

Präzisions-Taschenuhren — Teil 1

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 mm² Werkfläche) und eine größte Dicke von 10 mm haben, während für Borduhren ein Größtvolumen von 220 cm³ (135 cm³, 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

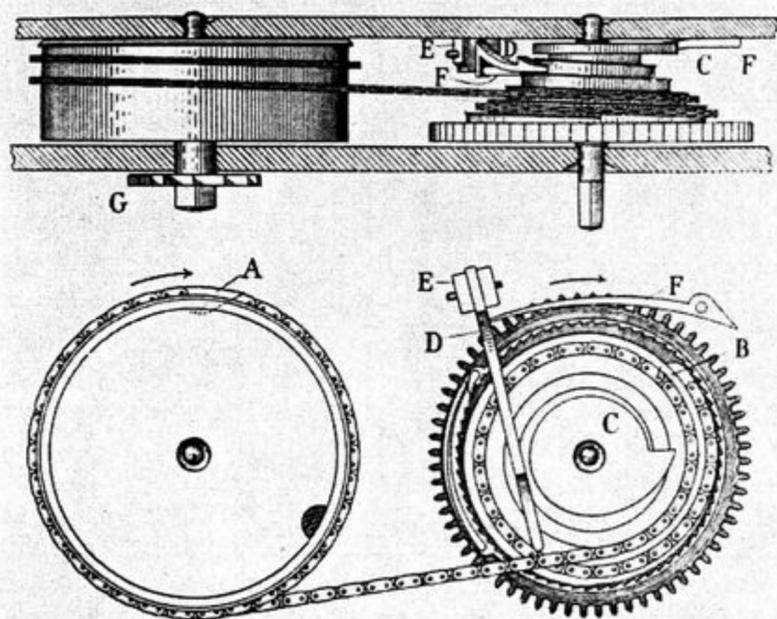
Mangelnder Isochronismus zwang ursprünglich dazu, den ungleichmäßigen Drehmoment-Weg-Verlauf der üblicherweise verwendeten spiralförmigen Antriebsfeder durch eine Schnecke auszugleichen (Bild 1). Eine um die ungezahnte zylindrische Federhaustrommel liegende Kette wird beim Aufziehen auf eine schneckenförmige 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 Drehmomentspitze 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*)



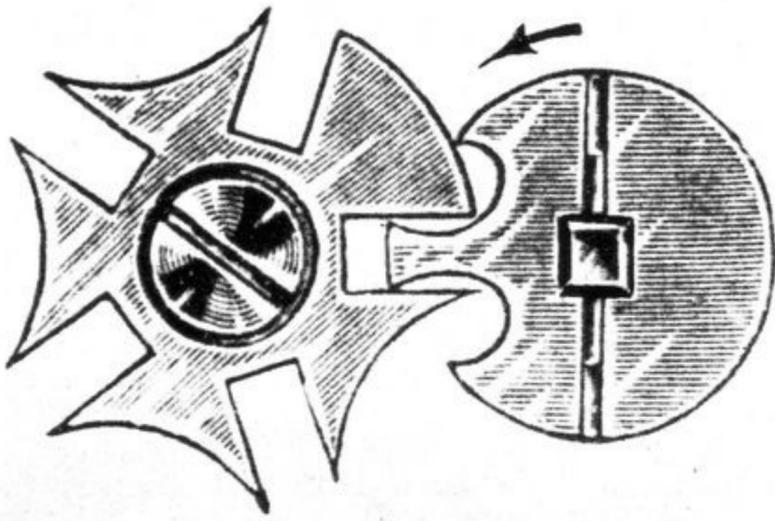


Bild 2. Malteserkreuzstellung für vier Federhausumdrehungen

Bild 5
Taschenuhr von
Ulysse Nardin, Genf,
Schweizer Klobenbauweise

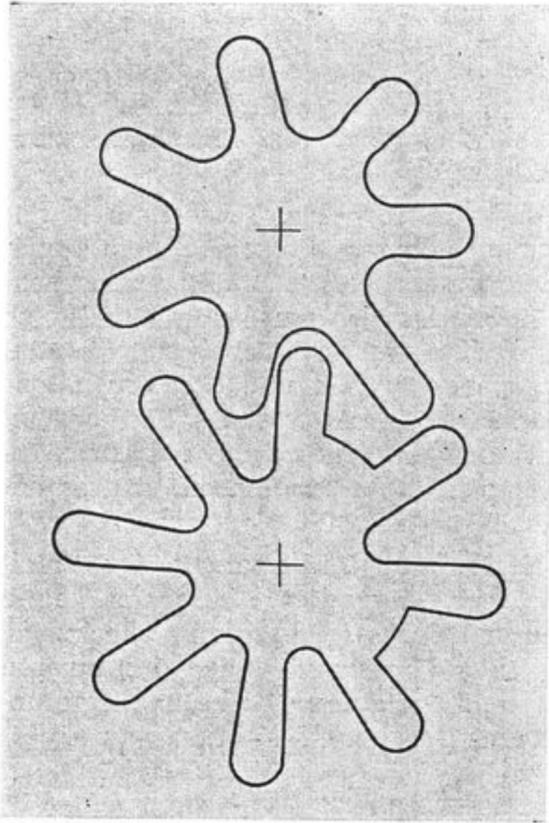


Bild 3. Stellung mit langen und kurzen Zähnen für sechs Federhausumdrehungen

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

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

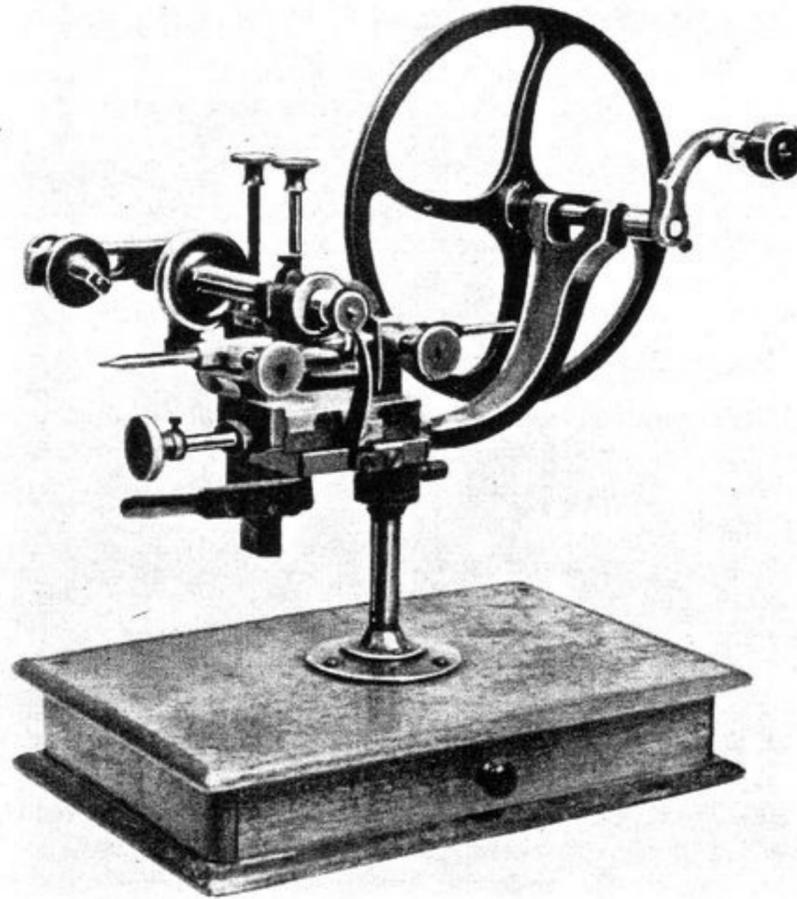
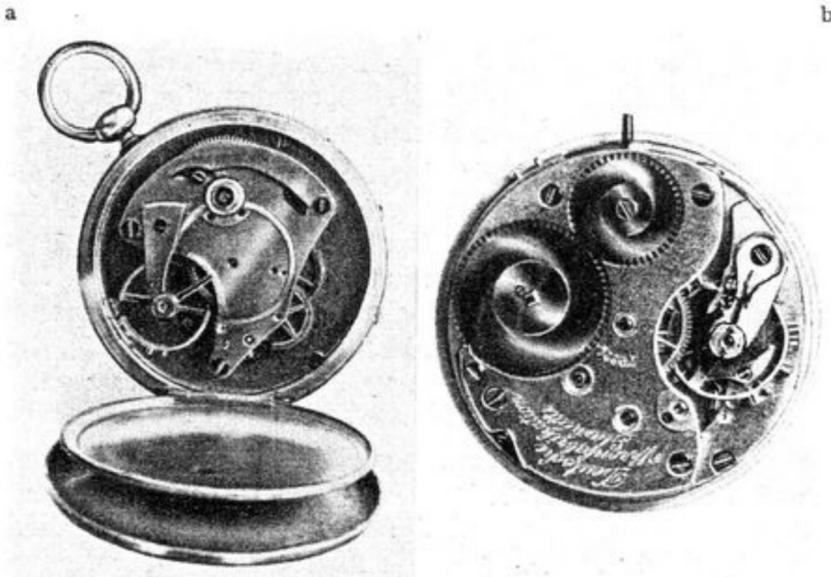


Bild 6. Abwälzfräsmaschine

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.

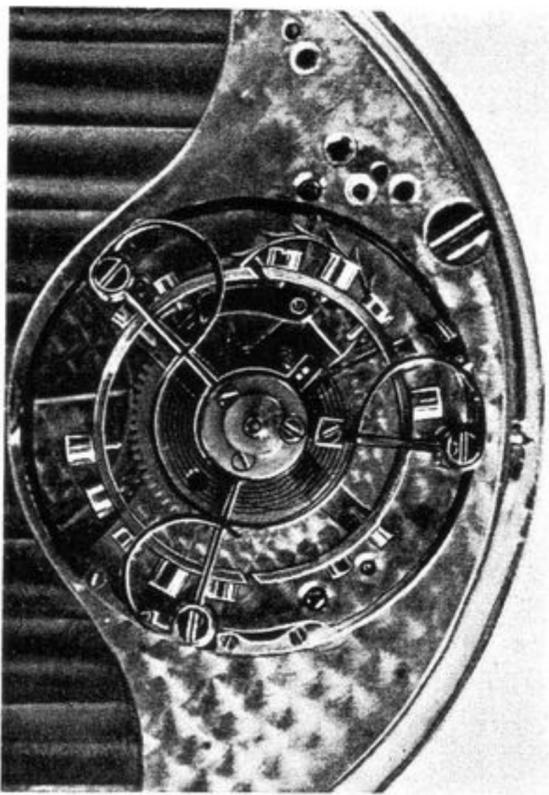


Bild 10. Drehgestell mit Unruh und Hemmung der Uhr nach Bild 9

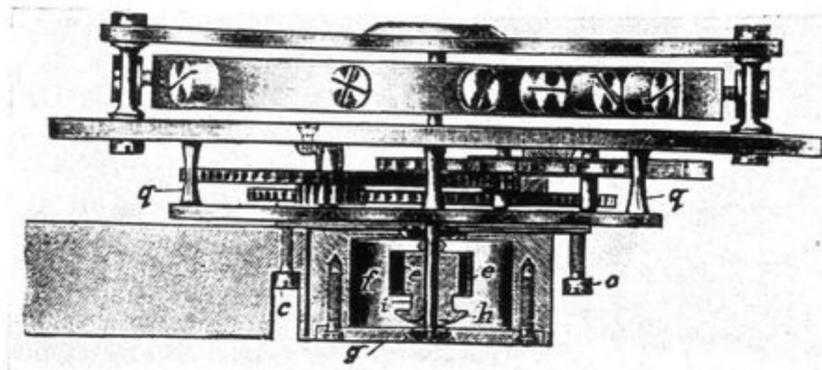


Bild 12. Fliegend gelagertes Drehgestell eines Fünfminuten-Tourbillons (nach Helwig, Drehganguhren)

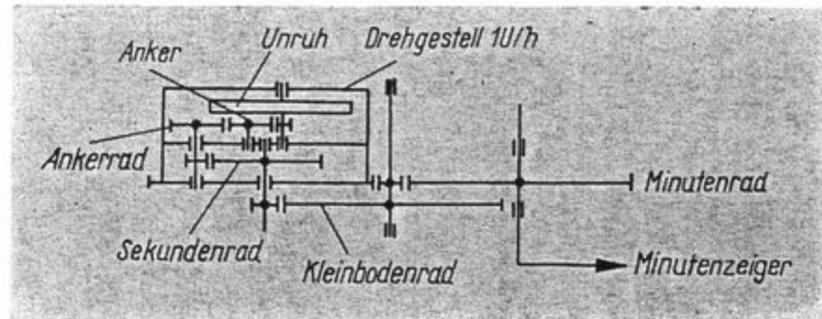


Bild 13. Schematische Darstellung des Aufbaus einer Karussell-Uhr

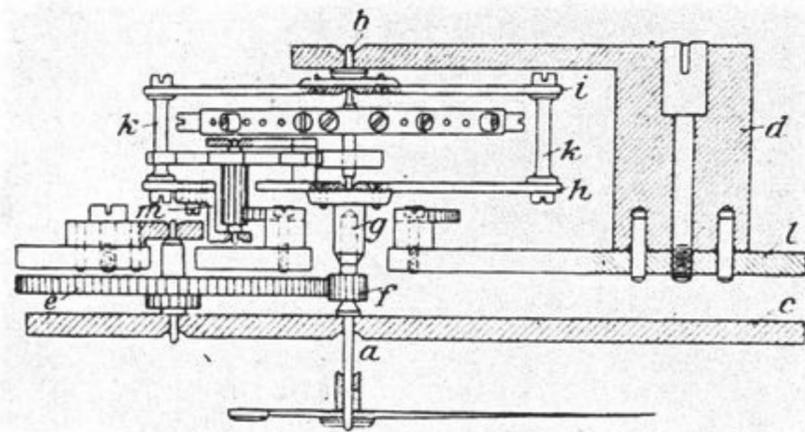


Bild 11. Aufbau eines Minuten-Tourbillon-Gestells mit Chronometerhemmung (nach Helwig, Drehganguhren)

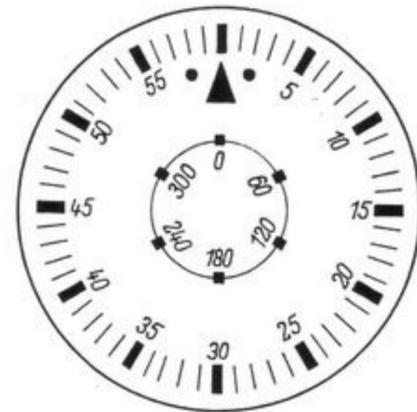


Bild 14. Zifferblatteinteilung einer Gradmaßuhr

- 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 Werkstoffbau

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

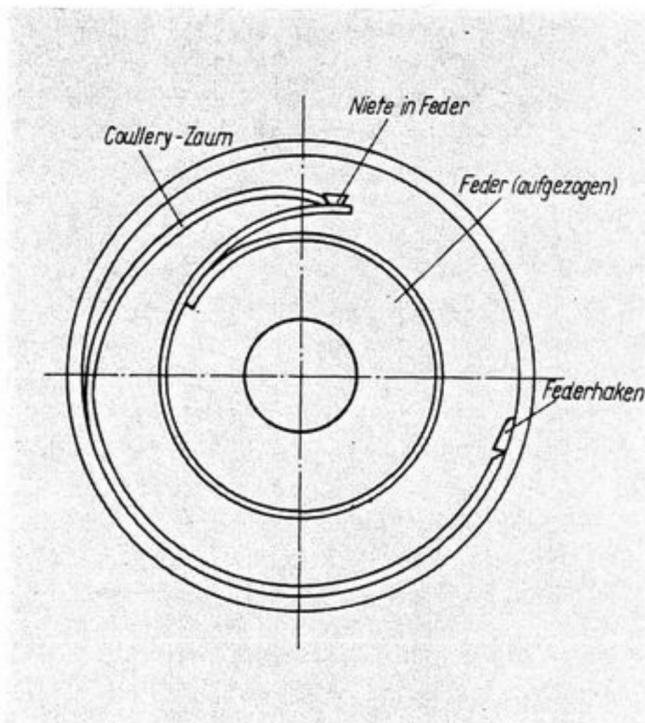


Bild 16. Ansicht und Schnittdarstellung einer Präzisions-Taschenuhr

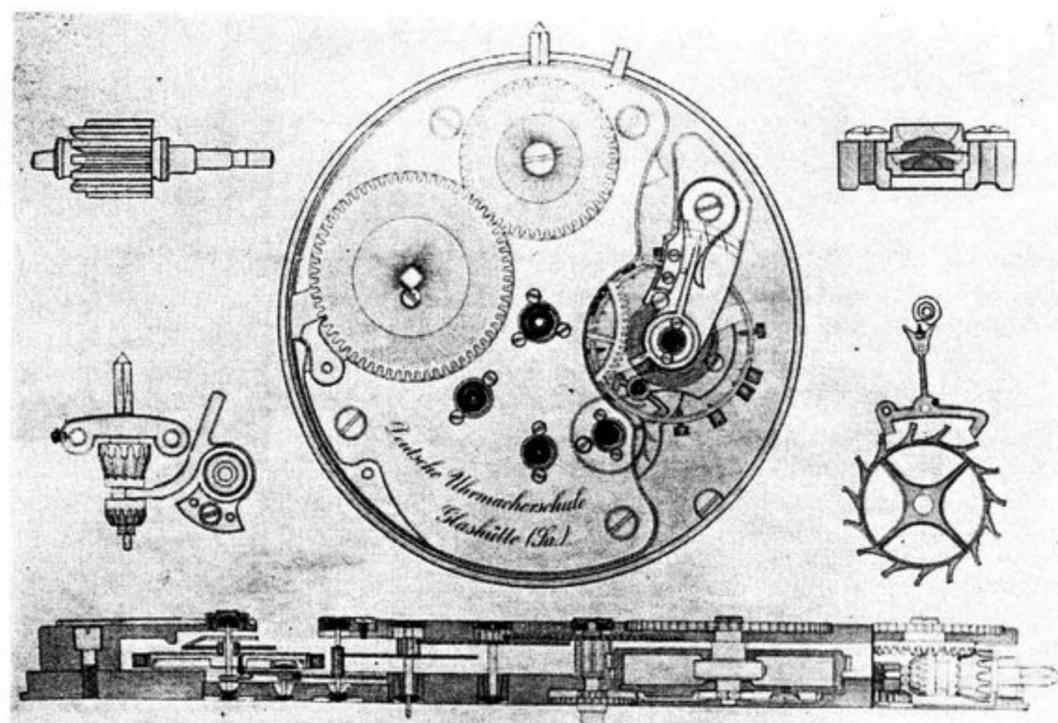




Bild 17
Beobachtungsuhr mit zentraler Sekunde indirekt angetrieben



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 ²
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)

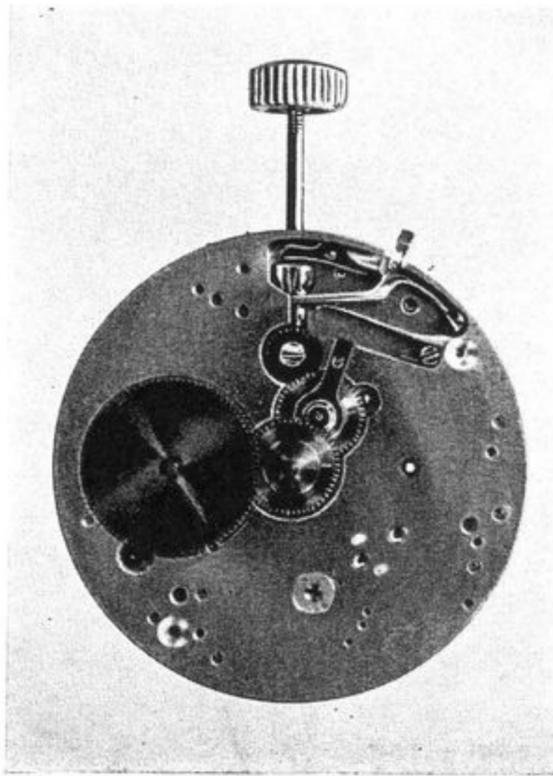


Bild 20
Kupplungsaufzug einer Borduhr

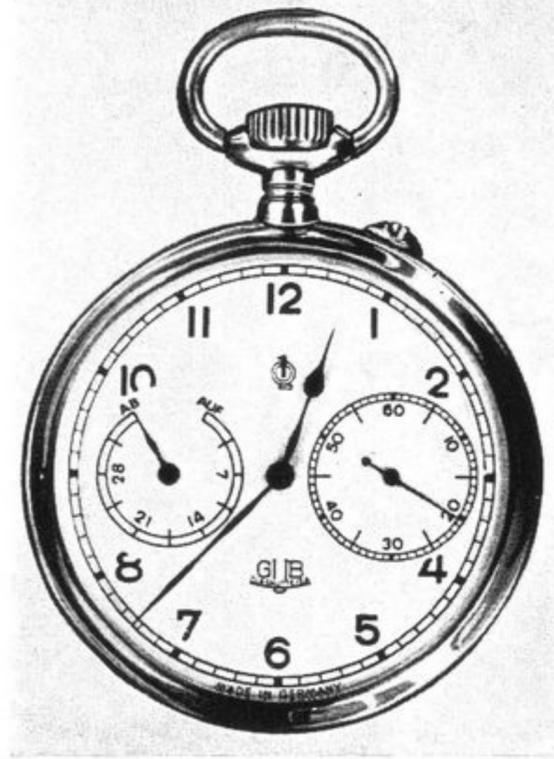


Bild 21
Zifferblattansicht einer Borduhr mit Auf- und Abwerk

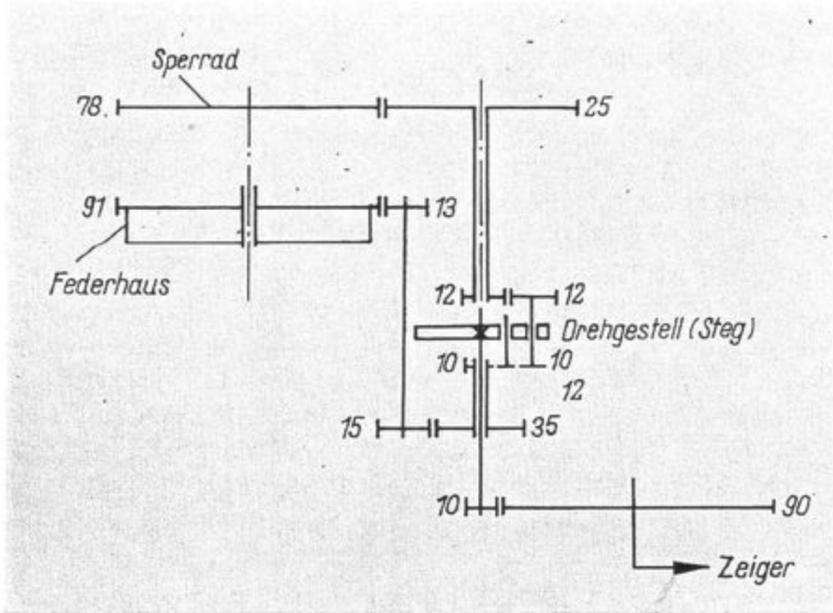


Bild 22. Räderdifferential des Auf- und Abwerkes einer Borduhr

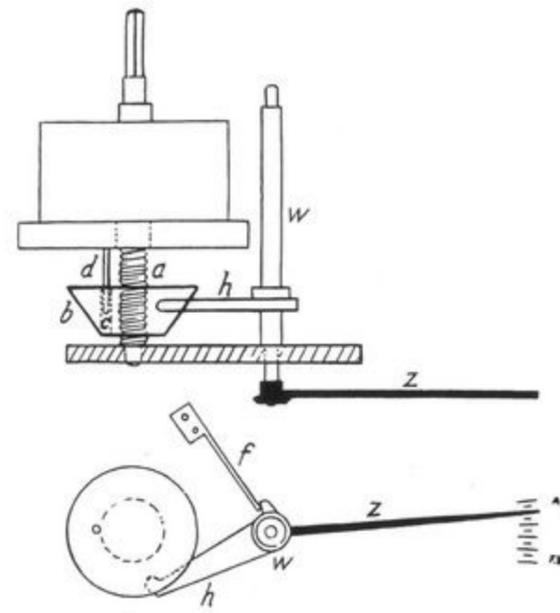
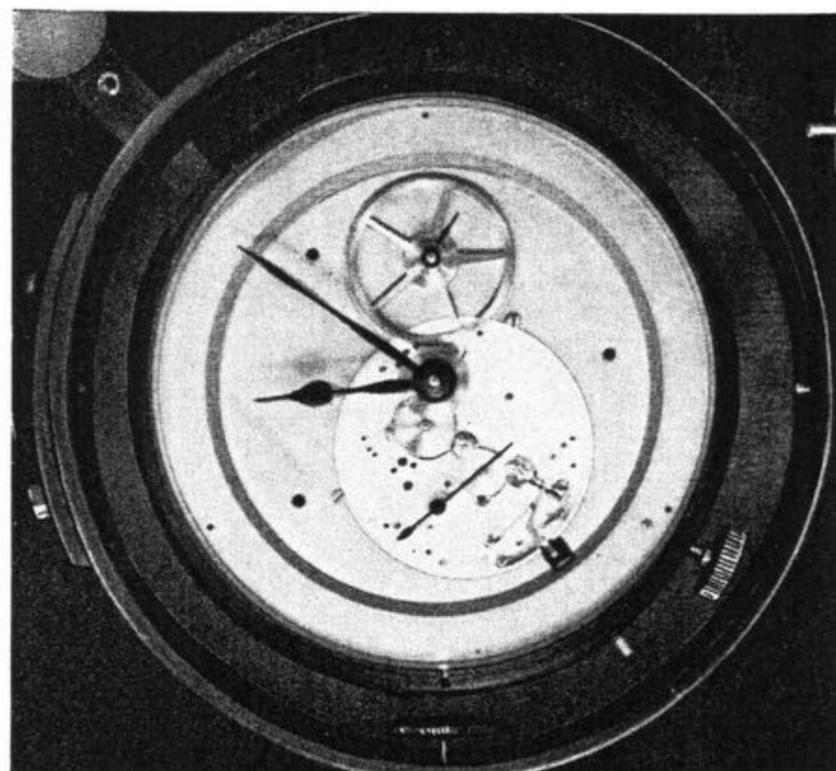


Bild 23. Wandermutterdifferential (nach Helwig, Drehganguhren)

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)