

Mauthe-(AEG-)Gangreserve-Synchronuhr

Seit einiger Zeit baut die Firma Friedrich Mauthe Uhrenfabriken in Schwenningen eine bereits gut eingeführte Synchronuhr mit Gangreserve, deren Konstruktion eine Gemeinschaftsarbeits dieser Firma und der AEG darstellt. Da eine derartige Gangreserve eines selbstanlaufenden Synchronmotors bedarf, so wird der AEG-Langsamläufer nach den Abbildungen 15 und 16 benutzt.

Das Prinzip dieser sehr bemerkenswerten Uhr ist folgendes: Die Verwendung eines besonderen, nicht wie bei der Konstruktion nach Abbildung 59 ständig laufenden Reservewerkes hat den Nachteil, daß das Öl des fast stets stillstehenden Werkes verdickt und daher das Werk nicht anläuft, wenn es ausnahmsweise bei Stromausfällen gebraucht

wird. Daher besteht die Mauthe-Uhr aus nur einem Werk, welches von einigen Übersetzungsrädern des Synchronmotors selbsttätig aufgezogen und dessen **U n r u h s c h w i n g u n g e n** zu der Motordrehzahl und damit zu der Frequenz des Wechselstromes **s y n c h r o n i s i e r t** werden. Diese Synchronisierung ist, wie die Erfahrung bereits bewiesen hat, dadurch in einwandfreier Weise gesichert, daß das **A n s t e c k - k l ö t z c h e n** der Spiralfeder zentrisch zum Unruhmittelpunkt **b e - w e g l i c h** angeordnet ist und durch eine kleine **K u r b e l** von einem Motor-Übersetzungsrade aus um rund 1,5 mm auf- und abbewegt wird.

Die Schwingungs-Sollzahl der Unruh ist 270 Halbschwingungen/min, also $4\frac{1}{2}$ Halbschwingungen sekundlich; die Umdrehungszahl der die Kurbel antreibenden Welle ist halb so groß, so daß jeder Halbschwingung der Unruh eine Auf- oder Abwärtsbewegung des Spiralklötzchens entspricht. Denkt man sich nun eine Unruh mit Spiralfeder ohne Anker allein in eine Uhr eingesetzt, und verändert man dann die Stellung des Spiralklötzchens, beispielsweise nach rechts, so wird die Unruh dieser Bewegung folgen; ihre Schenkel werden sich um den gleichen Winkel nach rechts verstellen, um den das Spiralklötzchen versetzt wurde. Ein in rascher Aufeinanderfolge ausgeführtes Verschieben des Spiralklötzchens wird daher die Unruh in Schwingungen versetzen, und zwar in um so stärkere Schwingungen, je regelmäßiger die Verschiebungen des Klötzchens durchgeführt werden; je genauer sich die sekundliche Anzahl der Verschiebungen mit der sekundlichen Schwingungszahl der Unruh deckt, desto besser sind Verschiebungs- und Schwingungszahl miteinander im Synchronismus.

Das bestätigt drastisch ein Versuch mit der mit einer einregulierten Spiralfeder versehenen Uhr: Stellt man das Ankerrad derartig fest, daß die Ankergabel sich frei bewegen kann, läßt den Motor anlaufen und gibt dann die mit einem Finger festgehaltene Unruh frei, so wird man feststellen können, daß nach rund sechs Sekunden die Unruh $5\frac{1}{2}$ Umgänge schwingt. In dieser kurzen Zeit sind ihre Schwingungen allein durch den Antrieb der Spiralfeder (den Kurbelantrieb) aus dem Stillstand bis zum Höchstwert hochgeschaukelt worden. Weiter ist festzustellen, daß die durch den Kurbelantrieb auf die Unruh einwirkende Schwingungsenergie viel größer ist als die durch die Ankergabel erteilte. Denn ein Versuch lehrt auch, daß bei alleinigem Gabelantrieb rund siebzehn Sekunden vergehen, bis die Unruh auf $5\frac{1}{2}$ Umgänge kommt. Dieser erhebliche Unterschied erklärt sich dadurch, daß der Unruh bei jeder Halbschwingung durch die Gabel ein nur einmaliger, kurzzeitiger Antrieb erteilt wird, während die Kurbel die Spiralfeder und damit die Unruh dauernd steuert. Arbeiten aber (bei laufendem Motor) Gabelsteuerung und Kurbelsteuerung zusammen im Synchronismus, so erhöht sich die Amplitude der Unruh sofort von $5\frac{1}{2}$ auf

lichen Kraft- und Reibungsverhältnisse, von einer Unruh praktisch um so mangelhafter erfüllt, je weniger die Uhr in „Präzisions-Ausführung“ gebaut ist. Um nun die Schwingungen doch möglichst periodisch zu gestalten, ist die besprochene Uhr mit einem Synchronmotor gekuppelt, dessen fast vollkommen periodische Umdrehungen die Spiralfeder über ein Kurbelgetriebe „anstoßen“. Die Unruh erhält also einen doppelten Antrieb und wird dadurch in „erzwungene“ Schwingungen versetzt. Diese erzwungenen Schwingungen entstehen logischerweise durch die Summierung der Gabel- und der Kurbelimpulse, deren Summenkräfte der Unruh einen Schwingungsbogen von bestimmter Größe aufdrücken. Es wurde bereits ausgeführt, daß an der Größe (Amplitude) des Schwingungsbogens der Kurbelantrieb den größeren Anteil hat.

Der Sollwert einer Halbschwingung unserer Uhr ist $270 : 60 = 4,5/\text{sek}$. Wenn also sowohl die durch das Trägheitsmoment der Unruh, die Elastizität (Federkraft) der Spiralfeder und die Größe des Gabelantriebes gegebene freie Schwingungsdauer wie auch die auf die Spiralfeder übertragene Kurbelschwingungsdauer beide gleich 4,5/Sek. sind, so zwingt die überragende Kurbelkraft die beiden Antriebe in zeitengleiche Schwingungen; sie sind genau im Synchronismus und vereinigen sich zu einem Höchstwert des Unruh-Schwingungsbogens. (Die Techniker sagen, es besteht „Resonanz“.) In der Praxis wird jedoch die Unruh ihre Soll-Schwingungszahl nie genau einhalten, wie auch der Kurbelantrieb kleine zeitliche Unterschiede zeigt, die jedoch durch die Frequenzsteuerung des Elektrizitätswerkes immer wieder ausgeglichen werden. Wenn wir davon absehen, daß auch die Energie des Gabel- sowie des Kurbelantriebes infolge von Kraft- und Reibungsänderungen nicht konstant sind, so haben wir bei solchen Abweichungen also erzwungene Unruhschwingungen zu betrachten, die durch zwei Energien von mehr oder weniger ungleicher Schwingungsdauer zu stande kommen. Kennen wir die Größen der Kräfte und stellen ihren zeitlichen Verlauf graphisch dar, so erhalten wir somit zwei Schaulinien mit ungleichen Wellenlängen. Die Summierung von Schwingungen ungleicher Wellenlängen ergibt stets eine Abnahme der Summenkräfte, in unserem Falle also durch sie bewirkt eine Verkleinerung der Schwingungsweite der Unruh. Wird diese Verkleinerung bedeutend, so ist es erklärlich, daß die Uhr aus dem Synchronismus mit der Frequenz des Wechselstromes fällt; denn die kleinen Schwingungen verlaufen schneller als die großen. Warum aber durch die Ungleichheit der Wellenlängen eine Abnahme der Summenkraft bedingt ist, wollen wir uns im Prinzip noch klarmachen.

Zwecks möglichst einfacher Darstellung sei als ein beispielhafter Fall recht erheblicher Abweichung der beiden Schwingungen angenommen, daß die freien, d. h. noch nicht durch die Kurbel beeinflußten Unruh-

1½ Umgänge, so daß die Unruh in kurzen Abständen prellt. Dieses Prellen ist ohne Einfluß auf die Regelmäßigkeit der Schwingungen und damit auf den Synchronismus, eben infolge der ständigen Steuerung.

Die Kurbelsteuerung stellt eine vom Motor ausgehende, zeitlich *selbstständige* Beeinflussung der Unruh dar. Der Gabelantrieb ist dagegen zeitlich *unselbstständig*, weil er von den Auslöse-Impulsen der Unruh abhängt. Somit muß, wenn zwischen Motorumdrehungen und Zeitangabe der Uhr Synchronismus bestehen soll, die *Zeitfolge der Unruhschwingungen zu der Kurbelsteuerung phasengleich sein*. Das heißt nicht, daß etwa im Motoranlaufstadium die Kurbelsteuerung zeitengleich mit den Unruhschwingungen einsetzen muß; die *zwangsläufige* Kurbelsteuerung erzwingt diesen Gleichlauf nach wenigen Schwingungen. Es ist vielmehr erforderlich, daß die *Zeitabstände zwischen den einzelnen Unruhschwingungen den Zeitabständen der einzelnen Kurbelschwingungen gleich sind*. Da die Kurbelsteuerung das kommandierende Organ für die genaue Zeitangabe ist, so muß die Unruh-Schwingungszahl durch *genaue Einstellung der Spiralfederlänge* auf einen innerhalb der „*Synchronisationsgrenze*“ gelegenen Wert gebracht werden. Dieser Wert ist durch Versuche festgelegt worden; es ergab sich, daß die Unruh noch sicher der Motorsteuerung folgt, wenn ihre Schwingungen mit einem Plus oder Minus von fünfzehn Halbschwingungen von dem Sollwert abweichen, wenn also die Unruh zwischen 255 und 285 Schwingungen je Minute macht. Andererseits darf die Periodenzahl des Wechselstromes ohne Störung der Synchronisierung um vier Prozent von ihrem Sollwert abweichen. Es ist selbstverständlich dem Uhrmacher ein leichtes, eine Spiralfeder so zu stecken, daß die Unruh eine zwischen den angegebenen Grenzen liegende Schwingungszahl einhält; es wird ferner selbst kaum in einem nicht frequenzgesteuerten Netz vorkommen, daß bei der Frequenz von 50 Perioden Schwankungen von zwei Perioden entstehen; in einem frequenzgesteuerten Netz aber bestimmt nicht.

Es ist sehr aufschlußreich festzustellen, wie sich das Verhältnis der Unruhschwingungen zu den Kurbelsteuerungen bei mangelhafter *Synchronisierung* gestaltet. Die nachstehenden kurzen Ausführungen behandeln diese Frage.

Die auf eine Schwingungszahl in der Zeiteinheit oder, anders ausgedrückt, auf eine bestimmte Schwingungsdauer abgestimmten Halbschwingungen einer Uhr *sollten „periodisch“ verlaufen*, sich in graphischer Darstellung zu *regelmäßig geformten Schaulinien* zusammensetzen lassen. Eine Schwingung gilt dann als periodisch, wenn sowohl die aneinander gereichten Schwingungen von genau gleicher Zeitdauer sind, wie auch wenn in den verschiedenen Zeitabschnitten der Schwingungsdauer sich der gleiche Vorgang stets gleichmäßig wiederholt. Diese theoretische Forderung wird, hauptsächlich wegen der veränder-

Schwingungen um 15 Schwingungen je Minute zu langsam sind, daß die Uhr also in der Minute nicht 270, sondern nur 255 Schwingungen macht. Ferner sei gegeben, daß diese Schwingungen periodisch sind, und daß auf die Spiralfeder die ebenfalls periodische Soll-Schwingungszahl von 270/min des Kurbelantriebes einwirkt.

Der unter solchen Umständen entstehende zeitliche Verlauf der beiden freien Schwingungen ist in der Abbildung 60 ohne Berücksichtigung der Amplituden beider Kräfte dargestellt; dabei haben wir der Einfachheit halber ferner vernachlässigt, daß die

Berichtigung

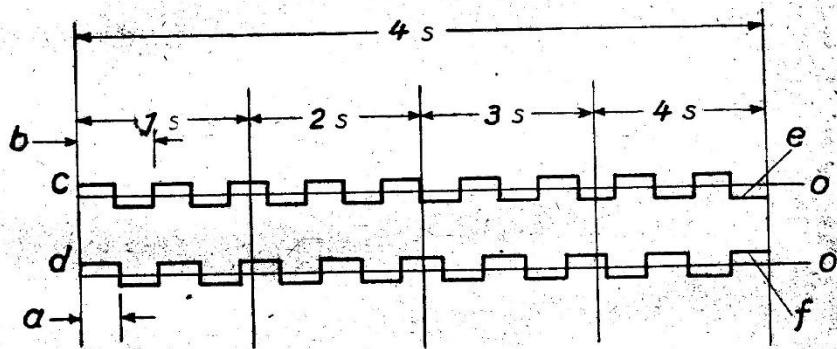


Abb. 60. Schematische Darstellung zweier überlagerter Schwingungen mit verschiedenen Wellenlängen über den Verlauf von 4 Sekunden

Form des Kraftverlaufs während eines Wechsels nicht wie in der Abbildung als gerade Linie in gleicher Höhe verläuft, sondern sich in komplizierteren Kurvenformen darstellt. Die obere Kennlinie c entspricht dem zeitlichen Verlauf der Kurbelschwingungen, die untere d dem der nacheilenden (siehe Anhang, Teil 2, dieses Bandes) freien Unruhschwingungen. Bezeichnet man die Strecke a , die einer Unruh-Rechtsschwingung entspricht, als „positiven“ und die anschließende, unterhalb der Mittellinie 0 liegende Strecke als „negativen“ Wechsel (siehe Anhang, Teil 1, dieses Bandes), so ergibt sich eine Periodenzahl von $255 : (60 \times 2) = 2,125$ und eine solche des Kurbelantriebes von $270 : (60 \times 2) = 2,25$. Die beiden Kennlinien reichen über vier Sekunden; die positiven und negativen Zeitabschnitte sind durch Senkrechte zu einer Zickzacklinie verbunden, so daß je ein Rechts- und Linkskurbelantrieb bzw. je eine Rechts- und Linksschwingung sich zu einer Periode b zusammensetzen.

Infolge der ungleichen Schwingungsdauer bzw. Periodenzahl ($2,125 : 2,25$) ergibt sich nun, wie die Abbildung nachweist, daß ein Aneinanderreihen der Einzelschwingungen zu immer größeren zeitlichen

Differenzen zwischen Kurbel- und Unruhschwingungen führt. Man erkennt beispielsweise sehr deutlich, daß nach Verlauf der zweiten Sekunde die Kurbel den fünften positiven Wechsel bereits vollendet hat, während die Unruhschwingungen genau um einen halben Wechsel nacheilen. Am Schluß der vierten Sekunde ist diese Nacheilung bereits auf einen ganzen Wechsel angewachsen; denn achtzehn Kurbelwechsel stehen siebzehn Unruhwechseln gegenüber. Dadurch aber ergibt sich die Tatsache, daß der achtzehnte Kurbelwechsel e negativ und der siebzehnte Unruhwechsel f positiv ist, mit anderen Worten: Unruh-Schwingung und Kurbelantrieb arbeiten in entgegengesetzter Richtung.

Hiermit haben wir auch den Beweis für die Abnahme des erzwungenen Schwingungsbogens der Unruh bei zeitlicher Verschiebung der beiden Antriebskräfte gewonnen. Beträgt beispielsweise die freie Schwingungsenergie der Unruh 1 cmg und die des Kurbelantriebes 4 cmg, so ergibt sich nach der Darstellung in der Abbildung für den letzten Wechsel der

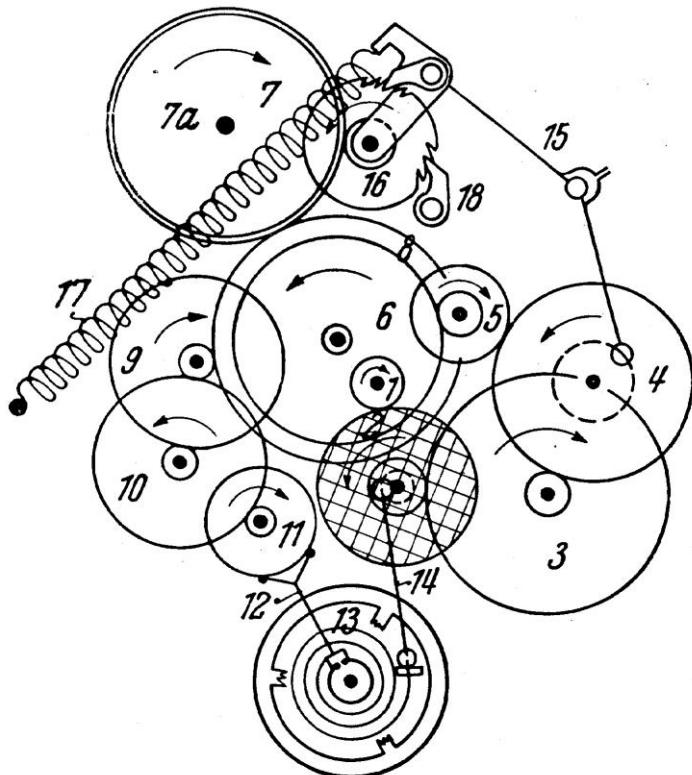


Abb. 61. Schema der Mauthe-Gangreserve-Synchronuhr

vierten Sekunde ein Summenantrieb von $4 - 1 = 3$ cmg. Die angenommene Phasenverschiebung läßt also die Antriebsenergie für den Verlauf dieses einen Wechsels von 5 auf 3 cmg oder auf 60 % sinken. Die Abbildung lehrt weiter, daß dieses Absinken der Energie der erzwungenen Schwingung schon bei dem ersten Wechsel beginnt, um bis zum achtzehnten Wechsel zuzunehmen. Bei einer Weiterverfolgung der zeitlichen Verschiebungen wird man ein periodisches Anwachsen und Abklingen der Antriebsenergie der erzwungenen Schwingung feststellen. Klappt man nämlich die Kennlinien der

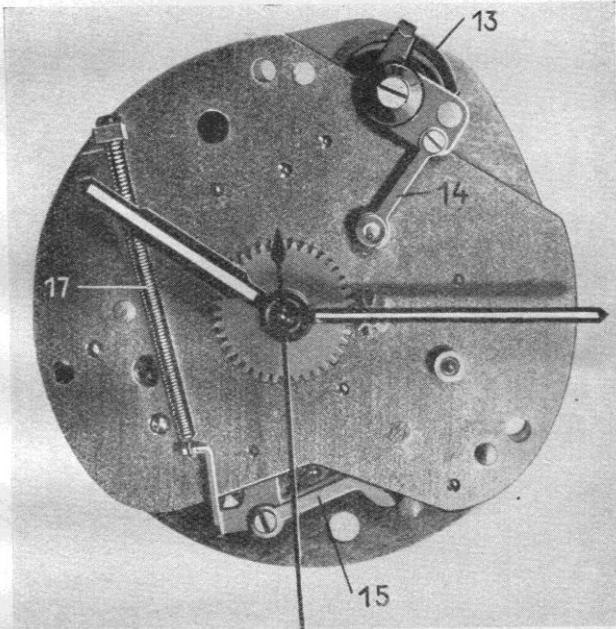


Abb. 62a. Vorderansicht der Mauthe-Gangreserve-Synchronuhr

Abbildung nach rechts um, so entsteht im Spiegelbild das Verhältnis für die nächsten vier Sekunden. Die Verzögerung der Unruh-Schwingungen wird ein Ansteigen der Energie ergeben, um am Ende der achtten Sekunde mit dem Höchstwert abzuschließen. Eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Schwingungssystemen der Uhr erzeugt somit eine periodisch verlaufende veränderliche Schwächung der Summenenergie.

Bis zu welchem Grade nun die Uhr eine Phasenverschiebung verträgt, um noch eben synchron mit der Stromfrequenz zu laufen, wird allgemeingültig unter Berücksichtigung der hier vernachlässigten verschiedenen Einflüsse wie Reibung, Dämpfung usw. nur durch die Auswertung

von einer Reihe oszillographischer Aufnahmen feststellbar sein. Praktische Einzelversuche haben sehr günstige, vorstehend bereits mitgeteilte Grenzen ergeben.

In der Abbildung 61 ist die Anordnung der Werkteile schematisch dargestellt; in den Abbildungen 62a und 62b sind die Einzelheiten in Ansicht erkennbar. Das Motortrieb 1 greift in das aus Isoliermaterial bestehende Rad 2 ein, auf dessen vorstehender Triebwelle ein Exzenter sitzt, der mittels Kurbelstange 14 das Spiralklötzchen auf- und abbewegt,

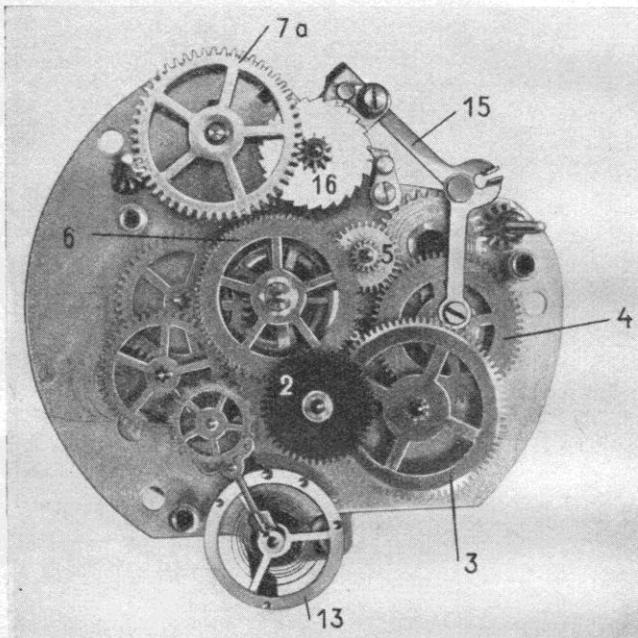


Abb. 62b. Räderwerk der Mauthe-Gangreserve-Synchronuhr

wie dies aus Abbildung 61 deutlich ersichtlich ist. Ein Übersetzungsrad 3 treibt von dem Trieb des Rades 2 aus das Aufzugrad 4 an, das über eine Scherenkupplung 15 einen auf der Welle des zweiten Aufzugrades 16 angebrachten drehbaren Aufzugarm mit Aufzugklinke bei jeder Umdrehung nach unten zieht. Ist das geschehen, so zieht bei weiterem Drehen des Rades 4 die lange Schraubenfeder 17 die Aufzugklinke nach oben, wodurch das Rad 16 um einen Zahn nach links gedreht wird, so daß das mit dem Trieb dieses Rades im Eingriff stehende, auf dem Federkern des Federhauses 7 befestigte Rad die Feder ein wenig aufzieht. Die Sperrklinke 18 schützt das Federrad gegen Rücklauf; ein

in dieses besonders eingreifendes Trieb mit nach hinten vorstehender Welle ermöglicht den Aufzug der Feder von Hand.

Ist die Zugfeder ganz aufgezogen, so kann die Feder 17 mittels der Aufzugklinke das Rad 16 nicht weiter nach oben ziehen. Wenn dann das Rad 4 die Kurbelstange 15 in ihre tiefe Lage (nach oben) dreht, so öffnet sich ihre Schere, so daß Klemmungen und Verbiegungen nicht entstehen. Diese Aufzugvorrichtung ist ganz besonders einfach.

Das Federhaus steht in Eingriff mit dem Minutenrad 8, das die Kraft über die Räder 9 und 10 zum Hemmungsrad leitet. Die Feder läuft in acht bis neun Stunden ab; man kann diese Gangreserve als genügend groß ansehen.

Das Aufzugrad 4 treibt über das Rad 6 den Sekundenzeiger an. Diese geschickte Anordnung gibt eine Kontrolle der Stromunterbrechungen: Bleibt der Strom aus, so bleibt der Synchronmotor stehen und mit ihm auch der Sekundenzeiger. Die Uhr geht dann außer Synchronismus weiter und mit ihr der Minuten- und der Stundenzeiger. Bei Stromrückkehr läuft der Motor selbsttätig an; die Kurbel 14 dreht sich wieder, und das überragende Kraftmoment der Verschiebungen des Spiralklötzchens bringt die Uhr nach kurzer Zeit wieder in den Synchronismus mit der Frequenz des Wechselstromes.