

Grundsätze der genauen Zeitmessung durch Uhren.

Erstes Kapitel.

Erster Artikel.

Hauptideen einer zur Zeitmessung geeigneten Maschine. — Benennung der Haupttheile dieser Maschine. (Tafel I.)

1. Bewegung ist das natürliche Zeitmaaß. Ein in Bewegung gesetzter Körper durchläuft in einer gewissen Zeit einen gewissen Raum. Dieser Körper an einem Faden aufgehängt und dann in Bewegung gesetzt, wird um seinen Aufhängepunct oscilliren. Die Oscillationen oder Vibrationen geschehen in merklich gleichen Zeiten und können als Zeitmaaß dienen. Der schwingende Körper wird ein Pendel genannt.

2. Ein in Bewegung befindliches Pendel würde beständig nach den Gesetzen der Bewegung oscilliren; aber der Widerstand der Luft und des Fadens, oder was dasselbe ist, die Reibung des Fadens am Aufhängungsmittelpuncte wird allmählich die Bewegung aufheben. Damit nun die Vibrationen sich fortsetzen, so muß man noch eine äußere (Thätigkeit) Kraft anwenden, welche die verloren gegangene Bewegung ersetzen könne. So wie diese Kraft gehörig wirkt, wird das Pendel oscilliren, und indem man die Anzahl Schwingungen und die Zeit einer jeden kennt, so kennt man auch die Zeit, welche während der Beobachtungen verfließt.

3. Um das Zählen der Vibrationen zu vermeiden, richtet man den Mechanismus, welcher auf das Pendel wirkt, so ein, daß die Oscillationen des Pendels, oder das Zeitmaaß sich durch Zeiger auf dem Zifferblatte angeben, welches die gewöhnliche Zeittheilung enthält.

4. Das Pendel kann die Zeit nicht genau messen, weil es um einen festen unveränderlichen Punct vibriert; es kann daher in den der Bewegung ausgesetzten Uhren nicht angewendet werden. In

dieser Art Maschinen ersetzt man das Pendel durch einen Körper, dessen Vibrationen durch äußere Bewegung nicht merklich verändert werden.

5. Ein kreisförmiger um seine Achse sich drehender Körper, wo der Mittelpunkt der Bewegung und der der Schwere sich in einem Punkte vereint befinden, ist geeignet in allen verschiedenen Lagen zu gehen. Ein Körper von dieser Beschaffenheit wird eine Unruhe genannt. Um die Bewegung der Unruhe fortzusetzen, wendet man daselbst, wie beim Pendel, eine äußere Kraft an, welche den Bewegungsverlust ersetzt. Diese wirkt wechselweise in entgegengesetzten Richtungen, damit die Bewegung der Unruhe ebenso in abwechselnd entgegengesetzten Richtungen geschehe, um vibriren oder oscilliren zu können.

6. Die Triebkraft in den Pendeluhren wird gewöhnlich durch ein angewendetes Gewicht erzeugt. In den der äußern Bewegung ausgesetzten Uhren, kann man unmöglich ein Gewicht anwenden, weil dasselbe, indem es immer in einer gegen die Erde senkrechten Richtung wirkt, nach den verschiedenen Lagen der Uhr mehr oder weniger Wirkung hervorbringen würde, wie man leicht begreifen wird. Statt des Gewichtes bedient man sich eines elastischen Körpers, welcher, indem er gespannt ist, hinreichende Wirkung hervorbringt, und welchem man den Namen Feder gegeben hat. Da dieselbe durch ihre Elasticität und nicht durch ihre Schwere wirkt, so sieht man leicht, daß die Lage der Uhr hier keinen Einfluß haben kann.

7. Die Triebkraft theilt ihre Kraft durch eine Folge von Rädern und Trieben mit, welche durch gehörige Eingriffe auf den Theil der Uhr wirken, welcher die Hemmung genannt wird. Dieselbe theilt der Bewegung des vibrirenden Körpers die nöthigen Stöße mit. Die Hemmung zählt auch die Vibrationen, und das Räderwerk, welches die Zeiger trägt, zeigt dadurch die Zeit an.

8. Diese Räder und Triebe greifen durch Zähne ein, welche an ihren Umfang eingeschnitten sind. Die Zähne der Triebe haben die Benennung Triebstäbe.

Die Räder und Triebe drehen sich um Zapfen, welche die Enden ihrer Achsen sind, oder ihre auf einen kleinen Durchmesser reducirten Schäfte (Wellbäume). Die in vertikaler Lage befindlichen Räder liegen auf der Seite, oder folgen der Länge der Zapfen; in der horizontalen Lage ist es die Weite welche sie stützt.

9. Die Feder wirkt in einem Cylinder, welcher sich um eine Achse bewegt; dieser Cylinder wird das Federhaus genannt, und die Achse desselben der Federhausspindel oder die Federhausspindel. Die Feder hat die Form einer Spirallinie. Wenn sie in dem Federhause wirken soll, befestiget man die beiden Enden, das eine an die Spindel und das andere an dem Umfange des Federhauses. Wenn man das Federhaus befestiget, kann man die Feder spannen (aufziehen), indem man die Spindel von der gehörigen Seite umdreht, denn dann wickelt sich die Feder um selbige Spindel. Wenn man im Gegentheil die Spindel befestiget, so kann man die Feder spannen, indem man das Federhaus schieflicher Weise umdreht. Die Spindel hält sich mittels einer Spannung fest, welche aus einem Rochet oder Rade mit geneigten Zähnen besteht, und aus einem Sperrfelgel oder Gegenstück, welches, indem es dem Rochet widersteht, die Spindel hält. Das Federhaus wirkt am otesten auf ein Ketterrad mittels einer Kette. Wenn die Feder hinreichend gespannt oder aufgezogen ist, hindert ein Mechanismus, das Sperrwerk genannt, daß diese Feder nicht zu gezwungen sei.

10. An der Unruhe bringt man eine kleine Feder an, welche dazu dient, die Schwingungen zu regulieren. Diese Feder wird ihrer Form nach, die Spirale genannt. Eine mehr oder weniger starke

Spirale macht die Umrüschwingungen mehr oder weniger schnell. In den gemeinen Uhren bringt man an der Spirale einen Mechanismus an, welcher, indem die äußere Spur der Spirale sich verlängert oder verkürzt, die Geschwindigkeit der Schwingungen äußerst nahe reguliert. Dieser Mechanismus ist unter dem Namen Schieber oder Räder bekannt; er besteht aus einem Triebe, welches in einen Rechen greift, der zwei Stifte trägt, welche die äußere Spur der Spirale umgeben. Man bedient sich auch eines andern Mittels, indem man ein Rackett anwendet, welches gleichfalls zwei Stifte trägt, welche auf die Feder wirken.

11. Die Räder drehen sich gewöhnlich zwischen zwei Platten um, von denen die eine die große, die andre die kleine Platte genannt wird; sehr oft aber macht man die Räder in Stegen oder Kloben umdrehend. Der Steg, welcher den Zapfen der Uhrtruhe trägt, führt noch den besondern Namen cog.

12. Zur Kenntniß der Grundsätze, welche als Grundlage zur Construction aller verschiedenen Theile einer Uhr dienen müssen, ist es nothwendig besonders zu betrachten: 1, den Regulator, sei es ein Pendel oder eine Uhrtruhe; 2, die Triebkraft, 3, das Räderwerk und 4, die Hemmung. Das Ende dieses Kapitels und das folgende Kapitel handeln vom Pendel.

Zweiter Artikel.

Von dem Pendel, seiner Aufhängung, und von dem Mittel den Widerstand der Luft möglichst gering zu machen.

13. Ein Pendel ist ein an einem Faden oder Stabe aufgehängener Körper, geeignet, um seinen Aufhängepunct Schwingungen zu machen. Es giebt zwei Arten Pendel, das einfache und das zusammengesetzte.

Das einfache Pendel ist nur ein gedachter Apparat; denn in demselben nimmt man den Faden, welcher den vibrirenden Körper trägt, ohne Masse, und das ganze Gewicht als in einem einzigen Punct vereinigt in dem vibrirenden Körper an, was nicht statt finden kann. Das zusammengesetzte Pendel im Gegentheil hat mehr oder weniger Masse oder Schwere in seinen verschiedenen Theilen, und von dieser Beschaffenheit sind alle diejenigen, welche man in den Uhren anwendet.

14. Tafel I, Fig. 1. stellt das einfache Pendel dar; c ist der Aufhängepunct; c a, der Faden, welcher den vibrirenden Körper a trägt. Dieser Körper kann um den Aufhängepunct c mehr oder weniger große Bogen beschreiben; b a d zeigt einen dieser Bogen an. Die Bewegung des Pendels wird durch die Schwere des Körpers a verursacht; denn indem derselbe bis in b sich entfernt, fällt dieser Körper in eine gegen die Erde senkrechte Richtung; aber durch den Faden c a immer in einer vom Puncte c gleichen Entfernung gehalten, kann der Fall nur in der Linie b a statt finden. In a angelangt, hat der Körper eine Geschwindigkeit erlangt gleich derjenigen, welche er erlangt haben würde, wenn er senkrecht von i bis a gefallen wäre, und das ist durch die Geschwindigkeit, welche der von a bis d gehobene Körper in einer Zeit erlangt, welche der halben Schwingung b a gleich wäre. Der bis d gelangte Körper kann nicht in Ruhe bleiben, sondern wird vom Neuen bis a und von da bis b oszilliren. Die Vibrationen währen demnach fort bis daß eine äußere Kraft dieselben aufhebt.

15. Die specifische Schwere des vibrirenden Körpers ändert die Dauer der Vibrationen nicht merklich, und sie würde gar nicht geändert werden, wenn das Pendel im luftleeren Raume vibrirte.

16. Die mehr oder weniger großen Schwingungsbogen des Pendels sind nicht isochronisch oder von gleicher Dauer. Große Bogen werden langsamer beschrieben als die kleinen, wie es mathematisch und durch die Erfahrung erwiesen worden ist. Diese Ungleichheiten in der Dauer sind nicht beträchtlich, und haben in den zur Zeitmessung im bürgerlichen Leben bestimmten Uhren keinen sehr nachtheiligen Einfluß; aber in dem genauen Uhrenbau, wo man die kleinste Ursache von Irregularität zu beseitigen sucht, ist es nothwendig geworden, geeignete Mittel auszufinden, und die Vibrationen völlig oder sehr nahe isochronisch zu machen. Huyghens war der erste, welcher sich mit diesem Gegenstande beschäftigte, und um isochronische Vibrationen zu erzeugen, schlug er vor, das Pendel zwischen cycloïdischen Messern vibriren zu machen, so daß der Faden bei der Aufhängung sich nach diesen Messern biegen könne. Durch dieses Mittel würde die Pendellinse oder der vibrirende Körper, wie die Mathematik nachweist, in einer Cycloïde gehen, was die Vibrationen isochronisch machen würde.

17. Obschon die Theorie der cycloïdischen Vibrationen vollkommen streng und die Idee sehr sinnreich und eines Huyghens würdig ist, so ist es doch nicht möglich, sie in der Ausübung zu befolgen. Die Schwierigkeit, den beiden Krümmungen streng die Form der Cycloïde zu geben, ist schon ein großes Hinderniß, und selbst wenn man sie nach den Grundsätzen vollkommen voraussetzt, so sieht man leicht, wie nachtheilig es ist, das Pendel aus einem Faden zu machen. Wenn man statt eines Fadens eine sehr schwache und biegsame Feder anwendete, welche sich nach den cycloïdischen Messern biegen könnte, so würde die beschwerliche Irregularität statt finden, welche durch die Cohäsion zwischen dieser Feder und den cycloïdischen Messern verursacht wird. Man erreicht in der That das vorgesezte Ziel auf eine sehr einfache Art, immer nach dem von Huyghens aufgestellten Grundsatz, nämlich: da die Kreislinie, welche das Pendel an seinem untern Ende beschreibt, und die Krümmung, welche es beschreiben würde, wenn es in der Cycloïde oscillirte, sich vermischen (zusammenfallen), wenn das Pendel in sehr kleinen Bogen vibrirt, so kann man diese kleinen Kreisbogen als cycloïdisch und folglich als isochronisch betrachten; und hierin liegt eins der einfachsten Mittel, wodurch man in der Ausübung sich einem vollkommenen Isochronismus nähert.

18. Die Erfahrung hat gelehrt, daß zwei Pendel von einerlei Länge, nach den verschiedenen Breiten, wo sie sich befinden, ihre Vibrationen nicht in gleichen Zeiten vollenden. Die gemessene Zeit wird durch die Schwerkraft vermehrt oder vermindert; daher ist klar, daß diese die Dauer der Vibrationen verändern muß. Weil die Erde gegen die Pole hin abgeplattet und nahe an dem Aequator mehr gekrümmt ist, so ist die Schwerkraft an diesem letztern weniger stark, und im Gegentheile an den Polen stärker. Da die Centrifugalkraft der Erde in dem Maße abnimmt als man sich von dem Aequator entfernt und den Polen nähert, so wird auch aus diesem Grunde die Schwerkraft in dem Maße zunehmen als man den Polen näher kommt. Aus diesen beiden vereinigten Ursachen werden die Pendelschwingungen in dem Maße langsamer als man dem Aequator näher kommt, während das sie sich schneller vollenden, so wie man den Polen sich nähert.

19. Wenn die Breite dieselbe bleibt, so kann die Schwerkraft sich nicht ändern, folglich werden, Pendel von einerlei Länge in gleichen Zeiten vibriren, wenn sie unter denselben Breitengraden sich befinden. In Beziehung auf die Zahl der Schwingungen und Pendellängen ist mathematisch erwiesen:

1) daß die Pendelschwingungen in Zeiten erfolgen, welche der Quadratwurzel ihrer Längen proportional sind, und

2) daß die Längen dem Quadrat der Zeit der Vibrationen proportional sind.

Hieraus folgt:

1) daß die Anzahl Schwingungen in einer gegebenen Zeit im umgekehrten Verhältniß der Quadratwurzel der Pendellängen stehen, und

2) daß die Längen im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Schwingungen stehen; so daß ein Pendel, welches die doppelte Anzahl Schwingungen eines andern in gleicher Zeit macht, nur das Viertel seiner Länge sein würde.

Wenn die Zeit der Vibrationen eines Pendels und seine Länge gegeben sind, so kann man dadurch die Länge eines andern Pendels finden, wenn die Zeit der Vibrationen gegeben ist. Ist die Länge gegeben, so kann man ebenso die Anzahl der Vibrationen finden. Die folgende Nummer mag als Beispiel dienen.

20. Es ist bekannt, daß ein Pendel von $440\frac{1}{2}$ Linien Länge per Secunde eine Schwingung, oder 3600 Schwingungen in einer Stunde macht. Wenn man hiernach die Anzahl Schwingungen eines Pendels von 10 Zoll oder 120 Linien zu wissen verlangt, so sage man: die Vibrationen des großen Pendels oder 3600 verhalten sich zu den Vibrationen des kleinen Pendels oder zu x , wie die Quadratwurzel der Länge des kleinen Pendels zur Quadratwurzel des großen Pendels, das heißt:

$$\sqrt{120} : \sqrt{440\frac{1}{2}} = 3600 : x$$

Die Quadratwurzel von 120 ist = 10,95 und diejenige von $440\frac{1}{2}$ = 20,99, und folglich,

$$10,95 : 20,99 = 3600 : x,$$

$$\text{und } x = \frac{3600 \times 20,99}{10,95} = 6901 \text{ *)}$$

Ein Pendel von 10" oder 120''' macht also 6901 Vibrationen in einer Stunde.

Um die Länge eines Pendels zu finden, wenn die Vibrationen gegeben sind, so befolgt man die Regel von No. 19: Die Länge des großen Pendels verhält sich zu der des kleinen Pendels, wie das Quadrat der Vibrationen des großen Pendels, zum Quadrat der Vibrationen des kleinen Pendels. Nimmt man die Vibrationen des kleinen Pendels zu 7200, so wird man folgende Proportion haben:

$$440\frac{1}{2} : x = 7200^2 : 3600^2 \text{ oder}$$

$$72^2 : 36^2 = 440\frac{1}{2} : x \text{ oder}$$

$$5184 : 1296 = 440\frac{1}{2} : x \text{ und}$$

$$x = \frac{1296 \times 440\frac{1}{2}}{5184} = 110\frac{1}{8}''.$$

Damit ein Pendel 7200 Vibrationen per Stunde mache, muß es eine Länge von $110\frac{1}{8}$ Linien oder 9 Zoll $2\frac{1}{2}$ Lin. haben. Man sieht, daß es durch dieses Mittel nicht schwierig ist, die Länge der Pendel nach der Anzahl ihrer Vibrationen zu finden; so kommt es, daß die Tafeln der Längen entworfen sind.

21. Die gesammte Schwere des einfachen Pendels ist in den vibrirenden Körper vereinigt

*) Man kann auch sagen: $\sqrt{120} : \sqrt{440\frac{1}{2}} = 3600 : x$,
woraus $120 : 440\frac{1}{2} = 3600 : x^2$, und so ferner.

angenommen worden; in dem zusammengesetzten Pendel haben die verschiedenen Theile mehr oder weniger Schwere nach ihrer Größe und nach dem specifischen Gewicht der Theile woraus das Pendel zusammengesetzt ist (§. 13.). Und doch kann man die ganze vibrirende Kraft als in einen einzigen Punkt vereinigt betrachten, welchen man den Mittelpunct der Oscillation (Schwingungsmittelpunct) nennt. Die Zahl der Vibrationen des einfachen Pendels ist gleich der Anzahl Schwingungen des zusammengesetzten Pendels, in welchem die Entfernung des Schwingungsmittelpunctes vom Aufhängepuncte der Länge des einfachen Pendels gleich ist.

22. Man kann den Schwingungsmittelpunct des Pendels durch Rechnung finden, aber nicht ohne viele Schwierigkeit, besonders wenn die einzelnen Theile, woraus das Pendel besteht, eine wenig regelmäßige Form haben; aber diese Rechnungen haben keinen Nutzen weder für den Uhrmacher noch in der Anwendung auf das Pendel in den Uhren; weshalb ich hier in keine Untersuchung eingehen werde. Ich will blos bemerken, daß der Schwingungsmittelpunct sich mehr dem Aufhängepuncte nähert, wenn die Ruthe leicht und der vibrirende Körper schwer ist. Der Schwingungsmittelpunct eines Cylinders, eines Parallelepipedums, eines Prismas beträgt zwei Drittel ihrer Länge, vom Aufhängepuncte gerechnet, oder ein Drittel vom untern Ende, welches den Vibrationsbogen beschreibt.

23. Das Pendel erleidet von der Luft im Vibriren einen Widerstand, und eine Reibung oder Widerstand am Aufhängepuncte: diese beiden Hindernisse in der Bewegung müssen auf die möglichste kleinste Größe gebracht werden, wie man es in dem folgenden Paragraphen sehen wird.

24. Die Reibung oder der Widerstand den das Pendel am Aufhängepuncte erleidet, vermindert fortwährend die Schwingungsbogen des Pendels, und hebt durch Störung die Bewegung gänzlich auf. Eben das erfolgt vom Widerstande der Luft. Indem man das Pendel auf eine Uhr angewendet betrachtet, sieht man, daß es nothwendig ist eine äußere Kraft (§. 2.) anzuwenden, welche den Bewegungsverlust ersetzen könne, und diese Kraft der Reibung und dem Widerstande der Luft gemäß mache. Die Correctivkraft hat auf die Freiheit der Pendelschwingungen Einfluß.

Das Pendel mißt die Zeit durch seine natürliche Bewegung, und ist in seinen Vibrationen durch eine äußere Thätigkeit, als wie die Correctivkraft (welche nicht immer streng gleichförmig sein kann) gezwungen das Zeitmaß mit weniger Präcision anzugeben. Man merke nun daß, um den Einfluß der äußeren oder Reparativkraft so gering als möglich zu machen, man die Reibung und den Widerstand der Luft auf die kleinstmögliche Größe zu reduciren suchen muß.

Von der Aufhängung des Pendels.

25. Man kann das Pendel auf zweierlei Arten aufhängen, entweder mit einer Feder oder mit einem Messer. Die Erfahrung hat gelehrt, daß diese letztere Methode den Vortheil hat, daß hiernach die Bewegung des Pendels weniger vernichtet wird, als durch das Aufhängen mit der Feder^{*)}, und schon aus diesem Grunde haben mehre Künstler das Aufhängen mit dem Messer vorgezogen. Ueberdies hat man befürchtet, daß eine so schwache Klinge wie die der Aufhängungsfeder ist, sich durch das schwere

^{*)} Ferdinand Berthoud hat uns in seinem Essai sur l'Horologie seine Erfahrungen rücksichtlich der Aufhängung mitgetheilt, wonach er gefunden hat, daß ein Pendel mit Federaufhängung in seiner freien Bewegung ein Uebel Widerstand mehr erleidet als dasjenige, welches mit einem Messer aufgehängt ist, und aus diesem und andern Gründen mehr, glaubte er der Aufhängung mit dem Messer den Vorzug geben zu müssen.

Gewicht des Regulators etwas ausdehne, vornehmlich, weil dieses Gewicht durch die Oscillationen mit einer beträchtlich vermehrten Kraft auf die Klinge wirkt.

Folgende Nummer zeigt eine gute Aufhänge-Art.

26. Tafel I. Fig. 2. stellt die Stütze vor, welche die Aufhängung trägt. Dieses Stück ist aus Metall, sehr stark und in dem Uhrgehäuse solid befestiget. Es kann in dem Holze mit Steinen belegt und durch mehre Schrauben befestiget sein^{*)}. a a ist ein sehr starker und fester Rahmen, welcher durch die am Ende mit zwei Schrauben b b versehenen Zapfen getragen wird. Dieser Rahmen kann sich um seine Zapfen mit starker Reibung bewegen. Die beiden Einschnitte oder Fugen d d sind bestimmt das Pendelmesser zu tragen, wie man Fig. 3. sieht, wo d die Fuge bezeichnet. Diese Figur 3. stellt den nämlichen obern Theil der Pendelruthe dar, welcher das Messer c trägt. Die Platten e, e, Fig. 2. sind auf dem Rahmen a a befestiget um zu verhindern, daß das Messer nicht aus seiner Lage komme.

27. Um die Reibung auf die kleinstmögliche Größe zurück zu führen, und um sie constant zu machen, muß man beobachten:

1) Daß das Messer aus gutem Stahl gemacht und geeignet sein soll eine gute Härte anzunehmen.

2) Daß die Rinne oder Fuge ebenso von gutem Stahl gemacht sein soll. Noch besser würde es sein, starke Blättchen von hartem Stein, wie orientalischen Saphir, in den Rahmen a a einzusetzen und die Fugen in dieselben zu machen.

3) Daß der Winkel des Messers 90° , und ein Wenig abgerundet oder abgestumpft sein muß.

4) Daß das Messer in allen seinen Punkten aufliegen muß, und zu diesem Zweck ist es nothwendig, daß der Winkel des Messers vollkommen parallel zur Fuge sei; eben so wichtig ist es, daß der Winkel des Messers sowohl als die Fuge gut polirt sei.

5) Daß das Messer und die Fuge hinreichende Länge habe, und dem Gewicht des Pendels proportional sei. Ein Pendel dessen Gewicht das Doppelte von dem eines andern ist, erfordert ein zweimal längeres Messer. Eine noch größere Länge ändert die Größe der Reibung nicht, sondern sie hindert die verschiedenen Theile des Messers und der Fuge sich zu benagen.

28. Wenn man die oben angezeigten Grundsätze befolgt, so macht man die Reibung sehr gering und sehr constant; aber das Aufhängen mit der Feder wird dennoch von sehr ausgezeichneten Künstlern vorgezogen, und macht keine Besorgniß zur Gefahr sich abzunugen. Die Aufhängung mit dem Messer ist dem Abnagen unterworfen, und in diesem Falle ist sie die Quelle von merklichen Unregelmäßigkeiten. Dieß ist die Ursache, warum ich einiges Bedenken trage sie in astronomischen Uhren anzuwenden, und daß ich von der Aufhängung mit der Feder Gebrauch gemacht habe, welche überdieß einen Vortheil darbietet, wovon ich in der Folge dieses Werkes sprechen werde. Hier folgt die Art wonach ich meine Pendel aufgehangen habe, die Erfahrung hat mich von ihrer Güte überzeugt.

Tafel I, Fig. 4. und 5. zeigen die Stütze A a a, welche die Feder und das Pendel trägt. Diese Stütze ist aus Metall, sehr stark und fest, beinahe drei und einen halben Zoll im Durchmesser

^{*)} Man kann auch die Stütze an einem Stege befestigen, welcher das Uhrwerk trägt, und dieser Steg kann mit seinem Umfang auf einer soliden Mauer befestiget sein; aber dieses Mittel so gut es sonst ist, bietet für den Transport nicht die Bequemlichkeit eines Pendelhauses dar. Da hierauf viel ankommt, so wiederhole ich, daß man auf die Solidität der Aufhängung nicht Fleiß genug verwenden kann; denn ein Fehler von dieser Seite reicht hin den Gang der Uhr unrichtig zu machen.

und in einem am Boden des Uhrgehäuses gebohrten Loche errichtet. Eine Schraubenmutter *e* befestiget die Schraube *d* (Fig. 5.), welche die Platte durchdringt und auf das Holz des Gehäuses geschraubt sein kann, dient die Stütze zu verhindern sich umzudrehen, wenn dieselbe in ihre wahre Lage gebracht ist. In dem Theile *a a* der Stütze ist ein vertikaler Einschnitt gemacht, dessen Breite ungefähr zwei Linien und die Tiefe einen Zoll beträgt. In diesen Einschnitt, dessen Seiten völlig parallel sind, wird der Kopf *e*, der Aufhängungsfeder mit Gewalt eingetrieben. Die Feder muß aus sehr gutem Stahl von beinahe der Stärke eines Kartenblattes gemacht sein und die Härte einer Triebfeder haben, d. h. hellblau gelaufen sein. Der Federkopf wird aus zwei Kupferblättchen formirt, welche durch mehre Stifte auf den obern Theil der Feder genietet sind. Dieser Kopf hat ein Bohrloch von ungefähr $\frac{3}{4}$ bis einer Linie Durchmesser, in welches ein Stift *e* geschlagen ist, welcher dazu dient, die Feder in einer in die Stütze gemachten Fuge zu tragen, wie Fig. 5. zeigt. An das untere Ende der Feder sind gleichfalls zwei Messingblättchen genietet, durch welche man ein Loch bohrt, in welchem ebenfalls ein Stift befestiget ist, welcher auf ein Mal sowohl die Blättchen als auch den Stahl der Feder durchdringt. Dieser hat die durch *f*, in Fig. 5. angezeigte Form; d. h., er ist oben breiter als unten. Auf der Mitte der Form ist ihrer Länge nach ein Riß oder Einschnitt von ungefähr zwei Linien Breite gemacht; dadurch kann man der Feder mehr Breite geben, ohne ihre Kraft zu vermehren. In den Secundenpendeln welche ich ausgeführt habe, hat der Federkopf auf jeder Seite des Quadrats 10 Linien, und die Feder hat dicht an dem Kopfe die nemliche Breite, während ihr unterer Theil nur $7\frac{1}{2}$ Linien Breite hat; die Entfernung der untern Platten von den obern ist 12 bis 13 Linien. Fig. 6. stellt das Rochet *a*, von der Seite gesehen dar; es ist durch eine männliche Schraube an der Pendelstange *b*, befestiget, und in der Form ausgeführt, daß man es dem untern Stifte der Aufhängungsfeder anhängen kann, wie es Fig. 4. zeigt.

In der Folge dieses Werkes wird eines meiner Pendel oder astronomischen Uhren beschrieben, und an diesem Orte soll über das, was die Aufhängungsfeder betrifft, in mehre Details eingegangen werden.

Von dem geeigneten Mittel den Widerstand der Luft möglichst gering zu machen.

29. Der Widerstand den ein Körper in seiner Bewegung erleidet, ist seiner Größe und dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional. Ein Körper welcher sich mit derselben Geschwindigkeit bewegt als ein anderer, und dessen Oberfläche nur die Hälfte von der des andern Körpers ist, erleidet einen Widerstand, der nur die Hälfte desjenigen ist, den der große Körper erleidet.

30. Die Geschwindigkeit und das Gewicht eines Pendels bestimmen die Größe seiner Bewegung, und durch dieselben wird der Widerstand der Luft überwunden. Nimmt man die Geschwindigkeit zweier Pendel als dieselbe an, so kann nur die Schwere die bewegende Kraft ändern, und je größer das relative Gewicht ist, desto mehr Kraft wird vorhanden sein den Widerstand der Luft zu überwinden. Hieraus folgt: daß man für das Pendel einen Körper von großer specifischer Schwere anwenden, und die widerstehende Oberfläche dieses Körpers so klein als möglich zu machen suchen muß.

31. Da die sphärische Form von allen Formen, welche man einem Körper geben kann, diejenige ist, welche die Oberfläche dieses Körpers am kleinsten macht; indem man die Masse als die näm-

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.