

Notiz-Kalender
für



Uhrmacher.
1890.

GROSSMANN'S

Notiz-Kalender

für

UHRMACHER

auf das Jahr

—> 1890. <—

Der Chronometergang. *)

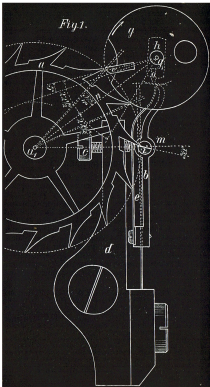
Von Richard Lange in Glashütte.

Die Verschiedenheit zwischen einem Chronometer und einer gewöhnlichen guten Uhr besteht hauptsächlich in dem Gange (der Hemmung), der Unruhe und der Spiralfeder. Die Taschenchronometer haben gewöhnlich eine Gangzeit von 30 Stunden, die Marinechronometer dagegen von 2 Tagen, beziehentlich 56 Stunden. Die Seechronometer sind, um Schwankungen zu vermeiden und um sie bei Erschütterungen immer in horizontaler Lage zu

*) Diese Abhandlung hatte bereits im „Allgem. Journal der Uhrmacherkunst“ Aufnahme gefunden, als mir ihr Herr Verfasser den Wunsch kundgab, sie auch im „Notizkalender“ veröffentlicht zu sehen. Diesem Wunsch ist selbstverständlich bereitwilligst entsprochen worden. Abgesehen davon, daß diese wichtige Arbeit durch den „Notizkalender“ höchstwahrscheinlich auch zu Kollegen dringt, welche das „Journal“ nicht halten, wird selbst den Abonnenten des letzteren die hier ohne Unterbrechung gebotene Wiederholung willkommen sein; sie gestattet ja eine weit bequemere Benutzung der werthvollen Studie, als die in verschiedene Zeitungsnummern vertheilte Wiedergabe, welche bei den vielfachen Anforderungen an Inhalt und Raum in unserem Verbandsorgan jedenfalls unvermeidlich war.

R. Felsa.

Fig. 1.



erhalten, erst in einer Messingbüchse, dann noch in einem Holzkasten frei schwingend aufgehängt, so daß sie, bei Wendungen des Schiffes, immer in horizontaler Lage erhalten bleiben.

Die Schwingungen der Unruhe sind gewöhnlich langsamer als bei Taschenuhren, und zwar wählt man für Seechronometer fast allgemein 14400 Schwingungen, für Taschenuhren dagegen 18000 für die Stunde.

Für die Triebe und Räder der Seechronometer wählt man, um gute Eingriffe zu erlangen, möglichst hohe Zahnzahlen.

Der Gang. Der Chronometergang ist im vorigen Jahrhundert durch den wohlbekannten französischen Uhrmacher Le Roy erfunden worden. Nur wandte derselbe keine Chronometerfeder an, sondern der Arm mit dem Ruhestein bewegte sich in Zapfen, wie noch heute beim Bascule- oder Wippengange und dem deutschen Chronometergange.

Für Seechronometer wendet man fast ausschließlich die sogen. Chronometerfeder an, wodurch die beiden Zapfen mit ihrer Reibung und dem dafür nöthigen Oel in Wegfall kommen.

Das Gangrad. Es bezeichnet *a* in nebenstehender Fig. 1 das Gangrad, welches, wenn es von Messing, Gold oder Aluminium hergestellt ist, keines Oeles bedarf, wohl aber, wenn es aus Stahl besteht. Der Durchmesser des Rades richtet sich nach dem verfügbaren Raume und beträgt bei Seechronometern etwa 12 bis 14 mm, bei Taschenchronometern 8 bis 10 mm. Das Gangrad hat meistentheils 15 Zähne; nur ausnahmsweise findet man Gangräder mit 12 Zähnen. Die Räder werden gewöhnlich aus dickem Metalle angefertigt, jedoch nur die Zähne dick gelassen, der innere Theil dagegen, der Schwere wegen, frei gedreht.

Die Gangfeder. Der Theil *b* zeigt die Gangfeder; dieselbe ist aus gehärtetem und angelassenem Stahle hergestellt. Ein kleines Rohr *m* trägt den Ruhestein *i*, welcher das Rad zwischen jedem Impuls festhält. Dieser Stein wird durch einen halbrunden Stift und Schellack befestigt und demselben

eine Neigung von etwa 12 Grad zur Radmitte gegeben, damit die Feder immer durch den Radzahn nach dem Rade zu angezogen wird. Ueber die Stärke der Federung läßt sich nichts Bestimmtes angeben; für Taschenchronometer dürfte bei richtiger Härte eine Stärke von 0,025 mm, bei Seechronometern eine von 0,04 mm entsprechend sein.

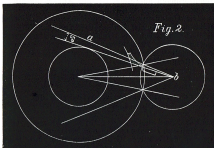
Die Anlegeschraube. Ein Messingstück *d*, welches unter dem Gangrade *a* sich befindet, ist mit einer Stellschraube *e* versehen; an dieser Schraube liegt die etwas gespannte Gangfeder an, derart, daß der Radzahn, etwa 1 Grad vom Bewegungspunkte der Feder aus gemessen, auf dem Ruhestein aufliegt.

Die Auslösungsfeder. Die Auslösungsfeder *c* wird aus 18karätigem, hart gehämmertem Golde hergestellt; dieselbe ist an der Seite der Stahlfeder angeschraubt und liegt mit geringer Spannung an derselben. Die Goldfeder muß von solcher Länge sein, daß nach dem Abfallen des Radzahnes vom Ruhesteine der Radzahn sich noch um $\frac{1}{8}$ einer Zahnweite vorwärts bewegt; alsdann muß die Feder oder Wippe abfallen. Wie auch die Feder geformt ist, stets muß das Ende derselben nach dem Mittelpunkt der Unruhe zeigen, wenn der Radzahn auf dem Ruhesteine der Chronometerfeder aufliegt.

Die Impulsrolle. Mit *g* ist die Impulsrolle bezeichnet, welche ebenfalls aus Stahl und von nahezu der Stärke des Gangrades angefertigt wird. In der Rolle *g* ist der Impulstein *v* angebracht. Vielfach wird dieser Stein in einem spitzen Winkel zum Mittelpunkt gestellt, damit der Radzahn an einem möglichst langen Hebel zur Wirkung kommt. Dadurch wird jedoch sehr oft ein Einarbeiten in die Radzähne verursacht. Am besten ist es und die Erfahrung hat dies zur Genüge bestätigt, wenn die Vorderfläche des Steines eine gerade Linie nach der Mitte der Rolle bildet.

Die Neigung der Radzähne. Den Radzähnen ist eine solche Neigung zu geben, daß sie, wenn der Radzahn auf dem Stein auffällt, mit der Vorderfläche des Steines eine gerade Linie bildet; es kann eher die Zahnspitze auf die Steinfläche

fallen, als umgekehrt die Steinspitze auf die Radfläche, weil solchenfalls ein Einarbeiten in den Zahn stattfindet. Die Neigung der Zähne wird bestimmt, indem man zu *a b*, Fig. 2, einen Winkel von 5 Grad abträgt und an diese Winkellinie einen berührenden



Kreis vom Radmittelpunkte aus zieht. Es fällt zwar dann anscheinend Fläche auf Fläche, in Wirklichkeit aber fällt die Zahnecke auf die Steinfläche, weil sich die Rolle bereits in schneller Bewegung befindet, das Rad aber erst in Bewegung gesetzt wird.

Die Auslöserolle. In Fig. 1 ist *b* die Auslöserolle mit dem Auslösestein *a*. Über die Größe der Auslöserolle lassen sich keine bestimmten Angaben aufstellen; bei Seechronometern nimmt man sie gewöhnlich $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ der großen Rolle, bei Taschenchronometern hingegen etwa halb so groß als die Impulsrolle.

Alle drei Steine: für Auslösung, Ruhe und Impuls, werden aus gutem Rubin hergestellt, gut polirt und, nachdem sie gut eingepaßt sind, mit Schellack befestigt.

Im Allgemeinen ist unter den Uhrmachern die Meinung verbreitet, daß der Chronometergang für Taschenuhren nicht zuverlässig genug ist, und

um so verbreiteter, als viele Uhrmacher mühevoll Reparaturen daran vorzunehmen hatten, die vielfach nicht von dem gewünschten Erfolge begleitet waren. Dabei mag gern zugegeben werden, daß besonders in solchen Fällen, wo die Uhr vielen Erschütterungen ausgesetzt ist, der Ankergang allerdings den Vorzug verdient.

Der Grund, weshalb viele Chronometer Fehler machen, liegt in der fehlerhaften Konstruktion der Gangtheile; wenn der Gang aber nach genauen geometrischen Prinzipien, die in Nachfolgendem entwickelt werden, ausgeführt ist, wird er auch gute Resultate ergeben.

I.

Entwicklung der Konstruktion des Chronometerganges.

Für irgend eine gegebene Mittelpunktsentfernung von Rad und Unruhe und für eine bestimmte Hebung werden die relativen Größen von Rad und Rolle in folgender Weise gefunden:

Es wird eine Hebung von 40 Grad verlangt. Der Radmittelpunkt a , und der Mittelpunkt g , der Unruhe sind durch die Linie n verbunden, die Entfernung beider Punkte sei beliebig gewählt.

Das Rad hat 15 Zähne, daher ist der Winkel, welcher zwei Zahnspitzen einschließt, $= 360/15 = 24$ Grad. Diese 24 Grad werden mittels Transporteurs von der Radmitte aus mit je 12 Grad von der Linie n nach beiden Seiten abgetragen; außerdem wird je ein Winkel von 11 Grad konstruirt, so daß für die Freiheit der Bewegung und mit Berücksichtigung der Zahnspitzenstärke zu beiden Seiten je 1 Grad Ueberschuß bleibt.

Zu dem bestimmten Antrieb von 40 Grad sind noch 5 Grad für den nöthigen Fall zuzufügen, zusammen also 45 Grad, welche von der Unruhmitte mit je $22\frac{1}{2}$ Grad von n aus abzutragen sind. Durch die Schnittpunkte der Winkellinien sind von a_1 und g_1 aus Kreise zu ziehen, welche die genauen Durchmesser für Rad und Rolle bilden.

Bezüglich der Tiefe und Breite der Hohlung in der Impulsrolle ist noch Einiges zu erwähnen, weil bei unrichtiger Ausführung oft Fehler im Gang sich einstellen. Für die Breite der Hohlung wählt man gewöhnlich die Entfernung von einem Zahn bis zum anderen, und die Vorderfläche des Steines wird in die Mitte der Hohlung gestellt; doch hat sich diese Vertheilung oft als unrichtig erwiesen. Die Hohlung muß tief genug sein, damit der Radzahn frei, ohne zu berühren, durchgehen kann. Die Hohlung muß so weit sein, daß sie einen Bogen von 45 Grad am Umfange der Rolle umfaßt (be-



ziehentlich so viel, als die Grade der gewünschten Hebung betragen), und diese müssen so vertheilt sein, daß sich $\frac{3}{10}$, also 30 Grad vor dem Steine und 15 Grad hinter demselben befinden (siehe Fig. 3).

Der Grund für diese Anordnung ist folgender: Wenn die Unruhe langsam bewegt wird, in der Richtung von w nach w , Fig. 3, und der Ausläu-

stein in der kleinen Rolle den erforderlichen Winkel mit dem Impulsstein der großen Rolle bildet, so wird der den Antrieb gebende Radzahn 5 Grad vor dem Impulsstein stehen. Aber wenn die Unruhe sich frei bewegt, wird sie durch die nach einigen Impulsen erlangte Geschwindigkeit vor diesem Punkte anlangen, also die Entfernung zwischen Zahn und Stein wird größer als 5 Grad sein; der Zahn wird daher durch einen größeren Raum als 5 Grad vom Bogen der Rolle fallen.

Es ist zu berücksichtigen, daß die ganze Bewegung des Rades zwischen jeder folgenden Schwingung der Unruhe unterbrochen wird, und daß — so klein die Größe auch sein mag — die

bewegende Kraft einen gewissen Betrag der Trägheit im Laufwerke nach jeder Unterbrechung zu überwinden hat, während welcher Zeit sich die Unruhe in zunehmender Geschwindigkeit befindet. Gesetzt, die Unruhe habe einen Schwingungsbogen von 400 Grad oder mehr erreicht. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Unruhe dann bewegt (und welche in der Mitte des Schwingungsbogens am größten ist, wo der Stein vom Radzahn getrieben wird), wird wahrscheinlich nun so groß sein, daß der Impulsstein in oder sogar hinter der Zentralinie steht, bevor der Radzahn Impuls ertheilt oder eben auf den Stein fällt. In diesem Falle würde der Radzahn $22\frac{1}{2}$ Grad von dem Bogen der Rolle hinter dem Impulsstein sein und würde erfordern, daß die Hohlung vor dem Stein mindestens so groß ist, damit der Radzahn völlige Freiheit in der Hohlung hat; bei Berücksichtigung der Zahnbreite und etwaiger kleiner Theilungsfehler sind zur völligen Sicherheit 30 Grad angenommen.

Spiel des Ganges. Wenn man die Unruhe in der Richtung des Pfeiles bewegt, wird die Rückseite des Auslösungssteines die goldene Auslösesfeder heben und die Goldfeder wird davon abfallen. Wird aber die Unruhe nach der anderen Richtung gedreht, so wird die Vorderfläche des Auslösungssteines die Chronometerfeder heben, so hoch, daß der betreffende auf dem Ruhestein liegende Radzahn frei wird, und das Rad sich vorwärts bewegt. Ein Zahn des Rades fällt auf den Impulsstein und ertheilt der Unruhe den Antrieb; und wenn der Antriech zu etwa $\frac{1}{2}$ (der Entfernung zweier Zahnspitzen) vollendet ist, fällt die Goldfeder von dem Auslösungssteine ab, die Chronometerfeder nimmt ihre frühere Lage ein, die Unruhe bewegt sich dann weiter, bis ihr Moment durch den Widerstand der Spirale gehemmt wird, welcher letztere nun die Unruhe nach der anderen Seite führt. Wenn nun Stärke und Härte der Chronometerfeder und Durchmesser und Gewicht der Unruhe in richtigem Verhältnis zur Stärke der Spirale und Zugfeder stehen, wird die Unruhe etwa $1\frac{1}{4}$ Umgang schwingen.

Die Chronometer-Unruhe. Für Seechronometer wendet man grösstentheils Unruhen mit Hilfskompensationen an. Für die Durchmesser der Unruhen können folgende Angaben als ungefährer Anhalt dienen: für die gebräuchlichen englischen Chronometer vom Durchmesser 70 bis 76 mm kann der Reifen der Unruhe ungefähr 30 mm Durchmesser haben; bei 60 bis 65 mm Werkdurchmesser etwa 25 mm, und bei 50 mm Werkdurchmesser etwa 19 mm Reifendurchmesser.

Die Spiralfeder. Für Seechronometer werden die Spiralfedern fast ohne Ausnahme von cylindrischer Form und meistens von gehärtetem Stahle gefertigt; neuerdings wendet man auch zuweilen mit gutem Erfolge Palladium-Spiralen an.

Die Anfertigung der Spirale geschieht etwa folgendermaßen: Es wird aus Messing, Nickel oder Kupfer ein Cylinder, etwas länger als die Spirale hoch werden soll und etwas kleiner als der Spiraldurchmesser im fertigen Zustande sein soll, angefertigt. Gewöhnlich wählt man den Spiraldurchmesser etwa $\frac{2}{3}$ des Durchmessers der Unruhe. Nahe an jedem Ende des Cylinders ist eine Schraube mit grossem Kopfdurchmesser zu stellen. Die Spirale wird auf diesen glatten Cylinder gewunden, durch die Schrauben angespannt und dann gehärtet. Das Aufwinden geschieht dadurch, dass man den Cylinder auf einen Drehstift steckt, das eine Drahtende befestigt und an das andere Ende ein genügend schweres Gewicht hängt, um den Draht straff zu ziehen. Der auf dem Stifte befindliche Cylinder wird nun langsam rundum gedreht, wobei darauf zu achten ist, dass die Umgänge eng aneinander liegen. Wenn der Cylinder voll gewunden ist, wird das andere Spiralende mit der Schraube befestigt und der überschüssige Draht abgeknippen. Der Cylinder wird dann vom Stifte genommen, an einen Draht gehängt, auf ein Stück Holzkohle gelegt und die Stückflamme des Löthrohres durch das Loch geblasen bis der Cylinder kirschroth glühend wird, worauf er in Wasser, auf welches eine Schicht Oel gegossen ist, gehärtet wird. Dann werden die Schraubenköpfe weiss geschliffen und

blau angelassen, worauf die Spirale ohne Gefahr abgenommen werden kann.

Besser ist es jedoch, um das Anlaufen zu verhindern, wenn man die Spirale mit einem Stücke Platinblech einhüllt oder mit Seife überstreicht und alsdann in Petroleum härtet; sie bleibt dann fast weiß und es gelingt zuweilen, daß man sie danach nur mit Roth und Bürste, schließlich mit Holz und Roth zu poliren braucht. Die Innenseite kann mit einem runden Stücke Holz geschliffen, beziehentlich polirt werden, indem man dasselbe mit dem Drehbogen bewegt und die Spirale mit den Fingern sanft gedrückt. Die Außenseite kann ebenfalls auf einem Cylinder polirt werden, indem man die mit einem Ende befestigte Spirale mit dem Cylinder dreht und dabei mittels Holz und Roth polirt. Darauf wird die Spirale in Benzin oder auch mit Wasser und Seife gereinigt, dann auf einen etwas größeren Cylinder gebracht, welcher mit schraubenartig eingeschnittenen Gängen, der Weite der Umgänge entsprechend, versehen ist. Die Spirale wird wiederum straff gezogen, durch zwei Schrauben gehalten und blaugrau angelassen; nunmehr wird sie polirt, gereinigt und auf einen glatten, wenig größeren Cylinder als die Innenseite der Spirale, gesteckt und blau angelassen.

Alle Federn verlieren beim Gebrauche durch die fortwährenden Biegungen etwas an ihrer Härte; die Spiralfeder sowie die Chronometerfeder werden durch diese kontinuierlichen Biegungen nach und nach etwas weicher. Wenn nun z. B. die Spirale zu hart ist, härter als die Chronometerfeder, und sonach auch nicht in demselben Maße ihre Härte verliert, als die Chronometerfeder, so wird das Chronometer nach und nach zu früh gehen. Ist aber umgekehrt die Spirale weicher als die Chronometerfeder, so wird der Gang des Chronometers nach und nach verlangsamt.

Es ist jedoch nur günstig, wenn, wie im erst-erwähnten Falle, das Chronometer seinen Gang etwas beschleunigt (accelerirt), weil durch die Verdickung des Oeles doch nach und nach bei der isochronischen Spirale eine kleine Gangverzögerung

eintritt. Für die Länge der Feder wählt man gewöhnlich 11 bis 13 Umgänge.

Befestigung der Spirale. Nachdem die Spirale, wie beschrieben, vollendet ist, sind die Endkurven zu biegen. Bei den englischen Chronometern liegen die Endpunkte der Spirale meistens in der Mitte zwischen äusserem Umgange und Unruhmitte. Die Spirale wird nun auf dem auf der Unruhe befindlichen Spiralklötzchen angesteckt und von solcher Länge abgebrochen, daß die Unruhe 240 Schwingungen in der Minute vollzieht. Die Ansteckung geschieht gewöhnlich derart, daß die Ansteckungspunkte nahezu über einander stehen.

Stellung der Spirale. Die richtige Stellung der Spirale in Bezug auf den Gang ist derart, daß wenn die Unruhe langsam geführt wird und man hebt den Finger nach erfolgtem Impuls von der Unruhe ab, diese dann weiter schwingt, beziehentlich das Chronometer weiter geht. Das Chronometer muß in gleicher Weise weiter gehen, wenn die Unruhe langsam zurückgeführt wird nach der anderen Seite, bis die Auslösungsfeder vom Auslösestein abfällt. — Die richtige Stellung der Spirale ist sonach in der Mitte zwischen dem Abfall des Radzahnes auf dem Impulssteine (beim Vorwärtsschreiten) und dem Abfall der Feder vom Auslösesteine (beim Rückwärtsschreiten).

II.

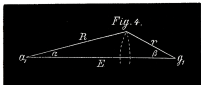
Bestimmung der Größenverhältnisse für den Chronometergang durch trigonometrische Berechnung.

Aus der Konstruktion ergeben sich nachstehende Größenbestimmungen, wenn der Radhalbmesser $R = 1$ gesetzt wird:

A. Der Gesamt-Hebungswinkel der Unruhe beträgt 45° .

Wie bereits vorhin erläutert wurde, ist der

Winkel $\alpha = 22/2 = 11^\circ$, und der Winkel $\beta = 22\frac{1}{4}^\circ$, die Gesamt-Hebung der Unruhe ist wie angegeben $= 45^\circ$ (Fig. 4).



1. Gesucht: der Rollenhalmmesser r .

$$r = \frac{R \cdot \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1 \cdot \sin 11^\circ}{\sin 22^\circ 30'} = \frac{0,1908}{0,3827} = 0,5$$

(abgerundeter Werth).

2. Gesucht die Mittelpunktsentfernung von Gangrad und Unruhe E

$$= \frac{R \cdot \sin (\alpha + \beta)}{\sin \beta} = \frac{R \cdot \sin 33^\circ 30'}{\sin 22^\circ 30'} = \frac{1 \cdot 0,5519}{0,3827} = 1,442$$

Die Mittelpunktsentfernung ist gegeben. Nachstehend sind noch bei gegebener Mittelpunktsentfernung die übrigen Größen berechnet worden. Wenn die Mittelpunktsentfernung $E = 1$ gesetzt wird, so erhält man folgende Formeln:

3. Gesucht: der Rollenhalmmesser r .

$$r = \frac{E \cdot \sin \alpha}{\sin (\alpha + \beta)} = \frac{1 \cdot \sin 11^\circ}{\sin 33^\circ 30'} = \frac{0,1908}{0,5519} = 0,346$$

Denselben Werth erhält man auch, wenn man den vorher nach dem Radhalbmesser $= 1$ ermittelten Rollenhalmmesser durch die vorher berechnete Eingriffsentfernung dividirt, also $\frac{0,5}{1,442} = 0,346$.

4. Gesucht: der Gangradhalbmesser R . Setzt

man die Mittelpunktsentfernung = 1, so findet sich der Gangradhalbmesser nach der Formel:

$$R = \frac{E \cdot \sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)} = \frac{1 \cdot \sin 22^{\circ} 30'}{\sin 33^{\circ} 30'} = \frac{0,3827}{0,5519} = 0,693.$$

Dasselbe Ergebnis erhält man durch Division von

$$\frac{R}{E} = \frac{1}{1,442} = 0,693.$$

Obwohl größtentheils bei guten Chronometern ein Hebungswinkel von 45 Grad für die Unruhe angewendet wird, giebt es doch auch Chronometer, bei welchen die Gesamt-Hebung der Unruhe 40, 50 und 60 Grad beträgt. Es sind daher zur Ermittlung aller dieser Werthe nachstehende Berechnungen ausgeführt worden.

B. Der Gesamt-Hebungswinkel der Unruhe beträgt 40°.

Gegeben: der Gangradhalbmesser = 1.

1. Gesucht: der Rollenhalmesser r .

$$r = \frac{R \cdot \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1 \cdot \sin 11^{\circ}}{\sin 20^{\circ}} = \frac{0,1908}{0,342} = 0,557.$$

2. Gesucht: die Mittelpunktsentfernung von Gangrad und Unruhe E .

$$E = \frac{R \cdot \sin (\alpha + \beta)}{\sin \beta} = \frac{1 \cdot \sin 30^{\circ}}{\sin 20^{\circ}} = \frac{0,5}{0,342} = 1,46.$$

Gegeben: die Mittelpunktsentfernung = 1.

3. Gesucht: der Rollenhalmesser r .

$$r = \frac{0,557}{1,46} = 0,381.$$

4. Gesucht: der Radhalbmesser R .

$$R = \frac{1}{1,46} = 0,684.$$

C. Der Gesamt-Hebungswinkel der Unruhe beträgt 50°.

Gegeben: der Gangradhalbmesser = 1.

1. Gesucht: der Rollenhalmmesser r .

$$r = \frac{1 \cdot \sin 11^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{0,1908}{0,4226} = 0,45.$$

2. Gesucht: die Mittelpunktsentfernung von Gangrad und Unruhe E .

$$E = \frac{1 \cdot \sin 36^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{0,5878}{0,4226} = 1,39.$$

Gegeben: die Mittelpunktsentfernung = 1.

3. Gesucht: der Rollenhalmmesser r .

$$r = \frac{0,451}{1,39} = 0,323.$$

4. Gesucht: der Radhalmmesser R .

$$R = \frac{1}{1,39} = 0,716.$$

D. Der Gesamt-Hebungswinkel der Unruhe beträgt 60° .

Gegeben: der Gangradhalmmesser = 1.

1. Gesucht: der Rollenhalmmesser r .

$$r = \frac{1 \cdot \sin 11^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{0,1908}{0,5} = 0,3816.$$

2. Gesucht: die Mittelpunktsentfernung von Gangrad und Unruhe E .

$$E = \frac{1 \cdot \sin 41^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{0,656}{0,5} = 1,312.$$

Gegeben: die Mittelpunktsentfernung = 1.

3. Gesucht: der Rollenhalmmesser r .

$$r = \frac{0,3816}{1,312} = 0,2907.$$

4. Gesucht: der Radhalmmesser R .

$$R = \frac{1}{1,312} = 0,761.$$

III.

Zusammenstellung der Größenverhältnisse für den Chronometergang.

In den umstehend folgenden Tabellen sind die im vorigen Abschnitt ermittelten Werthe zusammengestellt, wobei die Halbmesser in Durchmesser verwandelt wurden und außer der wirklichen (vollen) Durchmessergröße der Gangräder noch ihr „gemessener“, d. h. jener verminderte Durchmesser eingesetzt worden ist, welcher sich bekanntlich beim Messen eines Rades von ungerader Zahnzahl zwischen den parallelen Schenkeln eines Schiebmaßes ergibt. Zur bequemerem Benutzung sind die Tabellen für eine längere Reihe von Durchmessergrößen und Mittelpunktsentfernungen berechnet; ihre Anwendung ist fast selbstverständlich, doch mögen einige Beispiele hier noch erläuternd zur Seite stehen.

1. Der volle oder wirkliche Durchmesser eines Chronometerrades beträgt 8,4 mm; es werden für den Gesamt-Hebungswinkel der Unruhe von 50° die übrigen Dimensionen verlangt. Nach der Verhältnistabelle I ergeben sich folgende Werthe: Mittelpunktsentfernung von Unruhe und Gangrad = 5,84 mm; Durchmesser der Rolle = 3,79 mm.

2. Zur gegebenen Mittelpunktsentfernung von 7,2 mm sollen für die Unruhehebung von 45° die übrigen Größenverhältnisse bestimmt werden. Es ergibt sich aus der Verhältnistabelle II: der volle Raddurchmesser = 9,98 mm; der Rollendurchmesser = 4,98 mm.

3. Der volle Durchmesser eines Chronometerrades beträgt 8,4 mm; man wünscht für den Gesamt-Hebungswinkel der Unruhe von 45° die übrigen Größenverhältnisse für den deutschen Chronometergang zu wissen und entnimmt dieselben aus Tabelle III. Nach dieser Tabelle beträgt der Rollendurchmesser 4,2 mm, die Mittelpunktsentfernung von Gangrad und Unruhe = 6,05 mm, die Mittelpunktsentfernung von Gangrad bis Wippe = 5,19, die Mittelpunktsentfernung von Wippe bis Ruhestein = 3,05 mm, die Mittelpunktsentfernung von Unruhe bis Wippe = 6,64 mm.

[illegible]

8,6	8,51	4,79	6,23	4,3	6,19	3,83	6,93	3,23	5,64
8,8	8,71	4,80	6,42	4,4	6,34	3,97	6,12	3,36	5,77
9,0	8,91	5,01	6,57	4,5	6,43	4,06	6,25	3,43	5,90
9,2	9,11	5,12	6,72	4,6	6,62	4,15	6,39	3,51	6,03
9,4	9,31	5,23	6,86	4,7	6,77	4,24	6,53	3,59	6,17
9,6	9,50	5,35	7,01	4,8	6,91	4,33	6,67	3,66	6,30
9,8	9,70	5,46	7,15	4,9	7,06	4,42	6,81	3,74	6,47
10,0	9,9	5,57	7,30	5,0	7,20	4,51	6,95	3,82	6,56
10,3	10,2	5,74	7,52	5,15	7,42	4,64	7,16	3,93	6,76
10,6	10,5	5,90	7,74	5,30	7,63	4,78	7,37	4,05	6,95
10,9	10,8	6,07	7,96	5,45	7,85	4,91	7,57	4,16	7,15
11,2	11,1	6,24	8,18	5,60	8,06	5,05	7,78	4,27	7,35
11,5	11,4	6,40	8,39	5,75	8,28	5,19	7,99	4,39	7,54
11,8	11,7	6,57	8,61	5,90	8,50	5,32	8,20	4,50	7,74
12,1	12,0	6,74	8,83	6,05	8,71	5,46	8,41	4,62	7,94
12,4	12,3	6,91	9,05	6,20	8,93	5,59	8,62	4,73	8,13
12,7	12,6	7,07	9,27	6,35	9,14	5,73	8,83	4,85	8,33
13,0	12,9	7,24	9,49	6,50	9,36	5,86	9,03	4,96	8,53
13,5	13,4	7,52	9,85	6,75	9,72	6,09	9,38	5,15	8,86
14,0	13,9	7,81	10,22	7,00	10,08	6,31	9,73	5,34	9,16
14,5	14,4	8,06	10,58	7,25	10,44	6,54	10,08	5,53	9,51

II. Die Mittelpunktsentfernung ist gegeben.

Mittel- punkts- entfernung von Unruh bis Gangrad = 1	Für 40° Hebung		Für 45° Hebung			Für 50° Hebung		Für 55° Hebung	
	Rad- durchm. (Wirkl.)	Rollen- durchm.	Durchm. des Rades (Geometrisch)	Rollen- durchm.	Rad- durchm. (Wirkl.)	Rollen- durchm.	Rad- durchm. (Wirkl.)	Rollen- durchm.	Rad- durchm. (Wirkl.)
	1,388	6,362	1,386	6,462	1,422	6,446	1,452	6,581	0,581
5,0	6,84	3,81	6,93	3,46	7,16	3,23	7,61	2,90	
5,5	7,52	4,19	7,62	3,81	7,88	3,55	8,37	3,19	
6,0	8,21	4,57	8,32	4,15	8,59	3,88	9,13	3,49	
6,2	8,48	4,72	8,59	4,29	8,89	4,00	9,44	3,60	
6,4	8,75	4,87	8,87	4,43	9,16	4,13	9,74	3,72	
6,6	9,03	5,03	9,15	4,57	9,45	4,26	10,04	3,83	
6,8	9,30	5,18	9,42	4,70	9,74	4,39	10,35	3,95	
7,0	9,58	5,33	9,70	4,84	10,02	4,52	10,65	4,07	
7,2	9,85	5,49	9,98	4,98	10,31	4,65	10,96	4,18	
7,4	10,12	5,64	10,26	5,12	10,59	4,78	11,26	4,30	
7,6	10,40	5,79	10,53	5,26	10,88	4,91	11,57	4,41	
7,8	10,67	5,94	10,81	5,40	11,17	5,04	11,87	4,53	
8,0	10,94	6,10	11,09	5,53	11,45	5,17	12,17	4,65	
8,2	11,21	6,25	11,36	5,67	11,74	5,30	12,48	4,76	
8,4	11,49	6,40	11,64	5,81	12,03	5,43	12,78	4,88	

8,6	11,76	6,56	11,92	11,80	5,95	12,31	5,55	13,09	5,00
8,8	12,04	6,70	12,20	12,07	6,09	12,60	5,68	13,39	5,11
9,0	12,31	6,86	12,47	12,35	6,22	12,89	5,81	13,70	5,23
9,2	12,58	7,01	12,75	12,62	6,37	13,17	5,94	14,00	5,34
9,4	12,86	7,16	13,03	12,90	6,50	13,46	6,07	14,30	5,46
9,6	13,13	7,31	13,30	13,17	6,64	13,75	6,20	14,61	5,58
9,8	13,40	7,47	13,58	13,44	6,78	14,03	6,33	14,91	5,69
10,0	13,68	7,62	13,86	13,72	6,92	14,32	6,46	15,22	5,81
10,2	13,95	7,77	14,14	13,99	7,06	14,60	6,59	15,52	5,92
10,4	14,23	7,92	14,41	14,27	7,20	14,89	6,72	15,83	6,04
10,6	14,50	8,08	14,69	14,54	7,33	15,17	6,85	16,13	6,16
10,8	14,77	8,23	14,97	14,82	7,47	15,46	6,98	16,43	6,27
11,0	15,04	8,38	15,24	15,09	7,61	15,75	7,11	16,74	6,39
11,2	15,32	8,53	15,52	15,37	7,75	16,03	7,23	17,05	6,50
11,4	15,59	8,68	15,80	15,64	7,88	16,32	7,36	17,35	6,62
11,6	15,87	8,84	16,08	15,91	8,03	16,61	7,49	17,65	6,74
11,8	16,14	8,99	16,35	16,19	8,16	16,90	7,62	17,96	6,85
12,0	16,42	9,14	16,63	16,46	8,30	17,18	7,75	18,26	6,97

In dieser Tabelle ist nur beim Gesamt-Hebungswinkel von 45° auch der gemessene Durchmesser des Esdes mit angegeben. Bei den anderen Hebungswinkeln sind diese Werte weglassen, da sie leicht beim Hebungswinkel von 45° , oder aus Tabelle I zu entnehmen sind, oder auch direct durch Rechnung, indem man den wirklichen oder vollen Durchmesser mit 0,80 multiplicirt: der erhaltene Werth ist der gemessene Durchmesser des Gangrades mit 13 Zähnen.

III. Der Durchmesser des Gangrades ist gegeben.

Durchmesser des Gangrades		Gesamt-Hebungs- winkel der Urabe 45°		Mittelpunkts- entfernung von Gangrad bis Wippe	Mittelpunkts- entfernung von Wippe bis Rubestein	Mittelpunkts- entfernung von Urabe bis Wippe
Wirk- licher	Gemessener	Bollen- durchmesser	Mittelpunkts- entfernung	$R_1 = 0,613$	$R_2 = 0,2632$	$R_3 = 0,79$
1,0	0,99	0,5	0,73			
6,0	5,94	3,0	4,32	3,71	2,18	4,74
6,2	6,14	3,1	4,46	3,89	2,25	4,90
6,4	6,34	3,2	4,61	3,95	2,32	5,06
6,6	6,53	3,3	4,75	4,08	2,40	5,21
6,8	6,73	3,4	4,90	4,20	2,47	5,37
7,0	6,93	3,5	5,04	4,33	2,54	5,53
7,2	7,13	3,6	5,18	4,45	2,61	5,69
7,4	7,33	3,7	5,33	4,57	2,69	5,85
7,6	7,52	3,8	5,47	4,70	2,76	6,00
7,8	7,72	3,9	5,62	4,82	2,83	6,16
8,0	7,92	4,0	5,76	4,94	2,90	6,32
8,2	8,12	4,1	5,90	5,07	2,98	6,48
8,4	8,32	4,2	6,05	5,19	3,05	6,64

8,6	8,51	4,3	6,19	5,31	3,12	6,79
8,8	8,71	4,4	6,34	5,44	3,30	6,95
9,0	8,91	4,5	6,48	5,56	3,37	7,11
9,2	9,11	4,6	6,62	5,68	3,34	7,27
9,4	9,31	4,7	6,77	5,81	3,41	7,43
9,6	9,50	4,8	6,91	5,93	3,49	7,58
9,8	9,70	4,9	7,06	6,06	3,56	7,74
10,0	9,9	5,0	7,20	6,18	3,63	7,90
10,3	10,2	5,15	7,42	6,36	3,74	8,14
10,6	10,5	5,30	7,63	6,55	3,85	8,37
10,9	10,8	5,45	7,85	6,74	3,96	8,61
11,2	11,1	5,60	8,06	6,92	4,07	8,85
11,5	11,4	5,75	8,28	7,11	4,18	9,08
11,8	11,7	5,90	8,50	7,29	4,29	9,32
12,1	12,0	6,05	8,71	7,48	4,39	9,56
12,4	12,3	6,20	8,93	7,66	4,50	9,79
12,7	12,6	6,35	9,14	7,85	4,61	10,03
13,0	12,9	6,50	9,36	8,03	4,72	10,27
13,5	13,4	6,75	9,72	8,34	4,90	10,66
14,0	13,9	7,00	10,08	8,65	5,09	11,06
14,5	14,4	7,25	10,44	8,96	5,27	11,45

IV. Die Mittelpunktsentfernung ist gegeben.

Mittel- punkts- entfernung von Uarub bis Gangrad = 1	Für 45° Hebung			Mittelpunkts- entfernung von Gangrad bis Wippe $E_1 = 0,858$	Mittelpunkts- entfernung von Wippe bis Ruhestein $E_2 = 0,5065$	Mittelpunkts- entfernung von Uarub bis Wippe $E_3 = 1,097$
	Durchmesser des Rades (Wirkl.)	1,372	Rollen- durchmesser 0,022			
5,0	6,93	6,86	3,46	4,99	2,52	5,43
5,5	7,62	7,55	3,81	4,72	2,77	6,03
6,0	8,32	8,23	4,15	5,15	3,03	6,53
6,2	8,59	8,51	4,29	5,32	3,13	6,80
6,4	8,87	8,78	4,43	5,49	3,23	7,02
6,6	9,15	9,05	4,57	5,66	3,33	7,24
6,8	9,42	9,33	4,70	5,83	3,43	7,46
7,0	9,70	9,60	4,84	6,01	3,53	7,63
7,2	9,98	9,88	4,98	6,18	3,63	7,90
7,4	10,26	10,15	5,12	6,35	3,73	8,11
7,6	10,53	10,43	5,26	6,52	3,83	8,34
7,8	10,81	10,70	5,40	6,69	3,93	8,56

8,0	11,09	10,98	5,53	6,86	4,04	8,78
8,2	11,36	11,25	5,67	7,09	4,14	8,99
8,4	11,64	11,52	5,81	7,31	4,24	9,21
8,6	11,92	11,80	5,95	7,53	4,34	9,43
8,8	12,20	12,07	6,09	7,75	4,44	9,65
9,0	12,47	12,35	6,23	7,97	4,54	9,87
9,2	12,75	12,62	6,37	7,99	4,64	10,09
9,4	13,03	12,90	6,50	8,03	4,74	10,31
9,6	13,30	13,17	6,64	8,24	4,84	10,53
9,8	13,58	13,44	6,78	8,41	4,94	10,75
10,0	13,86	13,72	6,92	8,58	5,04	10,97
10,2	14,14	13,99	7,06	8,75	5,14	11,19
10,4	14,41	14,27	7,20	8,92	5,25	11,41
10,6	14,69	14,54	7,33	9,09	5,35	11,63
10,8	14,97	14,82	7,47	9,27	5,45	11,85
11,0	15,24	15,09	7,61	9,44	5,55	12,07
11,2	15,52	15,37	7,75	9,61	5,65	12,29
11,4	15,80	15,64	7,88	9,78	5,75	12,50
11,6	16,08	15,91	8,03	9,95	5,85	12,72
11,8	16,35	16,19	8,16	10,12	5,95	12,94
12,0	16,63	16,46	8,30	10,30	6,05	13,16