. Ich machte die Löcher $1\frac{1}{2}$ Linie groß, und gab den Stiften die nämliche innere Form, wonach das Pendel seine Länge nicht änderte.

wendig Stifte zu haben, welche die Stücke *b b* und *e e* so wie die Zinkstäbe durchdringen, aber einzig und allein zu dem Zweck, die einzelnen Theile des Pendels zu hindern, daß sie sich trennen; diese Stifte müßten kleiner sein als die Löcher in den Zinkstäben; denn durch dieses Mittel wäre man versichert, daß die Stabenden bis zu dem Boden der Löcher frei hineingingen, wenn das Pendel in seiner Ruhe wäre.

Es ist fast nutzlos zu bemerken, daß der Niegel, welcher die Linse durchdringt, mit dem Stück *e e* fest verbunden sein muß. Der Haken, welcher das Pendel der Aufhängungsfeder zu unterwerfen dient, muß eben so fest mit dem obern Schraubenende des mittleren Eisenstabes verbunden sein, und der Stift, welcher den untern Theil der Aufhängungsfeder durchdringt, und welcher den Haken und das Pendel trägt, muß genügend stark und fest sein, um durch das Gewicht des Pendels nicht gebogen zu werden. Die Linse muß sich frei aber ohne einiges Walottement längs des Niegels bewegen können.

Nachdem man diese Vorkehrungen getroffen hat, kann man die Compensation untersuchen, indem man das Pyrometer gebraucht, dessen Beschreibung jetzt folgen soll.

Beschreibung eines Pyrometers die Compensation eines Secundenpendels zu prüfen.

54. Das Pyrometer, welches ich construirt habe, und dessen ich mich zur Untersuchung der Richtigkeit der Compensation der Pendel bedient habe, stimmt in den Grundsätzen mit dem von Ferdinand Berthoud wesentlich überein.^{*)} Doch ist es von dem seinigen in mehrer Hinsicht verschieden und besonders darin, daß ich zwei Stützen aus Stein anwende um die Niegel zu tragen, welche die Distanz der Aufhängung des Pendels vom Schwingungsmittelpuncte desselben bestimmen. Durch dieses Mittel wird das Instrument weit fester und sicherer als das mit einer Stütze, wovon man nach Vergleichung beider Methoden nichts zu befürchten hat. Dies hat mich veranlaßt den Gebrauch zweier Stützen vorzuziehen. Ich gestehe übrigens, daß dieses Instrument wenig gerignet sein mag die Ausdehnungsverhältnisse der Körper streng genau zu finden; aber man muß bedenken, daß dies nicht mehr der Zweck ist, den man bei dem Pyrometer erlangen will, welches nur construirt ist, um ein Compensationspendel, bei einer sehr großen Temperaturveränderung von 35 Graden Reaum. zu prüfen, und das ist es, was dieses Instrument in einem Grade thut, daß nichts mehr zu wünschen übrig bleibt.^{**)}

55. Fig. 7. Tafel I. stellt das Pyrometer dar; *a a* sind zwei Stützen aus Stein, welche von den Holzfüßen *b b* getragen werden; *c c* und *d d* sind zwei Niegel aus Eisen, von 3 Fuß Länge, 2 Zoll Breite und $\frac{3}{4}$ Zoll Dicke. Diese Niegel werden von den Stützen getragen und gehen in Löcher, welche in den Stein geschnitten sind; von der Mitte eines Niegels bis zu dem andern gerechnet, sind sie $440\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt. *A B* ist eine Büchse aus Holz von ungefähr 10 Zoll innerer

*) Das Pyrometer von Ferdinand Berthoud findet man beschrieben in seinem Werke Essai sur l'Horologie Tom. 2, chap. XIX.

**) Es sind ungefähr 11 Jahre, daß ich dieses Instrument construirt habe, und nachdem ich es ausgeführt, hatte ich bei mir ein altes astronomisches Pendel des Observatoriums, nach einem andern von Mudge und Dutton construirt, und genau nach den Dimensionen der Compensation copirt. Ich nahm an, daß die Compensation darin nicht ganz genau wäre, und prüfte es am Pyrometer, welches zeigte, daß bei einer Veränderung von 35 Grad Reaum. der Kälte und Wärme, das Pendel um 0,05 Linie länger wurde; was ein Zurückbleiben von 5 Secunden per Tag annehmen ließ, wenn die Uhr während der Winterkälte regulirt war. Ich entdeckte dann mit vieler Zufriedenheit, daß das Resultat den astronomischen Beobachtungen entsprach, nach welchen der Gang geprüft worden war.

Tiefe, welche an dem obern Theile A ein Glasrohr, und an dem untern Theile B ein anderes Rohr trägt; die Seiten des obern Theiles dieser Büchse sind für den Gang der Eisenriegel durchbohrt, und die Löcher sind länger und breiter als die Riegel, damit dieselben ohne das Holz zu berühren frei durchgehen können; vier Holzplatten sind innerhalb mit Tuch besetzt und den gegen die Seiten der Büchse leicht drückenden Riegeln angepaßt, um daselbst den Zutritt der äußern Luft zu verhindern. Der untere Theil B der Büchse ist etwas breiter als der obere, und die innere Höhe derselben ist beinahe 12 Zoll.

Dieser Theil der Büchse ist innerlich mit Blech beschlagen, ebenso wie die innere Seite des Rohres B. Zwischen dem Theile A und dem Theile B der Büchse befindet sich ein Boden, in welchem vier Löcher von $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser in den Ecken der Büchse gebohrt sind, ein anderes Loch befindet sich auf der Mitte des Bodens von 3 bis 4 Zoll Länge auf $2\frac{1}{2}$ Zoll Breite; durch dieses Mittel kann die Wärme, wenn man den untern Theil der Büchse erhitzt, sich dem obern Theile mittheilen.

In der Mitte des obern Riegels c c ist ein hinreichend großes Loch gebohrt, in welchem ein Aufhängungs-Support, ähnlich dem Tafel I. Fig. 5. dargestellten, befestiget ist, so daß das Pendel, welches man untersuchen will, und welches man daselbst aufhängt, sich zwischen dem Riegel und dem Boden des Gehäuses befindet. Die Pendellinse befindet sich ebenso zwischen dem Riegel d d und dem Boden des Gehäuses, und ist beinahe $\frac{3}{4}$ Zoll von dem Riegel entfernt. Der Schwingungsmittelpunct des Pendels, welcher in dem obern Halbmesser der Linse liegt, ist genau in der Mitte des Riegels, denn wir haben die Distanz zwischen beiden Riegeln zu $440\frac{1}{2}$ Linie angenommen, welches die einfache Pendellänge, und folglich die Distanz des beweglichen Punctes der Aufhängungsfeder oder der Aufhängungsachse am Schwingungsmittelpuncte des Pendels ist.

Das Zifferblatt e, welches man im Innern des Gehäuses A B Fig. 7. sieht, zeigt mittels des Zeigers, welcher dasselbe durchläuft, an, wenn das Pendel durch Wärme oder Kälte sich verlängert oder verkürzt. Dieses Zifferblatt wird von einer Platte getragen, welche man besser Tafel II. Fig. 4. sieht; diese Platte ist auf dem untern Riegel des Pyrometers durch zwei Schrauben befestiget, welche die in den Riegel gemachte Oeffnung durchdringen und wovon die Enden in die Schraubenlöcher der Platte gehen. Der Hebel a b ist quadratisch, und an einer Achse befestiget, von welcher der eine Zapfen in der Platte, und der andere in einem Kloben geht. Der Hebel wirkt auf einen Rechen c, wie ihn die Zeichnung anzeigt, und dieser greift am Mittelpuncte des Zifferblattes in einen Trieb. Dieser Rechen und dieser Trieb bewegen sich um Zapfen von geeigneter Größe, und werden durch Kloben gehalten. Der Zapfen des Triebes, welcher das Zifferblatt durchdringt und hinreichend lang ist, um den Zeiger und eine lange cylindrische Spirale zu tragen, wirkt auf der Achse des Triebes gehörig angebracht, so, daß der Stiel des Rechens mit seinem Knopfe e beständig auf den Hebel l sich stützt. Dadurch folgt der Rechen genau allen Bewegungen von b, welches durch das Gewicht des Armes a, immer vom Stiel des Rechens sich entfernt, wenn die Spiralfeder durch ihre Spannung nicht geschickt ist, den Knopf e gegen den Hebel wieder zurück zu bringen.

Der Hebel a b besteht aus zwei Stücken, welche auf der nämlichen Achse befestiget sind; das eine derselben ist beweglich, so daß, indem die Schraube d gelöst wird, man die Lage des Armes a in Beziehung auf den Hebel b nach Erfodern verändern kann. Der Construction dieses Instrumentes gemäß, eilt der Zeiger voraus, wenn der Arm a herabgeht; hingegen bleibt der Zeiger zurück, wenn der Arm steigt. Der Hebel b, welcher von der Achse bis zu seinem Ende 5 Zoll Länge hat, ist zwei Mal länger als der Arm a, folglich durchläuft b an seinem Ende zwei Linien, wenn a eine Linie durchläuft;

der Halbmesser des gezahnten Theils des Ruchens c , ist drei Mal länger als der vom Mittelpuncte des Knopfes e bis zum Zapfen des Ruchens, weshalb die Bewegung des gezahnten Theils des Ruchens in Beziehung auf die des Knopfes e dreifach ist, und diese dreifache Bewegung des Ruchens mit der des Hebels b verdoppelt, macht, daß der gezahnte Theil des Ruchens sechs Linien durchläuft, wenn der Arm a um eine Linie herunter geht oder steigt. Wenn der Umfang des Triebes genau 6 Linien ist, so macht der Trieb für eine Linie Bewegung des Armes a einen Umgang, und wenn das Zifferblatt in 100 Theile getheilt ist, so zeigt jeder Theil eine Bewegung von $\frac{1}{100}$ Linie des Armes a an.

Verfahren die Pendelprobe in dem Pyrometer zu machen.

56. Um die Compensation in dem Pyrometer zu untersuchen, versichert man sich erst, daß es die gehörige Länge habe, damit es seine Vibrationen in einer Zeitsecunde vollende. Dieß geschieht dadurch: man bohret ein Loch in den Schwingungsmittelpunct, welcher, wie wir schon gesagt haben, $440\frac{1}{2}$ Linie vom Aufhängepuncte, um welchen das Pendel sich bewegt, oder von der Bewegungsachse entfernt ist; schlägt dann einen Stift in dieses Loch, und macht ihn von gehöriger Länge, damit er den Arm a des Hebels a, b tragen könne, welcher durch sein Gewicht auf den Stift sich stützt und der Bewegung desselben folgt. Alsdann setzt man das Pendel fast zwei Stunden lang der Kälte aus, und wenn der Versuch, wie es am besten ist, während des Winters in einer kalten Kammer gemacht wird, wählt man einen besonders kalten Tag, da das im Innern des Gehäuses aufgehängene Thermometer unter dem Gefrierpuncte steht. Wenn diese zwei Stunden verflossen sind, kann man rechnen, daß alle Theile des Pendels von der Kälte gleich durchdrungen sind, und man bezeichnet dann den Grad, auf welchen der Zeiger trifft. Ist dieß geschehen, so bringt man in das innere Gehäuse B zwei oder drei rothglühende Eisenkugeln und schließt die Oeffnungen des Gehäuses A, B sorgfältig. Die Wärme der Kugeln theilt sich dem Gehäuse mit und das Thermometer, welches darin angebracht ist, wird den erreichten Wärmegrad anzeigen. Während dieser Operation erhitzt man noch andere Kugeln, um die erstern zu ersetzen und fährt so fort, um zwei Stunden lang in dem Gehäuse eine gleiche Wärme zu unterhalten, damit alle Theile des Pendels von Wärme gut durchdrungen werden. Man observire alsdann den Zeiger vom Neuen, und wenn er sich auf dem nemlichen Theilpuncte als in der Kälte befindet, so kann die Compensation als genau angenommen werden. Wenn im Gegentheil der Zeiger voreilt, so ist dieß ein Beweis, daß das Pendel länger geworden und nicht genug compensirt ist; wenn er zurückbleibt, so ist das Pendel zu sehr compensirt. In diesen beiden Fällen hilft man dem Uebel durch den Nagel ab, welcher durch den Mittelsstab und das Rohr geht; wenn die Compensation zu stark ist, so macht man den Nagel höher; wenn sie zu gering ist, so senkt man ihn. Alsdann wiederholt man die Versuche und setzt dieselben Operationen fort, bis der Zeiger des Pyrometers den Ort nicht mehr ändert, weder, nachdem das Pendel von Kälte, noch, nachdem es von Wärme durchdrungen ist, und nur dann kann man es für einen ausgezeichneten Regulator halten. Ich muß bemerken, daß es gut ist sich zu versichern, daß die Steinspfeiler während der Versuche keine Temperaturveränderung erlitten haben, zu welchem Zweck die beiden Fig. 7. Tafel I, angezeigten Thermometer an den Steinspfeilern angebracht worden sind. Wenn diese Pfeiler während der Versuche nicht einerlei Temperaturgrad behielten, so könnte ihre Ausdehnung oder ihre Zusammenziehung fast unmerklich die Entfernung des Riegels e, e vom Riegel d, d verändern, und dieß würde die Versuche weniger genau machen, wie man leicht denken kann; wenn man aber während der Versuche in dem Zimmer worin das Pyrometer

sich befindet, die nämliche Temperatur zu erhalten sucht, so werden die Pfeiler auch dieselbe Temperatur und folglich dieselbe Länge behalten: um so mehr, als der Stein selbst weniger Ausdehnbarkeit hat, und als die Masse der Pfeiler zu stark ist, als daß eine geringe Temperaturveränderung in Verlauf einiger Stunden dieselben genugsam durchdringen könne um in der Länge einige Veränderung zu verursachen.

57. Um zur Beweisführung der Compensation die Pyrometerversuche anzustellen, setzen wir voraus, daß alle nöthigen Vorkehrungen in Beziehung auf die Einrichtung des Pyrometers getroffen worden sind, damit sie wenigstens nicht von dieser Seite die Ursache ungenauer Resultate sein könne. Eine dieser Vorkehrungen ist, den Eisenriegeln ihrer Länge nach in den Löchern der Pfeiler ein wenig Spiel zu gestatten, damit sie sich durch die Thätigkeit der Wärme frei verlängern können, ohne während ihrer Ausdehnung den Boden zu berühren, was die Pfeiler von einander entfernen würde. Auch muß der Support, welcher das Pendel trägt, solid und gut befestiget sein. Es ist schon (§. 55.) bemerkt worden, daß das Gehäuse die Riegel nicht berühren darf, und das ist es, warum man die Passage-Löcher weit größer als die Riegel macht; aber die Platten, welche sie bedecken und welche gegen die Seiten des Gehäuses leicht drücken, hindern die äußere Luft durch die Oeffnungen ein zu dringen.

Die Feuchtigkeit und Trockenheit, welche fortwährend das Holz ziehen machen, würden die Riegel nicht in einer gleichen und constanten Entfernung erhalten, wenn die Seiten des Gehäuses denselben Einfluß hätten. Eben so wesentlich ist es, alle mögliche Sorgfalt auf den Eingriff des Rades in den Trieb zu verwenden; die Zähne müssen vollkommen genau und sehr zahlreich sein. Der Mittelpunctstrieb kann 25 Stäbe haben, und folglich wird jeder Stab den Zeiger 4 Grade durchlaufen machen. Es ist beinahe überflüssig zu erwähnen, daß das Pyrometer auf einer festen und dauerhaften Unterlage ruhen muß.

58. Das so geprüfte Pendel muß fast den höchsten Grad von Vollkommenheit haben; indessen bestätigt nichts die strenge Genauigkeit besser als eine Vergleichung des Ganges der Uhr mit den Fixsternen bei verschiedenen Temperaturen. Wenn die Register des Ganges anzeigen, daß Wärme und Kälte noch einen geringen Einfluß auf den Regulator hätten, so könnte sich der Beobachter leicht selbst helfen. Zu diesem Zweck muß man das Pendel sogleich anhalten und den Hilfsstift (welcher der Uhr folgt) in eines der untern oder obern Löcher stecken, wo der Stift (Nagel) angebracht ist. Alsdann hebt man denselben aus den Loche worin er liegt, und hebt oder senkt ihn um ein oder zwei Löcher, je nachdem man es für gut befindet und drückt den Nagel stark genug in das Loch; alsdann nimmt man den Hilfsnagel weg, dessen unmittelbarer Zweck nur ist die einzelnen Theile des Pendels während der zu machenden Operation zu hindern, daß sie sich trennen. Der Beobachter kann also mit den Verbesserungen von Jahr zu Jahr fortfahren, bis daß der Gang der Uhr anzeigt, daß die Compensation vollkommen ist.

59. Das Compensationspendel welches hier beschrieben ist, ist unstreitig eins der einfachsten und sichersten, von denen man Gebrauch machen kann. Es giebt eine sehr große Anzahl Pendel-Compensationen, welche die Künstler angewendet haben. Diese Pendel bestehen entweder aus Hebeln oder zusammengesetzten Stäben (nach dem Princip der Compensationsunruhen), oder anders, aber die einen sind in ihrer Einrichtung sehr fehlerhaft, und die andern obschon besser, können darum dem hier in Rede stehenden nicht vorgezogen werden; und ich glaube daß Jeder die einfachen Mittel liebt, und wer die Sicherheit der Wirkungen zu beurtheilen weiß, welche man hervorbringen will, wird nicht zögern

ihre Vorzüglichkeit anzuerkennen. Indessen erfordert dieser Apparat noch viele Mühe und Sorgfalt in der Ausführung und wird dadurch kostbar. Für diejenigen, welche eine Verminderung der Kosten erzielen, giebt es ein Mittel die Arbeit zu vereinfachen und die Kosten zu vermindern, indem man Quecksilber als Compensationsmittel anwendet. Diese Idee verdanken wir Graham, welcher schon 1715 der erste Erfinder des Compensationspendels war. *)

Von der Compensation des Pendels mittels Quecksilber.

60. Das Quecksilberpendel Grahams nähert sich in sofern sehr dem einfachen Pendel, daß der Stab davon sehr schwach ist und sehr wenig Gewicht hat, weil das in dem Glascylinder enthaltene Quecksilber, welches die gemeine Linse ersetzt, in sich selbst allein den größten Theil des Pendelgewichts vereinigt, und so kommt es, daß dieser Regulator den Vortheil darbietet, daß es seinen Schwingungsmittelpunct fast mitten in der Quecksilberöhre hat. Der Pendelstab, welcher durch Wärme sich verlängert, macht das Gefäß, worin das Quecksilber enthalten ist herabgehen, aber die Flüssigkeit hebt sich in der Röhre vermöge ihrer Dehnbarkeit hinreichend, um den Schwingungsmittelpunct des Pendels zu heben, um so mehr als die Verlängerung des Stabes denselben herabgehen machte. Man kann durch Rechnung die Höhe finden, welche man der Quecksilbersäule geben muß, damit die Compensation genau werde, und zu diesem Zweck ist erforderlich, daß das Quecksilber im Gefäß um das Doppelte von dem steigt, als der Eisenstab sich verlängert hat, weil der Schwingungsmittelpunct beinahe die mittlere Höhe der Quecksilbersäule hat. Durch die Kenntniß der Ausdehnungsverhältnisse des Eisens, des Glases und Quecksilbers ist man im Stande die gehörige Quecksilberhöhe berechnen zu können, und das Resultat würde sehr genau sein, wenn man versichert wäre, daß das Glas und die angewandten Metalle genau die Ausdehnung hätten, welche die Ausdehnungstafeln anzeigen; aber dieß ist nicht immer der Fall, wie (§. 35) bemerkt worden ist. Es genügt hier zu sagen, daß, indem man der Quecksilbersäule 6 Zoll und 2 Linien Höhe giebt, man eine ziemlich vollkommene Genauigkeit erlangen würde, von welcher man sich indessen durch den Gang der Uhr versichern muß.

61. Die Ursachen sind nicht ganz bekannt, warum man die Quecksilbercompensationspendel vernachlässiget, welche wegen der Einfachheit ihrer Construction und der Leichtigkeit, welche man in ihrer Ausführung findet, sehr anziehend sind. Nach den über mehre Uhren gemachten Bemerkungen, hat man unstreitig geglaubt, daß die obschon sehr geringen Bewegungen des Quecksilbers während der Schwingungen nicht die Ursache von einigen Unregelmäßigkeiten werden könnten, aber das ist es, was die Erfahrung nicht bestätigt. In der That, da diese Bewegung des Quecksilbers jeder Vibration gleich ist, so kann sie in keiner Art schaden, so daß die Schwingungsbogen merkbar von derselben Größe bleiben. **) Andere haben geglaubt,

*) Georg Graham, Uhrmacher in London, und Mitglied der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften, ist durch seine ausgezeichneten und nützlichen Erfindungen berühmt geworden. Man verdankt ihm die noch anwendbare Cylindershemmung, die Ankerhemmung, von der man ausschließlich in den vollkommensten astronomischen Uhren Gebrauch macht, und die man ein ganzes Jahrhundert hindurch noch durch keine bessere hat ersetzen können. Gewiß, Erfindungen dieser Art machen ihrem Schöpfer Ehre, und bezeugen die Vorzüglichkeit seines Geistes. Was das Quecksilberpendel Grahams betrifft, sehe man Philosophical transactions, January and February 1726.

**) Es wäre sogar möglich, daß die Bewegung des Quecksilbers in der Röhre, während der Pendelschwingungen, statt daß sie Einfluß auf die Regelmäßigkeit übe, was mehre Uhrmacher bemerkt haben, eine ganz entgegengesetzte Wirkung erzeugte, und Folgendes könnte vielleicht diese Meinung rechtfertigen: wir wissen, daß die Pendelschwingungen nicht ganz isochronisch sind, und daß große Schwingungen langsamer als die

daß die große Quecksilbermasse in der Röhre wegen dem Einfluß der Temperatur der äußern Luft nicht lange Zeit in Ruhe bleibe, so daß der Pendelstab, schwach und lösbar, von Wärme und Kälte ganz durchdrungen, sich daher verlängern oder verkürzen würde, und daß eine hinreichend genaue Compensation bei dem Quecksilberpendel nicht Statt haben könne; aber dieser Glaube ist eben so wenig begründet; denn wenn selbst die Temperaturveränderungen der äußern Luft genauer wären, als sie in der That sind, so ist man versichert, daß diese Veränderungen in dem Innern eines Observatoriums weit weniger prompt sind, und eben so wenig in dem Innern eines Pendels bestimmt sind, als es die ganze Zeit nöthig ist, damit alle Theile des Pendels von Wärme und Kälte in einem gleichen Grade durchdrungen sein können. Uebrigens geht die Temperatur nicht plötzlich von einem Extrem zu dem Andern über, sondern am oitesten nur einige Grade in einer oder zwei oder mehren Stunden.

62. Nachdem, was wir gesagt haben, hat man schon gesehen, daß man hinsichtlich der vorgegebenen Unvollkommenheiten des Quecksilberpendels außer Sorge sein kann; man wird noch weit sicherer sein, wenn das Pendel von der Art eingerichtet wird, daß die nämliche Quecksilbermasse, welche in einer einzigen Röhre enthalten ist, sich in zwei Röhren befindet; denn eben so bietet sich unter einem und demselben Volumen Quecksilber eine größere Oberfläche dar, welche der Thätigkeit der umgebenden Luft oder dem Einfluß der Temperatur ausgesetzt ist, und das Quecksilber wird dadurch schneller von Wärme und Kälte durchdrungen.

Nach diesem Princip, welches ich zur Construirung des Quecksilberpendels vorgeschlagen habe, ergibt sich folgende Darstellung, Fig. 5 Tafel II. In a sieht man den untern Theil des Pendelstabes, welcher viereckig ist, aber mehr Breite als Stärke hat. Das untere Ende dieses Stabes endet in eine Schraube, welche die Regulierungsschraube trägt; c ist ein Messingrohr, welches sich ohne Balottement nach der Länge des Stabes a bewegen kann; dieses Rohr ist an seinem untern Ende an die Assiette d d gelöthet, welche oval ist und stark genug sein muß um das Quecksilbergewicht ohne Biegung halten zu können; die Assiette d d wird durch das Stück e gehalten, welches auf der Schraube b ruht. Die Schraube, welche die Mutterschraube trägt, geht durch ein Loch, welches das Stück e und die Platte d d durchdringt. Zwei cylindrische Glasgefäße g h sind auf der Platte d d befestiget, wie die Zeichnung zeigt; zwei Ringe von Messing, welche die Vasen an ihrem untern Ende umgeben, sind darauf befestiget, und dienen sie an demselben Orte zu erhalten, so lange das Stück i k, welches man besser in Fig. 6 sieht, und welches auf dem Rohre c durch zwei Schrauben, die die Vasen an ihrem obern Theile halten, auf dem Rohre c befestiget ist. Diese Vasen haben 7 Zoll Höhe, und das Quecksilber steigt daselbst bis zu 6 Zoll 2 Linien innerer Höhe.*)

kleinen sind, und um so langsamer als dieselben (die kleinen) größer sind; aber in dem Quecksilberpendel nähert sich der Schwingungsmittelpunct in dem Maaße, als die Bogen besonders in den Grenzen der Schwingungen größer werden, dem Mittelpuncte oder der Aufhängungsachse des Pendels durch die Lage, welche das Quecksilber in der Röhre annimmt. Der so erhöhte Schwingungsmittelpunct macht, daß die Vibrationen in dem Maaße an Geschwindigkeit zunehmen als dieselben an Größe wachsen. Dies würde vielleicht zum Theil, oder wohl gänzlich den Fehler des Ischronismus corrigiren, besonders in solchen kleinen Bogen wie diejenigen, von denen man in den astronomischen Uhren Gebrauch macht. Uebrigens ist dies nur ein Gedanke, welcher mir plötzlich einfiel, der nicht ergründet ist, und den ich nur den Physikern zur Prüfung unterwerfe, welche sich für diesen Gegenstand interessieren möchten.

*) Graham empfiehlt das Quecksilber zu kochen, um die Lufttheilchen, welche an dem Glase adhären, weg zu schaffen.

Man kann noch ein Gewicht anwenden, welches dem Stabe a, welcher Fig. 3 dargestellt ist, gleich, um den Gang der Uhr besser regulieren zu können, so wie in der Anmerkung (§. 41.) angezeigt worden ist.

63. Das so construirte Pendel wird sehr genau zu compensiren sein, jedoch wird man sich nur der strengsten Genauigkeit der Compensation, durch Vergleichung des Ganges der Uhr mit den Fixsternen, versichern können.

Wenn dieselbe etwas zu schwach wäre, so würde es leicht sein die Masse des Quecksilbers zu vermehren, während man im entgegen gesetzten Falle die Quecksilberhöhe der Base vermindern müßte, aber in sehr kleinen Quantitäten auf einmal und in gleichen Theilen für beide Basen. Auf diese Art wird man ohne große Mühe eine ziemlich genaue Compensation erlangen.

Anmerkung. Wenn man einige Furcht hätte Glasgefäße anzuwenden, ihrer Zerbrechlichkeit wegen, so könnte man sie durch eiserne ersetzen; aber da die eisernen Gefäße mit Kupfer gelöthet sind, so läuft man Gefahr, daß sie an den gelötheten Stellen vom Quecksilber angegriffen werden. Um diese Unbequemlichkeit zu vermeiden, könnte man sie innerlich mit einem Email von Glas überziehen, und das Quecksilber könnte so keinen Schaden verursachen. Die Eisengefäße erweitern oder verdichten sich mehr als diejenigen von Glas; folglich, indem man diese erstern anwendet, müßte man den Quecksilbersäulen mehr Höhe geben, als wenn sie in Glasgefäßen wären. Die Eisenbehälter haben den Vortheil, daß man ihnen leicht die beste Form geben kann, sei es um die Luft zu durchschneiden, sei es den Temperaturgrad der Luft am schnellsten zu erhalten.

Indessen, wir müssen bemerken, daß, die Glasgefäße da sie durchsichtig sind, einen sehr großen Vortheil darbieten; denjenigen, um mit Leichtigkeit untersuchen zu können, wenn das Quecksilber gänzlich von allen Lufttheilen befreit ist. In dem entgegen gesetzten Falle muß man sie durch das oben angezeigte Mittel entfernen.

Drittes Kapitel.

Von der Unruhe und der Spiralfeder. — Von der Compensation durch die Spirale und derjenigen durch die Unruhe selbst. — Von dem Isochronismus der Schwingungen durch die Spirale. (Tafel III.)

Erster Artikel.

Von der Unruhe und der Spirale; von den Mitteln den Einfluß äußerer Bewegungen auf die Unruhe auf die möglichst kleinste Größe zu reduciren; von der Reibung der Unruhe an den Zapfen; von dem Widerstande der Luft.

64. Die Unruhe ist der Regulator der den äußern Bewegungen ausgesetzten Uhren. Aus (§. 5.) ist bekannt, daß die Unruhe ein kreisförmiger zu seiner Achse concentrischer Körper ist, welcher in allen möglichen Lagen vollkommen im Gleichgewicht ist.

Die äußersten Enden der Unruhachse laufen in Zapfen aus, welche in geeigneten Löchern gehen, und die freie Bewegung dieses Regulators erleichtern. Das Pendel schwingt vermöge seiner