

Ing. E. Frankenstein, Glashütte

Die Herstellung von Präzisions-Taschenuhren war in früheren Zeiten ein Privileg der Genfer, der englischen und der Glashütter Uhrenindustrie. Die technischen Fortschritte vergangener Jahrzehnte, durch die die Ganggenauigkeit der Armbanduhren sprunghaft gesteigert wurde, ließ ihre Bedeutung zurücktreten. Trotzdem werden sie als zuverlässige Zeitmesser für den zivilen Bedarf und, in der Ausführung als Borduhr, für die Navigation und wissenschaftliche Zeitbeobachtungen weiter hergestellt und eingesetzt.

Angesichts des Mangels an Literatur auf diesem Gebiet soll dieser Artikel, der in mehreren Folgen erscheint, dem Interessierten einen kurz gefaßten Gesamtüberblick geben. Die Hinweise auf Maßnahmen, die bei der Reglage zu ergreifen sind, werden dem Reparateur nützen und die tabellarischen Übersichten der üblichen Bauformen dem Uhrentechniker.

## 1. Begriff der Präzisions-Taschenuhr

Als Chronometer wird eine Präzisionsuhr bezeichnet, die in verschiedenen Lagen und unter verschiedenen Temperaturen reguliert wurde und ein offizielles Prüfzeugnis erhielt [40].

Präzisions-Taschenuhr nennt man im übrigen einen Zeitmesser, der zur Vorlage bei einer Prüfstelle für Chronometer reguliert zu werden geeignet ist [23] und der Einrichtungen hat, bei kleinsten Gangschwankungen auf eine größte Abweichung von 20 s/Woche reguliert zu werden [8].

Als Borduhren (B-Uhren) oder Deck-Uhren (franz.: Chronomètre de bord, montre-torpilleur; engl.: Deck-watch) werden große Taschenuhren bezeichnet, die amtlich als Chronometer dieser Klasse geprüft sind und bei einer im Abstand von 3 Jahren durchgeführten Wiederholungsprüfung den gleichen Anforderungen genügen.

Teilweise wird zwischen Deck-Uhren für Schiffsgebrauch, Borduhren für die Flugzeug-Navigation und Bord-Chronometern unterschieden, wobei letztere, in einem Holz-

gehäuse mit kardanischer Aufhängung eingebaut, besonders in kleineren Schiffen und Schnellbooten Verwendung finden.

Nach den Festlegungen des Observatoriums Neuchâtel dürfen Taschenuhrwerke einen größten Durchmesser von 50 mm (oder 1964 mm<sup>2</sup> Werkfläche) und eine größte Dicke von 10 mm haben, während für Borduhren ein Größtvolumen von 220 cm<sup>3</sup> (135 cm<sup>3</sup>, wenn Energiequelle nicht eingebaut) zulässig ist.

## 2. Die geschichtliche Entwicklung der Präzisions-Taschenuhr

Die Notwendigkeit, bei der Navigation die Zeit genau bestimmen zu können, führte dazu, daß England, die im Ausgang des Mittelalters maßgebliche Seefahrernation, zur Wiege der Präzisionsuhrmacherei wurde.

Die von *Thomas Mudge* gefertigten Taschenuhren mit freier Ankerhemmung und die von *Earnshaw* mit Chronometerhemmung zählen zu den ersten Präzisions-Taschenuhren. Wesentliche Verbesserungen wurden in Frankreich (*Pierre le Roy*; *Berthoud*) eingeführt. Dabei ragt die Einführung der hochgezogenen Spirale und des Tourbillons durch *Breguet* hervor. Diese im Anfang des 19. Jahrhunderts gemachten Erfindungen führten zu Präzisions-Taschenuhren, deren Ganggenauigkeit in Einzelfällen die der heutigen Fertigung erreichte [46].

Wissenschaftliche Beiträge zur Verbesserung der Präzisions-Taschenuhr lieferten besonders *Philipps* (Theorie der Spiralfederendkurven) *Caspari* (Lage der Ansteckungspunkte zueinander), *Jules Grossmann* (Lage des inneren Ansteckungspunktes) und *Guillaume* (Nickelstahllegierungen für Spiralfedern und Unruhen).

### 2.1. Historische Formen des Antriebs und des Werktautbaus

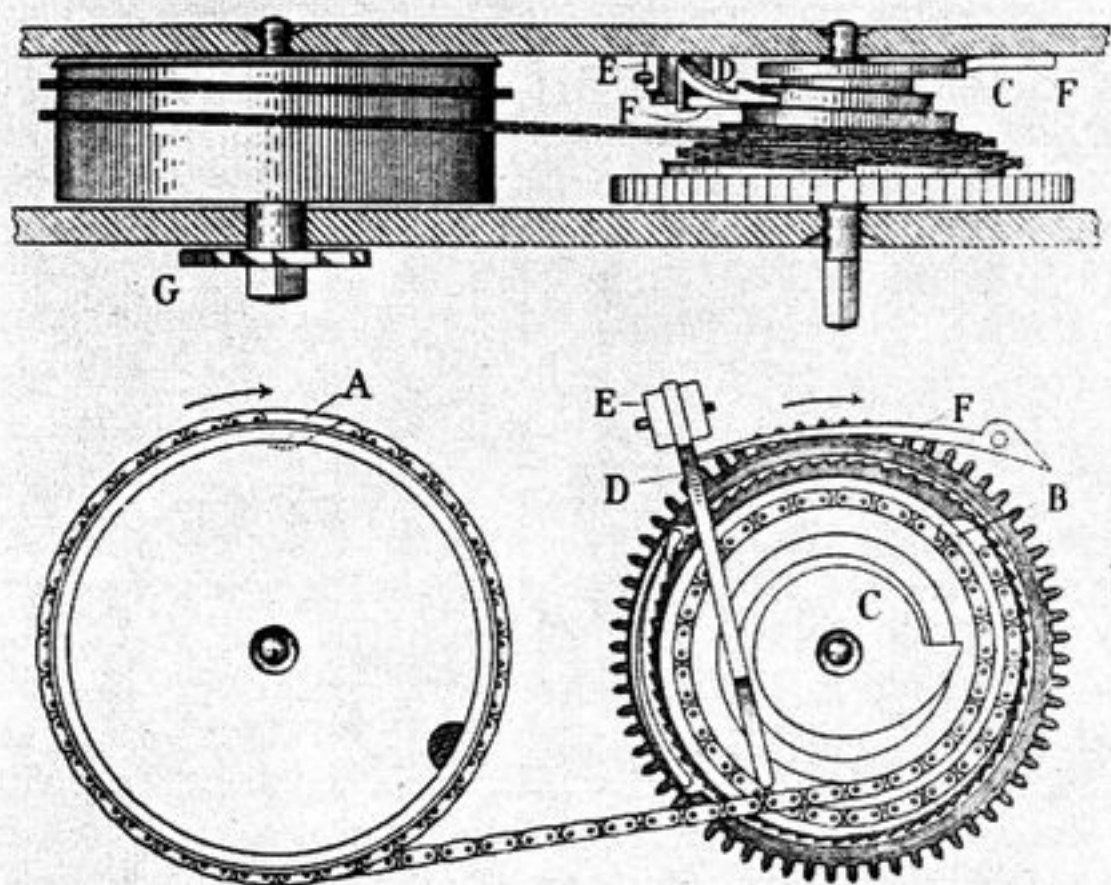
Mangelnder Isochronismus zwang ursprünglich dazu, den ungleichmäßigen Drehmoment-Weg-Verlauf der üblicherweise verwendeten spiralförmigen Antriebsfeder durch eine Schnecke auszugleichen (Bild 1). Eine um die ungezahnte zylindrische Federhaustrommel liegende Kette wird beim Aufziehen auf eine schneckenförmige Bahn am Antriebsrad aufgewunden, so daß bei völlig gespannter Feder die Kette an einem geringeren Hebelarm wirkt.

Diese Einrichtung hat neben dem Kostenaufwand den Nachteil, viel Raum zu beanspruchen und damit die Größe der aktiven Elemente, des Energiespeichers (Federhaus) und des Reglers (Unruh) einzuengen. Uhren mit Chronometerhemmung, die sehr drehmomentempfindlich sind, können aber nur schwer darauf verzichten.

Üblicher war es, die Zahl der Federumgänge durch entsprechende Dimensionierung größer zu wählen und die Drehmoment Spitze beim Vollaufzug durch eine die Umfangszahl beschränkende Stellung [29, S. 104] [35, S. 26] unwirksam zu machen. Am meisten wurde die sogenannte Malteserkreuzstellung [31, S. 232] verwendet (Bild 2), die in der dargestellten Ausführung die Zahl der nutzbaren Umgänge auf vier beschränkt.

Bei einer anderen Ausführung greifen 2 Räder mit langen und kurzen Zähnen, sowie verschieden tiefem Zahngrund (Bild 3) ineinander, wobei die langen Zähne am flachen Zahngrund blockieren. Durch entsprechende Übersetzung

Bild 1. Federhaus mit Schnecke und Sperre gegen Überziehen der Feder (nach *Baillie*, *Watches*)



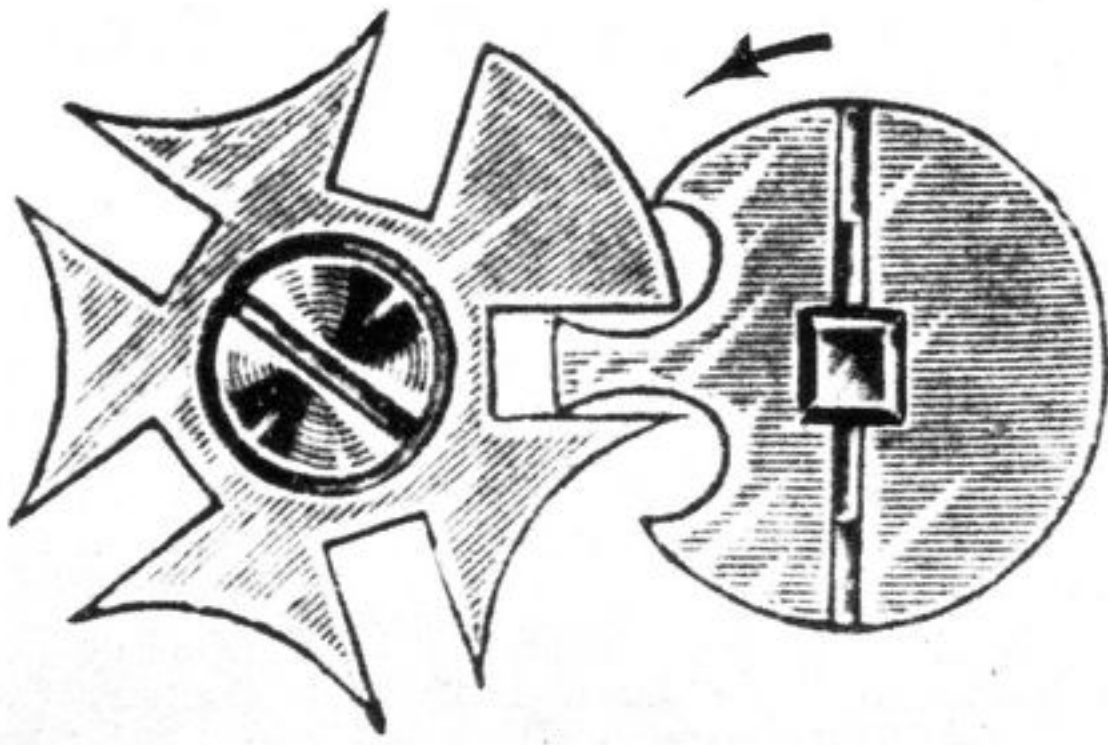


Bild 2. Malteserkreuzstellung für vier Federhausumdrehungen

Bild 5  
Taschenuhr von  
Ulysse Nardin, Genf,  
Schweizer Klobenbauweise

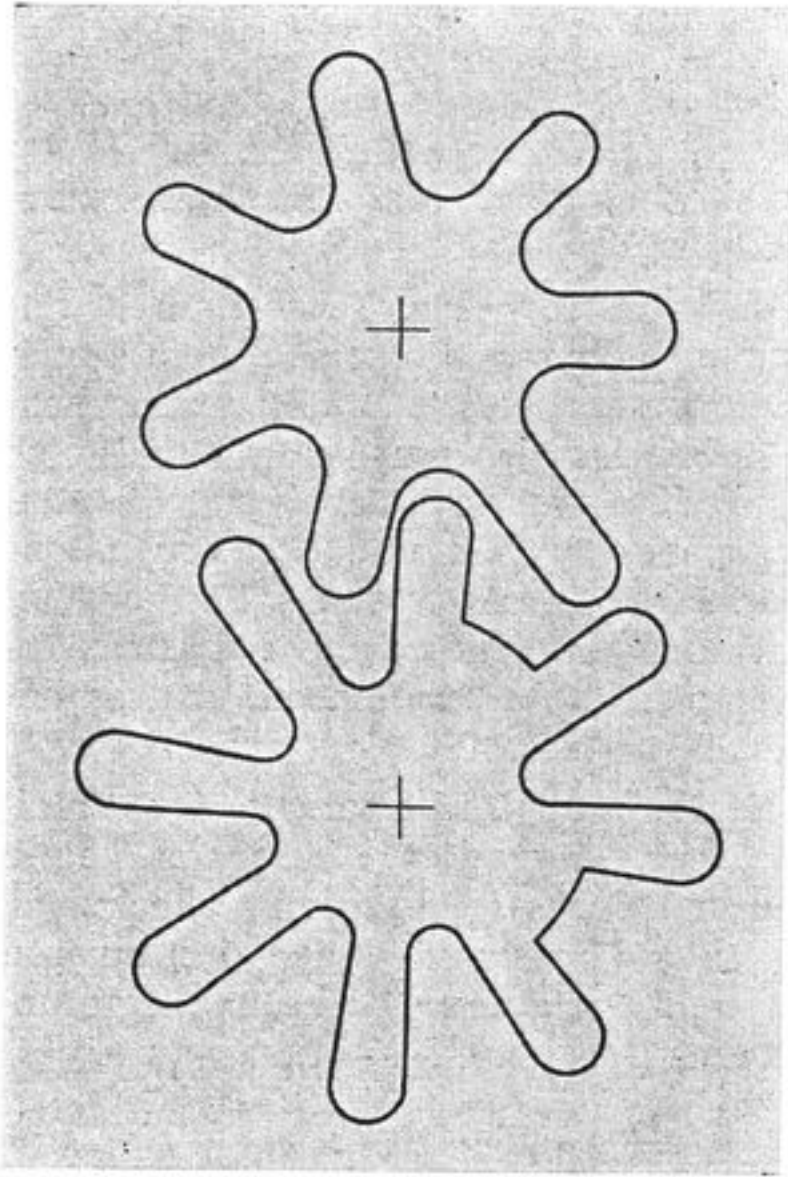


Bild 3. Stellung mit langen und kurzen Zähnen für sechs Federhausumdrehungen

Bild 4a. Taschenuhr von Adolf Lange, Glashütte, mit Stiftenankerhemmung (~ 1850)

Bild 4b. Präzisions-Taschenuhr, Deutsche Uhrenfabrikation Glashütte (~ 1935)

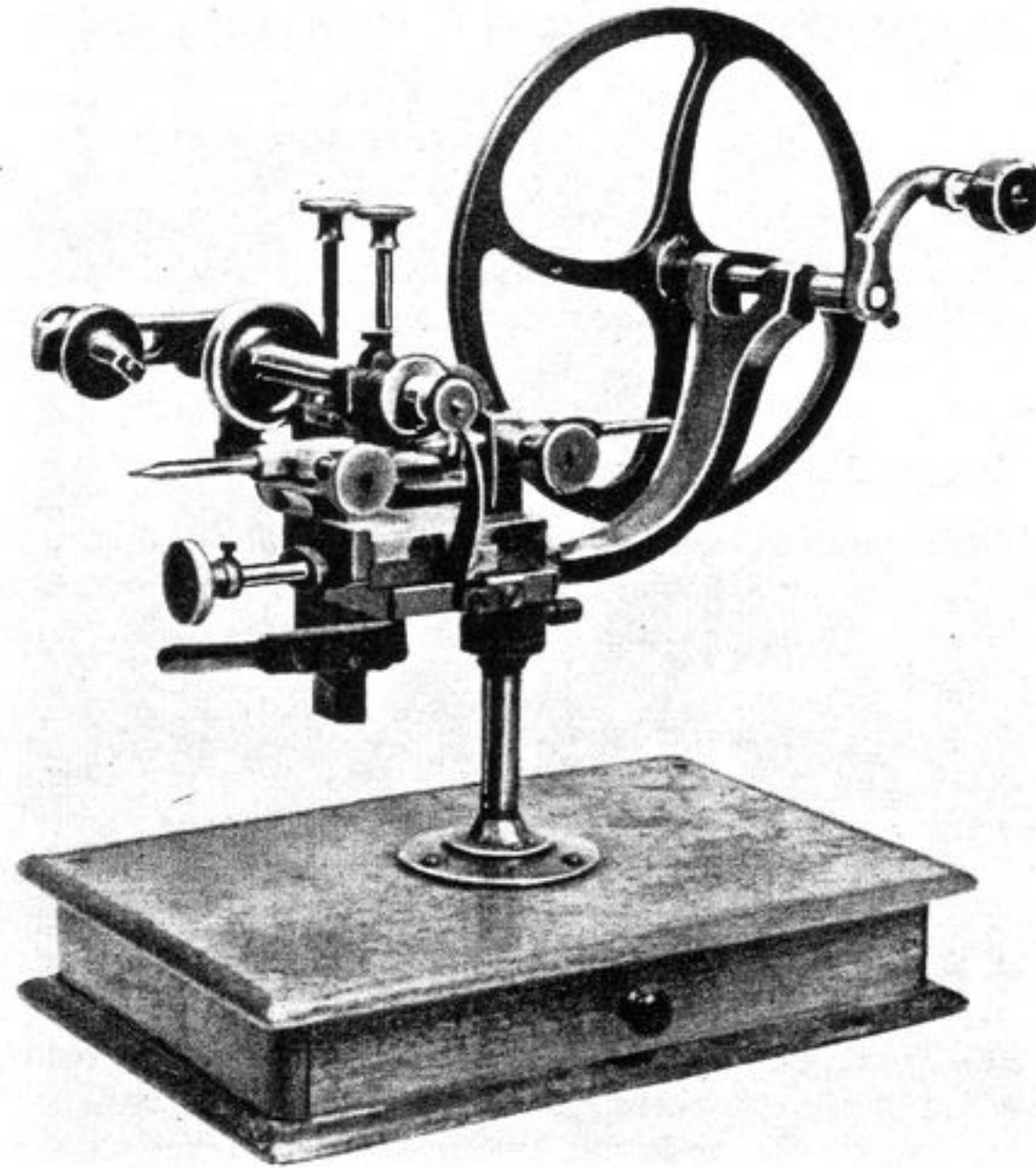
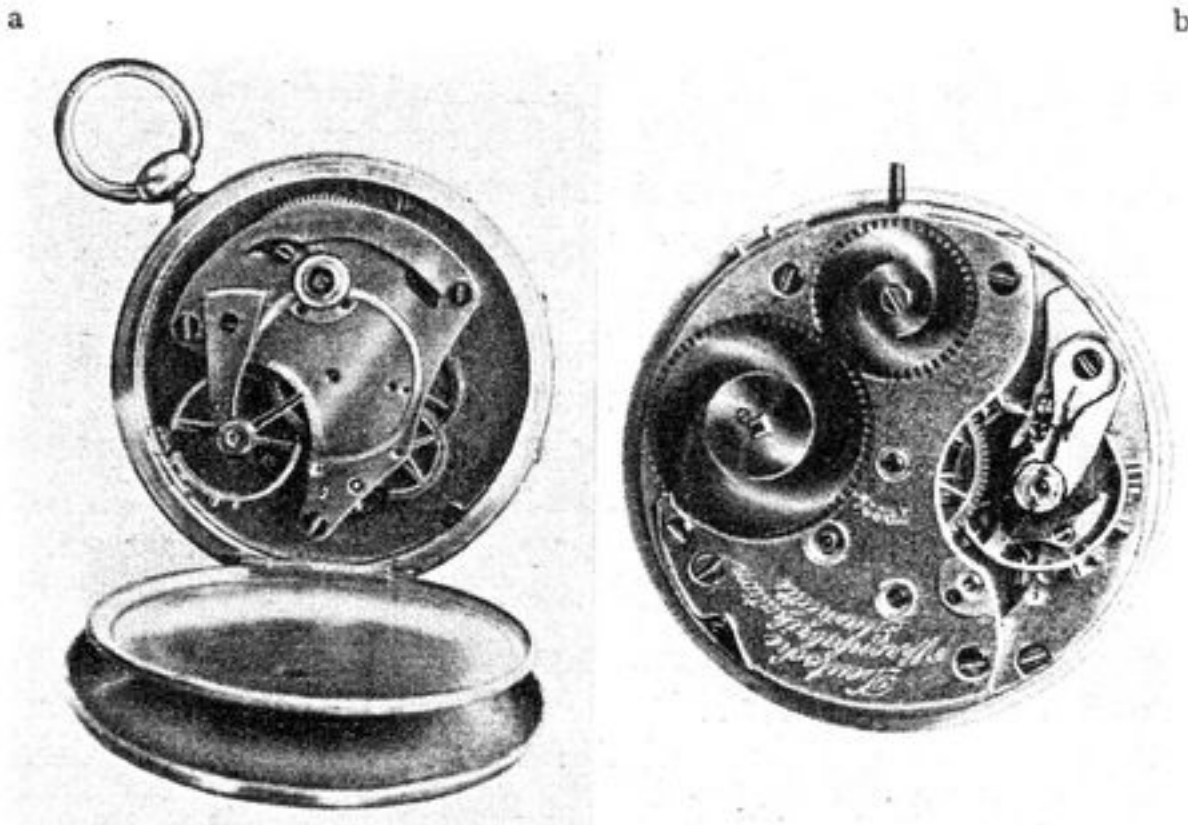


Bild 6. Abwälzfräsmaschine

ist eine beliebige Zahl nutzbarer Umdrehungen zu erreichen. Weitere Varianten nennt Saunier [30, S. 27].

In Verbindung mit der Stellung bewährte sich an Stelle der Schnecke die Verwendung von 2 hintereinander geschalteten Federhäusern, mit denen eine flachere Drehmomentcharakteristik zu erreichen ist [26].

Da die Stabilität des Ganges von der des gesamten Uhrwerkes abhängt, bestand das Gestell überwiegend aus einer Grundplatte, auf der das Räderwerk unter einer gemeinsamen Dreiviertelplatine mit 3 bis 4 Pfeilern gelagert ist (Bild 4). Von der Schweizer, insbesondere der Genfer Uhrentechnik wurde das Klobenwerk, bei dem fast jedes Rad auf der Grundplatte mit Hilfe eines gesonderten Klobens gelagert ist (Bild 5) bevorzugt.

Für das Räderwerk wurde ausschließlich Zykloidenverzahnung angewendet. Um einwandfreien Rundlauf der Räder zu erreichen, wurden die Zähne des aufgenieteten Rades nachgewälzt. Man verwendete dazu Ingoldfräser [9], die die Form eines Triebes mit feilenartig aufgerauhter Oberfläche hatten und die man gegen das Rad abrollen ließ. Noch verbreiteter war die sogenannte Abwälzfräsmaschine (Bild 6), bei der Zahnformfräser verwendet werden, die ebenfalls feilenartig wirken. Bei jeder Fräserumdrehung wird das Rad von einem Mitnehmer um eine Teilung weiter geschoben.

## 2.2. Historische Hemmungen

Präzisions-Taschenuhren wurden zeitweise mit Duplex- [27, S. 330 bis 384] oder Stiftenankerhemmung (alte Werke von Firma Lange, Glashütte, vgl. Bild 4a) ausgeführt. Daneben wurde eine große Zahl spezieller Hemmungen erprobt [49]. Die Chronometerhemmung wurde besonders in England und der Schweiz viel angewendet, jedoch wegen ihrer Neigung, bei zu großer Amplitude doppelt auszulösen, verlassen, zudem, wie *Ditisheim* [16] statistisch nachweist, schon während der stationären Prüfung keine Gangvorteile festzustellen sind. Unter interessantem statistischem Material gibt er die Werte der Tafel 1

Tafel 1. Durchschnitt der mittleren Variationen der von 1862 bis 1899 im Observatorium Neuchâtel eingereichten Taschenchronometer

Variationen [s/d <sup>2</sup> ]	Ankerhemmung		Chronometerhemmung		
	Wippe	Feder	Tourbillon	Ges.	
0,566	0,631	0,450	0,511	0,574	
Anzahl der eingereichten Uhren	6001	1526	336	163	8035

Die Spitzzahnankerhemmung mußte ihrer unempfindlicheren und überlegenen Weiterentwicklung, der Kolbenzahnankerhemmung weichen.

Ankerräder und Anker wurden zeitweise aus hartgewalzter Goldlegierung gefertigt. Es ergeben sich günstigere Reibungsverhältnisse an den Paletten und der Ellipse. Besonders letztere braucht nicht gefettet zu werden, was bei Stahlankern, wo zuweilen Reibrost auftritt, nötig ist.

Hemmungen mit konstanter Kraft [32] wurden erprobt, waren aber zu kompliziert und führten zu größeren Leistungsverlusten.

## 2.3. Historische Ausführungen des Reglers

Die bimetallische, aufgeschnittene Kompensationsunruh wurde fast ausschließlich zusammen mit der Breguet-Spirale verwendet. Umfangreich waren die Versuche, den sekundären Fehler durch besondere Unruhausführungen (Bild 7) zu verringern. Derartige Hilfskompensationen werden von *Helwig* [1], *Irk* [48] und *Saunier* [29] [30, S. 56] beschrieben. Sie wurden verlassen, nachdem die Nickelstahlunruh [1] [19] eine bessere Angleichung des Verhaltens der Kompensationsunruh an die Spirale ermöglichte.

*Volet* versuchte den Nachteil der aufgeschnittenen Unruh, sich unsymmetrisch zu verziehen und dadurch eine Unwucht zu erhalten, durch eine nicht aufgeschnittene Unruh mit einem Reifen aus Invar (Nickelstahl) und einem Schenkel aus Messing zu verändern [1]. Der sich in der Wärme stark ausdehnende Schenkel verformte den Reifen oval und bewegte die Gewichte M (Bild 8) ausgleichend zur Reifenmitte. Infolge der geringen Kompensationswirkung war die Verwendung einer Elinvarspirale (Nickelstahllegierung) Voraussetzung.

*Breguet* und *Harrison* [47] [48] bemühten sich um eine Temperaturkompensation mit einem Rückerschlüssel, bei dem entweder der Stiftabstand oder die Position durch einen Bimetallstreifen verändert wurden.

Mit Hilfe federnder Spiralstifte und federnd angeordneter Spiralklötzchen versuchte man den Isochronismus zu verbessern, ehe die Breguet-Spirale und die Form der Endkurven beherrscht wurden.

## 2.4. Sonstiges zur geschichtlichen Entwicklung der Präzisions-Taschenuhr

Die Störungen durch sich unsymmetrisch verziehende Kompensationsunruhen sowie andere Unwuchtfehler glich *Breguet* erfolgreich mit den sogenannten Drehganguhren [24] [26] aus. In einem Drehgestell sind Hemmung, Reg-

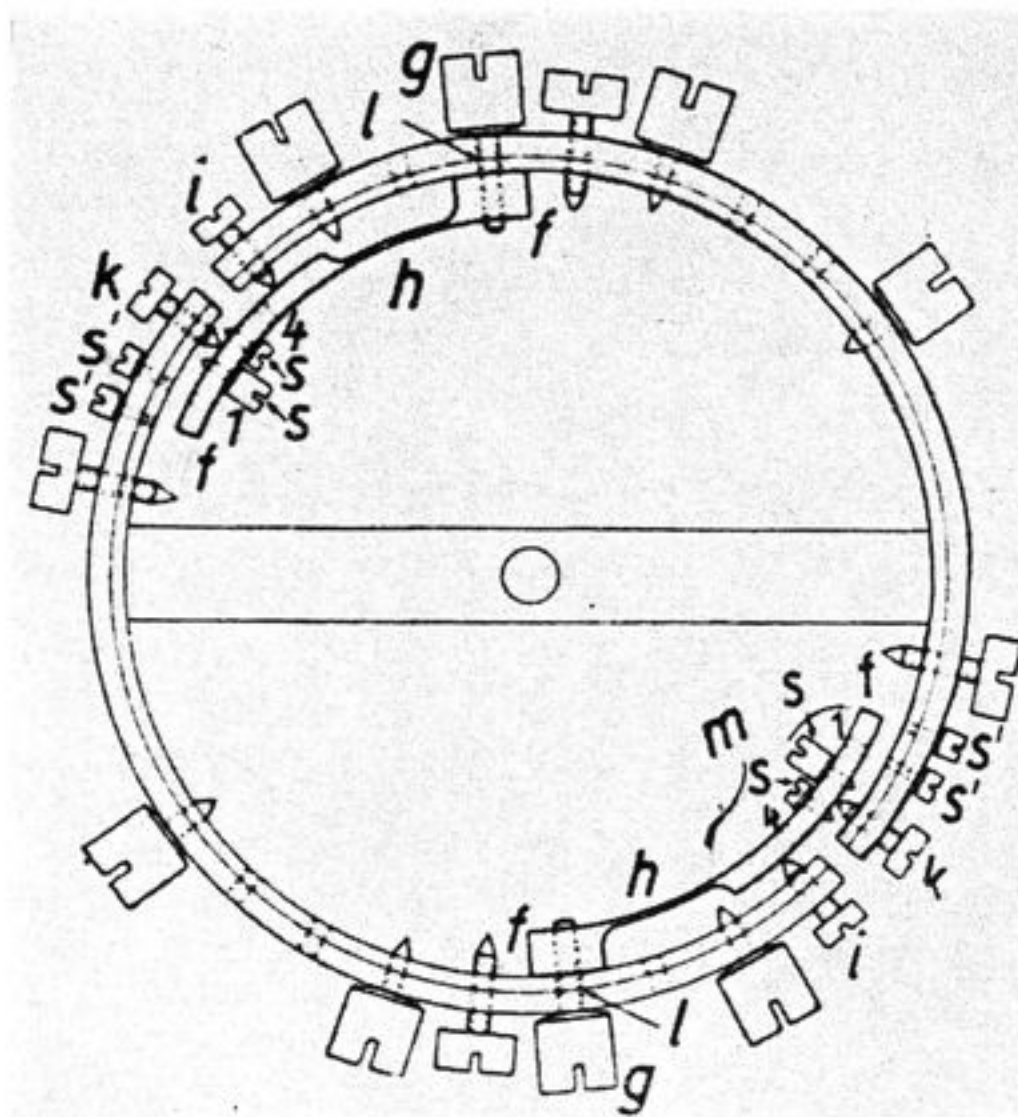


Bild 7. Kompensationsunruh mit Hilfskompensation zur Verringerung des sekundären Fehlers (nach *Giebel - Helwig*, Feinstellung der Uhren)

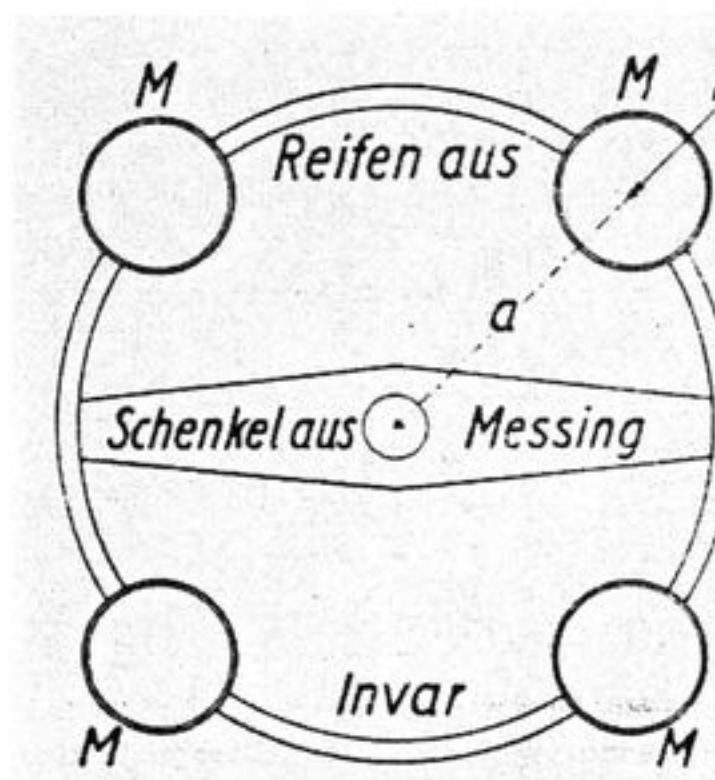
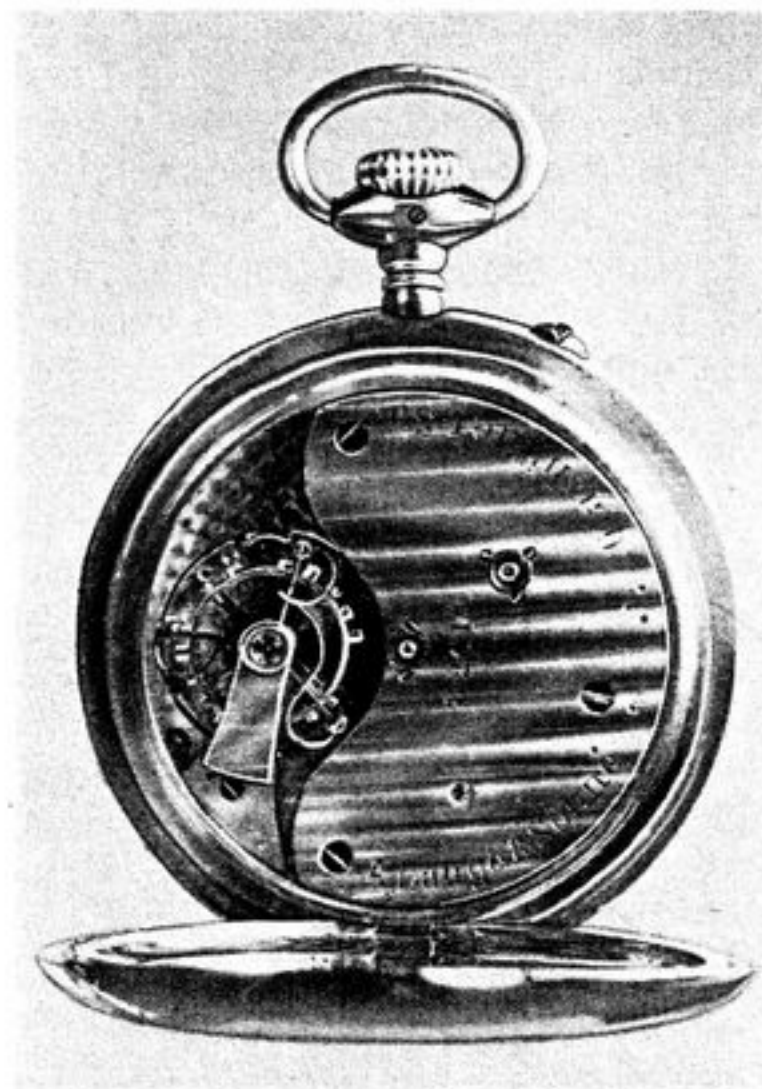


Bild 8. Volet-Unruh (nach *Giebel - Helwig*, Feinstellung der Uhren)

Bild 9. Taschenuhr mit Minuten-Tourbillon und Chronometerhemmung von A. Lange & Söhne



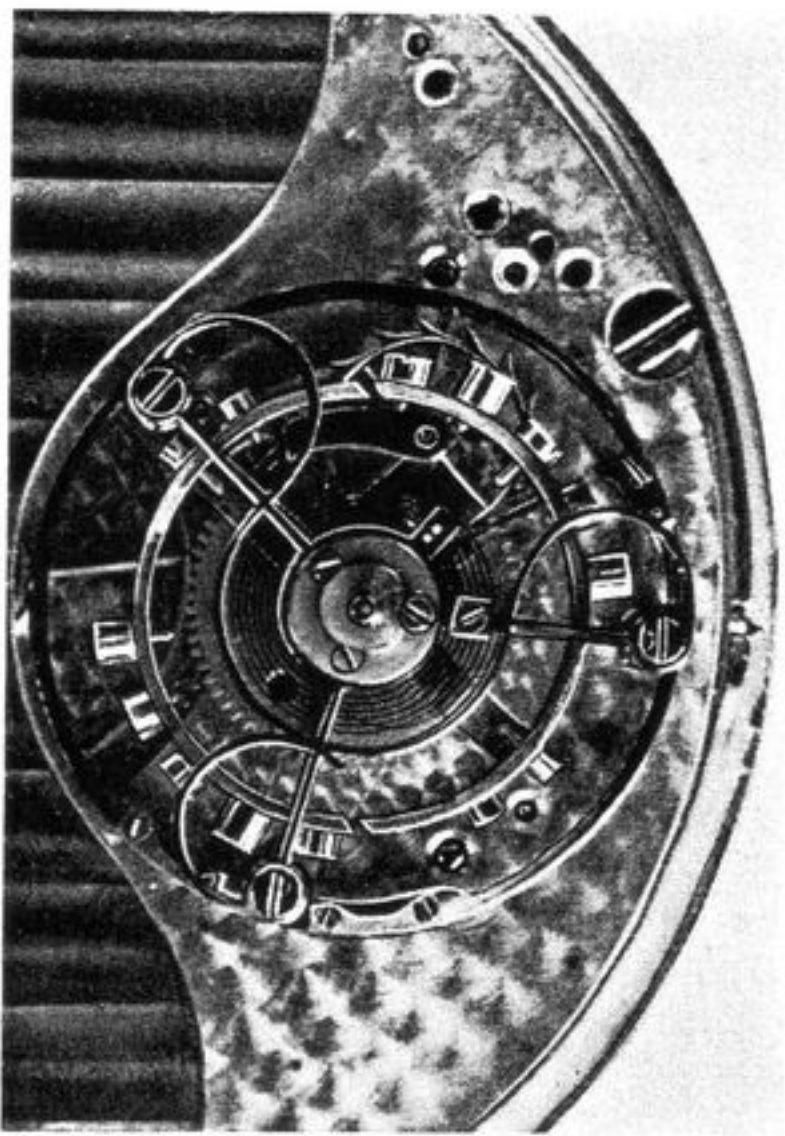


Bild 10. Drehgestell mit Unruh und Hemmung der Uhr nach Bild 9

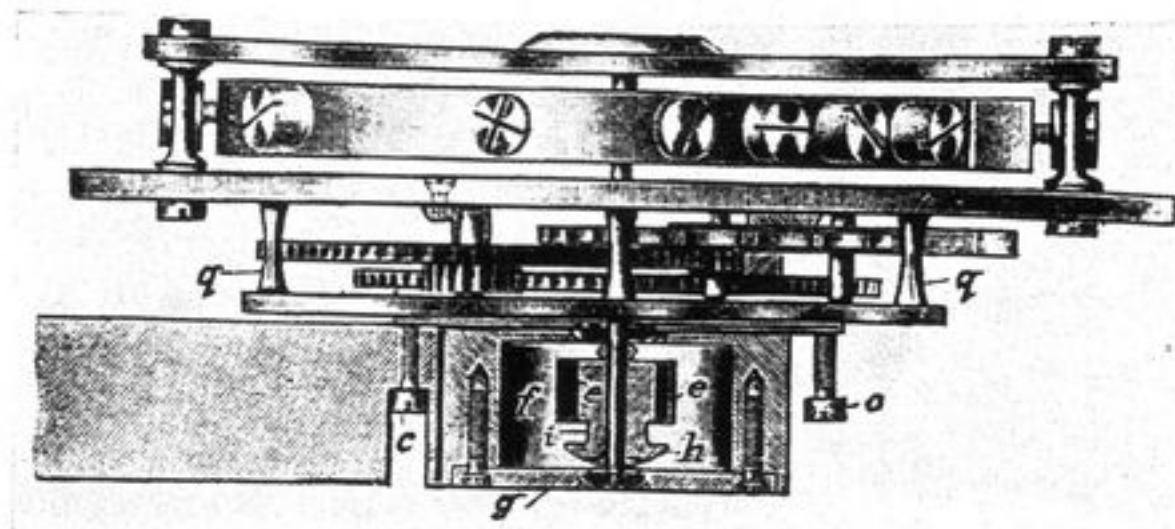


Bild 12. Fliegend gelagertes Drehgestell eines Fünfminuten-Tourbillons (nach Helwig, Drehganguhren)

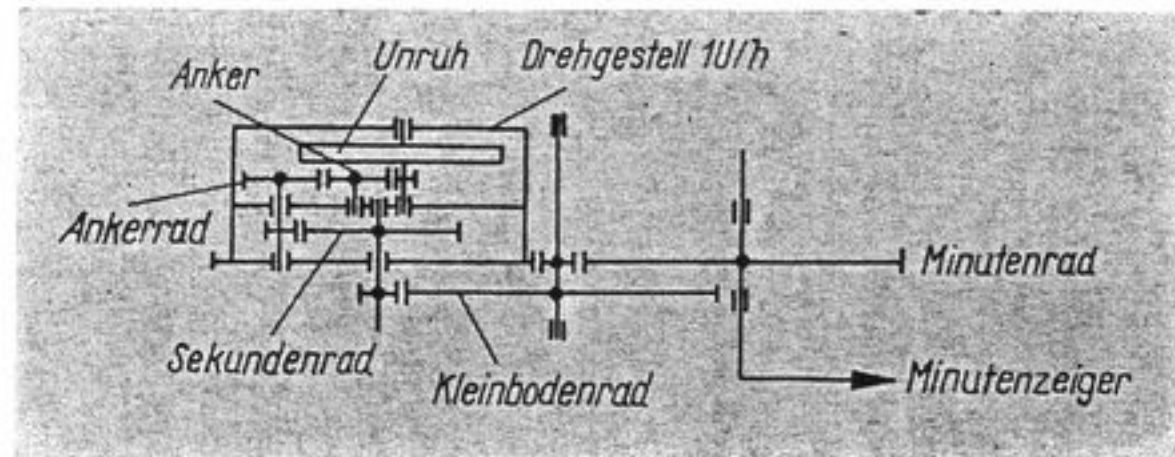


Bild 13. Schematische Darstellung des Aufbaus einer Karussell-Uhr

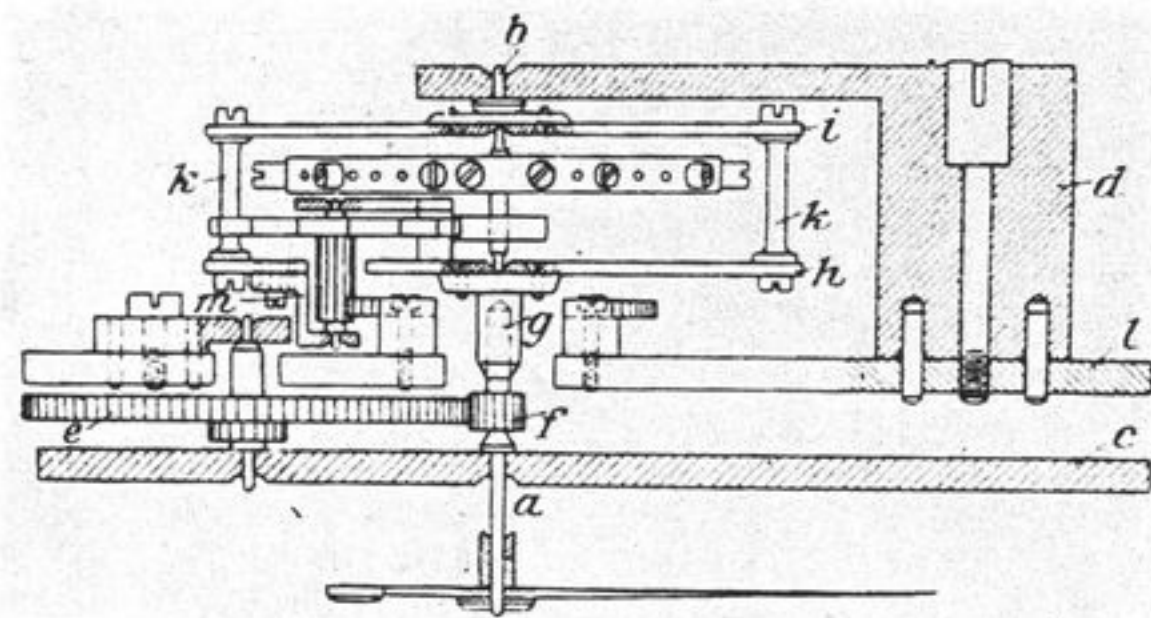


Bild 11. Aufbau eines Minuten-Tourbillon-Gestells mit Chronometerhemmung (nach Helwig, Drehganguhren)

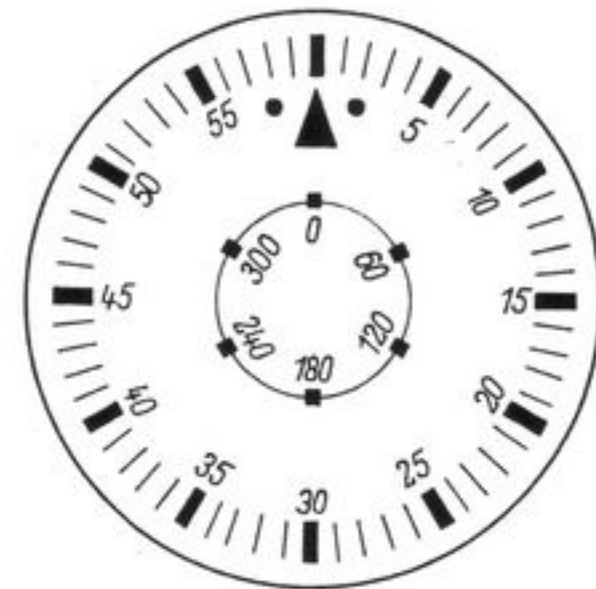


Bild 14. Zifferblatteinteilung einer Gradmaßuhr

- Zeiger 1: 1 U/4 min
- Zeiger 2: 1 U/240 min
- Zeiger 3: 1 U/Tag  $\approx$  360 U des Zeigers 1

ler und unter Umständen ein Teil des Räderwerkes angeordnet und drehen sich meist in einer oder fünf Minuten (Tourbillon) oder in einer Stunde (Karusselluhr).

Die Bilder 9 bis 11 zeigen Darstellungen und Prinzip eines Minutentourbillons. Das Drehgestell ist auf der Sekundenwelle *g* angeordnet und wird vom Kleinbodenrad angetrieben. Das Ankerrad *m* läuft dabei als Umlauf- rad am fest mit der Unterplatte verbundenen Sekundenrad *p*. Das Drehgestell wurde insbesondere von Helwig [26] auch einseitig gelagert hergestellt. Diese Ausführung hat den Vorteil, daß das Drehgestell, auch wenn es zur Erreichung hoher Gangleistung sehr massearm gefertigt ist, durch die vom Zwischenrad wirkenden Kräfte nicht

durchgebogen werden kann, wobei Eigenschwingungen entstehen können (Bild 12).

Der schematische Aufbau einer Karusselluhr ist im Bild 13 [33] zu erkennen.

Zu den Sonderausführungen rechnet auch die Gradmaßuhr (Bild 14). Es war versucht worden, den Gebrauch einer Uhr bei der Navigation zu erleichtern, indem man den „Sekundenzeiger“ in 4 min umlaufen ließ, was einem Winkelgrad bezüglich der Erddrehung entspricht. Die Ablesegenauigkeit wurde dadurch jedoch verringert, so daß die Bauform wieder verlassen wurde.

(Wird fortgesetzt)

US 0951a

**GL**

Schmuckwarengroßhandlung  
**GERHARD LINDNER KG**  
 90 Karl-Marx-Stadt, Kapellenberg 7

Seit über 60 Jahren  
 im Dienste des Fachhandels  
 — Gegründet 1909 —



Ing. E. Frankenstein, Glashütte

Fortsetzung aus „Uhren und Schmuck“ 8 (1971) H. 6

### 3. Bauformen der gegenwärtigen Uhrentechnik

Die Verbesserung der Funkzeitdienste ließ das Interesse an Präzisions-Taschenuhren zurückgehen. Trotzdem werden noch nennenswerte Stückzahlen in Nautik, Geodäsie und Flugwesen verwendet. Verbesserungen der Herstellungsverfahren auf wissenschaftlicher Grundlage erlaubten Vereinfachungen, so daß sich relativ einheitliche Bautypen herausbildeten.

#### 3.1. Antrieb und Werkaufbau

Die spiralförmige Antriebsfeder wird häufig mit einem Coullery-Zaum versehen. Er besteht aus einem an  $3/4$  der Trommelwandung liegenden dickeren Klingenstück, an dem sich die eigentliche Feder mit einer Niete abstützt (Bild 15). Die Malteserkreuzstellung ist üblich, während die Schnecke nicht mehr verwendet wird (vgl. 2.1.).

Das Gestell wird im wesentlichen von einer  $3/4$ -Platine auf einer Grundplatte (Bild 16) gebildet. Dabei wird zur Steigerung der Stabilität besonders der flacheren Uhrwerke die Pfeilerbauweise vermieden und an deren Stelle massive Teile mit Ausdrehungen verwendet. Teilweise wird das Ankerrad gesondert gelagert. Sofern die Sekunde zentral angezeigt wird, ist der Antrieb meist indirekt (Bild 17). Um das Rad zum Antrieb des Sekundenzeigers nicht von der Kleinbodenachse abziehen zu müssen, ist zuweilen eine gesonderte Brücke für Kleinbodenrad und Sekundenzeigertrieb vorgesehen (Bild 18). Traditionell bevorzugen Schweizer Fabriken die mit Kloben gegliederte Bauweise (Bild 19).

Ankerrad und Anker werden häufig mit Decksteinen wie eine Unruh gelagert (Bild 18). Auch wenn diese nicht vorhanden sind, werden die Lochsteine für die Gangteile, teilweise auch die des Räderwerkes, oliviert, d. h., das ursprünglich zylindrische Loch wird gewölbt ausgeschliffen,

so daß es nach beiden Enden weiter wird. Die dann verringerte Auflagefläche des Zapfens vermindert die durch die Ölviskosität entstehende Reibung. Das Räderwerk hat ausschließlich Zykloidenverzahnung, die serienmäßig mit modernen Wälzfräsmaschinen erzeugt wird.

Bei der konstruktiven Gestaltung muß das Spiralklötzchen eine bestimmte Stellung zu den Hauptlagen der Uhr einnehmen. Ist die Spirale flach, so sind bekanntlich zur Erzielung besseren Isochronismus die Regeln von *Grossmann*, daß die erste Halbwindung in der Hauptlage nach oben gehen soll, und die von *Caspari*, daß der innere Ansteckungspunkt gegenüber dem äußeren liegen soll, zu beachten [7]. Für die mit Breguet-Spirale ausgerüstete Uhr entfällt die Regel von *Caspari*. Jedoch soll nach *Helwig* [1] das Knie der Breguet-Spirale gegenüber dem inneren Ansteckungspunkt liegen, um automatisch eine Korrektur des Isochronismus zu erreichen (vgl. 4.2.). Die Unwucht des Ankers soll so gerichtet sein, daß sie in der Hauptlage die Zugwirkung nicht mindert.

Als Aufzug dienen ausschließlich Kupplungsaufzüge, bei denen die Zeigerstellung häufig durch Eindrücken eines Stiftes betätigt wird (Bild 20). Damit wird vermieden, daß das sonst übliche Eindrücken der Krone zur Ausschaltung der Zeigerstellung vergessen werden kann. Eine ausführliche Übersicht über die konstruktiven Parameter geben die Tafeln 2 bis 5.

#### 3.2. Hemmung

Größenverhältnisse der angewendeten Kolbenzahnankerhemmungen sind in Tafel 5 und Winkelverhältnisse in Tafel 6 genannt. Anker und Ankerräder werden ausschließlich aus Stahl gefertigt, gehärtet und poliert, wobei die Räder zur Verringerung des Trägheitsmomentes und zur Verbesserung der Ölhaltung zuweilen beidseitig ausgedreht sind.

Bild 15. Federhaus mit Coullery-Zaum

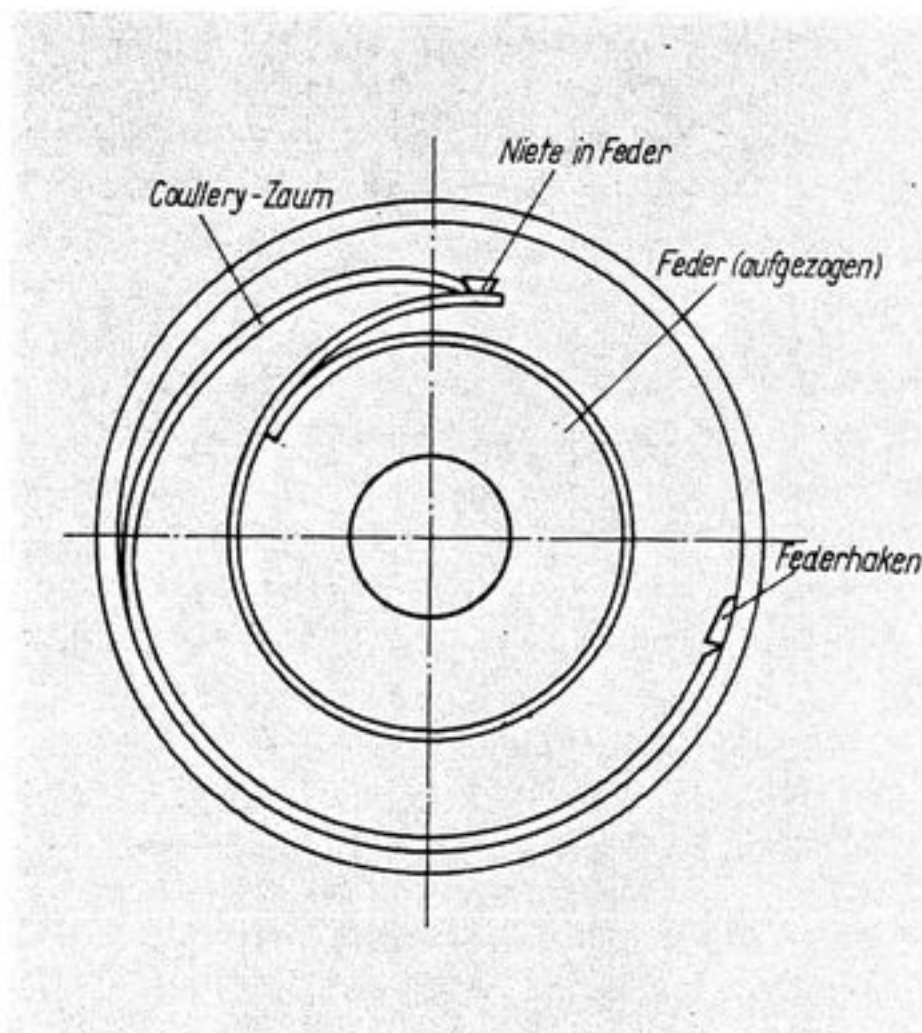


Bild 16. Ansicht und Schnittdarstellung einer Präzisions-Taschenuhr

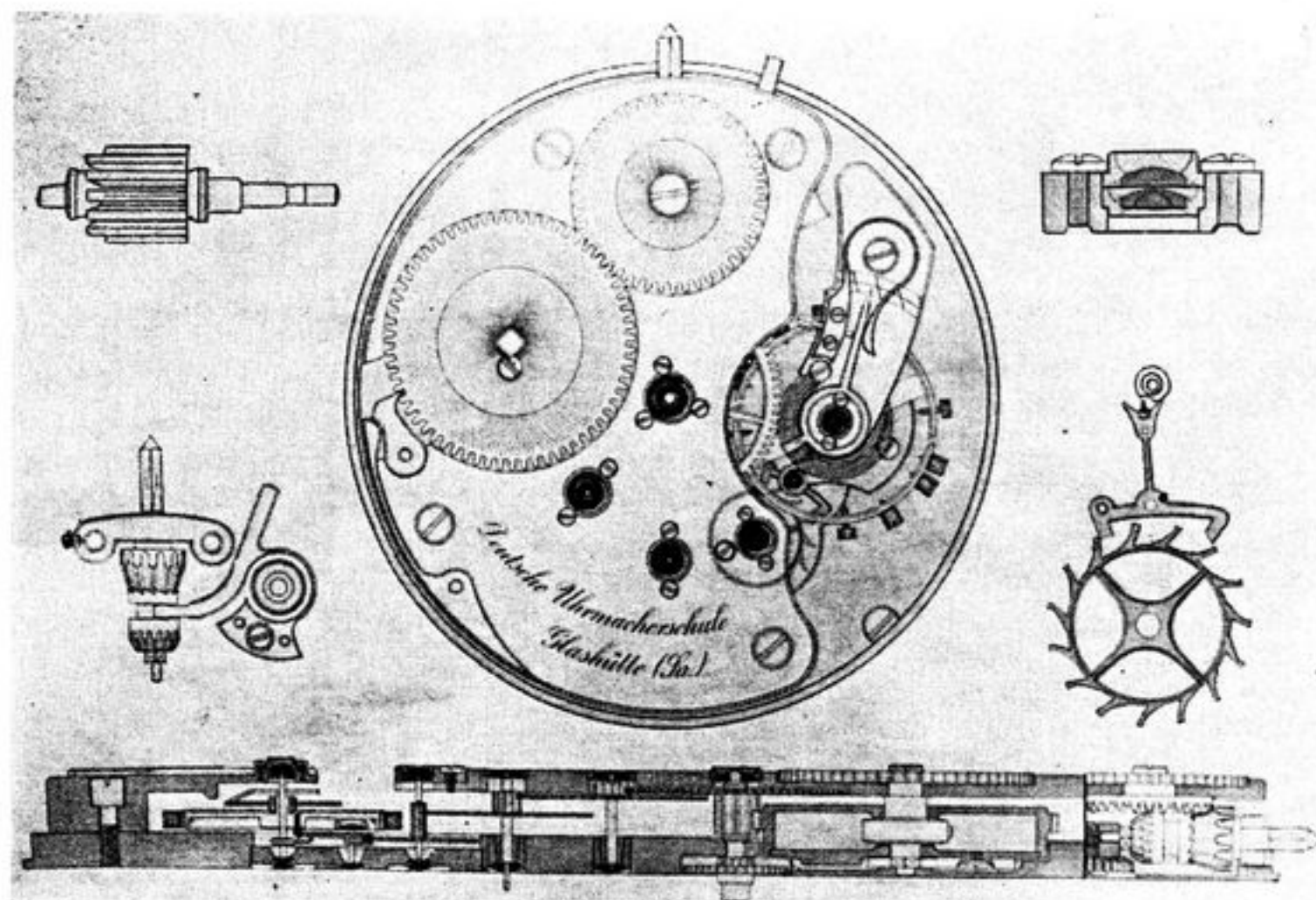




Bild 17  
Beobachtungsuhr mit zentraler Sekunde indirekt angetrieben



Bild 18  
Beobachtungsuhr mit zentraler Sekunde indirekt angetrieben. Sekundenantriebsrad im Gestell gelagert, Ankerrad und Anker mit Decksteinen

Tafel 2. Allgemeine Kennzeichen von Präzisions- und B-Uhren

Marke	Laco 127-560 B	A. Lange & Söhne	A. Lange & Söhne K. 80	1. Moskauer Uhren- fabrik 2-64	VEB Uhrenkombinat Ruhla Werk Glashütte Kal. 48 Kal. 48	
Durchmesser	48	44,5	40,8	52,2	48,0	48,0
Werkhöhe	10,5	7,8	4,6	11,6	8,0	9,6
Gehäusedurchmesser	55	59	49	64	58	58
Gehäusehöhe	21	16,8	11	19	19	19
Steinezahl	22	15	15	22	15	16
Aufzug	Kupplung	Kupplung	Kupplung	Kupplung	Kupplung	Kupplung
Zeigerstellung	ziehen	Stift ein- drücken	ziehen	Stift ein- drücken	Stift ein- drücken	ziehen
Anhaltevorrichtung	—	—	—	—	—	an Unruh
Anzeige	Z.-Sek. indirekt	norm. Sek.	norm. Sek.	Z.-Sek. indirekt	norm. Sek.	Z.-Sek. indirekt
Gangreserveanzeige	—	—	—	—	Räder- differential	—

Tafel 3. Antrieb von Präzisions- und B-Uhren

Federhaus	A. Lange & Söhne	A. Lange & Söhne K. 80	1. Moskauer Uhrenfabrik 2-64	VEB Uhren- kombinat Ruhla Werk Glashütte Kal. 48/48.1
Durchmesser	19,8	18,3	21	21,2
Höhe	3,8*)	1,9*)	4,6*)	4,4*)
Drehmoment $M_0$	4100	1630	7140	5450
pmm $M_4$	2740	1190	5350	4000
Zaum	—	—	Coullery	Coullery
Stellung	Malteser	Malteser	Malteser	Malteser
Gangreserve	37,5 h	37,5 h	40 h	35 h

\*) ohne Stellung

Tafel 4. Zahnzahlen von Präzisions- und B-Uhren

Zahnzahlen	Laco 127-560 B	A. Lange & Söhne	A. Lange & Söhne K 80	1. Moskauer Uhren- fabrik 2-64	VEB Uhren- kombinat Ruhla Werk Glashütte Kal. 48 Kal. 48.1
Federhaus	96	90	90	96	91
Minutentrieb	12	12	12	12	13
Minutenrad	96	80	80	96	90
Kleinbodentrieb	12	10	10	12	12
Kleinbodenrad	90	75	75	90	80
Sekundentrieb	12	10	10	12	10
Sekundenrad	80	70	80	80	80
Ankerradtrieb	8	7	8	8	8
Ankerrad	15	15	15	15	15
Sek.-Übertragungsrad	120	—	—	120	136
Sekundenzeigertrieb	16	—	—	16	17

Tafel 5. Hemmung und Regler von Präzisions- und B-Uhren

Hemmung	Laco 127-560 B	A. Lange & Söhne	A. Lange & Söhne K. 80	1. Moskauer Uhrenfabrik 2-64	VEB Uhren- kombinat Ruhla Werk Glashütte Kal. 48/48.1
Anker	St.	Gold	St.	St.	St.
Ankerrad	St.	St.	St.	St.	St.
Entfernung	—	—	—	—	—
Ankerrad — Anker	4,80	5,03	4,18	4,8	4,65
Anker — Unruh	6,80	5,04	4,83	6,83	5,9
Zapfendicke	—	—	—	—	—
Ankerrad	—	—	0,095	—	0,11
Unruh	—	—	—	—	—
Durchmesser (über Schrauben)	20	17,5	15,3	20	19,5
Reifenbreite	1,85	1,65	1,05	1,8	1,9
Reifendicke	0,6	0,45	0,4	0,6	0,55
Gewicht (mit Spirale)	1,07 p	0,66 p	0,395 p	1,0 p	1,0 p
Trägheitsmoment	—	—	—	—	0,39 gcm <sup>2</sup>
Schraubenzahl	18	14	20	18	18
Zapfendicke	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
Spirale	—	—	—	—	—
Durchmesser	11	8,9	7,4	10,5	9,5
Windungszahl	12,8	12,3	14,8	14,3	13
Kurve	65	70	67	70	74
Gütefaktor Unruhwellen senkrecht	—	280	246	524	666
desgl. Unruhwellen waagrecht	—	—	—	—	367

Tafel 6. Verhältnisse der Hemmung einer Präzisions-Taschenuhr

Hebung	8 1/2°
Hebung Zahn	3 1/2°
Hebung Palette	5°
Ruhe	1 1/2°
Ankerbewegungswinkel	10°
Führung	9°
Führung Zahn	4°
Führung Palette	5°
Zug Eingang	12°
Zug Ausgang	13 1/2°
Unruh-Eingriffswinkel	30°
Ruhe	halbungleicharmig $R_E = 1,1 \cdot R_A^*$

\*)  $R_E$  = Ruheradius Eingang  
 $R_A$  = Ruheradius Ausgang



Bild 19  
Präzisions-Taschenuhr schweizerischer Klobenbauart, etwa 1960 (mit Genehmigung der International Watch Co., Schaffhausen)

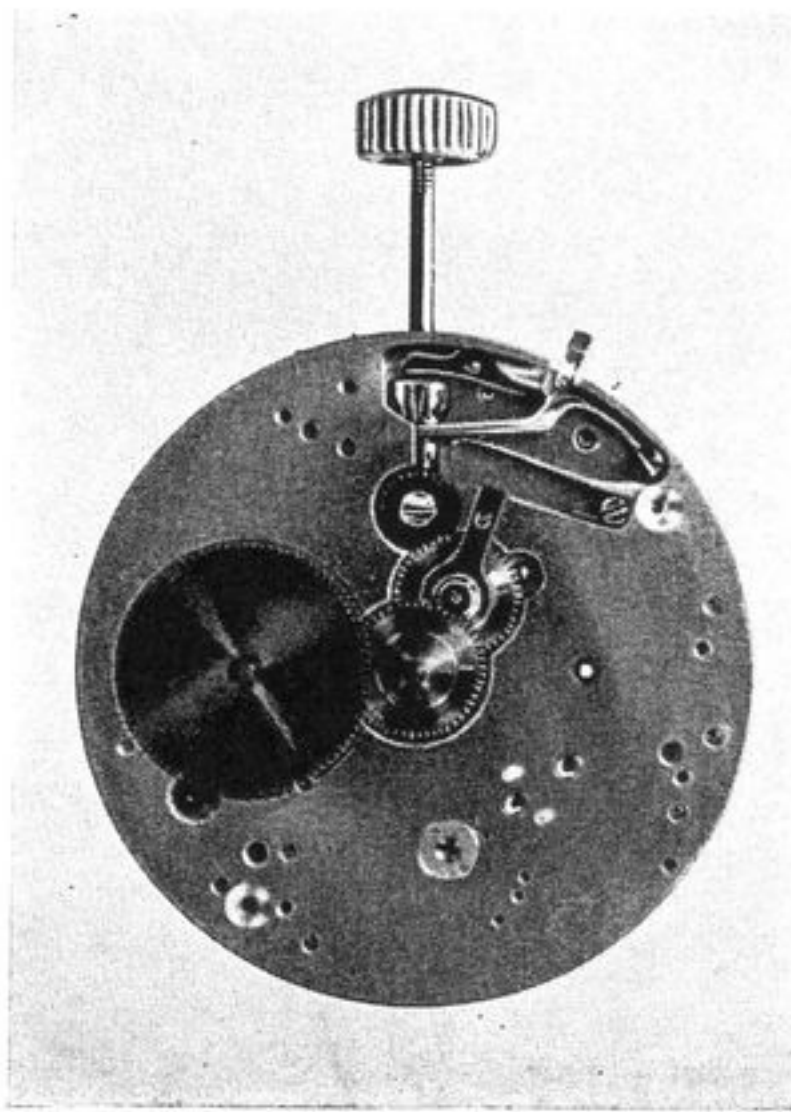


Bild 20  
Kupplungsaufzug einer Borduhr

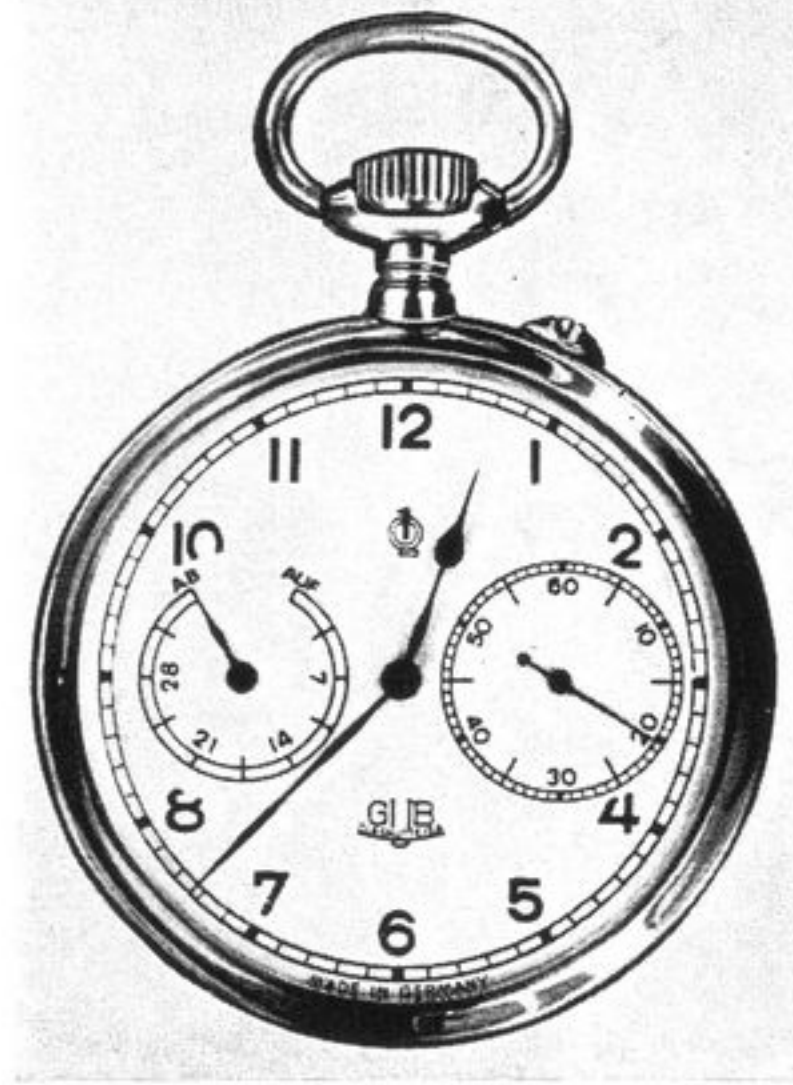


Bild 21  
Zifferblattansicht einer Borduhr mit Auf- und Abwerk

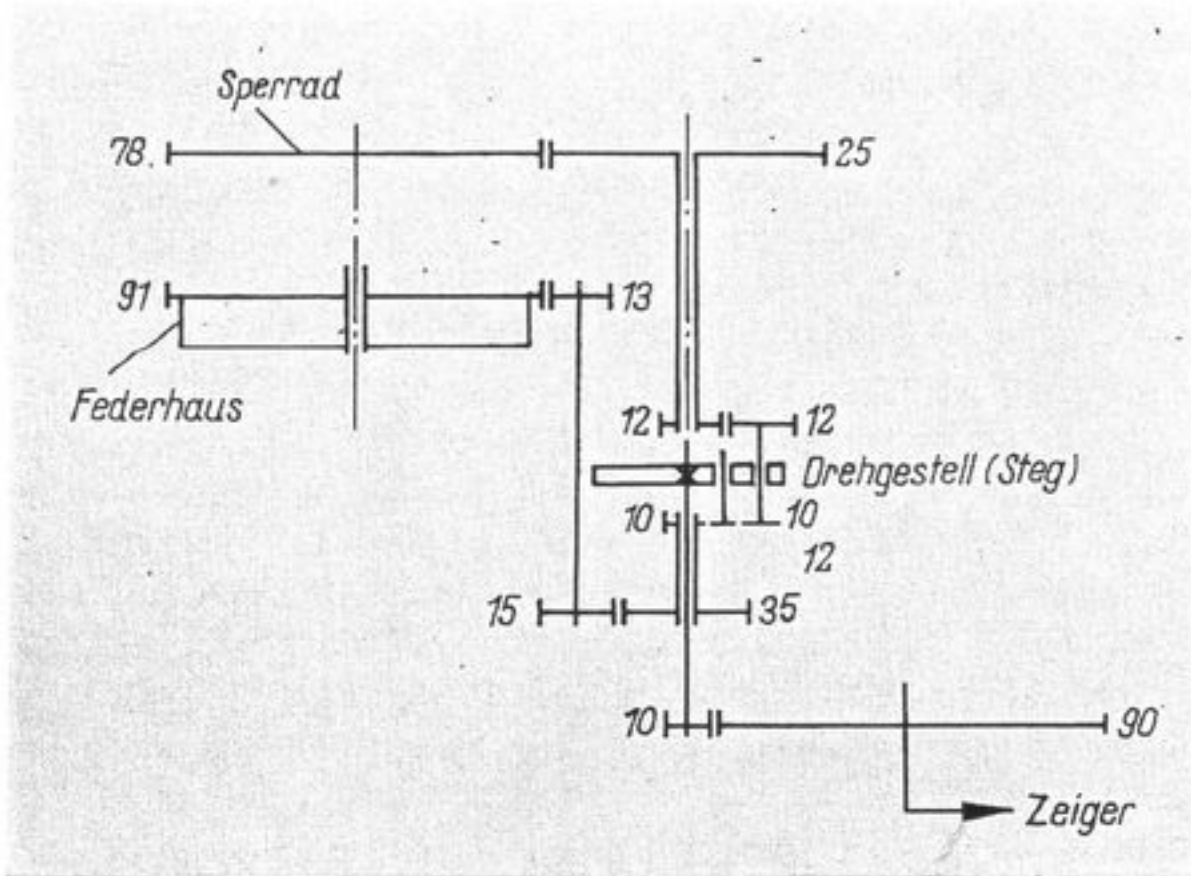


Bild 22. Räderdifferential des Auf- und Abwerkes einer Borduhr

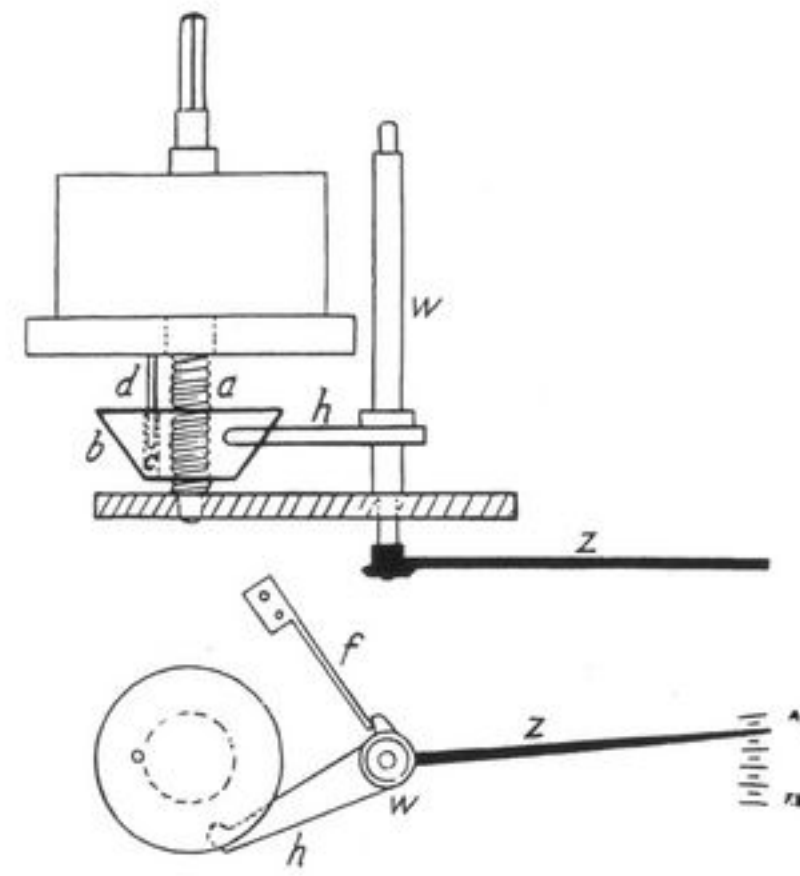
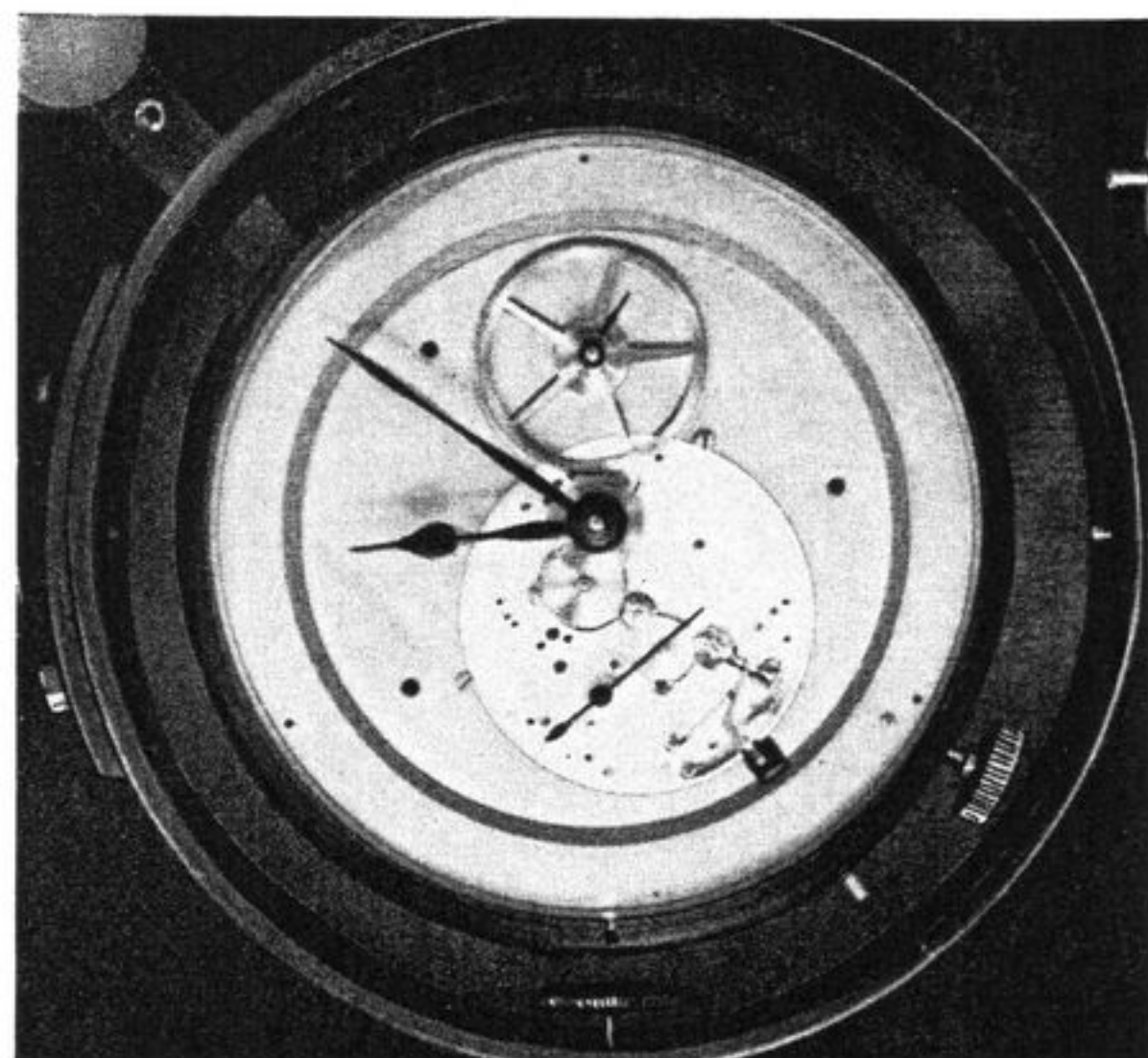


Bild 23. Wandermutterdifferential (nach Helwig, Drehganguhren)

Bild 24. Taschenchronometer für die Flugnavigation mit Angabe der Normalzeit und der Abweichung zur Sternzeit sowie Chronograph (mit Genehmigung der Fa. Ulysse Nardin, Le Locle)

Bild 25. Chronometer in kardanischer Aufhängung und Holzgehäuse mit eingebautem Borduhrwerk



### 3.3. Regler

Kompensationsunruhen mit geschlitztem Reifen aus Nickelstahl (44 0/0 Nickel) und Messing [19], die kombiniert mit einer Stahl-Breguet-Spirale einen sehr kleinen sekundären Fehler ermöglichen, sind allgemein üblich. Zuweilen werden auch für die Spiralen Nickelstahllegierungen (u. U. auch mit Berylliumzusatz) verwendet, um die Rostanfälligkeit zu mindern. Übliche Größenverhältnisse, Trägheitsmomente und Gütefaktoren sind in Tafel 5 angeführt.

Für die Breguet-Spirale werden überwiegend 60er bis 75er Kurven angewendet, d. h., der Radius des äußeren Kurvenendes beträgt 60 bis 75 0/0 des Außenradius. Die 67er Kurve wird bevorzugt [1], weil sie an keiner Stelle starke, die elastischen Eigenschaften mindernde Verformungen erfordert.

### 3.4. Gangreserveanzeige

Beobachtungsuhrer haben häufig Gangreserveanzeiger (Bild 21) (Auf- und Abwerke), die den Spannungsgrad der Triebfeder angeben. Sofern keine Schnecke verwendet wird, ist ein Differentialgetriebe notwendig, das einerseits vom Sperrad und andererseits vom Federhaus getrieben wird.

Im Bild 22 werden Prinzip und Zahnzahlen eines Räderdifferentials gezeigt. Nicht selten wird auch das Wander-

mutterdifferential verwendet (Bild 23). Ausführlich geht Helwig [4] auf die diesbezügliche Problematik ein.

### 3.5. Zusatzeinrichtungen

Zuweilen werden die Uhren mit Einrichtungen versehen, die beim Zeigerstellen entweder die Unruh anhalten oder das Sekundenrad blockieren, wenn der Sekundenzeiger die volle Minute erreichte. Das erleichtert das sekunden-genaue Einstellen. In seltenen Fällen werden Kontakteinrichtungen angebaut. Dazu wird ein Rad auf der Sekundenwelle befestigt, dessen Zähne alle Sekunden einen Federkontakt schließen. Derartige Kontakte eignen sich für 6 bis 12 V und Ströme von 1 bis 50 mA [45].

### 3.6. Sonderausführungen

Für die Nautik werden die Uhren zuweilen auf Sternzeit (Sideralzeit) reguliert. Sonderausführungen geben die Normalzeit und die Abweichung zur Sternzeit an [45] (vgl. Bild 24). Zur Verwendung auf Schnellbooten werden Deckuhrwerke in Chronometergehäuse mit kardanischer Aufhängung gebaut [45]. Der Sekundenzeiger sitzt auf dem Sekundenrad. Minutenrohr und Stundenrad laufen exzentrisch zum Uhrwerk auf einer feststehenden Welle und werden über federnde Scherräder spielfrei angetrieben (Bild 25).

US 0951 b (Wird fortgesetzt)



# Präzisions-Taschenuhren (Teil 3)

Ing. E. Frankenstein, Glashütte

Fortsetzung aus „Uhren und Schmuck“ 8 (1971) H. 7

## 4. Die Reglage von Präzisions-Taschenuhren

Die folgenden Ausführungen sollen in der Form eines Repetitoriums eine kurzgefaßte Übersicht über die bei der praktischen Präzisionsreglage zu treffenden Maßnahmen geben. Der Umfang der Veröffentlichung erlaubt es nicht, auf alle Einzelheiten einzugehen. Dies muß dem bekannten Buch von *Giebel* und *Helwig* [1] sowie der übrigen Spezialliteratur [2] [3] [4] [21] vorbehalten bleiben.

### 4.1. Vorbereitende Arbeiten zur Präzisionsreglage

Der Erfolg einer Präzisionsreglage hängt in so großem Maße vom einwandfreien Zustand des gesamten Uhrwerks ab, daß der Regleur es üblicherweise nochmals völlig durchsieht, auch die Funktion von Federhaus und Räderwerk überprüft. Besonderes Augenmerk ist auf folgende Komplexe zu richten:

#### Hemmung

Die Ankerhemmung führt durch den Auslösewiderstand vor und den Antrieb nach der Mittellage zum Nachgehen bei kleiner Amplitude. Diese Wirkung und Störungen sind einzuschränken durch:

Verringerung des Auslösewiderstandes

- Leichte Hemmungsteile
- Geringe Ruhe von  $1,5^\circ$  (genau rund laufendes Anker-rad nötig)
- Kleben der Ankergabel an den Begrenzungsstiften vermeiden

Vermeiden einer häufigen Berührung zwischen Gabelhorn und Ellipse

(nachweisbar durch Ölspur an der Vorderseite der Ellipse, wenn Ankergabel leicht geölt)

- Prellen des Ankers durch Verringerung seines Gewichtes vermindern
- Gegebenenfalls Ruhe etwas vergrößern
- Kontrollieren, ob Anker auf jeder Seite einwandfrei zieht und ob Ruheecken des Ankerrades nicht abgenutzt sind

Vermeiden, daß der Ankerradzahn vorzeitig auf Hebung tritt

- Spiel zwischen Sicherheitsmesser und Rolle bzw. Ankerhorn und Ellipse gegebenenfalls verkleinern

Verminderung von Reibungsverlusten und Spiel

- Gabeleinschnitt gut poliert, nicht eingeschlagen
- Geringes Spiel der Ellipse in der Ankergabel und der Ankerzapfen in den Steinen

#### Unruh

Eine verbogene bzw. ungleichmäßig gerichtete Unruh verzieht sich unsymmetrisch in den Temperaturen und führt zu Unwuchtfehlern. Jeder ungleichmäßige Einfluß durch Ansenken des Reifens und schief sitzende Schrauben ist zu vermeiden.

Die Unwucht ist dynamisch zu kontrollieren, indem der Gang bei niedriger Amplitude ( $< 150^\circ$ ) auf einer Zeitwaage registriert wird, wobei die Uhr auf einem Drehmikrofon in vertikaler Lage in einer Minute einen Umgang gedreht wird. In der Lage, wo die Uhr relativ am stärksten vorgeht, ist ein Übergewicht unten am Reifen.

#### Unruhlagerung

Zapfen einwandfrei poliert – nicht unrund (auf Unruhwage feststellbar)

Radialspiel der Zapfen 0,01 bis 0,015

Zapfenenden stark gerundet (im Gegensatz zur Uhr mit flacher Spirale wird so ein besseres Ergebnis erreicht, wenn mit Hilfe der Endkurve einwandfreier Isochronismus sichergestellt ist)

Schief liegende Steine vermeiden

Deckenluft (Abstand Lochstein-Deckstein) 0,03...0,05 mm

Einwandfreie Reinigung – Spülen mit Isoprophylalkohol

Vorsichtig ölen – Ölring am Deckstein beobachten – gegebenenfalls Öl durch den Lochstein auf den Deckstein mit einer Nadel durchstoßen.

#### Spiralenbefestigung

Spiralrolle möglichst klein mit engem Schlitz (vgl. *Greiner* [34]) – fester Sitz auf der Unruhwelle

Spiralklötzchen soll ohne Lösen des Klobens abnehmbar und zu befestigen sein

Verstiften mit einseitig abgeflachtem Stift (schlechte Verstiftung ist häufige Ursache für Gangschwankungen)

Richten am inneren Ende der Spirale mit Spiralzange mit abgerundeten Kanten, um Knicke zu vermeiden

Nur am ersten Viertelkreisbogen von der Spiralrolle abbiegen

Im Rundlaufzirkel rund und flach richten

Abzählen und Endkurve anbiegen (vgl. 4.2.), ehe das Spiralklötzchen befestigt wird.

#### Reguliereinrichtung

Rückerzeiger und Deckplättchen müssen ausreichend fest sitzen

Feinstellvorrichtung muß ohne toten Weg funktionieren, sonst wird Feinstellen äußerst erschwert

Rückerstifte sollen bei Verwendung der Breguet-Spirale geschlossen sein und kein Spiel der Spirale zulassen; sie darf andererseits nicht dazwischen klemmen.

### 4.2. Feinstellarbeiten

Bei der eigentlichen Feinstellung sind besonders folgende Punkte zu beachten:

#### Beobachtung

Die einmal (durch Anhalten der Unruh mit einem Papierstreifen) eingestellte Uhr wird nicht korrigiert, sondern die Abweichungen werden aufgeschrieben. Der Vergleich geschieht üblicherweise mit einer Sekundenpendeluhr oder einem geeigneten Zeitzeichen nach der Auge-Ohr-Methode. Man zählt die letzten Schläge bzw. Signale vor der vollen Minute mit, während man den Sekundenzeiger mit einer Lupe beobachtet und liest zur vollen Minute ab, was mit Übung auf 0,1 s möglich ist.

Moderne, für die Serienprüfung geeignete Verfahren verwenden Fotozellen zum automatischen Standvergleich [25], oder es wird der Sekundenzeiger mit einer Lupe beobachtet und der Standunterschied zum Normal mit einer  $1/100$ -Sekunden-Stoppuhr gemessen [37].

**Innenkurve**

Eine Endkurve am inneren Ende an der Spiralrolle (Bild 26) wird selten angewendet. Sie wird nur empfohlen, wenn ein völliger Abgleich in den vier vertikalen Lagen erforderlich ist und eine schwere Unruh ( $> 600$  mg) vorhanden ist [1]. Die Form wird nach Kurvenvorlagen gerichtet [1].

**Äußere Endkurve**

Die Spirale soll 13 bis 15 Umgänge haben, und der Durchmesser soll halb so groß wie die Unruh sein. Sie wird abgezählt und das Ende so abgebrochen, daß der innere Umgang (sofern keine Innenkurve) in der Hauptlage nach oben geht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Länge je nach Form der Endkurve und des Abstandes Rücker/Klötzchen korrigiert werden muß. Der restliche Abgleich der Unruhfrequenz geschieht durch Erleichtern (Entfernen von Schrauben) oder Beschweren (Zusetzen von Schrauben oder Unterlegscheiben).

Das Anbiegen des Knies der Breguet-Spirale geschieht meist mit einer Spiralzange, in die ein Stift eingesetzt ist und mit der die Spirale in eine geeignete Senkung gedrückt wird (Bild 27), deren Tiefe und damit die Kniestiegung einstellbar ist.

Die Endkurve wird nach Kurvenvorlagen gebogen. Es werden solche Kurven bevorzugt, bei denen Teile der Windungen (im Bild 28 durch Winkel gekennzeichnet) unverändert bleiben können und die Übergänge sanft verlaufen, um Materialspannungen zu vermeiden. Kurven mit sehr unterschiedlichen Biegungen führen zu Ungleichmäßigkeiten. Ein kleiner Radius des radial verlaufenden Endes hat den Vorteil, daß die Entfernung Rücker-Klötzchen verkürzt und die Reibung an den Rückerstiften vermindert wird. Die 67er Kurve wird bevorzugt verwendet [1, S. 568]. Zum Biegen dient eine Spiralzange mit einem Querschnitt wie im Bild 29 mit Anschlagsschraube.

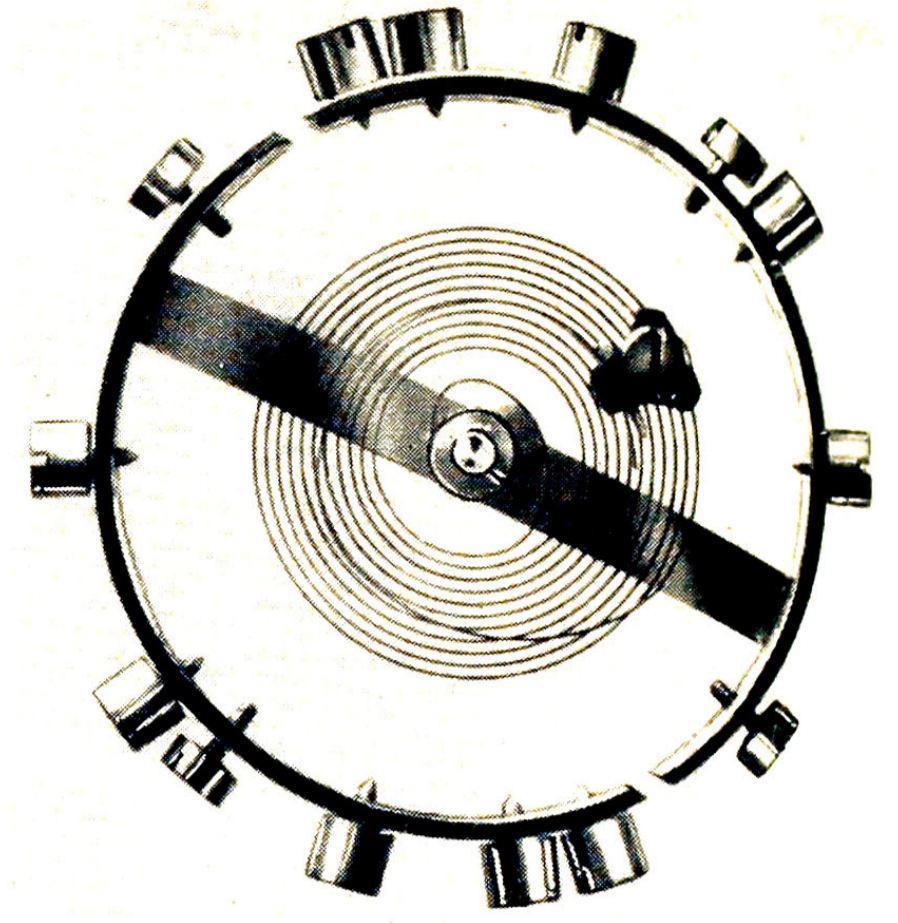


Bild 26. Unruh einer Präzisions-Taschenuhr, Spirale mit Innen und Außenkurve

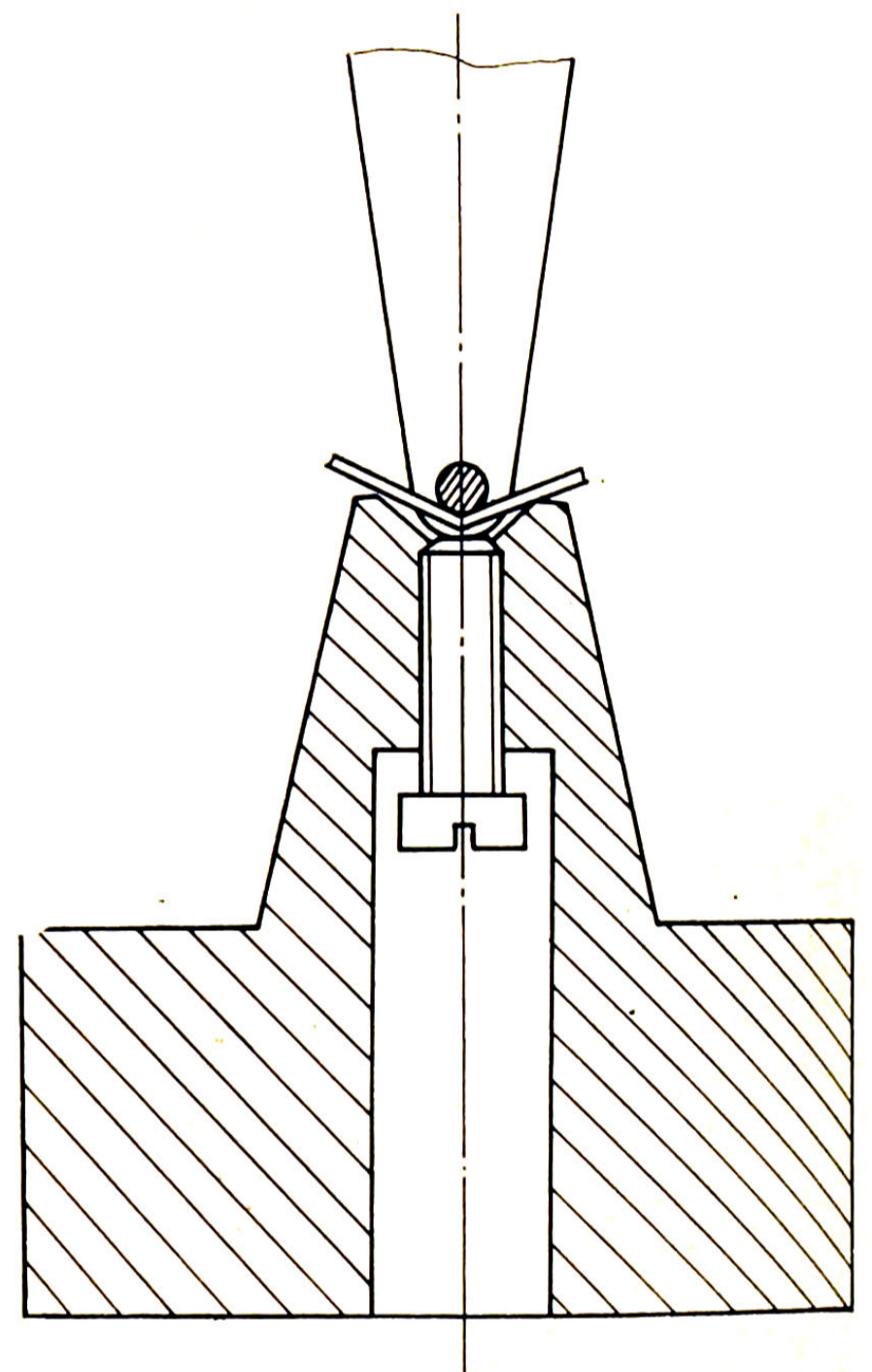


Bild 27. Spiralzange mit eingesetztem Stift und Amboß mit Anschlag zum Biegen des Knies der Breguet-Spirale

**Isochronismus**

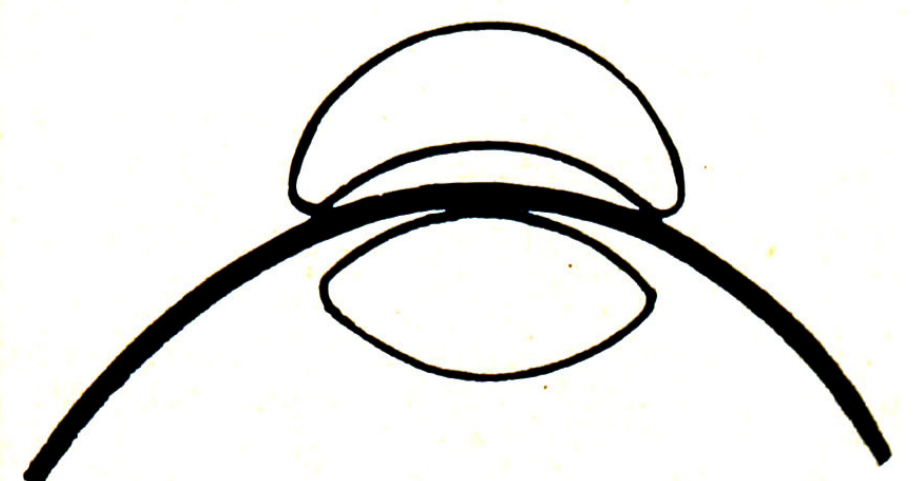
Der Isochronismus einer Unruh mit einer nach der Philippschen Theorie gebogenen Spiralfeder wird durch verschiedene Einflüsse, besonders von Hemmung und Rückerstiften, gestört, und es ergibt sich meist ein Nachgehen in den kleinen Amplituden. Dieser Fehler kann durch Korrektur der Endkurve [1, S. 534] [4, S. 91] weitgehend ausgeglichen werden.

Die kleinen Schwingungen werden beschleunigt, wenn die Umgänge der Spiralfeder an derjenigen Seite stärker arbeiten (sich ausdehnen und zusammenziehen), die dem inneren Ansteckungspunkt gegenüberliegt. Bei entgegengesetzter Ausdehnung werden sie verlangsamt.

Bild 28 Kurventafel nach Helwig mit Angabe des Winkels zwischen Anfangs- und Endradius der Kurve

Bild 29 Querschnitt einer Spiralzange zum Formen der Endkurve einer Breguet-Spirale (nach Giebel - Helwig, Feinstellung der Uhren)

 50 267°	 55 315°	 60 270°	 65 239°
 67 263°	 68 249°	 70 230°	 72,5 226°
 75 222°	 77,5 213°	 80 203°	 82,5 205°
 85 209°	 90 193°	 95 187°	 100 180°



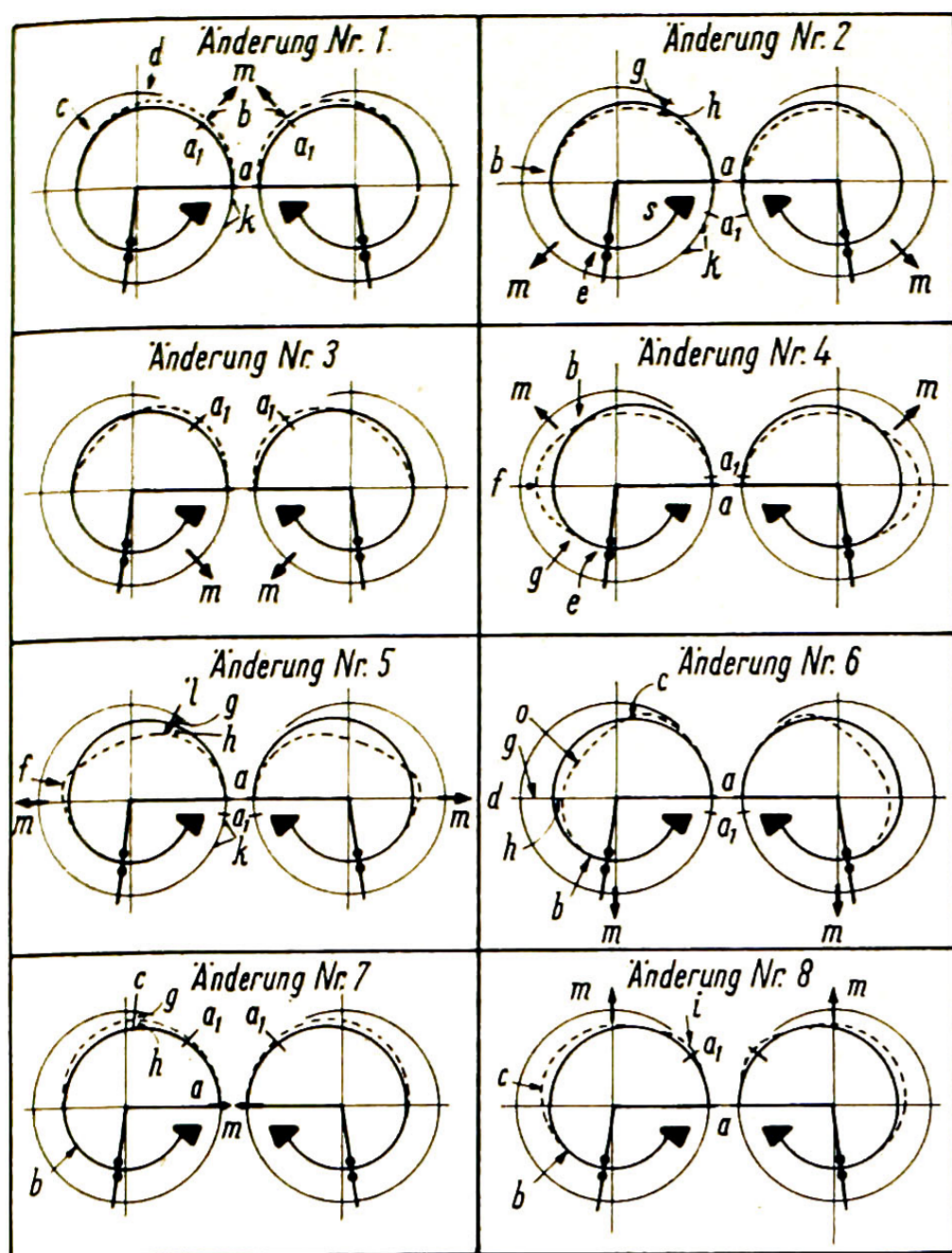


Bild 30. Übersicht über die notwendige Formänderung einer 67er Breguet-Spirale, die notwendig ist, um ein stärkeres Arbeiten der Windungen in Richtung *m* zu erzielen (nach Giebel - Helwig, Feinstellung der Uhren)

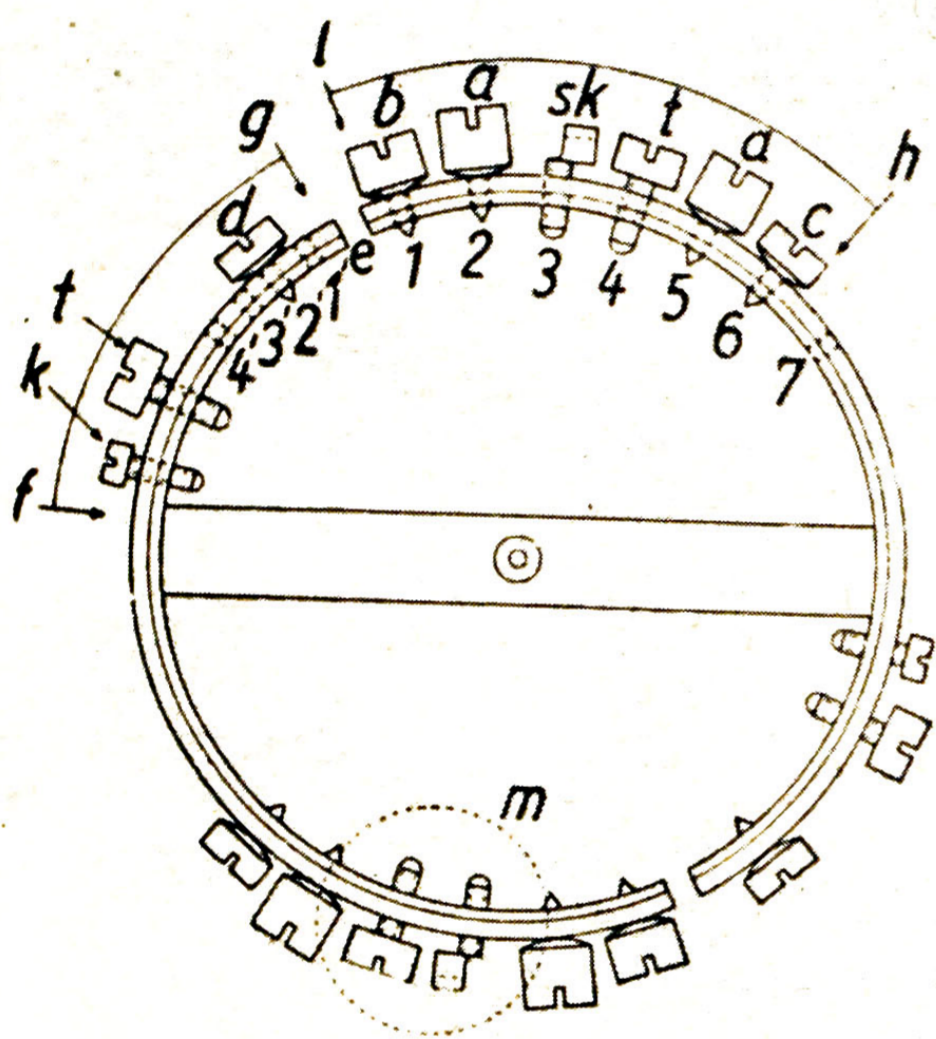


Bild 31. Unruh einer Präzisions-Taschenuhr mit Gewichtsschrauben mit niedrigen und hohen Köpfen sowie halben Köpfen (sk) zur Erzielung eines genauen Temperatenausgleichs und großen (l) und kleinen (k) Regulierschrauben (nach Giebel - Helwig, Feinstellung der Uhren)

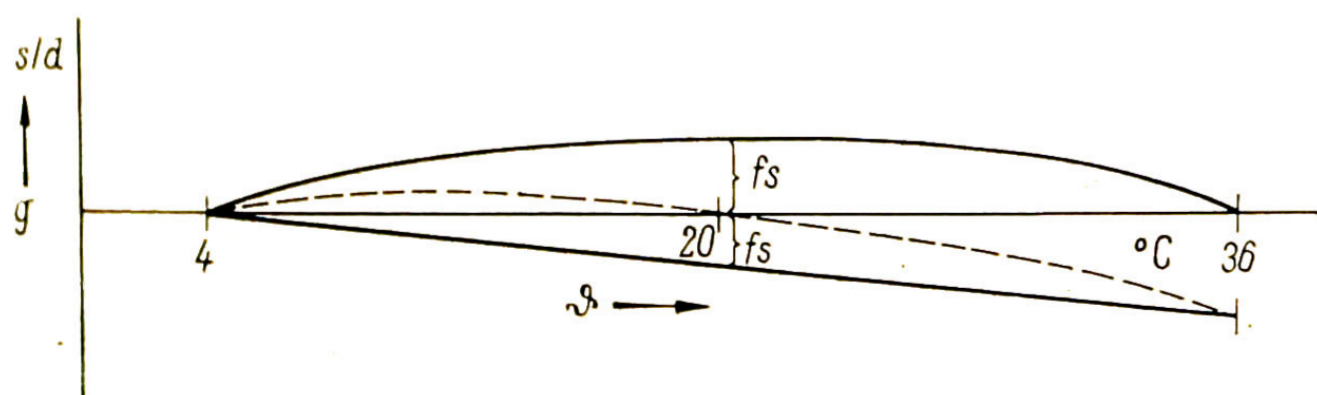


Bild 32. Gang *g* in Abhängigkeit der Temperatur zweier Uhren mit gleichen sekundären Fehlern  $f_s$   
 A in Kälte und Wärme kompensiert, kleine Abweichung bei 20°C  
 B in Kälte und Normaltemperatur kompensiert, große Abweichung in Wärme

Im Bild 30 werden, bezogen auf eine 67er Kurve, gestrichelt die notwendigen Änderungen gezeigt, die nötig sind, um ein stärkeres Arbeiten in Richtung „*m*“ zu erreichen.

#### Rückerstifeinfluß

Die Reibung der Spirale an den Rückerstiften stört den Gang. Bei der Verwendung einer Breguet-Spirale soll die Spiralklinge zwischen den Stiften nicht spielen, andererseits aber auch nicht klemmen, wodurch starke Reibung und eine Behinderung des Regulierens entstehen können.

Stehen die Stifte dicht am Spiralklötzchen und ist eine Kurve mit kleinem Radius (50 bis 70er) verwendet worden, so ist das Spiralende zwischen Stiften und Klötzchen kurz, daher steif. Es federt kaum durch, und die Reibung ist vermindert. Andererseits muß die Spirale sehr genau symmetrisch zwischen den Rückerstiften gelegt sein, wenn diese nah (weniger als 40°) am Klötzchen stehen. Ein geringes Spiel der Spirale oder Unregelmäßigkeiten führen zu großen Gangschwankungen [1] [6].

Geht die Uhr in den kleinen Amplituden vor, so wird das zuweilen durch leicht geöffnete Rückerstifte und gleichmäßig spielende Spirale kompensiert [1] [6]. Eine einseitig anliegende und nur bei großen Amplituden sich abhebende Spirale führt zu einer entgegengesetzten, aber unregelmäßigen Wirkung [6].

#### Temperaturkompensation

Zur Temperaturkompensation dient bei Präzisions-Taschenuhren fast ausschließlich die bimetallische, geschlitzte Unruh, deren Reifenhälften, die außen aus Messing und innen aus Nickelstahl bestehen, sich bei Erwärmung nach innen biegen und so das übliche Sinken des Elastizitätsmoduls der Spirale mit steigender Temperatur und die Vergrößerung der sich ausdehnenden Unruh kompensieren. Die Wirkung ist abstimmbare, weil die Unruh eine größere Anzahl Gewindelöcher als Gewichtsschrauben besitzt. Zur Verstärkung der Kompensation werden sie näher an die Stelle gesetzt, wo die Reifenden aufgeschnitten sind. Schrauben mit verschiedener Kopfhöhe bzw. halben Köpfen (Bild 31) erlauben einen Feinausgleich.

Insbesondere die Unlinearität der Veränderung des Elastizitätsmoduls führt dazu, daß die Charakteristika der Veränderung von Unruh und Spirale für nur zwei Temperaturen (Bild 32) einwandfrei anzugleichen sind, dazwischen aber eine Abweichung verbleibt, die man als sekundären Fehler bezeichnet. Dieser liegt für eine Messing-Stahl-Kompensationsunruh in der Größe von 2 bis 6 s/d. Bei Verwendung von Nickelstahl mit etwa 44 Prozent Nickel [19] ergibt sich eine wesentlich bessere Anpassung der Charakteristika, so daß der sekundäre Fehler auf weniger als 1 s/d gesenkt werden kann.

Vom Regleur ist der sekundäre Fehler in gewissem Maße auf Grund der Tatsache zu beeinflussen, daß sich die Reifenhälften nicht linear und völlig symmetrisch bewegen, sondern daß deren Verbiegen in hohen Temperaturen – zwischen 45° und 100° vom Anfangspunkt der Reifenhälfte – etwas stärker ist [1, S. 81]. Es ist demzufolge anzustreben, die Schrauben nicht über den ganzen Reifen zu verteilen, sondern in dieser Gegend zu konzentrieren [1, S. 239 bis 245].

Die Temperaturkompensation wird nach vollendetem Ausgleich des Isochronismus in der Lage Zifferblatt oben vorgenommen, wobei die Uhr meist in Normaltemperatur (20°C), Wärme (36°C) und Kälte (4°C) beobachtet wird.

#### 4.3. Erreichte Gangleistung und Prüfgrenzen

Für nautische Zwecke benutzte Beobachtungsuhrer müssen vor der Verwendung und im folgenden alle drei Jahre zu amtlichen Gangprüfungen vorgelegt werden. Danach erhalten sie ein Gangzertifikat (Bild 33). Im übrigen sind freiwillige Prüfungen möglich. Prüfinstitute sind Observatorien (Observatoires de Neuchâtel, Genf, Besançon),

Institute (Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg) oder sonstige amtliche Prüfdienststellen (Deutsches Amt für Meßwesen und Warenprüfung, Prüfdienststelle für technische Schiffsausrüstungen, Stralsund). Präzisions-Taschenuhren werden auch von den amtlichen Prüfbüros der Schweiz (Bureaux suisses de contrôle officiel de la marche des chronomètres) getestet. Die Uhren werden in verschiedenen Lagen und Temperaturen geprüft, wobei die Prüfzyklen verschiedener Institute uneinheitlich sind [40].

In der Tafel 7 sind auszugsweise Prüfgrenzen verschiedener Prüfinstitute gezeigt [39] [42] [43] [41]. Meist wird aus den erhaltenen Meßwerten eine Gütekennziffer errechnet und auf deren Grundlage ein Wettbewerb bezüglich der besten Ergebnisse bei Einzelstücken und Serien durchgeführt [14] [36] [38] [20]. Dabei erhalten Lagen-, Temperatur- und sonstige Abweichungen eine unterschiedliche Wertigkeit. Das Observatorium Neuchâtel [36] [39] berechnet beispielsweise die Qualitätskennziffer wie folgt:

$$N = 21 E + 30 C + \frac{2}{3} S + 1,2 R + 4,5 P$$

- E mittlere tägliche Gangschwankung
- C Temperaturkoeffizient
- S sekundärer Kompensationsfehler
- R Wiederaufnahme des Ganges
- P mittlere Gangschwankung

Geprüft wird bei 20 °C, 4 °C, 20 °C, 36 °C und 10 °C. 1967 wurden 55 mechanische Borduhren und 203 mechanische Taschenuhren vorgelegt.

Die besten Taschenuhren erzielten in den einzelnen Kategorien folgende Werte:

$$E = \pm 0,04 \text{ s/d}^2$$

$$C = - 0,007 \text{ s/}^\circ\text{C d}$$

$$S = + 0,20 \text{ s/d}$$

$$R = - 0,02 \text{ s/d}$$

$$P = \pm 0,13 \text{ s/d}^2$$

$$N = 1,75$$

Die Observatoriumswettbewerbe trugen wesentlich dazu bei, die Ganggenauigkeit zu steigern. Statistische Werte über erzielte Genauigkeiten werden von *Ditheim* [16], *Gey* [12], *Kleinstück* [11], *Krause* [13] und *Favre* [18] angegeben.

Der Einfluß des Luftdruckes ist praktisch zu vernachlässigen. *Hérique* [15] fand bei umfangreichen Versuchen, daß eine Druckminderung um 700 mm Hg eine Gangänderung von + 7 bis + 12 s/d erzeugt.

#### 4.4. Prüfverfahren

Zur offiziellen Prüfung werden die Uhren in Temperaturschränken bei den vorgeschriebenen Temperaturen und in verschiedenen Lagen aufbewahrt, täglich aufgezogen und abgelesen. Vereinzelt wird der Luftdruck konstant gehalten.

Die Ablesung kann nach der Auge-Ohr-Methode (vgl. 4.2.) oder mit Hilfe eines Streifenchronographen erfolgen, auf dessen Band Sekundenkontakte einer Normaluhr sowie der Nulldurchgang des Sekundenzeigers der geprüften Uhr markiert werden. Der Sekundenzeiger wird mit einer Lupe beobachtet und die Markierung mit einer Morsetaste ausgelöst. Anstelle von Streifenchronographen sind auch Meßeinrichtungen mit elektrisch betätigten Stoppuhren und einer Ablesegenauigkeit von  $\frac{1}{100}$  s verwendbar [25] [37]. Verbesserte Verfahren vermeiden den persönlichen Fehler, indem sie den Nulldurchgang des Sekundenzeigers mit einer Photodiode aufnehmen [25].

US 0951 c

#### Literatur

- [1] *Giebel, K.; Helwig, A.*: Die Feinstellung der Uhren. Berlin: Verlag Technik 1952.
- [2] *Billeter, H.*: Le réglage de Précision. Bienne: Verlag E. Magron 1921.



Bild 33. Prüfcertifikat

Tafel 7. Ganggrenzen von Taschenchronometern (Auszug) [s/d bzw. s/d<sup>2</sup>]

	Obs. Neuchâtel [39]	Bureaux suisse [43]		Hamburg [42]		DAMW-VW 6 [41]	
		Qualität I	II	I	II	S	I
Mittl. tgl. Gang g	—	+ 5 — 2	+ 8 — 3	+ 5 — 2	+ 10 — 4	± 2	± 4
therm. Koeffizient	± 0,1	± 0,25	± 0,5	± 0,25	± 0,5	± 0,25	± 0,45
Sekundärer Fehler d.							
Kompensation	± 1,5	± 4,5	± 9	± 4,5	± 9	± 4	± 7
Wiederaufnahme des Ganges	± 2	± 2,5	± 5	± 2,5	± 5		
Mittel des tgl. Ganges jeder Periode	± 2,5						
Lagenfehler (Hängen/Liegen)	± 2,5	± 4	± 7	± 5	± 10	± 3	± 5
Lagenfehler (Zifferbl. oben/unten)	± 2,5						
Mittlere Abweichung des tgl. Ganges E	± 0,3						
Mittlere Abweichung durch Lagenwechsel	± 1,5						
Mittlerer Gang jeder Periode	± 5						
Durchschnittliche Variation in 5 Lagen		1,5	3	1,5	3	1,8	3,0
Größte Variation in einer Lage		2,5	5	2,5	5	2,4	4,0

- [3] *James, E.; Loeske, M.*: Leitfaden der Präzisionsreglage. Bautzen: Verlag Hübner 1910.
- [4] *Jaquet, E.; Defossez, L.*: Cours élémentaire de réglage. Le Locle 1958.
- [5] *Defossez, L.*: Der Rhabilleur und die Breguetspirale. Schweizerische Uhrmacherzeitung (1966) Nr. 10.

- [6] Nicolet, J. C.: Considérations pratiques sur le réglage des montres. Rev. Int. d l'Horl. (1958) 9, pp. 3-9.
- [7] Donat, A.: Methode d'observation du point d'attache à la virole dans les montres bracelet avec spiraux plats; Cétéhor Doc. 66c.
- [8] Begriffsbestimmung der Bezeichnungen Chronometer und Präzisionsuhr. Schriftenreihe der Dtsch. Ges. f. Zeitmeßkd. Bd. 9/1938, S. 161 bis 163.
- [9] Bachschmid, F.: Anleitung zum Gebrauch der Ingold-Fräsen. Zürich 1880.
- [10] James, E.; Golay, J.: Application pratique des courbes phillipps Genève.
- [11] Kleinstück, E.: Über das Verhalten von Taschenuhren. Dissertation vorgelegt in Leipzig, Weida/Thür. 1913.
- [12] Gey, K.: Untersuchung über den Gang von Taschenuhren. Dissertation, vorgelegt in Leipzig, Weida 1909.
- [13] Krause, A.: Studien über das Verhalten von Taschenuhren. Dissertation, Leipzig 1906.
- [14] Leroy, L.: Etat des trois branches de la chronométrie, ses progrès, son avenir. Congrès Nat. de Chronométrie 1923, Paris 1926, S. 41-46.
- [15] Hérique, A.: Influence des variations de la pression de l'air sur la marche des 386 chronomètres de poche. Congrès Nat. de Chronométrie 1923, Paris 1926, S. 69-73.
- [16] Ditisheim, P.: Classification des échappements. Congrès Internat. de Chronométrie 1900, Paris 1902, S. 40-46.
- [17] Chévenard, P.: Nouveaux alliages pour spiraux des chronomètres: métélinvar et durinval. BSSC 1938, S. 19-23.
- [18] Favre, H.: Réglage des chronomètres de poche aux positions verticales. Congrès Int. de Chronométrie 1900, Paris 1902, S. 61-62.
- [19] Guillaume, Ch.-Ed.: Les aciers au nickel, leur applications à la chronométrie, Congrès Int. de Chronométrie 1900, Paris 1902, S. 90-112.
- [20] Degallier, E.: Preuves expérimentales de la corrélation inverse qu'il y a entre les indices de qualité des montres et les écarts moyens de leurs marches. BSSC 1938, S. 46-49.
- [21] Müller, H.: Die Feinstellung einer Präzisions-Taschenuhr. Jahrbuch der „Urania“, 1. Band. Bautzen 104, S. 93.
- [22] Müller, H.: Klippen und Untiefen der Ankerhemmung. Jahrbuch der „Urania“, Jahrgang 1929.
- [23] Keil, W.: Über den Begriff „Präzisionsuhr“. Die Uhr (1956) 15, S. 82-86.
- [24] Apel, H.: Beobachtungsuhr und Tourbillons. Die Uhr (1952) 15, S. 15.
- [25] Klingenberg, H.: Zur automatischen Messung von Beobachtungsuhr. Die Uhr (1959) 23, S. 18.
- [26] Helwig, H.: Drehganguhren. Berlin: Verl. d. Dtsch. Uhrm.-Ztg. 1927.
- [27] Saunier, C.: Lehrbuch der Uhrmacherei. Übersetzt von M. Grossmann, 1. Band. Glashütte 1878.
- [28] desgl. 2. Band, Glashütte 1878.
- [29] desgl. 3. Band, Glashütte 1879.
- [30] desgl. Ergänzungsband, Bautzen 1891.
- [31] Schultz, W.: Der Uhrmacher am Werk Tisch. Verl. Dtsch. Uhrm.-Ztg., Berlin 1941.
- [32] Herchenhan, H.: DPB 883 424, 1 042 475, 1 042 476.
- [33] Lehotzky, L.: Umlaufrädergetriebe. Der Uhrmacher (1954) 5, S. 177 bis 179.
- [34] Greiner, R.: Das Auswuchten der Unruhen. JDGC 1966, S. 63-70.
- [35] Grossmann, M.: Abhandlung über die Konstruktion einer einfachen, aber mechanisch vollkommenen Uhr. Glashütte 1880.
- [36] Gary, M.: Die Chronometerprüfungen in Genf und Neuenburg im Jahre 1967. Die Uhr (1968) 16, S. 15-16.
- [37] Vilkner, H.: Chronometerprüfung. Feinmechanik und Optik (1960) 4, S. 108-115.
- [38] Chopard, R.: Welchen Wert besitzen die Observatoriums-Wettbewerbe für die Uhrenindustrie? Die Uhr (1968) 10, S. 14-16.
- [39] Arrêté portant revision du règlement pour l'observation des chronomètres, des pendules et d'autres instruments de mesure du temps à l'observatoire astronomique et chronométrique de Neuchâtel (13. 2. 1959) und Ergänzungen.
- [40] Baillaud, R.: Rapport sur les recommandations faites par la Commission internationale des coordination des travaux des observatoires chronométriques. V. Congrès Int. de Chr. Procès-Verbaux, Paris 1954, S. 501-506.
- [41] DAMW-VW 6 Gr. 378. Beobachtungsuhr - Bedingungen für die Zulassung (Erst- und Nachprüfung).
- [42] Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg. Amtliche Prüfung von Taschen- und Armbanduhren.
- [43] Bureaux suisses de contrôle officiel de la marche des chronomètres Règlement, März 1961.
- [44] Helwig, A.: Differentialwerke. Leipzig: Verlag W. Diebener 1929
- [45] Ulysse Nardin, Le Locle. Prospekt „La collection exclusive des chronomètres de marine“.
- [46] Berner, P.: Historique du Réglage de Précision. Bienne: Verlag E. Magron.
- [47] Baillie, G. H.: Watches. London: Verlag Methuen & Co. 1929.
- [48] Irk, A.: Hilfskompensationseinrichtung. Deutsche Uhrmacherzeitung (1903) Nr. 13, 15, 16, 19, 20.
- [49] Watches, The Paul M. Chamberlain. Collection at the Art Institute of Chicago 1921.



**MENZO**

Spezialbetrieb für Zapfenrollierstühle, Zapfenrolliermaschinen, Zehntelmaße, Klein-Feinst-Mechaniker-Steckschlüssel-Einsätze sowie Kleinwerkzeuge für Uhrmacher, Goldschmieder und Mechaniker

**Alleiniger Hersteller der  
Uhrmacherschraubenzieher**

**H. Richard Menz KG, Werkzeugfabrik  
DDR - 6085 Oberschönau (Thüringen)**



Schmuckwarengroßhandlung  
**GERHARD LINDNER KG**  
90 Karl-Marx-Stadt, Kapellenberg 7

Seit über 60 Jahren  
im Dienste des Fachhandels  
— Gegründet 1909 —

