



**TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER
MECHANISCHEN UHREN
VON DER TURM- BIS ZUR ARMBANDUHR**

von

Prof. Dipl.-Ing. Ludwig Lehotzky

überarbeitet von

M. Stern

mit 572 Abbildungen und 47 Tabellen



Vorwort

Die Neuauflage des Buches „Mechanische Uhren“ schließt eine Lücke in der aktuellen uhrentechnischen Literatur. Mit Hilfe dieses Uhrenbuches kann der Uhrmacher, der Uhrenkonstrukteur und Uhrenliebhaber die grundlegende Uhrentechnik der Groß- und Kleinuhr mit seinen Komplikationen besser durchdringen. Wiedergegeben ist hier der Stand der Uhrentechnik bis ca. 1960. Trotzdem ist der zeitliche Geltungsbereich dieses Buches weiter zu fassen, da sich die grundlegende Uhrentechnik kaum wandelte. Einiges, was früher an Komplikationen nur in Taschenuhren zu finden war, hat Einzug in die Armbanduhren gefunden. So lassen sich die in diesem Buch besprochenen Komplikationen vom automatischen Aufzug über die Gangreserve, Kalenderformen und Chronographen bis hin zum Tourbillon heute auch auf Armbanduhren übertragen. Einzig die Weckfunktion fehlt, diese Lücke schließt der Verlag aber demnächst mit einem eigenen Buch.

Der Bereich der Uhrenreparatur profitiert nicht nur von den im Buch beschriebenen Konstruktionsprinzipien. Die Berechnung und Konstruktion fehlender Teile und Anregungen zur Fehlersuche und -beseitigung bieten eine unersetzliche Hilfe für die Reparatur. Auch die ausführlichen Beschreibungen und Hilfen zur Hemmungskorrektur und Feinstellung stehen bereit.

Heute wird dieses gesuchte Fachbuch aufgrund seiner überragenden Qualität z. B. an der Pforzheimer Uhrmacherschule immer noch eingesetzt, da sich kein besseres Fachbuch für diesen Themenbereich findet. Dies insbesondere deshalb, weil Ludwig Lehotzky die Uhrentechnik aus eigenem Wissen und eigener Erfahrung beschreibt und nicht, wie so viele andere Autoren, nur Bekanntes neu zusammengestellt hat.

Aus diesen Gründen haben wir uns entschlossen, dieses Fachbuch neu zu verlegen. Damit es als Lehrbuch an Schulen eingesetzt werden kann, haben wir es in die neue deutsche Rechtschreibung überführt. Sprachlich wurde das Buch etwas überarbeitet, erkennbare Fehler getilgt und physikalische Einheiten den gültigen Normen angepasst. Band I und II werden hier in einem Buch zusammengeführt. Die Zeichnungen sind digital überarbeitet worden, aber als Handskizzen Lehotzkys erhalten.

Zur Digitalisierung lag ein Original aus dem Besitz von Herrn V. Vyskocil vor, dem wir für das Bereitstellen herzlich danken. Möglich wurde diese Neuauflage nur durch die freundliche Genehmigung der Familie Lehotzky – herzlichen Dank im Namen aller Uhrentechnikliebhaber. Einen kurzen Lebenslauf des Autors finden Sie auf der nächsten Seite. Dank auch an den Physiker Hans Hornschu, der alle Formeln und Einheiten noch einmal kritisch betrachtete.

Leider schleichen sich bei jeder Neuauflage auch neue Fehler ein, die trotz mehrmaligem Korrekturlesen unterschiedlicher Lektoren nicht bemerkt werden. Wir sind deshalb auf Ihre Mithilfe bei der Verbesserung unserer Bücher angewiesen. Bitte melden Sie uns Fehler und Anregungen (service@uhrenliteratur.de). Korrekturen und Ergänzungen finden sich dann wie immer für jeden abrufbar im Internet (www.uhrenliteratur.de -->> Service oder unter dem entsprechendem Buchtitel).

M. Stern
Berlin 2006

Prof. Dipl. Ing. Ludwig Lehotzky ¹

Geboren am 30. 8. 1902 in Wien, wo er auch die Mittelschule am Wasa-Gymnasium besuchte. Schon in dieser Zeit arbeitete er als Ferialpraktikant in der Lehrwerkstätte für astronomische Chronometer des damals weit über Österreich hinaus bekannten Ing. Karl Satori.

Nach der Matura besuchte er die Technische Hochschule in Wien, Fachrichtung Elektrotechnik und trat nach Abschluss des Studiums 1928 bei der Firma Siemens & Halske in die Abteilung für elektrische Uhren ein. Nach dem Zusammenbruch der Firma Siemens & Halske in der Weltwirtschaftskrise war Dipl. Ing. Lehotzky kurzfristig auch von Arbeitslosigkeit betroffen, nützte aber diese Zeit zur Weiterbildung und wurde später von der Firma Elin in Weiz als Prüfungs- und Berechnungsingenieur angestellt.

Sein alter Mentor, Ing. Karl Satori, machte ihn darauf aufmerksam, dass an der Uhrenfachschule in Karlstein/Thaya ein Spezialist für mechanische Uhren gesucht werde. Dank seiner profunden Vorkenntnisse wurde Dipl. Ing. Lehotzky sofort angestellt. Am 3. November 1936 stand er erstmals als Professor vor seinen Schülern und trug Uhrenkunde vor. Da das bisherige Unterrichtssystem aus zeitraubendem Vortragen und Mitschreiben bestand, suchte er nach Verbesserungen des fachtheoretischen Unterrichts durch Schaffung von Skripten und Lehrmittelsammlungen.

Seine bereits für 1938 vorgesehene Bestellung zum Direktor der Uhrenfachschule wurde durch die politischen Ereignisse verhindert. Unter großem persönlichen Einsatz gelang es ihm nach dem Kriegsende, die Schule mit ihren technischen Einrichtungen vor der Zerstörung zu bewahren.

Ab 1946 begann seine Tätigkeit als Fachautor. Es entstanden zunächst die Lehr- und Fachbücher „Uhrenkunde I + II“ – die nach Überarbeitung unter Bedachtnahme auf die neueste Entwicklung der Uhrentechnik unter dem Titel „Mechanische Uhren“ neu herausgebracht wurden – und später „Elektrische Uhren“, für Jahrzehnte Standardwerke für die Ausbildung der jungen Uhrmachergeneration, nicht nur im deutschsprachigen Raum. Auch das Interesse des Auslands war groß. So erfolgte eine Übersetzung der Werke in die spanische Sprache und die Universität von Tokyo forderte mehrere Bände für wissenschaftliche Zwecke an. Neben der Tätigkeit als Autor war Dipl. Ing. Lehotzky ein gefragter Vortragender bei Fachveranstaltungen, etwa bei den internationalen Kongressen für Chronometrie in Paris und München, schrieb Fachaufsätze für in- und ausländische Fachzeitschriften, hielt zahlreiche Vorträge bei Uhrmacherinnungen und fand daneben noch Zeit, sich intensiv an der Entwicklung der Quarzuhren zu beteiligen.

1955 wurde Dipl. Ing. Lehotzky zum Direktor der Bundesfachschule für Uhrmacher in Karlstein bestellt, wo er bis zum Eintritt in den Ruhestand am 31. 12. 1967 tätig war. In dieser Zeit war er maßgeblich am Neubau der Schule beteiligt und seinem Wirken ist es zu danken, dass die Schule den damals bestmöglichen technischen Standard erhielt. Aus Anlass seiner Pensionierung wurden ihm zahlreiche Ehrungen aus dem In- und Ausland zuteil.

Nach Übersiedlung nach Kärnten blieb er in regem Kontakt mit Fachkollegen und -zeitschriften, widmete sich aber intensiver als in den Berufsjahren seiner Familie und seinem Hobby, dem Bergsteigen.

Am 26. März 1975 ist Dipl. Ing. Lehotzky nach kurzer, schwerer Krankheit verstorben.

¹ Der Lebenslauf wurde von der Familie Lehotzky zur Verfügung gestellt!

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
-------------------------	---

Erster Teil: Die Hemmungen

1. Kapitel: Grundbegriffe	
I. Allgemeines.....	5
II. Technische Bezeichnungen.....	6
III. Konstruktionsgrundlagen.....	9
2. Kapitel: Die Grahamhemmung	
I. Allgemeines.....	15
II. Konstruktionsgrundlagen.....	15
III. Maßtabellen.....	17
IV. Arten und Herstellung der Grahamanker.....	18
V. Grahamhemmung für Turmuhren.....	19
VI. Fehler der Grahamhemmung.....	19
3. Kapitel: Die rückführenden Pendelhemmungen	
I. Allgemeines.....	25
II. Die Stockuhrhemmung.....	26
III. Die Schwarzwälderhemmung.....	32
IV. Die Rollenhemmung.....	34
4. Kapitel: Die Pendel-Stifthemmungen	
I. Stifthemmungen für Zimmeruhren.....	37
II. Stifthemmungen für Turmuhren.....	42
5. Kapitel: Die freien Ankerhemmungen	
I. Allgemeines.....	45
II. Die Spitzzahnhemmung.....	52
III. Die Kolbenzahnhemmung.....	60
IV. Maßtabellen.....	66
V. Die Stifthemmung.....	67
VI. Die Fehler der freien Ankerhemmungen.....	74
6. Kapitel: Die Zylinderhemmung	
I. Allgemeines.....	87
II. Konstruktionsgrundlagen.....	87
III. Maßtabellen.....	91
IV. Fehler der Zylinderhemmung.....	91

7. Kapitel: Die Duplexhemmung	
I. Allgemeines.....	93
II. Konstruktionsgrundlagen.....	93
III. Duplexhemmung mit doppelten Ruhe­zähnen.....	95
IV. Fehler der Duplexhemmung.....	97
8. Kapitel: Die Chronometerhemmung	
I. Allgemeines.....	98
II. Konstruktionsgrundlagen.....	99
III. Fehler der Chronometerhemmung.....	103
9. Kapitel: Die Pendelhemmungen mit konstantem Antrieb	
I. Allgemeines.....	106
II. Die Schwerkraft-Hemmungen.....	106
III. Die Federkraft-Hemmungen.....	108

Zweiter Teil: Der Antrieb der Uhr

1. Kapitel: Die bewegende Kraft	111
2. Kapitel: Die Gesperre	
I. Allgemeines.....	111
II. Das einfache Gesperr.....	111
III. Die Rückgangesperre.....	113
IV. Das Gegengesperre mit Hilfsantrieb.....	116
3. Kapitel: Der Gewichts­antrieb	
I. Allgemeines.....	117
II. Das Gewicht.....	118
III. Die Fallhöhe.....	118
IV. Der Saitenzug.....	119
V. Der Kettenzug.....	119
4. Kapitel: Der Federantrieb	
I. Arten des Federhauses.....	120
II. Die Federhausgesetze.....	121
III. Form und Stärke der Zugfeder.....	123
IV. Die Zugkraft der Feder.....	124
V. Die Stellungen.....	125
VI. Die Rutsch­zäume.....	127
VII. Die Schon­zäume.....	130
VIII. Die Schnecke.....	132

Dritter Teil: Die Verzahnungen

1. Kapitel: Grundbegriffe	
I. Allgemeines.....	135
II. Technische Bezeichnungen.....	136
III. Berechnung der Stirnradpaare.....	138
2. Kapitel: Die Zykloidenverzahnung	
I. Die Zykloide.....	139
II. Zykloiden als Zahnprofilkurven.....	141
III. Eingriffsverhältnisse.....	141
IV. Reibungsverhältnisse.....	143
V. Konstruktionsgrundlagen.....	143
VI. Abweichende Kopfformen.....	147
VII. Berechnung der Eingriffe Rad in Trieb.....	150
VIII. Berechnung der Eingriffe Rad in Rad.....	155
IX. Fehler der Zykloidenverzahnung.....	156
3. Kapitel: Die Triebstockverzahnung	
I. Allgemeines.....	160
II. Zahnprofilkurven.....	160
III. Eingriffsverhältnisse.....	160
IV. Reibungsverhältnisse.....	160
V. Konstruktionsgrundlagen.....	162
VI. Berechnungen.....	165
4. Kapitel: Die Evolventenverzahnung	
I. Die Evolvente.....	166
II. Evolventen als Zahnprofilkurven.....	167
III. Eingriffs- und Reibungsverhältnisse.....	168
IV. Konstruktionsgrundlagen.....	170
V. Berechnung der Eingriffe Rad in Rad.....	173
VI. Berechnung der Eingriffe Rad in Trieb.....	173
5. Kapitel: Kegel- und Kronräder	
I. Kegelräder.....	174
II. Kronräder.....	176

Vierter Teil: Das Gehwerk der Uhr

1. Kapitel: Allgemeine Räderwerksformeln	
I. Die Gesamtübersetzung.....	177
II. Aufteilung der Gesamtübersetzung.....	178
III. Entwurf von Räderwerken.....	178

2. Kapitel: Das Gehwerk der gewöhnlichen mechanischen Uhr	
I. Allgemeines.....	179
II. Das Gangdauerwerk.....	179
III. Das Schwingungszählwerk.....	180
IV. Das Zeigerwerk.....	182
V. Räderschemen gewöhnlicher Gehwerke.....	183
3. Kapitel: Abnormale Gehwerke	
I. Gehwerke ohne Minutenrad.....	185
II. Gehwerke mit Sonderminutentrieb.....	189
4. Kapitel: Die Zentralsekunde	
I. Allgemeines.....	193
II. Sondersekundenwelle seitlich.....	193
III. Sekundenwelle im Zuge des Räderwerkes.....	196
IV. Sondersekundenwelle im Zuge des Räderwerkes.....	200
5. Kapitel: Die Springsekunde	
I. Allgemeines.....	202
II. Die moderne Springsekunde.....	202
6. Kapitel: Berechnung fehlender Zahnräder	
I. Allgemeines.....	203
II. Fehlendes Zahnrad.....	203
III. Fehlende Welle.....	204
7. Kapitel: Berechnung fehlender Gangregler	
I. Allgemeines.....	205
II. Uhrwerke mit Sekundenzeiger.....	205

Fünfter Teil: Die Schlagwerke

1. Kapitel: Grundbegriffe	
I. Allgemeines.....	207
II. Das Schlaglaufwerk.....	208
III. Die Auslöse- und Sperrvorrichtung.....	209
IV. Die Schlagzähleinrichtung.....	210
V. Die Schlagabgabevorrichtung.....	210
2. Kapitel: Stunden- und Halbstundenschlagwerke	
I. Das Schlussscheiben-Schlagwerk.....	212
II. Ausführungsarten der Schlussscheiben-Schlagwerke.....	214
III. Zusammensetzen der Schlussscheiben-Schlagwerke.....	216

IV. Berechnung der Schluss scheiben-Schlaglaufwerke.....	217
V. Das Rechenschlagwerk.....	219
VI. Ausführungsarten der Rechenschlagwerke.....	222
VII. Zusammensetzen der Rechenschlagwerke.....	224
VIII. Berechnung der Rechenschlaglaufwerke.....	225

3. Kapitel: Viertelstundenschlagwerke

A. Gemeinsames Viertel- und Stundenwerk:	
I. Allgemeines.....	226
II. Ausführung mit gemeinsamer Staffel.....	226
III. Ausführung mit gemeinsamem Rechen.....	227
IV. Ausführung mit zwei parallelen Rechen.....	228
B. Getrenntes Viertel- und Stundenwerk:	
I. Allgemeines.....	229
II. Beide Werke mit Schluss scheibe.....	229
III. Beide Werke mit Rechen.....	231
IV. Viertelwerk mit Schluss scheibe, Stundenwerk mit Rechen.....	233

Sechster Teil: Die Gangregler

1. Kapitel: Grundbegriffe

I. Allgemeines, Arten der Gangregler.....	237
II. Stand, Gang und Variation.....	237
III. Die drahtlosen Zeitzeichen.....	240
IV. Die Zeitwaagen.....	241
V. Die Feststellung von Laufwerksfehlern mit der Zeitwaage.....	246
VI. Die Amplitudenmessgeräte.....	246

2. Kapitel: Das Pendel

I. Allgemeines.....	248
II. Die Schwingungsdauer.....	251
III. Die Gangstörungen.....	253
IV. Regulierung einer Pendeluhr.....	258
V. Die Luftdruckkompensation.....	261
VI. Die Temperaturkompensation.....	261

3. Kapitel: Die Unruh

I. Allgemeines.....	267
II. Die Schwingungsdauer.....	268
III. Regulierung einer Unruhuhr.....	270
IV. Die Gangstörungen.....	272

V. Die Endkurven.....	279
VI. Die Temperaturkompensation.....	282

Siebenter Teil: Die Feinstellung

1. Kapitel: Allgemeines	
I. Aufgaben der Feinstellung.....	287
II. Die störenden Einflüsse.....	287
III. Arbeitsvorgang bei der Feinstellung.....	288
2. Kapitel: Die Temperaturfeinstellung	
I. Allgemeines.....	289
II. Feinstellung bei einer Kompensationsunruh.....	289
III. Feinstellung bei einer Nickelstahlspirale.....	290
3. Kapitel: Die Lagenfeinstellung	
I. Allgemeines.....	291
II. Ausgleich der waagrechten Lagen gegeneinander.....	291
III. Ausgleich der senkrechten Lagen gegeneinander.....	292
IV. Ausgleich der senkrechten gegen die waagrechten Lagen.....	294
4. Kapitel: Die Isochronismusfeinstellung	
I. Allgemeines.....	295
II. Feinstellung bei einer flachen Spirale.....	296
III. Feinstellung bei einer Breguetspirale.....	297
IV. Das Abzählen der Spirale bei vorgeschriebenem Ansteckwinkel.....	298

Achter Teil: Die Umlaufrädergetriebe

1. Kapitel: Grundbegriffe	
I. Allgemeines.....	303
II. Stirnrad-Getriebe mit Außenverzahnungen.....	304
III. Stirnrad-Getriebe mit Innenverzahnungen.....	306
IV. Kegel- und Kronräder-Getriebe.....	307
2. Kapitel: Summen- und Differenzanzeiger	
I. Allgemeines.....	308
II. Frequenz-Kontrolluhren.....	308
III. Gangreserve-Anzeiger.....	309
3. Kapitel: Zeigerwerke mit Umlaufrädergetrieben	
I. Allgemeines.....	310

II. Die übliche Zeigerwerksübersetzung.....	310
III. Die Sternzeit-Übersetzung.....	311
4. Kapitel: Besondere Antriebssysteme	
I. Allgemeines.....	312
II. Gemeinsamer Antrieb zweier Laufwerke.....	312
III. Antriebserhaltung beim Aufziehen.....	312
5. Kapitel: Uhrwerke mit Drehhemmung	
I. Allgemeines.....	314
II. Das Tourbillon.....	314
III. Das Halb-Tourbillon.....	315
IV. Das Karussell.....	317

Neunter Teil: Die Automatic-Uhren

1. Kapitel: Grundbegriffe	
I. Allgemeines.....	319
II. Die Entwicklung des Automatic-Aufzuges.....	319
III. Die Zusatzeinrichtungen.....	320
2. Kapitel: Die Schwungmasse	
I. Das Gewicht.....	320
II. Der Durchmesser.....	320
III. Die Lagerung.....	321
IV. Die Bewegungsart.....	321
3. Kapitel: Das Reduktionsgetriebe	
I. Allgemeines.....	322
II. Der einseitige Aufzug.....	323
III. Der zweiseitige Aufzug.....	324
4. Kapitel: Die Aufzugsbegrenzung	
I. Allgemeines.....	328
II. Der Rutschzaum.....	328
III. Die Rutschkupplung.....	328
IV. Das Exzentergetriebe mit einer Führungsrolle.....	329
V. Die Schwungmassen-Blockierung.....	329
5. Kapitel: Der Handaufzug	
I. Allgemeines.....	330
II. Die Abschaltung des Automatic-Aufzuges.....	330
III. Die Abschaltung des Handaufzuges.....	331

6. Kapitel: Die Gangreserveanzeige	
I. Allgemeines.....	332
II. Mit Drehskala.....	332
III. Mit Wandermutter.....	333
IV. Mit Umlaufrädergetriebe.....	333

Zehnter Teil: Die Kalender-Uhren

1. Kapitel: Grundbegriffe	
I. Allgemeines.....	341
II. Die Monatstag-Anzeige.....	341
III. Die Wochentag-Anzeige.....	342
IV. Die Monats-Anzeige.....	342
V. Die Mondphasen-Anzeige.....	343
2. Kapitel: Die automatische Fortschaltung	
I. Allgemeines.....	345
II. Die halbaugenblickliche Fortschaltung.....	345
III. Die augenblickliche Fortschaltung.....	346
3. Kapitel: Die manuelle Fortschaltung	
I. Allgemeines.....	347
II. Verdrehen des Zeigerwerkes.....	347
III. Eigener Fortschaltehebel.....	349
4. Kapitel: Der ewige Kalender	
I. Allgemeines.....	353
II. Mit Vierjahre-Scheibe.....	353
III. Mit Einjahr-Scheibe.....	354

Elfter Teil: Die Kurzzeitmesser

1. Kapitel: Grundbegriffe	
I. Allgemeines.....	357
II. Die Bewegung des Gehwerkes.....	357
III. Das Weiterlaufen der Zeiger.....	358
IV. Die Anzahl der Zählzeiger.....	359
V. Die Anzahl der Drücker.....	360
VI. Die Teilung der Zählzifferblätter.....	361

2. Kapitel: Die Schaltmechanismen	
I. Die Steuerung.....	366
II. Das Ein- und Ausschalten.....	368
III. Das Nullstellen.....	369
IV. Die Minuten-Zählung.....	371
V. Die Stunden-Zählung.....	373
VI. Die Rattrapante-Einrichtung.....	376
VII. Das Räderwerk.....	379
3. Kapitel: Ausführungs-Beispiele	
I. Allgemeines.....	382
II. Einfache Stoppuhr mit Säulenrad.....	382
III. Einfacher Chronograph mit Säulenrad.....	384
IV. Additions-Stoppuhr mit Schieber und Drücker.....	386
V. Additions-Stoppuhr mit zwei Drückern und zwei Säulenrädern.....	388
VI. Additions-Chronographen mit zwei Drückern und einem Säulenrad.....	390
VII. Additions-Chronographen mit zwei Drückern ohne Säulenrad.....	394
VIII. Additions-Chronograph mit drei Drückern ohne Säulenrad.....	399
IX. Additions- und Rattrapante-Stoppuhr mit drei Drückern und zwei Säulenrädern.....	400
Sachregister.....	403

Einführung

Die Uhr ist ein Mechanismus, dessen Ablaufgeschwindigkeit so geregelt wird, dass die Anzeige der Uhr möglichst gut mit dem tatsächlichen Zeitablauf übereinstimmt. Die Anzeige erfolgt in den meisten Fällen durch die Drehung von Zeigern vor einem Zifferblatt, doch gibt es auch Uhren mit springenden Ziffern. Bei den Schlagwerkshuhren werden einzelne Zeitabschnitte zusätzlich durch Schläge akustisch angezeigt.

In diesem Buch werden nur die mechanischen Räderuhren behandelt, das heißt, die Uhren, bei denen die Zugkraft eines Gewichtes oder einer Feder über eine Anzahl von Zahnrädern die Zeiger antreibt und allenfalls auch die Glockenschläge abgibt. Nicht besprochen werden hier die elektrischen Uhren, bei denen die Elektrizität in irgendeiner Form zu Hilfe genommen wird, sowie die Uhren, die kein Räderwerk besitzen, wie z. B. die Sonnenuhren, Sanduhren u. ä..

Bei den mechanischen Uhren unterscheidet man gewöhnlich Kleinuhren und Großuhren. Zu den Kleinuhren zählen die Armband- und Taschenuhren, zu den Großuhren hingegen die Tischwecker, die Stand- und Wanduhren sowie die Turmuhren. Jede mechanische Uhr besitzt folgende Einrichtungen:

1. Antriebsvorrichtung mit dem zugehörigen Aufzug
2. Anzeigevorrichtung
3. Gangregler
4. Hemmung
5. Räderwerk

Die **Antriebsvorrichtung** enthält als Energiespeicher entweder ein Gewicht oder eine Feder. Für den Aufzug dient eine Kurbel, ein Schlüssel oder eine Aufzugskrone.

Die **Anzeigevorrichtung** besteht aus dem Zifferblatt und den Zeigern. Während auf jeder Uhr ein Minuten- und ein Stundenzeiger vorhanden sind, findet sich ein Sekundenzeiger im Allgemeinen nur in Uhren mit höherer Ganggenauigkeit.

Den **Gangregler** bildet bei ortsfesten Uhren meistens ein Pendel, bei tragbaren Uhren immer eine Unruh. Die Schwingungen des Gangreglers geben den Takt für die Drehung der Zeiger.

Die **Hemmung**, deren Formen sehr mannigfaltig sind, steuert mit Hilfe der Gangreglerschwingungen den Ablauf des Uhrwerkes und erteilt dem Gangregler immer wieder einen neuen Antrieb (Impuls).

Das **Räderwerk** überträgt die Antriebskraft auf die Zeiger und auf die Hemmung.

Abb. 1 zeigt an einem vereinfachten Schema die wichtigsten Teile einer Pendeluhr mit Gewichtszug.

Das Gewicht (1) hängt an der Darmsaite (2) und dreht so die Walze (3) gegen den Uhrzeigersinn. Das mit der Walze (3) fest verbundene Sperrrad¹ (4) überträgt diese Drehung mit Hilfe der Sperrklinke (5) auf das Gegensperrrad (6); das Gegensperrrad (6) ist durch – in der Abbildung nicht sichtbare – Federn mit dem Bodenrad (9) verbunden. Beim Aufziehen steckt man eine Kurbel auf den Aufzugsvierkant (8) und dreht die Walze (3) rechts herum², wodurch sich die Saite (2) auf der Walze (3) aufwickelt und das Gewicht (1) gehoben wird. Dabei lässt die Sperrklinke (5) das Sperrrad (4) frei durchgehen, während die Gegensperrklinke (7) das Gegensperrrad (6) festhält und so die Rückwärtsdrehung des ganzen Räderwerkes verhindert. Die bisher besprochenen Teile (1 bis 8) bilden die Antriebsvorrichtung der Uhr.

Durch den Eingriff³ des Bodenrades (9) in das Minutentrieb⁴ (10) erhält die Minutenwelle (11) eine Rechtsdrehung. Diese Drehung wird sowohl für den Antrieb des Zeigerwerkes (12 bis 15) und damit der Zeiger (16 und 17) als auch für den Antrieb des übrigen Räderwerkes (18 bis 24) und damit der Hemmung (25 bis 27) verwendet.

Im Zeigerwerk sitzt das Viertelrohr (12) mit zügiger Reibung auf der Minutenwelle (11); das Viertelrohr trägt einerseits den Minutenzeiger (16) und greift andererseits in das Wechselrad (13), wodurch dieses eine Linksdrehung erhält. Mit dem Wechselrad (13) ist das Wechseltrieb (14) fest verbunden; das Wechseltrieb (14) greift in das Stundenrad (15) und erteilt diesem eine Rechtsdrehung. Das Stundenrad (15) ist mit einem Rohr lose über das Viertelrohr (12) gesteckt und trägt auf seinem Rohr den Stundenzeiger (17). Beim Zeigerstellen dreht sich mit dem Minutenzeiger (16) das Viertelrohr (12), wogegen das übrige Räderwerk infolge der Reibungskupplung zwischen Viertelrohr (12) und Minutenwelle (11) nicht mitgedreht wird; das Viertelrohr (12) dreht über Wechselrad (13) und -trieb (14) das Stundenrad (15) und somit auch den Stundenzeiger (17).

Beim gewöhnlichen Ablauf der Uhr überträgt das Minutenrad (18), das mit dem Minutentrieb (10) und somit auch mit der Minutenwelle (11) fest verbunden ist⁵, seine Rechtsdrehung auf das Kleinbodentrieb (20), das sich daher linksherum dreht. Mit dem Kleinbodentrieb (20) wird über die Kleinbodenwelle (19) das Kleinbodenrad (21) linksherum gedreht. Durch den Eingriff zwischen Kleinbodenrad (21) und Gangtrieb (23) erhält die Gangradwelle (22) eine Rechtsdrehung; der auf der Gangradwelle (22) aufgesteckte Sekundenzeiger (24) dreht sich ebenfalls rechtsherum. Die Räder und Triebe (9 bis 23) bilden das Räderwerk der Uhr.

Mit der Gangradwelle (22) und dem Gangtrieb (23) ist das Gangrad⁶ (25) verbunden. Durch die Rechtsdrehung des Gangrades (25) erhält der Anker (27) eine hin- und herschwingende Bewegung, da die Zähne des Gangrades (25) den Anker abwechselnd nach

¹ Sperrrad und Sperrklinke bilden zusammen ein Gesperr. Ein Gesperr erlaubt die Drehung des Sperrrades nur in einer Richtung.

² Rechtsdrehung ist eine Drehung im Uhrzeigersinn, Linksdrehung eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn. Die Drehungen sind von der Zifferblattseite her betrachtet.

³ Eingriff ist das Zusammenarbeiten zweier Zahnräder. Beim Eingriff zweier Zahnräder sind die Drehrichtungen der beiden Wellen entgegengesetzt.

⁴ Ein Trieb ist ein Zahnrad mit nur wenigen Zähnen.

⁵ Triebe und Wellen sind meistens aus einem Stück hergestellt, während die Räder entweder direkt auf das Trieb oder mittels eines Butzens auf die Welle aufgeschlagen sind.

⁶ auch Hemmungsrad oder Ankerrad genannt

rechts und links aus dem Gangrad herausdringen, wobei das schwingende Pendel mitwirkt. Gangrad (25) und Anker (27) bilden die Hemmung.

Die hin- und herschwingende Bewegung des Ankers (27) wird über die Ankerwelle (26) auf den Gangregler – hier ein Pendel – übertragen. Das Pendel besteht aus der Pendelstange (28) und dem Pendelkörper¹ (29).

1. Gewicht
2. Darmsaite
3. Walze
4. Sperrrad
5. Sperrklinke
6. Gegensperrrad
7. Gegensperrklinke
8. Aufzugsvierkant
9. Bodenrad
10. Minutentrieb
11. Minutenwelle
12. Viertelrohr
13. Wechselrad
14. Wechseltrieb
15. Stundenrad
16. Minutenzeiger
17. Stundenzeiger
18. Minutenrad
19. Kleinbodenwelle
20. Kleinbodentrieb
21. Kleinbodenrad
22. Gangradwelle
23. Gangtrieb
24. Sekundenzeiger
25. Gangrad
26. Ankerwelle
27. Anker
28. Pendelstange
29. Pendelkörper

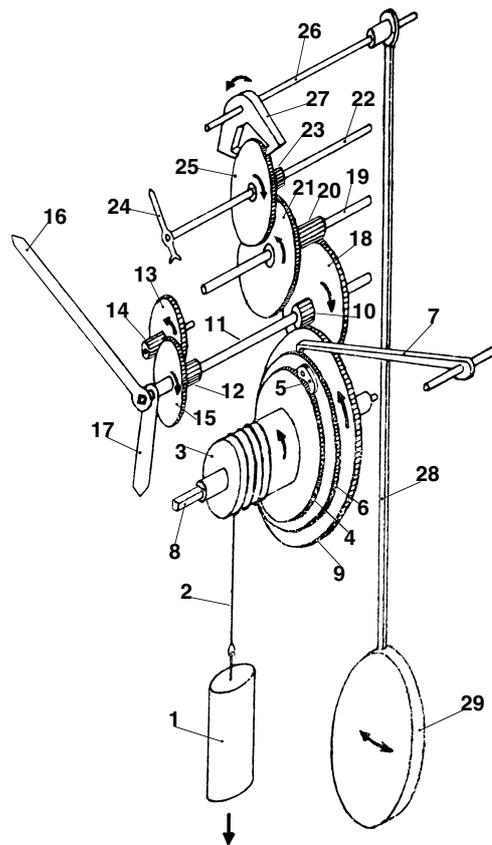


Abb. 1 Schema einer Pendeluhr mit Gewichtszug

Bei den Schlagwerksuhren sind neben den vorgenannten Teilen, die das Gehwerk bilden, noch ein oder zwei Schlagwerke vorhanden². Diese bewegen sich nur während des Schlagens der Uhr; die übrige Zeit stehen sie still. Die Schlagwerke werden zu den Schlagzeiten vom Gehwerk ausgelöst, geben die Schläge und stellen sich dann selbst wieder ab.

¹ Bei allen besseren Uhren hängt das Pendel mittels einer Pendelfeder auf einem Pendelbock und wird von der Ankerwelle durch eine Pendelgabel angetrieben.

² Uhren mit Stunden- und Halbstundenschlag besitzen ein Schlagwerk, während Uhren mit Viertelstundenschlag meistens zwei Schlagwerke besitzen.

Bei den Weckern ist neben dem Gehwerk ein Weckerwerk vorhanden, das ähnlich wie bei den Schlagwerken zur Weckzeit vom Gehwerk ausgelöst wird und die übrige Zeit still steht.

Die dauernde Übereinstimmung zwischen der Anzeige einer Uhr und dem wahren Zeitablauf hängt in erster Linie von der richtigen Schwingungsdauer des Gangreglers ab. An die richtige Größe und die Konstanz dieser Schwingungsdauer werden hohe Anforderungen gestellt; soll z. B. eine Uhr in einem Tag um weniger als eine Sekunde von der wahren Zeit abweichen, so müssen die Gangreglerschwingungen bis auf rund ein Hunderttausendstel ihrer Dauer richtig sein und auch bleiben.

Die Gangreglerschwingungen werden aber durch die mechanischen Unvollkommenheiten der Uhr immer wieder gestört. Höchste Gangleistungen sind daher nur dann zu erreichen, wenn einerseits alle Teile der Uhr mechanisch möglichst einwandfrei hergestellt und zusammengepasst sind, und wenn andererseits durch eine kleine Antriebskraft die Reibungseinflüsse möglichst klein gehalten werden. Eine kleine Antriebskraft und ein geringes Spiel der beweglichen Teile gegeneinander bedingen aber eine gesteigerte Empfindlichkeit der Uhr gegen raue Behandlung und gegen Verschmutzen. Hohe Ganggenauigkeiten und robustes Werk schließen sich also gegenseitig aus.

Soweit nicht ausdrücklich das Gegenteil vermerkt ist, wird in diesem Buch immer vorausgesetzt, dass Herstellung, Zusammenbau und Reparatur der einzelnen Teile für eine Uhr hoher Ganggenauigkeit erfolgen soll.

Erster Teil Die Hemmungen

1. Kapitel: Grundbegriffe

I. Allgemeines

Die Hemmung (auch Gang oder Echappement genannt) hemmt den freien Ablauf des Gehwerkes, lässt es im Takt der Gangreglerschwingung vorwärts springen und erteilt hierbei dem Gangregler den nötigen Antrieb.

Eine Hemmung besteht im Wesentlichen aus dem Gangrad (auch Steigrad genannt), das vom Gehwerk angetrieben wird, und dem Anker, der entweder direkt oder durch ein Zwischengetriebe mit dem Gangregler verbunden ist. Das Gangrad besitzt Zähne (oder seltener Stifte), die mit den wirksamen Flächen des Ankers zusammenarbeiten. Der Anker ist ein Hebel mit einem oder zwei Armen; beim einarmigen Anker fällt der Gangradzahn direkt auf eine radial stehende Fläche des Ankers (Antriebsstein) und überträgt so seine Umfangskraft auf den Anker (Abb. 2), während beim zweiarmigen Anker der Gangradzahn abwechselnd an einem der beiden Ankerarme längs einer schiefen Ebene (Hebfläche) entlang gleitet und so den Anker dreht (Abb. 3).

Wenn der Gangregler gegen seine Mittellage hin schwingt, gibt der Anker das Gangrad frei (Auslösung); dieses bewegt sich vorwärts, dreht den Anker und erteilt so dem Gangregler den Antrieb. Der Gangregler schwingt weiter aus (Überschwing), bis er von selbst wieder umkehrt und eine neue Auslösung erfolgt. Das Schwingungsbild eines Gangreglers zeigt Abb. 4.

Während der Auslösung durchläuft der Gangregler den Auslösungswinkel, der Anker den Ruhewinkel; das Gangrad steht still oder wird sogar ein wenig zurückgeführt. Während des Antriebes durchläuft der Anker den Hebungswinkel, der Gangregler den Antriebswinkel; das Gangrad springt vor. Auslösungs- und Ruhewin-

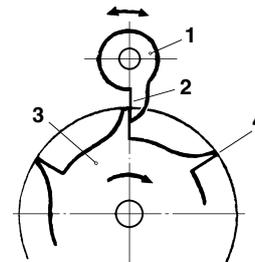


Abb. 2 Einarmiger Anker mit Gangrad

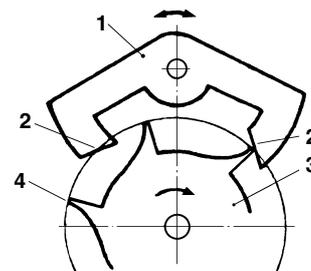


Abb. 3 Zweiarmiger Anker mit Gangrad

- 1 = Anker
- 2 = Hebfläche
- 3 = Gangrad
- 4 = Gangradzahn

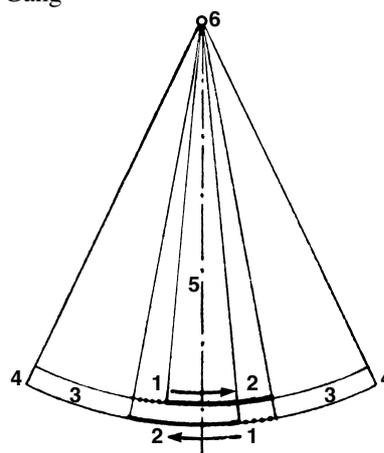


Abb. 4 Schwingungsbild eines Gangreglers

- 1 = Auslösung
- 2 = Antrieb
- 3 = Überschwing
- 4 = Umkehrpunkt
- 5 = Mittellinie
- 6 = Drehpunkt des Gangreglers

kel bzw. Hebungs- und Antriebswinkel sind untereinander gleich, wenn der Anker und der Gangregler direkt miteinander verbunden sind; ist aber noch ein Zwischengetriebe vorhanden, dann sind sie im Allgemeinen verschieden groß.

Beim einarmigen Anker erfolgt das Vorspringen des Gangrades und damit die Antriebserteilung nur bei jeder Linksschwingung des Gangreglers; die Rechtsschwingung ergibt keinen Antrieb (Hemmung mit totem Schlag). Beim zweiarmigen Anker springt hingegen das Gangrad bei jeder Gangreglerschwingung vor, und es wird im Allgemeinen auch bei jeder Schwingung dem Gangregler ein Antrieb erteilt.

Je nachdem, wie sich der Überschwung des Gangreglers auf das Gangrad auswirkt, unterscheidet man:

- a. Ruhende Hemmungen, bei denen während des Überschwunges das Gangrad ruht und der Gangradzahn auf dem – mit dem Gangregler fest verbundenen – Anker reibt.
- b. Rückführende Hemmungen, bei denen während des Überschwunges das Gangrad gegen die Wirkung der Antriebskraft zurückgeführt wird und so den Überschwung abbremst.
- c. Freie Hemmungen, bei denen während des Überschwunges die Verbindung zwischen dem Gangregler und dem Anker gelöst ist, so dass der Anker und das Gangrad stillstehen und der Gangregler allein frei weiterschwingt.

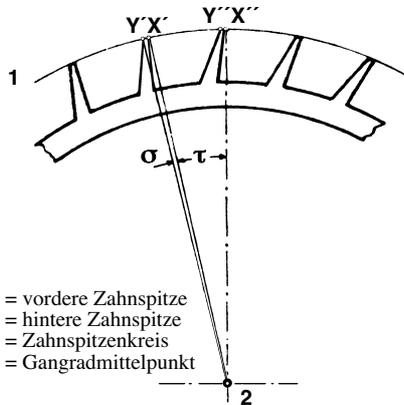
Die Uhrmacherei verwendet zwei Arten von Gangreglern: das Pendel und die Unruh. Die Schwingung des Pendels beruht auf der Wirkung der Schwerkraft; das Pendel schwingt um kleine Winkel (3° bis 15°), daher ist der Antriebswinkel beim Pendel klein. Das Schwingen der Unruh beruht auf der elastischen Wirkung einer Spiralfeder; die Unruh schwingt um große Winkel (200° bis 500°) daher muss auch der Antriebswinkel bei der Unruh groß sein. Diese Verschiedenheit bewirkt, dass die Hemmungen nach der Art des Gangreglers verschieden sind; man kann sie demnach einteilen in:

- a. Hemmungen für Pendeluhren
- b. Hemmungen für Unruhuhren

Die Spitzen der Gangradzähne können entweder konzentrisch zum Gangradmittelpunkt geformt sein (Spitzzähne, Abb. 5) oder in das Gangrad hineingeneigt sein (Kolbenzähne, Abb. 6). Bei den Spitzzähnen sollen nur die vorderen Ecken (X in Abb. 5) mit dem Anker zusammenarbeiten. Bei den Kolbenzähnen erfolgt die Hebung zum Teil an den Zahnsitzen; die vorderen Ecken (A in Abb. 6), mit denen das Gangrad auf Ruhe auffällt, heißen Ruheecken, die hinteren Ecken (K in Abb. 6) nennt man Zahnfersen.

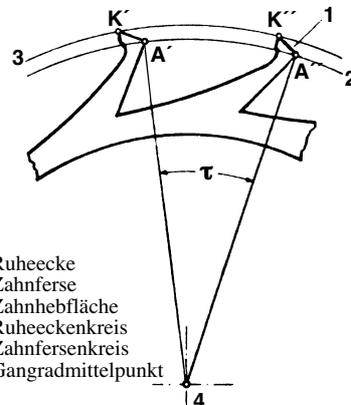
II. Technische Bezeichnungen

Der **Zahnsitzenkreis** (s. Abb. 5 und 7) ist der Kreis, auf dem die Zahnsitzen des Gangrades liegen. Er ist gleichzeitig der Teilkreis des Gangrades. Der **Ruheeckenkreis** (s. Abb. 6) ist (bei Hemmungen mit Kolbenzähnen) der Kreis, auf dem die Ruheecken liegen; der Zahnfersenkreis verbindet alle Zahnfersen.



X = vordere Zahnspitze
 Y = hintere Zahnspitze
 1 = Zahnspitzenkreis
 2 = Gangradmittelpunkt

Abb. 5 Spitzzähne



A = Ruheecke
 K = Zahnferse
 1 = Zahnhebfläche
 2 = Ruheeckenkreis
 3 = Zahnfernenkreis
 4 = Gangradmittelpunkt

Abb. 6 Kolbenzähne

Die **Teilung (t)** des Gangrades ist der Abstand zwischen den gleichliegenden Ecken zweier benachbarter Zähne, am Zahnspitzen- bzw. Ruheeckenkreis gemessen, also der Bogen $X'X''$ in Abb. 5 bzw. der Bogen $A'A''$ in Abb. 6.

Der **Teilungswinkel (τ)** des Gangrades ist der Zentriwinkel, der durch die Teilung begrenzt wird (siehe Abb. 5 und 6).

Die **Zahnspitzenstärke (s)** ist die Stärke der Gangradzähne, am Zahnspitzenkreise gemessen, also der Bogen $X'Y'$ in Abb. 5; der **Zahnspitzenwinkel (σ)** ist der zugehörige Zentriwinkel.

Der **Übergriff (n)** ist die Anzahl der von einem zweiarmigen Anker übergriffenen Teilungen oder Zähne. Er ist stets ein ungeradzahliges Vielfaches von $1/2$, also z. B. $7\frac{1}{2}$ oder $8\frac{1}{2}$.

Der **Ankeröffnungswinkel (α)**, siehe Abb. 7) ist der Zentriwinkel des Gangrades, der durch die vom Anker übergriffenen Teilungen begrenzt wird.

Der **Gangrad-Wirkungsweg (w)** ist der Weg, den das Gangrad während der Hebung zurücklegt; er wird am Zahnspitzenkreise gemessen. Bei Kolbenzahnhemmung rechnet man besser mit dem **Wirkungswinkel (δ)**, der den Zentriwinkel zu w darstellt.

Der **Fall (f)** ist der Sicherheitsspielraum, um den sich die rückwärtige Ecke Y bzw. K des Gangradzahnes vom Endpunkt F der Hebfläche (siehe Abb. 7) entfernt haben muss, wenn das Gangrad nach der Hebung wieder zum Stillstand gelangt ist. Der zugehörige Zentriwinkel ist der **Fallwinkel (φ)**.

Der **Ruhebogen (r)** ist (bei ruhenden Hemmungen) der Kreisbogen, den die Gangrad-Zahnspitze während der Auslösung auf der Ruhefläche des Ankers zurücklegt, also der Bogen \overline{CP} in Abb. 7. Er wird durch den **Ruhewinkel ρ** begrenzt; dies ist also der Winkel, um den sich der Anker bei der Auslösung dreht.

Der **Hebungswinkel (γ)**, siehe Abb. 7) ist der Winkel, um den sich der Anker bei der Hebung dreht. Seine beiden Schenkel schließen im Allgemeinen die Hebflächen P Q bzw. J F ein.

Der **Rückführungsweg (e)** ist (bei rückführenden Hemmungen) der Weg, am Zahnspitzenkreis gemessen, um den das Gangrad während des Gangreglerüberschwunges zurückgeführt wird; der zugehörige Zentriwinkel ist der **Rückführungswinkel (ϵ)**.

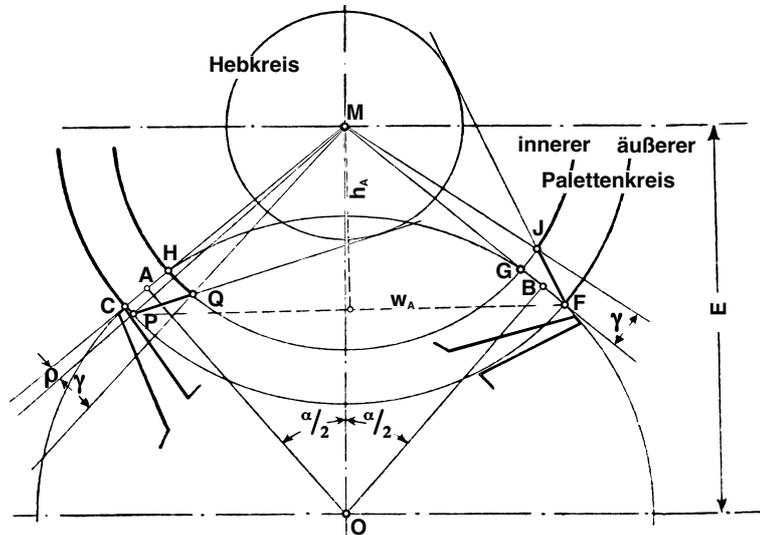


Abb. 7 Spitzzahnhemmung mit zweiarmigem Anker, technische Bezeichnungen

Der **äußere Palettenkreis** (e Abb. 7) ist der Kreis, auf dem sich der Anfangspunkt P der Eingangshebfläche bzw. der Endpunkt F der Ausgangshebfläche bei der Drehung des Ankers bewegen.

Der **innere Palettenkreis** (s. Abb. 7) ist der entsprechende Kreis für den Endpunkt Q der Eingangshebfläche bzw. den Anfangspunkt J der Ausgangshebfläche. Die Palettenkreise für Ein- und Ausgangsseite können zusammenfallen.

Die **Palettenstärke (p)** ist im Allgemeinen gleich dem Abstand der beiden Palettenkreise, also z. B. die Strecke C H in Abb. 7.

Der **Hebkreis** (siehe Abb. 7) ist der um den Ankermittelpunkt gezogene Berührungskreis an die Verlängerung der Hebfläche. Für Ein- und Ausgang sind die Hebkreis-Durchmesser im Allgemeinen verschieden, sie können aber auch – wie in Abb. 7 – gleich sein.

Die **Ankerweite (w_A , siehe Abb. 7)** ist die Entfernung zwischen dem Anfangspunkte P der Eingangshebfläche und dem Endpunkte F der Ausgangshebfläche.

Die **Ankerhöhe (h_A , siehe Abb. 7)** ist der Abstand der Verbindungslinie vorgenannter Punkte vom Ankermittelpunkt M.

Die **Eingriffsentfernung (E, s. Abb. 7)** ist der Abstand zwischen dem Ankermittelpunkt M und dem Gangradmittelpunkt O.

III. Konstruktionsgrundlagen

Die Hemmungen werden meistens so gezeichnet, dass ein Gangradzahn soeben auf der Eingangsseite aufgefallen ist. Die Drehrichtung des Gangrades wird stets im Uhrzeigersinn angenommen.

Die Teilung t des Gangrades ist gleich seinem Umfang, geteilt durch die Zähnezahl, also

$$t = \frac{D \cdot \pi}{Z}$$

wobei Z die Zähnezahl des Gangrades und D den Durchmesser des Zahnsitzenkreises bedeutet.

Der Teilungswinkel τ ergibt sich aus dem vollen Winkel, gebrochen durch die Zähnezahl, also:

$$\tau = \frac{360^\circ}{Z}$$

Der Ankeröffnungswinkel α ist gleich dem Teilungswinkel τ mal dem Übergriff n , also:

$$\alpha = \tau \cdot n = \frac{360^\circ \cdot n}{Z}$$

Bei allen gewöhnlichen Hemmungen hat das Gangrad nach zwei Gangreglerschwingungen als Gesamtweg die volle Teilung t zurückgelegt. Dieser Gesamtweg zerfällt in den Gesamtwirkungsweg W und den Gesamtverlustweg V ; also ist:

$$W = t - V$$

Bei einarmigen Ankern sind die Verlustwege je nach der Art der Auslösung verschieden, so dass für jede Hemmungsart der Wirkungsweg eigens berechnet werden muss.

Bei zweiarmigen Ankern mit Spitzzahn-Gangrad setzt sich der Verlustweg auf jeder Seite aus der Zahnsitzenstärke s und dem Fall f zusammen; also ist der Gesamtverlustweg V für zwei Gangreglerschwingungen:

$$V = 2(s + f)$$

Damit wird der Gesamtwirkungsweg W für zwei Gangreglerschwingungen:

$$W = t - 2(s + f)$$

Dieser Gesamtwirkungsweg wird meistens gleichmäßig auf die Ein- und Ausgangsseite verteilt (Anker mit gleichen Wirkungswegen, s. die Abb. 8 bis 10); dann ist der Einzelwirkungsweg w auf jeder Seite gleich dem halben Gesamtwirkungsweg, also:

$$w = \frac{W}{2} = \frac{t}{2} - (s + f)$$

Die Palettenstärke p auf jeder Seite ist im Allgemeinen gleich dem Einzelwirkungsweg w ; dann ist auch:

$$p = \frac{t}{2} - (s + f)$$

Man kann den Gesamtwirkungsweg aber auch ungleichmäßig auf die Ein- und Ausgangsseite verteilen (Anker mit ungleichen Wirkungswegen, s. Abb. 11); doch muss auf jeden Fall die Summe der Einzelwirkungswege w_e bzw. w_a gleich dem Gesamtwirkungsweg W sein:

$$w_e + w_a = W$$

Bei **zweiarmigen Anker** mit **Kolbenzahn-Gangrad** wird mit den Zentriwinkeln statt mit den Bögen gerechnet, weil die Berührung zwischen Gangrad und Palette längs der Zahnhebfläche (A K in Abb. 6) vom Ruheecken- zum Zahnfersenkreis wandert. Die Zahnspitze zählt zum Wirkungsweg, so dass nur der Fallwinkel φ den Verlustweg darstellt; bei Anker mit gleicher Palettenstärke errechnet sich daher der Wirkungswinkel δ auf jeder Seite zu:

$$\delta = \frac{\tau}{2} - \varphi$$

Dieser Wirkungswinkel δ wird auf den Wirkungswinkel δ_p für die Palette und auf den Wirkungswinkel δ_z für den Zahn aufgeteilt:

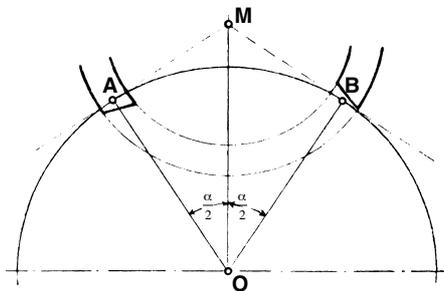


Abb. 8 Gleicharmiger Anker

$$\delta = \delta_p + \delta_z$$

Wird von den Schenkeln des Ankeröffnungswinkels nach beiden Seiten je die halbe Palettenstärke (bzw. der halbe Wirkungswinkel für die Palette) aufgetragen, so erhält man einen gleicharmigen Anker (Abb. 8); dieser besitzt nur zwei Palettenkreise, da die beiden inneren und ebenso die beiden äußeren Palettenkreise auf Ein- und Ausgangsseite zusammenfallen. Wird hingegen die volle Palettenstärke (bzw. der volle Wirkungswinkel für die Palette) von den Schenkeln des Ankeröffnungswinkels im Sinne der Gangradrotation aufgetragen, so nennt man den Anker ungleicharmig (Abb. 9); durch das Zusammenfallen des äußeren Eingangspalettenkreises mit dem inneren Ausgangspalettenkreise ergeben sich hier drei Palettenkreise. Man kann aber auch jede beliebige andere Verteilung wählen und erhält dann halbungleicharmige Anker (Abb. 10) mit vier verschiedenen Palettenkreisen.

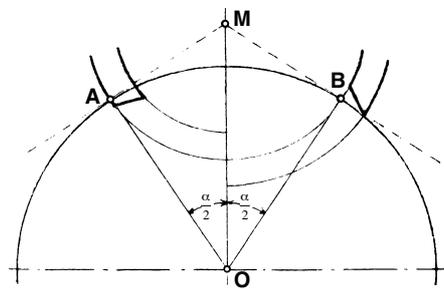


Abb. 9 Ungleicharmiger Anker

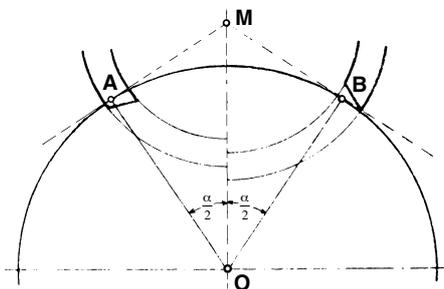


Abb. 10 Halbungleicharmiger Anker

Bei den zweiarmigen Anker gleitet während der Hebung der Gangradzahn an der Palettenhebfläche entlang und überträgt das Antriebsdrehmoment über den Anker auf den Gangregler. Dieses Antriebsdrehmoment ist proportional der Länge des Antriebshebelarmes, dessen Länge sich während der Hebung um die Palettenstärke ändert; für die Berechnung des mittleren Antriebsdrehmomentes rechnet man mit der mittleren Länge des Antriebsarmes, also dem Abstand des Hebflächenmittelpunktes vom Ankerdreh-

punkte. Nach der Hebung fällt der Gangradzahn auf der Eingangsseite am äußeren, auf der Ausgangsseite am inneren Palettenkreis auf; die Länge des Ruhearms am Anker auf der Eingangsseite ist also gleich dem Radius des äußeren Eingangspalettenkreises, auf der Ausgangsseite gleich dem Radius des inneren Ausgangspalettenkreises. Bei der Auslösung muss der Gangregler den Anker aus dem Gangrad herausdrehen; das hierzu nötige Auslösedrehmoment¹ ist proportional der Länge des Ruhearms.

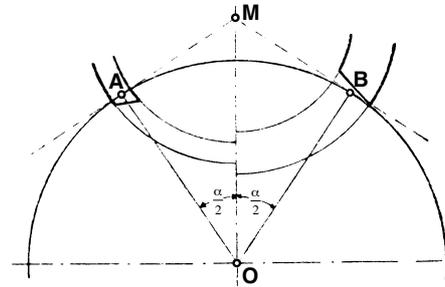


Abb. 11 Anker mit ungleichen Wirkungswegen

Beim gleicharmigen Anker liegen die Hebflächenmittelpunkte in den Punkten A und B (siehe Abb. 8), also sind die Antriebsarme und damit die Antriebsdrehmomente auf beiden Seiten gleich groß; der Ruhearm und damit das Auslösedrehmoment ist aber auf der Eingangsseite größer als auf der Ausgangsseite. Beim ungleicharmigen Anker liegen die Ruhepunkte in den Punkten A und B (siehe Abb. 9), daher sind die Ruhearmlängen und damit die Auslösedrehmomente auf beiden Seiten gleich groß; der Antriebsarm und damit das Antriebsdrehmoment ist aber auf der Ausgangsseite größer als auf der Eingangsseite. Beim halbungleicharmigen Anker wird im Interesse der geringeren Verschiedenheit der Antriebsdrehmomente auf die völlige Gleichheit der Auslösedrehmomente verzichtet.

Bei den ruhenden Hemmungen drückt während der Auslösung und des Überschwunges die tangential gerichtete Umfangskraft P des Gangrades auf den Anker; diese Umfangskraft P erzeugt am Anker einen Reibungswiderstand² F_R , der in der Richtung der Bewegung, also tangential zum Palettenkreis liegt (Abb. 13). Der Reibungswiderstand W erzeugt ein Reibungsdrehmoment M_R , das in beiden Bewegungsrichtungen des Ankers gleich groß ist und daher die Bewegung des Ankers immer gleich stark abbremst. Geht die Umfangskraft F des Gangrades nicht durch den Drehpunkt (2) des Ankers, so entsteht ein zusätzliches Drehmoment M_z , das stets die gleiche Richtung hat und daher die Ankerbewegung in einer Richtung behindert, in der entgegengesetzten Richtung aber unterstützt; diese ungleiche Wirkung muss möglichst vermieden werden. Die Umfangskraft P des Gangrades erzeugt nur dann kein zusätzliches Drehmoment am Anker, wenn ihre Verlängerung, also die Tangente an den Zahnspitzenkreis im Ruhepunkt, durch den An-

¹ Das Drehmoment ist ein Maß für die drehende Wirkung einer Kraft, die auf einen drehbaren Körper wirkt. Das Drehmoment M ist gleich dem Produkt aus der Größe F der Kraft und dem Hebelarm r, d. h. dem senkrechten Abstand der Krafrichtung vom Drehpunkt des Körpers; also ist: $M = F \cdot r$ (s. Abb. 12). Beim Antriebsdrehmoment ist F die Kraft, die vom Gangrad während des Antriebes auf den Anker übertragen wird.

² Bei jeder Bewegung zweier Körper aufeinander entsteht ein Reibungswiderstand, der stets der momentanen Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist und die Bewegung behindert.

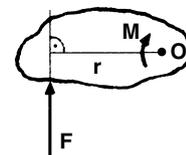


Abb. 12 Drehmoment
 F = Kraft
 r = Hebelarm
 M = Drehmoment
 O = Drehpunkt des Körpers

kermittelpunkt geht, weil dann der Hebelarm des zusätzlichen Drehmomentes gleich Null ist. Der Ankermittelpunkt wird daher meistens in den Schnittpunkt der Tangenten an den Zahnspitzen- bzw. Ruheeckenkreis in den Punkten A und B (siehe Abb. 8 bis 11), also senkrecht zu den Schenkeln des Ankeröffnungswinkels, gelegt (Konstruktion auf die Tangente); diese Konstruktion ist bei allen Ankerarten möglich.

Konstruktionsvorgang auf die Tangente (Abb. 14, rechte Hälfte)

1. Zahnspitzenkreis um O ziehen.
2. An die senkrechte Mittellinie den halben Ankeröffnungswinkel $\alpha/2$ antragen, gibt am Zahnspitzenkreis den Punkt B.
3. Die Streckensymmetrale von O B schneidet die Mittellinie im Punkte m.
4. Ein Kreis um m durch O und B schneidet die Mittellinie im gesuchten Ankermittelpunkt M_T .
5. $M_T - B$ ist die genaue Tangente im Punkt B.

Bei gleicharmigen Ankern mit gleichen Palettenstärken kann man den Ankermittelpunkt auch in den Schnittpunkt der Sehnen des Gangradwirkungsweges legen (Konstruktion auf die Sehne); dann erhält man bei gleichem Hebungswinkel auf Ein- und Ausgangsseite genau gleich große Hebkreise.

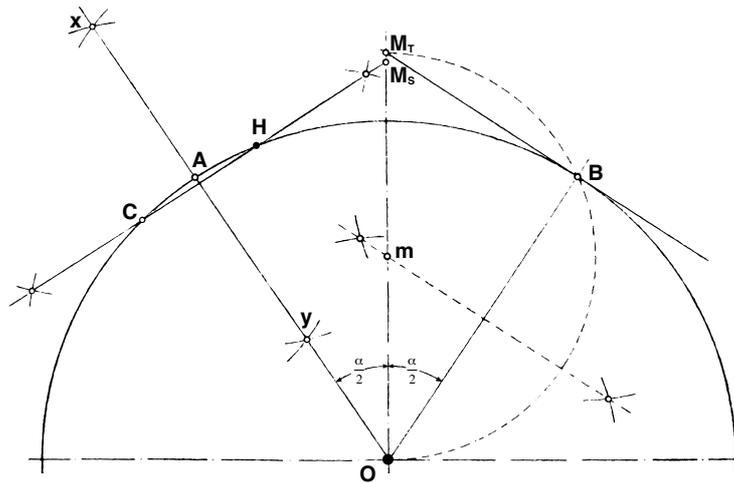


Abb. 14 Konstruktion des Ankermittelpunktes

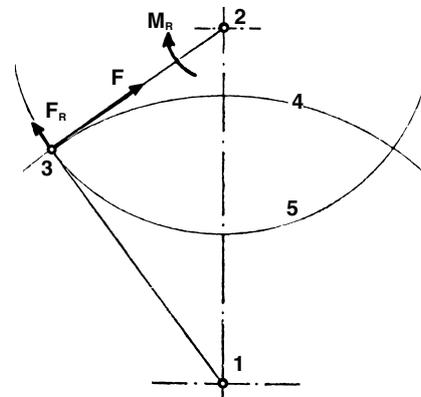


Abb. 13 Reibungsdrehmoment am Anker

- F = Umfangskraft
- F_R = Reibungswiderstand
- M_R = Reibungsdrehmoment
- 1 = Gangradmittelpunkt
- 2 = Ankermittelpunkt
- 3 = Ruhepunkt
- 4 = Zahnspitzenkreis
- 5 = Palettenkreis

Konstruktionsvorgang auf die Sehne (Abb. 14, linke Hälfte)

1. Zahnspitzenkreis um O ziehen.
2. An die senkrechte Mittellinie den halben Ankeröffnungswinkel $\alpha/2$ antragen, gibt am Zahnspitzenkreis den Punkt A.
3. Von A nach rechts und links je die halbe Palettenstärke $p/2$ auftragen, ergibt am Zahnspitzenkreis die Punkte C und H.
4. Von C und H einen beliebig großen Bogen auf dem Schenkel des Ankeröffnungswinkels auftragen, ergibt die Punkte x und y.
5. Die Streckensymmetrale von x y muss genau durch C und H gehen; sie schneidet die Mittellinie im gesuchten Ankermittelpunkte M_s .
6. M_s H C ist die genaue Sehne des Gangradwirkungsweges C H.

Bei der Konstruktion des Ankermittelpunktes auf die Tangente oder auf die Sehne ist die Palettenstärke p (die Sehne C H) mit ausreichender Genauigkeit gleich dem Einzelwirkungsweg w (dem Bogen C H).

Bei rückführenden Hemmungen, bei denen durch die besondere Formung des Ankers auch während des Überschwunges ein Drehmoment auf den Anker wirken soll, kann der Ankermittelpunkt ohne weiteres auch über den Tangentenschnittpunkt gelegt werden, wenn man bei der Konstruktion auf die Tangente zu wenig Fleisch für den Ankerkörper bekäme; man findet oft für die Eingriffsentfernung $E = \frac{7}{12} D$ ($D =$ Gangraddurchmesser). Bei der Konstruktion über die Tangente ist aber nach Abb. 15 die Palettenstärke p (die Strecke C L) kleiner als der Einzelwirkungsweg w (der Bogen C H).

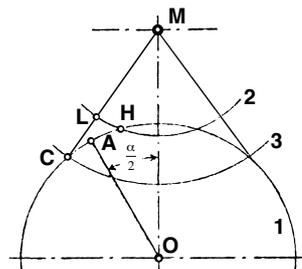


Abb. 15 Ankermittelpunkt über der Tangente

Große Ankeröffnungswinkel ergeben lange Anker (Abb. 16), kleine Winkel kurze Anker (Abb. 17). Bei langen Ankern ist die Kraftübertragung vom Gangrad günstiger als bei kurzen Ankern, auch ist die längere und steilere Hebfläche leichter genau herstellbar. Daher findet man lange Anker in Uhren mit großer Gangdauer (Monats- und Jahresuhren) bzw. in Uhren minderer Qualität. Bei kurzen Ankern sind die Reibungsverhältnisse zwischen Gangradzahn und Anker von geringerem Einfluss auf die Ganggenauigkeit als bei langen Ankern, daher findet der kurze Anker bei Präzisionsuhren allgemeine Anwendung. Auch bei kurzen und leichten Pendeln, die eine große Hebung erfordern, wird der kurze Anker verwendet, damit die Hebflächen nicht zu lang werden.

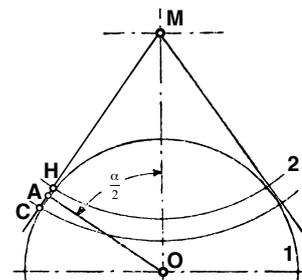


Abb. 16 Langer Anker

- O = Gangradmittelpunkt
- M = Ankermittelpunkt
- $\alpha/2$ = halber Ankeröffnungswinkel
- 1 = Zahnspitzenkreis
- 2 = innerer Palettenkreis
- 3 = äußerer Palettenkreis

Soll während der Hebung die Bewegung vom Gangrad auf den Anker gleichförmig übertragen werden, dann

muss die Eingangshebfläche erhaben (konvex), die Ausgangshebfläche hohl (konkav) geformt sein (s. Abb. 18).

In der Praxis werden die Hebflächen aber mit Rücksicht auf die leichtere Herstellbarkeit meist eben ausgeführt.

Die Zähnezahl des Gangrades soll der leichteren Herstellbarkeit wegen möglichst klein sein (also große Teilung), doch ergibt eine kleine Zähnezahl des Gangrades eine große Übersetzung vom Gangregler zum Minutenrad und damit ein teures Gehwerk. Man wählt daher im Allgemeinen die Zähnezahl

- für Pendeluhren 24 bis 52
- für Unruhuhren 12 bis 18

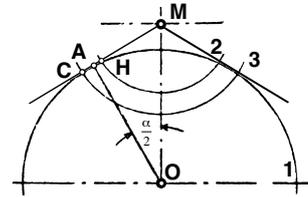


Abb. 17 Kurzer Anker

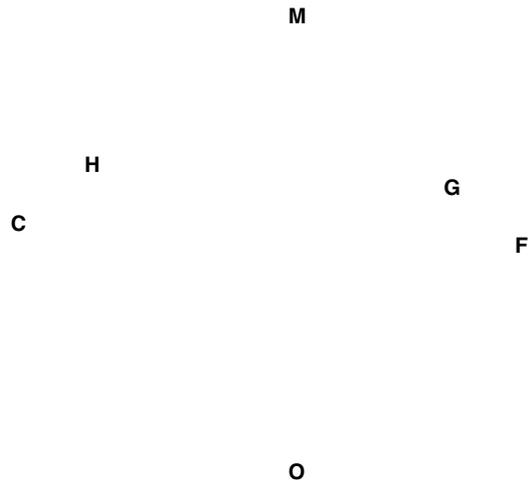


Abb. 18 Hebflächen für gleichmäßige Kraftübertragung

2. Kapitel: Die Grahamhemmung

I. Allgemeines

Die Grahamhemmung ist eine ruhende Pendelhemmung mit Spitzzahn-Gangrad, gleichartigem Anker und gleichen Palettenstärken auf Ein- und Ausgangsseite. Sie wird in Pendeluhren mit langem und schwerem Pendel fast ausschließlich verwendet, weil sie die Gangreglerschwingungen wenig stört und bei feiner Ausführung sehr gute Gangresultate ergibt.

Während des Überschwunges und der Auslösung reibt die vordere Zahnschnecke auf der Eingangsseite am äußeren Palettenkreis, auf der Ausgangsseite am inneren Palettenkreis; das Gangrad steht hierbei still. Die Hebeflächen sind eben geformt. Den Ankermittelpunkt legt man am Besten auf die Sehne des Gangradwirkungsweges, doch kann man ihn auch auf die Tangente konstruieren.

II. Konstruktionsgrundlagen.

Der Gangraddurchmesser D beträgt in gewöhnlichen Uhren 20 bis 30 mm, in astronomischen Präzisionsuhren meist zirka 40 mm.

Die **Gangradzähnezahl** Z wählt man mit 24 bis 40; will man auf das Gangrad einen Sekundenzeiger aufsetzen, muss man bei einem Sekundenpendel $Z = 30$, bei einem Achtzigschläger-Pendel¹ $Z = 40$ nehmen.

Der **Übergriff** n liegt zwischen $6\frac{1}{2}$ und $12\frac{1}{2}$. Die **Zahnschneckenstärke** s wählt man mit 0,04 bis 0,06 t ($t =$ Teilung), den **Fall** f mit 1 s bis 2 s ($s =$ Zahnschneckenstärke) und zwar die kleineren Werte bei besserer Ausführung.

Die **Palettenstärke** p ergibt sich dann zu 0,34 bis 0,40 t . Das Verhältnis zwischen Palettenstärke p und Teilung t ist ein Maß für die Güte der mechanischen Ausführung; je feiner die Uhr, desto größer die Palettenstärke.

Den **Ruhebogen** r wählt man ungefähr gleich der Zahnschneckenstärke; bei kurzen Ankern entspricht dies einem Ruhewinkel ρ (von $\frac{1}{2}^\circ$ bis $\frac{3}{4}^\circ$, bei langen Ankern $\frac{1}{4}^\circ$ bis $\frac{1}{2}^\circ$). Im Allgemeinen nimmt man für Ein- und Ausgang den gleichen Ruhewinkel an, dann sind die Ruhebogen etwas verschieden.

Der **Hebungswinkel** γ beträgt: in Monats- und Jahresuhren $\frac{1}{2}^\circ$ bis $\frac{3}{4}^\circ$, in Achttageweguhren (mit Sekundenpendel) zirka 1° , in Federzuguhren (mit kürzerem Pendel) 2° bis 3° . Den **Unterschneidungswinkel** β der Zahnbrust (s. Abb. 19 und 20) nimmt man mit zirka 8° bis 12° an. Der Zahnrückens wird bei einfacheren Uhren eben (Abb. 19), bei feineren Uhren hohl (Abb. 20) geformt.

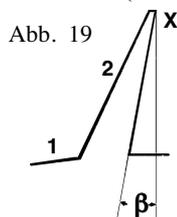


Abb. 19 Spitzzahn mit ebenem Rücken
X = vordere Zahnschnecke
 β = Zahnunterschneidungswinkel
1 = Zahngrund
2 = Zahnrückens

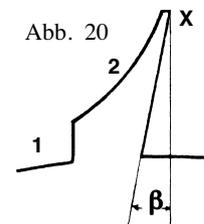


Abb. 20 Spitzzahn mit ausgehöhltem Rücken

¹ Ein Achtzigschläger-Pendel macht 80 Schwingungen in der Minute.

Konstruktionsvorgang (Ankermittelpunkt auf der Sehne, Abb. 21):

1. Zahnspitzenkreis um Gangradmittelpunkt O ziehen
2. An die senkrechte Mittellinie nach links den halben Ankeröffnungswinkel $\alpha/2$ auftragen, gibt am Zahnspitzenkreis den Punkt A
3. Symmetrisch zur Mittellinie ergibt sich rechts am Zahnspitzenkreis der Punkt B
4. Von A nach beiden Seiten je die halbe Palettenstärke $p/2$ auftragen, gibt die Punkte C und H
5. Durch C und H die Sehne konstruieren (s. 1. Kap., Abschnitt III, Abb. 14, links), ergibt den Ankermittelpunkt M

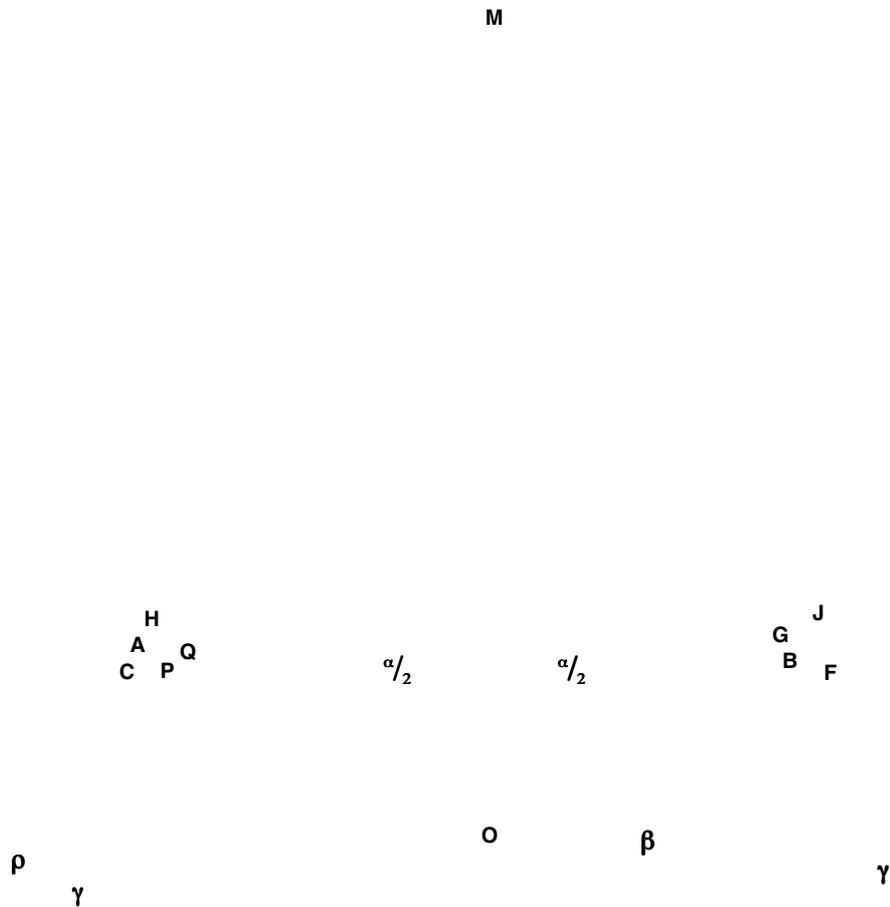


Abb. 21 Grahamhemmung mit langem Anker

6. Von B nach beiden Seiten je die halbe Palettenstärke $p/2$ auftragen, gibt die Punkte F und G
7. Sehne F G M ziehen
8. Um M durch C bzw. H die beiden Palettenkreise ziehen
9. Diese müssen auch durch F bzw. G gehen
10. An die Sehne C M nach innen den Ruhewinkel ρ auftragen, gibt am äußeren Palettenkreis den Anfangspunkt P der Eingangshebfläche
11. Daran anschließend den Hebungswinkel γ auftragen, gibt am inneren Palettenkreis, den Endpunkt Q der Eingangshebfläche
12. P mit Q verbunden gibt die Eingangshebfläche
13. Berührungskreis an die Verlängerung von P Q um M ist der Hebkreis
14. F ist der Endpunkt der Ausgangshebfläche
15. An die Sehne F M nach außen den Hebungswinkel γ auftragen, gibt am inneren Palettenkreis den Anfangspunkt I der Ausgangshebfläche
16. F mit I verbunden gibt die Ausgangshebfläche
17. Die Verlängerung von F J muss den Hebkreis berühren
18. Teilung t am Zahnsitzenkreis von C weg auftragen
19. Von den Teilungspunkten nach rückwärts die Zahnsitzenstärke s auftragen
20. Zwischen F und der rückwärtigen Ecke des eben abgefallenen Zahnes muss der Fall f übrig bleiben
21. Zahnunterschneidungswinkel β gegen die radiale Gerade C O nach rückwärts auftragen
22. Berührungskreis an den Schenkel von β um O ziehen
23. Restliche Zahnflanken berührend an diesen Kreis zeichnen

III. Maßtabellen

Für die Berechnung der Abmessungen einer Grahamhemmung sind Maßtabellen zusammengestellt worden. Diese Tabellen sind nach der Gangradzähnezahl und nach dem Übergriff geordnet. Sie gelten jeweils für bestimmte Palettenstärken, Hebungs- und Ruhewinkel sowie für eine bestimmte Lage des Ankermittelpunktes (auf der Sehne oder auf der Tangente).

Meistens werden zwei Tabellen gegeben: eine für den Gangraddurchmesser $D = 1$ und eine zweite für die Eingriffsentfernung $E = 1$. Die in der Tabelle enthaltenen Verhältniszahlen sind mit dem jeweiligen Gangraddurchmesser bzw. der Eingriffsentfernung zu multiplizieren, um die gesuchten Werte zu erhalten. (Ausgenommen ist hiervon natürlich der gleichfalls angegebene Ankeröffnungswinkel.)

Die nachstehende Tabelle gilt nur für Präzisionsuhren mit Sekundenpendel, wobei angenommen ist:

- | | |
|--------------------|--------------------|
| • Gangradzähnezahl | $Z = 30$ |
| • Palettenstärke | $p = 0,4 t$ |
| • Hebungswinkel | $\gamma = 1^\circ$ |
| • Ruhewinkel | $\rho = 1/2^\circ$ |
| • Ankermittelpunkt | auf der Sehne |

Tabelle 1 Grahamhemmung für Präzisionsuhren mit Sekundenpendel

Übergriff	Ankeröffnungs-winkel	Gangrad-durch-messer	Eingriffs-ent-fernung	Teilung	Paletten-stärke	Palettenkreis-Durchmesser		Hebkreis-durch-messer	Anker-weite	Anker-höhe
						innerer	äußerer			
n	α	D	E	t	p	d_{p_i}	d_{p_a}	d_H	w_A	h_A
D = 1										
6 1/2	78°	1	0·6428	0·1047	0·0419	0·7672	0·8510	0·1342	0·6590	0·2692
7 1/2	90°	1	0·7065	0·1047	0·0419	0·9572	1·0410	0·2033	0·7329	0·3697
8 1/2	102°	1	0·7938	0·1047	0·0419	1·1919	1·2757	0·3069	0·7985	0·4975
9 1/2	114°	1	0·9172	0·1047	0·0419	1·4966	1·5804	0·4694	0·8550	0·6646
10 1/2	126°	1	1·1004	0·1047	0·0419	1·9190	2·0028	0·7414	0·9014	0·8942
11 1/2	138°	1	1·3940	0·1047	0·0419	2·5609	2·6447	1·2406	0·9370	1·2366
E = 1										
6 1/2	78°	1·5557	1	0·1629	0·0651 ₅	1·1935	1·3238	0·2087	1·0251	0·4188
7 1/2	90°	1·4155	1	0·1482	0·0593	1·3549	1·4735	0·2878	1·0374	0·5232
8 1/2	102°	1·2597	1	0·1319	0·0527 ₅	1·5615	1·6070	0·3866	1·0059	0·6267
9 1/2	114°	1·0902	1	0·1142	0·0456 ₅	1·6317	1·7230	0·5117	0·9321	0·7246
10 1/2	126°	0·9088	1	0·0952	0·0380 ₅	1·7440	1·8201	0·6738	0·8192	0·8126
11 1/2	138°	0·7174	1	0·0751	0·0300 ₅	1·8371	1·8972	0·8900	0·6722	0·8871

IV. Arten und Herstellung der Grahamanker

Der Grahamanker besteht entweder im Ganzen aus einem Stück Stahlblech (s. Abb. 21), oder der Ankerkörper ist aus Messing und die Stahlpaletten sind in ihn eingeschoben (Abb. 22). Bei ganz feinen Uhren sind die Paletten noch mit Steinen versehen.

Der Anker aus einem Stück ist in der Herstellung einfacher, doch verzieht er sich beim Härten oft und entspricht dann nicht den theoretisch richtigen Abmessungen. Er wird in billigeren Uhren ausgeführt.

Der Anker mit eingeschobenen Paletten kann leichter genau hergestellt werden und hat noch den Vorteil, dass die Ankerweite im Bedarfsfalle leicht verändert werden kann. Er wird in Präzisionsuhren allgemein verwendet.

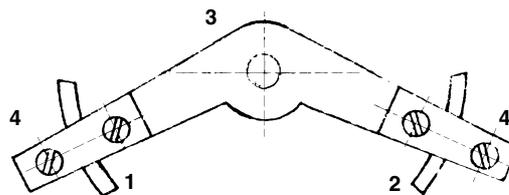


Abb. 22 Grahamanker mit eingeschobenen Paletten

- 1 = Eingangspalette
- 2 = Ausgangspalette
- 3 = Ankerkörper
- 4 = Deckplättchen

Für die Herstellung eines Ankers aus einem Stück reißt man auf einem blau angelassenen Stahlplättchen die Palettenkreise, den Hebkreis, die Ankerweite sowie die daraus sich ergebenden Hebflächen an, teilt die Ruhe- und Hebflächen sowie den Ankerumriss aus, härtet den Anker und poliert zum Schluss die Heb- und Ruheflächen.

Beim Anker mit eingeschobenen Paletten werden bei größerer Stückzahl die Paletten ausgestanzt oder von einem Ringe mit der Stärke der Paletten heruntergeschnitten. Bei Einzelherstellung biegt man ein rechteckiges Stückchen Stahlblech nach dem inneren Palettenkreis und teilt die Flächen entsprechend nach. Die Paletten werden nach dem Härten an den Ruhe- und Hebflächen poliert. Die Ausnehmung für die Paletten im Ankerkörper dreht man mit einem Stichel von der Stärke der Paletten; eine Scheibe mit dem Durchmesser des inneren Palettenkreises wird auf den Ankerkörper aufgelötet oder aufgelackt und dient dem Stichel zur Führung.

V. Grahamhemmung für Turmuhren (Abb. 23, S. 20)

Bei großen Turmuhren verwendet man gelegentlich Kolbenzähne für die Grahamhemmung, da diese Zahnform gegen Beschädigungen widerstandsfähiger ist. Die Hebung verteilt sich dann auf die Paletten und die Zähne; da jetzt die Zahnspitze zum Wirkungswege zählt, ist der Verlustweg und damit die Beschleunigung des Gangrades während des Falles geringer. Auch wählt man hier – zur Unterscheidung von den übrigen Kolbenzahnhemmungen – die gegenseitige Neigung der Hebflächen an Palette und Zahn so, dass diese beiden Hebflächen während der Hebung aufeinander gleiten; hierdurch werden die hier stark beanspruchten Paletten und Zähne geschont.

Am Gangrad treten – wie bei allen Kolbenzahnhemmungen – zwei Kreise auf (Zahnfersen- und Ruheeckenkreis); die Teilung, der Fall und der Gangradwirkungsweg müssen daher als Winkel angegeben werden.

Der **Ruhewinkel** ρ beträgt $1/2^\circ$ bis 1° , der Gesamthebungswinkel γ zirka $2 1/2^\circ$ (hiervon zirka $1 1/2^\circ$ für die Palette und zirka 1° für den Zahn).

Den **Fallwinkel** φ wählt man mit zirka $\varphi = 0,1 \tau$ (τ = Teilungswinkel), den Wirkungswinkel für die Palette mit $\delta_p = 0,25 \tau$ bis $0,3 \tau$, und daher den Wirkungswinkel für den Gangradzahn mit $\delta_z = 0,15 \tau$ bis $0,1 \tau$.

VI. Fehler der Grahamhemmung

Die Hauptfehler sind:

1. Die Paletten sind zu stark oder zu schwach,
2. die Paletten sind zu weit ins Gangrad hinein- oder aus dem Gangrad hinausgeschoben,
3. der Eingriff steht zu seicht oder zu tief,
4. die Neigung der Hebflächen ist zu klein oder zu groß.

Zwecks Feststellung dieser Fehler prüft man:

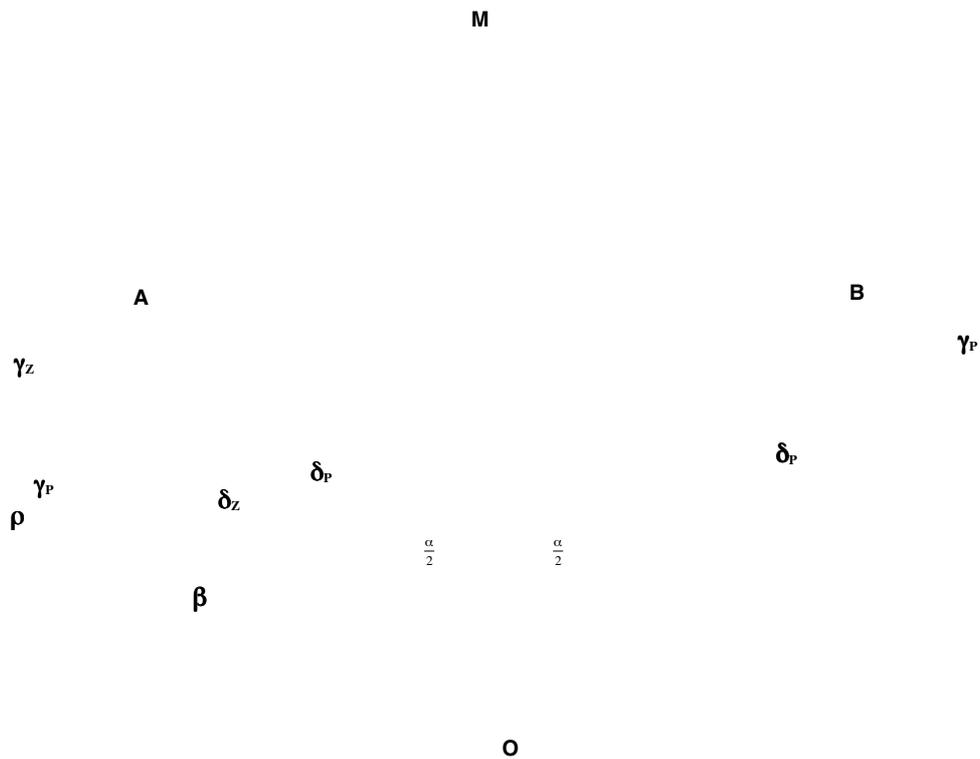


Abb. 23 Grahamhemmung für Turmuhren mit Kolbenzähnen

a. Die Ankerluft: Man lässt den Gangradzahn von der Palette abfallen, dreht dann den Anker ein wenig zurück und prüft nun den Spielraum der Zähne gegen die Paletten; diese Luft ist praktisch gleich dem Fall. Nach dem Abfall des Zahnes von der Eingangspalette ergibt sich die Luft innen (Abb. 24), nach dem Abfall von der Ausgangspalette die Luft außen (Abb. 25). Diese Spielräume können auf beiden Seiten zu klein oder zu groß oder auch voneinander verschieden sein; der richtige Wert beträgt – wie beim



Abb. 24 Ankerluft innen
 1 = Zahnspitzenkreis
 2 = innerer Palettenkreis
 3 = äußerer Palettenkreis
 4 = Eingangspalette
 5 = Ausgangspalette
 6 = Gangradzahn
 f = Fall

Fall f – je nach der Qualität der Uhr ein bis zwei Zahnsitzenstärken. Man prüfe die Ankerluft an mehreren Stellen des Gangrades, da Teilungsfehler der Zähne ungleiche Ankerluft vortäuschen können.

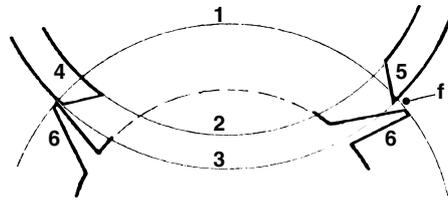


Abb. 25 Ankerluft außen

- b. Die Ruhe:** Man läßt den Gangradzahn auf der einen Seite abfallen und beobachtet auf der anderen Seite die Größe des hierbei entstehenden Ruhebogens. Die Ruhebögen auf beiden Seiten können zu klein oder zu groß oder auch voneinander verschieden sein; der richtige Wert beträgt ungefähr eine Zahnsitzenstärke. Bei feineren Uhren kann man auch mit Hilfe der am unteren Pendelende angebrachten Schwingungsskala die Ruhewinkel bestimmen, indem man die Ableseungen bei Beginn und Ende der Auslösung voneinander abzieht.

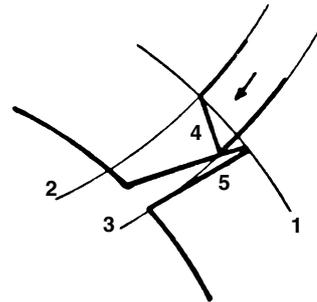


Abb. 26 Ankerluft zu klein, Auslösung erschwert

- c. Die Hebung:** Die Hebungswinkel findet man durch die Addition der Ableseungen an der Schwingungsskala bei Beginn und Ende der Hebungen. Die Hebungswinkel auf beiden Seiten können ungleich sein; da die Summe aus Ruhe- und Hebungswinkel auf beiden Seiten genau gleich groß sein muss, gehört zu einem kleineren Ruhewinkel auf einer Palette stets der größere Hebungswinkel und umgekehrt.

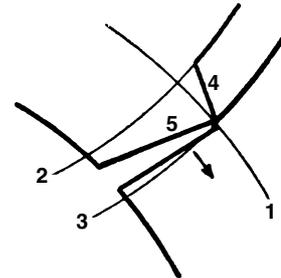


Abb. 27 Ankerluft viel zu klein, Auslösung unmöglich

Die Folgen dieser Fehler sind:

- a. Bei zu kleiner Ankerluft setzt während der Auslösung der Endpunkt der Palettenhebfläche am Rücken des Gangradzahnes auf – besonders bei großer Ruhe und bei eben geformtem Zahn Rücken – wodurch die Auslösung erschwert wird (Abb. 26); bei viel zu kleiner Ankerluft kann der Zahn nach der Hebung von der Hebfläche nicht mehr abgleiten und die nächste Auslösung ist unmöglich geworden (Abb. 27). Bei zu großer Ankerluft entsteht ein überflüssiger Verlust an Antriebskraft und ein starkes Geräusch beim Auffallen der Zähne auf Ruhe.
- b. Bei zu kleiner Ruhe fällt der Gangradzahn gleich auf der Hebfläche auf (Abb. 28); durch das Hereinschwingen der Palette beim nachfolgenden Überschwung wird die Zahnsitze – oder bei ganz feinen Uhren die Steinpalette – beschädigt. Bei zu

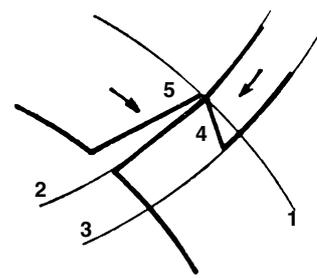


Abb. 28 Ruhe zu klein, Auffallen auf Hebung
 1 = Zahnsitzenkreis
 2 = innerer Palettenkreis
 3 = äußerer Palettenkreis
 4 = Hebfläche
 5 = Gangradzahn

großer Ruhe ist der Überschwung klein und der Antrieb weiter hinter die Mittellinie geschoben, wodurch die Ganggenauigkeit der Uhr leidet; ferner ist bei knapper Ankerluft die Gefahr des Aufsetzens während der Auslösung (nach Abb. 26) vergrößert.

- c. Bei zu kleiner Hebung müsste die Antriebskraft vergrößert werden, um den nötigen Antrieb für das Pendel zu erhalten; dadurch würde aber auch die Reibung des Gangradzahn an den Ruheflächen größer. Bei zu großer Hebung liegt das Ende des Antriebes zu weit hinter der Mittellinie, wodurch wieder die Ganggenauigkeit der Uhr leidet.

Die Lage des Hebflächenanfangspunktes bestimmt die Größe der Ruhe auf der gleichen Seite, die Lage des Hebflächenendpunktes hingegen die Ruhe auf der gegenüberliegenden Seite. Verschiebt man also eine Palette, so ändert sich der Ruhebogen auf beiden Seiten um den vollen Betrag dieser Verschiebung; die Ankerluft bleibt bei jeder Palettenverschiebung – die ja längs der Palettenkreise erfolgt – ungeändert. Ungleiche Ruhe, die immer mit ungleicher Hebung verknüpft ist, kann nur durch das Nachschleifen der Hebflächen berichtigt werden (s. Tabelle 2). Durch diese Änderung der Hebflächen werden auch die bis dahin ungleichen Hebkreise gleich groß (s. Abb. 29 bis 32).

Tabelle 2 Fehler der Grahamhemmung

Ankerluft		Ruhe	Abhilfe
innen	außen		
zu klein		richtig	schwächere Paletten
zu groß			stärkere Paletten
richtig		beiderseits zu klein	Paletten (in das Gangrad) hineinschieben
		beiderseits zu groß	Paletten (aus dem Gangrad) hinauschieben
		einseitig zu groß	wo Ruhe zu groß, Hebung vergrößern, oder: wo Ruhe richtig, Hebung verkleinern (siehe Abb. 29 und 30)
		einseitig zu klein	Paletten hineinschieben und: wo Ruhe zu klein, Hebung verkleinern, oder: wo Ruhe richtig, Hebung vergrößern (s. Abb. 31 und 32)
zu klein	zu groß	richtig	Eingriff tiefer setzen (nun Ruhe zu groß), Paletten hinauschieben (bis Ruhe wieder richtig)
		beiderseits zu klein	Eingriff tiefer setzen (dadurch Ruhe größer und eventuell schon richtig)
		beiderseits zu groß	Eingriff tiefer setzen (nun Ruhe viel zu groß), Paletten hinauschieben (bis Ruhe richtig)
zu groß	zu klein	richtig	Eingriff seichter setzen (nun Ruhe zu klein), Paletten hineinschieben (bis Ruhe wieder richtig)
		beiderseits zu klein	Eingriff seichter setzen (nun Ruhe viel zu klein), Paletten hineinschieben (bis Ruhe richtig)
		beiderseits zu groß	Eingriff seichter setzen (dadurch Ruhe kleiner und eventuell schon richtig)

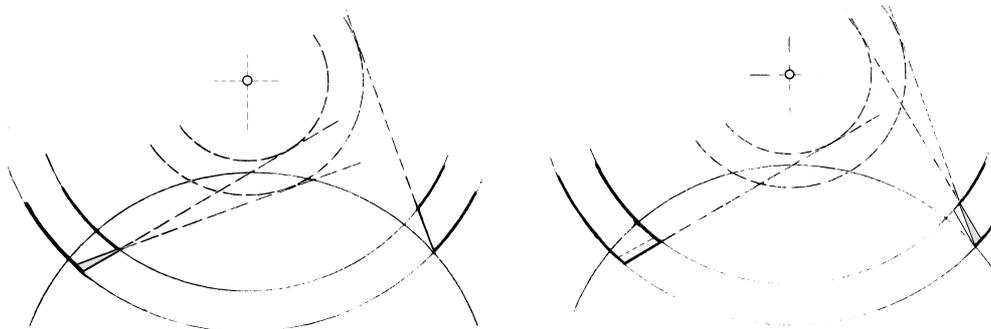


Abb. 29 Eingangsruhe zu groß

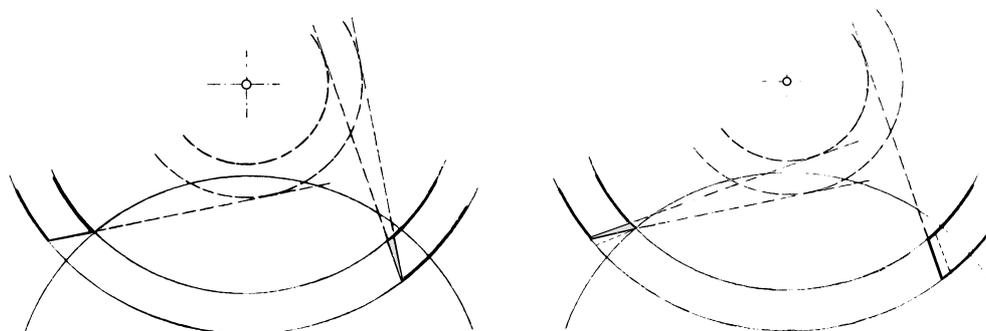


Abb. 30 Ausgangsruhe zu groß

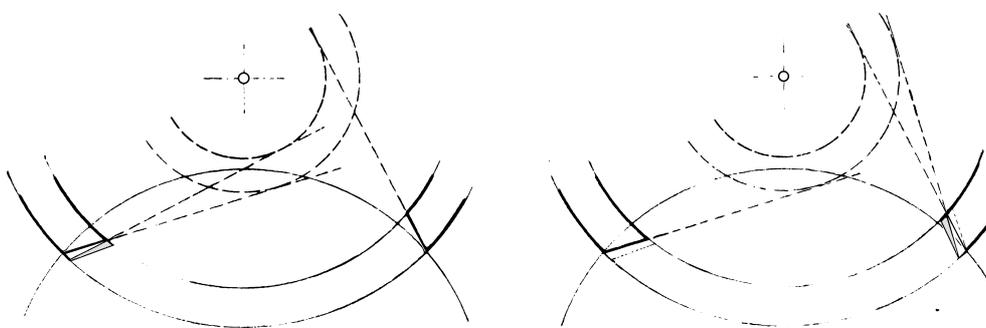


Abb. 31 Eingangsruhe zu klein

Beim Ändern der Eingriffsentfernung ändert sich sowohl die Ankerluft als auch die Ruhe: beim Seichtersetzen des Eingriffes (Abb. 33) wird die Ankerluft außen größer und innen kleiner, außerdem wird aber auch die Ruhe beiderseits kleiner; beim Tiefersetzen (Abb. 34) wird die Ankerluft innen größer und außen kleiner, außerdem wird auch die Ruhe beiderseits größer.

Für die Korrektur der Eingriffsentfernung findet man häufig in der Platine ein drehbares Futter mit exzentrischer Bohrung für den Ankerwellenzapfen. Lässt sich aber die Ein-

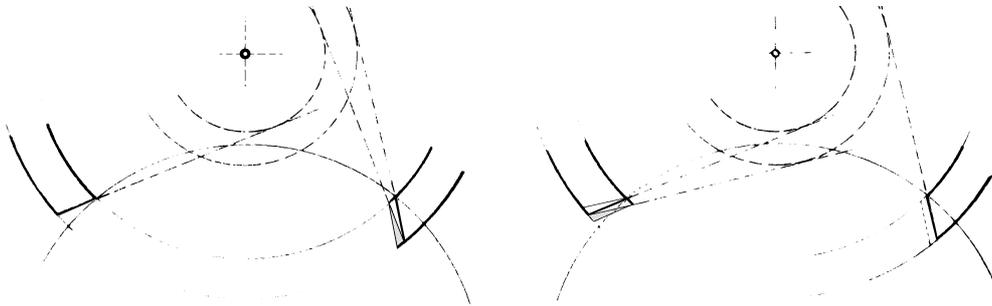


Abb. 32 Ausgangsruhe zu klein

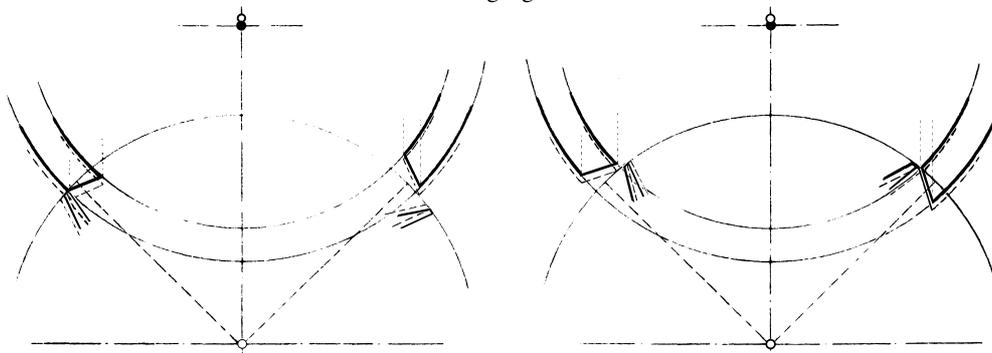


Abb. 33 Eingriff seichter gesetzt

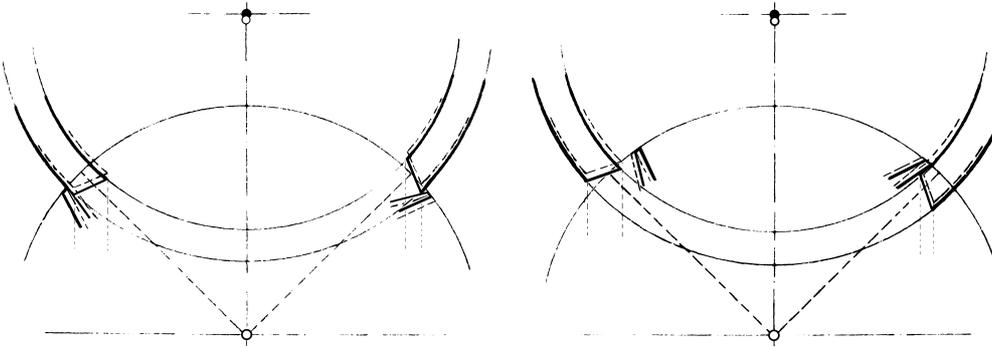


Abb. 34 Eingriff tiefer gesetzt

griffsentfernung nicht einstellen, so muss man die Länge der Ankerarme ändern, um auf diese Weise die Ankerluft innen und außen auf den gleichen Wert zu bringen.

Bei den Ankern aus einem Stück verkleinert man die Ruhe durch das Abschleifen einer Heblfläche parallel zu sich selbst. Zum Vergrößern der Ruhe muss man die Ankerarme zusammenbiegen; dabei können aber die Ruheflächen aus den Palettenkreisen herauskommen, so dass dann während des Überschwunges eine Hin- und Herbewegung des Gangrades erfolgt. In alten Uhren findet man auch Anker mit federnden Armen, bei denen die Entfernung der beiden Ankerarme voneinander mittels einer Schraube eingestellt werden kann.

Sachregister

Abnormale Gehwerke	185
Achsenabstand bei Verzahnungen.....	138
Achtstage-Hausuhren-Gehwerk.....	188
Additions-Kurzzeitmesser.....	358
Änderung von Spiralfeder-Endkurven.....	297
Äquidistante.....	160
Amplitudenmessgerät.....	246
Anhalten bei der Chronometerhemmung.....	98
Anhalten bei der Duplexhemmung.....	93
Anhalten bei der Kolbenzahnhemmung.....	80
Ankerluft bei der Grahamhemmung.....	20
Ankerluft bei der Kolbenzahnhemmung.....	75
Ankeröffnungswinkel.....	9
Ankerzapfen-Entlastung.....	250
Anlaufwinkel bei Schlagwerken.....	211
Antrieb der Uhr.....	111
Antriebserhaltung mit endloser Kette.....	117
Antriebserhaltung mit Umlaufrädergetriebe.....	312
Astatisches Nadelpaar.....	278
Aufsetzen bei Verzahnungen.....	158
Aufzugsbegrenzung beim Handaufzug.....	125
Aufzugsbegrenzung beim Automatic-Aufzug.....	328
Augenblickliche Fortschaltung bei Kalenderuhren.....	346
Augenblickliche Fortschaltung bei Kurzzeitmessern.....	372
Ausbrechen von Spiralfedern.....	299
Ausdehnungskoeffizienten.....	257
Ausführungsbeispiele von Kurzzeitmessern.....	357
Ausgehende Reibung.....	143
Auslösung bei Hemmungen.....	5
Auslösung bei Schlagwerken.....	207
Automatic-Uhren.....	319
Automatische Fortschaltung bei Kalenderuhren.....	345
Bandkette	119
Begrenzung bei freien Ankerhemmungen.....	46
Berechnung der Rechenschlaglaufwerke.....	225
Berechnung der Schlussscheiben-Schlaglaufwerke.....	217
Berechnung der fehlenden Gangregler.....	205
Berechnung der fehlenden Zahnräder.....	203
Berichtigung von Spiralfeder-Endkurven.....	282
Bewegliche Rolle beim Gewichtsantrieb.....	117

Breguet-Spirale.....	267, 297
Bremshebel bei Chronographen.....	369
Chronographen	358
Chronometerhemmung.....	98
CGS-Nummerierung von Spiralfedern.....	270
Denison-Schwerkrafthemmung	107
Deutsche Zeitangabe bei Schlagwerken.....	207
Drehhemmungen.....	314
Drehkala bei Gangreserve-Anzeigern.....	332
Duplexhemmung.....	93
Dynamische Schwerpunktsfehler.....	293
Dynamische Wirkung der freien Ankerhemmung.....	74
Eingehende Reibung	143
Eingriffsentfernung bei Hemmungen.....	8
Eingriffsentfernung bei Verzahnungen.....	139
Eingriffslinie bei der Evolventenverzahnung.....	168
Eingriffslinie bei der Triebstockverzahnung.....	160
Eingriffslinie bei der Zykloidenverzahnung.....	141
Eingriffswinkel bei der Evolventenverzahnung.....	168
Einrichten von Rechen-Schlagwerken.....	224
Einrichten von Schlussscheiben-Schlagwerken.....	216
Einschalträder.....	177
Einseitiger Aufzug bei Automatic-Uhren.....	323
Eintag-Schwarzwälder-Gehwerk.....	188
Elinvar-Spiralen.....	285
Endkurven bei Spiralfedern.....	279
Endlose Kette.....	117
Englische Hakenhemmung.....	26
Englische Spitzzahnhemmung.....	52
Entmagnetisierung.....	278
Entwurf von Räderwerken.....	178
Epizykloide.....	139
Ersatzkreis für Zykloiden-Kopfkurven.....	144
Erschütterungseinfluss bei Unruhen.....	277
Evolventenverzahnung.....	166
Ewiger Kalender.....	342, 353
Fall bei Hemmungen	7
Fallhöhe des Gewichtes.....	118

Federantrieb.....	120
Federhaus-Berechnung.....	121
Federkraft-Hemmungen.....	108
Fehlende Gangregler.....	205
Fehlende Zahnräder.....	203
Fehler der Chronometerhemmung.....	270
Fehler der Duplexhemmung.....	97
Fehler der Grahamhemmung.....	19
Fehler der Kolbenzahnhemmung.....	74, 81
Fehler der Stockuhrhemmung.....	31
Fehler der Weckerstifthemmung.....	85
Fehler der Zykloidenverzahnung.....	156
Fehler der Zylinderhemmung.....	91
Feinstellung.....	287
Feststehendes Federhaus.....	120
Feststellung von Laufwerksfehlern.....	246
Fingerstellung.....	126
Flache Spirale.....	267
Fliehkrafteinfluss bei Unruhen.....	277
Französisches Rechen-Schlagwerk.....	223
Französisches Schlussscheiben-Schlagwerk.....	214
Französische Zeitangabe bei Schlagwerken.....	207
Freie Ankerhemmungen.....	45
Freie Hemmungen.....	6
Freie Stifthemmung.....	67
Frequenz-Kontrolluhren.....	308
G abel bei freien Ankerhemmungen.....	45
Gabelluft bei der Kolbenzahnhemmung.....	78
Galoppieren bei der Duplexhemmung.....	93
Galoppieren bei der Chronometerhemmung.....	98
Gang, Hemmung.....	5
Gang, täglicher.....	237
Gangdauerwerk.....	179
Gangregler.....	237
Gangreserveanzeige.....	309, 332
Gangstörungen bei Pendeln.....	253
Gangstörungen bei Unruhen.....	272
Gangvariationen.....	239
Gegengesperr mit Hilfsantrieb.....	116
Gehwerk der Uhr.....	177
Gehwerke mit Sonderminutentrieb.....	189
Gehwerke ohne Minutenrad.....	185
Gemeinsamer Antrieb zweier Laufwerke.....	312

Gemeinsames Viertel- und Stunden-Schlagwerk.....	226
Geräuschbild der freien Ankerhemmung.....	242
Gesamtübersetzung eines Räderwerkes.....	177
Gesperre.....	111
Gestürzte Hemmungen.....	251
Getrenntes Viertel- und Stunden-Schlagwerk.....	229
Gewichtsantrieb.....	117
Gleicharmiger Anker.....	10
Gleichgewichtseinfluss bei Unruhen.....	273
Grahamhemmung.....	15
Guillaume-Unruh.....	284

H albaugenblickliche Fortschaltung bei Kalenderuhren.....	345
Halbaugenblickliche Fortschaltung bei Kurzzeitmessern.....	371
Halbstundenschlag bei Rechen-Schlagwerken.....	219
Halbstundenschlag bei Schlussscheiben-Schlagwerken.....	212
Halb-Tourbillon.....	316
Halbungleicharmiger Anker.....	10
Haltezäume.....	131
Hammerhub bei Schlagwerken.....	211
Handaufzug bei Automaticuhren.....	330
Hauptlagen der tragbaren Uhr.....	291
Hebelstein bei freien Ankerhemmungen.....	49
Hebkreis.....	8
Hebungswinkel.....	7
Hemmungen.....	5
Hemmungseinfluss bei Pendeln.....	254
Hemmungseinfluss bei Unruhen.....	272
Herz bei Kurzzeitmessern.....	369
Herzscheibe bei Schlagwerken.....	214
Hilfskompensationen.....	284
Hochverzahnung.....	171
Hörnerluft bei der Kolbenzahnhemmung.....	78
Hörnerluft bei der Weckerstifthemmung.....	84
Hohltrieb.....	160
Hypozykloide.....	139

I nvar-Pendel.....	265
Ischronismusfeinstellung.....	295

K adratur bei Schlagwerken.....	208
Kalender-Uhren.....	341

Karussell.....	317
Kegelräder-Getriebe.....	307
Kettenzug.....	119
Kippzäume.....	130
Koinzidenz-Zeitwaagen.....	240
Koinzidenz-Zeitzeichen.....	241
Kolbenzahn-Gangrad.....	6
Kolbenzahnhemmung.....	60
Kompensationsspiralen.....	285
Kompensationsunruhen.....	282
Kronrad-Getriebe.....	176
Kugelhemmungen.....	108
Kurzzeitmesser.....	357
Kurzzeitzeichen.....	240
Lagen der tragbaren Uhr.....	291
Lagen-Feinstellung.....	291
Langlochgesperre.....	113
Laternentrieb.....	160
Lautlos-Hemmung.....	73
Luftdruckeinfluss bei Pendeln.....	255
Luftdruckeinfluss bei Unruhen.....	279
Luftdruckkompensation für Pendel.....	261
Magnetischer Einfluss bei Unruhen.....	278
Maltaserstellung.....	126
Manuelle Fortschaltung bei Kalenderuhren.....	347
Mannhardt-Turmuhr-Stifthemmung.....	45
Mathematisches Pendel.....	251
Messerluft bei der Kolbenzahnhemmung.....	78
Mittlerer täglicher Gang.....	238
Modul bei Verzahnungen.....	138
Momentaner Gang.....	238
Monats-Anzeige bei Kalenderuhren.....	342
Monatstag-Anzeige bei Kalenderuhren.....	341
Mondphasen-Anzeige bei Kalenderuhren.....	346
Mudge-Schwerkrafthemmung.....	106
Nachfall bei Verzahnungen.....	157
Neutrale Punkte am Unruhreifen.....	283
Nickelstahlpendel.....	265
Nickelstahlunruh.....	284

Nivarox-Spiralen.....	285
Nullstellen bei Kurzzeitmessern.....	369
Orthozykloide	139
Oszillograph-Zeitwaagen.....	242
Palettenstärke bei Hemmungen	13
Pariser Zeitangabe bei Schlagwerken.....	207
Pendel.....	248
Pendelfedereinfluss.....	254
Pendelführung.....	250
Pendel-Stifthemmungen.....	37
Phillipssche Endkurven.....	279
Physisches Pendel.....	252
Prellsicherheit bei Wecker-Stifthemmungen.....	83
Pulsometer-Skala bei Kurzzeitmessern.....	366
Punktsignal-Zeitzeichen.....	240
Punktzykloide.....	160
Quarzpendel	266
Quecksilberpendel.....	264
Radstellungen	126
Räderschema der Gehwerke.....	183
Räderschema der Schlagwerke.....	208
Räderwerk der Kurzzeitmesser.....	379
Rattrapante-Einrichtung bei Kurzzeitmessern.....	376
Rattrapante-Zeiger bei Kurzzeitmessern.....	358
Rechenschlagwerke.....	219, 231
Reduktionsgetriebe bei Automaticuhren.....	322
Reglage.....	287
Registrier-Zeitwaagen.....	244
Regulierung einer Pendeluhr.....	258
Regulierung einer Unruhr.....	270
Reibungseinfluss bei Unruhen.....	272
Reifendurchmesser beim Kronrad.....	176
Reifenstärke bei der Kompensationsunruh.....	283
Repetier-Schlagwerke.....	207
Riefler-Federkrafthemmung.....	108
Ringkette.....	119
Rollenhemmung.....	34

Rollkreis bei Zykloiden.....	139
Roskopf-Anordnung in Gehwerken.....	185
Roskopfhemmung.....	73
Roskopf-Zeigerwerksberechnung.....	188
Rostpendel.....	263
Rotationsdauer von Gehwerkswellen.....	246
Rückereinfluss bei Unruhen.....	277
Rückführende Hemmungen.....	6
Rückführende Pendelhemmungen.....	25
Rückführende Pendel-Stifthemmung.....	38
Rückganggesperre.....	113
Rückkehrende Umlaufrädergetriebe.....	303
Ruhe bei der Chronometerhemmung.....	103
Ruhe bei der Grahamhemmung.....	21
Ruhe bei der Kolbenzahnhemmung.....	75
Ruhe bei der Weckerstifthemmung.....	83
Ruhe bei der Zylinderhemmung.....	91
Ruhende Hemmungen.....	6
Ruhende Pendel-Stifthemmung.....	39
Rutschäume.....	127
Saitenzug.....	119
Säulenrad bei Kurzzeitmessern.....	357
Scherenhemmung.....	43
Schichtungspendel.....	266
Schiffchen bei Kurzzeitmessern.....	367
Schlagwerke.....	207
Schlagzyklus.....	207
Schleichende Auslösung bei Schlagwerken.....	209
Schleichende Fortschaltung bei Kurzzeitmessern.....	371
Schluss Scheiben-Schlagwerken.....	212, 229
Schneckenantrieb.....	132
Schneckengetriebe.....	136
Schöpfer bei Rechen-Schlagwerken.....	210
Schonäume.....	130
Schwarzwälderhemmung.....	32
Schwarzwälder Rechenschlagwerk.....	223
Schwarzwälder Schluss Scheiben-Schlagwerk.....	214
Schweizer Kolbenzahnhemmung.....	60
Schweizer Wälzmaschine.....	158
Schwerkrafteinfluss bei Pendeln.....	258
Schwerkraft-Hemmungen.....	106
Schwerpunkteinfluss bei Unruhen.....	273
Schwingungsdauer des Pendels.....	251

Schwingungsdauer der Unruh.....	268
Schwingungswiteneinfluss bei Pendeln.....	253
Schwingungswiteneinfluss bei Unruhen.....	295
Schwingungszählwerk.....	180
Schwungmassen bei Automatic-Uhren.....	320
Sekundärer Kompensationsfehler bei Pendeln.....	261
Sekundärer Kompensationsfehler bei Unruhen.....	283, 289
Sekundensignal-Zeitzeichen.....	240
Sekundenzeiger.....	180
Sicherung bei freien Ankerhemmungen.....	45
Sonderminutenwelle.....	189
Sondersekundenwelle im Zuge des Räderwerkes.....	200
Sondersekundenwelle seitlich angeordnet.....	193
Sperrklinkendrehpunkt.....	111
Sperrung bei Schlagwerken.....	210
Spiralfeder-Abzählen.....	298
Spiralfeder-Arten.....	267
Spiralfeder-Einfluss.....	274
Spiralfedern mit konstanter Elastizität.....	285
Spitz Zahn-Gangrad.....	6
Spitz Zahnhemmung.....	52
Springende Auslösung bei Schlagwerken.....	209
Springende Fortschaltung bei Kalenderuhren.....	346
Springende Fortschaltung bei Kurzzeitmessern.....	372
Springsekunde.....	202
Stand.....	238
Statische Schwerpunktsfehler.....	293
Stellungen.....	125
Sternzeit-Übersetzungsgetriebe.....	311
Steuermechanismus bei Kurzzeitmessern.....	366
Stifthemmungen für Pendeluhren.....	37
Stifthemmungen für Unruhuhen.....	67
Stirnrad-Getriebe.....	135
Stockuhrhemmung.....	26
Stoppuhren.....	357
Strasser-Federkraftthemmung.....	108
Straumann-Unruh.....	286
Stroboskop-Zeitwaagen.....	242
Stunden-Schlagwerke.....	212
Stundenzählung bei Kurzzeitmessern.....	373
Summen- und Differenzanzeiger.....	308
T achometer-Skala bei Kurzzeitmessern.....	365
Täglicher Gang.....	237

Teilkreis bei Gangrädern.....	6
Teilkreis bei Zahnrädern.....	136
Teilung bei Gangrädern.....	9
Teilung bei Zahnrädern.....	138
Telemeter-Skala bei Kurzzeitmessern.....	364
Temperatureinfluss bei Pendeln.....	256
Temperatureinfluss bei Unruhen.....	279
Temperaturfeinstellung.....	289
Temperaturkompensation bei Pendeln.....	261
Temperaturkompensation bei Unruhen.....	282
Tonkörper bei Schlagwerken.....	210
Tourbillon.....	314
Triebkopfformen bei der Zykloidenverzahnung.....	148, 153
Triebstockverzahnung.....	160
Trotteuse-Zeiger bei Kurzzeit-Messern.....	359
Ü bergreif bei zweiarmigen Ankern.....	7
Überschwung der Gangregler.....	5
Übersetzungsverhältnis bei Verzahnungen.....	136
Umlaufendes Federhaus.....	120
Umlaufrädergetriebe.....	303
Umrechnungs-Skalen bei Kurzzeit-Messern.....	364
Ungleicharmiger Anker.....	10
Unruh.....	267
Unruhstopper bei Stoppuhren.....	368
V au-Verzahnung.....	171
Verlorener Weg bei der Kolbenzahnhemmung.....	75
Verlorener Weg bei der Weckerstifthemmung.....	83
Verzahnungen.....	135
Verzahnungsgesperre.....	114
Viertelstundenschlagwerke.....	226
Volet-Unruh.....	286
Vollschlagwerke.....	207
W älzkreis bei der Evolventenverzahnung.....	169
Wälzungsfaktor bei Zykloiden-Rädern.....	144
Wälzungsfaktor bei Zykloiden-Trieben.....	152
Wandermutter.....	329
Warnung bei Schlagwerken.....	209
Wechselräder im Zeigerwerk.....	182
Wechsler in Automatic-Uhren.....	325

Weckerstifthemmung.....	82
Wendelfeder für Unruhen.....	267
Westminster-Schlagwerk.....	234
Wiener Rechen-Schlagwerk.....	222
Wiener Viertelrepetieruhr.....	231
Wiener Zeitangabe bei Schlagwerken.....	207
Windfang im Schlaglaufwerk.....	208
Wochentag-Anzeige bei Kalenderuhren.....	342
Wolfsverzahnung.....	170
Z ahnräderberechnung bei der Evolventenverzahnung.....	173
Zahnräderberechnung bei der Triebstockverzahnung.....	165
Zahnräderberechnung bei der Zykloidenverzahnung.....	150
Zahnspitzenstärke bei Gangrädern.....	7
Zahnstangen-Getriebe.....	136
Zeigerwerk üblicher Ausführung.....	182
Zeigerwerk mit Umlaufrädergetriebe.....	310
Zeitmess-Skalen bei Kurzzeit-Messern.....	361
Zeitwaagen.....	241
Zeitzeichen.....	240
Zentralpunkt bei Verzahnungen.....	361
Zentralsekunde.....	193
Zug bei der Chronometerhemmung.....	103
Zug bei der Kolbenzahnhemmung.....	75
Zug bei der Weckerstifthemmung.....	83
Zugfeder.....	123
Zusammensetzen der Rechen-Schlagwerke.....	224
Zusammensetzen der Schlusscheiben-Schlagwerk.....	216
Zweiseitiger Aufzug bei Automatic-Uhren.....	324
Zykloidenverzahnung.....	139
Zylinderhemmung.....	87