

Zeitgemäße Ermittlung von Gangfehlern der Uhr

Kurt Hänsel, Stuttgart

Die Wiedergabe einer exakten Versuchsarbeit mit gründlichen Untersuchungen ist immer interessant. Während wir in Nr. 13/54, Seite 14, teilweise die Theorie solcher Ermittlungen behandelten, erklärt im Nachstehenden der Praktiker am Werkstisch die wahrhaftige Auswertung der Diagramme.

In einer Untersuchungsreihe mit Hilfe der Zeitwaage werden die einzelnen Phasen der Ermittlung von Störeinflüssen auf den Gang der Uhr aufgezeigt. An einem Beispiel soll die systematische Untersuchung des Uhrganges, mit dem Ziele eindeutiger Schwerpunktsbestimmung, besprochen werden. Damit soll ein Einblick in das Wesen exakter Versuchsarbeit gegeben werden, durch die es mit den heute zur Verfügung stehenden Prüf- und Meßgeräten möglich ist, die seit Jahrzehnten und zum Teil seit Jahrhunderten in der Uhrentechnik geltenden Regeln und Erkenntnisse kurzzeitig zu überprüfen und ihre Gültigkeit auch für die Armbanduhr nachzuweisen.

Diese Regeln sind ja seinerzeit an Chronometern und Präzisionstaschenuhren ermittelt und vornehmlich für diese Uhren aufgestellt worden. Die Armbanduhr ist aber nicht eine einfache lineare Verkleinerung der geometrischen Verhältnisse einer Taschenuhr, wenngleich die kinematische Kette vom Antrieb zum Gangregler dieselbe ist. Die im folgenden untersuchten Regeln sind jedoch auch bei der heutigen Armbanduhr durchaus zu beachten. So ist in erster Linie gerade bei der am Arm getragenen Uhr das Hauptsorgenkind der außermittige Schwerpunkt des Schwingsystems, und keine Uhr verläßt die Fertigung oder die Reparaturwerkstatt, ohne mehr oder weniger mit einem solchen behaftet zu sein. Die folgende Darstellung wird zeigen, daß es auch kaum anders sein kann.

Vor allem kann es nicht anders sein, wenn nach der alten Methode die Auswuchtung der Unruh auf der Unruhwaage ausgeführt wird. Will man den heutigen Ansprüchen einigermaßen gerecht werden, so muß die Schwerpunktbeseitigung durch dynamisches Auswuchten des ganzen Schwingsystems vorgenommen werden. Mit der Zeitwaage ist man in der Lage, diese Auswuchtung an der gehenden Uhr auszuführen, indem man als Schwerpunktsanzeiger den Gang der Uhr benutzt. Es ist eine der vorstehend angedeuteten Regeln, daß eine Uhr in derjenigen vertikalen Lage größtes Vorgehen zeigt, in welcher der Schwerpunkt in der Ruhelage der Unruh unterhalb der Unruhachse liegt. Dieses Vorgehen ist umso größer, je kleiner die Schwingungsweite ist. Bei einer Amplitude von 220 Grad ist ein Unruhschwerpunkt ohne Einfluß auf den Gang, und über 220 Grad ist seine Wirkung umgekehrt, d. h. ein unter der Unruhachse liegender Schwerpunkt hat dann größtes Nachgehen zur Folge.

Man wird in der Regel so vorgehen, daß man bei etwa 180° Amplitude in den vier vertikalen Hauptlagen, nämlich Krone oben, Krone rechts, Krone unten und Krone links, den Gang feststellt. Aus den erhaltenen Werten kann man dann auf die Lage der Uhr schließen, in der größtes Vorgehen stattfindet. In den meisten Fällen wird dies irgendeine Zwischenlage sein. Wesentlich genauer findet man diese Stelle, wenn die Uhr während der Gangmessung kontinuierlich um die Zeigerachse gedreht wird. Die Firma R. Greiner, Lagenthal/Schweiz, hat für diesen Zweck ein Drehmikrofon entwickelt, das die

Drehung automatisch ausführt. Mit diesem Gerät wurden die hier beschriebenen Untersuchungen zum großen Teil durchgeführt. Eine Vollumdrehung erfolgt in etwa einer Minute. Zur Gangmessung wurden die Zeitwaagen Chronografic und Vibrograf benutzt. Bei der untersuchten Uhr handelt es sich um eine Armbanduhr, die die Gangbedingungen für Armbandchronometer erfüllt. Da die Chronografic-Zeitwaage die Standkurve in Form von Nadelstichen aufzeichnet, die in der Bildwiedergabe nicht sichtbar wären, wurden die gestochenen Kurven durch daraufgezeichnete Linien kenntlich gemacht. Die zuzuordnenden Vertikallagen der Uhr sind jeweils am Rande des Schriebes symbolisch dargestellt.

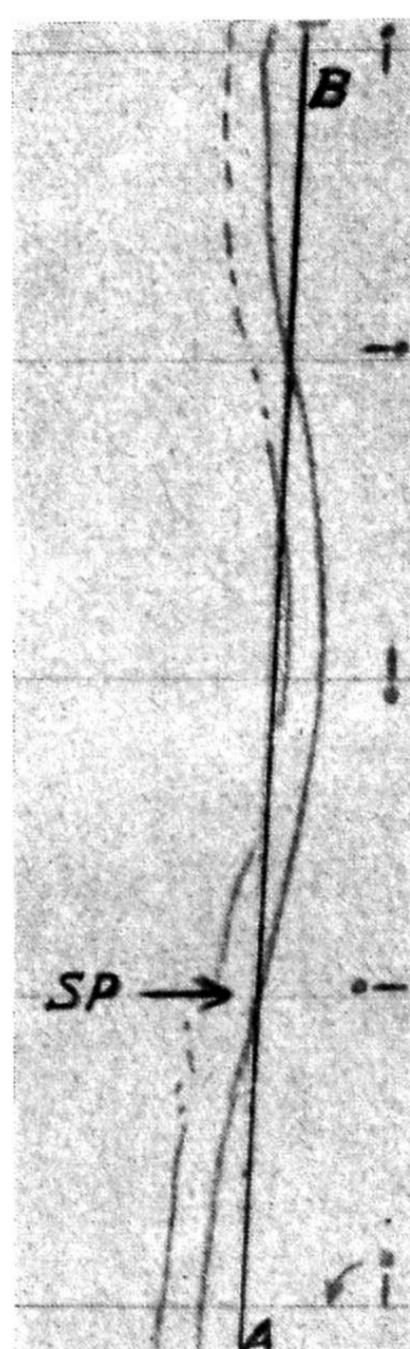


Abb. 1

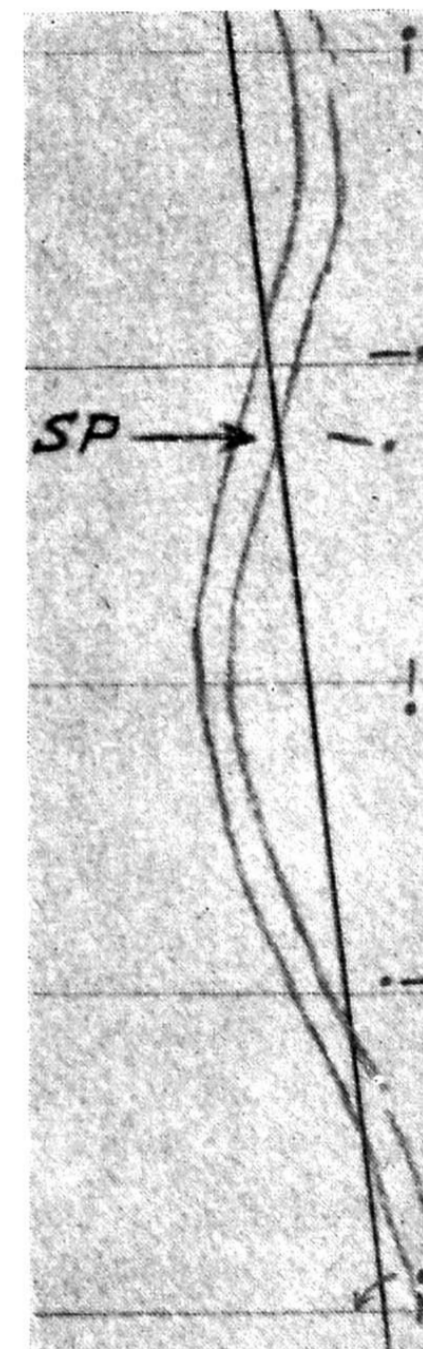


Abb. 2

Abb. 1 zeigt die erste Aufzeichnung mit unveränderter Uhr. Das Diagramm umfaßt eine volle Umdrehung der Uhr während einer Minute. Es ist deutlich eine Sinuskurve mit leichter Rechtsneigung zu erkennen. Diese Neigung wurde durch Einzeichnen der Geraden A-B noch hervorgehoben. Das bedeutet, daß die Uhr einen konstanten Vorgang hat, nämlich den für die augenblickliche Messung geltenden mittleren Gang. Die Sinuskurve dagegen kommt zustande durch die diesem konstanten Gang überlagerte Gangänderung, hervorgerufen durch den außermittigen Unruhschwerpunkt. Da für die Versuche eine Unruhamplitude von 180° gewählt wurde, zeigt die Stelle größten Vorgehens an, daß in dieser Lage der Uhr der Schwerpunkt unterhalb der Unruhachse liegt. Dieses maximale Vorgehen gegenüber dem mittleren Gang (A—B) findet hier in der Lage Krone links statt. In dieser Lage ist also mit Sicherheit der Schwerpunkt unter der Achse der Unruh.

Um nun den Schwerpunkt auszugleichen, wurde versuchsweise in der ihm gegenüber liegenden Stelle ein 0,02 mm starkes Unterlegscheibchen unter eine Unruhschraube gelegt. Das nun erhaltene Diagramm der Abb. 2 läßt erkennen, daß etwa das Dreifache des Erforderlichen zuviel unterlegt worden ist. Wie groß die Wirkung des Scheibchens war, ist auch an dem entstandenen beachtlichen Nachgehen (Linksneigung der Geraden) zu ermesen. Das größte Vorgehen ist jetzt in Lage Krone rechts.

Das Unterlegscheibchen wurde wieder entfernt und die in Lage Krone links unter der Unruhachse befindliche Unruhschraube mehrmals leicht angefeilt, bis endlich das in Abb. 3 gezeigte Diagramm entstand. Hier ist es kaum noch möglich, eine eindeutige Schwerpunktlage anzugeben. Störend wirkt jetzt der durch das Erleichtern der Unruh größer gewordene mittlere Vorgang. Durch genaues Ausmessen kann man jedoch feststellen, daß in der Lage Krone unten die Stelle größten Vorgehens ist. Diese Verlagerung des Schwerpunktes ist auf das Wirksamwerden von bisher durch den relativ doch großen Schwerpunktfehler verdeckt gewesen anderen Einflüssen zurückzuführen.

Will man die Untersuchung weiterführen, so muß der mittlere Gang auf etwa Null gebracht werden, denn im Bereich um Null herum ist die Auflösung der Zeitwaagemessung am größten, d. h. die Meßgenauigkeit hat dort ihr Maximum. Abb. 4 zeigt das gleiche Gangverhalten wie Abb. 3, jedoch nach Verstellen des Rückzeigers. Die Stelle stärksten Vorgehens tritt wesentlich deutlicher in Erscheinung.

Nun wurde die in der Schwerpunktsrichtung liegende Unruhschraube mit feinsten Feile ganz wenig erleichtert. Der mittlere Gang ist jetzt Null geworden, wie Abb. 5 zeigt. Ein kleiner Schwerpunkt scheint in Lage Krone oben noch unter der Unruhachse zu liegen. Aber nun ist eine sichere Beurteilung nicht mehr möglich, denn in dieser Größenordnung können auch kleinste Verzahnungsfehler bereits verfälschend wirken. Außerdem ist jetzt auch der Einfluß des Spiralschwerpunktes nicht mehr zu vernachlässigen.

Auf die bisherige Weise ist nun nichts mehr auszurichten. Zur Fortführung des Versuches wurde deshalb der Vibrograf

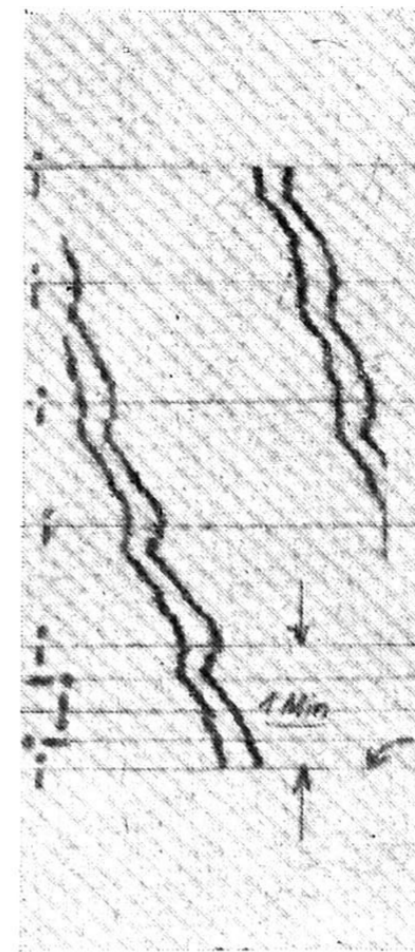


Abb. 6

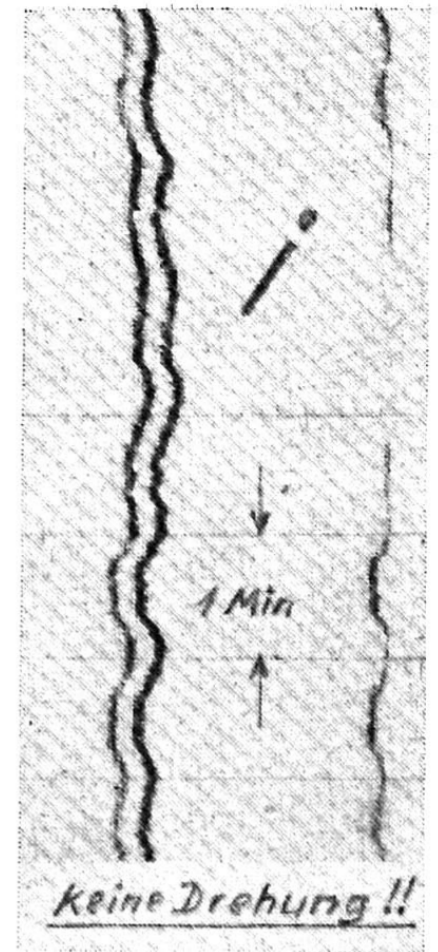


Abb. 7

gewählt, der es gestattet, die Gangmessungen mit kleinerem Papiervorschub und dabei entsprechend größerer Meßgenauigkeit vorzunehmen. Während der Vorschub der bisher benutzten Chronografic 14,46 cm/min beträgt, hat der zur Verfügung stehende Vibrograf einen einschaltbaren kleinen Vorschub von 13,9 mm/min, der also rund zehnmal kleiner ist. Das Diagramm wird in seiner Länge zusammengedrückt, während die Zeitablenkung dieselbe bleibt. Die Ablesegenauigkeit für den Gang wird dadurch rund zehnmal größer, d. h. die Gangbestimmung wird zehnmal genauer.

Die aus Abb. 6 ersichtliche Aufzeichnung wurde sofort anschließend an die vorherige gemacht. Sie gibt also das gleiche Gangverhalten bei Drehbewegung, jedoch bei kleinem Vorschub wieder. Die Gesamtmeßzeit betrug 5 Minuten. Und nun fällt auf, daß diese Kurve zwar periodische Eigenschaften hat, daß sie aber keine Sinuskurve mehr ist, wie sie ein Unruh-schwerpunkt immer angenähert hervorbringen müßte. Um diesen Streifen zu deuten, bedarf es allerdings einiger Erfahrung auf dem Gebiete der Zeitwaagemessung und einiger Kenntnis von den Regulierungsfunktionen des Schwingsystems.

Die Periode ist immer noch rund eine Minute lang. Berücksichtigt man jetzt, daß die Versuchsuhr ein Minutenrad mit 64 Zähnen hat, so daß beim Ablauf der Uhr ein Minutenrad-zahn 56,25 Sekunden lang im Eingriff steht, also rund eine

Abb. 3

Abb. 4

Abb. 5

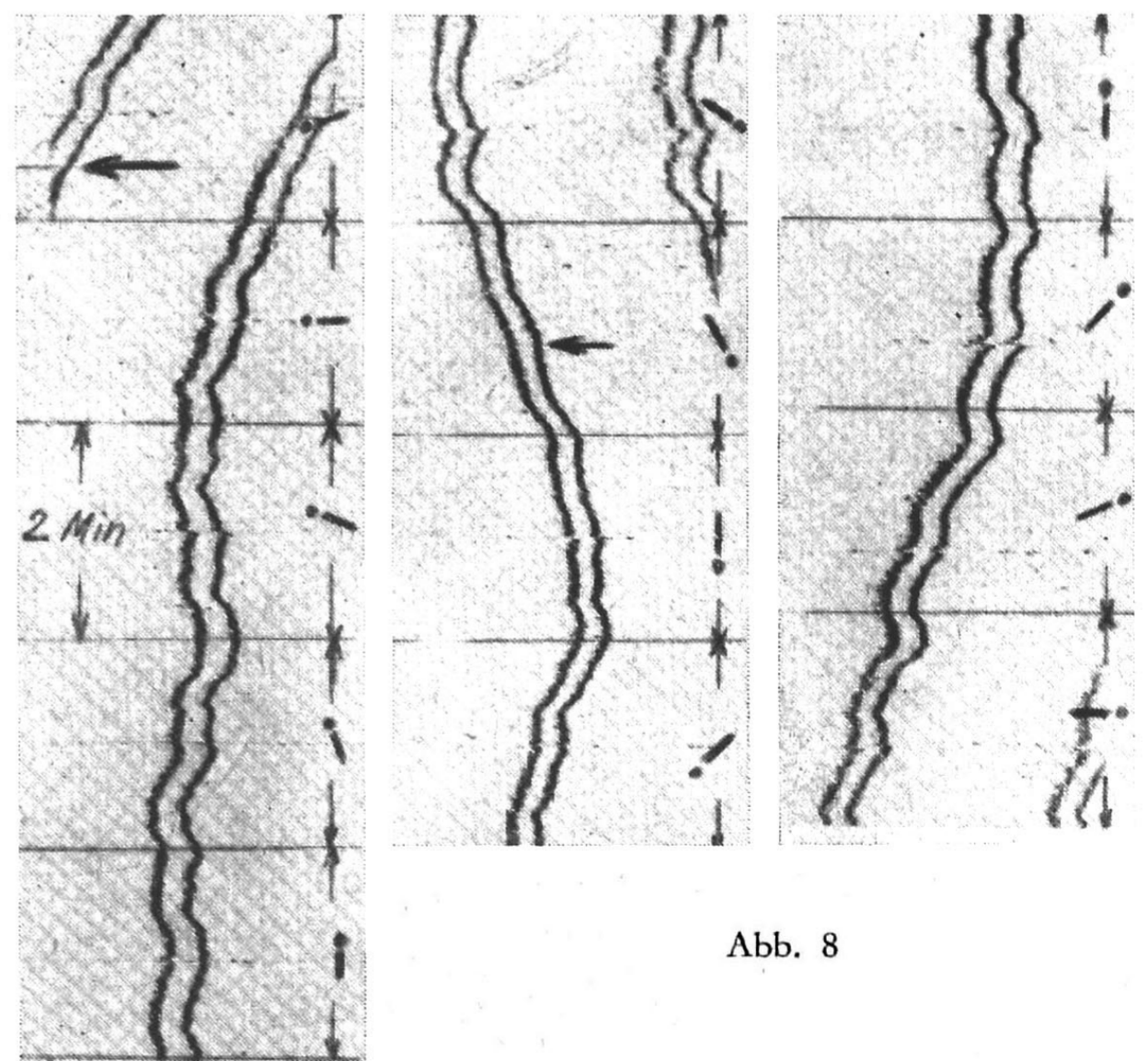
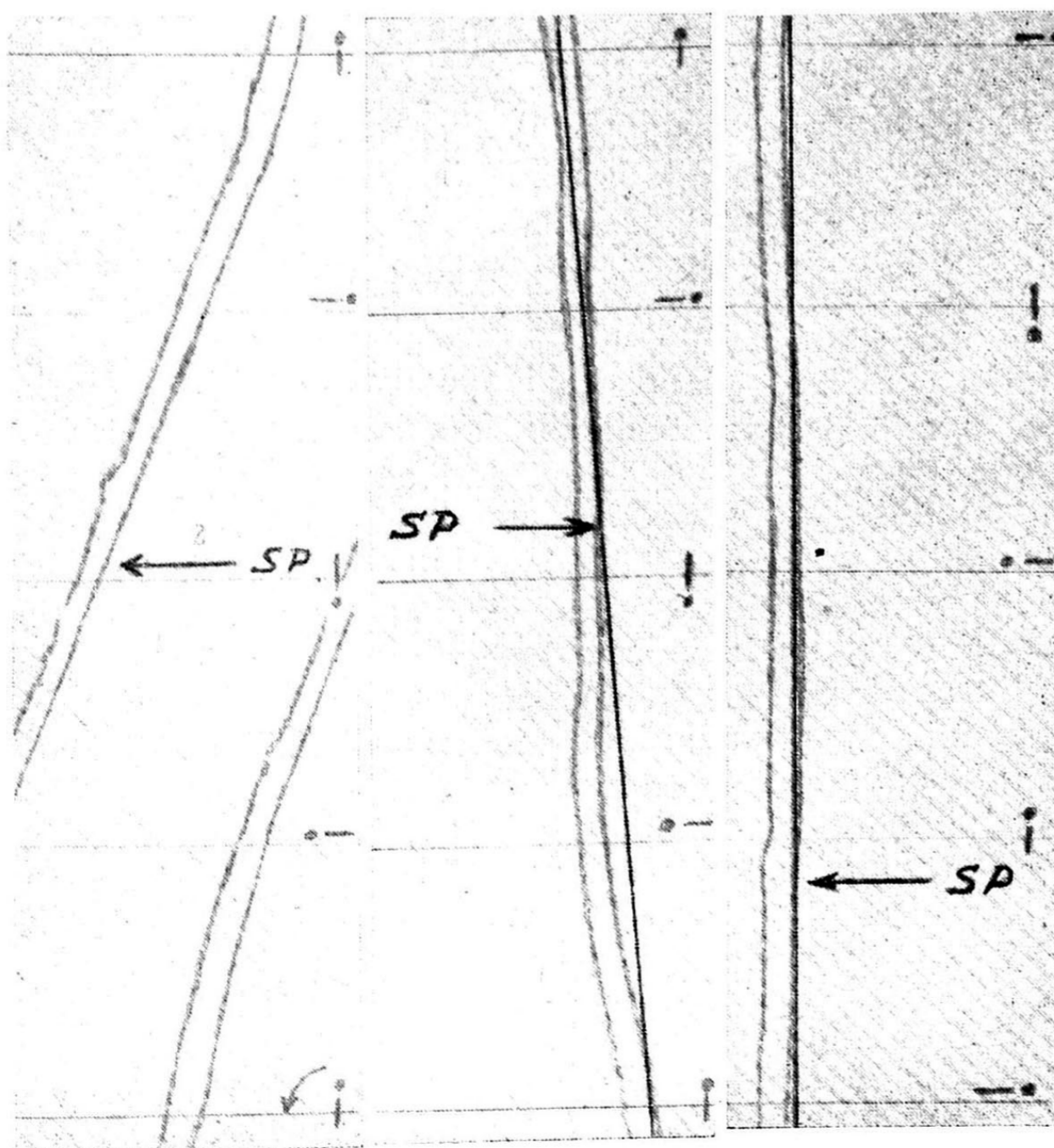


Abb. 8

Minute lang, so darf man annehmen, daß hier u. U. ein Zusammenwirken von Verzahnungsfehler und Schwerpunktfehler vorliegt.

Abb. 7 gibt den Beweis dafür, daß dies tatsächlich der Fall ist. Dieses Diagramm wurde nämlich ohne Drehung der Uhr in Lage Krone rechts oben aufgenommen und hier zeigt sich eine dem vorigen Bild sehr ähnliche Kurve, die ausschließlich einem Verzahnungsfehler zuzuschreiben ist. Die Periodendauer ist wieder rund eine Minute. Die Lage der Uhr war willkürlich gewählt worden. Hätte sie nicht zum Erfolg geführt, so wäre eine um 90° versetzte Lage mit Sicherheit erfolgreich gewesen, denn ein Verzahnungsfehler tritt nur bei derjenigen vertikalen Lage nicht in Erscheinung, bei welcher der Unruhschwerpunkt (in Ruhelage der Unruh) rechts oder links von der Unruhachse liegt. Ein — wenn auch noch so kleiner — Unruhschwerpunkt oder ein größerer Isochronismusfehler sind zum Erkennen eines Verzahnungsfehlers mit der Zeitwaage allerdings immer

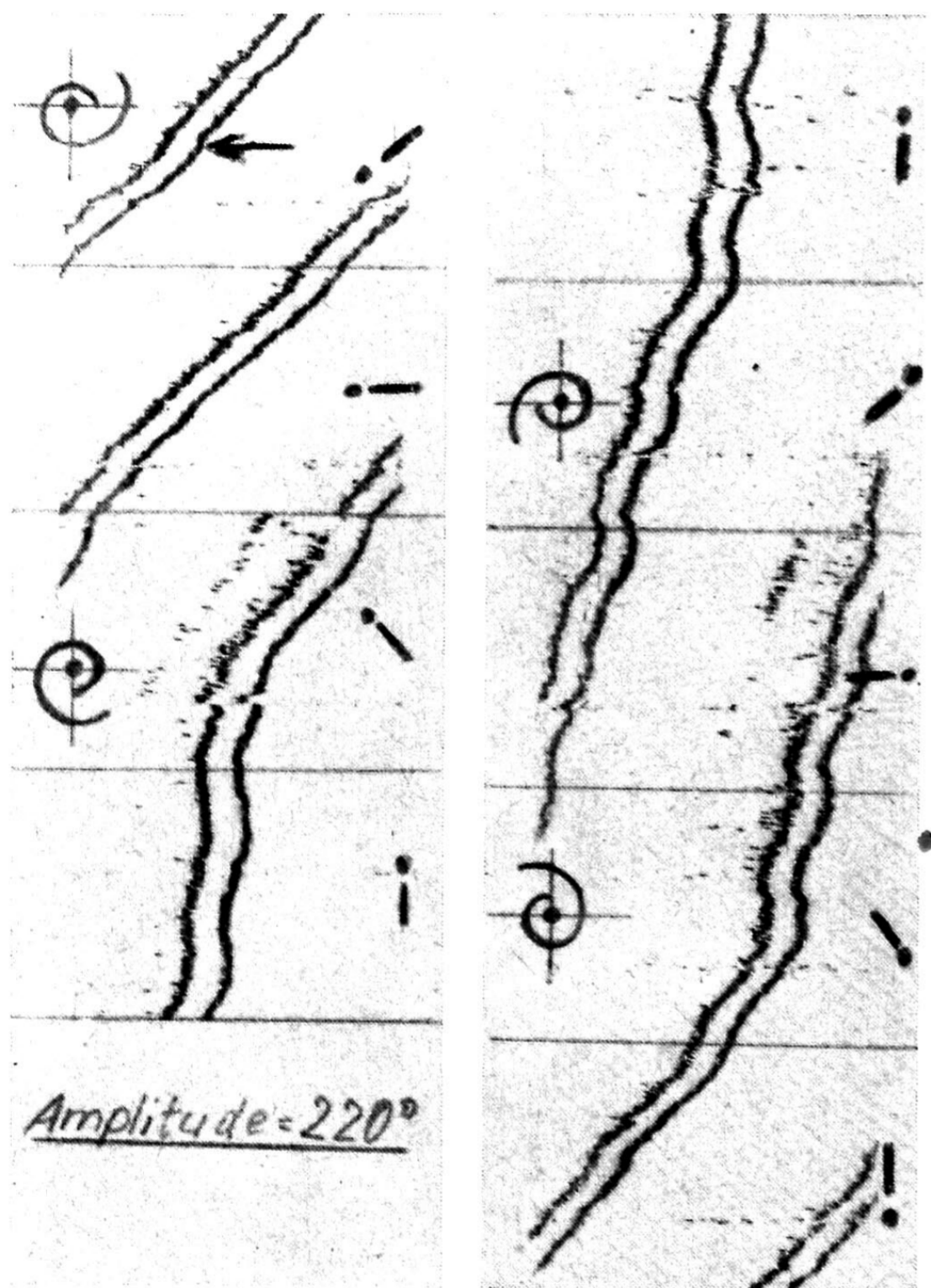


Abb. 9

erforderlich. Aber da ist wohl jede Sorge überflüssig, denn daran mangelt es kaum. Durch die Messung der Abb. 7 wurde also der die Untersuchung störende Verzahnungsfehler festgestellt.

Um die Versuchsreihe in der vorgenommenen Richtung, d. h. hinsichtlich Schwerpunktseinfluß, weiterführen zu können, mußte der Verzahnungsfehler unschädlich gemacht werden. Dieses wurde erreicht, indem die Lagenprüfung von jetzt an nicht mehr mit sich drehender Uhr gemacht wurde, sondern die Uhr wurde jeweils zwei Minuten lang in um 30° auseinanderliegenden Lagen geprüft (Abb. 8). In jeder Lage kristallisiert sich nun der mittlere Gang heraus. Der Verzahnungsfehler stört nicht mehr. Es zeigt sich, daß der aus den mittleren Gängen sich ergebende Kurvenverlauf auch keine Sinuskurve mehr darstellt. Größter Vorgang ist bei Lage Krone links unten, größtes Nachgehen dagegen nicht in der gegenüberliegenden Lage, sondern bei Krone rechts unten. Außer dem eliminierten Verzahnungsfehler sind also noch weitere Ein-

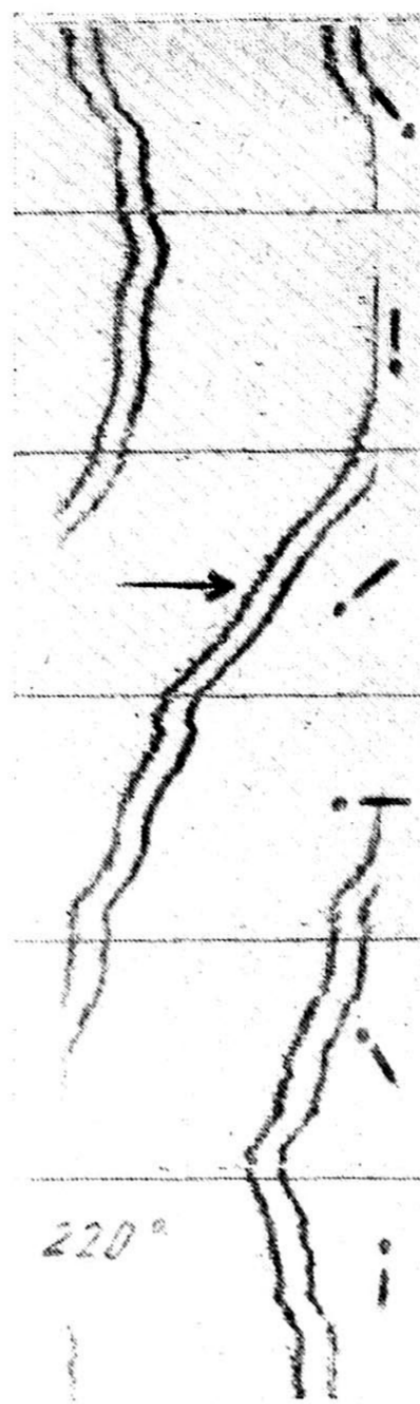


Abb. 10

flüsse vorhanden, die zusammen mit dem Restschwerpunktfehler der Unruh diese Kurve hervorrufen. Dafür kommen mit großer Wahrscheinlichkeit verschiedene Reibungsverhältnisse in den einzelnen Lagen und daher Gangänderungen in Verbindung mit dem Isochronismusfehler, und nicht zuletzt der Schwerpunktseinfluß der Spirale in Betracht.

Der Ort des Unruhschwerpunktes ist jetzt undefiniert. Daß indessen gar kein Unruhschwerpunkt mehr vorhanden ist, darf nicht als sicher angenommen werden.

Nun sollte noch eine experimentelle Bestätigung gefunden werden für das, was in der sogenannten Grossmann'schen Regel zum Ausdruck gebracht ist. Diese Regel ist jedem Regleur bekannt. Sie besagt, daß die Unruhschwingungen in der vertikalen Lage der Uhr eine Beschleunigung erfahren, in welcher der innere erste Halbengang der Spiralfeder oberhalb der Unruhachse verläuft. Es wurde bereits gesagt, daß bei einer Amplitude von 220° ein Unruhschwerpunkt keinen Einfluß auf die Schwingungszeit der Unruh hat, und zwar gilt dies für alle vertikalen Lagen. Nach den letzten Meßergebnissen konnte die Versuchsuhr nur noch einen verschwindend kleinen Schwerpunktfehler haben. Dieser letzte Rest wurde bei der folgenden Prüfung durch Einhalten einer Unruhschwingungsweite von 220° vollkommen unschädlich gemacht. Bei dieser Amplitude wurde die Uhr in jeweils um 45° auseinanderliegenden Vertikallagen je zwei Minuten lang mit kleinem Vorschub geprüft. Die Abb. 9 zeigt das Ergebnis. In das Diagramm ist außer den verschiedenen Uhrlagen auch die zugehörige Lage des ersten inneren Halbanges der Spirale eingezeichnet. Wieder ist eine periodische Abhängigkeit des Ganges von der Lage der Uhr und damit von der Lage des ersten inneren Halbanges zur Lotrichtung zu erkennen. Größtes Vorgehen ist in Lage Krone links-unten, hier verläuft der erste innere Halbengang tatsächlich oberhalb der Unruhachse. Der Einfluß des Spiralschwerpunktes, der in der Grossmann'schen Regel ausgedrückt wird, ist hier ziemlich unverfälscht sichtbar geworden. Um zu beweisen, daß der sicherlich noch vorhandene Rest-Unruhschwerpunkt bei dieser Messung wirklich ohne Einfluß war, wurde in der Lage Krone links-unten, unterhalb der Unruhachse mit einem $0,02$ mm starken Unterlegscheibchen ein beachtlicher Schwerpunkt angebracht. Bei 220° Amplitude wurde, in gleicher Weise wie vorher, eine Lagenprüfung durchgeführt. Trotz des künstlichen Schwerpunktes ist das Ergebnis qualitativ das gleiche wie bei der vorherigen Messung, was Abb. 10 veranschaulicht. Daß der mittlere Gang sich auf Nachgang geändert hat, ist auf die Vergrößerung des Trägheitsmomentes der Unruhe zurückzuführen. Größtes Vorgehen ist aber nach wie vor bei der Lage Krone links-unten.

Es ist somit gelungen, den Unruhschwerpunkt auf ein Mindestmaß zu reduzieren und den Spiralschwerpunktseinfluß mit ausreichender Genauigkeit herauszustellen. Das eingangs gesetzte Ziel konnte also erreicht werden.