

# 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 Pendeluhrn 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 Umrutschungen 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 Aufhängepunkt 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 Punkt 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 Aufhängepunkt; c a, der Faden, welcher den vibrirenden Körper a trägt. Dieser Körper kann um den Aufhängepunkt 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 Punkte 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<sup>\*)</sup>, 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

<sup>\*)</sup> 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<sup>\*)</sup>. 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. Dies 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 überdies einen Vortheil darbietet, wovon ich in der Folge dieses Werkes sprechen werde. Hier folgt die Art wonach ich meine Pendel aufgehängt 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.<sup>\*)</sup>

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.

<sup>\*)</sup> Ferdinand Berthoud hat durch Versuche gefunden, daß ein Pendel von linsenförmiger Form an seiner Bewegung ein Zehntel weniger verliert als das sphärische Pendel.

<sup>\*\*)</sup> 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 <sup>o</sup> ) . . . . .	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.

<sup>o</sup>) 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.<sup>\*)</sup>

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.<sup>\*\*)</sup> 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

<sup>\*)</sup> 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.

<sup>\*\*)</sup> 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 $\frac{1}{342}$
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  $\frac{1}{342}$  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  $\frac{1}{342}$ , 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. Ueberdieß 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  $\frac{1}{500}$  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.<sup>\*)</sup> 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.<sup>\*\*)</sup>

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 Regulirschraube 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. Dieß 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 dieß 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 Wase vermindern müßte, aber in sehr kleinen Quantitäten auf einmal und in gleichen Theilen für beide Wasen. 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

Schwere; die Umrufe durch die Wirkung einer sehr elastischen spiralförmigen Feder, welche die Spirale oder Spiralfeder genannt wird. Die Umrufe als auch die Spirale zeigt Tafel III. Fig. 1. 2. 3. Fig. 3. stellt dieselbe von der Seite gesehen und zwischen dem Kock C und dem Steigradsflohen B befindlich dar; a a ist die Umrufe, b b die Achse derselben, deren Zapfen in der durchsichtigen Platte über der Umrufe und in dem Steigradsflohen gehen; c c ist die Spiralfeder, d ein auf die Platte A durch einen Zapfen befestigter Ringnagel (Spirallöschchen), welcher daselbst in starke Reibung kommt. Dieser Ringnagel ist in einer zur Platte A parallelen Richtung durchbohrt; in dieser Bohrung macht man das äußere Ende der Spirale gehen, und befestiget sie durch einen Stift. Die innere Schnecke dieser Spirale ist an dem Ringe befestiget, welcher cylindrisch und mit einem Bohrloch versehen ist, in welchem man das innere Ende der Spirale durch einen Stift so befestiget, wie wir es für die äußere Schnecke angezeigt haben. Dieser Ring ist auf dem Flohen der Umrufachse starkreibend angebracht. Fig. 4. zeigt das Profil der Löcher, welche die Zapfen enthalten; b ist eine Vertiefung für das Del (Delbehälter), und d eine Deckplatte aus gehärtetem, gut polirtem Stahl, welche durch eine Schraube befestiget ist. Gegen diese Platte geht das Ende des Zapfens, welcher die Form eines Kegels hat, dessen Spitze beinahe die Platte d berührt. Bei dieser Form bewirkt die Attraction, daß das Del immer sich bei und in den Zapfenlöchern aufzuhalten strebt. Man hat hier die Löcher bloß in Messing angenommen.

65. Die so in Bewegung gesetzte Umrufe würde immer fort oscilliren, aber die Reibung der Zapfen und der Widerstand der Luft zerstören nach und nach ihre Bewegung. Um die Vibrationen der Umrufe zu unterhalten, ist demnach eine äußere Kraft erforderlich, welche den Bewegungsverlust ersetzen kann. Diese Kraft muß nach der stärkern oder geringern Reibung der Umrufe mehr oder weniger groß sein. Damit also die Vibrationen dieses Regulators auch frei und durch eine äußere Thätigkeit so wenig als möglich gestört werden, ist es notwendig die Umrufe so einzurichten, daß die Reibung und der Widerstand der Luft sich auf die kleinstmögliche Größe reduciren lassen, ohne indessen verschiedene andere Eigenschaften der Umrufe aus dem Gesicht zu verlieren, welche zur genauen Zeitmessung erforderlich sind.

66. Die äußeren Bewegungen oder Erschütterungen einer Uhr auf die Umrufe haben auf die Schwingungen dieses Regulators Einfluß, und vermehren oder vermindern ihre Ausdehnung, was einen nachtheiligen Einfluß auf die Regelmäßigkeit des Ganges einer Uhr haben könnte, wenn man nicht die gehörigen Maße genommen hätte, um diesen Einfluß so gering als möglich zu machen. Nach dem Vorhergehenden sieht man, daß es wesentlich ist:

- 1) Den Einfluß der äußern Bewegung auf die Vibrationen der Umrufe möglichst zu vermindern.
- 2) Die Reibung auf die möglichst kleinste Größe zu reduciren.
- 3) Den Widerstand der Luft auf die Umrufe so viel als möglich zu verringern.

Von dem Mittel den Einfluß der äußern Bewegung auf die Umrufe so viel als möglich zu vermindern.

67. Die Bewegungen, denen die Uhren ausgesetzt sind, üben, wie wir schon gesagt haben, auf die Schwingungen der Umrufe Einfluß, und ändern die Größe ihrer Bogen. Diesen Einfluß gänzlich zu beseitigen ist kein Mittel vorhanden; aber man kann die Wirkung genugsam vermindern, damit die Regelmäßigkeit des Ganges nicht merklich gestört werde.

Diejenigen Bewegungen der Uhr, welche in der Richtung einer durch den Mittelpunkt der Unruhe gehenden geraden Linie statt finden, ändern die Schwingungen nicht, weil der Einfluß dieser Bewegung auf die Unruhe auf der einen Seite dieser Linie durch den Einfluß der nämlichen Bewegung auf der gegenüber liegenden Seite dieser nämlichen Linie vernichtet wird. Aber es giebt wohl keine Bewegung, welche nicht mehr oder weniger kreisförmig wäre; denn für die weniger abweichende Bewegung, welche die Uhr in der geraden Linie erleidet, wie wir angenommen haben, wird die Bewegung dadurch mehr oder weniger kreisförmig, und auf diese Bewegungen hat man sein Augenmerk zu richten, denn dadurch geschieht es, daß die Größe der Schwingungsbogen variiert. Nimmt man die äußere Bewegung in der Ebene der Unruhe und völlig kreisförmig an, so betrachtet man den ungünstigsten Fall, den es geben kann; und wenn man dahin gelangt, den Einfluß einer gleichen Bewegung auf ein Kleines zu bringen, so ist man versichert sie auf sehr Wenig oder fast Nichts reducirt zu haben, in dem Falle nämlich, wo diese Bewegung nur wenig kreisförmig ist, und wie es während des Tragens einer Taschenuhr, oder auf der See mit einer Secuhr fast immer der Fall ist.

Wenn man die Anzahl der Unruh-Schwingungen in einer Secunde gleich 2 setzt, den Schwingungsbogen zu 175 Graden und die äußere und kreisförmige Bewegung der Uhr in der Ebene der Unruhe und zu 25 Graden in einer halben Secunde annimmt: dann ist die Bewegung der Unruhe sieben Mal so geschwind als die der Uhr, und es ist einleuchtend, daß die Bewegung der Unruhe am Umfange sich nur um den siebenten Theil vermehren oder vermindern kann; das heißt, daß die größten Bogen von 200 Graden und die kleinsten von 150 Graden sein werden. Nehmen wir jetzt an, daß die Unruhe in einer Secunde vier Schwingungen mache, daß die Schwingungsbogen von 175 Graden und die äußere und kreisförmige Bewegung der Uhr von 25 Graden seien, dann wird die Bewegung der Unruhe vierzehn Mal geschwinder als die der Uhr sein, und die Größe der Unruh-Schwingungsbogen nur ein Viertel abweichen; die größten Bogen werden nur um 25 Grade sich ändern, woraus man schließen kann, daß, indem man für eine gegebene Zeit die Zahl der Vibrationen vermehrt, während die Größe der Vibrationsbogen die nämliche bleibt, der Einfluß der äußern Bewegung oder der Beunruhigungen der Uhr vermindert wird, und daß allgemein die Unruhe, welche mehr Geschwindigkeit hat, den Wirkungen äußerer Beunruhigungen besser widersteht.

68. Der Richtigkeit der vorhergehenden Regel ungeachtet ist die Zahl der Schwingungen und die Geschwindigkeit dennoch beschränkt, denn die Erfahrung hat gelehrt, daß zu schnelle Vibrationen die Reibungen der verschiedenen Theile der Uhr zu sehr vermehren, und daß diese Reibungen die Maschine zerstören. Man hat also eingesehen, daß es passend ist, zwischen den zu schnellen Vibrationen und denen, welche zu langsam geschehen, einen Mittelweg einzuschlagen, und sie nicht zahlreicher zu machen, als es die Festigkeit des gesammten Uhrwerkes gestatten kann.

69. Die Erfahrung hat uns zum Glück zur Erreichung dieses Zweckes sichere Regeln in die Hand gegeben, indem man die Unruhe zum wenigsten vier Schwingungen in einer Secunde und zum höchsten fünf Schwingungen in derselben Zeit machen läßt. Ueberhaupt ist es dienlich Taschenuhren vier Vibrationen, und denen, welche heftigen Bewegungen ausgesetzt sind, wie den Secuhren mit Aufhängung, fünf Vibrationen in einer Secunde zu geben. Die Vibrationsbogen sind übrigens an Größe verschieden, nach Beschaffenheit der verschiedenen Hemmungen, womit die Uhren versehen sind; aber es ist hier noch nicht der Ort diesen Gegenstand zu betrachten.

Von der Reibung der Unruhzapfen, und von den geeigneten Mitteln sie möglichst gering und constant zu machen.

70. Um im Voraus die geeigneten Mittel anzuzeigen, die Reibung der Unruhzapfen auf die möglichst kleinste Größe zu bringen, so ist es nothwendig sich darüber zu verständigen, was man Bewegungsgröße einer Unruhe nennt. In der Bewegung dieses Regulators kommen zwei Dinge in Betrachtung, nämlich die Masse oder das Gewicht der Unruhe und ihre Geschwindigkeit. Die Masse multiplicirt durch das Quadrat der Geschwindigkeit, giebt die Bewegungsgröße der Unruhe.

71. Diese Bewegungsgröße muß in Beziehung auf die Reibung der Unruhzapfen möglichst groß sein; denn dadurch geschieht es, daß der Widerstand der Reibung der Zapfen überwunden wird. Man kann der Unruhe diese Bewegungsgröße auf zweierlei Arten ertheilen, entweder durch ein größeres Gewicht und kleineren Durchmesser, oder durch einen größern Durchmesser und weniger Gewicht oder Masse. Der Durchmesser bestimmt die Geschwindigkeit eines auf dem Umfange der Unruhe genommenen Punctes, und dieser Punct wird die doppelte Geschwindigkeit eines auf dem Umfange einer andern Unruhe genommenen Punctes haben, deren Durchmesser nur die Hälfte von dem der großen Unruhe ist, und welche dieselbe Anzahl Grade vibrirt als die erste. Man kann demnach die Geschwindigkeiten durch die Durchmesser ausdrücken, und wenn das Gewicht einer Unruhe gleich 16, und die Geschwindigkeit derselben Unruhe gleich 16 ist, so wird man für die Bewegungsgröße erhalten  $16 \times 16^2 = 4096$ . Setzen wir noch das Gewicht einer andern Unruhe gleich 4, und ihre Geschwindigkeit gleich 32, so wird man für die Bewegungsgröße erhalten  $4 \times 32^2$ , was 4096 macht.

72. Es ist bekannt, daß die Reibungen nach den durchlaufenen Räumen multiplicirt durch die Massen oder das Gewicht sich schätzen lassen. Nimmt man die Vibrationen der großen und kleinen Unruhe zu 360 Graden an, so wird die Bewegung der Zapfen in ihren Löchern in beiden Unruhen gleich sein, und von dieser Seite wird also die Reibung gleich. Daher ist es nur das Gewicht der Unruhen, welches eine Verschiedenheit in der Reibung bewirken könnte. In der großen Unruhe haben wir (§. 71) das Gewicht gleich 4 und in der kleinen 16 angenommen, es verhält sich also die Reibung der großen Unruhe zu der der kleinen Unruhe wie 4:16 oder wie 1:4, das heißt, die Reibung der großen Unruhe ist 4 Mal kleiner als die der kleinen. Wir sehen daher, daß eine Unruhe von großem Durchmesser aber weniger Gewicht weniger Reibung hat als eine andere Unruhe von mehr Gewicht aber kleinerem Durchmesser, indem die Bewegungsgröße in beiden dieselbe ist.

73. Aus dem Vorhergehenden sieht man, daß es nicht geeignet ist, eine zu kleine Unruhe anzuwenden; denn dann müßte man das Gewicht zu sehr vermehren, um die verlangte Bewegungsgröße zu erhalten, und dadurch würde man die Reibung zu beträchtlich machen. Es ist nicht angemessen, diese Unruhe nicht noch so leicht zu machen, daß die ganze Bewegungsgröße durch einen zu großen Durchmesser erzeugt wird; denn dann würde der Regulator nicht die nöthige Festigkeit haben und überdies vielmehr die Eigenschaften eines Windfanges (volant) als eines Regulators erhalten. Zwischen diesen beiden Grenzen giebt es ein glückliches Mittelmaaß, dessen Richtigkeit die Erfahrung bestätigt hat, und an

den Dimensionen, welche man in den Unruhen der Uhren findet, deren Gang als ausgezeichnet bekannt ist, wird man einen leichten und sichern Führer haben. \*)

74. Die stärkere oder schwächere Reibung der Zapfen des Regulators hängt nicht allein von dem größern oder geringern Gewicht der Unruhe ab; sondern auch von der Beschaffenheit der Zapfen selbst und von den Löchern in welchen sie gehen. Die Stärke der Zapfen, ihre stärkere oder geringere Härte und Politur, ihre Länge, der Stoff woraus die Löcher geformt sind, die Beschaffenheit des Deles, welches man anzuwenden genöthiget ist, die Beziehung zwischen dem Durchmesser der Zapfen und dem des Loches, sind eben so Ursachen von stärkerer oder geringerer Reibung. Man muß daher die sich darbietenden Mittel anwenden, um die Reibung durch die Zapfen selbst zu vermindern; auch muß man diejenigen gebrauchen, durch welche man die Reibung, da sie nicht zu vermeiden ist, zum wenigsten möglichst constant machen kann. Diese Mittel bestehen in Folgendem:

- 1) Die Zapfen von einem so kleinen Durchmesser zu machen, als es die Festigkeit erlauben möge; da die Reibung der Zapfen im Verhältniß ihrer Durchmesser steht, so haben die von einem kleinern Durchmesser auch weniger Reibung.
- 2) Die Zapfen gehörig gleichförmig zu machen, gut zu poliren, und sie gut zu härten, damit sie ihre Politur behalten können.
- 3) Löcher in hartem Stein anzuwenden, sei es in Saphir oder orientalischem Rubin, um darin die Zapfen gehen zu machen.
- 4) Die Zapfenenden gegen Deckplatten in hartem Stein gehen zu lassen, und wenn es eine Secuhr zum Aufhängen ist oder ein Chronometer, welcher übrigens immer in horizontaler Lage bleibt, das Zapfenende, welches die Unruhe trägt, darin gegen ein ebenes und gut polirtes Diamantblättchen gehen zu machen.
- 5) Den Zapfen Del zu geben, um die Reibung und den Rost zu verhindern.

Die größtmögliche Freiheit der Vibrationen des Regulators und die Beständigkeit der Reibung, welche statt findet, und welche man nicht vermindern kann, sind in einer Uhr von größter Wichtigkeit. Nichts trägt zu diesen Vollkommenheiten so sehr bei, als die Löcher in Stein, in welchen man die Zapfen der Unruhe gehen macht; aber es ist sehr wesentlich, daß diese Steine gut geformt sind, damit sich das Del an den reibenden Stellen halten könne, auch ist es unerläßlich, daß die Löcher im höchsten Grade polirt sind, damit die Zapfen ihre Politur erhalten können.

Fig. 5 Tafel III. stellt ein Loch in Stein mit seiner Deckplatte dar; a ist der Stein, in dessen Mitte ein für den Zapfen gebohrtes Loch sich befindet; dieser Stein ist auf die bekannte Art in den Messingring d gefaßt; der Stein a ist convex nach der Seite der Steinplatte b, welche ebenfalls in einen Messingring gefaßt ist, wie dieß in c zu sehen ist; die flache Seite des Steines ist für das Del mit einer Vertiefung versehen, welche sehr kurz, das heißt wenig tiefer oder länger als der Durchmesser der Vertiefung ist. Diese Vertiefung ist nicht völlig cylindrisch, sondern in der Mitte enger als an den Enden, wie man es in Fig. 6 sieht, wo die innere Form sehr im Großen gezeichnet ist. Da-

\*) Herr Couet, ein sehr ausgezeichnetes Uhrmacher, welcher, nachdem er eine Reihe von Jahren in dem Hause der Herren Breguet und Söhne, gearbeitet, hat Untersuchungen über die Größe und passendste Schwere angestellt, welche den Unruhen zu geben ist. Er hat es sich vorgenommen, wenn es ihm, wie er mit gesagt hat, die Zeit gestattet, seine Untersuchungen darüber fortzusetzen und die Resultate, zu welchen er gelangt, öffentlich mitzutheilen.

durch wird das dicke Del und die Unreinigkeit, welche sich am Loche sammeln würden, weniger gezwungen, und die Enden der Löcher, indem sie weiter sind, würden den Zapfen nicht beschädigen können, wie es zuweilen vorkommt, wenn man die Löcher cylindrisch und die lebhaften Winkel wenig abgestumpft macht. Auf der convergen Seite des Steines darf zwischen der Spitze und der Platte nur sehr wenig Licht vorhanden sein, denn dadurch strebt das Del, welches sich zwischen der Platte und der Spitze der Convergität des durchbohrten Steines befindet, immer durch die Attraction in das Loch in dem Maasse hineinzugehen, als das Deltheilchen vertrocknet, welches man in die Vertiefung gebracht hat.

75. Die verschiedenen Oele haben einen sehr großen Einfluß auf die Regelmäßigkeit der Uhren. Die einen sind dem Dickwerden und Vertrocknen unterworfen; die andern greifen die Metalle an, und in beiden Fällen ist ihr Einfluß äußerst schädlich. Man hat die Oele durch Gemische Prozesse zu verbessern gesucht; ich habe eine große Anzahl dieser präparirten Oele versucht, aber die Resultate, zu welchen ich gelangt bin, machen mich glauben, daß das reine und natürliche Del, so wie man es aus gehörig reifen Oliven durch Incision und nicht durch starkes Pressen zieht, das allerbeste zur Anwendung in der Uhrmacherkunst ist. Dieses ist es, welches ich vorzugsweise anzuwenden rathe, aber es ist nicht leicht sich dasselbe zu verschaffen. Was übrigens die Taschenchronometer und Secuhren anlangt, so ist für die reibenden Theile der Hemmung kein Del nothwendig, und von dieser Seite hat man viel gewonnen; es ist nur für Zapfen unerläßlich anwendbar; aber indem man dieselben an der Unruhe und dem Hemmungsrade recht sein, und nach den (§. 74) angezeigten Regeln macht, so wird es wohl wenig Einfluß darauf haben; so daß, wenn man kein besseres Del hat, als man anzuwenden genöthiget ist, so wird es in geringerer Beziehung auf die Regelmäßigkeit des Ganges der Uhr von Einfluß sein. Ueberall, wo es nicht möglich ist, einem Uebel ein völliges Gegenmittel entgegen zu setzen, ist es wenigstens gut den nachtheiligen Einfluß desselben vermindern zu können.

76. Es ist auch nothwendig, wie (§. 74) bemerkt worden ist, daß die Unruhzapfen gut ausgeführt, das heißt, gehörig hart und polirt sind. Die passendste Form dieser Zapfen ist diejenige, welche Fig. 7 zeigt, worin ein Theil der Unruhachse im Zapfen auslaufend dargestellt ist. Die Achse und der Zapfen sind in dieser Figur viel größer, um die wahre Form besser beurtheilen zu können. Der Zapfen ist nicht lang, aber die Basis ist vom Durchmesser der Achse und nimmt bis zum äußersten Ende ab, welches in dem Loche in Stein geht und welches sehr nahe cylindrisch ist. Dieser Zapfen ist nicht völlig conisch, sondern nähert sich dieser Form so, wie man es in der Zeichnung sieht. Wenn man die Zapfen auf diese Art ausführt, so werden sie sehr stark und fest ungeachtet der Feinheit desjenigen Theils, welcher davon in dem Loche in Stein geht. Es ist unerläßlich, den Durchmesser des Zapfen viel kleiner als den des Loches in Stein zu machen, damit das Del, welches früher oder später mehr oder weniger Consistenz annimmt, die freie Bewegung der Zapfen in dem Loche in Stein nicht hemmen könne. Die Regel, welche man gewöhnlich und mit dem besten Erfolg im Betreff des Durchmessers seiner Zapfen in Beziehung auf den des Loches in Stein anwendet, ist: den Zapfendurchmesser ein Sechstel kleiner als den des Loches zu machen. Wenn die Zapfen größer sind, wie in den großen Secuhren mit Aufhängung, dann könnte das Spiel von einem Siebentel des Durchmesser genügen.

77. Die Spirale würde die freie Bewegung der Unruhe hemmen, wenn sie so gelegen wäre, daß sie die Zapfen gegen die Wandung der Löcher presste.

Um diese Unbequemlichkeit zu vermeiden, muß man Sorge tragen, daß der Mittelpunkt der

Spirale und der der Umrufe sich zusammen in einem und demselben Punkte befinden, und daß die Spirale, nachdem sie an dem Spiralklöschchen (Ringnagel) befestigt worden ist, ihre natürliche Form behält, und keineswegs weder von der einen noch von der andern Seite gepreßt sei. Der geschickte und wohlverfabrene Arbeiter, welcher eine Spirale wohl legen kann, verfehlt diesen wesentlichen Theil nie, weil die Spirale gleichsam die Seele der Uhr ist, wie wir in der Folge sehen werden.

#### Von dem Widerstande der Luft auf die Umrufe.

78. Wir haben gesehen, daß die Reduction des Widerstandes der Luft in der Construction des Pendels nicht gleichgültig ist, folglich an der Umrufe es viel weniger sein muß, weil dieselbe mehr Geschwindigkeit hat als das Pendel, und viel weniger Masse, um diesen Widerstand zu überwinden, und daß sie daher vielmehr als das Pendel gestört wird. Indessen hängt es nicht von uns ab diesen Widerstand der Luft auf eine sehr kleine Größe zurückzuführen, denn dieß würde nur geschehen können, wenn man die Umrufe von einem kleinen Durchmesser machte; aber wir haben (§. 72) gesehen, daß kleine Durchmesser die Reibung vermehren, deren Einfluß viel nachtheiliger ist als der Widerstand der Luft. Aber zum Glück weicht die Dichtigkeit der Luft nur wenig ab, und wird in dem Gange der Uhr nicht die Ursache von merkbarer Unregelmäßigkeit werden können.\*) Da es nun nicht von uns abhängt, den Widerstand der Luft zu vermindern, indem man den Durchmesser sehr klein und die Vibrationen weniger schnell und groß macht, so bleibt uns nichts weiter übrig, als der Umrufe, deren Durchmesser und Geschwindigkeit bestimmt sind, die vortheilhafteste Form zu geben, damit sie durch die umgebende Luft so wenig als möglich behindert werde. Zu diesem Zweck ist es dienlich die Umrufe scharf zu machen, damit sie die Luft besser durchschneiden können; auch ist es geeignet die Umrufe ringsförmig zu machen, denn dann wird sie mehr Gewicht oder Masse und weniger widerstehende Oberfläche erhalten. Nach demselben Princip ist es auch geeignet, sie aus einem Metall von großer specifischer Schwere zu machen. Platina wäre in dieser Hinsicht das vortheilhafteste, nach Platina aber Gold und nach dem Golde Messing. Was die Compensationsumrufe betrifft, so findet daselbst von Seiten der Luft noch mehr Widerstand statt, als bei der gewöhnlichen Umrufe und eben da ist es, wo man sehr kleinen oder fast nichtigen Behinderungen keine größern Vortheile opfern kann, und alles was zu thun übrig bleibt, ist: die verschiedenen Theile dieses Regulators so zu formen, daß sie die Luft mit dem kleinst möglichen Widerstande theilen können. Davon werden wir in der Folge Erwähnung thun, wenn von der Compensationsumrufe die Rede sein wird.

Ist die Reibung der Umrufe auf die kleinst mögliche Größe zurückgeführt, und der Widerstand der Luft so viel es sich thun läßt, vermindert, so hat die Umrufe eine zur Zeitmessung große Vollkommenheit erlangt; aber der Einfluß der Temperatur, so wohl der Wärme als der Kälte, wird eine nicht geringe Ursache zur Unregelmäßigkeit sein. Der folgende Artikel wird von diesem schädlichen Einfluß handeln, und von der Art die Wirkungen desselben zu erfegen.

\*) Wir kommen in der Folge wieder auf den Artikel vom Widerstande der Luft auf die Umrufe zurück, und werden aus den über diesen Gegenstand gemachten Erfahrungen sehen, daß wir alle Besorgniß in Beziehung auf diese vermeinte Hinderung in der Regelmäßigkeit des Ganges der Uhr verbannen können. Man sehe unter der Ueberschrift: Von dem Einfluß der Luft auf den Regulator astronomischer Pendel und der Chronometer, welche sich im Anhange befinden.

## Zweiter Artikel.

Von dem Rackett; vom Einfluß der Wärme und Kälte auf die Unruhe, auf die Spirale und auf die Dauer der Schwingungen. Von der einfachen Compensation durch die Spirale.

79. Um die Wirkung der Compensation durch die Spirale zu begreifen, ist es nothwendig, die Wirkung und Anwendung des Racketts kennen zu lernen.<sup>\*)</sup>

Es ist bekannt, daß die Geschwindigkeit der Unrubschwingungen von der Kraft der Spirale abhängt, und daß die Vibrationen um so schneller erfolgen, je mehr Kraft die Spirale hat, und um so langsamer, je schwächer die Kraft der Spirale ist. Die Kraft der Spirale hängt von der Stärke, Breite und Länge ihrer Klinge, oder von den Umgängen ab. Die Stärke und Breite der Klinge seien bestimmt, so ist die Kraft nach der Länge verschieden, so daß die Spirale an Kraft zunimmt, wenn man die Klinge verkürzt, und im Gegentheil in dem Maße schwächer wird, als die Klinge verlängert.

Um durch die Unruhe eine gegebene Anzahl von Schwingungen hervor zu bringen, muß man daselbst eine Spirale von geeigneter Kraft anwenden, welche der Anzahl Vibrationen am nächsten kommt; um aber den äußersten Punct von Regelmäßigkeit zu erlangen, bedient man sich des Racketts, welches, indem man den äußern Umgang der Spirale verlängert oder verkürzt, nach Erfordern mehr oder weniger Kraft erzeugt. Der folgende Paragraph zeigt den sehr einfachen Mechanismus des Racketts an.

80. Fig. 8. Tafel III. stellt die Unruhe a a mit ihrer Spirale b dar, deren äußere Schnecke auf dem Kock durch das Spiralklözchen o und deren innerer Umgang auf der Unruhachse durch den Ring befestigt ist, so wie (§. 64.) angegeben worden ist. Auf der durchsichtigen Platte (Kloben) A, sieht man das Korn e e, welches das Loch für den Unrubzapfen enthält. Das Stück g m oder das Rackett ist auf dieses Korn e e zur kräftigen Reibung gestellt, so daß m den Bogen von F nach L durchlaufen kann; der gegenüber liegende Theil g wird daher einem Theil der äußern Schnecke der Spirale folgen. Zwei auf diesem Korn e e besetzte Schrauben hindern mit ihren Köpfen das Rackett sich zu heben, und diese Schrauben halten zugleich die Deckplatte oder das Gegenstück, auf welchem das Ende des Zapfens geht.

Fig. 9. zeigt den Kock oder den Kloben von unten und die Spirale in der Lage, welche sie haben würde, wenn sie auf der Unruhe oder ihre Achse aufgelegt wäre. Man sieht daselbst den Arm des Racketts, welcher die beiden Stifte m und n trägt, welche die äußere Schnecke der Spirale umgeben; dieselbe hat nur sehr wenig Spiel zwischen diesen Stiften m und n, welche den Theil b der Spirale während der Unrubschwingungen zu spielen hindern, so lange das Uebrige der Spirale während der Bewegung dieses Regulators in Thätigkeit ist. Man sieht dadurch, daß, indem das Rackett gegen p gedrückt wird, man den thätigen Theil der Spirale verkürzt, und dadurch dieselbe stärker wird und die Vibrationen schneller werden, und im Gegentheil, daß, indem man es gegen g rückt, der thätige der Spirale länger und dadurch schwächer wird, wodurch die Vibrationen weniger geschwind werden. Mittels des Racketts kann man daher die Geschwindigkeit nach Erfordern mehr oder weniger beschleunigen.

<sup>\*)</sup> Das Rackett ersetzt in den Uhren von neuerer Bauart die Stellung (la coulisserie) der ältern Uhren.

81. Die beiden Rackettsstifte sind also, wie wir bemerkt haben, nur wenig von einander entfernt. Wenn die Entfernung groß genug wäre, daß die Spiralfederklinge die Stifte selbst bei sehr großen Vibrationen nicht berühren könnte, so würde offenbar die Wirkung davon Null sein, und in dem Maaße als diese Stifte einander näher sind, würden dieselben mehr Wirkung erzeugen. Nimmt man daher den einen dieser Stifte beweglich an, um so das Spiel der Spiralklinge vermehren oder vermindern zu können, so sieht man leicht, daß dieß auf die Dauer der Vibrationen von Einfluß wäre, und daß die Stifte, indem man sie entfernt, dem Regulator weniger Geschwindigkeit geben würden, und daß, indem man sie nähert, die Vibrationen dadurch schneller werden würden. Dieß hat zur einfachen aber sinnreichen Compensation Gelegenheit gegeben, welche wir sehr bald beschreiben werden.

#### Vom Einfluß der Wärme und Kälte auf die Dauer der Unruh- schwingungen.

82. Die gleiche Dauer der Pendelschwingungen wird durch den Einfluß der Wärme und Kälte oder durch die Temperaturveränderung gestört: die der Unruhe ist es noch in einem weit höhern Grade. Die Pendelveränderungen entstehen allein durch die Ausdehnung und Zusammenziehung der Pendelslange; aber die der Unruhe entstehen nicht allein durch die Ausdehnung und Zusammenziehung der Unruhe, sondern auch aus diesen Wirkungen auf die Spirale selbst. Wärme vergrößert die Unruhe, verlängert die Spirale, und diese beiden vereinigten Ursachen machen die Vibrationen langsam und die Uhr nachgehen. Kälte erzeugt die entgegengesetzte Wirkung; das heißt, sie zieht die Unruhe zusammen und verkürzt die Spirale, was die Vibrationen schneller macht, und den Gang der Uhr beschleuniget. Diese Veränderungen sind sehr merkbar, selbst in den zum bürgerlichen Gebrauch bestimmten Uhren, und diese Art Maschinen ist es, auf welche man die Compensation durch die Spirale anwenden kann; aber für Seeuhren würde dieses Mittel nicht hinreichend sein und auf keinerlei Weise die Regelmäßigkeit erzeugen, welche man von diesen Maschinen fodert, und welche zur Längenbestimmung nothwendig ist. Hierauf muß man die vollkommenste Compensation anwenden, welches diejenige ist, die man durch die Unruhe selbst erlangt.

#### Von der einfachen Compensation durch die Spirale.

83. Um die Wirkungen des Compensators, welchen man auf die Spirale anwendet, zusammen zu fassen, ist es zweckmäßig, über die Wirkung nach zu denken, welche die Thätigkeit der Wärme und Kälte auf zwei Metallstäbe ausübt, welche, wie Fig. 10. Tafel III. zeigt, verbunden sind. A B stellt einen zusammengesetzten Stab vor, wovon der Stab a a aus Messing und der andere b b aus Stahl ist, und welche an einander gelöthet sind. Indem dieser zusammengesetzte Stab dem Einfluß der Wärme ausgesetzt wird, so werden die beiden Metalle sich ausdehnen; aber wir wissen, daß Messing sich mehr ausdehnt als Stahl, folglich wird der Stab a a sich mehr verlängern als der Stab b b, und den zusammengesetzten Stab in eine Richtung gegen D biegen, indem man das untere Ende A fest, und das obere B beweglich annimmt. Setzt man hingegen den Stab der Kälte aus, so wird die entgegengesetzte Wirkung statt finden; a a wird sich mehr als b b zusammenziehen und B in eine Richtung gegen C treiben. Diese Bewegung des zusammengesetzten Stabes ist sehr merklich; um sich davon zu überzeugen genügt es, einen eben solchen Stab über der Flamme einer Spirituslampe zu erhitzen; so wird alsbald die Krümmung sehr merklich werden.

84. Nimmt man den zusammengesetzten Stab von der Form A B C D Fig. 11. Tafel III., den äußern Theil aus Stahl und den innern aus Messing an. Nehmen wir noch den Theil B befestiget an, damit er den Ort nicht verändern kann, dann wird der Theil A durch die Wirkung der Wärme gegen C sich krümmen, und dadurch der Theil D selbst an e sich nähern; indem aber so die Wärme auf den Theil C D wirkt, wird die Wirkung sich noch vermehren, so daß die ganze Bewegung von D beträchtlich wird, und dieß mehr oder weniger nach dem Wärmegrade, welchem A B C D ausgesetzt ist. Die Richtung der Bewegung von D, wenn A B C D der Kälte ausgesetzt ist, ist der im vorhergehenden Falle entgegengesetzt, und D nimmt eine Richtung gegen f an, oder was dasselbe ist, nähert sich an B, während die Wärme D von B entfernt. Durch Wärme öffnet sich A B C D; durch Kälte schließt es sich. Aus dem (§. 51.) Gesagten wissen wir, daß weniger Spielraum zwischen den Stiften schnellere Vibrationen bewirkt, und daß im Gegentheil mehr Spielraum die Vibrationen weniger schnell macht. Indem man den Compensator A B C D auf das Radett anwendet, so daß der Theil B durch eine Schraube und einen Fuß auf dem Radett befestiget sei, und der Theil D beweglich bleiben könne, sieht man, wenn man einen Blick auf Figur 12 wirft, daß das Spiel der Spirale nach dem Einfluß der Temperatur auf diesen Compensator verschieden ist. Durch Wärme nähert sich D dem festen Stifte e, und die Spirale wird weniger Spiel haben; durch Kälte wird das Gegentheil statt finden, und die Spirale wird mehr Spiel erlangen. Die Wirkung der Wärme auf die Unruhe und auf die Spirale, welche die Vibrationen der Unruhe langsamer macht, wird durch das enge Einschließen der Federstifte ersetzt werden, und die Wirkung der Kälte, welche die Vibrationen schneller macht, wird durch die Trennung dieser Stifte selbst compensirt. Dieser Compensator wirkt, wie man gesehen hat auf eine sehr einfache Art, und kann mit Erfolg überall angewendet werden, wo es sich nur um eine genäherte aber doch größere Richtigkeit handelt, als man gewöhnlich von Uhren fordert, welche man im bürgerlichen Leben gebraucht.

### Dritter Artikel.

Von der Compensation durch die Unruhe, von dem Widerstande der Luft auf den Regulator, und von dem Isochronismus der Unruh-Schwingungen.

85. Die vollkommenste Compensation ist diejenige, welche durch die Unruhe selbst erlangt wird, und diese allein ist es, von welcher man einen genauen Gang bei veränderten Temperaturen hoffen kann.<sup>\*)</sup> Das Princip der Compensation durch die Unruhe ist sehr einfach und sinnreich; denn die Wärme, welche die Unruherschwingungen weniger schnell machen würde, macht zugleich den Durchmesser der Unruhe kleiner, so daß der Mittelpunct der Oscillation sich eben so dem Mittelpuncte der Bewegung bis zu dem Grade nähert, um eine vollkommene Compensation bewirken zu können. Kälte hingegen würde die Vibrationen beschleunigen, aber indem zugleich der Unruh-Durchmesser wächst, entfernt sich der Mittelpunct der Oscillation vom Mittelpuncte der Unruhe genugsam, damit noch eine genaue Compensation statt haben könne.

<sup>\*)</sup> Mehrere berühmte Künstler, als: Ferdinand Berthoud und Thomas Mudge haben geglaubt die Wirkungen der Temperatur durch die auf die Spirale wirkende Compensation verbessern zu können; aber der erste dieser Künstler hat diese Methode von selbst fahren lassen, und befolgt seitdem die Compensationsart durch die Unruhe selbst.

86. Fig. 13. Tafel III. stellt die Compensations-Uhr dar;  $e a$  und  $e b$  sind die Uhrarme, welche die beiden Klängen  $a c$  und  $b d$  tragen, welche concentrisch zur Uhrachse sind, und an ihren Enden die Gewichte  $e$  und  $d$  tragen. Die Stäbe  $a c$  und  $b d$  sind aus zwei Metallen von verschiedener Ausdehnbarkeit zusammengesetzt, wovon der innere sich durch Wärme und Kälte weniger ausdehnt und zusammenzieht als der äußere. Nachdem was (§. 83.) über die zusammengesetzten Stäbe gesagt worden ist, sieht man leicht, daß Wärme die compensirenden Gewichte  $e$  und  $d$  dem Mittelpunkte der Uhr nähert, und Kälte hingegen sie vom Mittelpunkte entfernt, und durch diese Bewegung gelangt man dahin, die Wirkungen der Temperaturveränderungen zu compensiren.

87. Je nach der größern oder geringern Länge der zusammengesetzten Stäbe und nach dem größern oder geringern Gewicht der compensirenden Massen, wird die Compensation mehr oder weniger stark sein. Sind die Stäbe von geringer Länge, so werden die Gewichte  $e$  und  $d$  durch Wärme kleinere und durch Kälte größere Bogen beschreiben, und sich so dem Mittelpunkte der Uhr mehr nähern oder davon entfernen, was den Oscillations-Mittelpunct der Uhr wesentlich verändern wird. Schwerere Gewichte werden also eine stärkere Compensation bewirken als leichtere. Man sieht also, daß man die Compensation nach Erfodern mehr oder weniger stark machen kann; und wenn man z. B. die Compensation zu stark fände, so würde man nur die Gewichte  $e$  und  $d$  an  $a$  und  $b$  zu nähern oder sie zurückschieben dürfen. Wenn hingegen die Compensation zu schwach wäre, so würde man dadurch helfen, indem man  $e$  und  $d$  fortrückte oder was dasselbe ist, indem man sie von  $a$  und  $b$  entfernte; wenn dieses Mittel nicht hinreichend wäre, so wäre es nothwendig das Gewicht der compensirenden Massen zu vermehren. Die Schrauben  $a$  und  $b$  oder  $o$ ,  $o$ , welche in der Richtung der Uhrarme befestiget sind, dienen dazu ihre Geschwindigkeit zu reguliren; indem man sie dem Mittelpunkte der Uhr nähert, werden die Vibrationen schneller werden, und indem man sie vom Mittelpunkte entfernt, werden dieselben langsamer erfolgen. Fig. 15. zeigt das Barret, welches die Regulierungsschraube trägt, und Fig. 16. stellt sowohl das Barret als auch die Regulierungsschraube dar.

88. Nur durch wiederholte Versuche und öfteres Herumtappen gelangt man zu einer genauen Compensation. Es ist genug hier die Art und Weise gezeigt zu haben, welche die Compensation bewirkt; in der Folge werden wir Gelegenheiten haben auf diesen wichtigen Gegenstand zurück zu kommen und wir werden dann in die größern Einzelheiten der Art und Weise die Compensation zu reguliren, eingehen.

89. Die Compensatoren der Uhren erfordern eine große Genauigkeit in der Ausführung. Die betreffenden entgegengesetzten Theile müssen streng von der nämlichen Stärke und von gleichem Gewicht und die zusammengesetzten Stäbe müssen zur Achse der Uhr völlig concentrisch sein. Dieselben müssen also genau dieselbe Länge haben, und die compensirenden Gewichte müssen so angebracht sein, daß die Entfernung der Mitte eines Gewichtes von der des andern genau die Hälfte des Umfanges der Uhr ist, oder was dasselbe ist, diese Gewichte müssen genau in dem Durchmesser der Uhr gelegen sein. Ohne diese Vorkehrungen ist es unmöglich, daß die Uhr während der verschiedenen Temperaturen ihr Gleichgewicht behalte; denn wenn man das Gleichgewicht in mittlerer Temperatur hergestellt annimmt, wird die Ungleichheit in der Bewegung der Stäbe durch einen größern Wärme- oder Kältegrad das eine der compensirenden Gewichte mehr dem Uhrmittelpunkte nähern oder davon entfernen als das andere, und die Uhr wird nicht mehr im Gleichgewicht sein, was einen sehr nachtheiligen Einfluß auf den Gang der Uhr hat, besonders wenn sie zum Tragen bestimmt, und folglich in verticaler Lage ist. Die compensirenden Gewichte  $e$  und  $d$  sind, wie wir ge-

sagt haben, durch die compensirenden Stäbe gestützt und diese gehen in der Fuge der Masse, welche man in Fig. 14. sieht. Diese Fuge muß die gehörige Länge haben, damit zwischen dem Stabe und dem Gewicht kein Spiel vorhanden sei, doch aber genug Freiheit, damit man dieses Gewicht längs des Stabes mit wenig Kraft bewegen könne. Fig. 14. zeigt auch die Schraube, welche das Gewicht auf dem Stabe befestiget.

90. Was die Wahl der Metalle anlangt, woraus man die Compensationsunruhe zusammensetzt, ist es schicklich, wie wir schon bemerkt haben, zwei Metalle von sehr verschiedener Ausdehnbarkeit zu wählen, damit eine hinreichende Bewegung für die Stäbe statt finde, um die nöthige Compensation herzustellen. Stahl und Messing werden gewöhnlich angewendet, und indem man den Stahl härtet, erlangt die Unruhe mehr Festigkeit, behält besser ihre Form und kommt nicht in Gefahr so leicht gebogen zu werden wie diejenigen welche nicht gehärtet sind. Mehrere Künstler haben die Stäbe aus Platina und Messing zusammengesetzt; aber diese Methode, ob sie gleich sehr gut ist, wird wenigstens jetzt nicht befolgt.\*)

91. Es ist sehr wesentlich die beiden Metalle, welche die compensirenden Stäbe formiren, zusammen zustoßen oder fest zu verbinden, denn wenn zwischen den beiden Stäben nicht die vollkommenste Adhäsion statt fände, so würde Unregelmäßigkeit in der Bewegung entstehen, und folglich auch in dem Gange der Uhr. Die Methode, Messing um den Stahl zu schmelzen, ist die in England gebräuchliche und sie ist gut; aber man kann auch Messing mit Stahl durch Silberloth zusammenlöthen, und diese Methode ist wenigstens eben so gut als die andre, wenn man nur Sorge trägt, daß der Lothstab, welcher zwischen beiden Metallen sich befindet, überall am Umfange der Unruhe gleiche Stärke habe.\*\*)

#### Von dem Widerstande der Luft auf die Compensationsunruhe.

92. Der Widerstand der Luft ist auf Compensationsunruhen beträchtlicher als auf gewöhnliche Unruhen; diese erstern haben mehr Geschwindigkeit und bieten der Luft mehr Widerstand als die ge-

\*) Weißgold oder Platina ist äußerst weich, und aus diesem Grunde ist dasselbe, wenn man es zu Compensations-Unruhen gebraucht, nur auf diejenigen mit Fallschirmen (parachutes) anzuwenden, um die Unruh-Reifen zu verwahren und zu verhindern, daß sie sich durch einen Fall der Uhr nicht biegen.

\*\*) Ein sehr berühmter englischer Uhrmacher hat bekannt gemacht, daß die Methode die compensirenden Unruhstäbe zu löthen, nicht gut sei, und der Beweis den er beibringt, ist: daß das Metall, welches die beiden Metallstäbe an einander zu löthen dient, durch Wärme und Kälte eine heftigere Bewegung habe als die beiden andern Metalle. (Dieser Ausdruck ist wenig verständlich, aber man muß annehmen, daß er unter heftiger Bewegung eine sehr große Ausdehnbarkeit oder Zusammenziehung durch Wärme und Kälte versteht.) Er will behaupten, daß diese Bewegung der Bewegung der Stäbe entgegen sei. Aber wer darauf Achtung giebt, findet sogleich den Irrthum seiner Angabe. Wenn es eines Beweises dieser Wahrheit bedarf, so führe ich das Thermometer von Breguet an, ein Instrument von Empfindlichkeit, welches noch von keinem Thermometer übertroffen worden ist, und in welchem der Stab aus drei Stäben besteht, die beiden äußern aus Platina und Silber und der mittlere aus Gold, dessen Dehnbarkeit zwischen der der Platina und der des Silbers liegt. Da dieses so construirte Instrument alle mögliche Wirkung erzeugt, so kann man hinsichtlich der angeblichen Nachtheile beruhigt sein. Nach meiner eignen Erfahrung, welche ich gemacht habe, sind die gelötheten Unruhen eben so gut als die andern, wenn nicht noch besser, und haben alle Empfindlichkeit, welche man wünschen kann und die größte Gleichmäßigkeit der Bewegung. Die Güte der Methode die Compensationsunruhen zu löthen wird noch durch die tragbaren Metallthermometer bestätigt. Ich habe mehrere Hunderte von diesen Instrumenten ausgeführt, welche alle mit Silber gelöthete und gehärtete Stäbe haben. Ihre Empfindlichkeit läßt nichts zu wünschen übrig und die beständige Gleichheit ihrer Bewegung ist nicht zweifelhaft, denn der Zeiger des Instruments durchläuft einen großen Raum durch eine kleine Bewegung des Stabes und würde also die kleinste Ungleichheit der Bewegung des zusammengesetzten Stabes angeben.

wöhnlichen Unruhen. Dieß ist besonders in den großen Secuhren der Fall, wo dieser Widerstand durch den großen Unruhdurchmesser beträchtlich wird, wie wir nachher aus den von mir gemachten Erfahrungen sehen werden. Dieser Widerstand macht die Vibrationen weniger groß, so daß man genöthiget ist, um ihnen die gehörige Größe zu geben, die Triebkraft in dem Maaße zu vermehren, als die Unruhen von Seite der Luft mehr Widerstand erleiden.

Wir sind indessen nicht im Stande diesen Widerstand nach Wunsch auf eine sehr kleine Größe zu bringen, weder, indem man die Unruhe von einem kleinen Durchmesser, noch indem man die Geschwindigkeit der Unruhe weniger groß macht; denn man würde sehr kleinen Nachtheilen reelle Vortheile aufopfern, wie wir schon (§. 78.) gesagt haben, als von dem Widerstande der Luft auf die Unruhen gewöhnlicher Uhren gesprochen wurde. Alles was man thun kann, ist: die widerstehenden Flächen der Compensationsunruhe so klein als möglich zu machen, damit sie die Luft besser durchschneiden. Man reducirt das Volumen der compensirenden und regulirenden Gewichte und folglich den Widerstand der Luft, indem man sie aus einem Metall von großer specifischer Schwere macht, als: Gold, und Platina würde in dieser Beziehung noch besser sein.

Indem man den compensirenden Gewichten die Fig. 13. Tafel III. angezeigte Form giebt, werden dieselben natürlich die Luft besser durchschneiden als diejenigen, welche für dieses Mittel eine Ebene darstellen. Was die Regulierungsschrauben anlangt, so würde es gut sein, die Köpfe in Form einer Pendellinse zu machen, oder wenigstens flach und an den Rändern abgerundet. Dadurch würde der Widerstand der Luft wenig beträchtlich oder wenigstens sehr schwach.

#### Von dem Isochronismus der Unruhsschwingungen und der cylindrischen Spirale.\*)

93. Die Schwingungsbogen der Unruhe werden in dem Maaße kleiner als die Uhr längere Zeit gegangen ist; denn die Reibungen nehmen durch Vertrocknen und Dickwerden des Deles zu, und verhindern daher das Räderwerk seine ganze Kraft dem Regulator mitzutheilen, und dieser erfährt sogar einen neuen Widerstand in seiner Bewegung durch das Dickwerden des Deles an den Zapfen; ein anderer Grund die Unruh-Schwingungsbogen zu vermindern. Die Erschütterungen, denen eine Taschenuhr ausgesetzt ist, und die, welche die Längenuhren auf der See erleiden, stören ebenso mehr oder weniger die Vibrationen der Unruhe, und ändern daher mehr oder weniger die Größe der Unruhsschwingungen. Diese Veränderungen in der Größe der Schwingungsbogen sind für die beständige Regelmäßigkeit des Ganges der zur genauen Zeitmessung bestimmten Uhren sehr nachtheilig geworden. Zwei ausgezeichnete Männer haben diesen Umstand gehoben, und sie haben uns den Weg gezeigt, große und kleine Unruhsschwingungen von gleicher Dauer oder isochronisch zu machen.

94. Der gehörige Isochronismus der Vibrationen der Unruhe ist der Hauptgrund der Genauigkeit der Längenuhren. Die beiden berühmten Künstler, denen wir die Entdeckung der isochronischen Größe der Spirale verdanken, sind auf zwei verschiedenen Wegen zu diesem Zweck gelangt.

Die Methode von Pierre Le Roy ist diejenige, welche man am meisten anwendet, und sie gründet sich darauf, daß eine sehr kurze Spirale ihrer ganzen Länge nach von gleicher Stärke gespannt

\*) Wenn es erlaubt ist, der Spirale den Namen Seele der Uhr beizulegen, so wird sie eine verständige Seele, wenn sie mit Isochronismus begabt ist. (Louis Berthoud.)

ist, während die Vibrationen dadurch schneller werden. Eine sehr lange Spirale hingegen, welche für die nemlichen Vibrationen gespannt ist, wird weit weniger als die erste, oder in einer weit weniger starken Fortschreitung, und bei großen Vibrationen langsamer gehen, als eine kurze Spirale. Oder es muß daselbst zwischen diesen beiden verschiedenen Längen eine mittlere Länge geben, wo große und kleine Vibrationen von gleicher Dauer sind; und in der That hat dieß die Erfahrung bestätigt. Die Methode von Ferdinand Berthoud, die Schnecke isochronisch zu machen, gründet sich auf ein Princip, das von dem des Herrn Pierre Le Roy sehr verschieden ist, wornach der Isochronismus durch die Form der Spirale und nicht durch die Länge der Feder erlangt wird. Ferdinand Berthoud macht die Klinge der Spirale wie eine Ruthe allmählig schwächer, in dem Maße als der Stab sich vom Mittelpunct der Spirale entfernt. Dadurch könnte eine kürzere Spirale wie die von Le Roy eben so isochronisch werden.

95. Beide Methoden können mit Vortheil angewendet werden; aber überall wird die von Le Roy vorzuziehen sein, da man sich einer Klinge von gleicher Stärke bedienen kann. In den Taschenuhren, wo die Form nicht immer eine sehr lange Spirale anzuwenden erlaubt, kann man gezwungen sein zur Methode Ferdinand Berthoud's zurückzugehen; aber dann stößt man in der Ausführung auf die große Schwierigkeit, daß man die Stärke der Spiralklinge in einer genauen und völlig geeigneten Fortschreitung vermindern muß.

96. Wir kommen in der Folge auf den Artikel des Isochronismus wieder zurück, wenn wir die Beziehung anzeigen, welche zwischen der Dauer großer und kleiner Unruhsschwingungen am geeignetsten ist; denn die Erfahrung hat gelehrt, daß, um lange Zeit einen regulären Gang einer Längenuhr zu erlangen, es geeignet ist, bis zu einem gewissen Puncte, von dem Princip eines vollkommenen Isochronismus, abzuweichen, wie wir sehen werden, wenn wir von der Regulierung der Längenuhren sprechen. Die nöthigen Beweise über diesen Gegenstand können nur an einer gehenden Uhr nachgewiesen werden, und wenn die verschiedenen Theile in aller Vollkommenheit ausgeführt sind; folglich ist hier der Ort nicht, davon Erwähnung zu thun. Man sehe das 14te Kapitel nach.

97. Die Form der Spirale für Längenuhren zeigt Fig. 17 und 18 Tafel III, wo man sieht, daß die Spirale cylindrisch ist; nach dieser Form sind die Schnecken dem Berühren durch sehr große Vibrationen weniger unterworfen. Der Uhrmacher kann diese Art leichter ausführen als die platten. \*) Was den Stoff anlangt, welchen man zu den Spiralen der Längenuhren verwendet, so kann man Gold oder Stahl nehmen; man kann, wenn man sich des Stahles bedient, denselben durch Mäße härten, oder indem man ihn hämmert. Die gebräuchlichste Methode ist die, den Stahl nicht auf nassem, sondern auf trockenem Wege zu härten. Auf die erstere Art läuft man Gefahr, daß die Spirale zerbrechlich wird, was man vermeidet, wenn man sie durch Pressen härtet. Die Art, die Spiralen aus Stahl zu machen ist auch die leichteste und kürzeste, wobey man noch den großen Vortheil hat, daß man sich den platten und gehärteten Draht (Faden) (fil) von allen nöthigen Durchmesser verschaffen kann. Zu denen, die ich ausgeführt habe, bediente ich mich nichtsdestoweniger 16 und 18karatigen Goldes, und ich habe dieses Metall immer zur Zufriedenheit angewendet, da es eine Elasticität erlangt, welche nichts zu wünschen übrig läßt, und welche der des ungehärteten Stahls nichts nachgiebt. Ob schon die Herstellung von Spiralfedern aus Gold weit beschwerlicher ist als die aus Stahl, für welche

\*) Eine Form, welche den Spiralfedern die meiste Elasticität giebt, und welche der Unruhe mehr Freiheit gestattet als andere, scheint die sphärische Form zu sein.

man die Feder immer vorgerichtet hat, so konnte ich doch nicht eine Methode unberührt lassen, welche sich mir durch die Erfahrung hinreichend bewährt hat, um so mehr, da sie überdieß den großen Vortheil gewährt, daß diese Federn vom Rost nicht angegriffen werden können, wie es fast immer, früher oder später mit denen aus Stahl in den Secubren der Fall ist.\*)

Bemerkung. Nach den durch ein Instrument gemachten Erfahrungen, welches die größere oder geringere Elasticität zu schätzen dient, hat man gefunden, daß Federn aus 18 karatigem Golde (obschon es mit dem reinsten rothen Kupfer verbunden, und auf die bekannte Verfahrungsweise gehärtet ist) ihre Elasticität vollkommen behalten, ungeachtet, daß sie eine sehr große Tension bis zu 360 Graden und darüber haben.

Da etwas Genaueres selbst über die Spiralen aus gehämmerten Stahl nicht bekannt ist, so mag man sich durch folgende Erfahrungen überzeugen:

Man nimmt Rundstahl, der möglichst rein ist, von  $\frac{1}{4}$  Linie Dicke, zieht ihn durch das Streckisen, um daraus eine Klinge von  $\frac{1}{7}$  Linie Dicke und  $\frac{1}{20}$  Linien Breite zu erhalten; diese Klinge wird so hart, daß sie, wenn man sie biegt, fast wie Glas bricht; hat man sie sonach spiralförmig gebogen und einer Unruhe angepaßt, und dieser Feder eine Tension von 360 Graden gegeben, so kann man noch einen Grad weiter gehen. Dieser Versuch mehre Male mit anderem gehämmerten Stahl wiederholt, hat fast immer dieselben Resultate geliefert. Man hat denselben Versuch mit wenig gehämmerten Stahl gemacht, die Blätter waren doppelt, dreifach, u. s. w. und überdieß von nochmals geglühtem Stahl. Hiernach ist es schießlich, die Spiralfedern aus gehärtetem Stahl zu machen und sie blau anlaufen zu lassen, damit sie mehr elastisch werden.

18karatiges Gold, wenn es mit sehr reinem Kupfer alligirt und nach den oben stehenden Processen gehärtet ist, behält seine Elasticität vollkommen, ungeachtet daß es eine Tension von 360 Graden und mehr besitzt, was ihm die Eigenschaft ertheilt, daß es mit Erfolg für Chronometer und Secubren anwendbar ist. Man wird bemerken, daß die Spirale aus Gold schwerere compensirende Gewichte für die Unruhe erfordert, um die Ausdehnung und Zusammenziehung des Stahls durch die verschiedenen Temperaturgrade zu verbessern.

## Viertes Kapitel.

### Von der Triebkraft.

98. Um den Bewegungsverlust des Regulators der Uhren zu ersetzen, welcher durch die Reibung und den Widerstand der Luft erzeugt worden ist, theilt man dem Regulator, durch eine Folge von Rädern und Trieben in zunehmender Geschwindigkeit und durch die Hemmung, die wiederherstellende Wirkung einer äußern Thätigkeit oder Triebkraft mit. Diese Kraft muß hinreichend groß sein, um die Trägheit der Getriebe und die Reibung zu überwinden, welche die verschiedenen Theile der Uhr erleiden, und um die Geschwindigkeit der Bewegung zu erhalten, welche man von diesem Regulator fordert. Es geschieht nur selten, daß man durch Versuche oder durch Erfahrung die Größe der Triebkraft in einer Uhr mit Genauigkeit bestimmen kann. Die Größe der Reibung des Räderwerkes, der Hemmung, des Regulators und die Trägheit der Getriebe zu schätzen ist schwierig, folglich noch weit schwieriger die Kraft zu berechnen, welche zur Ueberwindung derselben nöthig ist.

\*) Herr Arnold hat aus gehärtetem Stahl Federn erzielt, welche denen aus ungehärtetem und denen aus Gold gleich sind; alle sind von gleicher nöthiger Elasticität, es ist daher einleuchtend, daß diejenigen Federn, welche dem Rosten nicht unterworfen sind, vorgezogen werden müssen.

99. Die Triebkraft wird entweder durch die Schwere oder durch die Elasticität erzeugt (§. 6), das heißt, entweder durch Gewichte oder durch Federn. Die Gewichte werden in feststehenden Uhren angewendet; die Federn in denjenigen, welche den Erschütterungen ausgesetzt sind. Die erstern wirken durch eine Schnur, welche um einen mit dem Hauptrade der Uhr verbundenen Cylinder gewickelt ist. Die Wirkung des Gewichts ist immer dieselbe, die dadurch erzeugte Triebkraft muß als die gleichmäßigste betrachtet werden, und darum sind die Gewichte den Federn in allen Fällen vorzuziehen, wo man Gelegenheit hat, davon Gebrauch zu machen. In den Taschenuhren kann man blos Federn anwenden, welche entweder unmittelbar oder durch Einschaltung eines Kettenrades oder gekürzten Kegels auf das Räderwerk wirken.

100. Die Einrichtung einer Pendeluhr mit der Feder ist oft so beschaffen, daß die größte Gleichmäßigkeit der Triebkraft eine wesentliche Bedingung wird, um ihren Gang regelmäßig zu machen.<sup>o)</sup> In diesem Falle ist es absolut nothwendig ein Kettenrad anzuwenden. In den Seeuhren hat man allgemein ohne Ausnahme eine ganz genaue Gleichmäßigkeit in der Triebkraft herzustellen gesucht, und zu diesem Zweck daselbst das verbessernde Kettenrad angewendet, welches, das Hauptrad führend, die Kraft der Feder auf das Räderwerk fortpflanzt. Dieses Kettenrad hat die Gestalt eines gekürzten Kegels, und die Feder theilt ihm ihre Thätigkeit durch eine Kette mit, welche sich in einer am Umfange des Kettenrades gemachten Fuge auf- und abwickelt. Wenn die Feder gespannt ist, wirkt sie auf den weniger entfernten Theil der Achse des Kettenrades, oder auf einen sehr kurzen Hebel; aber in dem Maße als die Feder, indem sie sich loswickelt, an ihrer Spannung oder Kraft verliert, wird die Thätigkeit derselben allmählich auf die entferntern Theile der Achse oder auf längere Hebel übergehen; hieraus erhellet, daß man nach Maafgabe der Form des Kettenrades oder der Länge seiner Hebel nach der abnehmenden Kraft der Feder dahin gelangen kann, die Thätigkeit der Feder völlig gleich zu machen<sup>oo)</sup>.

101. Indessen hat uns die Erfahrung bewiesen, daß die Anwendung des Kettenrades nicht absolut nothwendig ist, um den Gang einer Seeuhr regelmäßig zu machen, und daß man den möglichst glücklichen Erfolg haben kann, wenn man von einem gezahnten Federhause Gebrauch macht, welches unmittelbar auf den Haupttrieb des Räderwerkes wirkt. Diese Art bietet ihrer Einfachheit wegen große Vortheile dar, und man vermeidet so die fast unzertrennlichen Beschwerlichkeiten des vereinigten Mechanismus des Kettenrades und der Hilfskraft, wie auch die Gefahr des Zerspringens der Kette<sup>ooo)</sup>.

102. Man kann darauf übrigens eine fast vollkommene Gleichmäßigkeit durch gezahnte Feder-

<sup>o)</sup> Wie in den gewöhnlichen Uhren am Unruherad.

<sup>oo)</sup> Dieses Kapitel ist blos auf allgemeine Betrachtungen über die Triebkraft in den Uhren beschränkt, weil in den folgenden Kapiteln, welche von Chronometern, Seeuhren und astronomischen Pendeluhren handeln, die genaue Beschreibung des Kettenrades, des gezahnten Federhauses und der Gewichte ihren rechten Platz finden wird.

<sup>ooo)</sup> Es sind ungefähr funfzig Jahre, daß Pierre Le Roy seine Seeuhr ohne Anwendung eines verbessernden Kettenrades construirt hat; der Gang dieser Uhr zeigt zur Gnüge, daß man des Kettenrades entbehren kann. Die von den Herren Breguet Vater und Sohn gefertigten Seeuhren sind oft ohne verbesserndes Kettenrad. Der Gang derselben, welcher in der kostbaren Instrumentalsammlung des berühmten Astronomen Schumacher, die Nummer 3056 trägt, ist in den astronomischen Nachrichten für 1823 bekannt gemacht worden. Dieser Gang ist ausgezeichnet und beweiset, daß man im Stande ist, auch ohne Kettenrad gute Seeuhren zu construiren.

häuser erlangen, wenn der Maßstab so beschaffen ist, daß das Federhaus einen großen Durchmesser erhalten kann; denn so kann man eine sehr lange Feder anwenden, welche viele Umgänge um die Spindel oder den Wellbaum des Federhauses hat, wovon man nur einige Gänge für den Gang der Uhr anwendet, und es ist einleuchtend, daß der Unterschied in der Triebkraft, wenn die Uhr aufgezogen, oder wenn sie fast abgelaufen ist, nicht groß und im Verhältniß zur Länge der Triebfeder immer nur sehr klein sein kann. Diese langen und biegsamen Federn bieten noch den Vortheil dar, daß sie ihre Elasticität besser behalten, und dem Zerspringen weniger unterworfen sind als starke und kurze Federn, wie man sie gewöhnlich in den Uhren mit Kettenrade anwendet. Diese letztere Eigenschaft der Feder ist schätzbar, besonders in einer Secuhr, wo das Zerspringen dieser Triebkraft den Schiffer während der Reise der Vortheile eines so nützlichen Instruments beraubt.

103. Durch die in dem vorhergehenden Paragraphen angezeigten Mittel gelangt man glücklich dahin, die Ungleichmäßigkeit der Triebkraft auf ein Kleinstes zu reduciren; aber nie kommt man dahin, sie gänzlich zu beseitigen. Es ist einleuchtend, daß die Feder mit mehr Kraft wirken muß, wenn die Uhr aufs Neue aufgezogen worden ist, und daß sie im Gegentheil in dem Maße allmählig schwächer wirken muß, als sie während des Ganges sich abwickelt. Indessen dieser kleine Rest von Ungleichheit in der Triebkraft hat keinen Einfluß auf den Gang des Chronometers oder der Secuhr, wenn man dafür sorgt, daß die Spirale oder die Feder gehörig isochronisch regulirt worden ist, denn dann werden die mehr oder weniger großen Bogen der Unruhe oder des Regulators in gleichen Zeiten sich vollenden, und folglich den Gang der Uhr nicht verändern.

104. Was die Feder selbst betrifft, so ist es wesentlich, daß sie aus einem zähen und nicht leicht brechbaren Stahl gemacht sei, welcher geeignet ist, eine ausgezeichnete Härte anzunehmen, die möglichst gleichmäßig sein muß. Aber diese Sorgfalt steht in der Gewalt des Federfabrikanten, und daher muß man sich nur an diejenigen wenden, welche für die besseren gehalten werden, von denen man ausgezeichnete Federn zu erhalten hoffen kann. Breite und schwache Federn sind in der Anwendung den schmalen und starken weit vorzuziehen, weil die breiten weniger unterworfen sind, sich zu ziehen oder in dem Federhause festzusetzen, oder was dasselbe ist, weil sie sich in einer und derselben Ebene besser auf- und abwickeln als kurze Federn, und daher weniger unterworfen sind gegen den Boden des Federhauses und gegen den Deckel zu reiben. Eben so zweckmäßig ist es, daß die Ränder der Feder gut abgerundet und polirt sind, damit die Reibung in dem Federhause vermindert werde.

105. Es ist auch sehr nothwendig, daß die Feder sich während des Abwickelns in dem Federhause nicht reibe, weil diese Reibung, welche nicht immer gleich wäre, die Federkraft verändern würde; dieß ist es auch was dem Federfabrikanten Gelegenheit giebt, seine Geschicklichkeit zu erproben.

106. In Paragraph 103 haben wir gesehen, daß der Isochronismus der Unruhenschwingungen in dem Gange einer Secuhr, die Wirkungen der Ungleichheit der Triebkraft aufheben kann. In den astronomischen Uhren ist die Triebkraft stets dieselbe (§. 99); aber diese köstliche Eigenschaft der Triebkraft erzeugt demungeachtet nicht ganz die Wirkung, welche zu wünschen ist.

Nach einiger Zeit vermehren sich die Reibungen in der Uhr, sei es durch Dickwerden des Oels, sei es durch andere Ursachen, so wird die dem Regulator mitgetheilte Reparativkraft immer weniger stark sein, und die Pendelschwingungen werden in dem Maße kleiner werden, als die Reibungen zunehmen. Die mehr oder weniger großen Oscillationen eines Pendels sind nicht isochronisch (§. 16), und die kleinen Bogen vollenden sich in kürzerer Zeit als die großen; folglich

werden die Pendelschwingungen in dem Maasse schneller, als die Reparativkraft, welche diesem Regulator durch das Hemmungsräd mitgetheilt wurde, sich vermindert, und die astronomische Uhr geht vor. \*)

Dieser Nicht-Ischronismus der Pendelschwingungen ist daher die Ursache, daß die strenge Gleichmäßigkeit der Triebkraft, welche durch Anwendung von Gewichten entsteht, nicht so viele Regelmäßigkeit erzeugt, als man annehmen sollte.

107. Es wäre noch zu wünschen, daß die Triebkraft einer astronomischen Uhr nach Verhältniß des durch die Reibung und die Verdickung des Deles verursachten Widerstandes vermehrt werden könnte. Um dieses zu bewirken, habe ich am Gehgewicht meiner astronomischen Pendeluhr einen Kelch angebracht, der dieselbe Form und Größe des Gewichtes hat, und in welches man von Zeit zu Zeit nach Erfordern ein Bleiforn von geeigneter Schwere legen kann, um so die Triebkraft zu vermehren, damit die Pendelschwingungen immer in völlig gleicher Größe erhalten werden können.

108. Es ist nothwendig, an den astronomischen Pendeluhrn eine Hilfskraft anzubringen, welche den Gang der Uhr, während sie aufgezogen wird, unterhalten kann (Man sehe d. 10te Kapitel); dasselbe gilt auch von den Seeuhren mit Kettenrad.

Dieser Mechanismus wird in der Folge dieses Werkes (13tes Kapitel, Artikel 1.) beschrieben werden; es würde folglich überflüssig sein, hier deshalb in Details einzugehen. Ich will nur bemerken, daß diese Hilfskraft zu einer beträchtlichen Vermehrung der Arbeit Veranlassung giebt, und daß es nöthig ist, in der Ausführung Sorge zu tragen, die Wirkungen derselben sicher zu erhalten.

Indem man in den Seeuhren das gezahnte Federhaus statt des Kettenrades (§. 101.) anwendet, vermeidet man den Mechanismus der Hilfskraft, denn die gezahnten Federhäuser haben die Eigenschaft die Uhr gehen zu machen, während man sie aufzieht. In den astronomischen Pendeluhrn könnte man von der Schnur ohne Ende Gebrauch machen, wie man sie vor Alters angewendet hat, und dann würde man keine Hilfskraft mehr nöthig haben.

Die Schnur ohne Ende läßt, ihrer Natur nach, die Uhr, während man sie aufzieht, fortgehen. Indessen bietet sie Unvollkommenheiten und Hindernisse dar, und damit ein astronomisches Pendel vollkommen sei, ist erforderlich, daß das Gewicht so wirke, wie in der Folge dieses Werkes angezeigt werden soll, und daß eine Hilfskraft die Uhr, während man sie aufzieht, im Gange erhalte.

## Fünftes Kapitel.

### Vom Räderwerke und der Berechnung der Räder und Triebe. (Tafel IV.)

Das Räderwerk theilt dem Regulator durch eine Folge von Rädern und Trieben die Thätigkeit der Triebkraft mit. In dem Maasse als die Räder sich von der Triebkraft weiter entfernen, nimmt

\*) Läßt man das Pendel in sehr kleinen Bogen schwingen (§. 17.), so ist es nothwendig, daß die Veränderung des Ganges durch die Vermehrung der Reibungen sehr klein und für Astronomen wenig merkbar werde; diese aber sind es, welche überhaupt astronomische Pendeluhrn gebrauchen und welche von diesen Instrumenten eine strenge Genauigkeit fordern. Diese Veränderung ist nicht gleichgültig, wenn die astronomische Pendeluhr als Regulator dienen soll; denn es kann besonders im Winter sich zu tragen, wenn der Himmel lange bedeckt ist, daß das Pendel mit den Fixsternen oder der Sonne nicht verglichen werden kann, und dann ist daran gelegen, daß während dieser Zeit die Uhr einen völlig gleichmäßigen Gang behalte.

die Geschwindigkeit zu, und verlieren nach Verhältniß ihrer Geschwindigkeit an Kraft. Die Kraft des letzten Rades (oder des Hemmungsrades) muß zureichend sein, den Bewegungsverlust zu ersetzen, den der Regulator sowohl durch den Widerstand der Luft als auch durch die Reibung erleidet. Die Kraft des Hauptrades muß der Zahl der Umdrehungen des Rades proportional sein, und nach der größern oder geringern Geschwindigkeit desselben vermehrt oder vermindert werden. Setzt man die Kraft des letzten Rades gleich 1, und die Zahl seiner Umdrehungen während eines Umganges des ersten Rades = 4800, dann muß die Triebkraft auch 4800 mal größer als die des letzten Rades sein, den Grundsätzen der Mechanik gemäß; abgesehen von dem Einfluß der Reibung der Getriebe.

110. Die Geschwindigkeit nimmt bei Verbindung zweier Räder von verschiedenen Durchmesser zu, in so fern dasjenige von größerem Durchmesser den Trieb oder das Rad von kleinerem Durchmesser leitet. Dieser Trieb macht in Beziehung auf das Rad eine so viel größere Anzahl Umdrehungen, so viel mal als der Durchmesser des Triebes kleiner als der des Rades ist. Man sieht also, daß es leicht ist die Geschwindigkeit eines letzten Rades zu vermehren, wenn mehre Räder und Triebe so verbunden werden, daß das erste Rad einen Trieb leitet, welcher concentrisch ein zweites Rad trägt, welches wieder einen zweiten Trieb leitet, der ein drittes Rad trägt, welches ferner einen Trieb leitet, der ein viertes Rad trägt, u. s. w. Diese Verbindung von Rädern und Trieben heißt das Räderwerk, und durch die Anwendung desselben geschieht es, daß die Triebkraft, in einer hinreichend langen gegebenen Zeit auf den Regulator wirken kann, bevor man genöthiget ist, sie zu erneuern, oder wie man gewöhnlich sagt, die Uhr aufzuziehen. Das Räderwerk trägt noch die Zeiger, welche die verstrichene Zeit angeben.

111. Tafel IV. Figur I. zeigt eine Verbindung von Rädern und Trieben. A, B, C, D sind die Räder, und p, q, r, die von den Rädern geführten Triebe. In den Maschinen greifen die Räder durch Zähne ein, welche an ihrem Umfange gemacht sind. Die Zahl dieser Zähne muß im Verhältniß ihrer Durchmesser stehen. Die Geschwindigkeit des Rades D verhält sich zu der von A wie das Product der Durchmesser (oder der Halbmesser) der Triebe; bezeichnet man die Geschwindigkeit von D durch V, und die von A durch v, so werden wir folgende Proportion haben:

$$a b \times p e \times q g : p d \times q f \times r h = V : v$$

112. Die Zahl der Zähne der Räder, welche den Eingriff bilden, muß im Verhältniß ihrer Durchmesser stehen.

Beispiel. Sei der Durchmesser eines Rades 30" und der des Triebes oder des kleinen Rades 3" und die Zahl der Zähne des Rades 120: wie viel Zähne muß der Trieb erhalten? man sage:

$$\text{Der Durchmesser des Rades } 30'' : \text{Durchmesser des Triebes } 3'' = 120 : x$$

$$x = \frac{120 \times 3}{30} = 12. \text{ Man erhält daher 12 Zähne oder Stäbe.}$$

Da die Zahl der Zähne immer im Verhältniß der Durchmesser steht, so folgt, daß man die Größe derselben durch die Zahl der Zähne selbst ausdrücken kann, und folglich auch, indem man in der Rechnung die Umdrehungen der Räder anwendet. Sind die Zahl der Zähne eines Rades und dessen Durchmesser und die Zahl der Stäbe des Triebes gegeben, so kann man den Durchmesser desselben durch Rechnung finden; aber in der Ausübung findet man die Größe der Triebe oder ihren Durchmesser leicht nach folgenden practischen Regeln, welche man in dem folgenden Kapitel findet.

113. Hier folgen einige auf die Umdrehungen sich beziehende Aufgaben:

Aufgabe. Die Anzahl der Umdrehungen des letzten Rades eines Räderwerkes von 5 Rädern

und 4 Trieben zu finden, wovon das erste 100 Zähne, das zweite 80, das dritte 60, und das vierte 50 Zähne enthält. (Da das fünfte keinen Eingriff hat, so kommt es nicht in Rechnung.) Der erste Trieb trägt 20 Stäbe, der zweite 16, der dritte 10 und der vierte 8 Stäbe.

Erste Methode. Aus (§. III.) haben wir gesehen, daß das Product der Durchmesser der Räder zum Product der Durchmesser der Triebe sich verhält wie die Geschwindigkeit des letzten Rades zur Geschwindigkeit des ersten Rades, welche Geschwindigkeit wir durch 1 ausdrücken, und folglich ist die

Geschwindigkeit des Rades  $V = \frac{\text{dem Product der Anzahl Zähne der Räder} \times 1}{\text{das Product der Anzahl Stäbe der Triebe,}}$

$$V = \frac{100 \times 80 \times 60 \times 50 \times 1}{20 \times 16 \times 10 \times 8}; \text{ und}$$

$$V = \frac{24,000,000 \times 1}{25600} = 937\frac{1}{2},$$

Zweite Methode. Die Geschwindigkeit des letzten Rades, oder was dasselbe ist, die Zahl seiner Umdrehungen während das erste Rad einen Umgang macht, ist  $937\frac{1}{2}$ . Indem man die Zahl der Zähne eines jeden Rades durch die Anzahl der Stäbe des in das Rad greifenden Triebes dividirt, und dann alle diese Quotienten in einander multiplicirt, und nachher mit  $v$  oder der Geschwindigkeit des ersten Rades, welche wir hier durch 1 ausdrücken, so gelangt man zu dem nämlichen Resultate,

$$V = \frac{1}{20} \times \frac{80}{16} \times \frac{60}{10} \times \frac{50}{8} \times 1, \text{ das heißt:}$$

$$V = 5 \times 5 \times 6 \times 6\frac{1}{4} \times 1 = 937\frac{1}{2}.$$

114. Aufgabe. Die Anzahl der Umdrehungen des letzten Rades eines Räderwerkes zu finden, wo die Triebe die Räder leiten.

Erste Methode. Da die Triebe die Räder leiten, so wird die Geschwindigkeit des letzten Rades zur Geschwindigkeit des ersten Triebes sich verhalten, wie das Product der Durchmesser der Räder und im umgekehrten Verhältniß der Durchmesser der Triebe, oder was dasselbe ist, wie das Product der Stäbe der Triebe zum Product der Zähne der Räder sich verhält; drückt man die Geschwindigkeit des letzten Rades durch  $v$  und die des ersten Triebes durch  $V$  aus, so wird man haben:

$$v = \frac{\text{dem Product der Stäbe}}{\text{das Product der Zähne der Räder}} \times V$$

(Man sehe Tafel IV. Figur I.) Sei A von 60 Zähnen, B von 48 und C von 42 Zähnen. (D kommt nicht in die Rechnung, indem es keinen Eingriff hat.) Und ist p von 12 Stäben, q von 8 und r von 7 Stäben, und die Zahl der Umdrehungen von r in einer gegebenen Zeit 2700, dann wird die Zahl der Umdrehungen von A in derselben Zeit sein:

$$\frac{12 \times 8 \times 7}{60 \times 48 \times 42} \times 2700 = 15$$

Hiernach verhält sich die Geschwindigkeit von r zu der von A, wie 2700 : 15, das heißt, die Geschwindigkeit von r ist  $27\frac{3}{4}$  oder 180 mal größer als die von A.

Zweite Methode. Um die Multiplication der Zähne in einander und die der Stäbe der Triebe zu vermeiden, hat man nur die Zahl der Stäbe eines jeden Triebes durch die Anzahl der Zähne des durch den Trieb geführten Rades zu dividiren, man multiplicire diese Quotienten ineinander, multiplicire

dann dieses Product durch die Zahl, welche die Umdrehungen des ersten Triebes ausdrückt, und man wird zu demselben Resultate gelangen:

$$v = \frac{7}{7} \times \frac{8}{8} \times \frac{10}{10} \times 2700,$$

$$\text{oder } v = \frac{1}{1} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{1} \times 2700 = \frac{1}{1} \times 2700 = 15.$$

Die beiden folgenden Aufgaben sind zur Berechnung der Getriebe für Uhren anwendbar.

115. Die Anzahl der Zähne des letzten Rades (des Hemmungrades) zu finden, damit die Uhr in einer Stunde 16500 Schwingungen mache (oder während das Minutenrad einen Umgang macht), wenn die Anzahl Zähne der übrigen Räder und die Stäbe der Triebe gegeben sind.

Anmerkung. Die Uhr mache für einen Zahn des Hemmungrades zwei Schwingungen, und wenn das Rad z. B. 20 Zähne hätte, so würde die Uhr 40 Schwingungen während einer Umdrehung des Rades machen.

Auflösung. Man berechne erst die Zahl der Umdrehungen des Hemmungrades während einer Umdrehung des Minutenrades. Dann dividire man die Zahl der gefundenen Umdrehungen durch die Hälfte der Anzahl Schwingungen, und man wird die Anzahl Zähne haben, welche das Hemmungrad erhalten muß. Man sehe Figur 2. Tafel IV. Setzt man die Anzahl Zähne und Stäbe wie folget:

B das Minutenrad von . 80,  
C das kleine Mittelrad von 60,  
D das Bodenrad von . . 56,

a, der Mittelpuncttrieb, kommt nicht in Rechnung, wie man leicht einsieht,  
b der Trieb des kleinen Mittelrades von . . . . . 8,  
c der Trieb des Bodenrades von . . . . . 8,  
d der Trieb des Hemmungrades von . . . . . 7;

dann findet man nach den §§. 111 und 113 die Zahl der Umdrehungen von E = 600. Die Hälfte der Schwingungen ist  $\frac{16500}{2}$  oder 8400, welche dividirt durch 600 =  $\frac{8400}{600} = 14$  als die gesuchte Zahl geben.

116. Die Stunden des Ganges einer Uhr und die Anzahl Zähne des Federhauses, oder des Kettenrades zu finden, so auch des Mittelpuncttriebes, damit die Uhr eine gegebene Zeit gehe.

Tafel IV. Figur 2. ist A das Federhaus, welches in den Mittelpuncttrieb a greift, welcher in einer Stunde einen Umgang macht. Nehmen wir die Anzahl Zähne des Federhauses zu 96, und die der Stäbe des Triebes zu 8 an, und daß die Feder drei Umgänge machen könne, bevor die Thätigkeit der Feder durch den Anhalter eingestellt wird, dann macht das Federhaus in zwölf Stunden einen Umgang, denn die Anzahl dieser Zähne 96, dividirt durch die Anzahl Stäbe des Triebes 8, machen  $\frac{96}{8} = 12$ .

Diese zwölf Stunden durch die drei Umgänge, welche das Federhaus machen kann, multiplicirt, geben uns  $12 \times 3$  oder 36 Stunden für den Gang der Uhr.

Man kann ebenso die Anzahl Zähne bestimmen, welche das Federhaus haben muß und die Zahl der Triebstäbe, damit die Uhr eine gegebene Zeit gehe. Erst ist erforderlich, die Zahl der Umdrehungen des Federhauses zu bestimmen. Setzen wir diese zu 3, hernach den Gang der Uhr auf 30 Stunden fest, dann sieht man, daß das Federhaus einen Umgang in 10 Stunden machen, und folglich 10 Mal so viel Zähne als der Mittelpuncttrieb haben muß. Setzt man die Stäbe des Triebes auf 8, so wird dann die Anzahl Zähne des Federhauses sein  $10 \times 8 = 80$ .

Damit eine Uhr ohne aufzuziehen 8 Tage gehe, gebrauche man ein Rad und einen Zwischentrieb zwischen dem Federhause und dem Mittelpunctstrieb. Nimm man das Federhaus zu 96 Zähnen; den ersten oder Zwischentrieb zu 12 Stäben; das Zwischenrad von 80 Zähnen; und den Mittelpunctstrieb von 10 Stäben: dann sieht man, daß das Zwischenrad nur einen Umgang in  $\frac{96}{15} \times 8$  oder 64 Stunden macht; so daß mit 3 und  $\frac{1}{2}$  Umgängen des Federhauses die Uhr über acht Tage gehen wird. Man kann ebenso durch Einschaltung mehrer Räder die Uhr so einrichten, daß sie einen Monat oder ein Jahr ohne Aufzuziehen gehen kann.\*)

Bemerkung. Wenn die Feder durch ein Kettenrad wirkt, so trägt dieses das erste Rad des Räderwerkes. In diesem Falle führt man in die Rechnung die Anzahl Gänge des Kettenrades anstatt der Umdrehungen des gezahnten Federhauses ein.

117. Wir wollen nun sehen, wie man die Berechnungen der Getriebe macht, wenn die Zahl der Zähne und Triebe gegeben ist; es ist uns noch übrig die Mittel kennen zu lernen, welche man anwendet, um die für die Getriebe geeignete Anzahl Zähne zu finden, damit sie eine gegebene Anzahl Umdrehungen hervorbringen, und wie man hiezu gelangt.

In einem Räderwerke kann man mehr oder weniger Getriebe anwenden, nach der größern oder geringern Größe, welche man denselben geben will; aber setzen wir jetzt die Zahl der Getriebe als gegeben voraus, so fängt man damit an, die Zahl der ihnen zugehörigen Triebstäbe zu bestimmen; ihr Product muß dann durch die verlangte Anzahl Umdrehungen multiplicirt werden. Nachher dividire man allmählich dieses ganze Product durch die Primzahlen,\*\*) nach ihrer Ordnung, bis man die Einheit oder Eins zum Quotienten erhält, und zwar auf folgende Art: Erstens dividire man das Product durch 2 (wenn es möglich ist) und fahre fort, die durch diese Zahl theilbaren Quotienten zu dividiren. Wenn man nicht mehr durch 3 dividiren kann, versuche man mit der folgenden Primzahl 5, und so ferner bis man die Einheit zum Quotienten hat. Nachher mache man so viele Theile aus diesen Primzahlen, als Räder in dem Räderwerke vorhanden sind, und das Product dieser Primzahlen aus jedem Theile, giebt die Anzahl Zähne, welche jedes Rad erhalten muß.

118. Die folgenden Beispiele werden das Verfahren deutlicher machen.

Erstes Beispiel. Die Anzahl Zähne der Räder in einem Räderwerke von 3 Rädern und 3 Trieben zu finden, damit das letzte Rad 200 Umgänge mache, während das erste davon einen macht.

Nach der oben gegebenen Regel, muß man erst die Anzahl Stäbe der Triebe bestimmen; wir ziehen folgende Zahlen vor:

Der erste Trieb von 12 Stäben, der zweite von 10, und der dritte von 8 Stäben. Indem man jetzt diese Zahlen in einander multiplicirt und dann durch die gegebenen Umdrehungen, so wird man haben  $12 \times 10 \times 8 \times 200 = 192000$ ; dann findet man die Divisoren oder die in diesem Product theilbaren Primzahlen auf folgende Art:

\*) Man bedient sich dieses Mittels bloß für die Pendeluhren.

\*\*) Man versteht unter Primzahl diejenige Zahl, welche die Einheit oder die Zahl selbst zum Divisor hat.

192000	:	Primzahlen	2	=	96000	Quotienten
	:		2	=	48000	
	:		2	=	24000	
	:		2	=	12000	
	:		2	=	6000	
	:		2	=	3000	
	:		2	=	1500	
	:		2	=	750	
	:		2	=	375	
	:		3	=	125	
	:		5	=	25	
	:		5	=	5	
	:		5	=	1	

Man mache dann aus diesen Primzahlen geeignete Theile, etwa auf folgende Art:

$$5 \times 5 \times 3 \times 2 = 150; \quad 5 \times 2 \times 2 \times 2 = 40; \quad 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32.$$

Diese Zahlen 150, 40, 32 werden für Räder anwendbar sein, damit das letzte Rad 200 Umdrehungen mache, so daß man sich davon überzeugen kann, wenn man die Methode der §§. 17 und 113 befolgt. Denn

$$\begin{aligned} 150 & : 12 = 12\frac{1}{2} \\ 40 & : 10 = 4 \\ 32 & : 8 = 4 \\ 12\frac{1}{2} \times 4 \times 4 & = 200 \end{aligned}$$

Bemerkung. Wenn diese Zahlen für Räder nicht bequem wären, und die Zähne nach der verschiedenen Größe der Räder zu schwach oder zu dick ausfallen sollten, so könnte man diese Primzahlen folgender Maassen abtheilen:

$$5 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 80; \quad 5 \times 3 \times 2 \times 2 = 60 \quad \text{und} \quad 5 \times 2 \times 2 \times 2 = 40$$

Diese Zahlen 80, 60, 40 werden gleichfalls für die gegebenen Umdrehungen geeignet sein, und die Probe davon ist folgende:

$$\begin{aligned} 80 & : 12 = 6\frac{2}{3} \\ 60 & : 10 = 6 \\ 40 & : 8 = 5 \quad \text{und} \\ 6\frac{2}{3} \times 6 \times 5 & = 200. \end{aligned}$$

119. Zweites Beispiel. Die Zahl der Zähne in einem Räderwerke von 5 Rädern zu finden, worin der letzte Trieb 4400 Umdrehungen machen soll.

Seien die Triebe 10, 8, 8, 6, 6.

So werden ihre Producte sein  $10 \times 8 \times 8 \times 6 \times 6 = 23040$ .

Indem man diese Zahlen durch die gegebenen Umdrehungen multiplicirt, wird man haben  $23040 \times 4400 = 101376000$ ; suchen wir jetzt die Primzahlen:

101376000	:	Primzahlen	2	=	50688000	Quotienten
	:		2	=	25344000	
	:		2	=	12672000	
	:		2	=	6336000	
	:		2	=	3168000	

3168000	:	Primzahlen	2	=	1584000	Quotienten
	:		2	=	792000	
	:		2	=	396000	
	:		2	=	198000	
	:		2	=	99000	
	:		2	=	49500	
	:		2	=	24750	
	:		2	=	12375	
	:		3	=	4125	
	:		3	=	1375	
	:		5	=	275	
	:		5	=	55	
	:		11	=	1	

Aus diesen Primzahlen kann man folgende fünf Theile machen:

$$5 \times 5 \times 2 = 50; \quad 5 \times 3 \times 3 = 45; \quad 11 \times 2 \times 2 = 44; \quad 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32; \\ 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32;$$

Diese Zahlen 50, 45, 44, 32 und 32 geben die verlangten Umdrehungen, denn nach §. 113 ist

$$\begin{aligned} 50 &: 10 = 5 \\ 45 &: 8 = 5\frac{1}{2} \\ 44 &: 8 = 5\frac{1}{2} \\ 32 &: 6 = 5\frac{1}{3} \\ 32 &: 6 = 5\frac{1}{3} \end{aligned}$$

Indem man diese Quotienten multiplicirt, wird man die Umdrehungen erhalten von

$$5 \times 5\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{2} \times 5\frac{1}{3} \times 5\frac{1}{3} = 4400$$

Man könnte noch folgende Theile aus diesen Primzahlen machen:

$$11 \times 3 \times 2 = 66; \quad 5 \times 5 \times 2 = 50; \quad 5 \times 2 \times 2 \times 2 = 40; \quad 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32; \\ 3 \times 2 \times 2 \times 2 = 24.$$

Diese Zahlen würden demnach die gesuchten Umdrehungen erzeugen, denn

$$\begin{aligned} 66 &: 10 = 6\frac{3}{5} \\ 50 &: 8 = 6\frac{1}{4} \\ 40 &: 8 = 5 \\ 32 &: 6 = 5\frac{1}{3} \\ 24 &: 6 = 4 \\ 6\frac{3}{5} \times 6\frac{1}{4} \times 5 \times 5\frac{1}{3} \times 4 &= 4400. \end{aligned}$$

Dies ist demnach die allgemeine Methode, die Anzahl von Zähnen in irgend einem Räderwerke zu finden; hier folgen einige auf Uhren besonders anwendbare Beispiele.

120. Drittes Beispiel. Die Zahl der Zähne eines Räderwerkes zu finden, wenn die Uhr 16800 Schwingungen in einer Stunde oder in der Zeit machen soll, als das Minutenrad einen Umgang macht, wenn das Hemmungsrad 14 Zähne hat.

Für einen Umgang des Hemmungsrades macht die Uhr 28 Schwingungen, und während 16800 Schwingungen, macht das Hemmungsrad  $\frac{26800}{25}$  oder 600 Umgänge. Es handelt sich jetzt

darum, die Anzahl der Zähne eines aus 3 Rädern bestehenden Räderwerkes zu finden, worin während eines Umganges des ersten Rades der letzte Trieb, welcher das vierte Rad oder das Hemmungsrad trägt, 600 Umgänge macht.

Wendet man 3 Triebe von 8 Stäben an, so wird man nach den oben angezeigten Regeln die Primzahlen finden: 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 5, 5. Diese können in folgende Theile gebracht werden:  $5 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 80$ ;  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$ ;  $5 \times 3 \times 2 \times 2 = 60$ ; in einer Uhr sehr anwendbare Zahlen.

121. Die Zahl der Zähne in einem Räderwerke zu finden, in welchem das Secundenrad in einer Minute einen Umgang, und wo die Uhr 15000 Schwingungen in einer Stunde oder während eines Umganges des Minutenrades macht.

Da das Secundenrad in einer Minute einen Umgang machen soll, so wird seine Geschwindigkeit 60 mal so groß als die des Minutenrades sein, denn dieses macht in 60 Minuten nur einen Umgang, folglich wird die Uhr  $\frac{15000}{60}$  oder 300 Schwingungen in jeder Minute machen. Wenn das Hemmungsrad 15 Zähne hat, so wird es während 30 Schwingungen einen Umgang oder 600 Umgänge in einer Stunde, mithin  $\frac{600}{60}$  in einer Minute oder in der Zeit machen, als das Secundenrad einen Umgang macht; folglich muß man erst die Zahl der Zähne des Secundenrades berechnen, damit die Uhr 300 Schwingungen mache, während dasselbe einen Umgang macht, oder, damit das Hemmungsrad  $\frac{600}{60}$  oder 10 Umdrehungen in einer Minute machen könne; zweitens ist es nöthig, die Zahl der Zähne des Minutenrades als auch des kleinen Mittelrades zu finden, damit der Trieb des Secundenrades 60 Umgänge mache, während das Minutenrad einen macht.

Da das Hemmungsrad 10 Umgänge während eines Umganges des Secundenrades macht, so ist einleuchtend, daß dieses 10 mal so viel Zähne haben muß, als die Zahl der Stäbe des Hemmungsradtriebes beträgt, und indem man einen Trieb von 8 Stäben anwendet, so muß das Secundenrad  $8 \times 10$  oder 80 Zähne haben.

Um die Zahl der Zähne der beiden andern Räder zu finden, bestimme man erst die Zahl der Stäbe der Triebe, welche wir auf 12 und 10 festsetzen wollen, und man wird für das Minutenrad 90, und für das Secundenrad 80 Zähne erhalten. Wenn die Triebe 8 Stäbe hätten, so würde man 64 und 60 erhalten. Wovon hier die Probe folgt:

$$\begin{array}{rcl} 90 & : & 12 = 7\frac{1}{2} \\ 80 & : & 10 = 8 \\ \text{und } 8 \times 7\frac{1}{2} & = & 60. \\ 64 & : & 8 = 8. \\ 60 & : & 8 = 7\frac{1}{2} \\ \text{und } 8 \times 7\frac{1}{2} & = & 60. \end{array}$$

Anmerkung. Die Berechnung der Räderwerke, durch welche man die Umdrehungen der Planeten nachahmt, ist sehr verwickelt; da aber diese Anwendungen auf den Uhrenbau, mit dem was der Titel dieses Werkes besagt, nichts gemein haben, so wollen wir uns hier auf keine Untersuchung einlassen. Für diejenigen, welche diesen Theil zu untersuchen wünschen, verweise ich auf das Werk des berühmten Antide Janvier, Des Revolutions des corps célestes par le mécanisme des rouages, publié à Paris, 1812, als einen guten Führer.

## Sechstes Kapitel.

Von den Eingriffen, den Krümmungen der Zähne und von der Reibung der Zapfen des Räderwerkes. Tafel IV und V.

### Erster Artikel.

Von den Eingriffen und von der Größe der Triebe.

122. Die Eingriffe der Getriebe einer Uhr erfordern die strengste Genauigkeit; mit schlecht gemachten Eingriffen wirkt die Triebkraft nicht gleichförmig auf den Regulator, und die Uhr weicht ab; die verschiedenen Theile der Uhr werden mehr und schneller abgenutzt, weil eine Uhr, deren Getriebe keine guten Eingriffe formiren, eine allzu beträchtliche Triebkraft erfordert, um den nachtheiligen Einfluß der Reibungen zu überwinden und den Kraftverlust zu ersetzen, der durch die Gebrechen der Eingriffe verursacht wird.

123. Die Eingriffe können entweder durch den Durchmesser der Triebe in Bezug auf die Durchmesser der Räder, oder durch den zu geringen Eingriff der Zähne der Räder in die Triebstäbe, oder durch die Form der Zähne der Räder und Triebstäbe fehlerhaft werden.

1) Wenn der Durchmesser der Triebe zu dem der Räder in keinem richtigen Verhältniß stände, so würden die Räder und Stäbe sich stemmen (im Bogen setzen, *s'arc-bouteraient*), oder es würde einen Stoß in dem Eingriffe geben, und in beiden Fällen würde Kraftverlust und Ungleichheit in dem Eingriffe entstehen.

2) Wenn der Eingriff zu viel oder zu wenig Tiefe hätte, so würde hieraus Stoß oder Unordnung und Lähmung entstehen, und überdies Kraftverlust und Ungleichheit in dem Eingriffe statt finden.

3) Wenn die Zähne und Stäbe schlecht geformt wären, so könnte der Gang nicht gleichmäßig sein, und der Regulator würde, wie in den vorübergehenden Fällen, irreguläre Stöße empfangen.

124. Es ist daher sehr wesentlich, den Halbmesser der Triebe dem der Räder gehörig proportional zu machen, den Eindringepunct (Eingriffspunct) dieser Getriebe gut zu bestimmen, und den Zähnen und Trieben die Form zu geben, welche geeignet ist, den Eingriff so sanft und gleichmäßig als möglich zu machen.

### Von der Größe der Triebe.

125. Der Durchmesser oder Halbmesser eines Triebes verhält sich zum Durchmesser oder Halbmesser des Rades, wie die Zahl der Stäbe des Triebes zur Zahl der Zähne des Rades<sup>o)</sup>. Wenn daher ein Rad von 50 Zähnen und zwanzig Linien Durchmesser in einen Trieb von 10 Stäben greift, so muß der Durchmesser des Triebes 4 Linien sein, denn

$$50 : 10 = \frac{20 \times 10}{50} = 4.$$

<sup>o)</sup> Hier ist vom Haupthalbmesser die Rede, wie man in der Folge sehen wird.

Indessen weicht die Größe oder der Durchmesser der Triebe ein wenig nach der Zahl der Zähne der Räder ab, wie man in der Folge sehen wird; in der Ausübung findet man leicht Mittel, diese Größen zu bestimmen, und vorzüglich erreicht man die erforderliche Genauigkeit mittels des Proportionalzirkels des Herrn Preud'homme. Dieses eben so sinnreiche als nützliche Instrument gewähret sehr große Vortheile; die von Herrn Preud'homme zu Genf erschienenen praktischen Betrachtungen über den Eingriff, zeigen vollkommen den Gebrauch dieses Instrumentes, welches in den Händen aller Künstler und Uhrmacher sein sollte, eben so sein Memoire, welches ein sicheres und scharfsinniges Verfahren enthält, sich der Vollkommenheit eines Eingriffes zu versichern.

Dies sind die Regeln, welche man gewöhnlich in der Ausübung befolgt, um die Größe der Triebe zu bestimmen.

Ein Trieb von 16 Stäben muß einen Durchmesser haben, welcher der Deffnung einer Triebwelle gleich ist, die nach der äußern Seite der Zähne des Rades geschägt, 6 volle Zähne umfaßt.

Ein Trieb von 15 Stäben, muß einen Durchmesser haben, der ein wenig weniger als 6 volle Zähne oder ein wenig mehr als 5 Zähne und die Spitze des Sechsten mit inbegriffen faßt.

Ein Trieb von 14 = soll 6 Zähne über die Spitzen gemessen haben.

Ein Trieb von 12 = = 4 Zähne und die Spitze des Fünften, oder was dasselbe ist, 4½ Zähne fassen; für die Pendeluhren giebt man dem Durchmesser eine Deffnung von 5 vollen Zähnen.

Ein Trieb von 10 = soll 4 volle Zähne fassen.

Ein Trieb von 8 = soll 4 Zähne über die Spitzen, weniger dem vierten Theil einer Zahnzwischenweite sein; für die Pendeluhren 4 Zähne über die Spitzen.

Ein Trieb von 7 = soll ein Wenig weniger als 3 volle Zähne, für die Pendel 3 volle Zähne und das Viertel einer Zahnzwischenweite fassen.

Ein Trieb von 6 = soll 3 Zähne über die Spitzen, für die Pendel 3 volle Zähne fassen.

Wenn die Räder von Trieben geführt werden, so müssen letztere einen etwas größern Durchmesser haben.

## Zweiter Artikel.

### Von der Form der Zähne.

126. Die den Zähnen zu gebende vortheilhafteste Form gehörig machen zu lernen, ist es nothwendig, hier die Eigenschaften der Cycloïde und Epicycloïde auseinander zu setzen. Die Cycloïde ist eine krumme Linie, welche durch einen Punct des Umfanges eines Kreises beschrieben wird, indem derselbe auf einer geraden Linie oder einer Ebne sich bewegt. Siehe Tafel IV, Figur 3. Da der Kreis A auf B D sich bewegt, so beschreibt der Punct E, des Kreisumfanges die Linie oder die Cycloïde B E. Die Länge von B D ist dem Umfange des Kreises A gleich. Die Epicycloïde wird durch einen Kreis beschrieben, welcher auf einem Theile des Umfanges eines andern Kreises sich bewegt, siehe Tafel IV, Figur 4. Indem der Kreis A auf C M D sich bewegt, wird der Punct E die Epicycloïde C E' D beschreiben. Wenn A innerhalb in der Kreislinie sich bewegte, so würde ein auf seinem Umfange genomener Punct noch eine solche Epicycloïde beschreiben, wie G E' H. Dieselbe krumme

Linie würde beschrieben werden, wenn  $Aa$  einen Durchmesser hätte, der der Entfernung von  $E$  bis  $P$ , statt dem Durchmesser  $EF$  gleich wäre. Die auf der convergen Seite des großen Kreises beschriebene Epicycloïde  $CEd$  heißt die obere Epicycloïde; diejenige, welche in der Concavität des großen Kreises erzeugt wird, wird die untere Epicycloïde genannt.

127. Wenn der Durchmesser des Erzeugungskreises  $E$ , Fig. 4, die Hälfte vom Durchmesser des großen Kreises wie  $KN$  wäre, und derselbe innerlich in demselben großen Kreise sich bewegte, so würden die verschiedenen Punkte des Kreisumfanges  $KON$  die Linie  $FKJ$  beschreiben, während daß  $KON$  innerlich in dem großen Kreise eine Umdrehung machte.

Es ist leicht, sich von dieser Wahrheit zu überzeugen, indem man in ein Kartenblatt einen Kreis von der Größe  $FKJC$  schneidet, und indem man in diesem Kreise einen andern Kreis von der Größe  $KON$  gehen macht; denn dann sieht man wie ein Punct  $K$ , auf dem Umfange  $KON$  genommen, den Durchmesser des großen Kreises durchläuft. Diese Wahrheit läßt sich mathematisch so beweisen: da der Durchmesser des kleinen Kreises oder  $KN$  die Hälfte von dem des großen Kreises ist, so muß die Hälfte des Umfanges von  $KON$  dem vierten Theile des Umfanges des großen Kreises  $TP$  gleich, oder gleich  $NJ$  sein. Der Punct  $K$  befände sich in  $F$ , wenn die Bewegung des Kreises  $KN$  die Länge von  $NP$  wäre, und der Punct  $N$  würde sich in beiden Fällen in  $K$  befinden. Wenn jetzt der vierte Theil des Kreises  $KON$ , die Länge des achten Theiles des großen Kreises durchläuft, so wird der Punct  $O$  in  $P$ , und der Punct  $K$  in  $R$  sich befinden; denn  $KO$  ist gleich  $RP$ , weil  $KO$  die Sehne ist, welche  $90^\circ$  in  $KON$  entspricht, und  $RP$  die Hälfte der Sehne, welche  $90^\circ$  in einem doppelt so großem Kreise als  $KON$  entspricht. Man könnte also dies für alle Punkte in  $FJ$  beweisen.

128. Man sieht in Fig. 4, daß  $OMD$  dem Umfange des Erzeugungskreises  $A$  gleich ist, und wie wir gesagt haben, während  $A$  auf  $CMD$  sich bewegend, der Punct  $E$  die Epicycloïde  $CEd$  beschreibt. Diese nämliche Epicycloïde würde durch den Punct  $E$  beschrieben werden, wenn  $A$  sich frei um seinen fest angenommenen Mittelpunct bewegte, und wenn der Kreis  $CJPF$  mit dem Papier, auf welchem dieser Kreis beschrieben ist, um seinen Mittelpunct sich bewegte. Eben so, wenn der Kreis  $KON$  frei um seinen Mittelpunct sich bewegte, während das  $CFJP$ , mit dem Papier, auf welchem dieser Kreis beschrieben ist, um den seinigen sich drehte, alsdann würde der Punct  $K$  die Linie  $FJ$  beschreiben.

129. Eine von den Eigenschaften der Cycloïde und der Epicycloïde ist die, daß die Linie, welche man vom Berührungspuncte nach dem beschreibenden Puncte ziehen kann, immer senkrecht auf der krummen Linie ist. Figur 5, Tafel IV, stellt eine durch den Erzeugungskreis  $ADE$  beschriebene Cycloïde dar. Der beschreibende Punct  $E$ , wie der Berührungspunct  $A$ , weicht in jedem Moment während der Bewegung des Kreises auf der geraden Linie  $A$  ab; aber, wenn man den Punct  $A$  für einen Augenblick unveränderlich annimmt, so daß der Kreis  $ADE$  um diesen Punct  $A$  ein Wenig sich drehen kann: dann wird der Punct  $E$  den kleinen Kreisbogen  $Eo$  beschreiben, den wir unendlich klein annehmen wollen, denn alsdann werden die Cycloïde und der Kreis an diesem Theile sich vermischen, und man wird den kleinen Theil  $Eo$  der Cycloïde als einen unendlich kleinen Theil des Kreises  $HEG$  betrachten können.  $AE$  ist als Radius senkrecht auf dem Kreise; aber da die Cycloïde und der Kreis nur eine und dieselbe krumme Linie in  $Eo$  machen, so ist es einleuchtend, daß  $EA$  auch senkrecht auf der Cycloïde selbst ist. Man würde dies für alle Punkte der Cycloïde ebenso als für die Epicycloïde beweisen können.

130. Der Kreis  $U$ , Tafel V, Figur 1, stellt ein Rad ohne Zähne dar, und der kleine Kreis  $N$

einen Trieb ohne Stäbe, den man, bloß durch Berührung dieser Getriebe, durch das Rad geführt annehmen kann. Man sieht leicht, daß das Rad in diesem vorausgesetzten Eingriff mit aller Kraft wirken wird, weil es auf den größtmöglichen Halbmesser des Triebes und mit einer auf dem Halbmesser senkrechten Kraft wirkt.

Uebrigens verursacht dieser Eingriff die möglichst geringste Reibung, denn der Eingriff findet bloß durch Berührung zweier Punkte und in einer und der nämlichen Richtung statt.

131. Folglich, wenn man die Zähne und Triebe so formen könnte, daß die Räder immer mit gleicher proportionaler Kraft auf die Triebe wirkten, und in einer auf dem Triebhalbmesser immer senkrechten Richtung, so würde man einen so vollkommen als möglichen Eingriff bewirken.

Untersuchen wir für diesen Zweck die Natur des Eingriffs der Zähne in die Stäbe; nehmen wir an, daß der Halbmesser  $RT$  ein Triebstab sei; daß die Linie  $RMS$ , welche durch den Berührungspunct bei  $M$  geht, senkrecht auf  $P$ , und daß die Linie  $SC$  senkrecht auf  $RMS$  sei: dann ist es leicht zu beweisen, daß der auf  $PT$  in den Punkt  $R$  geführte Trieb, durch  $RC$  mit einer Kraft geführt werde gleich derjenigen, welche wir in §. 120 angenommen haben.

132. Wenn das Gewicht  $Z$ , welches man mit dem Gewicht  $Y$  im Gleichgewicht annimmt, statt auf den Hebel  $CM$  zu wirken, auf einen Hebel wirkt, der die Hälfte von  $CM$  ist, wie  $CV$ , dann ist es einleuchtend, daß die Kraft  $Z$  nach den Grundsätzen der Statik um das Doppelte sich vermehren wird; aber wenn der Hebel  $PX$  nur die Hälfte von  $PM$  wäre, so ist von selbst klar, daß die Kraft von  $X$  das Doppelte der von  $M$  sein müßte, um mit dem Gewicht  $Y$  im Gleichgewicht zu sein: folglich, wenn der Halbmesser  $CV$  seine Kraft dem Halbmesser  $PX$  mittheilte,  $Y$  und  $Z$  immer noch im Gleichgewicht sein würden. Dieß würde auch stattfinden, wenn das Viertel oder das Achtel von  $CM$  auf den vierten oder achten Theil von  $PM$  wirkte, und in allen Fällen, wo der Punct  $V$  von  $C$ , in demselben Verhältniß als  $X$  von  $P$  entfernt ist.

133. In dem Falle, wo das Rad auf den Hebel  $PR$  wirkt, und die Linie  $SMR$  senkrecht auf  $PR$  angenommen ist, kann die Kraft des Rades, welche in der Richtung  $SMR$  wirkt, durch die Linie  $CS$  dargestellt werden; folglich, da  $CS$  zu  $PR$  sich verhält wie  $CM$  zu  $PM$  (indem  $CSM$  und  $PRM$  ähnliche Dreiecke sind) so wird die Wirkung von  $SC$  auf  $PR$  gleich der Wirkung von  $CM$  auf  $MP$  sein.

134. Dem vorgehenden Paragraphen gemäß können wir folgenden Schluß ziehen: daß das Rad dem Triebe eine Kraft mittheilt, welche der §. 130 angenommenen, gleich ist, wenn die Linie, welche durch den Berührungspunct  $M$  der beiden Peripherien geht, auf dem Halbmesser des Rades und des Triebes senkrecht, oder senkrecht auf dem Zahne und dem Triebstabe ist.

135. Nehmen wir die Stäbe eines Triebes von der Form  $ABDF$ , Figur 2, Tafel V, an, und daß sie in diesem Falle die Form sein wird, welche alsdann mit den Zähnen des Rades  $CM$  übereinkommt, damit der Trieb, dem Grundsatz §. 133 gemäß, mit einer stets gleichen Kraft leiten kann. Nach §. 128 sehen wir, daß, wenn ein solcher Kreis, wie  $CM$ , einen Kreis von einem viel kleinern Durchmesser wie  $ABDF$  leitet, ein Punkt wie  $D$ , auf der Ebene des großen Kreises eine Epicycloide beschreibt. Diese Epicycloide ist in  $CDE$  dargestellt, und indem man die Zähne des Rades nach dieser Form gemacht hat, so wird nach §. 129 der Trieb immer mit gleicher Kraft geführt, was beweist, daß die Linie  $DM$  senkrecht auf dem Triebstabe ist.

136. Wenn der Triebstab eine gegen den Mittelpunct des Triebes wie  $CD$  Figur 3, Taf. V,

gerichtete Ebene wäre, so sehen wir, daß dieselbe alsdann die Krümmung haben würde, welche für die Zähne des Rades geeignet wäre, damit der Eingriff nach richtigen Grundsätzen geschehe. Beschreiben wir erst den Kreis  $MDdC$ , dessen Halbmesser die Hälfte des Haupttriebhalbmessers ist, so daß das erste Rad  $HM$  gleichzeitig sowohl den Haupttrieb als auch den  $MDdC$  führe, wovon der erste um seinen Mittelpunct  $C$  und der andere um den Punct  $O$  sich dreht. Durch die Bewegung von  $MDdC$  wird nach §. 128 der Punct  $D$  auf der Ebene des Rades die Epicycloide  $DHO$  beschreiben. Aus der Geometrie ist bekannt, daß in einem Dreieck, welches den Umfang des Kreises zur Höhe, und den Durchmesser des Kreises zur Grundlinie hat, der dem Durchmesser gegenüber liegende Winkel ein Rechter ist: folglich ist  $DM$  senkrecht auf  $CD$ . Nach §. 129 ist  $DM$  senkrecht auf der Epicycloide; folglich ist die Linie, welche man vom Berührungspuncte beider Kreise nach dem beschreibenden Puncte, oder, was dasselbe ist, auf den Halbmesser oder den Triebstab ziehen kann, senkrecht auf demselben, nach der §. 130 und §. 131 verlangten Bedingung. Folglich: wenn der Triebstab eine gegen den Mittelpunct desselben gerichtete Ebene ist, so muß der Zahn des Rades die Form einer Epicycloide haben, welche durch einen Kreis beschrieben ist, dessen Durchmesser die Hälfte von dem des Triebes ist, und dessen Bewegung durch den Umfang des Rades geschieht.

137. Man wird jetzt sehen, daß der Eingriff zweier Getriebe immer nach den Grundsätzen geschehen wird, wenn die Krümmung des Triebstabes und die des Zahnes des Rades durch einen und denselben Erzeugungskreis beschrieben werden, welcher innerlich in den Haupttrieb geht, um den Triebstab zu beschreiben; und außerhalb auf dem Hauptrade, um den Zahn des Rades zu beschreiben. Man vergleiche Figur 4, Tafel V. Der Kreis  $DMC$  ist kleiner als der Haupttrieb  $AME$ , und der Mittelpunct desselben liegt in der Linie  $MF$ . Da der Trieb eine Bewegung von  $M$  nach  $B$  hat, so wird der Erzeugungskreis eine Bewegung von  $M$  nach  $D$  haben, und der Punct  $D$  wird auf der Ebene des Triebes eine Epicycloide  $ADG$  beschreiben und eine andere Epicycloide  $BDH$  auf der Ebene des Rades, nach §. 128. Diese beiden Epicycloiden werden sich in dem Puncte  $D$  berühren, weil sie durch einen und denselben Erzeugungskreis beschrieben sind. Die Linie  $D$  wird auf beiden Epicycloiden senkrecht sein, und folglich, indem die Zähne des Rades nach der Form  $BDH$ , und die Triebstäbe von der Form  $ADG$  gemacht sind, so wird der Eingriff immer mit einer gleichmäßigen Kraft wirken.

138. Nach dem vorhergehenden Paragraphen wird der Triebstab concav, und diese Form bietet in der Ausführung sehr große Schwierigkeiten dar. Die convexe Form ist für Triebstäbe geeignet, und um dieselbe zu erlangen, ist erforderlich, daß der Erzeugungskreis einen viel größern Durchmesser habe, als der Halbmesser des Triebes ist, wie Figur 5, Tafel V. zeigt.  $MB$  zeigt das Rad,  $MA$  den Trieb und  $MD$  den Erzeugungskreis, welcher die Epicycloide  $BAD$  auf der Ebene des Rades beschreiben hat, und eine kleinere Epicycloide  $ADE$  auf der Ebene des Triebes, welche eine convexe Form hat, und für den Uhrenbau anwendbar wird.

139. In den vorhergehenden Paragraphen ist der Eingriff so betrachtet worden, daß die Thätigkeit des Zahnes des Rades auf den Triebstab nur in und nach der Mittelpunctslinie statt findet<sup>\*)</sup>.

Da der Eingriff nur von dieser Linie aus statt haben darf, so würde es nutzlos sein, bei der

<sup>\*)</sup> Die Mittelpunctslinie ist die gerade Linie, welche durch den Mittelpunct des Rades und des Triebes geht.

Form zu verweilen, welche für Zähne und Triebstäbe geeignet wäre, damit die Spur (Gang *menée*) sich bilden könne, bevor der Zahn des Rades und der Triebstab in der Mittelpunctslinie sich befänden. Wir wollen bloß bemerken, daß es weniger leicht ist, die Zähne und Stäbe in den geringzähligen Trieben passend zu machen, um die Spur vor der Mittelpunctslinie zu vermeiden, als in den vielzähligen Trieben. Es folge hier der Beweis.

DA, DB und DC, Figur 6, Tafel V, sind drei Ebenen eines Triebes von 8 Stäben, und diese Ebenen sind durch die Zähne des Rades MN geführt. Nehmen wir nun das Rad von einem 5 Mal so großen Durchmesser als den des Triebes, so wird folglich die Anzahl der Zähne 5 Mal so groß als die der Triebstäbe sein; ein Zahn mit seinem Zwischenraum wird 9 Grade halten, denn  $360^\circ$  dividirt durch 40, welches die Zahl der Zähne des Rades ist, ist = 9; folglich faßt BE 9 Grade. Indem man wirklich aus E eine Epicycloïde beschreibt, welche AD in G berührt, und indem man die gegenüberliegende Seite des Zahnes von der nämlichen epicycloïdischen Form macht, sieht man, daß man genöthiget ist, damit der Zahn hinreichenden Raum habe, den Triebstab bis HB zu entfernen, und dieser wird also sehr geschwächt sein. Um den Stab nicht so weit entfernen zu dürfen, würde man den Zahn bis JK verkleinern können; aber in diesem Falle würde die Spitze F des Zahnes, in dem Moment als BL in der Mittelpunctslinie sich befände, nicht auf AD wirken; aber BL würde schon vor die Mittelpunctslinie BD geführt sein.

Indessen in der Ausübung gelangt man dahin, sehr gute Eingriffe mit den Trieben von 8, und selbst von 7 und 6 Stäben zu machen, indem man die Zähne und die Stäbe auf die vortheilhafteste Art abrundet, und indem man für diesen Zweck den Eingriffsversuch vor dem Härten des Triebes in dem Eingriffswerkzeug macht, um nach Erfordern den Triebstäben nachzuhelfen, bis die Spur so sanft und gleichmäßig als möglich wird.

140. In den Kamm- oder Kornrädern sind die Zähne parallel, und in diesem Falle darf die Form nicht epicycloïdisch sein, sondern cycloïdisch, damit die Spur gleichförmig sein könne; aber die Uhren, von denen in diesem Werke gehandelt wird, werden ohne Kammräder sein, welche weniger angewendet werden, als in den Uhren mit Uhruberad.

141. Man sieht leicht, wie wenig möglich es ist, in der Ausübung den Zähnen und Stäben eine sehr genaue Form zu geben; indessen der routinirte und geschickte Arbeiter nähert sich derselben in der Ausführung sehr viel: aber das sicherste Mittel, die Eingriffe so vollkommen als möglich zu machen, ist, viele Zähne zu nehmen; denn die Spur wird weniger lang, und die Kraft wird gleichförmiger fortgepflanzt. Die durch vielzählige Getriebe formirten Eingriffe verursachen weniger Reibung, und eine so eingerichtete Uhr verträgt auch einen stärkeren Regulator als eine andere Uhr mit wenigerzähligen Trieben und mit derselben Triebkraft.

142. Nach §. 130 und den folgenden Paragraphen unterscheidet man in den Trieben zwei Halbmesser, nämlich den Haupt- und den ganzen Halbmesser. Der Ueberschuß des Haupthalbmessers und der gesammte Haupthalbmesser formiren den ganzen Halbmesser. Der Ueberschuß des Haupthalbmessers ist der abgerundete Theil der Zähne und Stäbe. In sehr vielzähligen Getrieben wird dieser Ueberschuß viel kleiner als in denen, welche geringzählig sind, so wie wir schon bemerkt haben, daß die Größe der Triebe ein wenig nach der mehr oder weniger großen Anzahl Zähne der Räder abweicht.

Was die Triebe mit wenig Stäben anlangt, so ist es zweckmäßig, daß sie viel Licht haben; ein Trieb von 6 Stäben muß nothwendig  $\frac{2}{3}$  Licht und  $\frac{1}{3}$  Masse haben, und in dem Maße als die

Zahl der Stäbe zunimmt, können die Triebe fettere Stäbe und weniger Licht bekommen. Die Zähne der Räder, welche geringzählige Triebe führen, müssen größer sein als diejenigen, welche in vielzählige Triebe greifen.

Es ist fast unnöthig, zu erwähnen, wie wichtig es ist, daß die Zähne unter sich, sowohl ihrer Größe als ihrer Entfernung nach, vollkommen gleich sein, und daß ihre Enden oder ihre Spizen vom Mittelpuncte gleich entfernt seien; dasselbe gilt auch von den Triebstäben. Die Härte und Politur der Triebe mildert die Reibung der Eingriffe und die Leichtigkeit der Räder mindert den durch die Trägheit verursachten Widerstand.

### Dritter Artikel.

#### Von der Reibung der Zapfen des Räderwerks.

143. Es ist sehr wichtig, die Reibung der Zapfen des Räderwerkes auf die möglichst kleinste Größe zu bringen, und sie constant zu machen, damit die Triebkraft mit aller denkbaren Gleichmäßigkeit auf den Regulator übertragen werden könne, was nothwendig ist, damit derselbe die Schwingungsbogen so viel als möglich von der nämlichen Größe behalten könne. Die Reibung der Zapfen entsteht vom Druck der Triebkraft und von dem Gewicht der Räder. Die Getriebe, welche der Triebkraft am nächsten sind, erfordern starke Zapfen, damit dieselben genug Festigkeit haben und die Löcher weder benagen noch erweitern, was die Reibung vermehren und zugleich den wahren Eingriffspunct verändern würde. In dem Maasse als die Räder von der Triebkraft entfernt sind, müssen die Zapfen einen kleinern Durchmesser haben, weil die Zapfen weniger Druck und mehr Geschwindigkeit als die ersten Getriebe haben, und weil es nothwendig ist die Reibung beinahe zu vernichten, welche sonst die Kraft absorbiren würden, welche zur Unterhaltung der Bewegung des Regulators auf die Hemmung übergehen soll.

144. Die Zapfen müssen hart, rund und gut polirt sein; ihre Längen flach, nicht zu groß, und ihre Enden gut arrondirt sein, damit dieselben das Stück, welches sie trägt, nicht benagen. Die Löcher müssen rund sein, gut geebnet und nicht größer als die freie Bewegung des Zapfens, mit Del umgeben, erfordert. Ihre Seiten müssen den Zapfen parallel sein, damit dieselben in allen Puncten ihrer Länge den Druck des Zapfens tragen. Die Löcher in Messing oder Gold müssen hinreichend gehämmert sein, damit ihre Pores genugsam geschlossen sind, um eine zu schnelle Abnutzung zu verhindern. Es ist gut, wenn die Vertiefungen für das Del groß genug sind, um eine hinreichende Menge Del zu fassen, damit dasselbe nicht zu bald austrockne, und durch die Vermischung der erhabnen abgenutzten Theile des Metalles nicht dick werde. Die Schrägen oder Unterdrehungen (*àgorous*), welche bei den Triebstäben sind, sind konisch, aber so, daß der stärkere Theil den Zapfen näher sei; denn so hält sich das Del am Zapfen durch die Attraction an, und sucht nicht in die Triebstäbe einzugehen, wie es häufig der Fall ist, besonders in den zu flachen Uhren, wo diese Vorkehrung vernachlässiget wird. Was die Zapfen des Hemmungsrades anlangt, so ist es geeignet, sie in Löchern in Stein gehen zu lassen, und die Enden gegen Scheitelpplatten aus Stein oder Stahl tragen zu lassen. In Betreff dieses Getriebes befolgt man die nämlichen Regeln, welche in Beziehung auf die Reibung der Zapfen des Regulators, §. 74 im zweiten Kapitel angezeigt worden sind.

Bemerkung. Es möchte scheinen, daß nichts geeigneter wäre, die Reibungen starker Zapfen des Räderwerkes zu vermindern und sie constant zu machen, als Löcher in Stein. Indessen die Erfahrung hat hinreichend gelehrt, daß es sehr nachtheilig ist, die Zapfen des Kettenrades, des Minuten oder großen Mittelrades und des kleinen Mittelrades in Löchern in Stein gehen zu machen. In allen Uhren, wo dieß statt hat, sieht man gewöhnlich die starken Zapfen mehr oder weniger, nachdem sie einige Jahre gegangen sind, beschädiget, während die feinen Zapfen der Hemmung, welche in Stein gehen, sich vollkommen erhalten. Es ist daher nicht allein mehr als hinreichend, sondern sogar vorzuziehen, das Kettenrad, das große und kleine Mittelrad in Löchern in Messing oder Gold gehen zu machen; man kann daher sehr wohl die Zapfen des Secundenrades in Messing oder von nicht mehr als 18 karatigem Golde gehen lassen.

## S i e b e n t e s   K a p i t e l .

Von der Hemmung im Allgemeinen. — Beschreibung der ruhenden Hemmung mit dem Doppelrade, Duplex genannt. — Beschreibung der Hemmung mit dem Anker oder mit der Gabel. Tafel VI, VII u. VIII.

### Erster Artikel.

Von der Hemmung im Allgemeinen.

145. Die Hemmung ist derjenige Theil einer Uhr, welcher gewöhnlich die Kraft durch das Räderwerk auf den Regulator überträgt (man sehe §. 7); die Hemmung ist es, welche den Bewegungs-Verlust ersetzt, den der Regulator durch die Reibung seiner Zapfen und durch den Widerstand der Luft erleidet: sie zählt auch die Anzahl der Schwingungen des Regulators.

146. Die Hemmungen sind sehr verschieden, und kein Theil des Uhrenbaues hat den Scharfsinn so sehr in Anspruch genommen als die Hemmungen; und die Gelehrten und Künstler haben in dem letzten Jahrhundert in der Untersuchung der Mittel gewetteifert, welche geeignet sind, diesen wichtigen Theil der Taschenuhr möglichst vollkommen zu machen. Indessen sind die wahren Verbesserungen nur allmählich und langsamen Schrittes gemacht worden, und es hat viele Arbeit und Versuche gekostet, um die Vollkommenheit der bessern Hemmungen unserer Tage zu erreichen.

147. Die Hemmungen lassen sich auf folgende vier Classen zurückführen:

- 1) die rückfallenden Hemmungen;
- 2) die ruhenden Hemmungen;
- 3) die freien einfachen Hemmungen;
- 4) die freien Hemmungen mit constanter Kraft oder gleichem Gange.

Die rückfallenden Hemmungen, welche die ältesten sind, sind immer noch in dem gewöhnlichen Uhrenbau allgemein in Anwendung, denn sie gewähren den Vortheil, daß sie sich leicht ausführen lassen, wenig kostspielig sind und kein Oel erfordern, welches macht, daß eine mit dieser Hem-

mung versehen Uhr längere Zeit geht, ohne gepußt werden zu dürfen, als eine andere, wo die Hemmung Del erfordert; aber diese Hemmungen üben einen sehr nachtheiligen Einfluß auf die Regelmäßigkeit der Schwingungen des Regulators aus, indem sie den Einfluß der Veränderung der Triebkraft und der Vermehrung der Reibungen des Räderwerkes nicht verbessern. Die ruhenden Hemmungen im Gegentheil, berichtigen zum großen Theil die Ungleichheiten der Triebkraft, und diejenigen, welche durch die Reibungen des Räderwerkes entstehen, und die Uhren, welche mit dieser Hemmung versehen sind, haben eine sehr große Regelmäßigkeit im Vergleich gegen die mit rückfallender Hemmung; aber sie haben den Nachtheil, daß das Del, welches man an den reibenden Stellen anzuwenden genöthigt ist, eine zunehmende Verzögerung in dem Maße verursacht, als es an seiner Flüssigkeit verliert. Die freie Hemmung ist vorzugsweise diejenige, welche nach dem, dem Regulator durch die Hemmung erteilten Stöße, ihre Schwingung frei vollendet, und in ihrer Bewegung durch den Druck und die Reibung des Hemmungsrades nicht gestört wird, wie dieses mehr oder weniger bei den ruhenden Hemmungen der Fall ist. Diese Hemmung ist es auch, welche man mit gutem Erfolg in den Längenuhren anwendet, die zur möglichst genauen Zeitmessung bestimmt sind. Die freie Hemmung mit constanter Kraft oder Remontoir bietet außer dem kostbaren Vortheil der Freiheit der Schwingungen des Regulators denjenigen dar, daß die Stöße, welche der Regulator empfängt, immer von gleicher oder constanter Kraft sind, und daß der Widerstand, den der Regulator beim Auslösen des Vorfalles erleidet, auch beständig ist. Auch kann man bei Anwendung dieser Hemmung mit mehr Sicherheit auf die größte Regelmäßigkeit des Ganges einer Uhr rechnen, weil die Veränderungen der bewegenden Kraft und die der Reibungen, welche durch die Abnutzung der Zapfenlöcher und durch die Dickflüssigkeit des Oels an den Zapfen des Räderwerkes entstehen, nicht den geringsten Einfluß auf die Freiheit und die Gleichheit der Größe der Vibrationen des Regulators haben; aber die Sorgfalt, welche die Ausführung ihrer zu großen Zusammensetzung wegen erheischt, erfordert zu einsichtsvolle und geschickte Arbeiter, als daß der Gebrauch derselben allgemeiner werden könnte, und dieß ist unsireitig der Grund, warum man nur selten davon Gebrauch macht.

148. Da der Verfasser den Zweck vor Augen hatte, in diesem Werke die Mittel anzugeben, durch welche man zur ganz genauen Zeitmessung durch Uhren gelangt, so genügt es ohne Zweifel, statt die Beschreibung einer großen Anzahl von Hemmungen zu geben, den Plan und die Grundsätze derjenigen anzugeben, von denen man mit dem besten Erfolge Gebrauch macht, und deren Vorzüglichkeit ganz bewährt ist. Diejenigen, welche die Menge von Hemmungen zu kennen wünschen, welche gegenwärtig existiren, finden sie in den Werken verschiedener Autoren beschrieben, welche über diesen interessanten Theil der Kunst die Zeit zu messen geschrieben haben, und sie werden in diesen Erfindungen oft tiefe Gedanken und manchmal wahre Geisteszüge entdecken. Dieses ist hauptsächlich der Fall in dem Werke: *Histoire de la mesure du temps par les horloges de Ferdinand Berthoud*, worin man größtentheils die Hemmungen kurz beschrieben findet, welche nach und nach erfunden worden sind, und zur Beförderung der Kunst so viel beigetragen haben. Diejenigen, deren hier gedacht wird, sind von den durch Ferdinand Berthoud beschriebenen Hemmungen verschieden; die ruhende Hemmung mit dem Doppelrade, obschon vor den Uhren der zweiten Klasse sich auszeichnend, und welche eine Regelmäßigkeit haben, die derjenigen der Chronometer gleicht, und welche in dem folgenden Artikel beschrieben wird, findet man in den Werken des berühmten, so eben angeführten Schriftstellers nicht erwähnt.

## Zweiter Artikel.

Von der ruhenden Hemmung mit dem Doppelrade, Duplex genannt.

149. Die ruhenden Hemmungen haben die Unvollkommenheit, daß das Del, welches sie erfordern, einen sehr nachtheiligen Einfluß auf die Regelmäßigkeit hat, indem dadurch eine zunehmende Verspätung in dem Gange der Uhr bewirkt wird, wie dieß in §. 147 bemerkt worden ist. Dieses findet besonders in den Cylinderhemmungen statt, wo das Hemmungsrad während der Ruhe auf einen sehr großen Umfang wirkt, d. h. auf den äußern und innern Durchmesser des Cylinders, und so eine beträchtliche Reibung verursacht, welche um so mehr zunimmt, als das Del an Flüssigkeit verloren hat. Dieser Uebelstand ist es, welcher die Idee der Hemmung mit dem Virgöl erzeugt hat, wo die Reibung auf eine sehr kleine Größe reducirt würde, wenn das Del daselbst sich erhalten könnte; aber die Erfahrung hat genugsam gezeigt, daß die Hemmung mit dem Virgöl das Del nicht lange Zeit auf den reibenden Stellen zurück hält, daß es im Gegentheil zu bald abläuft, und daß demnach diese Hemmung, der sehr guten Grundsätze ungeachtet, nach welchen sie sonst construiert ist, mit Erfolg nicht angewendet werden kann.

Die Hemmung mit dem Doppelrade nimmt gegenwärtig sehr oft mit großem Vortheil die Stelle der Hemmungen mit dem Cylinder und mit dem Virgöl ein, und der Gang derjenigen Uhren, welche mit dieser Hemmung versehen sind, behält lange Zeit eine große Regelmäßigkeit, weil die Reibung während der Ruhe bis auf eine Kleinigkeit gehoben ist, und daher das Del, welches man auf die Welle, welche die Ruhe formirt, anwendet, daselbst sich erhalten kann und nicht abläuft.

150. Fig. 1. Tafel VI., stellt die Hemmung mit dem Doppelrade im Grundriß und Fig. 2. im Profil dar. A und B sind die beiden Hemmungsräder, welche auf einer und derselben Achse befestiget sind. Das erste wirkt während des Spiels der Hemmung auf das Hemmungsstück C, welches durch die Achse der Uhrtruhe getragen wird, und so die Stöße des Rades A aufnimmt, welche zur Erhaltung der Bewegung oder der Schwingungen des Regulators nöthig sind. Das zweite Rad B stützt sich während der Schwingungen auf die Welle D, welche auf der Uhrtruhachse concentrisch ist, und so die Ruhe der Hemmung während der Uhrtruh-Schwingungen bewirkt, nachdem der Stoß des Rades A auf den Daumen C statt gefunden hat. Der kleine Einschnitt a in der Welle ist dazu gemacht, daß die Spigen der Zähne des Hemmungsrades B frei eintreten können, wenn der Einschnitt während der Vibration auf die Welle gestützt, an dem äußersten Ende des Zahnes sich zeigt, denn dadurch kann sich das Rad von der Welle lösen und um einen Zahn vorwärts gehen. Fig. 2. zeigt die Lage verschiedner Theile der Hemmung. Die beiden Räder, das des Stoßes A und das der Ruhe B sind concentrisch auf der Achse des Triebes E befestiget. Das Rad A ist in der nämlichen Ebene als der Daumen oder das Hemmungsstück C angebracht, und das Rad B ist so gestellt, daß es auf die Mitte der Welle D wirken kann, welche einen Theil der Achse der Uhrtruhe ausmacht, ebenso wie das Stück C.

151. Folgendes ist das Spiel dieser Hemmung; während des Ganges der Uhr haben die Hemmungsräder eine Bewegung von der Linken zur Rechten, oder in der Richtung von B nach C, und dieß gilt auch für die Richtung der Bewegung der Räder, welche in diesem Sinne sich umdrehen; das äußerste Ende des Zahnes b, des Rades B, stützt sich auf den Umfang der Welle D, bis der Einschnitt a, durch die Bewegung der Uhrtruhachse von der Rechten zur Linken sich dem Zahne b gegenüber befindet. Zu

diesem Moment fällt der Zahn b in den Einschnitt der Welle, verweilet daselbst einen Augenblick, und indem er herausgeht, so wie das Rad A durch den Druck des Räderwerks von der Linken zur Rechten fortgeht, kann er auf das Aeußerste des Stückes C wirken, welches in einer übereinstimmenden Lage sich befinden muß, um vom Zahne a den nöthigen Stoß zu erhalten, damit die Vibration von der Rechten zur Linken des Regulators statt habe. Durch die Thätigkeit der Spirale wird dagegen die Vibration von der Linken zur Rechten bewirkt, und der Einschnitt passirt von Neuem die Spitze des Zahnes des Rades B, aber dieses Mal erleidet das Rad, indem es in den Einschnitt fällt, eine nur geringe rückfallende Bewegung, und setzt die Ruhe auf dem Umfange der Welle während der Vibration fort, und das ist Alles, was während dieser Vibration stattfindet.

Man sieht demnach, daß dieß nur für jede zweite Schwingung gilt, daß die Unruhe durch die Thätigkeit der Hemmung die zur Unterhaltung der Vibration nöthigen Stöße erhält.

152. Die Regeln, nach welchen man diese Hemmung mit Erfolg construiren kann, sind folgende:

- 1) Der Durchmesser der Welle D muß  $\frac{1}{2}$  der Entfernung zweier Zähne des Rades B von einander sein.
- 2) Das nämliche Rad muß auf der Welle ein Heben von 20 Graden bewirken.
- 3) Hierzu paßt, daß es von da an, wo das große Rad die Welle verläßt, bis dahin, wo das kleine Rad oder das des Stoßes auf das Hemmungsstück oder den Daumen E fällt, einen Fall von 10 Graden habe.
- 4) Das Stoßrad A mache die Unruhe durch den Daumen C um 30 Grade steigen: dem zufolge muß dieser Daumen einen Durchmesser haben, der ein Heben von 40 Graden bewirkt; denn die 10 Grade, welche für den Fall angewendet worden sind, lassen 30 Grade für die Thätigkeit des Rades A auf den Daumen C C.

Erste Bemerkung. Die practische Regel, welche man anwenden kann zur Bestimmung des ganzen Durchmessers des Hemmungsstückes C in Beziehung auf den Durchmesser des Hemmungsrades, damit ein Heben von 30 Graden und ein Fall von 10 Graden statt haben kann, ist folgende:

- Für ein Rad von 12 Zähnen nehme man  $\frac{2}{3}$  des Durchmessers vom Hemmungsrade als ganzen Durchmesser des Daumen.
- Für ein Rad von 14 Zähnen nehme man  $\frac{2}{3}$  vom Durchmesser des Hemmungsrades als Durchmesser des Daumen.
- Für ein Rad von 14 Zähnen nehme man  $\frac{9}{14}$  vom Durchmesser des Hemmungsrades als Durchmesser des Daumen.
- Für ein Rad von 15 Zähnen nehme man  $\frac{2}{3}$  vom Durchmesser des Hemmungsrades als Durchmesser des Daumen.

Zweite Bemerkung. Wenn man die Hemmung anlegt, muß man sich versichern, daß der Daumen C, im Gange, während der Unruh-Schwingungen, vor den Spitzen der Zähne des Rades A das nöthige Licht habe, damit er nicht an den Zähnen hängen bleibe; hiermit kommt überein, daß es in dieser Beziehung daselbst einen kleinen Zuwachs an Fläche erhalte.

153. Man wird leicht bemerken, daß die Reibung dieser Hemmung wegen der Kleinheit des Durchmessers ihrer Welle, um welche die Reibung während der Ruhe des Hemmungsrades statt hat, auf eine sehr kleine Größe reducirt wird. Der große Durchmesser des Rades B macht übrigens, daß es mit weniger Kraft auf die Welle drückt, damit dieselbe nicht das Rad A treffe, wenn es in Ruhe ist, und dieses ist eine zweite Ursache zur Verminderung der Reibung. Man sieht auch, daß der Einschnitt,

welcher in die Welle gemacht ist, wohl geeignet ist, das Del zurückzubalten, und daß man eine hinreichende Quantität dahin bringen kann, damit es möglichst langsam vertrockne, was die Reibung sehr gleichmäßig macht. Die Länge der Zähne des Rades B bewirkt auch, daß das Del auf dem Grunde der Zähne sich nicht verbreite, sondern daß es im Gegentheil an den Spitzen derselben sich erhalte.

154. Wenn man diese Hemmung so vollkommen als möglich machen will, so ist es gut, das große Rad B aus Stahl und sehr leicht zu machen, eine Welle aus Stein anzuwenden, sei es aus Rubin, sei es aus Saphir, und Sorge zu tragen, daß sie gut polirt, und die Ecken des Einschnittes wohl abgerundet seien, um der Abnutzung der Zahnsitzen des Rades zuvor zu kommen. Das Rad kann gehärtet sein oder nicht, welches ganz gleichgiltig ist. Das kleine Rad, welches man mit Del nicht versorgt hat, kann aus Messing gemacht, und das Hemmungsstück C mit einem Blättchen Rubin oder Saphir garnirt sein, auf welches die geneigten Spitzen des Rades A wirken können, wie die Zähne eines gewöhnlichen Steigrades auf die Lappen einer Spindel wirken. Damit das Hemmungsrad in Beziehung auf die Achse der Unruhe seine wahre Lage erhalten könne, ist es unerlässlich, daß die Zapfen der Hemmung sämtlich in Löchern in Stein gehen.

Man kann jedoch durch diese Hemmung einen guten Erfolg mit weniger Unkosten erlangen, wenn man die Welle aus gehärtetem und vollkommen harten Stahl, und auch das große Rad aus Stahl macht. Das kleine Rad, aus Messing, wirkt auf einen Daumen von äußerst gehärtetem Stahl. Unter einer sehr großen Anzahl von Hemmungen, die ich so ausgeführt habe, habe ich auch nicht eine einzige gesehen, wo die Welle nur das Geringste gelitten und sich nicht vollkommen erhalten hätte.

Bemerkung. Wenn in einer Uhr mit doppelter Hemmung die Zahl der Unruhenschwingungen sehr groß ist, etwa 18000 in der Stunde, so ist es keineswegs notwendig, Mittel zur Verhinderung der Unordnung anzuwenden; überhaupt, wenn der Besizer Sorge trägt, daß die Uhr keinen heftigen Kreisbewegungen ausgesetzt ist, sei es, während er die Uhr aufzieht, sei es, daß er sie aus der Tasche zieht. Ein einfacher Schwungstift, sowie man ihn in den Cylinderuhren anwendet, würde in einer Uhr mit doppeltem Hemmungsrade nicht anwendbar sein; man würde dabei nur einen beweglichen Ausschwingstift anwenden können, weil die Unruhe während des Ganges der Uhr ungefähr einen Umgang oder nahe 360 Grade beschreibt; dieser bewegliche Ausschwingstift ist nicht ohne Nachtheil, und es gilt daher gleichviel, ob man ihn anwendet oder nicht.

### Dritter Artikel.

#### Von der freien Hemmung mit dem Anker oder mit der Gabel.

155. Die freie Hemmung muß vorzugsweise in denjenigen Uhren angewendet werden, welche zur genauesten Zeitmessung bestimmt sind; denn die freie Bewegung der Unruhe wird durch diese Art von Hemmung nicht gestört. Die freie Hemmung mit dem Anker, so wie sie hier beschrieben wird, bietet viele Vortheile dar, welche ihr vor anderen Hemmungen den Vorzug einräumen. Durch diese hier kann die Unruhe sehr große Bogen beschreiben, und ihr Spiel ist sehr sicher. Auch kann man sie mit demselben Erfolg anwenden, als die Hemmung mit dem Doppelrade, welche wir in den Uhren der zweiten Classe beschreiben, welche eine Regelmäßigkeit haben, die der der Chronometer gleichkommt. Es scheint, daß die erste Idee zu dieser Hemmung von Herrn Thomas Mudge, einem englischen Uhrmacher und geschickten Künstler herrühre. Diejenige, welche wir jetzt beschreiben, gründet sich auf eine vollkommene Anwendungsart.

156. Die Ankerhemmung führt diesen Namen wegen der Form des Hauptstückes, welches sich unterscheidet, und einige Aehnlichkeit mit einem Anker hat.

Fig. 1. Tafel VII. stellt die Hemmung im Grundriß, und Fig. 2. im Profil dar; aber in dieser letztern Figur ist das Hemmungsrad bloß punctirt zu sehen, weil es zum größern Theile durch den Anker, verdeckt wird.

Das Hemmungsrad A, Fig. 1. wirkt abwechselnd auf die geneigten Flächen des Ankers. Die beiden kurzen Arme (demi-traverses) dieses Stückes a x und e z bewirken die Ruhe und die Hebung, nemlich: die Ruhe, wenn der Zahn des Rades gegen das äußerste Ende der Kreisbogen sich stützt, und die Hebung, wenn der Zahn des Rades auf diesen Bogen aufhört in Ruhe zu sein, und die schieflich geneigten Flächen durchläuft, welche die Arme begrenzen.

157. Dieser Anker hat in sich selbst keine Hauptschwingung oder Wechselbewegung; sondern er empfängt seine Bewegung von der Uhrube, und sie theilt ihm beim Rückgange die Thätigkeit der Triebkraft auf folgende Art mit. Der Anker ist ein Wenig über den kleinen Arm e z verlängert, und trägt dort eine Gabel, welche der Bewegung dieses Stückes folgt, so daß, wenn der Zahn des Rades auf die geneigten Flächen a und so dann auf e wirkt, die Gabel eine Wechselbewegung im entgegengesetzten Sinne macht, und der Theil d abwechselnd von der Rechten zur Linken der Linie sich befindet, welche durch den Mittelpunkt des Ankerstiels und der Uhrubachse geht. Diese Gabel hat drei Zinken l', d, k, von denen zwei l', k horizontal, das heißt, in der Ebene des Ankers sind, wo sie jede einen Halbmond formiren; die dritte d, erhebt sich darüber, wie man es sehr deutlich in Fig. 2. sehen kann, und bewegt sich gegen die Achse der Uhrube. Wir werden den Gebrauch sogleich sehen. Die Achse der Uhrube trägt einen cylindrischen Ring b c, in der Höhe dieser obern Gabel. Dieser Ring ist von einem Segment m geschnitten, welches im Stande ist das Stück d, von dem wir so eben gesprochen haben, frei gehen zu lassen, wenn durch die Bewegung der Uhrube-Schwingung dieses Segment gegenüber geführt ist, und daß in derselben Zeit das Stück d durch die Wirkung des Hebens geht; denn in demselben Augenblicke geschieht es, daß durch die Lösung und die Hebung, welche auf die angezeigte Art statt hat, die horizontale Gabel und der Anker den sie führt, ihre Wechselbewegung ausführen.

158. Das Hemmungsstück r, welches auf die Basis des cylindrischen Ringes b c gepaßt ist, so wie man es sehr deutlich Fig. 2. sieht, spielt zwischen den Wänden n und n des Einschnittes der Gabel in zwei äußerst nahen Zeiträumen allmählich eine thätige und leidende Rolle, von der das ganze Spiel der Hemmung abhängt.

159. Dieser kleine Cylinder r, indem er mit der Uhrube vibriert, tritt in die Gabel und treibt die Seite des Einschnittes, welcher er bei seiner Umdrehung begegnet, vor sich her. So nimmt die Ruhe des Ankers ab, und bringt das fragliche Rad auf die Hebung e, dieß ist die active Rolle. In dem Augenblicke, wo dieser Stoß erfolgt ist, und wo die Hebung beginnt, strebt der Einschnitt, durch die Wirkung der Hebung des Rades gedrängt, schneller zu gehen als das Hemmungsstück r, welches sich daselbst noch befindet, und welches von der Seite wo es schon geht nach der hintern Seite des Einschnittes, welcher ihm schneller folgt als es flieht, fortgestoßen wird. Dieß ist die leidende Rolle der Uhrube, welche für das Rad thätig wird.

Die beiden horizontalen Zinken oder Halbmonde treten um nichts in die gewöhnliche Thätigkeit der Hebung, und werden durch das Hemmungsstück r in ihrem Gange nicht berührt. Aber ihre Ge-

genwart sichert die Verrichtung und den Rücktritt dieses Stücks in die Kerbe bei dem Rückgange der Unruhe, sichert auch vor der Wirkung irgend eines zufälligen Stoßes, der die Bewegung in Unordnung bringen könnte, indem verhindert wird, daß das Epatement d dem Einschnitte des Unruhinges in dem Augenblick gegenüber sich befindet, wo die Vibration dasselbe zurück bringt; die Gabel würde in diesem Falle dienlich sein, und auf eine geeignete Art durch das Hemmungstück berührt und geleitet werden.

160. Sobald als die Hebung vollendet ist, wird das ganze System des Ankers und der Gabel durch zwei Stifte i und s festgehalten, welche die ganze Ausdehnung der Bewegung des Ankers und seiner Gabel bestimmen. Denn der folgende Zahn des Rades befindet sich zur Rechten der Ruhe; die Unruhe setzt ihre Vibrationen frei fort, indem sie das Stück r mit fort nimmt, welches die beiden Rollen spielen läßt, von denen wir gesprochen haben. Am Ende des Schwingungsbogens würde, in dem Falle daß er zu groß wäre, das Stück r eine dritte Rolle spielen, diese, mit der Außenseite der Basis der Gabel zu begegnen, welche an seiner Seite ist, und sich so dem Zufall entgegen zu setzen, den man die Ueberschwenkung (renversement) nennt.

Indem das Stück r zurück schwingt, fällt es wieder in den Einschnitt der Gabel, spielt in dem entgegen gesetzten Sinne dieselbe doppelte, thätige und leidende Rolle, welche es in der vorhergehenden Oscillation gespielt hat; es löst sich aus von der einen Seite, empfängt einen Stoß von der andern sogleich nachher, und setzt so seine Vibration fort.

161. Es ist zu erwähnen, daß der Gang des Hemmungstückes r in den Einschnitt der Gabel mit dem des Epatementes d der obern Rinne in dem Einschnitte des Ringes, welcher zu dem Stiel oder der Achse der Unruhe gehört, von gleicher Dauer ist; dieses Epatement sei es, indem es an dem Einschnitt vorübergeht, sei es, indem es nach diesem Gange von einer Seite zur andern des Ringes in Ruhe bleibt, berührt diese Wände nicht, sondern ist sehr nahe daran sie zu berühren und so in seinem Gange oder in seiner Ruhe geleitet zu werden; in dem Falle, wo irgend eine zufällige Erschütterung das Spiel der Hemmung zu beunruhigen strebt; und überhaupt, damit das Stück r bei seinem Eintritt zwischen die Rinnen, frei genug gehe, ohne zu risquieren, daß es sich gegen seine Spitze stemme, oder zurück gehe. Ohne diese Disposition würde die Gabel in ihrer Ebene durch eine äußere Bewegung der Uhr sich umkehren, was natürlich den Gang der Uhr hemmen würde.

162. Fig. 2. stellt, wie wir schon gesagt haben, die Hemmung im Profil dar. A A ist das Hemmungsrade, welches blos punctirt ist; r z ist der Anker, G die Gabel, H die Achse der Unruhe, welche das Hemmungstück r trägt, welches den Stoß des Einschnittes n n, Fig. 1. empfängt; b c zeigt den Theil, welcher der Ueberschwenkung mittels des Epatementes d zuvor kommt.

163. Dieß ist die Regel, welche für die gute Ausführung dieser Hemmung geeignet ist.

- 1) Um die Entfernung zwischen dem Mittelpunkte des Rades und dem der Bewegung des Ankers zu bestimmen, ziehe man vom Mittelpunkte dieses Rades nach der Spitze eines seiner Zähne eine gerade Linie k a, so wird sie ein Halbmesser des Rades sein. Man ziehe einen zweiten Halbmesser k e, welcher sich in e auf der Mitte der dritten Linie, vom dem Zahne a ausgerechnet, endiget, wovon wir so eben gesprochen haben. Man ziehe den Bogen des Rades, welcher zwischen diesen beiden Radien enthalten ist. An dem äußern

Ende des ersten Halbmessers  $a$ , ziehe man eine unbestimmte gerade Linie  $a h$ , senkrecht auf diesen Halbmesser, so wird sie eine Berührungslinie am Umfange des Rades sein. Am äußersten Ende des zweiten Halbmessers errichte man einen Perpendikel  $e p$ , welcher dem andern in einem Punkte  $q$  begegnet; so ist dieser Punkt der Mittelpunkt der Bewegung des Ankers.

- 2) Die Entfernung von der äußern Ruhe bis zu der innern bei den geneigten Flächen des Ankers, oder von  $a$  bis zu  $e$ , muß dem Bogen gleich sein, welcher zwischen zweien Zähnen und der Hälfte der Weite vom zweiten zum dritten Zahne enthalten ist, wie Fig. 1. anzeigt.
- 3) Die Ruben  $a x$  und  $e z$  müssen auf dem Zapfen des Ankers concentrisch sein. Man würde sie so machen können, daß sie ein Wenig folgten, um das Spiel der Hemmung möglichst sicher zu machen, aber dieses würde ein Wenig Rückfall auf das Rad verursachen.
- 4) Die Hebungen des Ankers müssen jede 5 Grade geneigt sein, so daß der Bogen der Bewegung der Gabel 10 Grade wird. Um die Entfernung zwischen dem Mittelpunkte der Bewegung des Ankers und dem der Urruhe zu bestimmen, muß
- 5) die Gabel bei einer Hebung von 40 Graden auf der Urruhe thätig sein. Für diese Wirkung ist erforderlich, dieselbe, wenn der Anker vollendet ist, an ihren Ort zu bringen und thätig zu machen. Man bemerke durch zwei Striche oder Radien vom Mittelpunkte des Ankers aus die Größe des Weges, den die Gabel durch die Wirkung der Hebung des Rades, an dem Orte, wo die Urruhachse angebracht ist, durchläuft; nachdem man dann von dieser Achse eine gerade Linie nach dem Mittelpunkte der Bewegung des Ankers gezogen hat, ziehe man aus derselben Achse, auf der einen und der andern Seite der Mittelpunctslinie (d. i. in welcher die Mittelpunkte liegen) eine Linie, welche mit ihr einen Winkel von 20 Graden macht, was von der einen zu der andern der beiden so gezogenen Linien 40 Grade giebt; der Einschnitt dieser mit den beiden Radien zugleich vom Mittelpunct des Ankers gezogenen Linien zeigt an, wie viel das Hemmungsstück  $r$  (in seinem Berührungspunkte) vom Mittelpunkte der Urruhachse entfernt ist. Oder was dasselbe ist, die Entfernung vom Mittelpunkte des Ankers bis zu dem Hemmungsstück  $r$ , muß vier mal größer sein als die vom Mittelpunkte der Urruhachse bis zum Berührungspunkte des Hemmungsstückes  $r$ .
- 6) In Bezug auf die geneigten Flächen des Ankers, welche die Hebungen formiren, muß die Länge dieser Flächen ein Wenig geringer als die halbe Zwischenweite eines Zahnes von dem andern sein.
- 7) Was die Stärke des Ringes  $b c$  anbelangt, dessen Basis das Hemmungsstück  $r$  trägt, so muß sein Kern ungefähr  $\frac{2}{3}$  des ganzen Sprunges des Stückes  $r$  betragen, damit es vom Mittelpunkte der Bewegung der Urruhe ausgehe.
- 8) Die Neigung der Zähne des Rades muß 5 Grade betragen.
- 9) Der Arm des Ankers spielt zwischen den beiden Stiften  $i$  und  $s$ , und stützt sich gegen dieselben, nachdem die Hebung bewirkt worden ist; was die Unordnung der Urruhe verhindert.

164. Die Zähne des Rades müssen nach hinten gestellt sein, damit der Anker ein Wenig zwischen die Zähne eindringen kann ohne sie zu berühren. Man thut wohl, die Zähne an den geneigten Flächen ein Wenig voll zu machen.

Durch diese Disposition wird der Zahn hinreichend breit, um daselbst einen Einschnitt oder ein kleines Loch zu machen, worin das Del sich festsetzen und lange Zeit flüssig erhalten kann.

Der Anker und die Gabel, welche an den Zapfen hängen, müssen im vollkommenen Gleichgewicht sein.

Es ist zweckmäßig das Rad aus Messing zu machen, oder was besser ist, aus einer Mischung von  $\frac{2}{3}$  reinem Silber,  $\frac{1}{3}$  gut gehämmerten 18 karatigem Golde, und die geneigten Flächen des Ankers aus Rubin. Die Gabel muß vorzugsweise aus Messing oder aus einer Mischung gemacht sein, wie wir sie angegeben haben, und gegen einen harten Stein wirken, der in der Form des (r) bearbeitet ist. Dieser Stein kann dann des Dels entbehren.

Tafel X. stellt die Hemmung mit dem Anker oder der Gabel dar, so wie sie die Arbeiter der Fabrik zu Liverpool auszuführen angewiesen sind, aber da sie geringer ist als die, welche wir beschrieben haben, so würde es nutzlos sein sie hier zu beschreiben, um so mehr, da eine bloße Ansicht der Zeichnung hinreicht, sie zu begreifen.

## Achtes Kapitel.

### Beschreibung zweier freien Hemmungen für See-Uhren und Taschen-Chronometer. (Tafel VIII. u. IX.)

#### Erster Artikel.

##### Beschreibung der freien Hemmung des Herrn Arnold.

165. Die freie Hemmung ist diejenige, welche man in den Seeuhren und Taschenchronometern anwendet; sie gewähret den Vortheil, wie (§. 147.) bemerkt worden ist, daß sie der Bewegung der Uhr sehr viel Freiheit gestattet, welche durch den Druck des Hemmungsrades auf die Achse der Uhr nicht gestört wird, wie man aus folgender Beschreibung sehen wird, und wie dieß immer bei den ruhenden Hemmungen mehr oder weniger der Fall ist. Bei der freien Hemmung kann die Uhr sehr große Schwingungsbogen beschreiben, und daher eine große Bewegungsgröße erlangen; diese Hemmung bietet noch den unschätzbaren Vortheil dar, daß sie kein Del bedarf. Diejenige, welche hier beschrieben wird, ist nach den Grundsätzen des Herrn Arnold und genau so angegeben, wie er sie in seinen Längenuhren in großem und kleinem Maasstabe ausgeführt hat.

166. Tafel VIII. stellt die Hemmung in Fig. 1. und 2. im Grundriß und im Profil dar, A in Fig. 1. ist das Hemmungsrad, welches durch seine Bewegung in der Richtung von r gegen s mit dem krummen und geneigten Theile seiner Zähne auf den Einschnitt u v des Hemmungskreises B wirken kann, welcher durch die Uhrachse so getragen wird, wie man ihn in Fig. 2. sieht, wo a a diese Achse darstellt. o o, Fig. 1. ist eine biegsame und sehr elastische Feder, welche einen Sperrkegel c trägt, der dazu dient, die Bewegung des Hemmungsrades aufzuhalten oder einzustellen, indem er den

Zähnen dieses Rades gehörigen Widerstand leistet. Dieser Keil ist so ausgehöhlt, daß der vorspringende Theil der Zähne in dem Innern des Rades sich auf den Sperrkegel stützen kann, wie man es in Fig. 2. sieht, wo der Zahn r gegen den Anhalter c drückt, dessen unterer Theil mit dem Grunde des Rades gehöriges Licht hat. Das Ende der Vorfalldfeder o o, welches von der Umrubachse weiter entfernt ist, ist auf der Platine der Uhr durch eine Schraube und einen Fuß befestiget, und wird so unbeweglich, während der Theil des Vorfalles e, welcher der Umrubachse näher ist, indem er sich biegt, dem Mittelpuncte des Hemmungsrades sich nähern kann. Durch diese Bewegung wird der Sperrkegel c von dem Zahne r des Hemmungsrades sich lösen, welches dann in der Richtung von r gegen s fort gehen kann. Der Kloben D Fig. 1. trägt eine Stellschraube, welche, wie die Figur zeigt, auf den Sperrkegel c sich stützt und die Vorfalldfeder aufnimmt, wenn dieselbe, nachdem sie gegen den Mittelpunct des Hemmungsrades zur Auslösung dieses Rades ausgewichen ist, vermöge ihrer Elasticität ihre natürliche Lage wieder einnimmt; dieß geschieht, damit die Lage des Sperrkegels c in Beziehung auf das Hemmungsrad und auf die Umrubachse sich durchaus nicht ändern kann. Auf der Vorfalldfeder o o ist eine kleine sehr schwache und sehr elastische Feder u u befestiget, welche auf das Ende des Vorfalles drückt; der Zahn e, welcher, wie man in Fig. 1. und 2. sieht, durch die auf der Umrubachse befestigte Welle C getragen wird, kann auf das Ende dieser Feder wirken. Wenn die Bewegung der Welle C in der Richtung von u gegen o Fig. 1. geschieht, so biegt der Zahn e die Feder u u nicht, und geht ohne jede andere Wirkung fort; aber wenn im Gegentheil die Bewegung der Welle C in der Richtung von o gegen u erfolgt, so macht der Zahn, indem er auf u u wirkt, daß die Vorfalldfeder o o gegen den Mittelpunct des Hemmungsrades sich biegt.

167. Nach der Beschreibung der einzelnen Theile dieser Hemmung in dem vorhergehenden Paragraphen ist das Spiel davon leicht zu erkennen.

Das Hemmungsrad A strebt durch die Thätigkeit des Räderwerkes sich in der Richtung von r gegen s zu bewegen; aber der Sperrkegel c der Vorfalldfeder o o, indem er auf den Zahn r sich stützt, hindert das Rad fortzugehen. Während die Umrube in der Richtung von u gegen o schwingt, hat die Welle C, weil sie auf die Umrubachse befestiget ist, die nemliche Bewegung, und der Zahn e geht, indem er die kleine Feder u u biegt, ohne jede andere Wirkung fort; durch die Thätigkeit der Spiralfeder schwingt die Umrube in einem, zur ersten Schwingung, entgegengesetzten Sinne und in der Richtung von o gegen u; aber jetzt macht der Zahn e, indem er auf die kleine Feder u u wirkt, welche auf die Vorfalldfeder o o sich stützt, daß dieselbe sich genugsam biege, damit der Sperrkegel c, indem er sich so dem Mittelpuncte des Hemmungsrades nähert und von dem Zahne, gegen welchen er sich stützt, los macht, dem Hemmungsrade freien Gang gestatten könne, damit es durch den Zahn s auf den Einschnitt u v, des Hemmungskreises wirken, und so der Umrube den erforderlichen Stoß zur Unterhaltung der Bewegung oder der Schwingungen desselben geben kann. Man sieht, daß durch diese Hemmung die Umrube den Impuls des Hemmungsrades blos in jeder Secundenschwingung erhält.

168. Die Grundsätze der Construction dieser Hemmung sind folgende:

- 1) Der Durchmesser des Kreises B muß der doppelten Entfernung zweier Zähne des Hemmungsrades gleich sein, oder was auf dasselbe hinaus kommt, der Halbmesser des Rades B muß der Entfernung zweier Zähne des Rades, auf deren Spizen genommen, gleich sein.
- 2) Der Sperrkegel c, welcher die Bewegung des Hemmungsrades einstellt, muß geneigt sein, wie die Zeichnung in Fig. 1. anzeigt, so daß diese Neigung des Sperrkegels einen kleinen

Rückfall auf das Hemmungsrad bewirken kann, während die Vorfalffeder durch die Thätigkeit des Zahnes *e* zur Auslösung des Rades sich biegt. Dieses geschieht, damit die Vorfalffeder das Hemmungsrad mit der größt möglichen Sicherheit anhalte, weil die Zähne desselben sich ein Wenig an den Sperrkegel anhängen; ohne diese Vorkehrung würde es von einer Zeit zur andern geschehen, daß durch ein Springen der Vorfalffeder, der Zahn, welcher angehalten sein soll, vom Sperrkegel fliehen, und in diesem Falle der Zahn, welcher dem Kreise *A* sich nähert, gegen den Umfang desselben fallen und dadurch in dem Gange der Uhr viele Regellosigkeit entstehen würde, wie es sich leicht vorstellen läßt.

- 3) Die kleine Feder *n n* kann so gelegt sein, daß sie gerade gegen den Mittelpunct des Hemmungskreises *B* oder der Welle *C* visirt.

Der Sicherheit des Spiels der Hemmung wegen ist es übrigens vorzuziehen, den Zahn *e* lieber ein Wenig vor als nach der Mittelpunctslinie wirken zu lassen, wenn es gilt, das Hemmungsrad zu lösen, und für diesen Zweck kann das Ende der kleinen Feder *n n*, gegen welche der Zahn *e* wirkt, sich ein Wenig, aber auf eine fast unmerkliche Art, von der Mittelpunctslinie auf der geeigneten Seite entfernen.

- 4) Der Einschnitt des Kreises *B*, das heißt die Fläche, welche die Stöße des Hemmungsrades empfängt, muß den Mittelpunct des Kreises visiren, oder was dasselbe ist, gegen den Mittelpunct *B* im Halbmesser gerichtet sein.
- 5) Der Hemmungskreis muß in Beziehung auf das Rad so angebracht sein, daß zwischen dem Umfange dieses Kreises und den Spitzen zweier Zähne, welche den Kreis umgeben, hinreichendes Licht sein könne. Dieses Licht muß dem zweier Zähne gleich sein, was man erlangt, indem man den Sperrkegel der Vorfalffeder zweckmäßig anbringt.
- 6) Die Krümmungen der Zähne müssen so beschaffen sein, daß die Spur möglichst einförmig werde, und das Rad während der ganzen Spur so viel als möglich senkrecht auf die Ebene des Einschnittes des Kreises *B* wirke.
- 7) Die Lage des Einschnittes *u v* in Beziehung auf den Zahn *e* muß so beschaffen sein, daß der Zahn des Hemmungsrades, nachdem er vom Sperrkegel *c* gelöst ist, gegen den Einschnitt mit einem für die Sicherheit hinreichendem Fall, einfallen kann. Dieser Fall muß in den tragbaren Chronometern ein Wenig größer sein als in den Seeuhren mit Einstellung, weil diese den kreisförmigen Bewegungen in der Ebene der Unruhe weniger ausgesetzt sind als die tragbaren Chronometer.
- 8) Der kleine Zahn *e* muß die Vorfalffeder hinreichend lösen, das heißt, eine genügend starke Hebung bewirken, damit der Vorfall gegen die Schraube des Kloben *D* nicht zurückfalle, als in dem Moment, wo der gelöste Zahn ungefähr um den vierten Theil des Abstandes zweier Zähne von dem Sperrkegel sich entfernt hat.
- 9) Die Vorfalffeder muß sehr leicht sein, und darf nicht mehr Dicke oder Bände haben als nöthig ist, um mit der erforderlichen Geschwindigkeit gegen die Stellschraube in *D*, nach der Wirkung des Zahnes *e*, zurück zu fallen; denn sonst würde die Unruhe bei Auslösung des Vorfalls einen sehr großen Widerstand erleiden, was einen mehr oder weniger großen Theil der Bewegung des Regulators zerstören würde.

Die kleine Feder *n n* muß aus demselben Grunde ebenfalls sehr schwach sein. Die

biegsame Stelle der Vorfalffeder wird in dem von der Unruh-Achse entferntern Theile sein, worin auch die der kleinen Feder *n n* sich befindet.

- 10) Die Stellschraube in *D* wird in dem Mittelpuncte des Druckes der Vorfalffeder, so wie es sich thun läßt, angebracht, damit der Stoß der Vorfalffeder gegen diese Schraube mehr geschwächt, und eine immer schädliche, hüpfende und springende Bewegung des Vorfalles vermieden werde.

Bemerkung. Die Kraft der Vorfalffeder, die der kleinen Feder *n n*, und der Det der Stellschraube in *D*, können wenig nach Regeln bestimmt werden. Daher kommt es, daß der mehr oder weniger gute Erfolg von mehr oder weniger Tact und Routine des Künstlers abhängt.

169. Um diese Hemmung so vollkommen und unzerstörbar als möglich zu machen, ist es dienlich, das Rad aus Messing und den Sperrkegel *c* aus hartem Stein zu machen, sei es aus Rubin oder orientalischem Saphir. Der kleine Zahn *e* wird ebenso aus Stein, und die kleine Feder *n n* aus Gold oder aus Messing bestehen. Der Einschnitt des Hemmungskreises kann zum Vortheil mit einem Steinplättchen garnirt sein. Es ist sehr notwendig, daß die lebhaften Winkel, überall wo Reibung statt findet, mit Steinplatten gut abgestumpft sind.

Um aller Abnutzung vor zu beugen, ist es vortheilhaft, die Platten aus möglichst hartem Stein zu machen, und die Stellen, wo die Reibungen statt haben, äußerst fein zu poliren.

## Zweiter Artikel.

Beschreibung der freien Hemmung des Herrn Earnshaw.

170. Tafel IX. Fig 1. und 2. stellt die Hemmung im Grundriß und im Profil dar. *A* Fig. 1. ist das Hemmungsrade, welches durch seine Bewegung in der Richtung von *s* gegen *r* mit dem geraden und geneigten Theile seiner Zähne auf den Einschnitt *u v* des Hemmungskreises *B* wirkt, welcher von der Unruhachse getragen wird, so wie man es in Fig. 2. sieht, wo *a a* diese Achse darstellt. *o o*, Fig. 1. ist eine gehörig biegsame und sehr elastische Feder, welche einen Sperrkegel *c* trägt, der zum Anhalten oder Einstellen der Bewegung des Hemmungsrades dient, indem er den Zähnen dieses Rades gehörigen Widerstand leistet, wie man dieß Figur 1 und 2 sieht, wo der Zahn *r* gegen den Keil *c* der Hemmungsfeder lehnt. Das Ende der Hemmungsfeder oder der Vorfalffeder *o o*, welches von der Unruhachse weiter entfernt ist, ist mittelst zweier Schrauben an einem kleinen angewandten Kloben auf der Platine der Uhr befestiget, und daher unbeweglich geworden, während daß derjenige Theil des Vorfalles *e*, welcher der Unruhachse näher ist, indem er sich biegt, von dem Mittelpuncte des Hemmungsrades sich entfernt \*). Durch diese Bewegung macht sich der Sperrkegel *c* von dem Zahne *r* des Hemmungsrades los, welches alsdann in der Richtung von *s* gegen *r* frei fortgehen kann. Der Kloben *D*, Fig. 1, trägt eine Gegenschraube, und gegen deren Kopf kommt die Vorfalffeder nahe bei dem Sperr-

\*) In der Hemmung Arnold's nähert sich der Sperrkegel der Vorfalffeder, indem sie sich biegt, dem Mittelpuncte des Hemmungsrades; in derjenigen von Earnshaw hingegen, entfernt sich die Vorfalffeder, indem sie sich biegt, von dem Mittelpuncte des Hemmungsrades, um das Rad in der Richtung von *s* gegen *r* frei fortgehen zu lassen.

regel sich zu stützen, wie man es auf der Zeichnung sehen wird; dieser nämliche Kopf der Schraube empfängt die Vorfalldfeder, wenn dieselbe, nachdem sie sich zur Auslösung gebogen hat, vermöge ihrer Elasticität ihre natürliche Lage wieder einnimmt; dieß geschieht, damit die Lage des Sperrkegels *c* in Beziehung auf das Hemmungsrad und auf die Unruhachse sich nicht ändern kann. Auf der Vorfalldfeder *o o* ist eine kleine sehr schwache und sehr elastische Feder *n n* befestiget, welche auf dem Ende des Vorfalls ruht; der Zahn *e*, welcher durch die auf der Unruhachse befestigte Welle *C* getragen wird, wie man Fig. 1 und 2 sieht, kann auf das Ende dieser Feder wirken.

Wenn die Bewegung der Welle *C* in der Richtung von *o* gegen *v* Fig. 1 geschieht, so bewirkt der Zahn *e*, daß sich die Feder *n n* nicht biegt, und ohne jede andere Wirkung fortgeht; aber wenn im Gegentheil die Bewegung der Welle *C* in der Richtung von *v* gegen *o* erfolgt, so macht der auf *n n* wirkende Zahn, daß die Vorfalldfeder *o o* sich biegt, und von dem Mittelpuncte des Hemmungsrades entfernt.

171. Aus der Beschreibung der verschiedenen Theile dieser Hemmung in dem vorhergehenden Paragraphen, ist es leicht das Spiel derselben zu erkennen: das Hemmungsrad *A*, strebt durch die Thätigkeit des Räderwerkes in der Richtung von *s* gegen *r* sich zu bewegen; aber der Sperrkegel *c*, der Vorfalldfeder *o o*, auf den Zahn *r* sich stützend, hindert das Rad fortzugehen. Während daß die Unruhe in der Richtung von *o* gegen *v* schwingt, hat die Welle *C*, indem sie auf der Achse der Unruhe befestiget ist, die nämliche Bewegung als diese, und der Zahn *e*, indem er die kleine Feder *n n* biegt, geht ohne jede andere Wirkung fort; durch die Thätigkeit der Spiralfeder schwingt die Unruhe in einer der ersten entgegengesetzten Richtung, in der Richtung von *v* gegen *o*: aber jetzt macht der Zahn *e*, indem er auf die kleine Feder *n n* wirkt, welche auf der Vorfalldfeder *o o* ruht, daß dieselbe sich genugsam biege, damit der Sperrkegel *c*, indem er sich von dem Mittelpuncte des Hemmungsrades entfernt, und von dem Zahne, gegen welchen er sich stützt, los macht, dem Hemmungsrade freien Gang gestatten könne, damit es durch den Zahn *s* auf den Einschnitt *u v* des Hemmungskreises wirken, und daher der Unruhe den nöthigen Impuls zur Unterhaltung der Bewegung oder der Vibrationen desselben geben kann. Man sieht, daß durch diese Hemmung, wie bei der von *Arno* 1*b*, die Hemmung den Impuls des Hemmungsrades nur in jeder Secundenschwingung erhält.

172. Die Grundsätze der Construction dieser Hemmung sind folgende:

- 1) Der Durchmesser des Kreises *B* muß der doppelten Entfernung zweier Zähne des Hemmungsrades gleich sein, oder was dasselbe ist, der Halbmesser des Kreises *B* muß der Entfernung zweier Zähne des Rades auf dessen Spizen genommen gleich sein.
- 2) Der Sperrkegel *c*, welcher die Bewegung des Hemmungsrades einstellt, muß eine Neigung haben, wie die Zeichnung Fig. 1 sie anzeigt, so daß diese Neigung des Sperrkegels einen kleinen Rückfall auf das Hemmungsrad bewirken kann, während die Vorfalldfeder durch die Thätigkeit des Zahnes *e* zur Auslösung des Rades gebogen wird. So kommt es, daß die Vorfalldfeder das Hemmungsrad mit größtmöglicher Sicherheit anhält, weil die Zähne desselben sich ein Wenig an den Sperrkegel hängen; ohne diese Vorkehrung würde es durch ein Springen der Vorfalldfeder von einer Zeit zur andern dahin kommen, daß der Zahn, welcher angehalten sein sollte, von dem Anhaltekegel schieben, und in diesem Falle der Zahn, welcher dem Kreise *B* zunächst ist, gegen dessen Umfang fallen, und dadurch in dem Gange der Uhr viele Regellosigkeit entstehen würde, wie es leicht zu erachten ist.

- 3) Die kleine Feder *nn* kann so gelegen sein, daß sie gerade gegen den Mittelpunct des Hemmungskreises *B* oder der Welle *C* visirt. Es ist übrigens für die Sicherheit des Spiels der Hemmung vorzuziehen, daß der Zahn *e* lieber ein Wenig vor als nach der Mittelpunctslinie wirke, wenn es gilt, das Hemmungsrad zu lösen; und für diesen Zweck kann das Ende der kleinen Feder *nn*, gegen welche der Zahn *e* wirkt, sich ein Wenig, aber auf eine fast unmerkliche Art, von der Mittelpunctslinie an der schließlichen Seite entfernen.
- 4) Der Einschnitt des Kreises *B*, das heißt die Fläche, welche die Impulse des Hemmungsrades empfängt, muß geneigt sein, und mitten zwischen den Mittelpunct des Kreises und dessen Umfang visiren, so wie die Zeichnung zeigt.
- 5) Der Hemmungskreis muß in Beziehung auf das Rad so gestellt sein, das zwischen dem Umfange dieses Kreises und den Spizen zweier Zähne, welche der Kreis umfaßt, hinreichend Licht vorhanden sei. Dieses Licht muß dem zweier Zähne gleich sein, was man erlangt; indem der Sperrkegel der Vorfallsfeder zweckmäßig angebracht wird.
- 6) Die Zähne des Rades müssen so beschaffen sein, daß die Spur so einformig als möglich werde. Für diesen Zweck ist es dienlich, sie geneigt zu machen, wie die Zeichnung zeigt.
- 7) Die Lage des Einschnittes *uv*, in Beziehung auf den Zahn *e* muß von der Art sein, daß der Zahn des Hemmungsrades, nachdem er von dem Sperrkegel *c* los ist, gegen den Einschnitt mit einem für die Sicherheit hinreichendem Falle einfallen kann. Dieser Fall muß in den tragbaren Chronometern ein Wenig größer sein als in den Secuhren mit Einstellung, weil dieselben der kreisförmigen Bewegung in der Ebene der Uhrube weniger ausgesetzt sind als die tragbaren Chronometer.
- 8) Der kleine Zahn *e* muß die Vorfallsfeder hinreichend lösen, daß heißt, eine genugsam starke Hebung bewirken, damit der Vorfall gegen den Kopf der Schraube des Kloben *D* nur in dem Moment zurückfalle, wo der gelöste Zahn ungefähr den vierten Theil des Abstandes zweier Zähne vom Sperrkegel *c* entfernt ist.
- 9) Die Vorfallsfeder muß sehr leicht sein, und darf nicht mehr Kraft oder Spannung haben, als nöthig ist, um mit der erforderlichen Geschwindigkeit gegen die Stellschraube in *D*, nach der Thätigkeit des Zahnes, zurückzufallen; denn sonst würde die Uhrube, wenn der Vorfall sich löst, einen sehr großen Widerstand erleiden, was einen mehr oder weniger großen Theil der Bewegung des Regulators zerstören würde. Die kleine Feder *nn* muß aus demselben Grunde sehr schwach sein. Die biegsame Stelle der Vorfallsfeder wird in dem von der Uhrube entfernteren Theile der Achse sein, worin selbst die der kleinen Feder *nn* liegt.
- 10) Die Gegenschraube in *D* wird in dem Mittelpuncte des Druckes der Vorfallsfeder, so wie es sich thun läßt, angebracht; dieß geschieht, damit der Stoß der Vorfallsfeder gegen diese Schraube schwächer, und eine stets nachtheilige, hüpfende Bewegung des Vorfalls vermieden werde.

173. Diese Hemmung, so vollkommen und unzerstörbar als möglich zu machen, ist es dienlich, das Rad aus Messing zu machen, oder was noch besser ist, aus einer Mischung von ungefähr  $\frac{3}{4}$  reinem Silber und  $\frac{1}{4}$  gut gehämmerten Karatigem Golde.

Gleich geeignet ist es, die Hebung, die Auslösung und die Ruhe aus hartem Stein, sei es

aus Rubin oder orientalischem Saphir zu machen. Indem man die kleine Feder *nn* aus Gold oder Messing macht, vermeidet man den Rost oder die Rötze, welche sich am Ende dieser Feder, wenn sie von Stahl ist, bildet, und was von Wichtigkeit ist. Diese Hemmung bedarf kein Del.

174. Aus der Beschreibung dieser beiden freien Hemmungen sehen wir endlich, daß in der von Arnold der Druck des Hemmungsrades in der Länge der Vorfallsfeder erfolgt, während im Gegentheil in der von Earnshaw der Druck des Hemmungsrades gegen die Länge der Vorfallsfeder geschieht. Mehre Künstler haben aus diesem Grunde befürchtet, daß die Vorfallsfeder, indem sie äußerst schwach ist, in der Hemmung Earnshaw's keine so feste Lage habe wie in der von Arnold; die Erfahrung hat indessen gelehrt, daß die Hemmung Earnshaw's, wenn sie gut ausgeführt ist, alle nöthige Sicherheit gewähret; und dieß ist in der That die Hemmung, von der man den meisten Gebrauch in den Chronometern macht; sie ist der von Arnold vorzuziehen, weil sie weniger Reibung hat, sich weniger von der Einfalls Spitze (Daumen) aufhalten läßt, und etwas leichter ausführbar ist.

## Neuntes Kapitel.

### Von der ruhendem Hemmung mit dem Anker für Pendeluhren. Taf. XII.

175. Diese Hemmung ist eine Erfindung Graham's; da sie sehr bekannt ist, so würde es überflüssig sein, mich bei der Beschreibung derselben aufzuhalten; ich will daher nur die Grundsätze wiederholen, in Folge deren sie mit der Ausführung übereinstimmt.

#### Grundsätze der Construction.

176. 1) Man bestimme die Entfernung, in welcher der Mittelpunkt der Wirkung der Paletten von dem Mittelpunkte des Hemmungsrades angebracht sein muß. Diese Entfernung hängt von dem Bogen ab, den das Pendel schwingen soll. Soll es große Bogen beschreiben, so muß der Mittelpunkt des Ankers nahe an das Rad verlegt werden; wenn es hingegen kleine Bogen beschreiben soll, so muß der Mittelpunkt des Ankers in einer größern Entfernung von dem Rade angebracht sein.

Nachdem man den Durchmesser des Rades, die Zahl seiner Zähne und die Anzahl Zähne bestimmt hat, welche die Paletten zwischen sich fassen sollen, so ziehe man einen Kreis, der die Spitzen der Zähne des Rades beschreibt; und auf dem Kreise markire man an geeigneten Stellen, welche durch das Interfall der Paletten bestimmt sind, die Stärke der letztern, welche im ruhenden Zustande für den Fall immer die Hälfte des Raumes sein muß, der zwischen den Spitzen der Zähne für jede Palette enthalten ist; man ziehe dann zwei gerade Linien zwischen den beiden Spitzen, welche die Stärke der Paletten auf dem umschriebenen Kreise bezeichnen, so werden diese Linien die Sehnen der sie bespannenden Kreisbogen sein; man verlängere diese beiden Linien bis daß sie sich treffen, und ihr Vereinigungspunct wird der Mittelpunkt der Bewegung der Paletten sein.

Um sodann die kreisförmigen Flächen der Paletten zu beschreiben, ziehe man von dem Mittelpuncte der Bewegung aus, wie oben angegeben wurde, in beiden Kreisen Theilungslinien, welche den Kreis durchschneiden, der das Rad in vier Puncten umschreibt, welche den Ort und die Stärke der Paletten bezeichnen.

Um dieß deutlicher zu zeigen, sei A, Fig. 1, Tafel XII, ein Hemmungsrad von 15 Zähnen, auf welches man ein Paar Paletten zur Hemmung der Ruhe anzuwenden verlangt; die Paletten sollen 6 Zähne erhalten, oder was dasselbe ist, der Theil des Kreises, welcher dazwischen liegt, fast 7 Zähne. Man umschreibe die Spizen der Zähne des Rades durch einen eingebildeten Kreis; theile jeden der Räume  $ce$  und  $br$ , welche zwischen den Zähnen  $ce$  und  $br$  enthalten sind, in zwei gleiche Theile, in  $z$  und  $s$ ; ziehe die geraden Linien  $cz$  und  $rs$  und verlängere sie, bis sie sich in  $i$  begegnen, der Punct  $i$  wird der wahre Mittelpunct der Bewegung der Paletten sein.

Von diesem Mittelpuncte  $i$  aus ziehe man die beiden Kreisbogen  $kl$  und  $mn$ , welche den Umfang des umschriebenen Kreises in den Puncten  $c, z$  und  $r, s$  schneiden, so werden die kreisförmigen Stützen der Paletten ein Theil dieser Kreise sein, die innere Stütze ein Theil vom kleinern Kreise und die äußere Stütze ein Theil vom größern. Da dieses Verfahren in der Ausübung sehr schwierig, ich will nicht sagen unmöglich ist, ausgenommen bei Rädern von großem Umfange, wegen der geringen Entfernung der Puncte von einander, welche die Stärke jeder Palette bestimmen; so ist es besser, nachdem man den Ort der Paletten auf dem Umfange des Rades bestimmt hat, wie oben angegeben wurde, vom Mittelpuncte  $x$  des Rades aus die beiden Halbmesser  $xu$  und  $xu'$  zu ziehen, welche die Bogen  $rs$  und  $cz$  in zwei gleiche Theile theilen, die die Stärke der Paletten bezeichnen; und von den Puncten  $u$  und  $u'$  aus, wo diese Linien den Kreis durchschneiden, errichte man die beiden Perpendikel  $uw$  und  $u'w$ , so werden sie Tangenten des Kreises sein; ist dieses geschehen, so ziehe man die Linien  $rsi$  und  $cz i$  parallel zu den beiden Linien  $uw$  und  $u'w$ , und der Punct  $i$ , wo dieselben sich treffen, wird der Mittelpunct der Bewegung der Paletten sein, welcher mit dem auf die gewöhnliche Art gefundenen übereinstimmen muß; denn eine Sehne wird immer parallel einer denselben Kreis berührende Tangente sein, wenn die Tangente diesen Kreis in einem Puncte berührt, der von den Endpuncten der Sehne dieses Kreises gleichweit entfernt ist, und dieß ist hier der Fall; denn nach der Construction der Figur ist der Winkel  $xuw$  ein rechter Winkel, und die Winkel  $u'xr$  und  $u'xs$  sind einander gleich. Da die Sehne  $sr$  parallel zur Tangente  $uw$  ist, so folgt, daß die Linie  $oi$ , welche die nämliche ist, als die verlängerte Sehne  $sr$ , auch zu der nämlichen Tangente  $uw$  parallel sein muß.

Eine ähnliche Erklärung ist auch auf die Sehne  $cz$  anwendbar.

Da es sich nicht um eine größtmögliche Genauigkeit handelt, so genügt es, um die Entfernung zu bestimmen, in welcher der Mittelpunct des Ankers vom Mittelpuncte des Hemmungsrades angebracht sein muß, zwei Radien zu ziehen, welche die Stärke der Paletten auf dem umschriebenen Kreise des Rades in zwei gleiche Theile theilen, und auf diesen Linien, in den Puncten, wo sie den Kreis des Rades schneiden, zwei Perpendikel zu errichten, und den Punct zu bezeichnen, in welchem, als Mittelpunct der Bewegung der Paletten, diese beiden Perpendikel sich begegnen.

2) Um die Neigung der Flächen der Paletten zu bestimmen, ziehe man aus dem Mittelpuncte  $i$  des Ankers die geraden Linien  $io$  und  $ip$ , welche einen Winkel  $oip$  formiren, der die Hälfte desjenigen ist, den das Pendel schwingen soll; durch die Puncte  $t, r$ , wo diese Geraden die Bogen  $lt$  und  $nr$  schneiden, ziehe man die Gerade  $rt$ , welche die geneigte Fläche  $rt$  bestimmt; eine gleiche

Operation nehme man für die andere Seite vor, indem man in Acht nimmt, daß, weil die Palette  $r t$  einen Grad faßt, diejenige  $a c$  außerhalb des Rades gelegen sei, und ganz bereit in dem Maaße sich zu bewegen, als die andere sich von dem Rade entfernt.

In einer solchen Hemmung darf man den Zahn  $r$ , in dem Maaße als ein Zahn  $c$  des Rades die Palette  $a c$  verläßt, über den Kreisbogen  $n r$  nur sehr wenig vorgreifen lassen, auch darf er nicht auf den Winkel  $n i$  der geneigten Fläche fallen, auf welchem er in dem Maaße sich bewegen muß, als die Palette  $r t$  von dem Rade sich entfernt; und dasselbe gilt auch für die andere Seite.

3) Die Stärke, oder das Intervall zwischen den Theilen des Kreises, welche die Länge der geneigten Flächen des Ankers oder seiner Paletten bestimmen, muß ein Wenig geringer als die Hälfte des Abstandes eines Zahnes von dem andern sein, um der Hemmung einen sehr kleinen Fall zu geben, welches gestattet, daß in dem Maaße als eine Palette sich von dem Rade entfernt, die andre sich verbindet.

4) Das Vordertheil der Zähne des Rades muß ein wenig mehr geneigt sein als die Zeichnung angiebt, welche diese Hemmung darstellt; durch dieses Mittel wird die Stütze des Zahnes auf den Anker durch die Spitze gebildet werden; was nothwendig ist, damit die Paletten des Ankers in dem Maaße als sie eingreifen, das Rad nicht zurückgehen lassen.

177. Um die Erläuterung von §. 1 anschaulicher zu machen, hat das Rad A Fig. 1 in der Zeichnung blos 15 Zähne erhalten. Denn in Fig. 2, wo das Rad A mit 30 Zähnen (Anzahl der Zähne für ein Secundenpendel) dargestellt ist, ist die Stärke der Palette sehr gering, und der Theil des Kreises, welcher die Sehne bespannt, hat so wenig Höhe, daß der Raum zwischen der verlängerten Sehne und der Tangente kaum sichtbar ist; hieraus folgt, daß die Punkte  $i$  und  $u$  sehr nahe an einander sind. In Fig. 1 hingegen, wo das Rad nur mit 15 Zähnen dargestellt ist, ist die Entfernung der Punkte  $i$  und  $w$  von einander mehr in die Augen fallend.

178. Damit diese Hemmung dauerhaft sei, d. h., daß die wiederholten Reibungen des Hemmungsrades mit den geneigten Flächen des Ankers und der Ruhe daselbst nicht die geringste Abnutzung verursachen können, so ist zu beobachten:

1) Das Hemmungsrad und der Anker sollen in Löchern in Saphir oder orientalischen Rubin gehen, welcher kurz, wohl arrondirt und äußerst fein polirt sein muß. Auch ist es nothwendig, daß die Zapfen dieser Getriebe mit ihrem Ansatz sich gegen die Steine nicht reiben, sondern daß sie durch ihr abgerundetes Ende mit einem Gegenzapfen sich berühren;

2) der Anker beider geneigter Flächen ist mit Saphir oder orientalischem Rubin zu versehen, damit das Hemmungsrad daselbst nicht die geringste Abnutzung verursachen könne;

3) ist das Hemmungsrad zu justiren, und am Feuer zu vergolden, damit das Del nicht oxidire u. s. w.

## Zehntes Kapitel.

### Grundriß oder Riß zu einer astronomischen Uhr mit freier doppelter Radhemmung. (Tafel XVI.)

179. Tafel XVI. Fig. 1 stellt den Grundriß einer Uhr oder eines astronomischen Pendels dar. A ist das Haupttrad concentrisch auf der Walze oder dem Cylinder, worauf die Saite des Gehgewichtes sich wickelt; a b zeigt die Walze, deren Achse viereckig ausläuft, wie dieß gewöhnlich der Fall ist. Das Rad A' greift in den Trieb c des Minutenrades B', dieses greift bei seinem Umlauf in den Trieb d des Rades C', welches den Trieb e des Rades D' führt, das den Secundenzeiger trägt. D greift in den Trieb l der Hemmungsräder E.

180. In den astronomischen Pendeluhren wendet man gewöhnlich die ruhende Ankerhemmung an; die Regelmäßigkeit, welche man in dem Gange dieser Maschinen erlangt hat, bestätigt die Güte dieser Hemmung. Dem ungeachtet hat die Ankerhemmung wie alle ruhenden Hemmungen den Fehler, daß die ununterbrochene Thätigkeit des Hemmungsrades gegen die Ruhe des Ankers in der Freiheit der Pendelschwingungen eine Störung bewirkt, und eine Reibung veranlaßt, welche beträchtliche Veränderungen verursachen kann, die durch Abnutzung des Ankers oder Dickwerden des Deles noch vermehrt werden.

Aus diesem Grunde haben wir in der hier beschriebenen Uhr eine freie Hemmung mit doppeltem Rade angewendet, welche ganz nach demselben Princip construirt ist, wie die in dem Anhang dieses Werkes beschriebenen Secuhren. Der Natur dieser Hemmung gemäß, werden die Vibrationen nicht im Mindesten durch das Hemmungsrade gestört, welches blos im Moment des Stoßes auf das Pendel wirkt, was ein großer Vortheil ist; aber man wird leicht bemerken, daß bei dieser Einrichtung der Secundenzeiger in zwei Secunden nur einen Schlag macht, was indessen nur ein sehr geringer Nachtheil ist: denn wenn man das Uhrgehäuse durchbrochen und mit einem Glase versehen annimmt, so daß man die Bewegung der Pendellinse sehen kann, so wird der Beobachter das Intervall von zwei Secunden genau theilen können, indem er mit den Augen die Schwingungen des Pendels verfolgt, welche in einer Secunde geschehen.

181. Fig. 2 zeigt die Anwendung der Hemmung auf diese Uhr und die einzelnen Theile derselben. A' ist das Stoßrad, welches mittels der Spitzen seiner Zähne auf den Einschnitt d des in l beweglichen Hemmungskreises C V wirkt.

Dieses Rad A und der Hemmungskreis C V befinden sich in einer und derselben Ebene, wie man Figur 3, in A und C sieht.

Der Hemmungskreis C V, Figur 2 und 3 ist concentrisch auf der Achse l g angebracht, auf welcher der Arm h k befestiget ist, der den Arm u trägt, welcher dazu dient, dem Pendel den Impuls der Anregungsbewegung mitzutheilen und auf die Hemmung fortzupflanzen, um die Bewegung des Regulators oder des Pendels zu unterhalten.

Das Rad B bleibt in Ruhe, während das Pendel seine Schwingungen vollendet; es ist auf der Achse des Stoßrades befestiget, und folgt der Bewegung desselben.

Die Hemmungszunge o, n, r, Figur 2, bewegt sich um ihre Achse x, und lehnt sich mittels des kleinen Gewichtes r gegen das Ende der Stellschraube c. Diese Zunge trägt in n einen Anhalter oder eine Palette, auf welche die Zähne des Rades B während der Schwingungen sich stützen.

Die Palette n ist genügend lang oder erhaben, damit ihr oberer Theil in derselben Ebene als das Rad B sein könne, während der Arm o der Zunge sich in einer Ebene unter diesem Rade befindet, wie man es Figur 3 sieht.

In der nemlichen Ebene als der Arm o der Zunge, ist über dem Hemmungskreise die Auslöschungsfeder m i befestiget, welche bei i einen Einschnitt hat, in welchem eine Palette aus Rubin von der Form angebracht ist, wie die Zeichnung zeigt. Das Ende dieser Palette ragt hervor, und wirkt während der Pendelschwingungen auf das Ende des Armes o der Hemmungszunge.

### Vom Spiel der Hemmung.

182. Durch den Druck des Räderwerkes der Uhr gegen den Trieb, welcher die beiden Hemmungsräder trägt, werden dieselben von der Linken zur Rechten, d. h. in der Richtung von n nach d, Figur 2 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 so lange aufgehalten, bis diese Palette hinreichend von dem Zahne entfernt ist. Das in der Richtung von d nach r, oder von der Rechten zur Linken in Bewegung gesetzte Pendel macht, daß die Auslöschungsfeder m i dieselbe Bewegung annimmt, und die Palette i kommt so mit dem Ende des Armes o der Zunge in Berührung, ohne jede andere Wirkung jedoch, als die, daß dieselbe sich entfernt, indem sie sich während des Ganges biegt. Nachdem diese Pendelschwingung vollendet ist, macht das Pendel eine Schwingung in dem der erstern entgegengesetzten Sinne, d. h. in der Richtung von r nach d, oder von der Linken zur Rechten. Die Palette i kommt vom Neuen auf das Ende des Armes o der Hemmungszunge zu wirken, aber dieses Mal biegt sich die Auslöschungsfeder nicht, indem sie auf die Hemmungszunge wirkt; dieselbe hebt sich genugsam, damit die Palette n von dem Rade B sich entferne und dieses Rad sich mit dem Stoßrade A in Bewegung setze; in dieser Bewegung geschieht es, daß dieses letztere Rad mit der Spitze eines Zahnes gegen den Theil d des Hemmungskreises geräth, und so der Bewegung des Pendels den nöthigen Stoß ertheilt.

Während das Rad A auf den Hemmungskreis wirkt, und im Moment als es beinahe das Drittel der Spur gewirkt hat, kommt die Hemmungszunge gegen das Ende der Stellschraube c in Rückfall, und gelangt an den Ort, um vom Neuen die Bewegung der Räder anzuhalten; so kommt es, daß dieselben wechselsweise in Bewegung und in Ruhe sind, und daß die Hemmung ihr Spiel fortsetzt.

### Zahl des Räderwerkes.

183. Die Walze muß hinreichende Länge haben, damit man daselbst funfzehn Saitenumgänge anbringen könne; und die Zahl der Zähne der Räder, damit die Uhr acht Tage geht, kann folgende sein:

1. Das Rad A' oder die Walze von 156 Zähnen
2. Das Rad B' oder Minutenrad von 60 =
3. Das Rad C' oder Mittelrad von 75 =

4. Das Rad D' oder Secundenrad von 60 Zähnen
5. Die Hemmungsräder von 10 =

Die Zahl der Triebstäbe:

1. Der Trieb c oder Minutentrieb von 10 Stäben
2. Der Trieb d von 10 =
3. Der Trieb e oder Secudentrieb von 10 =
4. Der Trieb f oder Hemmungstrieb von 20 =

184. Was die Anwendung des Pendels auf diese Uhr selbst betrifft, lese man das zehnte Kapitel nach, welches die Beschreibung mehrer Compensationsarten für die Pendel enthält.

185. Strenge Genauigkeit erfordert, daß die Uhr, während man sie aufzieht, fortgeht; zu diesem Zwecke wende man eine bewegende Hilfskraft an, deren Mechanismus in Figur 4 dargestellt, und in dem ersten Artikel des dreizehnten Kapitels erläutert wird.

## Fünftes Kapitel.

### Grundriß oder Riß zweier Uhren. (Tafel XIII.)

#### Erster Artikel.

##### Riß und Grundriß einer Uhr mit Ankerhemmung und excentrischen Secunden.

186. Es dürfte nicht ohne Nutzen sein, hier den Grundriß mehrer eingerichteter Uhren zu geben, um so die Eigenschaften zu vereinigen, welche das Meiste zur Regelmäßigkeit des Ganges beitragen. Die Uhr, welche hier beschrieben wird, hat ein umdrehendes Federhaus ohne Kettenrad. Das Federhaus ist hinreichend groß, damit es eine sehr lange Feder faßt, welche eine große Anzahl Umgänge haben kann; dadurch kann die Feder, nachdem sie hinreichend gespannt ist, mit genügender Gleichmäßigkeit in ihren Thätigkeits-Umgängen wirken, und genug Umgänge in Ruhe haben, damit sie nicht an ihrer Elasticität verliere, und dem zu Folge, dem Zerspringen nicht ausgesetzt sei, was Paragraph 102 gesagt worden ist. Diese Disposition gewähret außer der Einfachheit noch den Vortheil, daß die Uhr, wenn man sie aufzieht, fortgeht. Die Uhr ist aus einer einzigen Platte formirt, welche der Festigkeit wegen genügend stark sein muß. Die untern Zapfen der beweglichen Theile gehen meistens in der Platine und die obern Zapfen in Stegen. Die Getriebe sind gehörig symmetrisch angebracht, was dem Auge wohlgefällig ist.

187. Tafel XIII, Figur 1 und 2 stellt die Platine der Uhr dar; Figur 2 zeigt die gegen das Zifferblatt gekehrte Seite. A ist das Federhaus, welches zwischen dem Barret a, Figur 2 und dem Stege a, Figur 1 angebracht ist. Die Platine ist so geschnitten, daß das Federhaus dieselbe durchdringen und sich in dem lichten Theile derselben bewegen kann. Das Carré des Federwellbau-

mes zum Aufziehen der Uhr ist auf der Seite des Steges a, Figur 1, und das Varet a, Figur 2 trägt das Gesperre. Die auf dem Varet (Kloben) und auf dem Stege gemachten Punkte zeigen die Lage der Schrauben, welche diese Stücke befestigen; die Stellstütze sind daselbst eben so bezeichnet. Die Zahnung des Federhauses ist auf der Seite des Steges a Figur 1. B ist das Minuten- oder große Mittelrad, dessen Trieb in die Zähne des Federhauses greift. Der untere Zapfen des Triebes geht in der Platine und der obere in dem Stege b Figur 1. Das Rad ist oberhalb des Federhauses, zwischen dem Stege b und dem Federhause angebracht, die Höhe des Steges b ist so beschaffen, daß das Rad zu beiden Seiten genügend Licht habe. Der Steg ist auf der Platine durch zwei Füße und eine Schraube befestiget. Das kleine Mittelrad C ist zwischen der Platine und dem Stege c, welcher durch zwei Füße und eine Schraube auf der Platine befestiget ist, angebracht. Das Rad ist von der Platine genugsam entfernt, damit daselbst gehöriges Licht vorhanden sei. D zeigt das Secundenrad, dessen unterer Zapfen in der Platine und der andere in dem Stege d geht. Der untere Zapfen des Triebes dieses Rades ist genügend lang, damit er durch das Zifferblatt der Uhr geht, und damit man daselbst den Zeiger der Sekunden anbringen könne, welche excentrisch sind. Das Secundenrad befindet sich unterhalb des kleinen Mittelrades, und in einer tiefern Ebene als die des großen Mittelrades und der in G dargestellten Uhr. Der Steg e ist für das Hemmungsrade E und für den Anker und für die Gabel F gemacht, deren untere Zapfen in dem Stege gehen, wie man in b b Fig. 2 sieht, und die obere Zapfen in dem Stege e, so wie die Zeichnung zeigt. Das Hemmungsrade bewegt sich in der Dicke der Platine, welche für das Rad und für den Anker ausgedreht ist.

Die Uhr G, bewegt sich zwischen dem Kock und dem Federhause mit hinreichendem Lichte um frei gehen zu können. Der Kock oder Uhrkloben ist von der Höhe des Steges b des großen Mittelrades.

188. Der Trieb des großen Mittelrades ist in seiner ganzen Länge und concentrisch zum Schaft und dem Triebe selbst durchbohrt. Das Rad B, Figur 2, ist auf einen Schaft genietet, welcher in dem Triebe sich bewegt. Dieser Schaft trägt unterhalb des Steges b, Figur 1 ein Viereck; und dieses Viereck oder Carré ist auf dem Schaft durch einen Stift, welcher beide durchdringt, befestiget. Das Rad B, Figur 2, folgt daher der Bewegung des großen Mittelrades. D, Figur 2, ist das Wechselrad und der Wechseltrieb, dessen unterer Zapfen in der Platine und der obere in dem Stege D geht. Das Varet a trägt auf der Mitte der Platine einen Schaft. Das Rad C, welches ein Rohr für den Minutenzeiger trägt, ist demselben angepaßt und dreht sich auf diesem Schaft frei herum. Das Stundenrad E trägt ein Rohr, welches sich frei um das Rohr des Rades C herumdreht; das Rad E trägt den Stundenzeiger. Durch das auf dem Schaft des Rades B angebrachte Carré, kann man die Uhr auf die Stunde stellen, wie dieß gewöhnlich in den Lépinischen Uhren der Fall ist.

189. Die Hemmung dieser Uhr ist mit dem Anker, wie dieselbe in dem siebenten Kapitel beschrieben worden ist, mit dem einzigen Unterschiede, daß die Gabel, statt daß sie angebracht ist, wie die Zeichnung zeigt, welche diese Hemmung darstellt, für diesen Riß in der Verlängerung der Linie angebracht sein muß, welche durch den Mittelpunct des Rades und den des Ankers geht. Man führt sie nach den Grundsätzen aus, welche in demselben Kapitel angegeben worden sind. Um die Reibungen mehr constant zu machen, wird man wohlthun, die Zapfen des Hemmungsrades, des Ankers und der Uhr in Löchern in Rubin gehen zu lassen. Die Spirale muß sehr lang, in ihrer

ganzen Länge von gleicher Dicke und in eine große Anzahl enggeschlossener Umgänge (wenigstens acht bis zehn Umgänge) gewickelt sein; dadurch wickelt sie sich gleichmäßig los, und ihre Schnecken sind selbst bei sehr großen Vibrationen dem Berühren nicht unterworfen. Das Rackett ist auf dem Uhrflohen so angebracht, wie man es Tafel III. Figur 8 sieht; da Wärme und Kälte auf eine lange Spirale mehr Einfluß, als auf eine kurze haben, so ist diese Uhr durch den Gang der Temperatur einer ziemlich großen Veränderung unterworfen. Es ist daher zweckmäßig, eine Compensation anzuwenden, welche wenigstens zum Theil den schädlichen Einfluß der Temperatur verbessert. Man wird von der, Paragraph 83 und 84 beschriebenen, einfachen Compensation durch die Spirale mit Erfolg Gebrauch machen können.

190. Die große Feder, muß hinreichend lang sein, um ihr ungefähr 9 Umgänge um den Wellbaum des Federhauses geben zu können; man würde sie 4 Umgänge spannen können, und indem man die Zahl der Zähne des Federhauses und der Triebstäbe so nimmt, daß das Federhaus während des Ganges von 24 Stunden  $2\frac{1}{2}$  Umgänge macht, so sieht man, daß die Uhr, nachdem sie aufgezogen worden ist, immer noch  $2\frac{1}{2}$  Umgänge der Feder in Ruhe bleiben. Durch dieses Mittel wird die Feder in den thätigen Umgängen genügende Regelmäßigkeit erlangen. Man sehe hierüber §. 102 nach.

191. Hüglich sollen die Uhrschwüngen geschwind genug sein, damit sie den Wirkungen des Tragens besser widerstehen können. Dem gemäß, was §. 69 gesagt worden ist, bestimmen wir die Zahl der Schwingungen in der Secunde auf fünf, und für diese Wirkung können die Räder folgende Anzahl Zähne erhalten:

Das Federhaus . . . . .	100 Zähne
Das große Mittelrad . . . . .	80 "
Das kleine Mittelrad . . . . .	60 "
Das Secundenrad . . . . .	60 "
Das Hemmungsrad . . . . .	15 "

Die Triebe müssen daher folgende Stäbe erhalten:

Der Trieb des großen Mittelrades . .	12 Stäbe
Der Trieb des kleinen Mittelrades . .	10 "
Der Trieb des Secundenrades . . . .	8 "
Der Trieb des Hemmungsrades . . . .	6 "

Die Räder des Minutenwerkes müssen eine große Anzahl Zähne haben, damit das Spiel des Minutenzeigers sehr klein werde: B, C, D haben jedes 60 Zähne; der Wechseltrieb 6 Stäbe, und das Stundenrad 72 Zähne.

192. Man kann die Platine in einer Watte befestigen, wie dieß gewöhnlich in den Lépinischen Uhren der Fall ist; die Watte muß hoch genug sein, damit das Zifferblatt, welches völlig eben sein muß, sich auf den erhabenen Rand dieser letztern stützen könne, und damit das Minutenwerk hinreichenden Raum habe, ebenso das Barret und das Gesperre, welche unter dem Zifferblatte gelegen sind. Man verdeckt die Bewegung mit einer Kapsel oder Cuvette, welche die Uhr gegen Staub schützt. Durch diese Kapsel sind zwei Löcher gebohrt, von denen das eine zum Aufziehen der Uhr, das andere dazu dient, die Zeiger auf die Stunde zu stellen. Man würde über die Construction und Ausführung einer Uhr in viele Details eingehen können, aber dies würde von wenig Nutzen sein; denn der Uhrmacher, wenn er nur Talent besitzt, findet dergleichen Dinge von selbst. Die Form des Gehäuses und das

Neuere einer Uhr sind nach der Mode und nach dem Geschmack verschieden, aber die Grundsätze der Construction sind nicht willkürlich, und es kann nicht ohne Nutzen sein, sie hier anzuzeigen.

### Zweiter Artikel.

#### Grundriß oder Riß einer Uhr mit Doppelradhemmung (Duplex).

193. Der Riß dieser Uhr ist Tafel XIII Fig. 3 und 4 zu sehen; die letztere dieser Figuren zeigt die gegen das Zifferblatt gekehrte Seite, und Figur 3 die Seite, welche die Räder und die Brücken der Räder trägt. Die Berechnung des Räderwerkes dieser Uhr ist von der Art, daß man sie nach Belieben mit oder ohne Sekunden machen kann. Die Hemmung derselben ist mit dem Doppelrade wie sie im siebenten Kapitel §. 149 und die folgenden beschrieben worden ist. A ist das Federhaus, wie es in dem vorhergehenden Artikel beschrieben ist. B ist das große Mittelrad. C das kleine Mittelrad; D das Bodenrad; und E die Hemmungsräder. H ist die Unruhe und I der Unruhklubben.

194. Figur 4 zeigt die Brücke a a für das Federhaus, den Klubben e für den Zapfen der Hemmungsräder, und den Klubben i für den untern Zapfen der Unruhe. B, C, D und F sind die Räder des Minutenwerkes, wovon B sich um einen Schaft bewegt, welcher mittels einer Schraube in den Klubben a a am Mittelpuncte der Platine befestigt ist. Figur 3 zeigt die Lage der verschiedenen Brücken. als a, b, c, e, u. s. w.

Die Anzahl Zähne der Räder sind folgende:

Das Federhaus von . . . . .	100 Zähnen
Das große Mittelrad von . . . . .	75 "
Das kleine Mittelrad von . . . . .	64 "
Das Bodenrad von . . . . .	60 "
Die Hemmungsräder von . . . . .	15 "

Anzahl der Triebstäbe:

Der Trieb des großen Mittelrades von .	10 Stäben
Der Trieb des kleinen Mittelrades von .	10 "
Der Trieb des Bodenrades von . . .	8 "
Der Trieb der Hemmungsräder von . .	6 "

Durch dieses Verfahren erlangt die Unruhe in einer Stunde 18000 Schwingungen.

195. Der Trieb des großen Mittelrades ist seiner Länge nach durchbohrt, und der Schaft, welcher das kleine Rad C des Minutenwerkes trägt, kommt daselbst in Reibung, wie in der im vorhergehenden Artikel beschriebenen Uhr. Die Uhr muß mit einer Cuvette oder mit einem Deckel versehen sein; sie ist am Boden aufzuziehen, und man kann die Zeiger mittels eines am Schafte des Minutenrades C angebrachten Vierecks auf die Stunde stellen; dieses Viereck geht durch das Bohrloch des Deckels.

196. Was die Anzahl Zähne der Räder des Minutenwerkes betrifft, so kann man dieselben Zahlen beobachten, welche für die in dem vorhergehenden Artikel beschriebene Uhr mit Ankerhemmung angegeben sind, indem man die Eingriffe so formirt, daß der Minutenzeiger nur ein unmerkliches Spiel habe. Es ist übrigens gleich, ob die drei Räder B, C und D von gleicher Größe und von gleicher Anzahl Zähne sind.

Man könnte übrigens das Wechselrad dem Durchmesser nach um ein Drittel größer machen als die Räder B und C; dann könnten die Räder B und C jedes 60 Zähne und das Rad D 90 Zähne erhalten. D würde dann nur 8 Umgänge in 12 Stunden machen, und indem man dem Wechseltrieb 8 Stäbe gäbe, müßte das Stundenrad 64 Zähne bekommen. Dadurch wird der Wechseltrieb mit dem Stundenrade einen guten Eingriff formiren können, was leicht zu erlangen ist, wenn der Trieb 6 Stäbe und das Rad 72 Zähne erhält, wie in der im vorhergehenden Artikel beschriebenen Uhr.

197. Man wird in dieser Uhr die einfache Compensation durch die Spirale anwenden können, nach der Methode des Herrn Bréguet, man vergleiche §. 83. Im Betreff der Spirale beobachte man was in §. 189 gesagt worden ist.

### Zwölftes Kapitel.

Grundriß oder Riß einer Uhr mit Feder- oder Kreishemmung, mit Secunden, Minuten und concentrischen Stunden, wovon der Secundenzeiger in einer Secunde zwei Schläge macht. (Tafel XIII.)

198. Man kann die im achten Kapitel beschriebene freie Feder- oder Kreishemmung als eine ausgezeichnete Hemmung betrachten, welche zur Regelmäßigkeit des Ganges einer Uhr viel beiträgt. Die Ausführung derselben ist nicht zu schwierig, und indem man die Getriebe so bestimmt, daß die Umrufe in einer Secunde vier Schwingungen macht, oder was dasselbe ist, in einer Minute 240 Schwingungen; dann macht der Secundenzeiger nothwendig in jeder Secunde zwei Schläge, was zugleich für das Auge angenehm und für die Beobachtungen zuträglich ist. Eine Uhr mit Federhemmung soll sich mit Reibung des Daumens anhalten lassen, und die Umrufe wenn sie ein Mal in Ruhe ist, soll ihre Vibrationen nicht wie in den gewöhnlichen Uhren, durch die Thätigkeit des Räderwerkes wieder anfangen können.

Aus diesem Grunde darf eine Uhr mit Federhemmung den kreisförmigen Bewegungen in der Ebene der Umrufe nicht ausgesetzt sein, was für einen Moment die Bewegung der Umrufe aufheben und die Uhr stehen bleiben würde. Man muß auch die kreisförmigen Bewegungen vermeiden, sowohl indem man die Uhr aufzieht, als auch indem man sie aus der Tasche nimmt. Ich habe mehre Uhren genau wie die hier beschriebene ausgeführt, deren Gang sehr regulär ist; ich kann mit Gewißheit die Vorzüglichkeit dieser Uhren versichern, sowohl in Hinsicht der Genauigkeit, als der Ausführung, welche sicher und nicht zu schwierig ist.

199. Die Figuren 5. und 6. stellen den Riß dieser Uhr dar; M Fig. 5. zeigt die große Platte, und a, a, a, die Pfeiler, welche die kleine Platte tragen, welche durch drei Schrauben, so in die Pfeiler gehen, befestiget ist. Die große Platte hat zwei Versenkungen (Löcher), von denen die eine am Mittelpuncte für das Secundenrad, und die andere excentrisch für das Minutenrad oder große Mittelrad befindlich ist. Diejenige für das Secundenrad ist tiefer als die für das Minutenrad; so daß das Minutenrad über dem Secundenrade geht, und beinahe der Platine gleich ist.

Die beiden Räder müssen hinreichend Licht haben, damit Nichts ihre freie Bewegung hindern könne. Das Federhaus A hat mit der großen Platine nur das nöthige Licht, und der Theil, welcher den Deckel enthält, bewegt sich in einer hinreichenden Vertiefung, welche in die kleine Platine gemacht ist, um dem Federhause mehr Höhe zu lassen, und um eine breitere Feder zu haben. Das kleine Mittelrad C bewegt sich über dem großen Mittelrade, und greift in den Trieb des Secundenrades, ein Wenig über den Zähnen des Federhauses A ein; das heißt, die Triebstäbe des Secudentriebes müssen sich in dem Raume zwischen den Zähnen des Federhauses und der kleinen Platte befinden. Der Trieb des großen Mittelrades ist seiner Länge nach und zum Triebe selbst concentrisch durchbohrt. Der Zapfen oder Schaft des Secudentriebes auf der Seite des Zifferblattes ist lang genug, um durch das Zifferblatt zu gehen, und um daselbst den Secundenzeiger anbringen zu können, welcher sich über dem Minuten- und Stundenzeiger bewegt.

200. F, E, G, L sind die Stücke, welche die Hemmung ausmachen; E ist das Hemmungsrade; G die Hemmungsfeder, und L die Uhrube; H ist eine Schraube, um die Feder G nach Gefallen dem Mittelpuncte der Uhrube zu nähern oder davon zu entfernen. Die Schraube K, hält die Hemmungsfeder leicht gespannt, und zugleich ihre Lage fest. Der obere Zapfen des Hemmungsrades geht in dem Stege e, und der untere Zapfen in dem Barrett E Figur 6.

201. In Figur 6. sieht man das Gesperre des Federhauses. A, B, C sind die Räder, welche den Minutenzeiger in Bewegung setzen, und D ist das Stundenrad, welches in den Wechseltrieb des Rades C greift. Der obere Zapfen des Wechseltriebes geht in dem kleinen Stege e, und der untere in der Platine selbst. Der Schaft, welcher das kleine Rad B trägt, kommt in dem Loche, welches durch den Trieb des großen Mittelrades gebohrt ist, in Bewegung; auf diesem Schafte bringt man an der, der kleinen Platte zugekehrten Seite ein Viereck oder Carré an, welches darauf mittels eines dieses Viereck und den Schaft zugleich durchdringenden Stiftes befestiget ist.

202. Damit der Sekundenzeiger in einer Secunde zwei Schläge mache, muß die Zahl der Schwingungen in einer Stunde gleich 14,400 sein. Zu diesem Zweck können die Räder folgende Anzahl Zähne erhalten:

Das Federhaus . . . . .	90 Zähne
Das Minuten oder große Mittelrad . . .	80 "
Das kleine Mittelrad . . . . .	60 "
Das Secundenrad . . . . .	60 "
Das Hemmungsrade . . . . .	14 "

Und die Triebe folgende:

Der Minutentrieb . . . . .	10 Stäbe
Der Trieb des kleinen Mittelrades . . .	10 "
Der Trieb des Secundenrades . . . . .	8 "
Der Trieb des Hemmungsrades . . . . .	7 "

Die Zahl von 14,000 Schwingungen in einer Stunde ist nicht so günstig, den Wirkungen der Bewegung zu widerstehen, welche vom Tragen und von äußern Anregungen erzeugt wird, als die Zahl 18000; sondern diese Art von Uhren, besonders wenn sie zu Beobachtungen bestimmt sind, dürfen nicht allzu heftigen Bewegungen ausgesetzt sein, und durch dieses Mittel wird die Geschwindigkeit der Uhrube hinreichend groß, wie ich durch die Erfahrung überzeugt worden bin.

Uebrigens kann man durch die Natur und die große Freiheit dieser Hemmung bewirken, daß die Unruhe Schwingungsbogen beschreibt, welche bis  $360^\circ$  und selbst bis zu  $450^\circ$  gehen, was die Geschwindigkeit der Unruhe sehr groß macht, und zugleich eine große Bewegungsgröße erzeugt.

203. Die Hemmungsfeder muß hinreichende Stärke und Elasticität besitzen, um geschwind in die Zähne des Hemmungsrades eingreifen zu können, nachdem sie durch die Thätigkeit der Unruhe gelöst worden ist, wäre dieß nicht der Fall, so würde das Spiel der Hemmung nicht sicher sein, und der Zahn des Hemmungsrades würde, statt durch den Sperrkegel der Feder angehalten zu werden, gegen den Hemmungskreis fallen, was eine Reibung verursachte, welche fähig wäre, die Bewegung der Unruhe gänzlich zu vernichten, oder die Regelmäßigkeit des Ganges der Uhr völlig zu zerstören. Diese Kraft der Hemmungsfeder veranlaßt in der Bewegung der Unruhe einen hinreichenden Widerstand, so daß er die Feder des Hemmungsrades auslösen muß; es ist daher angemessen, der Unruhe eine sehr große Bewegungsgröße zu geben, damit der Widerstand der Hemmungsfeder im Vergleich mit der Bewegungsgröße der Unruhe möglichst klein, und die Freiheit der Oscillationen eben so wenig als möglich gestört werde. Für diesen Zweck muß die Unruhe schwer oder groß sein, dieß erfordert zugleich eine um so größere Triebkraft, als die Unruhe sehr große Schwingungsbogen beschreiben soll. Es würde nutzlos sein zu versuchen Uhren mit Federhemmung zu machen, deren Feder schwache Triebkraft hätte; man würde unfehlbar nie glücklichen Erfolg davon haben.

204. Eine schwere Unruhe macht das Reguliren der Uhren in verschiedenen Lagen mühsamer. In der horizontalen Lage erleiden die Unruhzapfen eine geringere Reibung, weil die Reibung fast nur gegen das Ende des Zapfens statt findet, welcher die Unruhe trägt; wenn die Uhr in vertikaler Lage regulirt worden wäre, würde sie in der horizontalen Lage zu geschwind gehen; in der vertikalen Lage hingegen, nimmt die Reibung an den Zapfen der Unruhe zu, weil die Zapfen ihrer ganzen Länge nach gegen die Wände der Löcher reiben, und die Uhr wird, vorausgesetzt daß sie in horizontaler Lage regulirt worden ist, in vertikaler Lage nachgehen.

Diese Veränderung in der Reibung der Unruhzapfen, nach den verschiedenen Lagen, sieht immer, wie man leicht einsehen wird, zur Schwere der Unruhe im Verhältniß. Wenn die Uhr immer in derselben Lage bliebe, würde man sie leicht reguliren können; aber wenn sie bald in der vertikalen bald in der horizontalen Lage sich befindet, so ist es nothwendig, sie so einzurichten, daß die Veränderung der Lage darauf nicht einwirken kann.

205. Man kann zu diesem Zweck die Unruhe schicklicher Weise außer Gleichgewicht setzen. Da die Unruhe in vertikaler Lage langsamer schwingt, könnte man sie in so fern außer Gleichgewicht setzen, daß der obere Theil der Unruhe leichter wird. Dadurch würde der untere Theil schwerer werden, und die Vibrationen würden sich schneller vollenden; denn die Schwere des untern Theils der Unruhe in der vertikalen Lage, würde die Vibrationen zu beschleunigen streben. Zu diesem Behuf kann man an der Unruhe eine kleine Schraube anwenden, wie die Schraube m, Figur 5. Diese Schraube ist auf dem untern Theile der Unruhe angebracht, und muß mit derselben vollkommen ins Gleichgewicht gesetzt sein, bevor man sich damit beschäftigt, die Uhr in verschiedenen Lagen zu reguliren. Wenn die Uhr aufgezogen und im Gange ist, prüft man ihren Gang in der horizontalen Lage, und regulirt sie in derselben. Hat man ihren Gang in vertikaler Lage observirt und gefunden, daß sie nachgeht, so entferne man ein Wenig die Schraube vom Mittelpuncte der Unruhe; dadurch wird der untere Theil schwerer werden, und man observirt ihren Gang vom Neuen. Geht sie immer noch

nach, so fahre man fort die Schraube vom Mittelpuncte der Unruhe zu entfernen, bis daß sie nicht mehr nach geht. Hat man diese Versuche mehre Mal wiederholt, bedarf es nicht viel Mühe, die Uhr in verschiedenen Lagen zu reguliren. Eben so würde man die Schraube oberhalb der Unruhe anbringen können, aber dann würde es nöthig sein sie dem Mittelpuncte der Unruhe zu nähern, damit die untere Seite schwerer würde, um eben so dahin zu gelangen, die Uhr in beiden Lagen zu reguliren.

Indessen darf man sich dieser Art, den Gang der Uhren in verschiedenen Lagen zu reguliren, nur in dem Falle bedienen, wo man durch diejenigen Mittel nicht dahin gelangen kann, welche wir in der Folge dieses Werkes angeben werden. Das Gleichgewicht der Unruhe ist zu schätzbar, als daß man es stören sollte, wenn man es vermeiden kann. Man sehe das vierzehnte Kapitel. Allgemeine Bemerkungen um dahin zu gelangen, die Uhren in verschiedenen Lagen zu reguliren.

206. Es ist rathsam, die Unruhzapfen dieser Uhren mit Federhemmung in Löchern in Rubin gehen zu lassen; die Bewegungsgröße der Unruhe ist bei Löchern in Gold oder Messing größer, indem sie der Ausdehnung mehr ausgesetzt sind. Der Anhaltstift der Hemmungsfeder muß möglichst hart gehärtet sein, eben so der Hemmungskreis; ohne diese Sorgfalt wird die Hemmung bald zerstört. Der kleine Zahn, oder die Hebung auf der Unruhachse, der die Hemmungsfeder des Rades auslöst, kann aus hart gehärtetem Stahl gemacht sein. Wenn die Zapfen des Hemmungsrades überdies in Löchern in Rubin gehen, und wenn man die Hebung, die Auslösung und die Ruhe aus hartem Stein macht, so wird die Uhr sich mehr der Vollkommenheit nähern.

207. Es ist unerläßlich eine sehr lange Spirale anzuwenden, welche sich der großen Unruhsschwingungen wegen gleichmäßig abwickelt; ohne diese Vorsicht würden die Schnecken während der Schwingungen sich berühren. Ueberdies verursacht eine lange Spirale weniger Reibung an den Unruhzapfen, weil das Werk an den Zapfen sich mehr concentrit, als das Werk einer kurzen Spirale. Da Wärme und Kälte auf eine lange Spirale mehr Einfluß haben als auf eine kurze, so ist diese Uhr durch den Gang der Temperatur einer großen Veränderung unterworfen. Es ist demnach geeignet, eine Compensation anzuwenden, welche den nachtheiligen Einfluß der Temperatur wenigstens zum Theil corrigirt. Hier läßt sich der in den §§. 83. und 84. beschriebene Compensator mit Erfolg anwenden, welcher Tafel III. Figur II. dargestellt ist. Der Maßstab dieser Uhr ist von der Art, daß zwischen der Unruhe und dem Kloben hinreichender Raum sei, damit nichts hindere, diesen einfachen Compensator anzuwenden. Man würde eben so eine Compensationsunruhe anwenden können, welche die Wirkungen des Temperaturwechsels noch besser corrigiren würde; aber wenn die Uhr für keinen Gebrauch bestimmt ist, der die schärfste Präcision erfordert, so wird die einfache Compensation durch die Spirale genügend sein. Füglich sollte die Uhr am Boden ausgezogen werden können, und mit einem Deckel versehen sein, welcher sie vor Staub schützen kann. Dieser Deckel muß durchbohrt sein, damit das Viereck zum Aufziehen und Stellen der Zeiger hindurch gehe. Es ist sehr nützlich das Gehäuse so auszuführen, daß es auf der Seite des Zifferblattes verschlossen sei, und damit der Besizer nur den Boden zu öffnen brauche. Ohne diese Vorsorge würden die Zeiger dem Verrücken ausgesetzt sein, so daß dieß bei zu geringer Sorgfalt des Besizers sich oftmals zutragen würde.

Man würde über die Construction dieser Uhren noch in viele Details eingehen können; aber der Uhrenkünstler wird von selbst darauf kommen, was wir in dieser Beschreibung zu bemerken für nutzlos halten.

## Dreizehntes Kapitel.

### Grundriße oder Maassstäbe dreier Chronometer. (Tafel XIV.)

#### Erster Artikel.

Grundriß oder Maassstab einer Secuhr mit freier Federhemmung,  
(diejenige von Carnshaw).

208. Der Riß dieser Secuhr ist auf Tafel XIV. Figur 1. entworfen, welche die große Platte darstellt; a, a, a, a sind die vier Pfeiler, welche die kleine Platte tragen. A ist das Federhaus; B das Kettenrad; C das Minutenrad oder große Mittelrad; D das kleine Mittelrad und E das Secundenrad. Das Rad C trägt den Minutenzeiger wie in den gewöhnlichen Uhren, und das Rad E trägt den Secundenzeiger mittels eines gehörig langen am Triebe angebrachten Schaftes. F stellt das Hemmungsrad vor. G ist ein Sperrkegel, welcher zu dem Mechanismus gehört, der die Uhr während des Aufziehens gehen läßt. Die Feder g drückt den Sperrkegel G immer in einer Richtung gegen den Mittelpunkt des Kettenrades. Figur 2. stellt die kleine Platte von der Seite dar, welche die verschiedenen Theile trägt, woraus die Hemmung besteht. b, b, b, b sind die Schrauben, welche die kleine Platte auf der großen Platte befestigen, und diese Schrauben gehen in die Pfeiler. Man sieht in m das Hemmungsrad; der untere Zapfen geht in der großen Platte und der obere Zapfen in dem Stege D, welcher auf der kleinen Platte angebracht ist; h ist die Hemmungsfeder. Die Unruhe a a e ist mit der §. 85. beschriebenen Compensation. Der untere Zapfen der Unruhe kann in der kleinen Platte gehen, oder noch besser in einer auf dieser Platte zwischen dem Gehäuse angebrachten Brücke; der obere Zapfen geht in dem Kloben E. K ist ein Steg mit Rohr, welches das Aufziehviered umgiebt, um zu verhindern, daß der Staub nicht durch das am Uhrgehäuse für den Gang des Schlüssels angebrachte Bohrloch in die Bewegung eingeführt werde. n ist das Viered der Federhausspindel, welches das Sperrrad oder das Rochet trägt, C stellt den Sperrkegel dar.

209. Figur 3. stellt die Uhr im Profil dar, so das man das Räderwerk zwischen den beiden Platten, und die Theile der auf der kleinen Platte angebrachten Hemmung sehen kann. A A ist die große Platte; a, a, a, sind die drei Pfeiler (der vierte ist nicht dargestellt); b ist das Kettenrad; d der Trieb des großen Mittelrades, wovon das Rad sich in einer Vertiefung bewegt, welche in der Mitte der großen Platte gemacht ist; f ist das kleine Mittelrad mit seinem Triebe; k ist der Trieb und das Secundenrad; e ist der Trieb des Hemmungsrades. In r sieht man den Vierteltrieb, welcher den Minutenzeiger trägt; w ist das Wechselrad und s der Wechselradtrieb, und v das Stundenrad, welches den Stundenzeiger trägt; o zeigt den Secundenzeiger, welcher auf dem Schaft oder dem verlängerten Zapfen des Secundentriebes angebracht ist; B B ist die kleine Platte, welche die verschiedenen Theile trägt, woraus die Hemmung besteht. h ist die Hemmungsfeder; D die Brücke, in welcher der obere Zapfen des Hemmungsrades geht. F stellt die Compensations-Unruhe dar, und g den Kreis, welcher die Impulse erhält. E ist der Unruhkloben, und H die cylindrische Spiralfeder, welche die Uhr regulirt; K ist das Viered zum Aufziehen.

Zahlen der Zähne und Triebstäbe, der Räder und Triebe, und Beschreibung des Mechanismus, welcher die Uhr, während man sie aufzieht, im Gange erhält.

210. Die Triebfeder muß wenigstens acht Umgänge um die Spindel machen, und das Kettenrad muß sechs Kettenumgänge haben; dadurch kommt die Feder in keinen zu gezwungenen Zustand, und wird noch hinreichend Umgänge in Ruhe haben.

Die Zahl der Zähne der Räder können folgende sein:

Das Kettenrad von . . . . .	96 Zähnen
Das Minutenrad von . . . . .	90 "
Das kleine Mittelrad von . . . . .	80 "
Das Secundenrad von . . . . .	80 "
Das Hemmungsrad von . . . . .	12 "

Und die Anzahl der Stäbe der Triebe:

Der Trieb des Minutenrades von . .	16 Stäben
Der Trieb des kleinen Mittelrades von .	12 "
Der Trieb des Secundenrades von . .	10 "
Der Trieb des Hemmungsrades von . .	8 "

Diesen Zahlen zu Folge wird die Uhr in einer Minute 240, oder in einer Stunde 14,400 Schwingungen machen; der Secundenzeiger wird in einer Secunde zwei Schläge thun. Das Minutenwerk kann folgendes Zahlenverhältniß erhalten: Der Vierteltrieb von 12 Stäben, und der Wechseltrieb von 16 Stäben; das Wechselrad von 48 Zähnen und das Stundenrad von 48 Zähnen.

211. Die Zahl von 14,400 Schwingungen in einer Stunde ist sehr geeignet, um die Reibung der Hemmung zu verringern, in Betracht, daß die Wirkungen, welche diese Reibung hervorbringt, bei 14,00 weniger wiederholt werden, als bei 18,000 oder 21,600, so wie man sie in den tragbaren Chronometern anwendet, welche äußern Bewegungen ausgesetzt sind. Die Geschwindigkeit der Uhr, wenn sie 14,400 Vibrationen in einer Stunde macht, wird groß genug sein, um den Bewegungen des Schiffes völlig zu widerstehen, um so mehr, als die kreisförmige Bewegung des Schiffes oder die Bewegung in der horizontalen Ebene im Vergleich gegen die Bewegung der Uhr sehr klein ist.

Mechanismus des Kettenrades, damit die Uhr, während sie aufgezo- gen wird, fortgeht.

212. Tafel XIV, Figur 4, stellt das Kettenrad dar, welches am Mittelpuncte das Rohr trägt, wie man in a sieht. Das Rad ist innerlich ausgehöhlt, damit man daselbst die Figur 5 dargestellte Feder anbringen kann; diese Feder trägt an ihren Enden die Stifte b und c. Figur 6 stellt ein Rochet dar, weshalb der Umfang d e in der Richtung der Bewegung des Kettenrades mit geneigten Zähnen versehen ist. Dieses Rochet hat einen Sperrriegel, welcher durch eine Feder in einer Richtung gegen den Mittelpunct gedrückt ist, vergleiche Figur 6, f g.

Figur 7 läßt das Kettenrad mit dem Rochet h wahrnehmen, dessen Zähne wie gewöhnlich geneigt sind. Der Federstift c\*) Figur 5 geht in ein Bohrloch des Kettenrades; der Stift b geht mit

\*) Der Federstift c, Fig. 5, ist der obere Stift.

seinem untern Ende in ein Bohrloch des Rochets d e, das obere Ende des Stiftes ist in dem länglich viereckigen Loche angebracht, welches in das Kettenrad gemacht ist; dieses Loch muß in einem Rade von der Größe wie in Figur 4 beinahe zwei und eine halbe Linie Länge haben. Um die verschiedenen Theile des Kettenrades zusammenzusetzen, oder sie aufzuziehen, lege man erst die Hilfsfeder in das Rad, dann lege man das Rochet d e Figur 6, gegen das Rad auf, und bringe nachher das Kettenrad gegen diese Stücke. Ein auf die Achse des Kettenrades geschlagener Ring hindert das Rad und das Rochet d e von dem Kettenrade sich zu entfernen, ohne indessen ihre freie Bewegung zu hindern, wie dieß gemeinlich in den Uhren der Fall ist. In Figur 1, sieht man den Sperrfegel G und die Feder g gegen diesen Sperrfegel wirkend, welcher den Zähnen des Rochets d e, Figur 6 widersteht, so wie man es in Figur 1 sieht. Dadurch begreift man, daß die Triebfeder, indem sie durch die Kette auf das Kettenrad wirkt, die in dem Kettenrade angebrachte Hilfsfeder spannt, und daß diese Feder während des Ganges der Uhr immer in einem gespannten Zustande bleibt; während man die Uhr aufzieht, bleibt die Triebfeder auf das Räderwerk außer Thätigkeit, aber das Rochet d e Figur 6, welches man auch Figur 1 sieht, wird durch den Sperrfegel g so zurückgehalten, daß die Hilfsfeder durch den Stift e, auf das Kettenrad wirkt, und indem sie sich löst, den Gang der Uhr unterhält. Man bemerkt, daß die Hilfsfeder hinreichende Kraft haben muß, um den Gang der Uhr unterhalten zu können; und daß, wenn sie zu schwach wäre, die beschriebene Wirkung nicht stattfinden würde.

213. Bemerkung. Damit die Seeuhr beständig in horizontaler Lage bleibe, wende man die gewöhnliche Aufhängung an. Da dieselbe hinreichend bekannt ist, wollen wir uns hier der Beschreibung enthalten. Um die Uhr aufzuziehen, lehre man sie um, daß der Boden oben sei, und man wird sie ohne Schwierigkeit aufziehen können. Es ist zweckmäßig, den Aufziehschlüssel so ein zu richten, daß man das Gesperre des Kettenrades beim Aufziehen der Uhr nicht verdrehen könne; zu diesem Zweck bringe man in dem Innern des Schlüssels ein Gesperre an.

214. Die Richtigkeit dieser Seeuhr hängt viel von der Hemmung ab, deshalb muß man darauf viel Fleiß verwenden, und sie aus einer so wenig als möglich zerstörbaren Masse machen, zu diesem Zweck ist erforderlich, daß die Hebung, die Auslösung und die Ruhe aus Stein seien. Man kann sich der Mühe überheben, die Zapfen des Räderwerkes in Stein gehen zu lassen; aber es ist unumgänglich nothwendig, daß die Zapfen der Hemmung in Löchern in hartem Stein gehen.

## Zweiter Artikel.

### Grundriß oder Maaßstab eines tragbaren Chronometers mit freier Federhemmung.

215. Der Riß dieses Taschenchronometers ist auf Tafel XIV Figur 8 entworfen. n, n, n, n sind die vier Schrauben, welche in die Pfeiler gehen, und die kleine Platte tragen. a ist das Federhaus, b ist das Kettenrad, c das Minutenrad oder das große Mittelrad; d ist das kleine Mittelrad und e das Secundenrad. Das Rad c trägt den Minutenzeiger, wie in den gewöhnlichen Uhren, und das Rad e trägt den Secundenzeiger mittels eines gehörig langen am Triebe angebrachten Schaftes, f stellt das Hemmungsrad dar. Das Kettenrad ist mit einem Mechanismus versehen, welcher

macht, daß die Uhr, während man sie aufzieht, fortgeht, ganz demjenigen ähnlich, welchen wir im vorhergehenden Artikel beschrieben haben. Das Federhaus, welches durch die kleine Platte geht, wird durch den Federhauskloßen B, Figur 8 gehalten, auf welchem das Röchel und der Sperrkegel angebracht sind. Das große Mittelrad ist der Platte gleich gesenkt; das kleine Mittelrad bewegt sich unter dem großen Mittelrade in einer im Lichten in die Platte gemachten Vertiefung; es wird durch das Harett a a, Fig. 9 gehalten, welches eben so das Secundenrad, dasjenige der Hemmung und die Achse der Umrufe trägt. Das Secundenrad bewegt sich nahe bei der großen Platte, und das Hemmungsrad über derselben vermittelt eines geeigneten Lichtes. Der obere Zapfen des Hemmungsrades wird durch einen Steg gehalten. F, Figur 8 stellt die Compensationsumrufe dar, deren oberer Zapfen durch den Kloben E gehalten wird. Die Hemmungsfeder ist auf der kleinen Platte befestiget, K ist ein Steg mit Rohr, welches das Viereck zum Aufziehen umgiebt.

Die Höhe des Federhauses beträgt  $2\frac{1}{2}$  Linien, und die Breite der Triebfeder 2 Linien.

Fig. 9 stellt die Seite des Zifferblattes dar; k ist ein Kloben für den untern Zapfen des Kettenrades; um dem Kettenrade mehr Höhe zu geben, ist die kleine Platte hakenförmig ausgeschnitten. Man sieht in m den Vierteltrieb, welcher den Minutenzeiger trägt. B ist das Wechselrad, und n der Trieb desselben. A ist das Stundenrad, welches den Stundenzeiger trägt.

#### Zahlen der Zähne und Stäbe, der Räder und Triebe.

216. Die Triebfeder muß ungefähr acht Umgänge um die Spindel machen, und das Kettenrad ungefähr sechs Kettenumgänge haben; dadurch wird die Feder in einem nicht zu gezwungenen Zustande erhalten, und hinreichende Umgänge in Ruhe haben.

Die Zahlen der Zähne der Räder können folgende sein:

Das Kettenrad von . . . . .	72 Zähne
Das Minutenrad von . . . . .	80 "
Das kleine Mittelrad von . . . . .	75 "
Das Secundenrad von . . . . .	70 "
Das Hemmungsrad von . . . . .	15 "

Und die Anzahl Stäbe der Triebe:

Der Trieb des Minutenrades von . . .	12 Stäben
Der Trieb des kleinen Mittelrades von .	10 "
Der Trieb des Secundenrades von . . .	10 "
Der Trieb des Hemmungsrades von . . .	7 "

Nach diesen Zahlenverhältnissen wird die Umrufe in einer Minute 300 oder in einer Stunde 18,000 Schwingungen machen; der Secundenzeiger wird in zwei Secunden fünf Schläge thun. Das Minutenwerk kann folgende Zahlen enthalten: der Vierteltrieb von 12 Stäben, und der Wechseltrieb von 10 Stäben; das Wechselrad von 36 Zähnen, und das Stundenrad von 40 Zähnen.

217. Die Zahl 18,000 Schwingungen in einer Stunde eignet sich für einen Taschenchronometer, welcher heftigern und wiederholtern äußern Bewegungen ausgesetzt ist, als diejenigen, denen die Secuhren ausgesetzt sind.

Daher kommt es, daß die Umrufe eines Taschenchronometers mehr Geschwindigkeit haben muß, als die einer Secuhr.

218. Was die Hemmung anlangt, so führet man sie nach denselben Grundsätzen aus, welche im achten Kapitel angezeigt worden sind, indem man Sorge trägt, daß die Zapfen der Hemmung in Löchern in Stein gehen.

Anmerkung. Was die Regulirung der Chronometer betrifft, die Erfahrungen über den Isochronismus der Unruhsschwingungen und die Versuche die Compensation genau zu machen, vergleiche man das dritte und vierzehnte Kapitel.

### Dritter Artikel.

Riß einer Secuhr mit freier Doppelradhemmung (der von Türgensen) Tafel XV.

219. Der Hauptunterschied zwischen der vorhergehenden beschriebenen Secuhr und dieser, besteht nicht in einer neuen Disposition des Risses, sondern darin, daß die Hemmung dieser Uhr diejenige mit dem Doppelrade ist, welche im Jahr 1822 in einem astronomischen Journal vom Verfasser beschrieben und durch Herrn Staatsrath Schumacher zu Altona bekannt gemacht worden ist, und wo von der Anhang des gegenwärtigen Werkes gleichfalls die Beschreibung enthält. (Man sehe Tafel XI nach.)

220. Es würde daher nutzlos sein, vom Neuen eine detaillirte Beschreibung vom Grundriß dieser Uhr zu geben; wir wollen demnach blos anzeigen, worin sie sich von der schon beschriebenen unterscheidet. Wirft man einen Blick auf die Platten, welche diese beiden Secuhren darstellen, so wird man augenblicklich wahrnehmen, daß die Secuhr auf Tafel XV von einem größern Durchmesser ist, als diejenige auf der vorhergehenden Tafel. Dieser Unterschied der Größe ist willkürlich, und angenommen, daß die Verhältnisse der verschiedenen Stücke, welche in der Zusammensetzung dieser Maschinen vorkommen, gehörig beobachtet worden sind, so kann die Größe keinen Einfluß auf die Güte dieser Uhr haben. Wir glauben indessen, daß es den wirklichen Constructionen nach nicht gerathen ist, den kleinen Chronometern einen Durchmesser unter zwei Zoll, und den großen über drei Zoll Durchmesser zu geben.

Fig. 1, Tafel XV stellt den Riß dar. Das Stück H, welches sich auf der vorhergehenden Tafel nicht befindet, ist ein Steg, welcher das Federhaus umgiebt, um die Bewegung zu schützen, im Fall die Kette zerspringen sollte. In diesem Stege geht der untere Zapfen der Achse der Hemmungsräder ungefähr mitten im Gehäuse, zwischen der großen und kleinen Platte, wie man es Fig. 3 sieht.

Fig. 2 stellt die kleine Platte von der Seite dar, welche die verschiedenen Theile trägt, woraus die Hemmung besteht. Sie hat mit der Fig. 2, Tafel XIII viele Ähnlichkeit; indessen nimmt man daselbst den Unterschied wahr, daß die Hemmung aus zwei Rädern statt aus einem besteht.

Fig. 3 stellt die Secuhr im Profil dar, so daß man das Räderwerk zwischen den beiden Platten und die auf der kleinen Platte angebrachten Hemmungstheile sehen kann. Das Federhaus sowohl als zwei Pfeiler sind in dieser Figur nicht dargestellt, aus dem Grunde, weil sie die Ansicht des Räderwerkes verhindern würden.

Fig. 4 stellt das Minutenrad und seinen Trieb im Profil dar. Fig. 5, das kleine Mittelrad und seinen Trieb im Profil.

Fig. 6 das Secundenrad und seinen Trieb.

Fig. 7 die beiden Hemmungsräder und ihren Trieb im Profil gesehen.

### Zahlen der Zähne und Triebstäbe, der Räder und Triebe.

221. Die Anzahl Zähne der Räder können folgende sein:

Das Kettenrad von . . . . .	96 Zähnen
Das große Mittelrad von . . . . .	96 "
Das kleine Mittelrad von . . . . .	90 "
Das Secundenrad von . . . . .	80 "
Die Hemmungsräder jedes von . . . . .	15 "

Zahlen der Triebstäbe:

Der Minutentrieb von . . . . .	18 Stäben
Der kleine Mittelradstrieb von . . . . .	12 "
Der Secudentrieb von . . . . .	12 "
Der Trieb der Hemmungsräder von . . . . .	10 "

Bei diesen Zahlenverhältnissen wird die Uhr in einer Minute 240 oder in einer Stunde 14,400 Schwingungen machen; der Secundenzeiger wird in einer Secunde zwei Schläge thun. Das Minutenwerk kann folgendes Zahlenverhältniß haben: Der Vierteltrieb von 14 Stäben und der Wechseltrieb von 12 Stäben; das Wechselrad von 42 Zähnen, und das Stundenrad von 48 Zähnen.

222. Fig. 8 stellt die große Platte von der Seite gegen das Zifferblatt dar; a, a, a, a, sind die vier Schrauben, welche die Batte auf der großen Platte befestigen. h ist ein Kloben für den untern Zapfen des Kettenrades, f g ist ein Kloben für die untern Zapfen des kleinen Mittelrades und Secundenrades. Man sieht in m den Trieb des Viertelrohrs, welches den Minutenzeiger trägt. B ist das Wechselrad und n der Wechseltrieb. A ist das Stundenrad, welches den Stundenzeiger trägt. Die Stunden und Secunden sind, wie das Zifferblatt Fig. 9 zeigt, excentrisch.

223. Man kann bei dieser Secuhr das Metallthermometer des Verfassers anbringen, welches im Anhange dieses Werkes beschrieben ist.

Fig. 8, Tafel XV, stellt ein solches an der Uhr angebrachtes Thermometer dar; s ist ein auf der Platte befestigter Kloben. Der Trieb, welcher den Zeiger des Thermometers trägt, ist zwischen der Platte und dem Kloben angebracht. Der Rechen c e greift durch seine Zähne in diesen Trieb. Dieser Rechen ist auf einem Schafte, welcher zwei Zapfen hat, errichtet; der untere derselben geht in der Platte und der obere in einem Stege von geeigneter Höhe, welcher auf der Platte befestiget ist. r r ist ein zusammengesetzter Stab, dessen innerer Theil aus Messing und der äußere aus blau gehärtetem Stahl besteht. Dieser Stab ist auf der Platte durch zwei Füße und die Schraube r befestiget. Das bewegliche oder freie Ende des Stabes wirkt gegen das Stück e des Rechens. Eine sehr lange, schwache Spiralfeder, welche auf dem Triebe, der den Zeiger trägt, angebracht ist, bewirkt durch ihre Spannung, daß das Stück e des Rechens fortwährend gegen den zusammengesetzten Stab sich stützt, und dem Stabe in seiner Bewegung folgen kann.

Man sieht daher leicht, wie die Bewegung des Thermometerzeigers bewirkt wird. Dem zu Folge, was im dritten Kapitel §. 83 gesagt worden ist, öffnet sich der zusammengesetzte Stab durch die Wärme, und schließt sich durch Kälte. Das freie Ende des Stabes bewegt dadurch den Rechen,

welcher bei seiner Umdrehung auf den Trieb wirkt, der den Zeiger trägt; dieser Zeiger geht daher durch Wärme vorwärts und durch Kälte rückwärts.

Der Halbkreis unter dem Zifferblatte, Fig. 9, stellt das Thermometerblatt dar, welches nach Reaumur's Scale getheilt ist. Die Theilung geht von 14 Graden unter Null bis zu 44 Graden Wärme, was mehr als hinreichend ist, indem eine Uhr so beträchtlichen Temperaturveränderungen nicht ausgesetzt sein darf.

Hinsichtlich der ausführlichen Details über die Ausführung und Regulirung dieses Metallthermometers verweisen wir auf den Anhang dieses Werkes.

## Vierzehntes Kapitel.

Von dem Isochronismus der Unruherschwingungen. — Allgemeine Bemerkungen, um die Uhren in verschiedenen Lagen reguliren zu können. — Von der Art Chronometer zu reguliren und von den Versuchen, die Compensation genau zu machen.

### Erster Artikel.

Von dem Isochronismus der Unruherschwingungen.

224. Die großen und kleinen Unruherschwingungen sind isochronisch, wenn sie von gleicher Dauer sind.

225. Gehöriger Isochronismus der Unruherschwingungen ist die Grundlage zur Genauigkeit der Längenuhren.

226. In den Chronometern, welche mit einer Hemmung von constanter Kraft oder Remontoir versehen sind, sind die Vibrationen natürlich isochronisch; denn indem die Größe der Schwingungsbogen beständig dieselbe bleibt, kann die Dauer der Vibrationen nicht verschieden sein, und dadurch gelangt man nach der Natur der Hemmung zum Isochronismus.\*)

Wie in den Chronometern mit Feder- oder Kreishemmung, so haben auch hier die Veränderungen in der Triebkraft, in den Reibungen und das Dickwerden des Deles an den Zapfen des Räderwerkes Einfluß auf die Größe der Unruherschwingungen, welche in dem Maße abnehmen, als die Uhr geht; folglich wäre es gut, ein Mittel anzuwenden, durch welches man die mehr oder weniger großen Schwingungen isochronisch machen könnte, so daß die Verkürzung der Schwingungsbogen, welche durch die Reibungen und die Dele verursacht wird, auf die Dauer und die Regelmäßigkeit der Schwingungen keinen Einfluß hat.

\*) Hier wird vorausgesetzt, daß die Reibung, der Unruhzapfen constant gemacht worden ist, daß die Zapfen von einem kleinern Durchmesser, hart, auch gut polirt sind, und in geeigneten Löchern in Rubin gehen, um die Reibung zu vermindern und constant zu machen, und das Del gut zu erhalten.

227. Nach dem, was im dritten Kapitel §. 93 und die folgenden gesagt worden ist, kann man durch die Spirale zum Isochronismus der Unruhsschwingungen auf zwei verschiedene Arten gelangen, entweder, indem man die Methode von Ferdinand Berthoud oder die von Pierre Le Roi befolgt. Nachdem nämlich die Uhr aufgezo- gen und im völligen Zustande des Gehens ist, kann man die Versuche über den Isochronismus der Spirale vornehmen, und sich versichern, ob die Spirale so beschaffen ist, daß die großen und kleinen Schwingungen in gleichen Zeiten sich vollenden. Indem man die Triebkraft der Uhr vermehrt, was leicht dadurch geschieht, daß man die Triebfeder stärkt (armirt), werden die Unruhsschwingungen größer. Wenn man hingegen die Triebfeder ein wenig schwächt (desarmirt), wird die Triebkraft vermindert und die Unruhsschwingungen werden weniger Ausdehnung haben; dadurch kann man folglich die Schwingungsbogen nach Belieben vergrößern oder verkleinern, bis sie die erforderliche Größe erlangt haben. Um die isochronische oder nicht isochronische Beschaffenheit der Spirale kennen zu lernen, läßt man die Uhr 12 Stunden lang ohne Vermehrung oder Verminderung der Triebkraft gehen, und bemerkt ihren Gang, sei es, daß die Uhr voraus- oder nachgeht, oder daß sie dem astronomischen Pendel folgt. Nachdem man durch das oben angezeigte Mittel die Triebkraft vermehrt hat, werden die Bogen größer werden, und man läßt nun die Uhr eine eben so lange Zeit, als bei dem ersten Versuche, gehen, und notirt den Gang der Uhr aufs Neue. Vermindert man nachher die Triebkraft, so werden die Bogen kleiner, und man notirt nun den Gang der Uhr in einer den beiden vorangehenden Versuchen gleichen Zeit. Findet man, daß der Gang während der großen und kleinen Vibrationen demjenigen der natürlichen oder ungezwungenen Schwingungen gleich ist, so ist die Spirale isochronisch; wenn hingegen die großen oder die kleinen Schwingungen mehr oder weniger schnell sind, als die natürlichen oder ungezwungenen, oder was dasselbe ist, daß die Uhr entweder durch große oder durch kleine Schwingungen vor- oder nachgeht, so ist einleuchtend, daß die Spirale nicht isochronisch ist.

228. Aus dem §. 94 Gesagten wissen wir, daß man mittels einer mehr oder weniger langen Spirale zum Isochronismus gelangen kann. Eine zu kurze Spirale macht die großen Vibrationen geschwinder als die kleinen; eine zu lange hingegen macht die großen Vibrationen langsamer als die kleinen. Also ist einleuchtend, daß man zwischen beiden Grenzen in der Spirale eine Länge finden kann, welche die mehr oder weniger großen Vibrationen von gleicher Dauer oder isochronisch macht. Wenn die großen Vibrationen weniger Geschwindigkeit haben, als die kleinen, so ist dadurch abzuhelfen, daß man die Spirale verkürzt. Wenn das Gegentheil stattfindet, so ist man genöthiget eine längere Spirale auf die Uhr anzuwenden.

229. Aus Gründen, die wir sogleich anführen werden, hat man in den letztern Jahren den vollkommenen Isochronismus der Unruhsschwingungen verlassen; man hat es schicklicher befunden, den kleinen Unruhsschwingungen ein Wenig mehr Geschwindigkeit zu geben als den großen; so daß, wenn ein Chronometer nach mittlerer Zeit geht, indem seine Schwingungsbogen z. B. eine Ausdehnung von 450 Graden haben, derselbe Chronometer binnen 24 Stunden beinahe 5 bis 6 Secunden vorgehen muß, wenn die Schwingungsbogen durch eine Verminderung in der Triebkraft ungefähr bis auf 300 Grade verkürzt werden. Damit die Chronometer lange Zeit einen sehr gleichen mittleren Gang behalten, ist man genöthiget die Natur der Spirale so einzurichten, daß die kleinen Schwingungsbogen der Unruhe ein Wenig geschwinder vollendet werden als die großen, und das aus folgendem Grunde: in dem Maße als der Chronometer geht, wird die Spirale fast unmerklich, aber doch etwas schlaff,

und das Del, welches man den Zapfen der Unruhachse giebt, wird mehr oder weniger dick. Diese beiden Ursachen bewirken in dem Gange des Chronometers eine Verzögerung, und das Dickwerden des Deles vermindert die Größe der Unruherschwingungen. Wenn jetzt, indem die Geschwindigkeit der Schwingungsbogen der Unruhe in dem Maße wächst, als sie an Größe abnehmen, die Uhr um ein Gleiches nachgeht, was durch das Schlaffwerden der Spirale und von dem dickern Dele an den Unruhzapfen entsteht, so wird der Chronometer, wenn das Uebrige darinn vollkommen gleich ist, lange Zeit einen gleichmäßigen Gang haben.

230. Ein anderer Beweggrund, warum man keine vollkommen isochronische Spirale anwenden soll, ist: daß ein mit einer solchen Spirale versehenes Chronometer in der vertikalen Lage durch die Vermehrung der Reibung, welche die Zapfen erleiden, beträchtlich nachgeht. Außerdem, daß die völlig isochronische Spirale dieses durch die Vermehrung der Reibung bewirkte Nachgehen in vertikaler Lage nicht corrigirt, giebt es noch einen andern wichtigen Fehler, indem man nämlich einen mit einer solchen Spirale versehenen Chronometer vollkommen in einer Temperatur von  $+ 2^{\circ}$  bis  $+ 30^{\circ}$  Reaum. in horizontaler Lage regulirt annimmt, so wird er es nicht in vertikaler Lage sein, aus dem Grunde, weil der Widerstand, den die Zapfen durch das Dickwerden des Deles erleiden, in der vertikalen Lage merklicher ist als in der horizontalen; und da die Vermehrung der Reibung Verzögerung verursacht, so wird dieser Chronometer, wenn er vertikal gestellt ist, beim Gefrierpunkte nachgehen; und ist die Temperatur unter Null, so wird der nemliche Fehler auch in horizontaler Lage statt finden.

231. Man beseitiget diese Hindernisse noch durch Anwendung einer Spirale, welche so beschaffen ist, daß sie die Vibrationen allmählig in dem Maße beschleuniget, als sie an Größe abnehmen; denn wenn der Chronometer vertikal gestellt ist, geht er wegen der Vermehrung der Reibung, welche die Zapfen erleiden, nach, und aus demselben Grunde nehmen die Bogen an Größe ab. Beseitigt daher die Spirale die Eigenschaft, die Vibrationen um dieselbe Größe zu beschleunigen, um welche die Zapfenreibung sie langsamer macht, so wird man eine glückliche Compensation haben, welche sich unter allen Umständen, selbst in der strengsten Kälte, erhält.

232. Nach den einige Jahre nach einander über den Einfluß der Luft auf den Regulator der Längenuhren angestellten Versuchen<sup>\*)</sup>, hat man gefunden, daß es eben so zweckmäßig sei, um den Einfluß der Veränderung der Luftdichte auf den Gang ganz und gar unmerklich und folglich Null zu machen, eine Spirale anzuwenden, welche den Chronometer mit kleinen Schwingungsbogen mehr vorgehen mache als mit großen, so daß für eine Verminderung in den Schwingungsbogen von ungefähr 150 Graden, binnen 24 Stunden eine Beschleunigung von 5 bis 6 Secunden statt habe.

233. Die Methode von Pierre Le Roy, den Isochronismus der Unruherschwingungen zu erlangen, ist, wie wir schon gesagt haben, diejenige, welche man am oitesten befolgt; und sie gründet sich darauf, daß eine sehr kurze, ihrer ganzen Länge nach gleich starke Spirale während der Unruherschwingungen in einem stärkern Grade gespannt ist, als ein längere Spirale, wodurch die großen Schwingungsbogen geschwinder als die kurzen werden. Eine sehr lange Spirale hingegen ist für dieselben Vibrationen viel weniger gespannt als die erste, oder in einem weit weniger starken Grade, und

<sup>\*)</sup> Man sehe den Anhang dieses Werkes, vom Einfluß der Luft auf den Regulator astronomischer Pendel- und Längenuhren.

aus diesem Grunde erfolgen die großen Vibrationen langsamer als die kleinen. Oder, es muß demnach zwischen diesen beiden verschiedenen Längen eine mittlere Länge geben, wo die großen und die kleinen Vibrationen von gleicher Dauer sind; eben so muß darin eine Eigenschaft liegen, der Spirale diesen Grad von Beschleunigung in dem Maße zu geben, als die Größe der Schwingungsbogen abnimmt, was sie vorzüglich macht; aber meistens nur nach guten Versuchen über den Gang der Uhr mit Schwingungsbogen von sehr verschiedener Größe und nach mehrmaliger Veränderung der Länge der Spirale, kann man dahin gelangen, ihr den gewünschten Grad von Beschleunigung zu geben; denn es giebt so viele andere Ursachen, welche ihren Einfluß haben, als: das Gewicht der Unruhe, der Durchmesser der Zapfen, die Form der Löcher u. s. w.

234. Aus dem §. 94. Gesagten wissen wir, daß man durch die Form der Spirale gleichfalls zum Isochronismus gelangen kann, nach der Methode von Ferdinand Berthoud, welche darin besteht, die Spiralklinge (la lame du spiral) rutbenförmig oder allmählig schwächer zu machen, in dem Maße als die Klinge vom Mittelpunkte der Spirale sich entfernt. Dadurch kann eine kürzere Spirale, als diejenige von Le Roy, eben so isochronisch werden. In den Taschenuhren, wo die Form nicht immer die Anwendung einer sehr langen Spirale erlaubt, kann man genöthiget sein, zu der Methode von Berthoud seine Zuflucht zu nehmen, aber man findet alsdann in der Ausführung die große Schwierigkeit, die Dicke der Spiralklinge in einem genauen, völlig geeigneten Verhältnisse zu vermindern<sup>\*)</sup>. Aus diesem Grunde verdient die Methode von Le Roy unstreitig den Vorzug, wo man Gelegenheit hat sie anzuwenden, wegen des Vortheils sich einer Klinge von gleicher Stärke bedienen zu können.

235. Herr Berthoud belehrt uns eben so, daß eine Spirale von einer großen Anzahl dichter Umgänge zum Isochronismus geeigneter sei als eine Spirale von derselben Länge, aber von einer kleinern Anzahl weniger dichter Umgänge; weil die zunehmende Kraft während der Unruhenschwingungen durch die Biegungen der Spirale auf Hebel wirkt, welche unter einander mehr Gleichheit haben. Hieraus folgt, daß die röhrenförmigen oder cylindrischen Spiralen zum Isochronismus geeigneter sind als die Spiralen, deren Schnecken in einerlei Ebene liegen. Es ist bekannt, daß die Schnecken der cylindrischen Spirale vom Mittelpunkte der Unruhe gleich entfernt sind; folglich arbeitet die Bewegung der Schnecken durch unter sich merklich gleiche Hebel; die Progression der zunehmenden Kraft der Spirale während der Vibrationen, nähert sich sehr einer arithmetischen Progression.

236. Was die Gestalt der Spiralen betrifft und den Stoff derselben, welcher zu ihrer Ausführung geeignet ist, sehe man §. 97. nach.

Bemerkung. Ein Mittel, welches die Herstellung des Isochronismus der Schwingungen von ungleicher Größe erleichtert, besteht darin, die Unruhe sehr große Bogen beschreiben zu lassen. Aus dem Ver-

<sup>\*)</sup> Der verstorbene Herr Frederic Houriet aus Locle in der Schweiz, Uhrmacher und Mitglied der Akademie der Wissenschaften hat ein mechanisches Ziehseil mit Räderwerk konstruirt, welches geeignet ist, den Faden für Spiralen in zu- und abnehmender Progression zu ziehen. Mein Großvater Frederic Houriet hat 1826 der Gesellschaft der Künste zu Genf eine Abhandlung übergeben, betitelt: Essai sur l'isochronisme des ressorts spiraux, welche, wie ich glaube, die Beschreibung dieses mechanischen Ziehseils enthält. Es scheint nach dem Bericht, der durch eine zur Untersuchung ernannte Commission erstattet worden ist, daß der Comité industrielle de la société des Arts die Absicht habe, die Untersuchung öffentlich bekannt zu machen. Dies ist der Grund, warum ich hier die Beschreibung des mechanischen Ziehseils nicht gebe.

Louis Jürgensen.

suche des Herrn Verthoud wissen wir, daß eine Aenderung von einer gewissen Anzahl Grade in der Größe der Schwingungsbogen keine so große Veränderung in den Gänge der Uhr verursacht, als dieselbe Aenderung in den weniger großen Schwingungen. Mittels der freien Federhemmung kann man leicht bewirken, daß die Unruhe Bogen von  $1\frac{1}{2}$  Umgängen und selbst von 450 Graden beschreibt; ein Mittel, welches eine große Bewegungsgröße der Unruhe erzeugt, und zugleich die Unruhe geeignet macht, den Wirkungen der Beunruhigungen der Uhr zu widerstehen.

### Zweiter Artikel.

#### Allgemeine Bemerkungen um Uhren in verschiedenen Lagen reguliren zu können.

237. Da es sehr schwierig ist, die Taschenuhren immer in derselben Lage zu erhalten, so ist es nothwendig, sie in verschiedenen Lagen zu reguliren, damit der Gang in der vertikalen Lage so wohl als in der horizontalen merklich derselbe sei. Für diesen Zweck ist zu bemerken:

- 1) Die Unruhzapfen von einem so kleinen Durchmesser zu machen, als es die Festigkeit gestattet; sie gehörig platt, gut polirt und genügend hart zu machen, damit sie ihre Politur behalten können.
- 2) Für die Unruhzapfen, welche im höchsten Grade polirt und mit sorgfältig arrondirten Ecken oder Winkeln versehen sind, sehr flache Löcher in Stein anzuwenden.
- 3) Die Zapfen-Enden der Unruhe, welche die Gegenstücke berühren, fast eben zu machen; man vermehrt dadurch die Reibung in der horizontalen Lage, und macht sie beinahe der in der vertikalen Lage gleich.
- 4) Es ist zweckmäßig das Hemmungsrad so zu stellen, daß es die Unruhe hebt, wenn die Uhr geht; dadurch werden die Reibungen der Zapfen gegen die Wandungen der Löcher gelindert, und die Unruhe wird freier; gewöhnlich hat man darauf, wenn man den Grundriß der Uhr macht, das Hemmungsrad in die verlangte Lage zu bringen, was immer beobachtet werden sollte, keine Aufmerksamkeit.
- 5) Damit das Del durch seine Verdickung nicht zu viel Einfluß habe, muß man eine gute Triebkraft anwenden.
- 6) Es ist auch nothwendig, daß das Gewicht und der Durchmesser der Unruhe zur Triebkraft und zur Anzahl der Schwingungen im gehörigen Verhältniß stehen.
- 7) Die Spiralfeder muß mit vieler Sorgfalt gehörig concentrisch zur Achse der Unruhe gelegt sein, mit einem Worte, in einem ungezwungenen Zustande u. s. w. sein.

Man sehe außerdem, was über diesen Gegenstand im dritten Kapitel, Seite 28 gesagt worden ist.

Um die Chronometer in verschiedenen Lagen zu reguliren, ist es nicht allein passend, die angezeigten Mittel anzuwenden, sondern auch dieselben durch Hilfe der Spirale zu ersetzen, indem man sie von der Beschaffenheit macht, daß die Unruherschwingungen in dem Maße beschleunigt werden, als sie an Größe abnehmen, und sie nach derselben Größe zu beschleunigen, als die Vermehrung der Reibung, welche die Zapfen in der vertikalen Lage erleiden, sie nachgehen macht.

### Dritter Artikel.

Von den Mitteln, um Seehren und Taschen-Chronometer zu reguliren, und Versuche zu machen, um dahin zu gelangen, die Compensation der Wärme und Kälte vollständig zu machen.

238. Wenn der Chronometer aufgezoogen und zu geben bereit ist, ist es Zeit die Regulirung vorzunehmen. Erst wählt man eine Spirale von gehöriger Kraft, damit die Uhr beinahe regulirt sei, und nahe der mittleren Zeit folge. Hat man eine solche Spirale gefunden, so fängt man an, den gehörigen Isochronismus der Unruherschwingungen durch die Spirale zu bewirken, nachdem in dem ersten Kapitel angezeigten Princip.

239. Nachdem das Gewicht der Unruhe bestimmt worden ist, vollendet man die Regulirung der Uhr durch die Regulirungsschrauben, die man nach Erfordern dem Mittelpuncte der Unruhe nähern oder davon entfernen kann, wie aus der Beschreibung dieser Unruhe im dritten Kapitel §. 87. und Tafel III. Fig. 13. zu sehen ist. Wenn die Uhr nachgeht, nähert man die beiden Schrauben a und b oder o, o dem Mittelpuncte der Unruhe; wenn sie vorgeht, entfernt man sie im Gegentheil. Man muß Sorge tragen, diese beiden Schrauben gleichmäßig zu nähern oder zu entfernen, damit die Unruhe nicht außer Gleichgewicht komme. So fährt man fort, die Schrauben nach und nach zu entfernen oder zu nähern, bis man den schicklichen Punct gefunden hat, und die Uhr genau einem astronomischen Pendel (Regulator) folgt, dessen Gang man genügend kennt. Wenn die Compensation noch nicht genau gemacht ist, so trägt man Sorge die Uhr während der Regulirung immer in einer beinahe gleichen Temperatur zu erhalten. Ohne diese Vorkehrung ist es einleuchtend, daß die Compensation, während man beschäftigt ist, die Lage der Regulirungsschrauben zu befestigen, Veränderungen verursachen könnte, und daß es unmöglich wäre, die Uhr zu reguliren.

240. Nachdem der Chronometer so regulirt ist, kann man die nöthigen Versuche machen, um die Compensation des Einflusses von Wärme und Kälte zu reguliren, indem man sie sehr verschiedenen Temperaturen aussetzt. In einem zu diesen Versuchen geeigneten Zimmer kann man diese Uhr einem hinreichend hohen Wärmegrade aussetzen, etwa 30 bis 35 Graden des Reaumur'schen Thermometers. Man setzt sie dieser Temperatur 12 Stunden lang, oder wohl einen ganzen Tag aus, und beobachtet ihren Gang, ob sie nachgeht, oder voreilt, oder genau dem astronomischen Pendel folgt. Nach diesem schreitet man zu einem zweiten Versuche, indem man die Uhr einer Temperatur aussetzt, welche weit weniger erhöht, und sogar einige Grade unter Null ist. Man läßt die Uhr in dieser Temperatur eine eben so lange Zeit gehen, als bei dem ersten Versuche, und notirt ihren Gang aufs Neue. Findet man, daß Wärme die Uhr nachgehen macht, so ist einleuchtend, daß die Compensation nicht stark genug ist, und daß man sie so zu machen suchen muß. Man kann dahin durch die compensirenden Gewichte (Tafel III. Fig. 13.) gelangen, indem man die Entfernung von a bis c, und von b bis d größer macht. Da die compensirenden Gewichte auf den zusammengesetzten Stäben auf die §. 89. angezeigte Art sich bewegen, so ist es leicht, die Entfernungen von c bis a und von d bis b nach Erfordern mehr oder weniger groß zu machen. Da die Theile a c und b d länger sind, so wird offenbar die Wärme, durch ihre Einwirkung auf die zusammengesetzten Stäbe, die Gewichte c und d dem Mittelpuncte der Unruhe mehr nähern und die Compensation verstärken. Nach

dieser Operation observire man aufs Neue den Gang der Uhr in sehr verschiedenen Temperaturen, und wenn Wärme die Uhr noch immer nachgehen macht, so muß man aufs Neue die compensirenden Gewichte so lange ändern, bis man den schicklichsten Punct gefunden hat. Wenn man hingegen durch Versuche findet, daß die Compensation zu stark ist, und daß durch Einwirkung der Wärme die Uhr vorgeht, so mache man die Entfernungen von c bis a und von d bis b kleiner, bis die Compensation genau, und der Gang des Chronometers in allen Temperaturen derselbe ist.

241. Im Fall dieses Mittel nicht hinreichend wäre, müßte man das Gewicht der compensirenden Massen vermehren oder vermindern; nach Erfordern könnte man dann durch das oben angezeigte Mittel die Regulirung der Compensation vollenden. Es ist klar, daß, wenn man die compensirenden Gewichte mehr oder weniger schwer machte, man genöthiget wäre, die Regulirungsschrauben wieder durch zu sehen und sie dem Mittelpuncte zu nähern oder davon zu entfernen, bis die Uhr aufs Neue regulirt worden ist; sollte auch diese Mittel nicht hinreichend sein, dann wäre man genöthiget, das Gewicht dieser Schraube zu vermehren, wenn die Uhr vorgeht, oder zu vermindern, wenn sie nachgeht. Indem man also die compensirenden Gewichte und Regulirungsschrauben wieder durchsieht, muß man sorgfältig darauf sehen, was anfangs bemerkt worden ist, daß die Uhr immer im Gleichgewicht bleibe.

242. Während des Winters ist es leicht die Chronometer einem hinreichend beträchtlichen Kältegrade auszusetzen; aber während des Sommers bedient man sich für diese Versuche des Eises. Man erlangt einen sehr hohen Kältegrad, indem man 3 Theile Eis und 2 Theile Salpetersäure vermengt. Man Sorge dafür, daß die Uhr nicht schnell aus Kälte in Wärme übergetragen werde, denn die verschiedenen Theile laufen an, und die Feuchtigkeit könnte dann die Stahltheile rostig machen.

243. Man bedenke, wie wesentlich es ist, die Compensation genau zu machen, denn die Compensation ist es zum großen Theil, von welcher die große Richtigkeit eines Chronometers abhängt. Man trifft zuweilen Chronometer, deren Gang in einer und derselben Temperatur sehr regelmäßig, aber nach den Temperaturveränderungen verschieden ist, ein Fehler, welcher sie zu genauen Beobachtungen und für einige Dauer unbrauchbar macht, weil es unmöglich ist, diese Instrumente immer in derselben Temperatur zu erhalten.

244. Nachdem die Versuche über den Isochronismus der Unruherschwingungen, über die Compensation der Wärme- und Kälte-Wirkungen, folglich über den Gang der Chronometer in verschiedenen Lagen gemacht worden sind, ist es angemessen, dieselben durch neue Versuche, nach jeder dieser verschiedenen Wirkungen besonders zu bekräftigen, um zu untersuchen, ob man nicht einige Unregelmäßigkeit finde, indem man beschäftigt ist, eine andere darnach zu reguliren; was vorkommen kann, wenn man sehr oft genöthiget ist, die Spirale oder die Unruhe wieder durch zu sehen. In diesem Falle müßte man dadurch helfen, daß man aufs Neue die Regeln befolgt, welche oben angezeigt worden sind.

## 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 Hemmungsräd 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.<sup>oo)</sup> Für diejenigen, welche die Hemmung des Herrn

<sup>o)</sup> 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.)

<sup>oo)</sup> 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 ihre 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 Spizen 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 Willkür 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 Zeitmaaf ist, so wird während dieses Maafes 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 Maafse, 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  $\Delta$ , und diejenige des Pendels  $\Delta'$ , so wird die Schwingungskraft  $1 - \frac{\Delta}{\Delta'}$  sein. Da aber  $\Delta$  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 zu bewirken 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<sup>\*)</sup>), 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.<sup>oo)</sup>
- 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

<sup>\*)</sup> 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.

<sup>oo)</sup> 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. 3., 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<sup>\*)</sup> 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<sup>\*)</sup>, 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 U. 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 U. J. Nr. 31 und 38, welche zu den Versuchen über den Einfluß der Veränderung der Luftdichte auf den Gang dieser Maschinen gedient haben<sup>\*)</sup>.

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 U. J. Nr. 31 in 24 Stunden sich nur 0,7 Secunden ändert; und derjenige von U. 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<sup>\*\*)</sup>, 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 U. 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 Uruben 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

Hauptpunkten 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 Gefrierpunkte 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.