

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

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

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

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

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

Drittes Kapitel.

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

Erster Artikel.

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

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

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

Schwere; die Umrube durch die Wirkung einer sehr elastischen spiralförmigen Feder, welche die Spirale oder Spiralfeder genannt wird. Die Umrube 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 Umrube, b b die Achse derselben, deren Zapfen in der durchsichtigen Platte über der Umrube 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 Umrubachse 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 Umrube würde immer fort oscilliren, aber die Reibung der Zapfen und der Widerstand der Luft zerstören nach und nach ihre Bewegung. Um die Vibrationen der Umrube zu unterhalten, ist demnach eine äußere Kraft erforderlich, welche den Bewegungsverlust ersetzen kann. Diese Kraft muß nach der stärkern oder geringern Reibung der Umrube 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 Umrube so einzurichten, daß die Reibung und der Widerstand der Luft sich auf die kleinstmögliche Größe reduciren lassen, ohne indessen verschiedene andere Eigenschaften der Umrube aus dem Gesicht zu verlieren, welche zur genauen Zeitmessung erforderlich sind.

66. Die äußeren Bewegungen oder Erschütterungen einer Uhr auf die Umrube 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 Maasse 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 Umrube möglichst zu vermindern.
- 2) Die Reibung auf die möglichst kleinste Größe zu reduciren.
- 3) Den Widerstand der Luft auf die Umrube so viel als möglich zu verringern.

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

67. Die Bewegungen, denen die Uhren ausgesetzt sind, üben, wie wir schon gesagt haben, auf die Schwingungen der Umrube 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 4×32^2 , 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 fein, 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.^{*)}

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 Maaße schwächer wird, als die Klinge sich 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 Unruhzapfen 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 befestigte 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.

^{*)} 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.^{*)} 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.

^{*)} Mehre 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 Masse 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 überdies 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 überdies 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.

W i e r t e s K a p i t e l .

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.