

A n h a n g.

Beschreibung einer freien Hemmung mit beträchtlicher Verminderung der Reibung.*) (Tafel XI.)

Die freie Hemmung des Herrn Carnshaw ist genau diejenige, welche man gewöhnlich in den Chronometern für Seeuhren anwendet; sie bewirkt eine große Regelmäßigkeit, und bietet in der Ausführung keine große Schwierigkeit dar. Sie ist der von Arnold vorzuziehen, weil sie weniger Reibung hat, sich weniger mit dem Daumen anhalten läßt, und leichter auszuführen ist. Die Vorzüglichkeit dieser Hemmung ist durch die Anwendung von den besten Künstlern genugsam erwiesen, als auch durch die Belohnung von 3000 Pfund Sterling, welche dem Herrn Carnshaw für diesen Gegenstand zuerkannt wurde.

Die Mittel, welche Herr Carnshaw angewendet hat, um die Reibungen in seiner Hemmung zu vermeiden, bestehen darin:

- 1) Indem man dem Hemmungskreise einen größern Durchmesser giebt als zuvor. Das Hemmungsrade wirkt auf diese Art mit einem längern Hebel, und mehr senkrecht gegen die Mittelpunctslinie. Die Spur wird dadurch kürzer und sanfter, arbeitet mit weniger Bogenstrebung und folglich mit weniger Reibung.
- 2) Indem man den Vorfall am äußersten Ende der Zähne des Hemmungsrades sich stützen macht. Nach dieser Einrichtung geschieht der Druck der Zähne des Rades gegen den Vorfall durch den möglichst langen Halbmesser und folglich mit weniger Druck als bei den Hemmungen Arnold's, und der Regulator erleidet folglich bei Auslösung des Vorfalles weniger Widerstand. Ein mit der Hemmung Carnshaw's versehenes Chronometer kann eine größere und schwerere Uhr haben, als wenn er mit der Hemmung Arnold's versehen wäre, und folglich wird mehr Bewegungsgröße mit der nemlichen Triebkraft offenbar eine Verminderung der Reibung beweisen.

Dieser Vortheile ungeachtet, hat es dem Verfasser dieser Abhandlung geschienen, daß es ein Mittel gäbe, die Reibungen dieser Hemmung noch weit mehr zu reduciren; und das Modell, welches er im Großen über diesen Gegenstand ausgeführt hat, scheint sehr klar zu beweisen, daß der Vortheil ohne irgend eine Schwierigkeit erreicht worden ist.^{oo)} Für diejenigen, welche die Hemmung des Herrn

^{o)} Diese Hemmung ist 1822 zum ersten Male construirt, und den Künstlern von dem Verfasser vorgeschlagen worden. (Man vergleiche die astronomischen Nachrichten vom Herrn Staatsrath Schumacher Nr. 10. Seite 155. und die folgenden.)

^{oo)} Mehrere Chronometer, welche seitdem mit dieser neuen Hemmung ausgeführt worden sind, unterstützen diese Behauptung noch mehr.

Carnshaw schon kennen, genügt es zu sagen, daß statt einem Hemmungsrade, auf der nämlichen Achse zwei angebracht sind. Das eine dieser Räder wirkt durch Stoß auf den Hemmungskreis, dessen Durchmesser in einem weit größern Verhältniß zum Durchmesser des Rades steht, als es in der Hemmung Carnshaws der Fall ist; das andere Rad, dessen Durchmesser nahe das Doppelte von dem des Stoßrades ist, ist dasjenige, welches die Ruhe bewirkt, während der Regulator seine Vibrationen frei vollendet, und durch das Ende seiner Zähne auf die Vorfallsfeder sich stützt. Da dieses zweite Rad von einem viel größern Durchmesser ist als das Stoßrad, so wird offenbar der Druck des Räderwerkes gegen den Vorfall viel weniger stark sein, als in der Hemmung Carnshaw's, wo ein und dasselbe Rad sowohl für die Stöße als für die Ruhe dient; durch diese Verminderung des Druckes wird also die Reibung der Zähne gegen den Vorfall kleiner werden, und der Regulator wird folglich weniger Widerstand erleiden, wenn die Vorfallsfeder vom Sperrrade sich löst.

Man wird dieses durch nachfolgende Beschreibung dieser Hemmung besser begreifen.

1) Erklärung verschiedener Theile der freien Hemmung mit dem Doppelrade.

Figur 1. Tafel XI. stellt den Grundriß der Hemmung, Figur 2. das Profil dar.

A Figur 1. ist das Stoßrad, welches durch die Spitzen seiner Zähne auf den Einschnitt d des Hemmungskreises C wirkt.

Der Hemmungskreis C, Figur 1. und 2. ist auf der Uhrachse concentrisch, und zwischen den Spitzen der Zähne des Stoßrades und dem Hemmungskreise ist ein schwaches Licht vorhanden.

Das Rad B dient der Ruhe, während die Uhr die Vibrationen frei vollendet; es ist auf derselben Achse als das Stoßrad befestiget und folgt der Bewegung desselben.

Die Vorfallsfeder e e r Figur 1. welche durch die Elasticität ihrer Feder gegen den Kopf der Stellschraube m gespannt ist, trägt in n einen Anhalter oder eine Palette, auf welche die Zähne des Rades B, während der Schwingungen sich stützen. Diese Palette ist genügend lang oder erhoben, damit ihr oberer Theil in derselben Ebene als das Rad B sein könne, so lange die Feder e e r sich in einer Ebene unter diesem Rade befindet, so wie man es Figur 2. sieht.

Die Vorfallsfeder e e r trägt an ihrem Ende eine zweite Feder q o; diese kleine Feder ist äußerst biegsam, ragt aus dem Ende des Vorfalls vor, und stützt sich durch ihre Spannung oder Elasticität auf das Ende des Vorfalls in o.

Diese Feder q o befindet sich in derselben Ebene als der Kreis oder die Welle v, Figur 1.

Die Welle hat bei s einen Einschnitt, und trägt in diesem Einschnitt ein Rubinblättchen von der in der Zeichnung angegebenen Form. Das Ende dieses Blättchens hat einen Vorsprung und wirkt während der Uhrschwingungen auf das Ende der kleinen Feder q o bei o.

2) Vom Spiel der Hemmung.

Durch den Druck des Räderwerkes der Uhr gegen den Trieb, welcher die beiden Hemmungsräder trägt, werden dieselben von der Rechten zur Linken, d. h., von B nach C Figur 1. in Bewegung gesetzt, aber der Anhalter oder die Palette n, hindert die Räder sich umzudrehen, denn das Ende des Zahnes des großen Rades B kommt auf diese Palette n zu ruhen, und die Bewegung der Räder wird daher eingestellt, bis diese Palette sich hinreichend von dem Zahne entfernt hat. Die in der

Richtung von d nach C oder von der Rechten zur Linken in Bewegung gesetzte Unruhe läßt der Rolle v dieselbe Bewegung machen, und die Palette s wird also das Ende der kleinen Feder q o berühren, blos um das Ende o von dieser kleinen Feder während des Ganges zu entfernen. Hat die Unruhe diese Vibration vollendet, so macht dieselbe durch die Thätigkeit der Spirale eine Vibration in einem der erstern entgegen gesetzten Sinne, d. h. in der Richtung von C nach d, oder von der Linken zur Rechten. Die Palette s kommt aufs Neue auf das Ende der kleinen Feder q o in o zu wirken; aber dieses Mal kann diese Feder, welche auf den Vorfall o e r bei r gestützt ist, sich nicht biegen, sondern macht den Vorfall wenn ihn die Reibe trifft, biegend, damit die Palette n von dem Rade B sich entferne, und damit dieses Rad sich mit dem Stoßrade A in Bewegung setze; in dieser Bewegung geschieht es, daß einer von den Zähnen dieses letztern Rades gegen den Hemmungskreis zu fallen kommt und der Unruhe den nöthigen Stoß zur Bewegung ertheilt.

Während das Rad A auf den Hemmungskreis wirkt, und in dem Augenblicke, als es beinahe das Drittel der Spur gearbeitet hat, kommt die Vorfallfeder gegen den Kopf der Stellschraube m zu fallen, und befindet sich an dem Orte, um aufs Neue die Bewegung der Räder anzuhalten; so kommt es, daß dieselben abwechselnd in Bewegung und in Ruhe sind, und daß die Hemmung ihr Spiel fortsetzt.

3) Bemerkungen über die freie Hemmung mit dem Doppelrade.

Der Hemmungskreis, dessen Durchmesser in Beziehung auf den des Stoßrades die Grade der Hebung bestimmt, kann noch größer als der von Earnshaw sein.

In dem Modell dieser Hemmung, habe ich den Kreis so gemacht, daß der Umfang desselben gleich ist der Entfernung zweier Spitzen der Zähne des Stoßrades, multiplicirt durch 10.

Unter diesen Umständen bewirkt das Rad eine Hebung von $\frac{360}{10} = 36$ Grad; von diesen 36°

kommen ungefähr 6 für den Fall des Stoßrades, und die 30 übrigen für die Hebung. Durch diesen sehr großen Durchmesser des Hemmungskreises wirkt das Stoßrad auf einen sehr langen Hebel, und theilt die Kraft des Räderwerkes dem Regulator durch eine sanftere Spur mit, als wenn der Kreis kleiner wäre; denn der Stoß geschieht auf die Mittelpunctslinie mehr senkrecht, die Spur wird kürzer und folglich mit weniger Reibung. Wäre hingegen der Kreis kleiner, so würde im Gegentheil mehr Bogenstrebung, Strenge in der Spur und Reibung statt finden, das Anhalten mit dem Daumen nicht zu erwähnen, welches ohne daß es in den Uhren mit Aufhängung sehr gefährlich ist, in den Taschenchronometern sehr große Beschwerlichkeiten darbietet, wie dies außerdem sehr bekannt ist. Hier wird also eine Verminderung der Reibung durch den Kreis erlangt; die zweite Verminderung der Reibung in dieser Hemmung besteht darin, daß das Rad, welches die Ruhe bewirkt, beinahe von einem doppelt so großem Durchmesser als der des Stoßrades ist. Dadurch wird also der Druck des Räderwerkes oder des Zahnes des Rades, welches auf die Palette der Vorfallfeder sich stützt, beinahe um die Hälfte schwächer, als er sein würde, wenn das Stoßrad selbst, auf die Vorfallfeder sich stützte (wie in der Hemmung von Earnshaw); und durch diese Einrichtung wird die Unruhe, indem die Vorfallfeder vom Unruh-Rade sich löst, einen viel schwächern Widerstand erleiden. Da dieser Widerstand schwächer ist, so wird er auch für eine viel längere Zeit gleichförmig werden, als in der Hemmung von Earnshaw; denn eine weniger starke Reibung wird dadurch auch mehr constant; und dieses scheint

mir in einer so delikaten Maschine, als eine Längenuhr ist, ein sehr reeller Vortheil zu sein, wo man die kleinsten Ursachen zu Abweichungen nicht sorgfältig genug vermeiden kann.

Das Rad, welches die Ruhe bewirkt, kann sehr leicht sein, und erfordert nicht viel Stärke, wie man leicht einsieht. Die Trägheit der beiden Räder wird zugleich wenig größer als die des Hemmungsrades von Carnshaw allein, welches noch ziemlich stark sein muß, weil jeder Zahn während einer Umdrehung des Rades zwei Verrichtungen zu machen hat, was die Zähne dem baldigen Abstumpfen und Verderben aussetzen würde, wenn das Rad nicht hinreichende Stärke hätte. In der Hemmung mit dem Doppelrade, wo jeder Zahn während einer Umdrehung der Räder nur eine Verrichtung zu machen hat, ist es klar, daß die Spitzen der Zähne weniger leiden, folglich die Räder schwächer und leichter sein können. Das Uhruhrad, worauf der Druck noch viel geringer ist als auf die Zähne des Stofrades, könnte, ohne irgend eine Beschwerlichkeit, besonders sehr leicht sein.

Durch die Einrichtung dieser Hemmung ist es leicht, die Vorfallsfeder ohne zu viel Zwang in ihre wahre Lage, in Beziehung auf das Uhruhrad, legen zu können, da man während der Ausführung der Hemmung nach Willkühr abweichen kann. Dieser Vortheil ersetzt die Mühe, welche die Vermehrung eines, übrigens leicht auszuführenden, Rades macht.

Nach den oben angeführten Gründen glaube ich, daß die freie Hemmung mit dem Doppelrade reelle Vortheile hat, welche der von Carnshaw noch mangeln. Ich weiß wohl, daß man viele Chronometer mit der Hemmung Carnshaw's antrifft, welche einen ausgezeichneten Gang haben, und ich habe dann mehre mit der Hemmung Arnold's gesehen, welche eben so die Güte ihrer Hemmung darthun; aber dieses hindert nicht, noch mehr Vollkommenheit zu suchen überall, wo es zur Erlangung derselben, Mittel zu geben scheint. Je mehr verschiedene Theile in einer Längenuhr vollkommen gemacht sind, um so besser wird das ganze Werk und um so mehr Vollkommenheit wird man darin zu erwarten berechtigt sein.

Vom Einfluß der Luft auf den Regulator astronomischer Pendel- und Längenuhren.

Vorgelesene Abhandlung im Jahr 1828. vor der königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Copenhagen, und in der Sammlung ihrer Abhandlungen niedergelegt.

Die Schwierigkeiten, welche statt finden um eine genaue Zeitmessung durch mechanische Hilfsmittel zu bewirken, sind so mannigfaltig und groß, daß es zu bewundern ist, wie dieselbe wirklich auf den Punct erhoben worden ist, daß die Anomalien in dem Gange astronomischer Pendeluhren und Chronometer oft so klein sind, daß sie in 24 Stunden nur Bruchtheile von Secunden betragen. Nicht selten erhält man Chronometer von einer solchen Genauigkeit, daß der Gang von 24 zu 24 Stunden nur um $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{100}$ Secunden und oft nicht das Geringste abweicht. In Betracht, daß von einem Tage bis zum andern 86,400 Secunden verfließen, so wird eine Differenz von $\frac{1}{10}$ Secunden während dieses Zeitraumes nur einen Fehler von $\frac{1}{864000}$ des Zeitmaasses ausmachen. Indessen ist keine Zeitmessung vollkommen genau, ausgenommen diejenige, welche wir durch die scheinbare Umdrehung der Himmelskörper um unsere Erde, oder was dasselbe ist, welche wir durch die Umdrehung der Erde um ihre Achse erhalten. Jede Maschine, wenn sie in Bewegung ist, erleidet Reibung, und da die

Bewegung das Zeitmaaß ist, so wird während dieses Maaßes eine beständige Reibung statt finden; da aber diese Reibung nicht immer dieselbe ist, so wird sie eine bleibende Ursache von Unregelmäßigkeit sein. Nichts desto weniger ist man glücklich gewesen, den Einfluß derselben beinahe Null zu machen; aber ihn ganz und gar zu vernichten, wird wahrscheinlicher Weise unmöglich sein, und aus diesem Grunde wird man durch Maschinen eine völlig strenge und mathematische Genauigkeit in der Zeitmessung, welche von dem Maaße, welches wir durch die Umdrehungen der Erde um ihre Achse haben, gar nicht verschieden wäre, nicht erlangen können. Nur in der unermesslichen Natur geht die Bewegung ohne Reibung von statten. Die Umdrehung der Erde um ihre Achse geschieht ohne jede Reibung, aber man kann diese freie Bewegung durch keine mechanische Einrichtung nachahmen. Da man also die Reibung nicht vermeiden kann, so wird es nothwendig, um eine genaue Zeitmessung durch Maschinen zu bewirken, Mittel zu finden, welche den störenden Einfluß der Reibung auf die Regelmäßigkeit des Ganges dieser Maschinen so viel als möglich beseitigen können. Die Wissenschaften haben durch die Gelehrten, welche dieselben verbreiten, die Entdeckung des Weges erleichtert, welcher zu jedem nützlichen Zwecke führt, mithin haben sie auch hieher ihren wohlthätigen Einfluß gebracht, diesen verdanken wir die Theorie des Isochronismus, und die Art, wonach derselbe bei mehr oder weniger großen Schwingungsbogen der Unruhe bewirkt wird. Wir verdanken ihnen folglich das Mittel, Regelmäßigkeit in den Gang der Chronometer zu bringen, sogar indem sie einer zunehmenden und veränderlichen Reibung unterworfen sind.

Ungeachtet der Genauigkeit, welche man in der Zeitmessung durch astronomische Pendeluhren und Chronometer erlangen kann, giebt es noch Abweichungen, welche übrigens sehr oft doch so klein sind, daß sie nur in sehr strengen Anforderungen in Betracht kommen können. Der berühmte Bessel zu Königsberg hat in Nr 28. der astronomischen Nachrichten des Herrn Staats-Raths Schumacher eine Bemerkung über die Veränderung gemacht, welche in dem Gange astronomischer Pendeluhren durch die Veränderungen der Luftdichtigkeit statt hat.*)

Es ist genugsam bekannt, daß die Dichtigkeit der Luft nicht immer dieselbe ist, und daß diese Veränderungen sich hauptsächlich nach der Temperatur reguliren. Die Dichtigkeit der Luft nimmt durch Kälte zu und durch Wärme ab; aber diese verschiedene Dichtigkeit der Luft ändert die Schwere des Pendels und folglich auch die Vibrationskraft welche die Vibrationszeit bestimmt. Der gelehrte so eben genannte Herr Bessel muntert die Künstler auf, diesen schädlichen Einfluß der Luftveränderungen beseitigen zu suchen, und zeigt ihnen zugleich den Weg, welcher zum Ziele führen kann. Er sagt: „Setzt man die Schwere des Pendels gleich x , und nennt man die Dichtigkeit der Luft Δ , und diejenige des Pendels Δ' , so wird die Schwingungskraft $1 - \frac{\Delta}{\Delta'}$ sein. Da aber Δ veränderlich ist, so wird die Schwingungszeit, welche von der Vibrationskraft abhängig ist, auch veränderlich sein. Endlich wird durch Rechnung dargethan, daß die Veränderung in dem Gange der Uhr, wenn das Pendel gut compensirt ist, für eine Temperaturveränderung von $+ 25^\circ$ bis $- 25^\circ$, in 24 Stunden von $+ 0,54$ bis $- 0,65$ Secunden sein wird, und daß man im Stande sein wird die Unregelmäßigkeit

*) Diese Ursache der Unregelmäßigkeit in den Schwingungen des Pendels ist indessen schon zuvor bemerkt worden. Man findet sie auch in dem Werke des berühmten Physiker Dersted, betitelt: Naturens almindelige Love. Copenhague, 1809.

zu beseitigen, indem man die Compensation des Pendels ein wenig schwächer macht, und in einem solchen Verhältniß, daß das Pendel sich um $\frac{1}{400000}$ seiner ganzen Länge verlängert, wenn die Wärme um einen Grad des hunderttheiligen Thermometers wächst; abnehmende Wärme würde also das Gegentheil bewirken, d. h., das Pendel würde kürzer werden. Diese Verminderung in der Compensation von $\frac{1}{400000}$ für einen Thermometergrad, entgeht den Sinnen, und es würde nach den bisher bekannten Mitteln unmöglich sein ein Compensationspendel so zu construiren, daß man sich im Voraus und ohne die Compensation durch den Gang der Uhr geprüft zu haben, versichern könne, daß diese Compensation wirklich um $\frac{1}{400000}$ der ganzen Pendellänge zu schwach wäre. Es scheint jedoch möglich zu sein, ein Mittel zu finden, durch welches die von Bessel vorgeschlagene Correction sich herausstellen könnte, nämlich, indem man das Quecksilberpendel anwendet; als dann wird man das Pendel so construiren müssen, daß die compensirende Quecksilbersäule die Höhe erhält, welche die Berechnung nach den Dilatations- (Ausdehnbarkeits) Tafeln anzeigen wird; nothwendig wird das Gefäß des Quecksilbers offen sein müssen, damit man ohne Schwierigkeit ein wenig Quecksilber hineingießen, oder im entgegen gesetzten Falle ein Wenig heraus nehmen könnte. Indem man den Gang einer mit einem Quecksilberpendel als Regulator versehenen Uhr, mit den Fixsternen bei sehr verschiedenen Temperaturen vergleicht, erfährt man, ob die Compensation zu schwach oder zu stark ist. In dem ersten Falle müßte man ein wenig Quecksilber in das Gefäß hinein thun, in dem letztern hingegen ein Wenig herausnehmen, bis der Gang im Sommer und Winter, in Wärme oder Kälte der nämliche geworden ist. Daher begreift man die von Herrn Bessel vorgeschlagene Correction, und der Vorschlag dieses berühmten Gelehrten kann also auf eine sichere und leichte Art in Ausführung gebracht werden.

Der Einfluß des Widerstandes der Luft auf die Größe der Pendelschwingungen kommt in dem Vorschlage des Herrn Bessel nicht in Betracht.

Die Veränderungen, welche dieser Widerstand in der Größe und Dauer der Vibrationen zuwirken vermöchte, würden also von der größern oder geringern Luftdichtigkeit abhängen, und sich folglich höchstens nur auf die Temperatur beziehen; aber in diesem Falle würde die Correction davon auch in der oben angezeigten Compensationsart begriffen sein.

Der Widerstand, den das Pendel durch die Luft erleidet, ist indessen viel geringer als derjenige, den die Compensationsunruhen in den Chronometern erleiden; denn der Schwingungsbogen des Pendels ist kaum 3 Zoll in einer Sekunde; während die Unruhe eines Chronometers von hinreichend großem Volumen in derselben Zeit 12 bis 18 Zoll durchläuft, und also einen Widerstand der Luft erleidet, welcher sich nicht allein wie die durchlaufenen Räume verhält, sondern welcher noch mehr als dem des Pendels proportional ist, wegen dem größern Verhältniß der widerstehenden Flächen der Unruhe zu ihrer Schwingungskraft.

Dieser Widerstand den die Unruhe durch die Luft erleidet, muß auf die Größe der Schwingungsbogen nach der größern oder geringern Luftdichte beträchtlichen Einfluß ausüben, und folglich auch Vibrationen von ungleicher Größe bewirken, was allem Anschein nach Unregelmäßigkeit in dem Gange des Chronometers verursachen wird.

Es ist von Wichtigkeit den Einfluß des Luftwiderstandes genau zu kennen, aber man kann nur durch specielle Versuche zu einer genauen Kenntniß gelangen. Diese Versuche machen zu können, habe ich mehre der besten Chronometer gewählt, und sie sowohl in atmosphärischer, als in verdünnter

Luft unter dem Recipienten der Luftpumpe gehen lassen^{*)}), und nach wiederholten mit nöthiger Genauigkeit ausgeführten Versuchen folgende Resultate erlangt.

I. Versuch über die veränderliche Größe in den Schwingungsbogen der Compensationsunruhen, wenn die Vibrationen in bis zu 4 Zoll Barometerhöhe verdünnter Luft geschehen.

- 1) Der Chronometer zum Aufhängen, Urban Jurgensen Nr. 17. vibrirte:
 - In atmosphärischer Luft von . . . 535 bis 540 Graden.
 - In verdünnter Luft von . . . 655 bis 660 Graden.
 Oder die Vibrationsbogen nahmen demnach in verdünnter Luft zu um . . . 120 Grade.^{oo)}
- 2) Der Chronometer Arnold Nr. 82. vibrirte:
 - In atmosphärischer Luft von . . . 400 bis 405 Graden.
 - In verdünnter Luft von . . . 470 bis 475 Graden.
 Oder, die Vibrationsbogen nahmen in verdünnter Luft zu um . . . 70 Grade.
- 3) Der Chronometer H. J. Nr. 31. vibrirte:
 - In atmosphärischer Luft von . . . 450 bis 455 Graden.
 - In verdünnter Luft von . . . 505 bis 510 Graden.
 Oder, die Vibrationsbogen nahmen in verdünnter Luft zu um . . . 55 Grade.
- 4) Der Chronometer Arnold, Nr. 438. vibrirte:
 - In atmosphärischer Luft von . . . 400 bis 405 Graden.
 - In verdünnter Luft von . . . 450 bis 455 Graden.
 Oder, die Vibrationsbogen nahmen in verdünnter Luft zu um . . . 50 Grade.
- 5) Der Chronometer H. J., Nr. 38. vibrirte:
 - In atmosphärischer Luft von . . . 420 bis 425 Graden.
 - In verdünnter Luft von . . . 460 bis 465 Graden.
 Oder, die Vibrationsbogen nahmen in verdünnter Luft zu um . . . 40 Grade.

Nachdem diese Versuche beendigt waren, habe ich neue von einer weniger beträchtlichen Veränderung der Barometerhöhe unternommen, nämlich bei 24 zu 28 Zoll, und es ging daraus hervor, daß die Vibrationsbogen höchstens nur um $\frac{1}{2}$ von den oben für eine Veränderung von 4 zu 28 Zoll der Barometerhöhe angezeigten Resultaten abwichen. Der Aufhängungs-Chronometer H. J., Nr. 17. z. B., vibrirte in verdünnter Luft 20 Grade mehr als in atmosphärischer Luft; und H. J., Nr. 38. 6 bis 7 Grade mehr unter den nämlichen Umständen. Die größere oder geringere Veränderung in der Größe der Schwingungsbogen, welche uns die in der mehr oder weniger dichten Luft gemachten

^{*)} Unser berühmte Versted hat mir beigegeben, diese Versuche mit der Sorgfalt ausführen zu können, wie man sie sehr oft bei den Gelehrten des ersten Ranges antrifft, wenn es sich um Beförderung nützlicher Untersuchungen handelt, und er hat mich durch Instrumente, Anweisung und guten Rath unterstützt.

^{oo)} Wer nur die Schwierigkeit kennt, und so zu sagen die Unmöglichkeit den Vibrationsbogen einer Unruhe während des Ganges der Uhr genau zu bestimmen, wird leicht einsehen, daß es nach den gleich oben angezeigten Zahlen sehr möglich ist, daß die Vibrationen ein wenig größer oder kleiner gewesen sind. Es ist also sehr möglich, daß die Zunahme des Vibrationsbogens nur von 118° oder 119°, oder sogar von 121 oder 122° gewesen sein kann, statt von 120 Graden, wie wir angezeigt haben; aber man begreift ohne Mühe, daß dies auf die Richtigkeit der durch die Erfahrungen gegebenen Resultate keinen Einfluß hat.

Versuche anzeigen, steht mit den Durchmessern der Unruhen im Verhältniß. Die Unruhe des Aufhängeschronometers, welche die größte von den fünf ist, die zu den Versuchen gedient haben, vermehrte ihre Vibrationsbogen ungefähr um $\frac{1}{2}$ für eine Abnahme von 4 Zollen in der Barometerhöhe; statt daß die Unruhe des Chronometers N. J., Nr. 38, welche die kleinste ist, ihre Vibrationsbogen für die nämliche Abnahme in der Barometerhöhe, um höchstens nahe $\frac{1}{6}$ vergrößert. Dieß beweist, daß der Widerstand der Luft auf die große Unruhe mehr Einfluß hatte als auf die kleine, und daß folglich die Längenuhren von einem großen Durchmesser, aus diesem Grunde, auch eine größere Kraft erfordern als die kleinen, um in eben so großen Bogen vibriren zu können, als diejenigen dieser letztern. Aber wir wissen außerdem, daß die Unruhen, welche groß und folglich ungeschickt sind, der Reibung mehr unterworfen sind, als die kleinen Unruhen, welche leichter sind und, daß die großen Chronometer aus diesem Grunde eine neue Vermehrung der Kraft erfordern, um eben so viel als die kleinen vibriren zu können. Aus diesen beiden Gründen wird es unumgänglich notwendig, in den Längenuhren von großem Durchmesser die Kraft beträchtlich zu vermehren; aber diese Vermehrung bewirkt überdieß einen Widerstand der Reibung, den man durch eine Vermehrung der Kraft überwinden muß. Demnach genügt es für eine große Längenuhr nicht, die Kraft im Verhältniß der Unruhdurchmesser zu vermehren; diese Vermehrung der Kraft muß vielmehr im Verhältniß der Quadrate der Durchmesser stehen, und so, daß wenn die Kraft durch 8 ausgedrückt wird, wenn der Durchmesser der Unruhe 1 ist; so wird die für eine Unruhe gleich 2 nöthige Kraft 8 mal 2^2 oder 32 sein. Aber wir kennen den schädlichen Einfluß der Reibung auf die verschiedenen Theile des Chronometers, und wissen, daß es von Wichtigkeit ist, sie ohne Noth nicht zu vermehren; und daß also kleine Längenuhren in dieser Beziehung den großen vorzuziehen sind; die Unruhen der erstern erleiden durch die Luft weniger Widerstand und haben weniger Zapfenreibung als die größern und ungeschickteren Unruhen der Aufhängungs-Chronometer. Aber die großen Chronometer, welche viel Kraft haben, haben diesen Vortheil, daß der Einfluß des Deles weniger schädlich ist als bei kleinen Chronometern, indem die Kraft und die Bewegungsgröße der Unruhe weit größer sind. Um die Anwendung einer zu großen Kraft und die daraus entstehende Reibung zu vermeiden, so ist es dienlich, dem Chronometer nicht einen zu großen Durchmesser und eine zu große Unruhe zu geben, sondern den schädlichen Einfluß des Deles dadurch zu verhüten, daß man die Kraft und den Durchmesser der Unruhe vermehrt.

Es giebt also eine mittlere Größe, durch welche man die größern Vortheile geringern Hindernissen coordiniren kann; und nach den ausgeführten Constructionen glaube ich, daß es nicht passend ist, den kleinen Chronometern unter 2 Zoll^{*)} und den großen über 3 Zoll Durchmesser zu geben.

Den Widerstand der Luft kann man nicht allein dadurch vermindern, daß man der Unruhe einen geeigneten Durchmesser giebt, sondern auch, indem man ihr eine zweckmäßigere Form giebt als diejenige, welche gewöhnlich gebraucht wird. Man wird dieß leicht begreifen, indem man Figur 13 Tafel III betrachtet, welche eine Compensationsunruhe darstellt, so wie man sie mit mehr Vortheil zur Verminderung des Widerstandes der Luft wird ausführen können.

In der gewöhnlich gebräuchlichen Compensationsunruhe bieten die compensirenden Gewichte be-

*) Man ist in der That in der Ausführung zu einer so großen Vollkommenheit gekommen, und hat in dieser Beziehung so viele Mittel erlangt, daß es nicht schwer ist, einen Chronometer von mehr als 2 Zoll Durchmesser auszuführen. Um die Ausführung zu erleichtern, und um sie vollendeter zu machen, ist es folglich nicht notwendig, diesen Maschinen einen großen Durchmesser zu geben.

trächtliche Oberflächen dar, welche, während der Unruhschwingungen gegen die Luft stoßen. Die Schrauben, welche die Chronometer nach mittlerer oder Sternzeit zu reguliren dienen, sind insgemein cylindrisch, und erleiden folglich während der Vibrationen den Einfluß des Widerstandes der Luft. In Figur 13 Tafel III ist die Form der compensirenden Gewichte so beschaffen, daß die Luft während der Vibrationen, wegen der schneidenden Form der widerstehenden Flächen, leichter aus ihrer Stelle geht; der Widerstand der Luft wird folglich auch gut vermindert. Ueberdies haben die regulirenden Gewichte die Form einer Pendellinse, was noch eine neue Verminderung in dem Widerstande der Luft bewirkt. Man könnte also die Unruhschenkel an den widerstehenden Flächen schneidend machen, und dadurch in Hinsicht der Form sehr große Vortheile erlangen.

Eben so kann man auf eine andere Art eine beträchtliche Verminderung in dem Widerstande der Luft bewirken, indem man den compensirenden Gewichten eine größere specifische Schwere giebt, als diejenige, welche man ihnen gemeinlich giebt. Die compensirenden Massen in den Chronometern bestehen sehr oft aus Messing und die regulirenden Gewichte aus Stahl; aber wenn man sie aus Gold oder Platina machte, statt aus Messing oder Stahl, würde man ihr Volumen im Verhältniß von 19 zu 8, oder 21 zu 8 vermindern, obschon das Gewicht dasselbe bliebe; und man würde folglich den Widerstand der Luft beinahe um $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{27}$ des Widerstandes vermindern, der bei den Massen aus Messing statt hat.

Indem man beobachtet, was oben erwähnt worden ist, das heißt, indem man der Unruhe den schicklichsten Durchmesser giebt, sie von der angezeigten Form macht, und indem man den Gewichten die größtmögliche specifische Schwere giebt, wird der Widerstand der Luft so vermindert, daß sein Einfluß auf die Größe der Schwingungsbogen in der Triebkraft keinen Zuwachs erfordert, welcher die Reibung auf merkliche Art vermehren, oder einen schädlichen Einfluß auf die Regelmäßigkeit des Chronometers haben könnte.*)

Nachdem diese Versuche uns gezeigt haben, daß die Veränderung der Luftdichte auf die Vibrationen der Chronometer einen beträchtlichen Einfluß hat, und daß diese Bogen nach der größern oder geringern Luftdichte bald größer bald kleiner werden, so bleiben uns noch sehr wichtige Versuche über den Einfluß dieser veränderlichen Luftdichtigkeit auf die Regelmäßigkeit des Ganges zu machen übrig, diese Versuche sind mit nöthiger Sorgfalt gemacht worden, um genaue Resultate zu erlangen. Die Chronometer, welche zu diesen Versuchen gedient haben, sind sehr lange Zeit geprüft und ihr Gang als genau erkannt worden. Die Versuche sind so viel als möglich in einer und derselben Temperatur gemacht worden, man ist also versichert, daß die Veränderungen in dem Gange der Chronometer in mehr oder weniger dichter Luft, keineswegs aus einer Unvollkommenheit in der Compensation, entstanden. Die Lage der Chronometer während der Versuche war vollkommen dieselbe und immer ho-

*) Es ist fast überflüssig zu bemerken, daß die hier angezeigten Verbesserungen nur für diejenigen Chronometer von Anwendung sein können, welche in jeder Beziehung vollkommen sind, und wo die kleinen Unregelmäßigkeiten in dem Gange besonders aus dem Einfluß der Luft auf den Regulator entstehen. Aber dieser veränderliche Widerstand der Luft ist indessen nicht die schädlichste Ursache von der Unregelmäßigkeit des Ganges dieser Maschinen. Wenn die Construction des Chronometers nicht so vortheilhaft als möglich ist, wenn der Isochronismus und die Compensation nicht auf eine genügende Weise bewirkt worden sind, und wenn die Ausführung nicht äußerst genau ist: so ist es überflüssig, klein erscheinende Fehler vertilgen zu suchen, die im Vergleich mit größern verschwindend klein sind.

rizontale, damit eine Verschiedenheit der Lage die Resultate nicht unrichtig mache, wenn der Gang der Chronometer sich ändert. Man hat überdieß die Vorsicht gebraucht, die Versuche sowohl in atmosphärischer als auch in verdünnter Luft auf der Platte und unter der Glocke der Luftpumpe zu machen; der Chronometer befand sich folglich in beiden Fällen an demselben Orte. Es ist demnach gewiß, daß die Attraction, welche zwischen den umgebenden Körpern und dem Chronometer statt hat, und auf die Unruhe einwirkt, folglich einigen Einfluß auf den Gang der Uhr haben kann, während dieser Versuche dieselbe geblieben ist, und daß folglich die Veränderungen in dem Gange keineswegs aus einer mehr oder weniger großen Anziehungskraft entstehen. Die Versuche sind folgende.

II. Versuche über den Einfluß verschiedener Dichtigkeitsgrade der Luft auf den Gang der Längenuhren oder Chronometer.

1ter Versuch. Chronometer Urban Jürgensen-Nr. 38.

Mittlerer Gang in atmosphärischer Luft nach dreitägigen Beobachtungen, in 24 Stunden $1''$ voraus.

Mittlerer Gang in verdünnter Luft, bei 4 Zoll Barometerhöhe in 24 Stunden $2'',2$ voraus.

Oder, dieser Chronometer geht in bis zu 4 Zoll Barometerhöhe verdünnter Luft während 24 Stunden $1'',2$ mehr vor als in gewöhnlicher Luft, von 28 Zoll mittlerem Barometerstande.

Anmerkung. Die Unruhe war sehr klein, und die Schwingungsbogen nahmen in verdünnter Luft um 40 Grade zu.

2ter Versuch. Chronometer Arnold, Nr. 82.

Mittlerer Gang in atmosphärischer Luft nach dreitägigen Beobachtungen, in 24 Stunden $3'',3$ voraus.

Mittlerer Gang in verdünnter Luft, bei 4 Zoll Barometerhöhe in 24 Stunden $7'',8$ voraus.

Oder, dieser Chronometer geht in bis zu 4 Zoll Barometerhöhe verdünnter Luft während 24 Stunden um $4'',5$ mehr vor als in Luft von 28 Zoll mittlern Stande.

Anmerkung. Die Unruhe war größer als die vorhergehende, und die Schwingungsbogen nahmen in verdünnter Luft beinahe 70 Grad an Größe zu.

3ter Versuch. Chronometer Arnold, Nr. 438.

Mittlerer Gang in atmosphärischer Luft, nach dreitägigen Beobachtungen, in 24 Stunden $0'',4$ vor.

Mittlerer Gang in bis zu 4 Zoll Barometerhöhe verdünnter Luft in 24 Stunden $2'',6$ nach.

Oder, dieser Chronometer geht in bis zu 4 Zoll Barometerhöhe verdünnter Luft binnen 24 Stunden, 3 Secunden mehr nach als in Luft von 28 Zoll mittleren Stande.

Anmerkung. Die Unruhe war größer als diejenige, welche zum ersten Versuche gedient hat, aber ein wenig kleiner als die zum zweiten Versuche, und sie war zum Theil aus Platina verfertigt. Die Schwingungsbogen nahmen in verdünnter Luft fast um 50 Grade an Größe zu.

4ter Versuch. Chronometer Urban Jürgensen, Nr. 31.

Mittlerer Gang in atmosphärischer Luft nach dreitägigen Beobachtungen, in 24 Stunden $1'',7$ nach.

Mittlerer Gang in verdünnter Luft, nach dreitägigen Beobachtungen, in 24 Stunden $2'',4$ nach.

Oder, dieser Chronometer geht in bis zu 4 Zoll Barometerhöhe verdünnter Luft, binnen 24 Stunden um $0'',7$ Secunden mehr nach als in atmosphärischer Luft.

Anmerkung. Die Unruhe war von einem sehr wenig kleinern Durchmesser als diejenige, welche zum dritten Versuche gedient hat. Die Schwingungsbogen nahmen in verdünnter Luft fast um 55 Grad an Größe zu.

Aus diesen Versuchen sehen wir, daß wenn die Dichtigkeit der Luft abnimmt, und folglich die Vibrationsbogen der Unruhe größer werden, diese Ursache zwei entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen kann, d. h., macht, daß einige Chronometer vor- und andere nachgehen. Folglich, indem die Luft unter der Glocke der Luftpumpe dünner wird, bis das Barometer um 24 Zoll abnimmt, oder so, daß die Barometerhöhe 4 Zoll wird, der Chronometer Urban Jürgensen, Nr. 38 in 24 Stunden um 1,2 Secunden mehr vorgeht, als in atmosphärischer Luft. Arnold 82 geht also unter denselben Umständen binnen 24 Stunden um 4,5 Secunden voraus. Diese beiden Chronometer gehen also in verdünnter Luft vor, während im Gegentheil die beiden andern Chronometer, Arnold Nr. 438 und Urban Jürgensen Nr. 31 in verdünnter Luft nachgehen, der erstere um 3 Secunden, und der letztere nur um 7 Zehntel in demselben Zeitraume. Es scheint für den ersten Augenblick, daß dieselbe Ursache dieselbe Wirkung hervorbringen müsse, was sicherlich auch sein würde, wenn die Chronometer, welche man zu den Versuchen angewendet hat, von einer und derselben Beschaffenheit gewesen wären; aber dieß war nicht; die Spirale oder die Regulirungsfeder war von einer in diesen Maschinen verschiedenen Beschaffenheit. Wir wissen, daß man mittels dieser Spiralfeder dahin gelangen kann, die Vibrationen der Unruhe zu reguliren; so daß die mehr oder weniger großen Schwingungen in gleichen Zeiten sich vollenden, oder daß der Chronometer die Unruhenschwingungen nach mittlerer Zeit macht, z. B. von 450 Graden, die dieselbe nach der mittlern Zeit befolgt, werden die Unruhenschwingungen bis auf 300 Grade vermindert. Diese Eigenschaft, welche man den Unruhenschwingungen mit Hilfe der Spirale geben kann, heißt der Isochronismus^{*)}, wie wir ihn bereits kennen. Wir wissen übrigens, daß das Verhältniß zwischen der Länge und Stärke der Spirale so fein kann, daß die kleinen Unruhenschwingungen langsamer als die großen werden, aber auch so, daß das Gegentheil statt finden kann, das heißt, daß die kleinen Unruhenschwingungen geschwinder als die großen sein können. Nach diesen verschiedenen Eigenschaften der Spirale ist es nicht schwierig zu erklären, wie ein mehr oder weniger großer Widerstand der Luft, welcher doch die Größe der Schwingungsbogen beträchtlich ändert, den Gang der Uhr im Ganzen nur sehr wenig ändert; oder wie dieser nämliche Widerstand der Luft durch eine und dieselbe Luftveränderung entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen kann. Nimmt man die Spirale so an, daß sie die kleinen Unruhenschwingungen langsamer als die großen macht, so ist einleuchtend, daß ein mit einer solchen Spirale versehenes Chronometer in verdünnter Luft mehr voreilt, als in gemeiner Luft; denn die Schwingungsbogen werden in verdünnter Luft größer, und die Spirale, welche die kleinen Bogen langsamer als die großen macht, bewirkt folglich Beschleunigung der großen Bogen, welche in verdünnter Luft statt haben. Wenn hingegen die Natur der Spirale so beschaffen ist, daß die kleinen

*) Die Theorie des Isochronismus durch die Spirale verdanken wir den beiden berühmten Männern Pierre Le Roy und Ferdinand Berthoud. Pierre Le Roy erlangte den Isochronismus, indem er der Spirale eine gewisse Länge gab; Ferdinand Berthoud hingegen, indem er der Spirale eine gewisse Form gab. Die Methode von Pierre Le Roy ist diejenige, welche am meisten in Anwendung ist, ich werde bald anderswo Gelegenheit haben, diesen interessanten Stoff mit den nöthigen Details abzuhandeln. Ferdinand Berthoud hat übrigens in seinem *Traité des horloges marines* angezeigt, wie man zum Isochronismus gelangen könne, aber gegenwärtig befolgt man nur wenig diese ältere Methode, welche indessen die neue begründet hat, von der man mit dem größten Erfolg Gebrauch macht.

Bogen geschwinder als die großen Schwingungsbogen der Unruhe werden, so wird der Chronometer in weniger dichter Luft nachgehen, indem große Bogen in verdünnter Luft, nach Beschaffenheit der Spirale, langsamer als kleine Schwingungsbogen sind.

Wir können hieraus schließen, daß das Nachgehen des Chronometer Arnold, Nr. 438 in verdünnter Luft, so wie die Beschleunigung des Chronometer Arnold Nr. 82, in verdünnter Luft, in demselben Grade alle beide aus einem weniger glücklichen Isochronismus entstanden, und wovon die Unvollkommenheiten in den entgegengesetzten Richtungen lagen. Aber die Versuche, welche mit den Chronometern H. J. Nr. 31 und Nr. 38 in Luft von verschiedener Dichtigkeit gemacht worden sind, welche ihren Gang in verdünnter Luft nur sehr wenig änderten, können allein eine genaue Kenntniß von der Art geben, nach welcher man den Einfluß der Veränderung der Luftdichtigkeit beseitigen kann. Ich sage genaue Kenntniß, denn die Beschaffenheit der Spirale dieser beiden Chronometer ist vollkommen bekannt, weil das Verhältniß zwischen den mehr oder weniger großen Schwingungsbogen der Unruhe nach den durch die Erfahrung festgestellten Regeln bewirkt worden ist. Es ist hier der Ort nicht die Beweggründe anzugeben, welche die Veranlassung waren, den vollkommenen Isochronismus der Unruhenschwingungen in den letzten Jahren zu verlassen; es genügt zu sagen, daß man es in der That glücklich gefunden hat, den kleinen Unruhenschwingungen ein wenig mehr Geschwindigkeit zu geben, als den großen; so daß, wenn ein Chronometer der mittleren Zeit folgt, und seine Schwingungsbogen eine Größe von 450 Graden haben, derselbe Chronometer in 24 Stunden beinahe 5 bis 6 Secunden voreilen wird, wenn die Schwingungsbogen durch eine Verminderung der Triebkraft bis auf 300 Grade vermindert werden. Nach dieser Regel sind alle meine Chronometer ausgeführt worden, ebenso H. J. Nr. 31 und 38, welche zu den Versuchen über den Einfluß der Veränderung der Luftdichte auf den Gang dieser Maschinen gedient haben^{*)}.

Wir haben aus Erfahrung gelernt, daß wenn die Luft so verdünnt wird, daß die Quecksilbersäule des Barometers 24 Zoll hält, oder daß das Barometer 4 Zoll anzeigt, der Gang des Chronometers H. J. Nr. 31 in 24 Stunden sich nur 0,7 Secunden ändert; und derjenige von H. J. Nr. 38 nur 1,2 Secunde in 24 Stunden. Aber diese Verschiedenheit in der Barometerhöhe ist beinahe 6mal größer als diejenige, welche gewöhnlich in atmosphärischer Luft statt findet, und folglich, die wahre Veränderung der Luftdichte der verschiedenen Theile der Erdoberfläche^{**)}, wo der Chronometer, wenn man reist, sich befinden kann, nur $\frac{1}{6}$ von derjenigen Veränderung wäre, welche bei den Versuchen unter der Glocke der Luftpumpe statt fand. Folglich würde die Veränderung der Luftdichte in dem Gange nur eine sechsmal geringere Veränderung bewirken als diejenige, welche oben angezeigt worden ist. Das ist es, was durch neue Versuche unter dem Recipienten der Luftpumpe bestätigt worden ist, wo

*) Ich bin versichert, daß das, was ich hier über das Verhältniß der mehr oder weniger großen Unruhenschwingungen von H. J. Nr. 31 und 38 angegeben habe, vollkommen genau ist, indem ich immer gesorgt habe, die Spiralfeder so auszuführen, wie ich den Isochronismus in allen meinen Chronometern ohne Ausnahme bewirke. Ich habe mir selbst den Draht gezogen, wovon diese Federn gemacht worden sind, und ich habe ihnen ihre Form gegeben; ich habe die Chronometer nach mittlerer Zeit regulirt, und den Isochronismus nach der schon angeführten Regel selbst bewirkt. Die Spirale ist die Seele des Chronometers; und um überzeugt zu sein, daß sie die unerlässlichen Eigenschaften besitzt, um die höchste Regelmäßigkeit in dem Gange zu bewirken, muß man sie nach ihren Haupteigenschaften verfertigen, welche man nach seinen eigenen Versuchen gefunden und mit eignen Augen gesehen hat.

**) Mit Ausnahme hoher Gebirge.

die Luft so verdünnt war, daß das Barometer 4 Zoll unter seiner vorhergehenden Höhe in der atmosphärischen Luft herabgesetzt wird; das heißt, die Abweichungen dieser beiden Chronometer waren so klein, oder die Differenz zwischen dem Gange in atmosphärischer und in verdünnter Luft war so gering, daß es kaum möglich ist zu sagen, ob dieselbe aus dem Einfluß der Luft auf die Unruhe entstanden sei, oder ob dieselbe von andern innern Ursachen herrühre. Diese letztere Annahme scheint die wahrscheinlichste zu sein; denn wenn der Widerstand der Luft die Ursache der kleinen Veränderung in dem täglichen Gange gewesen wäre, so würde diese Veränderung für eine und dieselbe Barometerhöhe die nämliche gewesen sein, während sie uns gezeigt hat, daß sie bald einige Bruchtheile von Secunden voreilt, bald einige Bruchtheile von Secunden nachgeht. Oder, da der Unterschied, welcher noch vorhanden sein könnte, so klein ist, daß man ihn in dem Gange der Chronometer nicht merken kann, wenn die Luftdichten wie diejenigen beschaffen sind, welche für die letztern Versuche dienten, und daß dieselbe zum Höchsten für II. J., Nr. 31 in 24 Stunden nur auf $\frac{0,7}{6}$ oder 0,12, und für II. J.

Nr. 38 nur auf $\frac{1,2}{6}$ oder 0,2 geschätzt werden kann, so können wir daraus schließen; daß wenn ein Chronometer mit einer Spiralfeder versehen ist, welche dieselbe mit kleinen Schwingungsbogen mehr vorgehen macht als mit großen Bogen, so daß binnen 24 Stunden eine Beschleunigung von 5 bis 6 Sekunden für eine Verminderung von ungefähr 150 Graden in den Schwingungsbogen statt hat, der Einfluß der Veränderung der Luftdichte auf den Gang der Uhr ganz und gar unmerklich und folglich vernichtet sein wird.

Wir haben also jetzt eine genaue Kenntniß von den Bedingungen, unter welchen der Einfluß des Luftwiderstandes auf den Gang der Chronometer oder Längenuhren völlig vernichtet sein kann, sogar wenn die Urruhen nicht die passendste Form haben, um den Widerstand der Luft zu vermindern. Indem man von der passendsten Form Gebrauch macht, welche oben angegeben worden ist, wird man um so mehr versichert sein die geringste Spur von Unregelmäßigkeit verschwinden gemacht zu haben.

Diese Versuche, so viel ich weiß, sind noch nie gemacht worden, und die Ursache davon ist wahrscheinlich, daß größere Hindernisse bis jetzt die Aufmerksamkeit gefesselt haben, so daß man weniger bedacht war, genaue Untersuchungen über die Ursachen in Ansehung des leichtern Spieles in dem Gange dieser Uhren anzustellen. Die Astronomen und Naturforscher unserer Tage, welche sich besonders durch eine strenge Genauigkeit in ihren Beobachtungen auszeichnen, und welche geringe Fehler, die noch in ihren Instrumenten vorhanden sein können, verschwinden zu machen suchen, versehen die Künstler in die Nothwendigkeit, keine Mühe zu scheuen, welche uns dem vorgesteckten Ziele nähern könne. Ich wage es zu hoffen, daß man hierin einen geringen Tribut finden wird, welcher vielleicht noch beigetragen werden kann.

Beschreibung eines neuen Metall-Thermometers. Tafel XVII.

Vorgetragen in der königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Kopenhagen im Jahr 1825.

Das Metallthermometer, welches ich neulich die Ehre hatte der Versammlung der königl. Gesellschaft der Wissenschaften vorzuzeigen, und das ich in folgenden Zeilen beschreiben will, ist in den

Hauptpuncten meinem gewöhnlichen Metallthermometer ganz gleich, welches jetzt einige zwanzig Jahre alt ist. Der Hauptunterschied zwischen dem neuen Metallthermometer und diesem erstern besteht blos darin, daß das ältere nur die gegenwärtige Temperatur anzeigt, während das neue außer der gegenwärtigen Temperatur uns zugleich die niedrigste Temperatur erkennen läßt, welche das Instrument angezeigt hat. Man hat die Metallthermometer sehr gepriesen, indessen werden sie niemals von so allgemeinem Gebrauch werden als das Quecksilberthermometer, welches ohne Widerrede eines der vollkommensten Instrumente ist, welche die Physik besitzt, und welches an Einfachheit das Metallthermometer bei weitem übertrifft: aber von seiner Seite besitzt dieses hier Vortheile, welche das Quecksilberthermometer nicht hat, und man kann hierzu sicher die Leichtigkeit und Sicherheit rechnen, mit welcher man dieses Instrument auf Fußreisen mit sich führen kann, denn es ist so construirt, daß man es in der Westentasche tragen kann, und es ist bei weitem weniger zerbrechlich als das Quecksilberthermometer. Ein anderer Vorzug den es besitzt, ist die Nettigkeit, mit welcher die Theilung gezeichnet ist, was das Ablesen erleichtert und sicherer macht. Bei gewissen Kältegraden wie z. B. die sind, welche in einigen Gegenden Sibiriens eintreten, würde das Metallthermometer die Temperatur anzuzeigen fortfahren, während das Quecksilberthermometer beim Gefrierpuncte des Quecksilbers aufhören würde thätig zu sein. Diese Vortheile, nebst einigen andern, die ich anführen könnte, scheinen dieses Instrument mit unsern gewöhnlichen Quecksilberthermometern einer allgemeinen Anwendung würdig zu machen, und selbst würdig, daß man es diesem hier für gewisse Beobachtungen vorziehe; und gegenwärtig, da man es so construiren kann, daß es genau den höchsten Kältegrad anzeigt, welcher während der Abwesenheit des Beobachters statt gefunden hat, so wird es wahrscheinlich beitragen, ihm das Interesse, selbst derjenigen Beobachter, welche den Wissenschaften obliegen, zu verschaffen. Das gewöhnliche Metallthermometer hat die Gestalt einer Taschenuhr; aber dasjenige, welches hier beschrieben wird, und welches bestimmt ist, immer an demselben Orte zu bleiben, ist viel größer. Die Zeichnung stellt dasselbe in natürlicher Größe dar, was den Vortheil gewähret, daß die Grade sehr groß und folglich genauer sind, so daß man sie mit mehr Leichtigkeit als von meinem gewöhnlichen Metallthermometer abliest.

Die verschiedenen Theile des Thermometers sind Tafel XVII dargestellt; Fig. 1 zeigt die innere Einrichtung des Thermometers, Fig. 2 die Seite des Zifferblattes.

Fig. 1, LL stellt eine runde Platte von Messing vor, so leicht und so wenig massiv als es die Festigkeit gestattet.

CBD ist ein zusammengesetzter Stab; das eine Ende desselben ist auf der Platte in C befestiget, das andere Ende D hingegen ist beweglich oder frei. Dieser Stab ist aus zwei Metallen von sehr verschiedener Dehnbarkeit zusammengesetzt; der innere Theil besteht aus Messing und der äußere aus blau gehärtetem Stahl, von der Beschaffenheit, daß die Stärke des Messings ein wenig mehr als das Doppelte derjenigen des Stahls beträgt, das heißt, fast im umgekehrten Verhältniß der Härte dieser beiden Metalle steht. Das Messing ist an den Stahl gelöthet, und man hat sich für diesen Zweck eines Metalls bedient, dessen Dehnbarkeit viel größer als die des Stahles ist, und viel kleiner als die des Messings.

Da Messing sich mehr ausdehnt als Stahl, so folgt, daß der zusammengesetzte Stab sich durch Wärme öffnet, das heißt, daß das bewegliche Ende des Stabes von C sich entfernt. Das Gegentheil findet bei Kälte statt, der Stab schließt sich wieder, oder D nähert sich an C. So hat der Stab der

Veränderung der Temperatur gemäß eine mehr oder weniger große Bewegung, genau im Verhältniß des Unterschiedes der Temperatur.

E F, ist ein Theil eines an seinem Umfang F mit Zähnen versehenen Rades. Der Mittelpunkt der Bewegung liegt in K, und dieses Stück bewegt sich an den Enden seiner Achse um zwei Zapfen. Fig. 3 stellt denselben Theil des Instrumentes dar, so wie den Trieb A, in einem größern Maasstabe; dieser Trieb, welcher in die Zähne des Rades greift, befindet sich am Mittelpuncte des Instrumentes; er bewegt sich um zwei Zapfen, von denen der eine, welcher durch das Zifferblatt geht, sehr lang ist, und den Zeiger des Thermometers so wie das Rad A Fig. 2 trägt.

Auf der Achse des Triebes ist eine sehr lange und sehr schwache cylindrische Spiralfeder angebracht, deren oberes Ende an dem Varet A Fig. 1 befestiget ist. Diese Spiralfeder ist so gespannt, daß das Sperrrad oder das Rad F, durch den Druck gegen das Rad mit dem Stück H fortwährend gegen den großen Stab C B D sich stützt, und ihm so in dieser durch die Temperaturveränderungen hervorgebrachten Bewegung folgt, ohne daß daselbst das geringste Spiel zwischen den Zähnen des Rades und denen des Triebes Statt haben könne.

Man erkennt leicht, daß hiernach der Zeiger des Thermometers durch Wärme vorwärts, hingegen durch Kälte rückwärts gehen muß.

Das Stück E H, kann sich auf dem Arme des Rades oder des Rechens bewegen, so daß die Entfernung vom Berührungspuncte in H (welcher gegen den zusammengesetzten Stab liegt) bis zum Mittelpuncte des Rades nach Erfordern mehr oder weniger groß werden kann; dieses ist nothwendig, um das Thermometer zu reguliren. Findet man, daß der Thermometerzeiger mehr Grade durchläuft als das Quecksilberthermometer, so entfernt man H von dem Mittelpuncte des Rades; wenn im Gegentheil der Thermometerzeiger weniger Grade durchläuft als das Quecksilberthermometer, so nähert man H dem Mittelpuncte des Rades. Wenn man die geeignete Entfernung gefunden hat, für welche die relativen Grade beider Thermometer einander entsprechen, (was bewerkstelliget wird, indem man nach Erfordern das Stück H des zusammengesetzten Stabes ein wenig entfernt oder nähert) bringt man den Thermometerzeiger auf den nämlichen Grad, den das Quecksilberthermometer anzeigt.

Die Form des Stückes H, von der Seite, welche gegen den zusammengesetzten Stab sich stützt, muß epicycloidisch sein, ohne welche die Bewegung des Instrumentes mit derjenigen des Quecksilberthermometers, besonders an den Grenzen nicht übereinstimmen würde.

Der Mechanismus, welcher macht, daß dieses Thermometer die gegenwärtige Temperatur und den höchsten Kältegrad, welcher statt gefunden hat, zugleich anzeigt, besteht in Folgendem:

Das Rad A Fig. 2 hat am Mittelpuncte eine Welle, welche den Thermometerzeiger trägt, und ist bestimmt auf dem verlängerten Zapfen des Thermometer-Triebes sich zu bewegen; so daß, wenn der Trieb sich bewegt, das Rad A und der Zeiger genöthiget sind, dieser Bewegung zu folgen.

Dieses Rad hat an seinem Umfange sehr feine eingeschnittene Zähne, und von solcher Beschaffenheit, daß fünf Zähne einem Grade des Zifferblattes entsprechen; sie sind auf der einen Seite gerade, während sie auf der andern geneigt sind, wie man es sehr gut Fig. 4 sieht, wo das Rad in einem sehr großen Maasstabe dargestellt ist.

B, Fig. 2 und 4 ist eine äußerst schwache Feder, welche mit dem einen Ende auf der Platte des Thermometers in C befestiget ist, während das andere Ende beweglich ist und in der nämlichen Ebene als das Rad einen dreieckig geformten vertikalen Stift e trägt. Die Feder hingegen befindet

sich in einer Ebene ein Wenig über der des Rades. Der dreieckige Stift ist so ausgeführt, daß er genau den Zwischenraum zwischen zwei Zähnen des Rades einnimmt, und vermöge der Elasticität der Feder B gegen den Grund der Zähne gepreßt wird.

Man begreift leicht, daß nach dieser Einrichtung das Rad A sich von der Rechten zur Linken bewegen kann, das heißt, gegen die kältern Grade, ohne in seinem Lauf aufgehalten zu werden; denn die geneigten Flächen der Zähne des Rades gleiten, indem sie die Feder B biegen, vor dem dreikantigen Stifte vorbei. Das Rad A hingegen kann sich in dem entgegengesetzten Sinne oder vorwärts nicht bewegen, denn der dreikantige Stift stellt sich den Zähnen des Rades entgegen, welche von dieser Seite gegen den Mittelpunct gerichtet sind; so daß, wenn der zusammengesetzte Stab sich öffnet, und wenn es scheint, als ob der Zeiger gegen die Wärme vorrücken sollte, dieser durch die Wirkung der beschriebenen Anordnung unbeweglich auf dem tiefsten Grade bleibt, den er während der Zeit der Beobachtung angezeigt hat. Während das Rad und der Zeiger so auf dem höchsten erlangten Kältegrade angehalten werden, nimmt der Stab, wie wir oben gesagt haben, durch eine mehr erhöhte Temperatur wieder eine neue Lage ein, und öffnet sich; so daß, indem das Rad sich löst, der Zeiger augenblicklich die gegenwärtige Temperatur anzeigen wird.

Um diese Auslösung zu bewirken, hat man am Umfange des Instrumentes einen Knopf P angebracht, welcher nach dem Stück a a a Fig. 1 visirt; indem dieser Knopf fortgestoßen oder zurückgehalten wird, nähert oder verlängert man das Stück a a a nach dem Mittelpuncte des Instrumentes. Das äußere Ende von a a a trägt einen Stift, welcher durch ein in die Thermometerplatte gebohrtes Loch geht, und auf das Ende der Feder B, Fig. 2 wirkt; so daß, indem der Knopf zurückgehalten wird, die Feder sich biegt und den dreikantigen Stift von den Zähnen des Rades entweichen läßt, ihn löst, und dem Thermometerzeiger die gegenwärtige Temperatur anzuzeigen gestattet.

Einige Bemerkungen über die Ausführung.

Erste Bemerkung. Um in die Bewegung des Thermometerzeigers die vollkommenste Gleichmäßigkeit zu bringen, ist es nothwendig, dem Triebe viele Stäbe zu geben, und sie so fein zu machen als es die Ausführung gestattet. Die Zahl der Zähne in diesem Instrumente ist 40.

Zweite Bemerkung. Die kleine Feder oder der Sperrkegel, welcher in die geneigten Zähne des Sperrrades fällt, muß nothwendig sehr dünn und schwach sein; denn ohne dieses würde eine Pressung entstehen, welche dem Instrumente zu viele Reibung geben würde.

Dritte Bemerkung. Damit das Instrument an seiner Empfindlichkeit nicht zu sehr verliere, ist es passend, das Gehäuse, welches dasselbe umgiebt, so dünn und so leicht als möglich und von einem guten Wärmeleiter zu machen.