

Aus
Natur und Geisteswelt

— 216 —

H. Bock

Die Uhr
Grundlagen und Technik
der Zeitmessung

Zweite Auflage



— ◆ —
B. G. Teubner · Leipzig · Berlin

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“

nummehr über 700 Bändchen umfassend, dient seit ihrem Entstehen (1898) den Gedanken, auf denen die heute sich so mächtig entwickelnde Volkshochschulbewegung beruht. Sie will jedem geistig Mündigen die Möglichkeit schaffen, sich ohne besondere Vorkenntnisse an sicherster Quelle, wie sie die Darstellung durch berufene Vertreter der Wissenschaft bietet, über jedes Gebiet der Wissenschaft, Kunst und Technik zu unterrichten. Sie will ihn dabei zugleich unmittelbar im Berufsfördern, den Gesichtskreis erweiternd, die Einsicht in die Bedingungen der Berufsarbeit vertiefend.

Sie bietet wirkliche „Einführungen“ in die Hauptwissensgebiete für den Unterricht oder Selbstunterricht des Laien nach den heutigen methodischen Anforderungen. Diesem Bedürfnis können Skizzen im Charakter von „Auszügen“ aus großen Lehrbüchern nie entsprechen, denn solche setzen eine Vertrautheit mit dem Stoffe schon voraus.

Sie bietet aber auch dem Fachmann eine rasche zuverlässige Übersicht über die sich heute von Tag zu Tag weitenden Gebiete des geistigen Lebens in weitestem Umfang und vermag so vor allem auch dem immer stärker werdenden Bedürfnis des Forschers zu dienen, sich auf den Nachbargebieten auf dem laufenden zu erhalten.

In den Dienst dieser Aufgabe haben sich darum auch in dankenswerter Weise von Anfang an die besten Namen gestellt, gern die Gelegenheit benutzend, sich an weiteste Kreise zu wenden, an ihrem Teil bestrebt, an der „Sozialisierung“ unserer Kultur mitzuarbeiten.

So konnte der Sammlung auch der Erfolg nicht fehlen. Mehr als die Hälfte der Bändchen liegen, bei jeder Auflage durchaus neu bearbeitet, bereits in 2. bis 7. Auflage vor, insgesamt hat die Sammlung bis jetzt eine Verbreitung von fast 5 Millionen Exemplaren gefunden.

Alles in allem sind die schmucken, gehaltvollen Bände besonders geeignet, die Freude am Buche zu wecken und daran zu gewöhnen, einen kleinen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden. Durch den billigen Preis ermöglichen sie es tatsächlich jedem, auch dem wenig Begüterten, sich eine Bücherei zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt“ vereinigt.

Jedes der meist reich illustrierten Bändchen
ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Leipzig, im Januar 1921.

B. G. Teubner

7.502

Bisher sind erschienen

zur Technik und mechanischen Industrie:

Geschichte und Grundlagen der Technik.

Am fassenden Weisheit der Zeit. Übersicht über die Wirkungen der Naturwissenschaft und Technik auf das gesamte Kulturleben. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 3 Abbildungen. (Bd. 23.)

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Geh. Reg.-Rat M. Seitel. Mit 32 Abbildungen. (Bd. 28.)

Einführung in die Technik. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. S. Lorenz. Mit 77 Abb. im Text. (Bd. 79.)

Mechanik.

Mechanik. Von Prof. Dr. S. Hamel. I. Grundbegriffe der Mechanik. Mit 38 Figuren. *II. Mechanik der festen Körper. *III. Mechanik der flüssigen u. luftförmigen Körper. (Bd. 684.86.)

Aufgaben aus der technischen Mechanik. Für den Schul- und Selbstunterricht. Von Prof. N. Schmitt. I. Bewegungslehre. Statik. 2. Aufl. Mit Aufgaben, Lösungen und zahlreichen Figuren im Text. II. Dynamik. 140 Aufgaben u. Lösungen mit zahlreichen Figuren im Text. *III. Festigkeitslehre. (Bd. 557.559.)

Statik. Von Baugewerkschuldirektor Reg.-Baumeister A. Schau. 2. Auflage. Mit 112 Figuren. (Bd. 828.)

Festigkeitslehre. Von Baugewerkschuldirektor Reg.-Baumeister A. Schau. 2. Auflage. Mit 119 Figuren. (Bd. 829.)

Einführung in die technische Wärmelehre (Thermodynamik). Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2. erweiterte Auflage bearbeitet von Privatdozent Dr. J. Schmidt. Mit 46 Abbildungen im Text. (Bd. 516.)

Praktische Thermodynamik. Aufgaben und Beispiele zur technischen Wärmelehre. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. Mit 40 Abb. im Text u. 3 Tafeln. (Bd. 596.)

Das Perpetuum mobile. Von Dr. Fr. Schat. Mit 38 Abb. (Bd. 462.)

Bergbau, Hüttenwesen und mechanische Technologie.

Unser Kohlen. Von Bergassessor P. Kukul. 2. verb. Aufl. Mit 49 Abbildungen im Text und 1 Tafel. (Bd. 396.)

*Metallurgie. Von Dr.-Ing. N. Ugel. I. Leicht- u. Edelmetalle. II. Schwermetalle. (Bd. 446/47.)

*Metallbearbeitung. Von Ing. Dr. O. Stolzenberg. Bd. I: Rohstoffe des Maschinenbaus. Bd. II: Arbeiten des Maschinenbauers. (Bd. 671/72.)

Das Eisenhüttenwesen. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. S. Wedding. 6. Aufl. von Bergassessor F. W. Wedding. Mit 22 Abb. (Bd. 20.)

Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 3. Aufl. Mit 175 Abb. (Bd. 301.)

Hebezeuge. Hilfsmittel zum Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2. Aufl. Mit 67 Abb. im Text. (Bd. 196.)

*Fördereinrichtungen. Von Oberingenieur D. Veschlein. (Bd. 726.)

Das Holz, seine Bearbeitung u. seine Verwendung. Von J. Großmann, Inspektor der Echwertstätten für Holzbearbeitung in München. Mit 39 Originalabb. im Text. (Bd. 473.)

Die Spinnerei. Von Direktor Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abbildungen. (Bd. 398.)

Die Ralle, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. S. Alt. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 311.)

Maschinenlehre.

Industrie-Feuerungsanlagen und Dampfkessel. V. Ing. J. E. Mäse. 2. Aufl. (Bd. 348.)

Die Dampfmaschine. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2 Bde. I. Bd.: Wirkungsweise des Dampfs in Kessel und Maschine. 4. Aufl. Mit 37 Abb. II. Bd.: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. 3. Aufl. Von Privatdozent Dr. J. Schmidt. Mit 94 Abb. (Bd. 393.94.)

Die neueren Wärmekraftmaschinen. Von Geh. Bergrat Prof. A. Vater. 2 Bände. I. Bd.: Einführung in die Theorie und den Bau der Gasmotoren. 5. Aufl. M. 41 Abb. (Bd. 21.) II. Bd.: Gas-, Großgasmot., Gas- u. Dampftrieb. 4. Aufl. Mit 43 Abb. (Bd. 86.)

*Elektrische Maschinen. Von Dipl.-Ing. M. Lwisch. (Bd. 774.)

*Wasserkraftanlagen und -maschinen. Von Dr.-Ing. S. Lawaczek. (Bd. 732.)

*Werkzeugmaschinen. Von Dipl.-Ing. E. Preger. (Bd. 649.)

Landwirtschaftliche Maschinenkunde. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. O. Fischer. Mit 64 Abbildungen. 2. Auflage. (Bd. 316.)

Elektrotechnik.

- Grundlagen der Elektrotechnik.** Von Obering. A. Kottb. 3. Aufl. Mit 70 Abb. (Bd. 39.)
Die elektrische Kraftübertragung. Von Ing. P. Köhn. 2. Aufl. Mit 133 Abb. (Bd. 424.)
Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Oberpostinsp. H. Brä. 2. Aufl. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Oberpost-Inspr. H. Brä. 2. Aufl. Mit 65 Abb. (Bd. 235.)
Das Telegraphen- und Fernsprechwesen. 2. Aufl. Von Oberpostrat Otto Stieblitz. (Bd. 183.)
Die Funktentelegraphie. Von Telegr.-Dir. H. Thurn. 5. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 167.)

Hausbau und -einrichtung.

- Der Eisenbetonbau.** Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. 2. Aufl. Mit 82 Abbildungen im Text sowie 8 Rechnungsbeispielen. (Bd. 275.)
Beleuchtungswesen. Von Ing. Dr. S. Lux. M. 54 Abb. (Bd. 493.)

Verkehrstechnik.

- Das Eisenbahnwesen.** Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. Dr.-Ing. E. Viederemann. 3., verb. Aufl. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 144.)
Die Klein- und Straßendbahnen. V. Oberlehrer A. Liebmänn. M. 85 Abb. (Bd. 322.)
Die Luftfahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. A. Nimführ. 3. Auflage von Dr. S. Huth. Mit 60 Abbildungen. (Bd. 300.)
Nautik. Von Direktor Dr. J. Möller. 2. Aufl. Mit 64 Fig. (im Text u.) Seekarte. (Bd. 255.)

Kriegstechnik.

- Die Handfeuerwaffen.** Ihre Entwicklung und Technik. Von Major A. Weiß. Mit 69 Abbildungen. (Bd. 364.)
Unsere Kriegsschiffe. Ihre Entstehung und Verwendung. Von Geh. Marinebaurat a. D. C. Krieger. 2. Aufl. von Marinebaurat Friedr. Schürer. Mit 62 Abb. (Bd. 389.)

Graphische und Fein-Industrie.

- Wie ein Buch entsteht.** Von Professor A. W. Unger. 5. Aufl. Mit Tafeln und Abbildungen im Text. (Bd. 175.)
Die Schmucksteine und die Schmuckstein-Industrie. Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abbildungen. (Bd. 376.)
Die Uhr. Grundlagen und Technik der Zeitmessung. Von Prof. Dr.-Ing. H. Voad. 2., umgearbeitete Auflage. Mit 55 Abbildungen im Text. (Bd. 216.)
Die Rechenmaschinen und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. K. Lenz. Mit 49 Abbildungen im Text. (Bd. 490.)

Zeichnen.

- Der Weg zur Zeichenkunst.** Von Dir. Dr. E. Weber. 3. Aufl. Mit 84 Abbildungen und 1 Farbtafel. (Bd. 430.)
Grundzüge der Perspektive nebst Anwendungen. V. Prof. Dr. A. Doehlemann. 2., verb. Aufl. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)
Geometrisches Zeichnen. Von atad. Zeichenlehrer A. Schudetsky. Mit 172 Abb. im Text und auf 12 Tafeln. (Bd. 568.)
***Technisches Zeichnen.** Von Reg.- u. Gewerbeschulrat Prof. A. Hofmann. (Bd. 548.)
Projektionslehre. Die rechtwinkl. Parallelprojektion und ihre Anwendung auf die Darstellung techn. Gebilde nebst Anhang über die schiefwinkl. Parallelprojektion in kurzer leichtfasslicher Darstellung. f. Selbstunterricht. u. Schulgebr. Von atad. Zeichenl. A. Schudetsky. M. 164 Fig. f. Text. (Bd. 564.)
Maße und Messen. Von Dr. W. Voad. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)

Die mit * bezeichneten und weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

216. Bändchen

Die Uhr

Grundlagen und Technik der Zeitmessung

Von

Dr. = Ing. H. Bock

Bock

Professor der Technischen Staatslehranstalten
zu Hamburg

Zweite, umgearbeitete Auflage

Mit 55 Abbildungen im Text



T4/21

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Katedra Miernictwa Elektrycznego

2517

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1917



582



130431

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:
Copyright 1917 by B. G. Teubner in Leipzig

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten

Druck von B. G. Teubner, Dresden

D 13 30/118

Vorwort zur zweiten Auflage.

Der Zweck des Büchleins ist nach wie vor wesentlich der, Interesse zu erwecken für die populärste und verbreitetste Maschine des technischen Zeitalters, das Sinnbild der Ordnung und Präzision, deren Geburtsstätte einst die Werkstatt des kleinen Meisters war, und die jetzt längst herausgetreten ist in die Sphäre wissenschaftlicher und großzügiger Technik, gemäß ihrer Bedeutung im Zeitalter des Schnellverkehrs und — der auf die Sekunde einsetzenden Sturmangriffe.

Die vorliegende zweite Auflage unterscheidet sich von der ersten durch die knappere Behandlung der Zeitbestimmung und der theoretischen Erörterungen; hinzugekommen ist ein kurzer Abschnitt über die Fabrikation. Den inzwischen aufgetretenen Neuerungen ist allenthalben insoweit Rechnung getragen, als sie für den vorliegenden Zweck von Belang sind. Die beschriebenen Anordnungen und Konstruktionen sind auch hier wieder bloß als Beispiele aufzufassen, bei denen zudem Unwesentliches vielfach weggelassen ist; Vollständigkeit oder auch nur Ausführlichkeit der Darstellung konnte bei dem geringen Umfange des Bändchens natürlich nirgends angestrebt werden.

Hamburg, im September 1917.

Der Verfasser.

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung. Der Zeitbegriff	1
Erstes Kapitel: Astronomisches	2
Sterntag. Wahrer und mittlerer Sonnentag; Zeitgleichung. Tageseinteilung. Orts-, Zonen- und Weltzeit. Datumswechsel. Mondumlauf.	
Zweites Kapitel: Kontrolle der Uhr	8
Sternbeobachtung. Sonnenuhr. Sextant. Sonnenspiegel. Zeitdienstanlagen der Sternwarten: Mittagsrohr, Chronograph, persönliche Gleichung. Sonnenlot und -rohr. Die Uhr als Kompaß.	
Drittes Kapitel: Theoretisches	14
Drehbewegung. Moment. Dämpfung. Pendelschwingung: Reduzierte Länge, Isochronismus, Einfluß des Luftdrucks. Unruherschwingung: Isochronismus, Zapfenreibung.	
Viertes Kapitel: Zweck und Wesen der Hemmung	22
Regler und Uhrwerk. Konstruktionsbedingungen. Stiftgang: Hebung- und Ergänzungsbogen, Fall.	
Fünftes Kapitel: Die Antriebskraft	26
Gewichtszug. Gegensperre. Planetenräder. Elektromagnetischer Aufzug. Zugfeder. Federhaus. Stellung. Schnecke.	
Sechstes Kapitel: Das Räderystem	36
Übersehung. Reibungsverlust. Zapfen und Lager. Anordnung des Räderwerkes. Exzentrizität der Zeiger. Indirekter Antrieb: Nachspannwerk. Die Verzahnung: Voll- und Hohltrieb.	
Siebentes Kapitel: Pendel und Unruh	47
Das Pendel: Geschichtliches. Aufhängung. Regulierung und Einstellung. Temperaturkompensation: Holz-, Rost-, Quecksilber-, Invar- und Quarzpendel. Schichtungskompensation. Thermostat. Luftdruckkompensation: Glasverschluß, Aneroid. Führungsgabel. Kegelpendel. Die Unruh: Spiralen. Isochronismus. Ruder. Kompensation. Regulierung in Lagen. Drehgang. Einfluß äußerer Bewegungen. Magnetische Störungen. Torsionswage.	
Achtes Kapitel: Die Hemmungen im besonderen	71
Einteilung. Konstante Kraft. Pendelhemmungen: Haken-, Graham-, Stift-, Brocot-, Röllchen-, Mannhardt-, Riefler- und	

	Strassergang. Unruhhemmungen: Spindel-, Zylinder-, Anker-, Chronometer- und Duplexgang.	
Neuntes Kapitel:	Die Zeitkundgebung	91
	Bedeutung öffentlicher Zeitangaben. Die Augen- und Ohrmethode: Anwendung von Telegraph, Telephon und Funkentelegraphie. Zeitnonius. Zifferblattsysteme: Haupt- und Nebenuhren mit Pendel- und Z-Anker. Elektromagnetische Hauptuhr. Reguliersysteme: Bauart Normalzeit und Magneta. Sympathetische Koppelung. Turmuhrregulierung. Anlage im Deutschen Museum zu München.	
Zehntes Kapitel:	Mittlerer Gang und Gangvariation	106
	Stand, Gang und Variation und deren Ursachen. Mittlerer Gang. Wahrscheinliche Abweichung; Beispiel. Beurteilung der Güte einer Uhr. Genauigkeit von Chronometern und astronomischen Uhren.	
Elftes Kapitel:	Von der Fabrikation	114
	Qualität der Erzeugnisse. Wirtschaftliches. Technologisches über die Taschenuhr. Breguet- und Wippenaufzug.	

Einleitung.

Die Zeit ist eine Anschauungsform des menschlichen Geistes. Man abstrahiert vom Geschehen den Begriff des Fortschreitens und nennt ihn „die Zeit“. Wirklich ist sie nur als Gegenwart, als stetiger Übergang des Vergehenden zum Kommenden; die Vergangenheit bildet das Sachwerk, in dem die Geschichte unseres Planeten und unsere Erinnerungsbilder ruhen, wogegen die Zukunft als das vorbestimmte Produkt der Entwicklung in Dämmerung gehüllt ist, so daß Raum bleibt für Hoffnung und freudiges Streben. Sie voraussehen, ist dem Menschen bislang nur in wenigen Gebieten der exakten Wissenschaften gelungen, deren Ausbau mit Recht als der größte Triumph menschlicher Geisteskraft gepriesen und für alle andern Wissenschaften als vorbildlich betrachtet wird. Denn Erkenntnis besitzt man streng genommen nur dort, wo man das Kommende quantitativ voraussehen vermag; und auch nur hier eröffnet sich die Möglichkeit, den Lauf der Zeitmesser durch Vergleich mit den Naturvorgängen prüfend zu verfolgen.

Neuerdings hat der Zeitbegriff durch das Relativitätsprinzip eine tiefgreifende Umbildung erfahren; den Ausgangspunkt hierzu bot der berühmte Versuch von Michelson (1881), der die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Erdbewegung wider alles Erwarten dar- getan hatte. Wie Einstein auf Grund zweier Postulate gezeigt hat, haben damit die herkömmlichen Vorstellungen der Geometrie und der Bewegungslehre ihre frühere Bedeutung verloren, und die Zeit ist gewissermaßen zu einer vierten Koordinate des Raumes geworden. — Näheres über die hiermit angedeutete Sachlage gibt Band 618 der vorliegenden Sammlung; immerhin sehen wir schon hier, daß selbst die am festesten gewurzelten Anschauungen durch den lebendigen Fortschritt der Erkenntnis ins Wanken gebracht werden können.

Erstes Kapitel.

Astronomisches.¹⁾

So einfach, wie sie auf den ersten Blick erscheint, ist nun allerdings die Definition der Begriffe Jahr und Tag nicht, denn das einzige wahrhaft Regelmäßige, was wir am Himmel vonstatten gehen sehen, ist der Umlauf der Fixsterne, oder richtiger gesagt, die Achsumdrehung der Erde. Die im Raume frei schwebende Erdkugel hat in Folge der Abwesenheit jeglicher Reibung die ihr seit unermesslichen Zeiten innewohnende Rotationsenergie unverändert beibehalten, abgesehen von dem geringen Betrage, den die gegen die Ostküsten der Kontinente brandende Flut aufgezehrt hat; letzterer ist aber so klein, daß nach Delaunay nur eine Verzögerung von 6 Sekunden pro Jahrhundert eintritt. Gelänge es, einen ähnlich reibungsfreien Mechanismus zu konstruieren, so wäre damit die vollkommenste Uhr hergestellt, die sich ausdenken läßt.

Einen solchen Umlauf des gestirnten Himmels um das Gesichtsfeld des Erdbewohners nennt man einen Sterntag. Es bleibt noch zu entscheiden, welchem der zahllosen Fixsterne man die Ehre erweisen soll, seinen Beginn zu markieren. Der Astronom hilft sich dadurch, daß er den Sterntag für einen Ort dann anfangen läßt, wenn der Frühlingspunkt durch den Meridian des Ortes geht, oder was dasselbe bedeutet, seinen höchsten Stand über dem Horizont erreicht. Er ist derjenige Punkt des scheinbaren Himmelsgewölbes, an dem die Sonne im Momente des Eintritts der Frühlings- und Nachtgleiche gesehen wird. Zwar steht auch er nicht still, aber sein in rund 26000 Erdenjahren erfolgender, Präzession der Nachtgleichen genannter Umlauf ist vermöge seiner Langsamkeit zunächst ohne Belang. Die Uhren der Astronomen gehen nach Sternzeit, und ihre Kontrolle ist leicht und einfach ausführbar, denn jedes Gestirn geht so viele Stunden nach dem Frühlingspunkte durch den Meridian, als seine Rektaszension, d. h. seine Längentfernung vom Frühlingspunkt, auf dem Äquator gemessen, beträgt, die Stunde zu 15 Bogengraden gerechnet.

Im bürgerlichen Leben nach Sternzeit zu rechnen, ist aber unmöglich, weil unsere Zeiteinteilung durch den Lauf der Sonne bedingt wird; an die Stelle des Sterntages tritt also hier der Sonnentag, d. h. die Zeit, die zwischen zwei Durchgängen der Sonne durch den Meri-

1) Vgl. auch „Der Kalender“, Band 69 der vorliegenden Sammlung, sowie Baruch, „Tag und Stunde“ (math.-phys. Bibliothek).

dian verfließt. Der Sonnentag ist infolge des Umlaufes der Erde um die Sonne im Mittel 3 Minuten 55,9 Sekunden länger als der Sterntag, so daß das Jahr einen Sonnentag weniger hat als Sterntage, nämlich bloß 365,24222. Das kann man sich folgendermaßen anschaulich klar machen: dreht sich ein links herum tanzendes Paar bei einem vollen Rundtanz um den Ballsaal 3. B. 25 mal, so hat es das Orchester zwar 25 mal, den Kronleuchter aber nur 24 mal zu sehen bekommen; der Kronleuchter entspricht der Sonne, das Orchester dagegen dem Fixsternhimmel.

Hiermit würde die Tageslänge endgültig definiert sein, wenn alle wahren Sonnentage gleich lang wären; das ist aber wegen der elliptischen Gestalt der Erdbahn und wegen der Schiefe der Ekliptik durchaus nicht der Fall; 3. B. ist im Dezember, zur Zeit der Sonnennähe, der wahre Sonnentag etwa $\frac{1}{2}$ Minute länger als sein Mittelwert. Da unsere Uhren unmöglich diesen Unregelmäßigkeiten folgen können und das auch gar keinen Zweck hätte, so hat man den mittleren Sonnentag als Zeitmaßstab eingeführt, d. h. die durchschnittliche Länge des wahren Tages, berechnet über die Dauer eines Jahres. Man dividirt also einfach die Länge des tropischen Sonnenjahres, des Zeitraumes zwischen zwei Frühlingsanfängen, durch die Zahl der inzwischen stattgehabten Sonnentage, nämlich 365,24222, und nennt das Resultat den mittleren Sonnentag. Sein 86400. Teil heißt die Sekunde (sek) und wird allen genauen Zeitmessungen zugrunde gelegt. Die Zeitdifferenz zwischen wahren und mittlerem Mittag nennt man die Zeitgleichung; sie wird viermal im Jahre null und erreicht im November mit rund $\frac{1}{4}$ Stunde ihren höchsten Wert. Sie repräsentiert den sich dauernd (wegen der Schalttage auch im Laufe der Jahre!) ändernden Abstand der wahren von der gedachten, gleichförmig umlaufenden „mittleren Sonne“, die bald rechts und bald links von ersterer zu suchen ist. Eine Tabelle der Zeitgleichung findet man 3. B. im Nautischen Jahrbuche, in der Monatschrift „Weltall“ und in manchem Kalender.

Interessant ist es, zu hören, daß die durchlaufende Einteilung des Tages in 24 gleich große Stunden noch gar nicht alt ist; noch im Mittelalter teilte man Tag und Nacht für sich in je 12 Stunden ein, ohne Rücksicht auf ihre Länge. Umständliche Umrechnungen waren die notwendige Folge. Bei einer Zeitangabe aus jener Epoche ist dies wohl zu beachten. Die Astronomen teilen den Sterntag in 24 Stunden, die die Bezeichnung 1 bis 24 führen, und es gibt heute schon viele, die diese Einteilung auch für den bürgerlichen Sonnentag verlangen; in

Italien zählt man bereits in solcher Weise, desgleichen seit 1913 auf den belgischen Eisenbahnen. Die Einführung der mittleren Sonnenzeit ist noch weit jüngeren Datums als die Einteilung des Tages in gleich lange Stunden; in Berlin geschah sie z. B. erst im Jahre 1810, in Paris sogar noch 6 Jahre später.

Für jeden Ort ist die Tageslänge hierdurch festgestellt. Es bleibt noch übrig, zu bestimmen, wann der Tag an irgendeinem Orte zu beginnen hat. Weil wir gewohnt sind, die Begriffe 12 Uhr und mittlerer Mittag als gleichbedeutend anzusehen, so hat von Rechts wegen jeder Meridian der Erde seine besondere Zeit. Da der Umlauf der mittleren Sonne um die Erde 24 Stunden in Anspruch nimmt, so bedeutet eine Längendifferenz von einem Grade bereits einen Zeitunterschied von 4 Zeitminuten; in der Breite von Berlin machen 17 km Längentfernung, die einem Viertelgrade entsprechen, daher schon eine Minute Zeitunterschied aus. Man kann sich denken, wie unbequem ein solches System von Lokalzeiten insbesondere für den Eisenbahnbetrieb als solchen und auch für das reisende Publikum ist, vor allen Dingen bei der Aufstellung und Benutzung der Fahrpläne, aus denen, wenn sie in Lokalzeit angegeben sind, die genaue Fahrtdauer zu entnehmen nicht gerade einfach ist. Daher machten sich mit dem Anwachsen des Verkehrs sehr bald Stimmen bemerkbar, die die Einführung von Regional- oder Zonenzeit verlangten, d. h. größere Länderkomplexe, die in der Nähe eines und desselben mittleren Meridians liegen, sollten an allen Orten die Zeit des letzteren haben. Diese Bestrebungen haben dann auch, nicht zum mindesten dank der aus Mobilisierungsgründen erfolgenden Unterstützung des Generalstabes (Moltkes letzte Reichstagsrede!), das praktische Resultat gezeitigt, daß am 1. April 1893 in Deutschland die sogenannte mitteleuropäische Zeit eingeführt worden ist, d. h. von genanntem Tage ab hat jeder Ort des Reiches die Zeit des 15. Meridians östlich von Greenwich, der durch Görlitz läuft. Weil 15° einer Zeitstunde entsprechen, so gehen alle unsere Uhren eine Stunde vor gegenüber derjenigen der Sternwarte zu Greenwich, von der ab bekanntlich neuerdings die Längengrade der Erde gerechnet werden. Dementsprechend geben unsere Zeitballstationen an den Küsten und in den Häfen, nach denen die Schiffschronometer verglichen werden, die Greenwicher Zeit an, d. h. sie lassen den Ball Punkt 1 Uhr mittags fallen oder zeigen um diese Zeit einen Lichtblitz. Die Einführung der mitteleuropäischen Zeit hat

es freilich mit sich gebracht, daß die Sonne im äußersten Osten des Reiches gewissermaßen 30 Minuten zu früh auf- und untergeht, im äußersten Westen dagegen 36 Minuten zu spät. Außer geringfügigen Einwirkungen auf den Gas- und Elektrizitätskonsum der Städte haben sich hieraus aber keinerlei Störungen ergeben. Wie man diesen Verbrauch durch Einführung der „Sommerzeit“ 1916 zum erstenmal erfolgreich reguliert hat, ist noch in aller Erinnerung.

Der Vorteil der mitteleuropäischen Zeit liegt auf der Hand. Während man früher auf der Reise die Uhr von Ort zu Ort zu stellen hatte, braucht man dies jetzt nur noch beim Überschreiten der Grenze zu tun, und auch das nicht immer, denn eine Reihe von Nachbarländern hat die mitteleuropäische Zeit ebenfalls eingeführt. Eine Umrechnung hat jetzt nur noch der Astronom vorzunehmen, wenn er aus der Ortszeit die mitteleuropäische ermitteln will, und diese besteht einfach in der Addition von $4 \cdot (15 - \alpha)$ Minuten, worin α den Längengrad der Sternwarte bedeutet. — Auf eine aus der Einführung der Regionalzeit erwachsende Schwierigkeit muß aber noch hingewiesen werden. Wird von irgendwoher der Eintritt eines Ereignisses, z. B. eines Erdbebens gemeldet, so muß der Empfänger der Nachricht sich zunächst darüber Gewißheit verschaffen, was für eine Zeit in der Meldung gemeint ist; ist dies Ortszeit, so muß er aus der Karte die Lage des betreffenden Ortes konstatieren und dann die Umrechnung auf unsere Zeit vornehmen. Kommt die Nachricht aber aus einem Lande, das Regionalzeit hat, so kann auch sie gemeint sein; und selbst wenn das letztere feststeht, so ist die Umrechnung dann unsicher, wenn der Ort in der Nähe der Grenze zweier Zeitzonen liegt. Da diese Grenzen auf der Karte nicht angegeben sind, so läßt sich in solchem Falle kaum feststellen, welche der beiden Regionalzeiten der Meldung zugrunde gelegt ist. Jedenfalls ist es stets das beste, den Meridian mit anzugeben, auf den die Zeitangabe bezogen ist.

Natürlich fehlt es auch nicht an Schwärmern, die der Einführung einer Weltzeit das Wort reden, ja man hat vorgeschlagen, daneben die Regionalzeit bestehen zu lassen und die Weltzeit etwa dadurch kenntlich zu machen, daß man sie statt in Zahlen in Buchstaben angibt.

Dann würde aber folgerichtig auch das Datum an allen Stellen der Erde zugleich springen müssen, während dies jetzt bekanntlich um Mitternacht geschieht. Man ruft sich eben bis heute das „Prosit Neujahr“ auf allen Meridianen der Erde zu verschiedener Zeit zu und, ab-

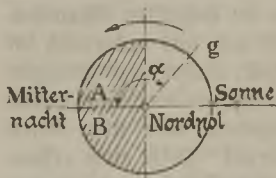


Abb. 1. Datumsgrenze.

gesehen von der Differenz der verschiedenen im Gebrauch befindlichen Kalender, umbraust das bekannte Frohlocken den Erdball gleich einer Flutwelle 24 Stunden lang. Aber irgendwo muß es einmal seinen Anfang nehmen und wieder aufhören, und so ist es natürlich mit jedem neuen Tage. Ein Blick auf Abb. 1 wird die Sache klarmachen. Der Kreis stellt die von Norden aus gesehene Erdkugel dar, die sich in 24 Stunden im Sinne des Pfeiles um ihre Achse dreht. Die Sonne ist weit rechts stehend gedacht, so daß die linke Hälfte Nacht und die rechte Tag hat. Wenn ein auf A befindlicher Ort beispielsweise den 2. Mai hat, so schreibt ein bei B gelegener bereits den 3., weil für ihn Mitternacht schon vorbei ist; bald darauf kommt aber auch A an die Reihe und wechselt das Datum. Der neue Tag eilt also fortschreitend um die Erde, zwar nicht auf den Flügeln der Morgenröte, aber auf denen der Geisterstunde. Man sieht, daß auf der Erde zwei Regionen bestehen, deren eine den 2., die andere den 3. Mai schreibt. Die Grenze beider ist der Mitternachtsmeridian. Da die Erde aber rund ist, so muß noch eine zweite Grenze bestehen, sagen wir auf g. Somit haben alle Orte innerhalb des Winkels α den 2. Mai, alle anderen den 3. Ferner ist klar, daß die Grenze g mit umlaufen, d. h. auf der Erde feststehen muß, weil das Datum eines Ortes sonst beim Passieren von g immer wieder zurückspringen, mithin überhaupt nicht vorwärts kommen würde. Als Datumsgrenze gilt nach Vereinbarung der Greenwich gegenüber gelegene 180. Meridian, der etwa durch die Südschiffeln geht, von geringen Abweichungen abgesehen. Die östlich von ihr gelegenen Orte sind gegen die westlichen um einen Tag zurück. Passiert sie ein Schiff in der Richtung von Ost nach West, so hat es einen Tag auszulassen, resp. bei umgekehrter Fahrt den Kalender um einen Tag zurückzudirigieren, d. h. den verfloffenen Tag noch einmal zu zählen, oder aber am Monatsende einen Tag zuzulegen. So konnte es kommen, daß auf der Speisefarte eines in einem Schaltjahre den 180. Meridian in der Richtung West-Ost passierenden Schiffes der 30. Februar als Datum prangte. Wer eine Uhr mit automatischer Kalenderangabe besitzt, wird deshalb an Bord gelegentlich in die Lage kommen, torrigierend eingreifen zu müssen, selbst wenn das Werk die ungleiche Tageszahl der Monate und die Schaltjahre selbsttätig berück-



Abb. 2. Weltuhr.

sichtigt, vorausgesetzt natürlich, daß er die Uhr stets auf Ortszeit gehalten hat.

In übersichtlicher Weise werden die Tageszeit- und Datumsverhältnisse veranschaulicht durch das von Dr. Precht in Hamburg angegebene Synchronoskop (Weltuhr), Abb. 2. Es besteht aus einer stereographischen Polarkarte der Erde mit dem Südpol in der Mitte, auf der die Kulturländer der nördlichen Halbkugel winkeltreu in ziemlich großem Maßstabe erscheinen. Der Meridian von Greenwich ist senkrecht nach oben gerichtet, die Datumsgrenze desgleichen nach unten. Um diese Karte bewegt sich in 24 Stunden einmal gegen den Sinn des Uhrzeigers ein Zahlenfranz, der die Tages- und Nachtstunden darstellt. In der Skizze sind die letzteren durch Unterstreichen gekennzeichnet. Jeder Meridian hat gerade diejenige Stunde, die sich über ihm auf

dem Rande befindet, das schwarz markierte Deutsche Reich aber, so wie diejenigen Staaten, welche die mitteleuropäische Zeit akzeptiert haben, die des strichpunktirten 15. Meridians östlich von Greenwich, d. h. auf der Skizze 3 Uhr nachmittags. Die genauere Angabe der auf der Uhr sonst verzeichneten Zonenzeiten ist weggelassen. — Ferner sind auf dem Ringe sowohl wie auf der Karte je ein += und ein —=Zeichen angebracht. Derjenige Kreisabschnitt, welcher sich jeweilig zwischen den beiden +=Zeichen befindet, ist im Datum um einen Tag vor dem übrigen Teile voraus; in der Skizze ist dies z. B. für Kamtschatka der Fall. So kann man leicht das Datum der ganzen Erde übersehen.

Da es Uhren gibt, die die Mondphasen anzeigen, so soll noch die Mondbewegung kurz besprochen werden. Aus Beobachtungen ergibt sich, daß der „siderische“ Umlauf des Mondes um die Erde 27,322 mittlere Sonnentage dauert; nach Ablauf dieser Zeit nimmt er wieder dieselbe Stellung am Fixsternhimmel ein. Zu demselben Wege braucht aber die Sonne ein Jahr, d. h. 365,242 mittlere Sonnentage, mithin rund 13,4 mal so lange. Macht also die Sonne einen scheinbaren Umlauf, so erledigt der Mond deren 13,4, folglich sind sie sich $13,4 - 1 = 12,4$ mal begegnet, mit anderen Worten: in einem Jahre ist 12,4 mal Neumond. Genauer ausgerechnet beträgt die Zeit zwischen zwei Neumonden, die „synodische“ Mondperiode, durchschnittlich 29,531 Tage. Im allgemeinen genügt es aber, wenn man das Räderwerk so einrichtet, daß sich die Scheibe der Mondphasen in 29,5 Tagen einmal herumdreht. Dann beträgt der Fehler nach $2\frac{1}{2}$ Jahren erst einen Tag.

Zweites Kapitel.

Kontrolle der Uhr.

Die Feststellung ihres „Ganges“ (vgl. Kapitel 10), d. h. der Sekundenzahl, um die sie pro Tag abweicht, ist mit den einfachsten Mitteln ausführbar, z. B. folgendermaßen: man legt an eine Fensterscheibe ein Blatt Papier mit einer kleinen Schaulöcherung und visiert durch diese mit einem Auge nach dem Dache irgendeines in westlicher Richtung befindlichen, vielleicht 100 m entfernten Gebäudes. Hat dasselbe keine Schornsteine, welche die Luft vibrieren machen, so kann man das Verschwinden eines Fixsternes hinter der First des Daches mit großer Schärfe beobachten. Nun erfolgt dasselbe aber nach je

einem Sterntage, der bekanntlich 3 Minuten 56 Sekunden kürzer ist als der mittlere Sonnentag. Folglich muß das Verschwinden jeden Tag um dieses Zeitintervall früher geschehen als am vorausgegangenem, womit die Möglichkeit der Kontrolle gegeben ist. Hat z. B. die Uhr bei der ersten Beobachtung 10 Uhr 6 Minuten 8 Sekunden gezeigt, so muß sie, wenn sie richtig gegangen ist, nach 5 Tagen 9 Uhr 46 Minuten 28 Sekunden angeben. Steht der beobachtete Stern in der Nähe des Äquators, so läßt sich die Messung leicht mit einer Genauigkeit von 1 bis 2 Sekunden durchführen.

Einen größeren Aufwand von Apparaten erfordert dagegen die Ermittlung der Korrektion oder des „Standes“ der Uhr, d. h. der Sekundenzahl, um die sie gegen die mitteleuropäische Zeit in dem betreffenden Augenblick differiert. Das erste Instrument, das diesem Zwecke zu dienen bestimmt war, ist die Sonnenuhr gewesen, der erste Typus einer „Uhr“ überhaupt. Die älteste geschichtliche Angabe über Sonnenuhren findet man im 2. Buche der Könige, 20, 9—11. Zur Blütezeit Griechenlands hatte jede bedeutende Stadt ihre eigene Sonnenuhr, später sogar einzelne Privatleute, wie Cicero; andere hielten sich „Uhrknechte“, die zur Stadtuhr laufen und den Beginn der Stunden ihren Herren melden mußten. Pomponius erzählt anno 1511 in seiner *Cosmographia*, wie man ehemals den Freund „um fünf Fuß“ zum Schmause einlud, wenn nämlich der Schatten eines bestimmten Stabes gerade so lang war. Die „Felsuhren“ im Berninatal, wo die Schatten der Bergfegeln den Bewohnern noch heute als Richtschnur fürs Tagewerk dienen, sind ein Überbleibsel aus jener Zeit. Vom Gnomon aber, dem Schattenwerfenden Stabe, bis zur modernen Zeitdienststernwarte, die den Schnellverkehr der hastenden Menschheit nach Hundertsteln der Sekunde regelt, war ein weiter Weg.

Die Sonnenuhr besteht in ihrer zweckmäßigsten Form aus einem parallel der Erdochse gestellten Stabe, welcher die Mittellinie eines halben Kreiszyinders bildet, auf dessen Innenseite eine gleichförmige Gradeinteilung angebracht ist (Abb. 3). Der in den Zylinder fallende Schatten des Stabes dient als Zeiger; er läuft gleichmäßig um, wie die Sonne auf ihrer scheinbaren Bahn um die Erde, und zeigt die wahre Ortszeit an, zu der man dann noch die Zeitgleichung zuschlagen muß. Durch Drehung des Zylinders um seine Achse kann man die Uhr auf die wahre Zeit jedes beliebigen Meridians einstellen, z. B. auf die des 15. östlich von Greenwich. Derartige Apparate sind gar nicht so roh,

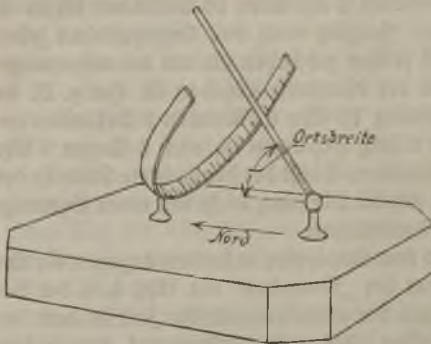


Abb. 3. Sonnenuhr.

wenn man den schattenwerfenden Stab nach dem Polarsterne hinrichtet und die erste Einstellung des Zylinders nach einer verglichenen Taschenuhr vornimmt.

Auf wenige Sekunden genau wird die Bestimmung der Korrektion, wenn man mit dem in jedem Physikbuche beschriebenen Spiegelsextanten zu bestimmter Zeit eine Sonnenhöhe nimmt und aus ihr nach Anbringung der nötigen Korrekturen (Kimmtiefe, Refraktion und Parallaxe) die richtige Zeit berechnet, was bei einiger Kenntnis der sphärischen Trigonometrie keine Schwierigkeiten macht. Alles dazu erforderliche Tabellenmaterial findet man z. B. im Nautischen Jahrbuche.

Ebenso genau arbeitet der Sonnenspiegel von Bamberg in Friedenau, der etwa 150 M. kostet; man nimmt mit ihm zwei „korrespondierende“, d. h. gleiche Sonnenhöhen vor- und nachmittags, und ermittelt daraus unter Berücksichtigung der sogenannten Mittagsverbesserung die zeitliche Lage des wahren Ortsmittags. Besondere Kenntnisse sind hierzu nicht nötig.

Einfacher zu handhaben und weit billiger, aber höchstens auf eine Minute genau sind Zeitmeßnechte, Horoskope und ähnliche Instrumentchen, die vielfach bei Liebhabern in Gebrauch sind. Näheres über solche Dinge findet man bei Jordan, Grundzüge astronomischer Zeit- und Ortsbestimmung, Berlin 1885.

Zeitdienstanlagen der Sternwarte. Ungleich vollkommener als diese einfachen Meßmethoden und -apparate sind die in den Zeitdienstanlagen der Sternwarten angewendeten. Den Mittelpunkt einer

wie man vielfach anzunehmen scheint, denn bei einiger Größe des Zylinders kann man bequem auf 1 bis 2 Minuten genau ablesen. Es ist deshalb eigentlich zu verwundern, daß sie nicht mehr im Gebrauch sind; an manchen entlegenen Orten könnten sie gute Dienste leisten. Die Aufstellung macht keine besonderen Schwierigkeiten,

solchen Anlage bildet das Durchgangsinstrument oder Mittagrohr, ein astronomisches Fernrohr, welches um eine horizontale Welle drehbar so angeordnet ist, daß seine optische Achse genau nach dem Ortsmeridian zeigt. Die Aufstellungsfehler des Instruments und ihre Veränderlichkeit (der Azimutfehler ist die Abweichung der Achse aus dem Meridian, der Kollimationsfehler die Abweichung des Winkels zwischen optischer und Drehachse von einem rechten; ein dritter Fehler ist die Abweichung der Drehachse aus der Horizontalen) sind aus zahlreichen Beobachtungen genau eruiert. Sieht nun der Beobachter einen der rund 600 Hauptsterne, deren Orte genau bestimmt sind, am Fadenkreuz des Instruments durchpassieren (was auch bei Tage möglich ist), so betätigt er mit der Hand einen elektrischen Kontakt, der einen Stromkreis schließt; es gilt jetzt festzustellen, was die Präzisionspendeluhr in diesem Moment angegeben hat. Würde sich ihr Sekundenzeiger vor einem genügend großen Zifferblatte stetig fortbewegen, so brauchte man nur seine Stellung im Augenblicke jenes Kontaktdruckes irgendwie zu fixieren, sagen wir einmal durch eine Momentaufnahme; da er sich aber alle Sekunden sprungweise vorwärts bewegt, so ist die Einschaltung einer Einrichtung erforderlich, die eine stetige Bewegung erzeugt. Eine solche ist der Chronograph, ein Laufwerk mit Gewichtsantrieb, das ähnlich wie ein Morseapparat einen Papierstreifen mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorschiebt, auf dem die Uhr jede Sekunde durch Vermittlung eines Elektromagneten ein Zeichen macht, etwa einen Punkt oder auch einen Knick in einer fortlaufenden Zickzacklinie (Abb. 4), dabei jedes 60. Zeichen zur Markierung des Minutenbeginnes weglassend. Auf demselben Streifen wird durch das Drücken des oben erwähnten Kontaktes ebenfalls ein Punkt erzeugt, und mit Hilfe eines geeigneten Maßstabes läßt sich jetzt die Zeitdifferenz zwischen Sekundenbeginn und Kontaktdruck mit genügender Genauigkeit feststellen und damit die Uhr kontrollieren, denn die Durchgangszeit des Sternes ist ja bekannt. Da die astronomischen Uhren nach Sternzeit gehen, so ist hierbei nicht einmal eine Umrechnung erforderlich.

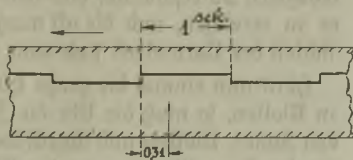


Abb. 4. Chronographen-Streifband.

Eine Fehlerquelle wäre aber noch zu erwähnen, und das ist die

„persönliche Gleichung“, die den Einfluß der Person des Beobachters auf das Meßresultat darstellt. Ist derselbe nervös, so wird er, in der Absicht, nicht zu spät zu kommen, meist zu früh drücken; auch wird die Lichtstärke des Gestirns auf seinen Entschluß einwirken. Dazu kommt die allerdings nur geringe Zeit, welche vergeht, bis die Beobachtung apperzipiert, d. h. in das Bewußtsein aufgenommen, und dann wieder der Innervationseiz bis in den Handmuskel gelangt ist. Die persönliche Gleichung wird nahezu beseitigt durch das sogenannte unpersonliche Mikrometer von Repsold, das aus einem mittels einer Mikrometerschraube durch das Gesichtsfeld des Fernrohrs beweglichen senkrechten Fadens besteht, der von dem Beobachter mit dem Stern von Hand mitgeführt werden muß oder durch einen regulierbaren Motor mitgeführt wird, und zwar so, daß er immer durch dessen (durch Beugung erzeugtes) Bildscheibchen mitten hindurchgeht. Letzteres wird erleichtert durch eine besondere Spiegelungsvorrichtung, die das Bild dem Auge auch zugleich umgekehrt erscheinen läßt. Passiert nun der mitgeführte Faden die Mitte des Gesichtsfeldes, so gibt der Verschiebungsmechanismus selbsttätig einen Stromstoß nach dem Chronographen, desgleichen solche in gleichen Zeitabständen vor und nach jenem Moment. — Durch photographische Momentaufnahmen des Sternes läßt sich übrigens die Genauigkeit der Durchgangsbestimmung nach Ambronn noch weiter steigern.

Auf diese Weise kann man den durchschnittlichen Fehler der Messung an einem Stern auf etwa $\frac{4}{100}$ Sekunde herabdrücken. Mißt man aber z. B. die Durchgänge von 10 Zeitsternen und bildet den Mittelwert, so steigt nach der Fehlertheorie die Präzision der Messung im Verhältnis von $1 : \sqrt{10}$, d. h. der mittlere Fehler wird nahezu auf $\frac{1}{100}$ Zeitsekunde reduziert. So erstaunlich dies dem Laien erscheinen mag, so einfach ist es zu erreichen, und die oft ausgesprochenen Zweifel an der Verlässlichkeit der Normalzeit sind ganz unberechtigt.

Hüllt nun einmal die große Himmelsuhr ihr Antlitz für einige Zeit in Wolken, so muß die Uhr die Zeit festhalten, gerade wie es früher den Sand-, Wasser- und Quecksilberuhren während der Nacht oblag.¹⁾ In der Dervollkommnung der Uhren ist man jetzt so weit, daß man, wenn man z. B. deren drei zur Verfügung hat, immerhin nach 10

1) Näheres über Wasseruhren findet man z. B. in Gelichs Geschichte der Uhrmacherkunst.

bedeckten Tagen noch eine Genauigkeit von mindestens $\frac{1}{5}$ Sekunde verbürgen kann. Die jahrelange Erfahrung über den Gang der angewandten Uhren kommt dem Astronomen dabei zu Hilfe (vgl. auch S. 108).

Man hat mancherlei Anordnungen erfunden, die das Prinzip des auch in kleinster und primitivster Ausführungsform wenigstens 500 M. kostenden Durchgangsinstrumentes kopieren und dabei so einfach und billig sind, daß ihre Anschaffung auch dem Privatmann möglich wird. Sie gestatten eine genauere Feststellung der Zeit als die gewöhnliche Sonnenuhr und das auf bequemere Weise als z. B. der Sextant oder die ihm verwandten Apparate.

Da wäre zunächst das Sonnenlot zu nennen, das von jedermann für wenige Pfennige hergestellt werden kann und die Zeit auf rund $\frac{1}{10}$ Minute genau angibt: eine Kupferleise von etwa 1,5 mm Stärke hängt von einem an der oberen Fensterbrüstung solide befestigten Haken herab und trägt am unteren Ende ein Gewicht, das zur rascheren Abdämpfung von Schwingungen in ein wassergefülltes Gefäß taucht. Das Fenster muß derart gelegen sein, daß der Schatten des Lotes am Mittag auf das Fensterbrett fällt. Nachdem die Zeitlage des wahren Mittags für den ersten Beobachtungstag aus Ortslänge und Zeitgleichung errechnet ist, wird der Schatten unter Zuhilfenahme einer genauen, vorher irgendwo verglichenen Taschenuhr im Augenblick des Meridiandurchganges der Sonne durch einen Nadelschiff in das Fensterbrett markiert, am besten um die Zeit der Wintersonnenwende. Die so justierte Vorrichtung gestattet die Bestimmung des wahren Mittags an jedem wolkenfreien Tage ohne alle Rechnung. Man kann auch in der Fensterlade ein kleines Loch anbringen und den hindurchfallenden Sonnenstrahl auf ein oder mehrere von der Zimmerdecke herabhängende Lote fallen lassen; die Genauigkeit wächst dann mit der Quadratwurzel aus der Zahl der Lote, deren Zeitlage um den Ortsmittag herum man natürlich zunächst durch eine Versuchsreihe bestimmen muß. Hierbei sind aber Ortsbreite und Sonnendeklination mit in Rechnung zu stellen, was gewisse Kenntnisse aus der sphärischen Trigonometrie erfordert. Die Präzision des Ergebnisses läßt sich so bei einiger Sorgfalt auf 2 Sekunden steigern.

Etwas komfortabler ist das Sonnenrohr von Halle in Oranienburg, das auf ein in eine Mauer eingegipstes Stativ gestellt, die Festlegung des Meridiandurchganges auf 1 bis 2 Sekunden genau ge-

stattet, woraus man durch eine einfache Korrektionsrechnung, die die Ungenauigkeit der Stativlage berücksichtigt, die wahre Zeit bis auf rund $\frac{1}{10}$ Minute genau findet. — Auf weitere Apparate wie Diploidoskop, Passagenprisma, Chronodeik usw. näher einzugehen, verbietet uns der Platz. Wer sich dafür interessiert, wie man die Zeit ohne alle Instrumente aus Sonnenauf- oder -untergängen, nach der Fadenmanier oder mit Hilfe von Triangulationspunkten direkt feststellen kann, verschaffe sich die diesbezügliche Broschüre von Hammer, die bei Mezler in Stuttgart erschienen ist.

An dieser Stelle sei noch einer einfachen, unter Umständen recht brauchbaren Regel gedacht, die von H. Stanley zu Ehren gebracht worden ist und bei Sonnenschein in mittleren Breiten gestattet, die Uhr als Kompaß zu benutzen: man halte sie mit dem Zifferblatt nach oben so in wagerechter Lage, daß der Stundenzeiger nach der Sonne weist; dann fällt die Halbierungslinie zwischen ihm und der Verbindungsgeraden von XII und VI angenähert mit der Nord-Südrichtung zusammen, vorausgesetzt natürlich, daß die Uhr wahre Ortszeit angibt. Berücksichtigt man letztere Bedingung nicht (durch Rücksichtnahme auf die Zeitgleichung und vor allem auf die geographische Länge des Ortes), so wird das Ergebnis noch ungenauer, als es sonst schon aus geometrischen Gründen ist. Die Idee beruht einfach darauf, daß die Sonne in 24 Stunden, der Zeiger aber in der halben Zeit einen Umlauf vollendet. Von Jordan und anderen ist die Stanley'sche Regel seinerzeit heftig angegriffen worden; aber sie soll ja auch nur eine Art Schätzung sein. Über die Größe des gemachten Fehlers findet man, beiläufig bemerkt, nähere Angaben bei Oppermann, Einführung in die Kartenwerke der Preussischen Landesaufnahmen, 1908.

Drittes Kapitel.

Theoretisches.

Die in einer Uhr befindlichen beweglichen Teile führen fast alle eine Drehungsbewegung aus, auch das Pendel, das dabei allerdings seinen Drehungssinn häufig ändert. Unter der Winkelgeschwindigkeit eines sich drehenden Körpers für irgendeinen Augenblick versteht man denjenigen Winkel, um welchen sich derselbe im Verlaufe einer Sekunde vorwärtsdrehen würde, wenn er die in jenem Moment ihm innewohnende Bewegung eine Sekunde lang gleichmäßig bei-

behielte. Wirken auf den Körper keinerlei äußere Einflüsse ein, so bleibt seine Winkelgeschwindigkeit immer dieselbe, wie es z. B. bei der Erdfugel mit großer Annäherung der Fall ist. Man nennt diese Tatsache das Gesetz der Trägheit. Eine solche unveränderliche Geschwindigkeit aber bezeichnet man als gleichförmig. Gelänge es, ein Schwungradchen so zu lagern, daß es bei seiner Drehung keine Spur von Hindernissen zu überwinden hätte, so wäre damit die einfachste und vollkommenste Uhr gegeben, denn eine solche ist weiter nichts als eine Maschine, die eine möglichst gleichförmige Drehbewegung ausführt, wie die Erde selbst, deren Tag- und Nachtwechsel zu kopieren und zu unterteilen ihre einzige Aufgabe ist. Leider wirken aber die Reibung der Zapfen in den Lagern einerseits und der Widerstand der Luft andererseits auf das Rädchen hemmend ein, so daß es nach und nach an Winkelgeschwindigkeit einbüßt und zuletzt zum Stillstande kommt, sobald seine Drehungsenergie durch jene Widerstände aufgezehrt ist. Eine derartige Rotationsbewegung nennt man eine verzögerte, und unter der Verzögerung versteht man zahlenmäßig den Wert, um welchen die Winkelgeschwindigkeit der Drehbewegung pro Sekunde abnimmt. Die Ursache der Verzögerung ist das Drehmoment, welches Reibung und Luftwiderstand, der Bewegung entgegen, auf das Rad ausüben. Ein solches Moment kann man sich dadurch entstanden denken, daß eine Kraft, an einem Hebelarme wirkend, eine Welle zu drehen bestrebt ist; es wird z. B. von jemandem ausgeübt, der eine Kurbel dreht. Wäre es möglich, ein weiteres im Sinne der Raddrehung wirkendes Moment anzubringen, das die Wirkung jener hemmenden Einflüsse gerade aufhobe, etwa durch Umwickeln einer Schnur und Anhängen eines passenden Gewichtchens, so wäre die Bewegung wiederum eine völlig gleichmäßige. Leider ist dies unausführbar, denn insbesondere der Reibungswiderstand unterliegt fortwährenden Schwankungen, so daß auch das Antriebsgewicht beständig verändert werden müßte.

Will man also auf alle Fälle gerüstet sein und ein Stehenbleiben vermeiden, so bleibt nichts weiter übrig, als dem Gewichte einen gewissen Überschuß zu geben. Nun tritt aber der umgekehrte Fall wie vorhin ein: die Winkelgeschwindigkeit des Rades wächst entsprechend jenem Überschuß, sie erfährt eine Beschleunigung. Hierunter versteht man, analog der Verzögerung, den Zuwachs der Winkelgeschwindigkeit pro Sekunde. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß die Größe der

Beschleunigung nicht allein von dem überschüssigen Drehmoment, sondern auch von der Form und Schwere des Rädchens abhängt; die hier in Betracht kommende Eigenschaft des Rades nennt man sein Trägheitsmoment. Man bekommt es, wenn man den Körper in eine große Zahl kleiner Massenteilchen zerlegt denkt und dann jedes derselben mit dem Quadrat seines Abstandes von der Drehachse multipliziert; die Summe aller so entstehenden Produkte ist das Trägheitsmoment. Je größer es ist, um so kleiner ist unter sonst gleichen Umständen die Beschleunigung. Also gilt die Gleichung:

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{Drehmoment}}{\text{Trägheitsmoment}}$$

Das Trägheitsmoment wird uns noch weiter beschäftigen. Nun zurück zu unserem Rade. Es bewegt sich also mit beschleunigter Winkelgeschwindigkeit. Um dies zu verhindern, muß man irgendeine Vorrichtung anbringen, welche die von dem sinkenden Gewichte geleistete überschüssige Arbeit, die nicht von den Widerständen aufgebraucht wird, aufnimmt. Eine solche Einrichtung kann man eine Dämpfung nennen. Sie muß die Bedingung erfüllen, daß ihr der Bewegung widerstrebendes Drehmoment mit zunehmender Winkelgeschwindigkeit ebenfalls wächst und umgekehrt, d. h. um so stärker wird, je größer die Überschreitung der normalen Drehgeschwindigkeit wird. Eine bloße Bremsvorrichtung wäre deshalb unverwendbar, weil ihr aufhaltendes Drehmoment konstant ist; sie bedeutete nichts weiter als eine Vermehrung der sowieso schon vorhandenen Reibung. Sie nimmt aber sofort den Charakter einer Dämpfung an, wenn man sie nach Abb. 5 zu einer Zentrifugal-Reibungsbremse ausbildet. Bei dieser werden

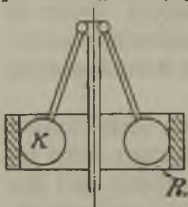


Abb. 5.
Zentrifugal-Bremse.

die Schwinggewichte K durch die Schleuderkraft gegen den festliegenden Ring R gedrückt, und zwar um so stärker, je größer die Drehungsgeschwindigkeit ist, denn die Schleuderkraft wächst mit dem Quadrat der letzteren. Somit kommt eine Dämpfungswirkung zustande. Die Vorrichtung ist viel in Anwendung, z. B. bei dem Hughes'schen Typendrucktelegraphen, bei dem die Uhrwerke auf allen

Stationen gleich rasch laufen müssen. Eine andere bekannte Dämpfungsvorrichtung ist der Windfang, dessen Flügel den Luftwiderstand zu überwinden haben. Er dient z. B. zur Regulie-

zung der Geschwindigkeit des ablaufenden Schlagwerkes der Uhren und erzeugt das bekannte schnurrende Geräusch. Die überschüssige Energie wird hier in Wirbelbewegung der Luft umgewandelt; je schneller die Flügel umlaufen, um so größer wird der Luftwiderstand. Eine ähnliche Wirkung wie der Windfang übt das später noch zu besprechende sphärische oder Kegelpendel aus. Andere, elektro-magnetische Dämpfungsvorrichtungen liefert uns die Elektrotechnik.

Schwingung. Für die Zeitmessapparate sind solche „Laufwerke“ mit Dämpfungsvorrichtung unzureichend, da ihre Drehungsgeschwindigkeit immerhin noch von der Größe der Antriebskraft abhängig und ihr „Gleichförmigkeitsgrad“ ungenügend ist. Für sie bleibt als regelndes Mittel nur die äußerst regelmäßig verlaufende Schwingungsbewegung übrig, der wir jetzt unser Interesse zuwenden wollen. Was man unter einer solchen versteht, kann jeder sofort sehen bei Betrachtung eines Pendels oder einer „Unruh“, jenes in der Taschenuhr sich hin und her drehenden Rädchen: es ist eine Drehungsbewegung, welche in regelmäßigen Zeitintervallen ihren Richtungssinn umkehrt. Sie kommt zustande, sobald ein um eine Achse drehbarer Körper der Einwirkung eines Drehmomentes unterliegt, das bestrebt ist, ihn in eine bestimmte Mittellage zurückzuführen, nachdem man ihn aus derselben herausgebracht hat. Ein solches Drehmoment nennt man ein **Direktionsmoment**. Das Pendel wird durch die in seinem Schwerpunkt angreifende Schwerkraft dirigiert, die Unruh durch die Elastizität der Spiralfeder, die mit ihrem inneren Ende an der Achse der Unruh, mit dem äußeren dagegen an einem festen Klöbchen befestigt ist und in der Mittellage der Unruh die ihr von Rechts wegen zukommende Form besitzt. Wird die Spirale durch Drehung der Unruh auf- oder zusammengewickelt, so übt sie ein dieser Bewegung widerstrebendes Moment aus, eben jenes Direktionsmoment, welches mit der Zunahme der Verdrehung wächst.

Bezeichnen wir mit m die Masse des schwingenden Körpers, mit l den Abstand seines Schwerpunktes von der Drehachse und mit J sein Trägheitsmoment, so ist die Schwingungsdauer des Pendels, d. h. die zwischen zwei Umkehrpunkten liegende Zeit, unter Voraussetzung von hinreichend kleiner Schwingungsweite:

$$t = \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{m \cdot g \cdot l}} \text{ Sekunden,}$$

worin π die Ludolphsche Zahl 3,1415 . . . und g die Beschleunigung des



freien Falles, in unseren Breiten 9,81, bedeutet. Den Ausdruck $\frac{J}{m \cdot l}$, der einer Länge entspricht und in Metern gemessen wird, nennt man die reduzierte Pendellänge. Sie ist etwas größer als der Abstand l des Schwerpunktes von der Drehachse und, wie man sieht, für die Schwingungsdauer maßgebend. — Nach der Formel beträgt die reduzierte Länge eines Pendels, welches in der Sekunde eine Schwingung machen soll, 99,43 cm, also nahezu 1 m. Ein viermal kürzeres Pendel würde doppelt so viele Schwingungen machen und ein solches, das nur einen Hin- oder Hergang pro Sekunde vollziehen sollte, würde bereits 3578 m lang werden. Ein Pendelchen aber, das gleich der Unruhe der Taschenuhr 5 Schwingungen pro Sekunde ausführen sollte, dürfte nur rund 40 mm lang sein. Immer ist hierbei die reduzierte Pendellänge gemeint, die ein wenig größer ist als l.

Die obige Formel gilt genau nur für kleine Schwingungsweite, wie sie angenähert höchstens bei astronomischen Pendeluhrten erreicht wird. Bei größeren Schwingweiten dauert die Schwingung etwas länger; man erhält sie mit genügender Annäherung, wenn man den aus obiger Formel berechneten Wert noch mit dem Faktor $1 + 0,00002 \cdot \alpha^2$ multipliziert, worin α die halbe Schwingweite in Bogengraden bedeutet.

Für die Praxis ist diese Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Schwingweite wegen der Veränderlichkeit der letzteren natürlich unangenehm. Man beseitigt sie am einfachsten dadurch, daß man die Schwingweite überhaupt klein hält; damit fällt das zweite Glied des erwähnten Korrekturfaktors wegen seiner Kleinheit eben weg, und das Pendel wird „isochronisch“, d. h. weite und kleine Schwingungen dauern praktisch gleich lange. Auch durch zweckmäßige Wahl der Aufhängesfedern des Pendels kann man eine Art von Isochronismus erreichen, was schon Winnerl durch Versuche nachgewiesen hat; ja noch mehr: man vermag es dahin zu bringen, daß die kleinen Schwingungen länger dauern als die weiten. Näheres über diese verwickelten Fragen ist in meiner bei Springer erschienenen Studie „Kritische Theorie der freien Rieflex-Hemmung“ zu finden.

Nimmt man auch auf den Luftwiderstand Rücksicht, so ergibt sich die Schwingungsdauer eines Pendels, kleine Ausschläge vorausgesetzt,

zu:

$$t = \frac{2\pi \cdot J}{\sqrt{4m \cdot g \cdot l \cdot J - p^2}} \text{ Sekunden,}$$

worin p , der Luftwiderstand für die Geschwindigkeit eins, mit der Dichtigkeit der Luft zunimmt. Wie man sieht, wird die Schwingungsdauer mit zunehmender Luftdichtigkeit größer. Dies ist ebenfalls von Wichtigkeit. Natürlich wird p auch durch die Form des Pendels mitbestimmt; besitzt dasselbe eine das Durchschneiden der Luft begünstigende scharfzantige und flache „Linsen“-Form, so wird p klein, oder mit anderen Worten: die mit dem Pendel mit-schwingende und sein Trägheitsmoment vermehrende Luftmasse ist weniger groß; in solchem Falle stören auch die Dichtigkeitschwankungen der Luft weniger. Die runde, flaschenförmige Form des Pendelkörpers ist aber vorzuziehen, wenn durch eventuelles Schiefstehen der Linse hervorgerufene Querschwingungen des Pendels befürchtet werden.

Die Größen, von denen die Schwingungsdauer abhängt, sind also die reduzierte Pendellänge, die Schwingungsweite, die Beschleunigung des freien Falles, die Dichtigkeit der Luft und die Kraft der Aufhängefeder, die ja die dirigierende Wirkung der Schwere unterstützt, ganz abgesehen von dem später zu erläuternden Einflusse des Uhrwerkes. Leider sind diese Größen selbst veränderlich: die reduzierte Länge ändert sich mit der Temperatur, die bekanntlich die Körper ausdehnt; die Luftdichtigkeit, d. h. die in einem Kubikmeter enthaltene Luftmasse, hängt vom Wassergehalt der Luft, von der Temperatur und insbesondere vom Barometerstande ab; die Fallbeschleunigung ist zwar, soviel man bis jetzt weiß, an einem und demselben Ort genügend konstant, nicht aber an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche; die Schwingungsweite befindet sich nicht nur in Abhängigkeit von der Antriebskraft des Uhrwerkes, sondern auch von dem Luftwiderstande, mit dessen Anwachsen sie abnimmt; die Federkraft endlich wächst mit abnehmender Temperatur.

Soll eine Uhr vollkommen sein, so müssen alle diese Störungen durch geeignete Mittel kompensiert werden. Worin sie bestehen, und bis zu welcher Vollkommenheit die Kompensierung gelingt, wird später gezeigt werden. Natürlich kommen solche Dinge nur bei feinen Präzisionsuhren in Betracht, während bei den gewöhnlichen Hausuhren die durch die rohe Ausführung bedingten Fehlerquellen so groß sind, daß jene feinen Störungen ganz zugedeckt werden, ausgenommen die Veränderlichkeit der reduzierten Länge mit der Temperatur, die bei hohen Wärmegraden ein Zurückbleiben veranlaßt und umgekehrt.

Geschichtlich interessant ist die Beobachtung des Astronomen Richer, der im Jahre 1672 nach der Reise von Paris nach Cayenne das Pendel seiner Uhr um $\frac{5}{4}$ Linien verkürzen und nach der Rückkehr wieder verlängern mußte, damit es seine richtige Schwingungsdauer beibehielte.

Er schloß daraus mit Recht auf eine Abnahme der Schwerkraft vom Pol nach dem Äquator infolge der abgeplatteten Gestalt der Erdkugel, die es mit sich bringt, daß man in Cayenne vom Schwerpunkt der Erde weiter entfernt ist als in Paris.

Bei der Unruh liegen die Verhältnisse ähnlich wie beim Pendel, werden aber durch das Hinzutreten der Zapfenreibung noch verwickelter. Konstruiert man die Spiralfeder so, daß ihr Drehmoment proportional mit dem Verdrehungswinkel der Unruh wächst, so beträgt deren Schwingungsdauer, abgesehen von der Zapfen- und der Luftreibung:

$$t = \pi \cdot \sqrt{\frac{I}{M}} \text{ Sekunden.}$$

Hierin bedeutet M dasjenige Direktionsmoment, welches die Spirale ausübt, wenn man die Unruh $\frac{180^\circ}{\pi} = 57,3^\circ$ aus der Mittellage herausdreht. Außerdem ist bei einer derartigen Spirale die Schwingungsdauer von der Schwingungsweite unabhängig, oder das schwingende System ist, wie man sich ausdrückt, isochronisch; kleine und große Schwingungen dauern gleich lange. Durch das Hinzutreten von Zapfenreibung, Luftwiderstand und Uhrwerk wird die Sache allerdings anders, und der Isochronismus ist nun nicht mehr eine Eigenschaft der Spiralfeder allein, sondern des ganzen Systems; er wird mitbedingt durch die Hemmung, die Abmessungen der Unruh, die Zahl der Gänge der Spirale, ihre Endkurve (vgl. Abb. 25c) u. a. m. Näher können wir hier auf die Theorie der Unruh nicht eingehen; wer sich dafür interessiert, findet z. B. in der klassischen Arbeit von Phillips aus dem Jahre 1860 alles Wissenswerte; vgl. auch S. 63.

Um die Unruh gegen äußere Bewegungen und Lagenänderungen möglichst unempfindlich zu machen, gestaltet man die Schwingung derart rasch und groß, daß die äußeren Bewegungen ihr gegenüber sozusagen verschwinden. Man geht bei Taschenchronometern bis zu sechs Schwingungen in der Sekunde, deren jede mehr als einen Umgang ausmacht. Wenn man den Weg berechnet, den solch ein Unruhrädchen mit seinem Umfange jährlich zurücklegt, so kommt eine erkleckliche Strecke von über 10000 km heraus. — Von großer Wichtigkeit ist ferner die Erreichung eines genauen Isochronismus, und zwar deshalb, weil die Schwingweite nach dem Aufziehen der Zugfeder beträchtlich größer ist als vor demselben.

Zwar wiederholt sich das Spiel mit jedem Aufzuge, aber die Abweichungen innerhalb der Aufzugesperiode können beträchtlich werden, besonders bei Uhren, die nur selten aufgezogen werden. Deshalb empfiehlt es sich, Uhren mit Unruh und Zugfeder für möglichst häufigen Aufzug einzurichten. Außerdem hängt die Schwingweite auch noch von anderen Faktoren ab, z. B. von der Zapfenreibung. Solange übrigens die letztere konstant ist, stellt sie keine eigentliche Störung dar; den Charakter einer solchen nimmt sie erst durch ihre Veränderlichkeit an, die im wesentlichen durch den Zustand der Zapfen, der Lager und des Oles bedingt wird.

Wie hier gleich erwähnt werden möge, ist es für den guten Gang einer Uhr mit Unruh von einschneidender Bedeutung, daß die Spiralfeder nach allen Seiten gleichmäßig und ungezwungen „atmet“ und dabei die Kreisform möglichst beibehält. Bei einseitigem Herausquellen würde sie sowohl durch seitlichen Druck die Zapfenreibung erhöhen, als auch durch das Hin- und Herwandern ihres Schwerpunktes den Gang der Uhr von der Lage derselben abhängig machen. Es wäre dies eine ähnliche Störung, wie sie eintritt, wenn der Schwerpunkt der Unruh selbst nicht genau auf der Achse liegt.

Erteilt man einem zur Ausführung von Schwingungen befähigten Körper, z. B. einem Pendel, von Hand oder sonst irgendwie einen Antrieb, so vollführt er regelmäßige Schwingungen, deren Umkehrpunkte in gleichen Zeitabständen voneinander liegen. Dies Spiel dauert aber nicht ad infinitum, denn die Widerstände, bestehend aus Luft- und Zapfenreibung und der elastischen Nachwirkung der Feder, verzehren allmählich die vom Antriebe herkommende Energie, so daß die Schwingungsweite nach und nach kleiner und zuletzt gleich null wird. Immerhin schwingt ein schweres und gut aufgehängtes, flaches Pendel etwa einen halben Tag, eine Chronometerunruh etwa eine Viertelstunde bis zum Stillstande. Beim Pendel bilden die Schwingweiten eine abnehmende geometrische Reihe und bei der Unruh ungefähr eine arithmetische; z. B. nahm bei einem von Riefler untersuchten Sekundenpendel die Schwingweite in 8 Stunden von 180 bis auf 19 Bogenminuten ab.

Diertes Kapitel.

Zweck und Wesen der Hemmung.

Wir haben nunmehr den schwingenden Körper, den man kurz den Regler nennt, mit jenem vorhin besprochenen, durch ein ablaufendes Gewicht oder sonstwie zu beschleunigter Drehbewegung veranlaßten Rädchen zu einem brauchbaren Ganzen zu kombinieren. Wie wir oben gesehen haben, bedarf das getriebene Rädchen irgendeiner Vorrichtung, welche die überschüssige Energie aufnimmt und zugleich die Drehbewegung zu einer gleichförmigen zu machen imstande ist; der Regler dagegen benötigt eine ununterbrochene Zufuhr von Impulsen, wenn seine Schwingungen dieselbe Größe beibehalten und nicht auf null abklingen sollen, und anderseits ist seine Bewegung eine so gleichmäßige, daß er sehr wohl die Regulierung der Drehung des Rädchens übernehmen kann.

Es erübrigt sich also nur noch, irgendein Zwischenglied anzubringen, das dem Rade die überschüssige Arbeit abnimmt und sie dem Regler zuführt, außerdem aber beide derart verbindet, daß das Rad bei jeder Schwingung nur um ein bestimmtes, sich gleichbleibendes Stück vorwärtspringen kann. Eine solche Vorrichtung nennt man eine Hemmung, weil sie die beschleunigte Bewegung des Räderwerks zu hemmen hat. Sie stellt die Seele, den Hauptbestandteil der Uhr dar, und von ihrem tadellosen Funktionieren hängt das des ganzen Mechanismus in erster Linie ab. Es hat demnach volle Berechtigung, daß man z. B. die Taschenuhren nach der Art ihrer Hemmung in Zylinder- und Anfergänge, Chronometer usw. einteilt. Der Erfinder der Hemmung ist unbekannt geblieben; sie war schon längst vor dem Pendel im Gebrauch, auf dessen Idee zuerst Galilei bei Betrachtung einer hin- und herschwingenden Lampe kam, während sein Sohn Vincenz 1649 der erste gewesen ist, der es in organische Verbindung mit dem Räderwerk einer Uhr gebracht hat. Nach einer anderen Version soll Huyghens im Jahre 1656 der Vater dieses Gedankens geworden sein. Die erste Räderuhr überhaupt baute Papst Sylvester II. um das Jahr 1000. Auch vor der Erfindung der eigentlichen Pendeluhr mit Räderwerk und Hemmung war das Pendel schon als Zeitmesser in Gebrauch, aber es wurde mit der Hand angestoßen, und seine Schwingungen wurden gezählt. Der Vorgänger des Pendels war die Wage, ein hori-

zontaler, um eine senkrechte Achse drehbarer Balken, der an den Enden mit Gewichten beschwert war und durch das Uhrwerk hin- und hergestoßen wurde. Mangels einer genügenden Direktionskraft war aber hierbei von einer eigentlichen Schwingung in unserem Sinne keine Rede. Die Hemmungen werden später in einem besonderen Kapitel ausführlich behandelt werden.

Die Bewegung des von Regler und Hemmung beherrschten Räderwerkes ist keine gleichmäßig fortschreitende, wie etwa die eines durch einen Windfang regulierten Laufwerkes, sondern sie erfolgt sprunghaft, und zwar beim Sekundenpendel am Schlusse der vom Zeiger überstrichenen Sekunde.

Durch die Hemmung wird die Schwingung des Reglers unfrei: es tritt ein Reibungswiderstand auf, der davon herrührt, daß der Regler bei seiner Schwingung gewisse Teile der Hemmung in Bewegung setzen muß; außerdem aber wird ihm durch die Hemmung in regelmäßigen Zwischenräumen ein Impuls oder Antrieb erteilt, der die inzwischen verloren gegangene Schwingungsenergie zu ersetzen hat. Die Formel für die Schwingungsdauer verliert hierdurch ihre allgemeine Gültigkeit. Aus der Welt schaffen lassen sich jene beiden Faktoren nicht, aber hier gilt wieder dasselbe, was über die Zapfenreibung der Unruh gesagt worden ist: solange sowohl jener Widerstand als auch die Stärke des Impulses konstant bleiben, modifizieren sie zwar die Schwingungsdauer bis zu einem gewissen Grade, aber eine Schädlichkeit stellen sie trotzdem nicht dar, denn die Schwingungsdauer selbst bleibt auch unveränderlich, und mehr verlangt man von dem Regler nicht. Theorie und Erfahrung besagen übereinstimmend (vgl. meine auf S. 18 zitierte Arbeit), daß der Regler in der Mitte seiner Bahn am empfindlichsten ist; hier muß demnach bei einer guten Hemmung sowohl die Überwindung des Auslösungswiderstandes als auch der Antrieb erfolgen.

Nach dem bisher Gesagten lassen sich die Anforderungen, die man an eine einwandfreie Hemmung zu stellen berechtigt ist, in folgendes zusammenfassen: 1. Die Hemmung darf die Schwingung des Reglers nur in verschwindend kleinem Maße beeinflussen, und irgendwelche nennenswerte Kraftleistung darf zu ihrer Inangabe, bzw. zur Auslösung des Impulses, nicht nötig sein. 2. Der Impuls hat sanft und stoßfrei in möglichst gleichbleibender Stärke zu erfolgen. 3. Sowohl Auslösung wie Impuls haben ungefähr dann vor sich zu gehen, wenn der

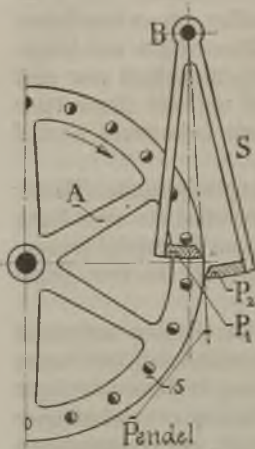


Abb. 6. Stiftgang.

aus anderen Gründen ist als ungesund zu betrachten (vgl. S. 67).

Stiftgang. Wir wollen nunmehr die Arbeit der Hemmung an einem praktischen Beispiel näher zergliedern und wählen dazu den durch Übersichtlichkeit ausgezeichneten, bei Turmuhren häufig angewendeten Stiftgang, der in Abb. 6 dargestellt ist. Die Achse des Gang- oder Steigrades A, an dessen Kranz sich die Stifte s befinden, wird von dem Uhrwerk im Sinne des Pfeiles angetrieben und würde „durchgehen“, d. h. in eine immer rascher werdende Drehbewegung geraten, wenn die Hemmung nicht da wäre. Die den „Anker“ bildenden sogenannten Scheren S sitzen auf der Achse B, mit der auch das Pendel verbunden zu denken ist. Letzteres befindet sich gerade in seiner äußersten Rechtslage und ist im Begriff umzukehren. Der Stift „ruht“ auf der „Palette“ oder Klaue P_1 und erschwert durch seine Reibung an derselben die Pendelbewegung in ganz geringem Maße; die Hemmung ist also keine eigentlich „freie“, sondern eine solche mit „Ruhreibung“. Sobald das Pendel auf seinem Wege nach links so weit gelangt ist, daß der Stift die schräge Fläche der Palette P_1 erreicht, gleitet er an derselben herunter, erteilt dabei dem Pendel einen Antrieb nach links und „fällt“ sodann auf die andere Palette P_2 herab. Hier bleibt er liegen, bis das Pendel von links nach der Mitte zurückgekehrt ist, und er nun über die schräge Fläche von P_2 hinweg ganz durchfallen kann. Darauf beginnt

Regler die Mitte seiner Bahn passiert; in der Nähe der Umkehrpunkte dagegen muß die Bewegung vollständig frei sein. 4. Die unvermeidlichen Reibungswiderstände der Hemmung dürfen nur in geringem Grade Veränderungen unterworfen, insbesondere darf der Einfluß des Oles kein großer sein; je weniger die Hemmung davon braucht, um so besser ist es, zumal sich herausgestellt hat, daß seine Eigenschaften auch von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängen. Die meisten praktischen Schwierigkeiten hat wohl Punkt 2 den Erfindern bereitet; die Forderung gleichbleibender Impulsstärke ist bei Uhren mit direktem Federzugantriebe überhaupt nicht erfüllbar, und bei ihnen ist deshalb Isochronismus des Reglers unerlässlich. Jede Abweichung von diesem Prinzip

dasselbe Spiel mit dem nächstfolgenden Stift. Wie man sieht, kann bei je zwei Pendelschwingungen ein Stift durchpassieren. — Eine Pendelschwingung zerfällt also in das etwa in der Mitte liegende kurze Stück, auf welchem der Antrieb erfolgt, und das man „Hebungsbogen“ nennt, sowie in den übrigen Teil, den „Ergänzungsbogen“, auf dem es frei schwingen sollte, was es aber bei dem Stiftgang nicht tut, weil Ruhereibung vorhanden ist. Bei wachsender Triebkraft steht dem vermehrten Antrieb auch eine vermehrte Bremswirkung durch die erhöhte Ruhereibung gegenüber, so daß die Schwingungsweite nicht in dem Maße zunimmt, wie sie es bei einer ganz „freien“ Hemmung tun würde, und demnach auch nicht die Schwingungsdauer. Hierin liegt ein gewisser Ausgleich, und von mancher Seite wird behauptet, man könne durch passende Bemessung der ausgleichenden Ruhereibung Isochronismus erzielen. — Die Bewegung des Rades andererseits läßt sich in denjenigen Teil zergliedern, während dessen der Stift über die schräge „Hebungsfläche“ entlang gleitet und an das Pendel Energie abgibt, sowie in den darauf folgenden, wegen der Ungenauigkeit der Radteilung notwendigen „Fall“, der eine Energievergeudung darstellt und im Interesse der Ersparnis von Triebkraft so klein wie möglich gehalten werden muß. Am Ende des Falles trifft der Stift stoßweise auf die Palette, wobei der Rest der überschüssigen Energie in Wärme resp. in Zerstörungsarbeit umgesetzt wird. Während der übrigen Zeit steht das Rad still, da die Ruhefläche der Palette bei dieser Hemmung zylindrisch geformt ist.

Die Triebkraft muß mindestens so groß sein, daß sie gerade ausreicht, um zu verhindern, daß Zahn und Klaue bei der Hebung die Fühlung verlieren. Das ist desto leichter erreichbar, je kleiner und je leichter das Gangrad ist.

Weiter sei noch bemerkt, daß der Energiebedarf eines Pendels nicht etwa von seinem Gewicht abhängt, sondern vielmehr von der elastischen Nachwirkung der Aufhängefeder und hauptsächlich vom Luftwiderstande. Ist die Feder zart und von tadellos elastischem Material, die Form des Pendels aber flach und scharfkantig, so braucht es selbst bei großem Gewicht nur geringe Impulse, besonders wenn die Schwingungsweite kurz ist und daher langsam durchgemessen wird. Damit ist der weitere Vorteil verbunden, daß das schwere Pendel den unvermeidlichen Änderungen der schwachen Antriebskraft nur träge Folge leistet, somit eine konstantere Schwingungsweite hat als ein

leichtes. Nach welchem Gesetz sich letztere ändert, habe ich in meiner oben erwähnten Studie gezeigt. Die Pendel der astronomischen Uhren macht man deshalb schwer; Gewichte von 8 kg sind hier bei Sekundenpendeln an der Tagesordnung.

Fünftes Kapitel.

Die Antriebskraft.

Aus den Betrachtungen der vorigen Kapitel ergab sich die Notwendigkeit einer ununterbrochenen Zuführung von Energie zu dem Steigrade wegen der Luft- und Reibungswiderstände. Um so mehr bedarf ein ganzes Uhrwerk, das Zeiger zu drehen hat, einer solchen.

Als Antriebskraft kommt im allgemeinen nur die Schwerkraft und die Elastizität der spiraligen Zugfeder in Betracht, während die neuerdings oftmals angewendete Elektrizität in den meisten Fällen bloß die Funktion des Aufziehens zu leisten hat, an Stelle der menschlichen Hand. Allerdings gibt es auch Uhren, welche ohne Zwischenglied direkt durch elektromagnetische Vorrichtungen in Gang gehalten werden, doch weicht ihr Mechanismus erheblich von den gewöhnlichen Konstruktionen ab, insbesondere durch den Fortfall der Hemmung, und ihre Ganggenauigkeit ist keine sonderlich große; sie werden in dem Kapitel „Zeitkundegebung“ Erwähnung finden (vgl. S. 95).

Die gewöhnliche Anordnung des Schwerkraftantriebes ist das Gewicht, das mittelst eines um die Triebachse geschlungenen Zugorganes auf diese ein Drehmoment ausübt. Am nächsten liegt es, die Schnur einfach in eine in die Walze der Triebachse eingedrehte Rille zu legen und die zur Verhinderung des Gleitens notwendige Reibung durch ein am andern Ende der Schnur angehängtes kleineres Gegengewicht hervorzubringen, wobei als wirksames Gewicht die Differenz beider anzusehen ist; immerhin ist hierbei Abgleiten nicht ausgeschlossen. Besser ist es deshalb, wenn die Schnur durch eine Kette ersetzt wird, die um eine sogenannte Kettenuß geführt ist, wie man sie in jeder Schwarzwälder Uhr sehen kann. Die Vorsprünge und Spitzen der Nuß greifen in die Kettenglieder ein und verhindern so bei richtiger Teilung das Abrutschen. Allerdings kommen dadurch, daß die Kette kein homogenes Zugorgan ist, Unregelmäßigkeiten in den Antrieb hinein, welche den gewöhnlichen Kettenzug für feine Werke un verwendbar machen. Anders ist es freilich bei Anwendung einer feinen Ge-

lenkette, wie sie in grober Ausführung von den Fahrträdern her bekannt ist.

Während bei der gewöhnlichen Anordnung das Aufziehen durch Herabzerren des freien Kettenendes erfolgt, wobei die Sperrklinke *k* (Abb. 7) in Wirksamkeit tritt, die drehbar aufgesetzte Nuß rückwärts rotiert und die Uhr mangels einer Antriebskraft stillsteht, läßt sich bei Kettenantrieb mit endloser Gelenkkette die Unterbrechung des Antriebes beim Aufzug durch folgende, von Huyghens angegebene Rollenkombination (Abb. 8) vermeiden: *a* ist die Kettennuß auf der Triebabse der Uhr und mit dieser und dem strichpunktirt angedeuteten Zahnrade fest verbunden, während *b* beim Aufziehen von Hand gegen den Sinn des Uhrzeigers gedreht und durch eine Sperrklinke mit Sperrrad am Zurückgehen gehindert wird.

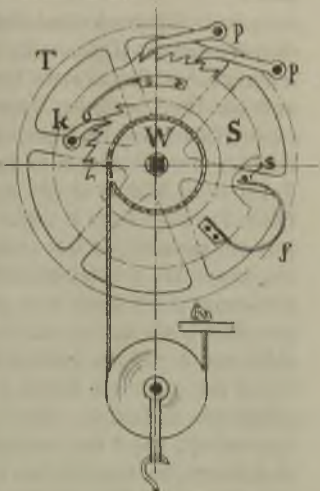


Abb. 7. Sperrklinke, Gegenperrle, Flaschenzug.

Das kleinere Gewicht dient nur zum Straffhalten der Kette. — Will man übrigens bei dem einfachen Kettenzuge das allmähliche Anwachsen der Zugkraft infolge der Zunahme der Kettenlast an der Ablaufseite und der gleichzeitigen Abnahme derselben an der Auflassseite vermeiden, so braucht man nur das freie Kettenende unten an dem Gewichte zu befestigen, wodurch das Zugorgan gewissermaßen zu einem endlosen wird, und auf beiden Seiten immer die Hälfte der Kettenlast wirkt.

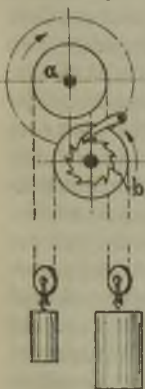


Abb. 8. Endloses Zugorgan.

Die zweckmäßigste Anordnung des Gewichtszuges, die bei Gewichtsregulatoren, astronomischen und Turmuhrn immer angewendet wird, besteht in einer glatten oder schraubenförmig geriffelten Walze, auf welche sich das aus Saite, Schnur, Stahlband, Hanf- oder Drahtseil bestehende Zugorgan beim Aufziehen oder, besser gesagt, Aufdrehen wickelt. Das letztere erfolgt durch Rückwärtsdrehen der Walze mittelst einer Kurbel, wobei das lose auf die Achse der Walze

aufgesetzte Triebrad ohne Antrieb bleibt, während es sonst durch das Gesperr von der Walze mitgenommen wird. Da aber eine genaue Uhr während des Aufdrehens keinesfalls stehen bleiben darf, andererseits auch das Werk durch das Bestreben, beim Aufzuge rückwärts zu gehen, an der Hemmung beschädigt werden könnte, so bringt man eine Vorrichtung an, die das Weitergehen gewährleistet. Die gebräuchlichste Form einer solchen ist die sogenannte Gegensperrre nach Harrison (Abb. 7): die Klinke *k* treibt nicht direkt das Triebrad *T* der Uhr an, sondern zunächst die lose aufsitzende Scheibe *S*, deren Rückgang durch ein feines bei *p* befestigtes Gesperr verhindert wird. Die Scheibe *S* wiederum wirkt durch eine Feder *f* auf den an dem Triebade sitzenden Stift *s* ein und treibt es so um. Wird nun aufgezo-gen, d. h. die Achse mit der Walze rückwärts gedreht, so wird *k* spannungsfrei, und *S* legt sich gegen die Klinke bei *p*, geht also höchstens um eine Sperrzahnbreite rückwärts. Dabei behält die Feder *f* immer noch so viel Spannkraft, daß *s* und dadurch das Uhrwerk bis zur Beendigung des Aufziehens weitergetrieben wird. Die gezeichnete Anordnung zweier Klinken *p* ist typisch für den Fall, daß man eine feinere Abstufung zu erreichen wünscht, ohne daß die Verzahnung des Sperrades enger gemacht werden soll. Alle Klinken, die Drehbewegungen mitmachen, müssen natürlich durch Federn in ihrer Lage festgehalten werden. Es ist übrigens nicht notwendig, daß die Gegensperrre auf dem Triebade selbst angebracht wird; sie kann ebensogut auf ein anderes Rad des Werkes gesetzt werden. — An die Stelle der Gegensperrre tritt neuerdings bei größeren Werken oft ein umlaufendes „Planetenradgetriebe“, das ganz ähnlich gebaut ist wie das in Abb. 17 dargestellte Nachspannwerk, nur mit dem Unterschied, daß sich auf dem Ende der drehbaren Stützwelle *W*—*W* die festgefeilte Walze befindet, während das dort gezeichnete Gewicht *G* wegfällt; das eine Kegelrad sitzt fest am Triebade, und das gegenüberliegende ist mit der gesperrten Aufzugsturbel verbunden. Dreht man sie, so hebt sich das Zuggewicht, ohne daß dabei der Antrieb des Werkes unterbrochen wird. Die Gewichtswalze macht hier nur halb soviel Umdrehungen wie das Triebad oder die Aufzugsturbel.

Oft wendet man bei beschränkter Falltiefe oder bei schweren Gewichten zur Aufhängung einen *S*l*a*s*c*h*e*n*z*u*g* an, wie man ihn in einfachster Form mit nur einer Rolle bei jedem Gewichtsregulator sehen kann (Abb. 7). Dann ist die Wirkung dieselbe, als wenn ein *n* mal leichteres Gewicht mit *n* mal größerer Sinttiefe vorhanden wäre. *n* ist die Zahl der Schnüre, die

man treffen würde, wenn man mit der Schere alle herunterhängenden Schnüre auf einmal durchschneidet. Die Anwendung des Flaschenzuges bringt den Vorteil mit sich, daß das Seil sich nicht aufdrehen kann.

Bei ganz feinen Werken läßt man die Schnur sich derart auf die Walze wickeln, daß das Gewicht beim Herabsinken immer weiter von dem Pendel wegtommt; noch besser ist es, wenn man den Gewichtszug über eine Rolle hinweg gänzlich an die Seite legt. Bei zu großer Annäherung von Gewicht und Pendel tritt nämlich unter Mitwirkung der zwischen beiden befindlichen Luftmasse ein Mitschwingen des Gewichtes ein, das störend wirkt. Dieses Mitschwingen erreicht durch sogenannte Resonanz dann seinen höchsten Grad, wenn die Schwingungsdauer beider gleich ist; das ist aber der Fall bei Annäherung des Gewichtskörpers an die Pendellinse, wo die Zwängung der dazwischenliegenden Luft sowieso schon am größten ist.

Bei großen Turmuhrwerken und bei elektrischen Hauptuhren überträgt man neuerdings die Arbeit des Aufziehens zuweilen einem Elektromotor, der automatisch in Tätigkeit tritt, wenn das Gewicht eine gewisse Tiefe erreicht hat, und nach einer bestimmten Zahl von Umdrehungen wieder ausgeschaltet wird; $\frac{1}{10}$ Pferdestärke genügt meistens dazu. Der Antrieb während des Aufzuges wird gewährleistet durch das oben erwähnte Planetenradgetriebe oder eine gleichwertige Einrichtung. Der Aufzug der Hauptuhr von Siemens u. Halske ist nach dem Prinzip von Abb. 8 mit endloser Kette gebaut; jedesmal wenn die Nebenuhren durch einen Stromstoß betätigt werden, also jede halbe oder ganze Minute (vgl. Kap. 9), wird das Rad b durch denselben Stromimpuls vermöge eines Klinkwerkes ein wenig gedreht, und damit das Gewicht entsprechend angehoben. Im Falle des Versagens der Aufzugsvorrichtung läuft die Uhr noch 2 Tage weiter.

Bei astronomischen Uhren ist der automatische Aufzug von ganz besonderem Vorteil, wenn er recht häufig geschieht, wie ich in meiner schon auf S. 18 erwähnten Schrift nachgewiesen habe. Dieser Bedingung genügt die Aufzugskonstruktion von Dr. Riesler, die in Abb. 9

schematisch wiedergegeben ist. Hier erfolgt der Aufzug etwa jede halbe Minute, wodurch große Vorteile in bezug auf die Gleichmäßigkeit des

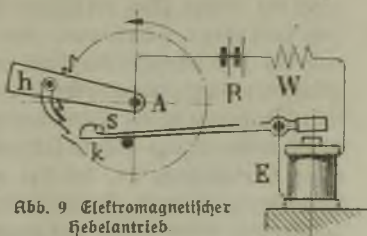


Abb. 9 Elektromagnetischer Hebelantrieb

Antriebes gewonnen werden, da alle Zwischenräder fortfallen. Die Achse A, auf die der die Stelle des Zuggewichtes vertretende Hebel h einwirkt, gehört einem Rade an, das in der Stunde acht Umdrehungen macht und direkt in den Trieb des Steigrades eingreift. Das ganze Uhrwerk besteht also eigentlich nur aus zwei Rädern. Der Gewichtshebel wiegt dementsprechend auch nur 10 g. Beim Herabsinken legt er sich schließlich an den Kontaktwulst k an, wodurch der Stromkreis der Batterie B über dem Elektromagneten E geschlossen wird, und letzterer durch Anziehen seines Ankers den Hebel h wieder in die Höhe befördert. Nach genügender Erhebung unterbricht der nicht leitende Stein s den Strom, und der Magnet läßt seinen Anker los, während h, durch die Sperrflanke auf das Rad sich stützend, oben bleibt. Selbstverständlich hat eine Gegensperre dafür zu sorgen, daß der Antrieb nicht unterbrochen wird. Mittels des Widerstandes W wird die Stromstärke derart einreguliert, daß der Hebel h so hoch geworfen wird, daß der Aufzug etwa alle 33 Sekunden erfolgt. Ist im Laufe der Zeit diese Periode kürzer geworden, so hat man nachzuregulieren. Als Stromquelle dienen entweder drei Trockenelemente oder zwei Akkumulatoren mit konstanter Ladung (s. unter „Zeitkondgebung“). — Ähnlich der Rieferschen ist die Aufzugskonstruktion der Uhren der Gesellschaft „Normalzeit“ gebaut, die etwa alle 10 Minuten in Tätigkeit tritt.

Bei solchen elektrischen Aufzugsapparaten fallen die Erschütterungen fort, denen eine Uhr beim Aufziehen von Hand ausgesetzt ist. Wesentlich verringern lassen sie sich auch bei Handaufzug dadurch, daß man ein Loch in die vordere Glasscheibe bohrt, durch das man die Aufzugskurbel einführen kann, ohne den Kasten öffnen zu müssen.

Wenn eine Uhr beweglich sein soll, oder aber für den Gewichtszug nicht der nötige Platz verfügbar ist, so benutzt man als Energiequelle die spiralförmige Zugfeder. Sie ist ebenso wie die Spirale der Unruh ein aus feinstem Gußstahl gefertigtes, gehärtetes und blau angelassenes Band, nur von stärkeren Dimensionen. In ihrem ursprünglichen Zustande ist die Feder beinahe gerade; wird das eine Ende gedreht, während das andere festgestellt ist, so nimmt sie etwa die Form eines Kreisbogens an, der bei weiterem Drehen allmählich in die Spiralförmigkeit übergeht. Dabei ist die Aufwendung eines Drehmomentes notwendig, dessen Stärke mit wachsender Verdrehung zunimmt, zwar nicht genau proportional dem Verdrehungswinkel, aber doch annähernd. Nachträglich strebt die Feder wieder in ihre ursprüngliche

Lage zurück, d. h. sie sucht ihre Krümmung zu verringern und sich der geraden Form zu nähern, soweit als die äußeren Bedingungen es zulassen. Dabei leistet sie dieselbe Arbeit, die man beim Zusammenwickeln aufwenden mußte. Die Zusammenkrümmung darf nie so weit getrieben werden, daß die Elastizitätsgrenze des Stahles überschritten wird und es zu bleibenden Formänderungen kommt, oder gar die Feder zerspringt. Die in der Feder aufspeicherbare Energiemenge wächst direkt mit dem Volumen, d. h. mit ihrem Gewichte, so daß dieses ein Maß für die Leistungsfähigkeit der Feder abgibt. Die großen und schweren Federn des Orchestrions z. B. vermögen eine erhebliche Arbeit aufzunehmen, während erst $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ Milliarde Taschenuhrfedern beim Gange der Uhren eine Pferdestärke entwickeln würden.

Die meisten Federn sind in einem sogenannten Federhause gelagert, dessen Mitte von dem „Kerne“ ausgefüllt ist. Meistens sind beide Enden der Feder mit einem Loch versehen, deren eines an einem Haken des Kernes, das andere an einem solchen des Federhauses eingehängt ist. Je kleiner der Durchmesser des Kernes ist, um so stärker ist die Krümmung, die die Feder nach vollendetem Aufzuge annimmt, und um so größer die Beanspruchung des Federstahles. Die durchschnittliche Stärke des Kernes beträgt $\frac{1}{3}$ vom lichten Durchmesser des Federhauses (Abb. 10). Ist die Feder aufgezogen, so umgibt sie den Kern mit einer Anzahl eng anliegender Windungen, wie dies auf der linken Seite der Figur gezeichnet ist. Wird sie sich selbst überlassen, so dreht sie das Haus, feststehenden Kern vorausgesetzt, gegen den Sinn des Uhrzeigers so lange herum, bis sie ihrem Spannungsbestreben völlig Genüge geleistet hat und dicht an der Innenseite des Hauses anliegt, wie auf der rechten Seite der Figur.

Rechnerisch läßt sich zeigen, daß die Feder dann die meisten Umläufe des Hauses hervorzubringen vermag, wenn ihr Volumen die Hälfte des freien Raumes im Federhause ausfüllt. Daher kann es kommen, daß eine Uhr unter Umständen länger geht, nachdem ihre Feder eines Bruches wegen verkürzt worden ist; sie war dann eben vorher zu lang.

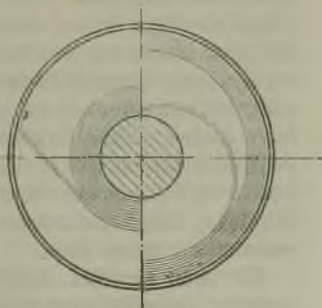


Abb. 10. Zugfeder.

Eine erhöhte Zugkraft der Feder wird besser durch Verbreiterung als durch Verstärkung der Stahlklinge erreicht, weil mit letzterer bei gleicher Krümmung auch die Gefahr des Zerspringens wächst. Der Sprung erfolgt meistens am inneren Federende, wo die Krümmung am stärksten ist. Vielfach wird behauptet, die meisten Sprünge kämen an gewitterreichen Tagen vor; ob ein solcher unwahrscheinlicher Zusammenhang tatsächlich besteht, könnte höchstens eine Statistik erweisen. Die Sprunggefahr wird dadurch etwas vermindert, daß man die Uhr statt abends beim Aufstehen aufzieht, denn die abends beim Herausnehmen der Uhr aus der Tasche eintretende Abkühlung derselben bringt eine schon teilweise abgelaufene Feder in nicht so große Gefahr wie eine voll gespannte. Auch sonstige Gründe sprechen für das Aufziehen am Morgen, wie später gezeigt werden wird.

Man unterscheidet zwischen festen und fliegenden Federhäusern. Bei ersteren ist das Haus und mit ihm die Befestigung des äußeren Federendes, der sogenannte Zaum, festgestellt, dagegen der Kern drehbar und mit dem lose aufsitzenden Triebade der Uhr durch ein Gesperr verbunden. Der Aufzug erfolgt durch Rückwärtsdrehen der Achse und des Kernes, wobei das Werk mangels einer Antriebskraft stehen bleiben muß. Die Anordnung entspricht der eines Gewichtszuges mit Walze ohne Gegen Sperre. Das fliegende Federhaus dagegen hat einen Zahnkranz und bildet so selbst das Triebad; der Kern trägt hier ein Sperrad und ist durch eine am Werkgestell angebrachte Sperrklinke festgestellt. Man dreht bei dieser Anordnung beim Aufziehen den Kern in derselben Richtung, wie das Federhaus umläuft, und zwar immer um so viel, als letzteres abgelaufen ist. Da während des Aufzuges keinerlei Rückwärtsdrehung erfolgt, so wird der Antrieb auch nicht unterbrochen, und ein Stehenbleiben des Werkes findet nicht statt. Wegen dieses Umstandes ist das fliegende Federhaus vorzuziehen und hat das feste so ziemlich verdrängt. Der einzige Vorzug des letzteren ist der, daß man es etwas größer machen kann, weil es keinen Zahnkranz trägt, wodurch bei gleichem Platzverbrauch an Umgängen gewonnen werden kann.

Wie schon erwähnt, wächst das von der Feder ausgeübte Drehmoment ungefähr proportional dem Verdrehungswinkel und der Krümmung. In praxi wird dieses Gesetz aber wesentlich modifiziert, vor allem durch die Reibung der einzelnen Federwindungen aneinander, die besonders stark kurz vor Vollendung des Aufzuges in Er-

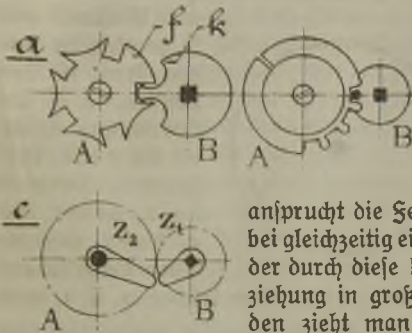


Abb. 11. Stellungen.

scheinung tritt, wenn die Feder den Kern in dichten Windungen umgibt, und die eine ausgiebige Ölung der Zugfeder erforderlich macht. Vollständiges Aufziehen beansprucht die Feder ungemein und bringt sie bei gleichzeitig eintretender Abkühlung wegen der durch diese hervorgerufenen Zusammenziehung in große Gefahr. Aus diesen Gründen zieht man es vor, zum Betriebe des Uhrwerkes nur den mittleren Teil der Umgänge des Federhauses zu benutzen, also z. B. bei Taschenuhren von etwa sechs möglichen Umgängen nur die vier in der Mitte liegenden. Dadurch wird der Antrieb weit gleichmäßiger und die Störungen, die aus mangelndem Isochronismus der Unruhe erwachsen, sind kleiner, als sie sonst wären. Zur Begrenzung der Federhausumgänge nach oben und unten dient die sogenannte Stellung, ein wichtiger Konstruktionsteil, der in keiner guten Uhr mit Federtrieb fehlen sollte. Natürlich muß die Stellung so bemessen werden, daß die Uhr mindestens 32 Stunden in einem Aufzuge zu gehen imstande ist, weil sie sonst bei unregelmäßig erfolgndem Aufzuge stehen bleiben könnte; bei Chronometern verlängert man die Gangdauer bis zu etwa 56 Stunden. Die bekannteste Form der Stellung ist das Malteserkreuz, ein Einzahnradgetriebe, dessen Wirkungsweise aus Abb. 11 a ersichtlich ist. Die Scheibe B sitzt fest auf der Achse des Kernes, das Kreuz A dagegen ist um eine in das Federhaus eingelassene Schraube drehbar. Die gezeichnete Konstruktion gestattet vier volle Umgänge. Zulezt setzt die Kante k auf den nicht ausgehöhlten Bogen f auf und verhindert eine weitere Drehung. Bei einer anderen Form der Stellung ist das Einzahnrad durch eine Scheibe mit Stift ersetzt (Abb. 11 b). Die Wirkungsweise ist dieselbe wie beim Malteserkreuz. Interessant ist die Stellung Abb. 11 c, die aus zwei Zahnrädern mit den Zähnezahlen z_1 und z_2 besteht, deren jedes einen Arm trägt. Die Zahnräder sind in der Figur, wie es üblich ist, als strichpunktierte Kreise angedeutet. Beide sind ebenso angebracht wie die Räder beim Malteserkreuz, also B auf dem Federkern. Nach

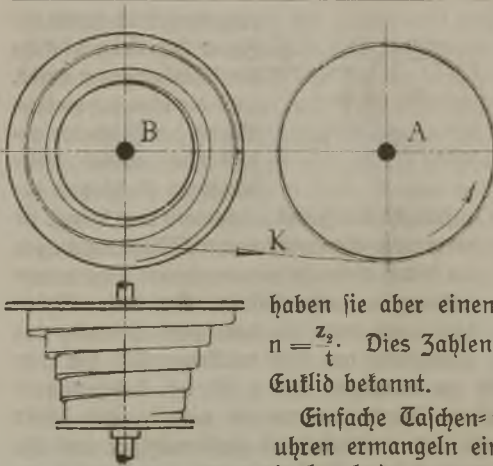


Abb 12. Schnecke.

je n Umläufen von B geraten die beiden Arme in Opposition, d. h. die Vorrichtung gestattet fast n volle Drehungen. Dabei ist $n = z_2$, wenn z_1 und z_2 keinen gemeinsamen Teiler haben; haben sie aber einen solchen, z. B. t , so ist $n = \frac{z_2}{t}$. Dies Zahlengesetz war bereits dem Euklid bekannt.

Einfache Taschen- und die meisten Wanduhren ermangeln einer Stellung; ihr Aufdrehen hat, wenn es sich seiner Vollendung nähert, mit besonderer Vorsicht zu geschehen, weil man sonst Gefahr läuft, die Feder zu sprengen, wofern nicht ein besonderer, nachgiebiger Konstruktionsteil eingebaut ist, wie der „Zügel“ der Roskopsuhr.

Es leuchtet ein, daß der Antrieb des Werkes durch die Feder um so gleichmäßiger ausfallen muß, je kleiner das von der Stellung umgrenzte Gebiet ist; man wählt deshalb, so paradox es klingen mag, jenes Gebiet zweckmäßig um so enger, je länger die Gangdauer der Uhr ist, denn bei einer 8- bis 14tägigen Gangperiode summieren sich die Gangfehler, die von dem ungleichen Antrieb herrühren, in weit empfindlicherer Weise auf als etwa bei einer eintägigen. Handelt es sich um Uhren, deren Hemmung gegen Schwankungen der Triebkraft sehr empfindlich ist, wie z. B. der früher gebräuchliche Spindelgang es war, oder aber um Chronometer, von denen man zu jeder Zeit große Genauigkeit verlangt, so bringt man eine sogen. Schnecke an, deren Aufgabe es ist, die Ungleichmäßigkeit des Federantriebes zu beseitigen (Abb. 12.) Das Federhaus A ist fliegend auf den feststehenden, nicht drehbaren Kern aufgesetzt und wird von der Feder im Sinne des Pfeiles ungetrieben. Durch eine feine Gelenkkette K wird das Drehmoment der Feder auf die eigentliche Schnecke B übertragen, die eine kegelförmige Walze darstellt, auf der treppenartig ansteigende Spiralgänge eingeschnitten

sind. Die Kette ist so auf diese Gänge aufgelegt, daß bei ihrem Ablauf von der Walze auf die Federtrommel die Abnahme der Federkraft durch den ständig wachsenden Hebelarm der Schnecke ausgeglichen wird, so daß das Drehmoment, das von der Kette auf den Schneckenkörper ausgeübt wird, konstant bleibt, und die Feder in gleichen Zeiten gleiche Arbeiten leistet. Die Schnecke wird genau so auf die Triebachse des Werkes aufgesetzt wie die Gewichtswalze, d. h. unter Anwendung von Sperrklinke und Gegensperre, damit die Uhr während des Aufzuges nicht stehen bleibt. Dieser erfolgt durch Drehen der fest mit ihrer Achse verbundenen Schnecke mittelst eines Schlüssels im Sinne des Uhrzeigers, also der Drehrichtung entgegen, wobei sich die Kette wieder von der Federtrommel ab- und auf die Schneckengänge aufwickelt.

Selbstverständlich befindet sich an der Schnecke auch eine Einrichtung, die die Funktion der Stellung übernimmt, die sog. „Schнауze“. Die deutschen Schiffschronometer werden zuweilen auch ohne Schnecke mit direktem Federantrieb gebaut; ob mit Vorteil, bleibe dahingestellt. Die Engländer, die bis jetzt im Chronometerbau die meisten Erfolge errungen haben, bevorzugen die Schnecke. Sie soll zum erstenmal im Jahre 1618 durch Robert Fludd angewendet worden sein; an Stelle der Kette befand sich damals eine Darmsaite. Zu Anfang des achtzehnten Jahrhunderts erfand man in der Schweiz die sog. Schneckenwage oder Abgleichstange, mit deren Hilfe man die zweckmäßigste Schneckenform empirisch zu bestimmen vermag.

Besondere Sorgfalt verlangt bei einem guten Federzuge die Sperrklinke (Abb. 7 und 14), die nicht allein absolute Sicherheit gegen Zurückspringen gewährleisten, sondern auch durch ihre Konstruktion verhindern soll, daß die Stellung nach dem vielleicht mit einer gewissen Gewalt vollzogenen Aufzuge in straffster Anspannung stehen bleibt, und so dem Gangwerk zuerst eine übermäßig starke Zugkraft zugeführt wird, was die Ursache vom „Prellen“ oder „Galoppieren“ der Unruhe werden kann. Einige Konstrukteure erreichen das letztere dadurch, daß sie das Loch der Sperrklinke, durch welches die Befestigungsschraube gesteckt wird, oval ausgeteilt ausführen, so daß die Klinke nach vollendetem Aufzuge, wenn der Sperrzahn auf ihre Spitze zu drücken beginnt, ein wenig nachgeben kann.

Bei Chronometern ist eine Vorrichtung erforderlich, welche jederzeit angibt, bis zu welchem Grade die Zugfeder bereits abgelaufen ist, bzw. wieviel Stunden die Uhr seit dem letzten Aufzuge schon gegangen ist oder noch zu gehen vermag. Man nennt sie ein „Auf- und Abwerk“.

Ein auf dem Zifferblatt gleich dem Sekundenzeiger exzentrisch angeordneter weiterer Zeiger, der mit der Schnecke durch ein Zahnradgetriebe unmittelbar verbunden ist, gibt jene Zahlen direkt an.

Sechstes Kapitel.

Das Räderystem.

Bei unseren theoretischen Auseinandersetzungen haben wir angenommen, daß das treibende Gewicht direkt auf die Achse des Steigrades einwirkt. In Wirklichkeit ist dies undurchführbar, weil die Umfangsgeschwindigkeit des Steigrades eine so große ist, daß man die Schnur zahllose Male um die Achse schlingen oder aber den Durchmesser des Rades außerordentlich groß machen müßte.

Somit wird die Einschaltung eines Zwischenmechanismus notwendig, der die wenigen Umdrehungen der Gewichtswalze resp. des Federhauses vervielfacht oder, wie man sagt, übersetzt. Solch ein Mechanismus besteht aus einer Reihe ineinander eingreifender Zahnräder. Arbeitet z. B. ein Rad mit 60 Zähnen auf ein anderes mit nur 6, so macht letzteres 10 Umdrehungen bei einer des ersteren; die Umdrehungszahlen verhalten sich also umgekehrt wie die Zähnezahlen. Setzt man nun auf die Achse des Rades mit 6 Zähnen wieder ein solches mit 60 und läßt es in ein viertes mit beispielsweise 10 Zähnen eingreifen, so macht dieses bereits $\frac{60 \cdot 60}{6 \cdot 10} = 60$ Umdrehungen bei einer des ersten usw. Die kleinen Räder mit wenigen Zähnen nennt man Triebe. Wenn z. B. das Federhaus einer Taschenuhr eine Umdrehung in 8 Stunden vollführt, das Steigrad aber ein solche in 6 Sekunden, so beträgt in diesem Falle die Gesamtübersetzung $8 \cdot 3600 : 6 = 4800 : 1$, d. h. auf je 4800 Umdrehungen des Steigrades kommt eine des Federhauses. Man erreicht das durch eine ganze Reihe von Zahnrädern, deren jedes in den Trieb des nächsten eingreift.

Es ist klar, daß bei hohen Übersetzungen trotz gleichmäßiger Wirkung der Antriebskraft das Drehmoment des Steigrades infolge kleiner, in der Verzahnung vorhandener Fehler erheblichen Schwankungen unterliegen muß, wodurch Störungen in der Gleichmäßigkeit des Ganges hervorgerufen werden können. Die genaue Ausführung der Zahnformen, vor allem der Triebe, nach mathematisch ermittelten Profilen ist deshalb beim Bau einer Präzisionsuhr eine wichtige Sache, und zwar

in erster Linie beim Gangradtrieb, dessen unzureichender Eingriff die Quelle mancher Störung ist. Dazu kommt, daß in jedem Zahnradgetriebe ein Teil der zugeführten Arbeit durch Reibung der Zähne aufeinander und der Zapfen verloren geht, bei einer guten Taschenuhr schätzungsweise etwa 10 %. Eine Zahnform, bei welcher die Zähne aufeinander nicht gleiten, sondern sich nur abwälzen, ist unmöglich, wie schon Euler nachgewiesen hat.



Abb. 13a.
Zapfenlager.

Solange der Reibungsverlust konstant bleibt, schadet er nicht, jedoch wird er sofort zu einer Störung, wenn er infolge von Verhärtung oder von Abnutzung Veränderungen unterliegt. Hieraus erhellt der Wert des alle 30 Sekunden wirkenden elektrischen Aufzuges von Riesler, bei dem nur ein einziges Zahnradpaar vorhanden und die Übersehung auf 7,5:1 zusammengeschrumpft ist (S. 29); der Antrieb des Steigrades ist infolgedessen außerordentlich gleichmäßig.

Da die Räder sowohl wie die Zähne Geld kosten, so wird man auch aus diesem Grunde bestrebt sein, ihre Zahl so klein als möglich zu halten. Es läßt sich leicht zeigen, daß bei einer gegebenen Gesamtübersehung das Produkt der Zahl der Radpaare und der gesamten Zahl aller Zähne dann ein Minimum wird, wenn die Übersehung von Achse zu Achse immer 9,19:1 beträgt, also rund 10:1. Die Praxis bevorzugt auch tatsächlich Übersehungsrößen, die in der Nähe dieses Verhältnisses liegen.

Die Achsen, auf denen die Räder sitzen, stecken mit ihren Zapfen in entsprechenden Löchern der Platinen, d. h. der Platten, zwischen denen das Werk angebracht ist (Abb. 13 a). Bei Taschenuhren ist die obere Platine teilweise durch Brücken oder Kloben (vgl. S. 116) ersetzt, welche je ein oder auch mehrere Zapfenlöcher enthalten, sodaß man einzelne Räder für sich herausnehmen kann. Die Zapfen werden so dünn gemacht, als es die Festigkeit und der auf ihre zylindrische Oberfläche wirkende Druck, der sog. Flächendruck, gestatten. Sind sie zu dick, so steigert sich die Reibung und damit der Einfluß des Oles auf den Gang, sind sie aber zu dünn, so ist die Gefahr des Brechens und die Abnutzung infolge des gesteigerten Flächendrucks groß. Die Zapfenstärke hat somit in einem bestimmten Verhältnis zu der Kraft zu stehen, die auszuhalten ist. Demnach sind die Zapfen der langsam laufenden Räder stärker zu halten als die der kleinen, rasch umlaufenden. Ein Unruh-Zapfen von 0,07 mm Durchmesser ist schon als sehr fein zu betrachten; man gibt ihm

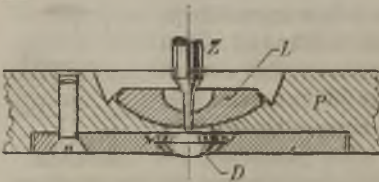


Abb. 13b. Zapfenlager mit Loch- und Deckstein.
P Platte. Z Zapfen. L Lochstein. D Deckstein.

ungefähr etwa 0,01 mm „Luft“ in seinem Loche, d. h. man macht dieses dann 0,08 mm weit. Überhaupt bekommen alle Zapfen der Uhr eine gewisse Luft, im Gegensatz zu denen des Maschinenbaus, die in geteilten, genau aufgepaßten Lagern laufen. Die Zapfenluft darf aber ein gewisses Maß nicht überschreiten, weil sonst der Eingriff der Zahnräder schlecht wird. Einen großen Fortschritt bedeutete die Einführung der steinernen Zapfenlöcher, die im Anfange des 19. Jahrhunderts durch die Erfindung des Genuesen Scacio, regelmäßige Löcher in Edelsteine zu bohren, angebahnt wurde. Der in einem Edelsteinloch laufende federharte Stahlzapfen erleidet nur eine sehr geringe Abnutzung, desgleichen auch nur eine minimale Reibung, die ja zum großen Teil nichts weiter ist als Abnutzungsarbeit. Die Steine werden am besten eingeschraubt, damit sie nicht lose werden können, und zwar in Fassungen von edlem Metall, an denen das Öl nicht verderben kann. Sie erhalten an der einen Seite eine kleine Vertiefung, die für die Aufnahme des Öles bestimmt ist (Abb. 13b). Als Material für die Steine dient meistens harter Rubin, für die Decksteine der Unruh (siehe S. 68) auch Saphir und bei ganz feinen Uhren, z. B. Chronometern, gelegentlich Diamant. Die Rubinlager der Fahrradzapfen brauchen keine Decksteine zu haben. Auch bei astronomischen Pendeluhrn findet man Steinlager, hier aber mehr zu dem Zwecke, den in der Uhr tätigen elektrischen Strom, von dem man eine zerstörende Wirkung auf das Öl fürchtet, von den Zapfen fernzuhalten. Unrichtig wäre es, die Güte einer Uhr nach der Zahl der „Rubis“ beurteilen zu wollen, denn diese allein machen die Genauigkeit nicht aus, und sie sind auch häufig nicht hart genug; an manchen Stellen, z. B. an den Zapfen des Minutenrades, werden sie des starken Druckes wegen sogar mit Vorteil weggelassen.

Ein genau gearbeitetes Triebwerk braucht viel weniger Antriebskraft als ein rohes, weil der Verlust geringer ist; daher sind die Zugfedern oder Zuggewichte guter Uhren verhältnismäßig klein. Überhaupt wird durch Anwendung zu starker Federn in Taschenuhren viel gesündigt. Verstärkte Abnutzung des Werkes und Erschwerung der

Auslösung der Hemmung sind die Folgen. Manche Firmen geben deshalb bei erstklassigen Taschenuhren eine Reservefeder mit.

Auf jeden Fall ist etwa alle drei Jahre eine Reinigung und Neuölung des Triebwerkes erforderlich; ein Versäumnis in dieser Hinsicht rächt sich durch gesteigerte Abnutzung und rasche Abnahme der Regulierfähigkeit.

Die ganze Anordnung des Räderwerkes wird durch dreierlei Umstände bedingt: erstens durch die Zahl der verfügbaren Umdrehungen des Triebrades, zweitens durch die Anzahl der Umläufe des Steigrades pro Minute und drittens durch die Gangdauer, die das Werk haben soll. Der Gewichtsantrieb gestattet, gleichgültig, ob mit Ruß und Kette oder mit Schnur und Walze ausgeführt, zahlreiche Triebradumläufe in einem Aufzuge, der Federtrieb dagegen nur wenige. Andererseits macht das Steigrad einer Pendeluhr in der Minute meistens bloß eine Umdrehung, sodaß es direkt den Sekundenzeiger aufnehmen kann, dagegen das einer Urtruhr weit mehr, bei der Taschenuhr z. B. 10 in der Minute, weshalb hier erst das zweite, zum Steigrade im Verhältnisse 1:10 übersehte Rad den Sekundenzeiger zu führen vermag. Eine Pendeluhr mit Gewichtstrieb braucht darum unter sonst gleichen Umständen eine geringere Gesamtübersetzung. Endlich wird diese letztere um so größer, je länger das Werk in einem Aufzuge gehen soll; sie muß zahlenmäßig den Wert $1440 \cdot \frac{n_1}{n_2} \cdot z$ haben, worin n_1 die Zahl der Steigradumläufe pro Minute, n_2 die Zahl der in einem Aufzuge erfolgenden Triebradumgänge und z die Gangdauer in Tagen bedeutet. — Durch das Minutenrad (auch Großboden- oder Mittelrad genannt), das in der Stunde eine Umdrehung macht, wird das Werk gewissermaßen in zwei Teile getrennt, die wir für sich betrachten wollen. Bei Kettenzuguhren mit Eintagewerk setzt man zuweilen die Auß direkt auf die Minutenradachse, so daß z. B. bei 20 mm wirksamem Außdurchmesser für die Sinttiefe des Gewichts mindestens $1\frac{1}{2}$ m zur Verfügung stehen müssen. Gewöhnlich ist jedoch ein besonderes Triebrad vorhanden, das in einen Trieb des Minutenrades eingreift, bei Federzug natürlich stets. Bei 8- bis 14 tägiger Gangperiode und Federzug genügt auch dies noch nicht, und man ist gezwungen, zwischen Federhaus und Minutenrad noch ein Zwischenradpaar („Zusatzrad“) einzuschalten. Allgemein beträgt die Übersetzung vom Trieb- bis zum Minutenrade $\frac{24}{n_1} \cdot z$, folglich beispielsweise bei einem 14tägigen Werte



Abb. 14.

Räderwerk mit Federantrieb.
 A Federhaus. B Zusatzrad.
 C Minutenrad. D Kleinbodenrad.
 E Gangrad. F Anfer.



Abb. 15. Taschenuhrwerk mit Anfergang.

mit 6 Federhausumgängen $\frac{24 \cdot 14}{6} = 56:1$, ein Verhältnis, welches sich eben mit einem Räderpaar nicht erreichen läßt, wohl aber mit zweien, etwa in der Abstufung 7:1 und 8:1. — Die Zahl der Räderpaare zwischen Minuten- und Steigrad ist von der Art der Hemmung und des Reglers abhängig. Bei Pendeluhren ist meist nur ein Zwischenrad nebst Trieb, das sogenannte Kleinbodenrad, vorhanden, und das Steigrad trägt selbst den Sekundenzeiger, wenn ein solcher vorhanden ist; bei Taschenuhren ist aber noch ein weiteres Paar, das oben erwähnte Sekunderrad, notwendig. Allgemein ist die Übersetzung vom Minuten- bis zum Steigrade $60 \cdot n_1$ (Abb. 14).

Bei einer normalen Taschenuhr trägt das Steigrad 15 Zähne und macht deshalb bei 5 Schwingungen der Unruh pro Sekunde eine Umdrehung in 6 Sekunden, das Federhaus aber führt deren 3 pro Tag aus. Den erforderlichen Übersetzungen kann man durch folgende Zähnezahlen gerecht werden: Federhaus 64, Minutenrad trieb 8, Minutenrad 64, Kleinbodenradtrieb 8, Kleinbodenrad 60, Sekunderradtrieb 8, Sekunderrad 60, Steigradtrieb 6. Das gibt in Summa: $\frac{64}{8} \cdot \frac{64}{8} \cdot \frac{60}{8} \cdot \frac{60}{6} = 4800:1$, wie oben angegeben. Da die Kräfte immer kleiner werden, je weiter man sich vom Triebrade entfernt,

so macht man die Räder um so zierlicher und kleiner, je näher sie dem Steigrade liegen; hierdurch wird auch die Gefahr des Stehenbleibens infolge von Verschmutzung verringert. Das Steigrad selbst wird aus früher besprochenen Gründen zart und klein ausgeführt, mit 4 oder 5 Speichen (Abb. 15).

Da jede Radachse einer Serie ineinander greifender Zahnräder den umgekehrten Drehungssinn aufweist, wie die vorangegangene, und da ferner alle Zeiger im gleichen Sinne umlaufen sollen, so muß zwischen je zwei Zeiger tragende Achsen eine ungerade Zahl von Zwischenradpaaren eingeschaltet werden; so arbeitet z. B. zwischen dem Minuten- und dem Sekundentrad das Kleinbodentrad. Eine weitere Komplikation erfährt das Räderwerk dadurch, daß ihm auch die Aufgabe zufällt, den Stundenzeiger sowie bei Taschenuhren das Zwischenrad der Zeigerstellvorrichtung (vgl. S. 119) zu drehen. Bei gewöhnlichen Uhren sitzt der Stundenzeiger konzentrisch zu dem Minutenzeiger auf einem über dessen Achse geschobenen Rohre, dem sogenannten Stundenrohr, bei astronomischen Uhren dagegen aus Einfachheitsgründen für sich auf einer besonderen Achse, so daß sein Zifferblatt ebenso wie das des Sekundenzeigers exzentrisch angebracht ist. Überhaupt ist einfache Anordnung des Werkes die erste Bedingung der Präzision, denn je verwickelter ein Mechanismus ist, um so zahlreicher sind die Störungsquellen. Eine Präzisions-Taschenuhr mit Kalender, Mondscheibe, Chronostop und dgl. ist deshalb eigentlich ein Umding; entweder ist die Uhr ein feines Meßinstrument oder eine Spielerei für Liebhaber, nicht aber beides zugleich. Aus den gleichen Gründen sind zu kleine oder gar flache „Kavalier“-Uhren durchaus unzweckmäßig, denn nur ein voll entwickeltes, ohne Rücksicht auf die Mode gestaltetes Werk vermag erstklassige Leistungen zu vollbringen. Wie im Chronometerbau sich mit der Zeit eine bestimmte Größe als die praktischste herausgestellt hat, so sollte man auch bei der guten Herrentaschenuhr etwa das 19linige Werk (43 mm Durchmesser) als Normalform ansehen. — Das zwischen Minuten- und Stundenrad notwendige Zwischenglied heißt das Wechselrad (Abb. 16). Die Übersetzung zwischen beiden beträgt 12:1 und wird bei Pendeluhren meist durch einmalige Über-

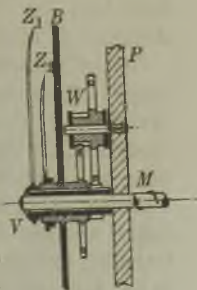


Abb. 16.
Wechselrad-Getriebe.

- P Platine.
- M Minutenradachse.
- W Wechselrad.
- V Viertelrohr.
- B Zifferblatt.
- Z Minutenzeiger.
- Z₁ Stundenzeiger.

setzung erzeugt, da man bei diesen gewöhnlich das Wechselrad ebensoviele Umdrehungen machen läßt wie das Minutenrad selbst. Bei Taschenuhren dagegen wird die Übersehung stets auf beide Zahnradpaare verteilt, so daß z. B. das Minutenrad in einer Stunde, das Wechselrad in dreien und das Stundenrad in zwölf eine Umdrehung macht.

Das den Minutenzeiger tragende sogenannte Minuten- oder Viertelrohr sitzt auf der Minutenradachse nicht fest auf, sondern wird nur durch Reibung mitgenommen, so daß ein Stellen der Uhr durch Drehen des auf ein Viertel des Viertelrohres gesetzten Minutenzeigers möglich ist. Manchmal dagegen sitzt der Minutenzeiger fest auf der Welle, die ihrerseits selbst im Großbodentrad mit Reibung drehbar ist; ein Viertelrohr existiert in diesem Falle nicht. — Sitzt die Welle übrigens nicht genau in der Mitte des Zifferblattes, was selten der Fall ist, so entstehen erhebliche Mißweisungen des Minutenzeigers, selbst wenn die Minutenteilung auf dem Zifferblatt richtig sein sollte. Seine Angaben koindizieren nun nicht mehr mit denen des Sekundenzeigers. Zweimal im Laufe einer Stunde verschwindet der Fehler, und ebenso oft erreicht er ein Maximum, das bis zu einer Minute anwachsen kann. Die genaue Uhr wird also durch den Sekundenzeiger repräsentiert, und der Minutenzeiger hat nur die von jenem vollzogenen Umläufe zu registrieren.

Da der synodische Umlauf des Mondes rund $29\frac{1}{2}$ Tage dauert, so muß die Übersehung einer Mondphasenscheibe, vom Stundenrade aus gerechnet, 1:59 betragen. Kompliziert wird die Einrichtung des Kalenderwerkes, wenn dasselbe sowohl die ungleiche Zahl der Montage als auch den Schalttag berücksichtigen soll; die gewöhnlichen Kalenderuhren tun dies allerdings nicht und müssen von Hand corrigiert werden. Die Fortbewegung der Datumzeiger erfolgt um Mitternacht; springen sie nach einem Stehenbleiben der Uhr um Mittag, so hat man die Zeiger um 12 Stunden zu stellen.

Indirekter Antrieb. Bei Turmuhren ist der Energieverlust innerhalb des Räderwerkes infolge der großen Temperaturunterschiede und der Wirkung des Windes auf die Zeiger derartig schwankend, daß ein direkter Antrieb des Steigrades oft nicht rasch erscheint; man wendet dann den sogenannten indirekten Antrieb an, der mit Hilfe eines „Nachspannapparates“ erfolgt. — Die erste Anregung zu indirektem Antriebe soll von Leibniz ausgegangen sein. Bei der gewöhnlichen Konstruktion (früher Remontoir genannt, worunter man jetzt

bekanntlich die Bügelaufzugsmechanik versteht; vgl. S. 119) greift das Kleinbodenrad nicht direkt in den Trieb des Steigrades, sondern in den Zahnkranz eines fliegend auf dessen Achse gesetzten kleinen Federhauses. Der Federfern ist mit der Steigradachse aus einem Stück, so daß diese von der Feder umgetrieben wird, unabhängig von der Triebkraft des Werkes. Jede volle Minute wird das sonst arretierte Werk durch das Steigrad ausgelöst und dreht das Federhaus um ein entsprechendes Stück nach, während ein Windfang die Bewegung reguliert.

Der Name „Nachspannapparat“ ist demnach ohne weiteres verständlich. Die Zeiger einer Uhr, die mit dieser Vorrichtung versehen ist, springen also minutenweise. Um die der Gefahr des Springens ausgesetzte und in ihrer Kraftleistung von der Temperatur abhängige Feder zu vermeiden, hat man auch andere Anordnungen erdnen; nachstehend ist eine solche mit Gewichtshebel und Kegelradgetriebe beschrieben. Abb. 17 stellt sie von oben und von vorn gesehen dar. Der Trieb T_1 empfängt seinen Antrieb durch das vom Werke gedrehte Rad R_1 , wird aber vermöge R_2 durch den Trieb T_2 , auf dessen Achse auch ein Windfang sitzt, so lange festgehalten, als der Arm H auf dem Knaggen K ruht. Hat sich nun im Laufe einer ganzen oder auch einer halben Minute der auf der Achse des Gangrades sitzende Trieb T_3 so weit gedreht, daß R_3 um den Winkel $2 \cdot \alpha$ vorwärts gekommen ist, so ist der 100 bis 200 g schwere Triebhebel G , der ebenso wie R_2 und R_3 lose auf der Stützachse

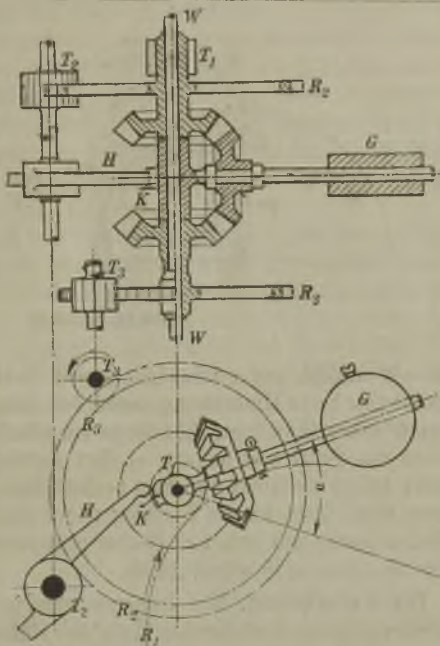


Abb. 17. Indirekter „Planetenrad“-Antrieb.

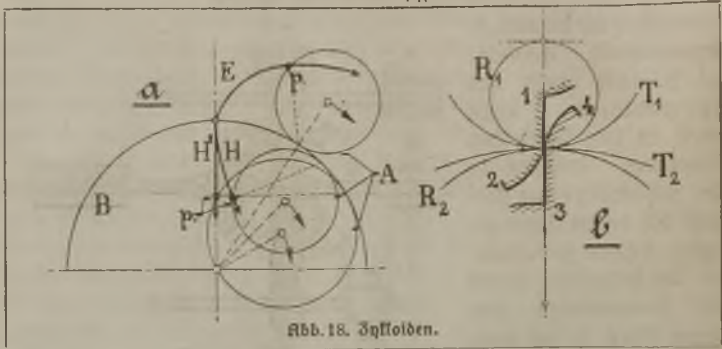


Abb. 18. Zykliden.

W—W aufsteht, um α gesunken; damit ist H frei geworden, und T_2 macht eine halbe Umdrehung, wobei das Zeigerwerk vorgeschoben und das Gewicht G in seine Höchstlage zurückbefördert wird. Darauf beginnt das Spiel von neuem. — Der Antrieb, den das Gangrad erfährt, hängt somit nur von dem verstellbaren Gewicht G ab und nicht vom Werk samt seinen Reibungswiderständen. Die Ähnlichkeit des Mechanismus mit der von Riefler gebrauchten, auf S. 29 beschriebenen Anordnung ist offensichtlich.

Die Verzahnung. Wir kommen nun zu dem für den Laien am schwierigsten zu verstehenden Teile des Räderystems, zu der Verzahnung. Es ist nicht unsere Aufgabe, eine genaue Theorie der bei Zeitmessern in Gebrauch befindlichen Zahnformen zu geben; wir beschränken uns vielmehr darauf, an einigen typischen Beispielen die bei der Bestimmung der Form der Zähne angewendeten geometrischen Methoden und diese Formen selbst nach Möglichkeit zu erläutern. — Das erste Erfordernis ist eine solche Zahnform, daß jedes Rad bei der Rotation seine Winkelgeschwindigkeit immer genau beibehält und nicht etwa einmal rascher und dann wieder langsamer umläuft, wenn sich das Gangrad gleichmäßig weiterdreht. Hierdurch wird auch die Abnutzung vermindert. Die kinematische Geometrie lehrt uns, daß es Kurven gibt, welche, als Zahnformen verwandt, diese Bedingung erfüllen; niemals aber geht es dabei, wie schon erwähnt wurde, ohne Gleiten der Zähne aufeinander, ohne Reibung ab. Es ist nun die Sache des Konstrukteurs, solche Zahnformen zu wählen, bei denen die Reibung und damit die Abnutzung klein wird.

Die aus diesen Gründen bei Uhren in erster Linie in Betracht kommende Zahnkurve ist die Zykloide. Sie wird von einem auf der Peripherie des kleinen Kreises A befestigten Bleistift p beschrieben, wenn A auf oder in einem größeren Kreise B rollt (Abb. 18a). In ersterem Falle heißt die Kurve Epizykloide (E), im zweiten Hypozykloide (H). Wenn der rollende Kreis gerade halb so groß ist, wie der feste, so degeneriert die Hypozykloide zu einer geraden Linie, die durch den Mittelpunkt des festen Kreises geht (H).

Zunächst denke man sich die Zahnräder mit unendlich kleinen Zähnen versehen, so daß sie wie Kreise aussehen und aufeinander rollen. Die Durchmesser dieser beiden sogenannten Teilkreise verhalten sich offenbar umgekehrt wie die minutlichen Umdrehungszahlen; der Zahnteil außerhalb des Teilkreises heißt Kopf, der andere Fuß. Die Kopfflanken der Zähne eines Rades werden als Epizykloiden auf dem Teilkreise mit einem Rollkreise konstruiert, dessen Durchmesser gleich dem Radius des Teilkreises des anderen Rades ist; derselbe Rollkreis erzeugt auch die Fußflanke der Zähne des anderen Rades (welche ja mit der Kopfflanke der Zähne des ersten zusammen zu arbeiten hat), und zwar als Hypozykloide durch Rollung innerhalb des Teilkreises des zweiten Rades. Es leuchtet ein, daß die Fußflanken der Zähne auf diese Weise gerade werden müssen (Abb. 18b), während die Kopfflanken eine Krümmung, die sog. „Wälzung“, bekommen. Die Flanke 1 ist durch Rollung von R_1 in T_1 entstanden, 2 durch Rollung von R_2 auf T_1 , 3 aber durch Rollung von R_2 in T_2 und 4 durch Rollung von R_1 auf T_2 ; je zwei zusammenarbeitende Flankenstücke haben denselben Rollkreis, je zwei zu einem und demselben Rade gehörige dagegen den gleichen Teilkreis. Abb. 19a zeigt eine vollständige, nach diesem Verfahren gearbeitete Verzahnung, einen sogenannten „Dolltrieb“. Denkt man sich alle 4 Kreise um ihre feststehenden Mittelpunkte aufeinander rollend, so beschreibt irgendein Punkt des einen Rollkreises die Kopfflanke des einen und die Fußflanke des anderen Rades und umgekehrt. Aus dieser Vorstellung erhellt, daß solche Kurven regelrecht aufeinander zu arbeiten imstande sein müssen, denn sie sind ja durch regelmäßige Rollung entstanden. — Wie man sieht, ist zwischen den Zähnen etwas Luft gelassen. Sie ist wegen des Spielraumes, den die Zapfen in ihren Löchern haben, zur Vermeidung von Klemmungen erforderlich. Der Zahngrund des Triebes, der sich an die Fußflanke anschließt, ist im Interesse einer größeren Haltbarkeit abgerundet, die

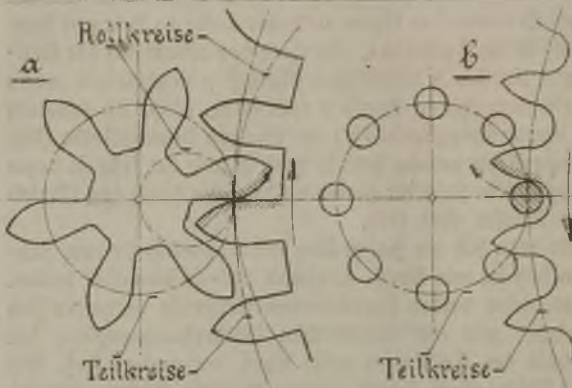


Abb. 19. Verzahnungen.

vor allem bei Federbrüchen und dem dabei entstehenden starken Ruck vonnöten ist. Natürlich darf die Ausrundung nur so weit erfolgen, daß für die Spitzen der Zähne

des anderen Rades noch genügend Spielraum übrigbleibt.

Eine Abart der Zykloidenverzahnung ist der 3. B. bei Schwarzwälder und Turmuhren häufig zur Anwendung kommende sogenannte „Hohltrieb“, der in Abb. 19 b dargestellt ist. Das kleinere, getriebene Rad trägt zylindrische „Triebstöcke“, die bei der Rotation an den Kopf flanken der Zähne des großen Rades entlanggleiten. Ein solches mit Triebstöcken besetztes Trieb nennt man auch eine Laterne. Die Fußflanke des großen Rades kommt beim Eingriffe nicht in Betracht. Die Kurve, nach der die Kopf flanken der Zähne gearbeitet sind, ist eine Äquidistante, d. h. eine Kurve gleichen Abstandes zu derjenigen Epizykloide, welche bei Rollung des kleinen Teilkreises auf dem großen von dem Mittelpunkte des Triebstockes beschrieben wird, und die in der Abbildung durch einen Pfeil angedeutet ist. Die Entstehung der Zahnform kann man sich dadurch veranschaulichen, daß man sich das große Rad stillstehend vorstellt und das kleine mit seinem Teilkreise auf dem des großen herumrollend; dann gleitet der Triebstock auf der Zahnflanke entlang.

Bei allen Verzahnungen kommt es neben genauer Teilung und Zahnform darauf an, daß eine genügende „Eingriffdauer“ vorhanden ist, d. h. daß der nächste Zahn sich bereits im Eingriff befindet, bevor der vorangegangene frei geworden ist; dies ist um so schwerer zu erreichen, je größer die Übersetzung ist. Da nun bei Uhren durchweg hohe Übersetzungen in Gebrauch sind, so muß man den Zahnkopf meistens zum Eingriff vollständig ausnutzen und darf ihn nicht abrunden

oder abschneiden, wie es im Maschinenbau gemacht wird; daher seine spitze Form. Geschieht dies trotzdem, wie es zuweilen bei Trieben zu sehen ist, so liegt der Eingriff ganz auf einer Seite der Mittellinie und ist bedenklich kurz.

Das Verhältnis der Zähnezahlen zweier ineinander greifender Räder ist umgekehrt proportional den erforderlichen Umdrehungszahlen, also gegeben, desgleichen das der Durchmesser der beiden Teilkreise, die sich wie die Zähnezahlen verhalten müssen, weil ja nur Räder mit derselben Zahnteilung zusammenarbeiten können. Die geringste, bei Trieben zweckmäßig anzuwendende Zähnezahl ist 6; bei kleineren Zahlen wird die Eingriffdauer mangelhaft. Die Teilung kann fein oder grob sein; grobe Teilung gewährt mehr Sicherheit gegen Bruch, feine arbeitet mit weniger Reibung und mit besserem Eingriff. Die größte Verzahnung hat das Triebrad, die feinste der Steigradtrieb, der kleineren Kräfte wegen.

Über die bei Uhren gelegentlich vorkommenden Kegel- und Schraubentradverzahnungen gehen wir hinweg; wer sich dafür interessiert, möge ein Spezialwerk zu Rate ziehen.

Die in den Zeitmessern wirklich angewendeten Zahnformen kommen dem oben skizzierten geometrischen Ideal mehr oder weniger nahe. Meist sind sie verhältnismäßig roh; bei Präzisionsuhren, Chronometern und astronomischen Pendeluhrern erreicht man dagegen eine hohe Genauigkeit durch Anwendung geeigneter Fräsen aus Edelmetall, mit denen man bis zu 2000 Zähne zu schneiden vermag, ehe sie unbrauchbar werden. Die nachträgliche Bearbeitung unrichtiger Verzahnungen mit der Wälzmaschine (vgl. S. 117) kann nur als Nothbehelf gelten.

Siebentes Kapitel.

Pendel und Unruh.

Das Pendel. Wie einst Newton durch Beobachtung des vom Baume fallenden Apfels zur Entdeckung des Gravitationsgesetzes geführt wurde und dadurch das Fundament schuf, auf das der ganze Bau der heutigen astronomischen Weltanschauung gegründet ist, so waren es die Schwingungen eines Kronleuchters in der Kathedrale zu Pisa, die den großen Galilei durch ihre Gleichmäßigkeit auf die Idee brachten, den Schwingungsvorgang zur Unterteilung der Zeit nutzbar zu machen. Beide Entdeckungen stehen in einem gewissen Zusammenhange. Die Bewegungen der Himmelskörper demonstrieren die Gleichmäßigkeit

im großen, die des Pendels im kleinen. Beide gehorchen den Gesetzen jener rätselhaften Schwerkraft, welche das ganze uns bekannte Weltall beherrscht. — Wie schon erwähnt wurde, war es Huyghens, der sich des neuen Meßinstrumentes zuerst theoretisch annahm. Sein im Jahre 1673 zu Paris erschienenenes Werk „*Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum*“ gibt den Stand des damaligen Wissens und Könnens.

Das Pendel besteht aus einem dünnen Stabe, an dem unten ein schwerer Körper angebracht ist, seiner Form wegen zumeist die Linse genannt. Der Stab ist derart beweglich aufgehängt, daß er sich nur in einer senkrechten Ebene bewegen kann. Das Pendel heißt dementsprechend auch ein „*ebenes*“. Die Aufhängevorrichtung ist ein sehr wichtiger Teil der Uhr, hat ihre Geschichte für sich und hat auch neuerdings wieder durch die Einführung der Federkrafthemmungen gewisse Wandlungen erfahren. Sie soll nicht bloß das Pendel tragen und ihm ein möglichst reibungsfreies Schwingen gestatten, sondern auch dafür sorgen, daß die Schwingungsebene derjenigen des Steigrades parallel bleibt, was sie nicht ohne äußeren Zwang tut, besonders wenn die Linse etwas schief steht. Denn jedermann weiß von dem Foucaultschen Pendelversuch her, daß die Schwingungsebene eines frei beweglichen Pendels sich im Laufe der Stunden dreht, oder vielmehr, daß die Erde unter dem Pendel rotiert. In unseren Breiten beträgt diese Drehung pro Stunde 11 bis 12°, d. h. beim Sekundenpendel pro Schwingung 12 Bogensekunden. Ist nun der Pendelkörper schwer und die Aufhängung zart, so erleidet sie dadurch eine gewisse zufällige Beanspruchung.

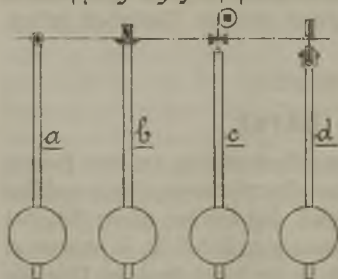


Abb. 20. Pendelaufhängungen.

Die verschiedenen Arten der Aufhängung sind folgende (Abb. 20): a) Aufhängung in Zapfen oder zwischen Körnern; nicht zweckmäßig wegen der großen, in den Lagern auftretenden Reibung; b) Aufhängung an auf Achatsplatten ruhenden Stahlschneiden, wie sie z. B. bei Wagen verwendet werden; sie war früher bei Turmuhren all-

gemein in Gebrauch, seit Bessel aber nachgewiesen hat, daß auch die härteste Schneide Formveränderungen unterliegt, ist man von dieser Konstruktion abgekommen; c) Aufhängung in einer Draht- oder

Seidenfadenschlinge; oft zu finden bei Schwarzwälder und Stuhuhren. Häufig sind die Fäden über eine Walze gewickelt, durch deren Drehung man das Pendel länger oder kürzer machen kann; d) Aufhängung an einer elastischen Stahlfeder, wie sie bei allen besseren Pendeluhren heutzutage angewendet wird. Clement, der Erfinder der Ankerhemmung, führte sie ein, und Le Roy nahm zuerst statt einer deren zwei nebeneinander, wodurch die Schwingungsebene des Pendels besser festgelegt wird (Abb. 21). Auch bei der

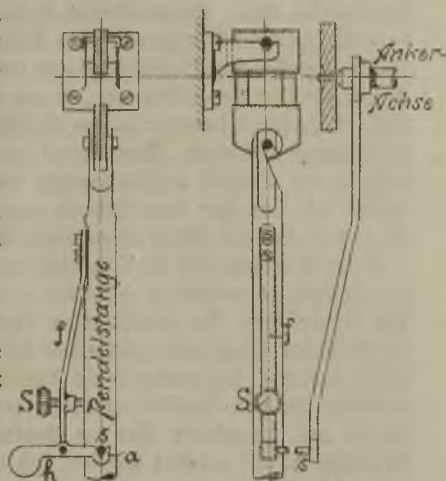


Abb. 21. Federaufhängung, Zapfenentlastung.

Federaufhängung läßt sich die Veränderung der Pendellänge nach dem Schema der Abb. 20c durch Heben oder Senken der oberen Federfassung bewerkstelligen (S. 50). Eine vollständige Theorie des Verhaltens der Pendelfeder und ihres Einflusses auf die Schwingung finden Interessenten in meiner auf S. 18 erwähnten Arbeit, die eine Ergänzung früherer Studien Bessels bildet.

Die Feinheit der Feder findet ihre Grenzen im Gewicht des Pendels, das sie zu tragen imstande sein muß, ohne Formveränderungen zu erleiden. In diesen wenigen Worten ist ein wichtiges Problem enthalten; glaubt man doch die feinsten, kaum mehr mit Instrumenten wahrnehmbaren Erderschütterungen verantwortlich machen zu können, wenn plötzlich mehrere weit voneinander entfernte astronomische Pendeluhrer pro Tag geringe Bruchteile der Sekunde zurückbleiben. Man sagt dann, die Pendelfeder habe sich unter dem Einflusse des Bebens gedehnt. Unterstützt wird diese Annahme dadurch, daß die Erscheinung regelmäßig nach einigen Wochen verschwindet, wenn die Feder wieder „ihre ursprüngliche Länge angenommen hat“, ferner dadurch, daß man durch Berührung des Pendels oder durch einen leichten Schlag gegen das Gehäuse der Uhr eine analoge Erscheinung

hervorrufen kann. Verwunderlich ist das eigentlich nicht, wenn man bedenkt, daß die Verlängerung eines Sekundenpendels um nur $\frac{1}{500}$ mm bereits ein tägliches Nachbleiben von fast $\frac{1}{10}$ Sekunde bedeutet. Auf Grund gewisser Beobachtungen, die am Rieflergange gemacht worden sind, ist Verfasser dagegen zu der Ansicht gekommen, daß jene Gangänderungen von einer „Ermüdung“ der Feder herrühren, einer auch sonst in der Technik wohlbekannten Erscheinung. — Jedenfalls befinden wir uns hier dem Gebiete gegenüber, auf welchem jetzt die Grenzen der mit Uhren erreichbaren Genauigkeit zu suchen sind.

Praktisch wichtig sind die Vorrichtungen, die die Schwingungsdauer des Pendels zu verändern gestatten und damit eine Regulierung der Uhr ermöglichen. Die verschiebbare Linse der gewöhnlichen Uhr und die drehbare Tragmutter derselben bei besseren Ausführungen sind jedem bekannt. Sie wirken durch Veränderung der reduzierten Pendellänge, die beim Senken der Linse samt der Schwingungsdauer zunimmt und umgekehrt. Bei der Betätigung der Stellschraube muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß die Aufhängefeder nicht durch Verdrehen beschädigt wird. — An Stuhuhren findet man gewöhnlich über der XII des Zifferblattes ein kleines Vierkant, durch dessen Drehung der Aufhängefaden bzw. die obere Federfassung gehoben oder gesenkt und damit die Pendellänge verändert werden kann (Abb. 20c).

Zweckmäßig ist es, sich vor dem Verstellen der Linse zunächst einmal klarzumachen, um wieviel man die Regulierschraube etwa zu drehen hat. Eine einfache Betrachtung des Ausdrucks für die Schwingungsdauer zeigt, daß man, wenn der Gang der Uhr um eine Minute pro Tag geändert werden soll, der Pendelschraube in erster

Annäherung eine Drehung von $550 \cdot \frac{z}{n}$ Umgängen zu erteilen hat, worin z die Zahl der Gewindegänge der Schraube pro cm und n die Anzahl der Pendelschläge pro Minute ist. Mit Hilfe einer solchen Überlegung kommt man rascher und sicherer zum Ziel als durch bloßes Probieren. Übrigens ist bei genauen Pendeluhrten der Zeitwert einer Umdrehung der Schraube meist schon mit angegeben und eine Teilung des Umfanges vorgesehen, welche die Ableseung von Bruchteilen einer Umdrehung ermöglicht.

Für feinere Einstellung genügt die bloße Verstellung der Linsenmutter nicht mehr; man bringt dann unterhalb der Linse auf der

Pendelschraube eine weitere Mutter mit Gegenmutter an, die vermöge ihrer Leichtigkeit nicht so stark wirkt wie die Linse selbst und infolgedessen ein genaueres Einstellen der Schwingungsdauer gestattet; das Herabsenken dieser Zusatzschrauben oder „Korrektionsscheiben“ wirkt ebenso wie das der Linse in verzögerndem Sinne. (Befänden sie sich oberhalb der Pendelstangenmitte, so würde die Wirkung eine umgekehrte sein.) — Ein noch feineres und praktischeres Reguliermittel besteht in der Anwendung von Zulagegewichten. Bringt man solche irgendwo an der Pendelstange zwischen dem Drehpunkt und dem Schwingungspunkt, d. h. dem Endpunkte der reduzierten Pendellänge an, so wirken sie durch Verkürzung der reduzierten Länge in beschleunigendem Sinne, und zwar desto stärker, je näher der Mitte sie zu liegen kommen, wie mathematisch leicht gezeigt werden kann. Das ist wichtig für das Verständnis der später zu besprechenden Aneroid-Luftdruckkompensation.

Befestigt man also an der Pendelstange etwa in halber Höhe einen kleinen Becher, so kann man durch Nachfüllen oder Wegnehmen von Schrotkörnern eine feine Regulierung vornehmen. Allerdings erfordert diese Manipulation ein Anhalten oder zum mindesten ein Berühren des Pendels, und das ist bei genau gehenden Uhren wegen der Empfindlichkeit der Aufhängefeder vom Übel. Deshalb hat Riesler den Gewichten die Form langer, dünner Aluminiumstreifen gegeben, die während des Ganges bequem auf ein an der Pendelstange befindliches Tellerchen gelegt, resp. abgenommen werden können. Die Streifen sind nach ihren Zeitwerten sortiert, und damit ist jedes Herumprobieren vermieden. Man fertigt sie für eine Beschleunigung von 0,2, 0,5, 1, 2 usw. Sekunden pro Tag an. Sie lassen sich auch dazu benutzen, um eine abgewichene Uhr ohne Berührung der Zeiger und ohne Anhalten wieder auf den richtigen Stand zurückzubringen, indem man sie nur so lange aufgelegt oder abgenommen läßt, als erforderlich ist, um den Standfehler zu korrigieren.

Bei den allerfeinsten Werken, die ein häufiges Betreten des Uhr-raumes oder gar das Öffnen des Kastens nicht gut vertragen, oder bei solchen, die unter luftdichtem Glasverschluß arbeiten, ist eine derartige Methode der Regulierung und der Standortkorrektur natürlich unbrauchbar. Man begnügt sich bei ihnen entweder damit, daß man den jeweiligen Stand notiert und die Uhr selbst ungeschoren läßt, oder man wendet Apparate an, die das Einstellen auf elektromagnetischem Wege

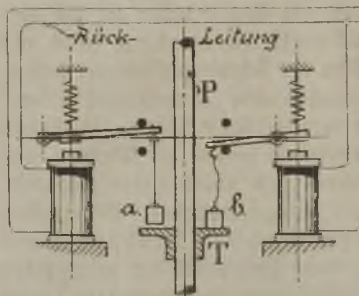


Abb. 22. Feinjustiervorrichtung.

aussiehend. Die Anker zweier Elektromagnete besorgen das Aufschieben und Abheben. Wird der linke Magnet erregt, so setzt sich a auf, und die Uhr geht pro Stunde 0,1 Sekunde rascher, umgekehrt aber ebensoviel langsamer, wenn b durch den rechten Magneten gehoben wird. Zur Verbindung der Vorrichtung mit der Außenwelt genügen zwei Zu- leitungsdrähte und eine gemeinsame Rückleitung. So kann der Stand der Uhr von beliebiger Stelle aus, z. B. direkt von der Sternwarte, sanft und erschütterungsfrei korrigiert werden, wenn auf chronographischem Wege eine Abweichung festgestellt worden ist. Der Vorzug der Einrichtung besteht in der außerordentlichen Zartheit, mit der die Einstellung erfolgt.

Wir kommen nun zu dem wichtigen Gebiete der Pendelstörungen. Die schlimmste derselben ergibt sich aus der Veränderlichkeit der Pendeldimensionen mit der Temperatur. So beträgt z. B. der Ausdehnungskoeffizient des Messings 0,000019; mithin erleidet ein Sekundenpendel mit einer Stange aus diesem Material pro Grad Erwärmung eine Verlängerung von etwa 0,02 mm, was einem täglichen Zurückbleiben der Uhr um fast eine Sekunde entspricht. Da nun beispielsweise die Temperatur einer Turmuhr um 50 und mehr Grade schwanken kann, so läßt sich ermessen, welche Unregelmäßigkeiten der Gang aufweisen muß, wenn keine besonderen Vorkehrungen getroffen sind. Daher erfolgte die Entdeckung dieser Störung auch schon bald nach der Einführung des Pendels, im Jahre 1669. Es lag nahe, für die Pendelstange ein Material zu benutzen, das einen geringeren Ausdehnungskoeffizienten besitzt als die Metalle. Graham, dem wir in der Geschichte der Erfindungen noch öfter begegnen werden, war der

ermöglichen, abgesehen von dem später noch zu erläuternden Gebrauch der Luftpumpe. Interessant ist folgende von Riefler angegebene, in Abb. 22 dargestellte Feinjustiervorrichtung. Über einem 27 cm von der Drehachse entfernt an der Pendelstange P angebrachten Teller T befinden sich zwei Gewichtchen a und b, das eine an einem Kokonfaden hängend, das andere

erste, der hölzerne Pendelstangen zur Anwendung brachte, die zwar keine so geringe Längenveränderlichkeit besitzen als z. B. gläserne, aber wenigstens nicht zerbrechlich sind. Auch andere Stoffe, z. B. Schiefer, wurden probiert, ohne aber dauernd in Gebrauch zu kommen. Die feinfaserige Tannenholzstange dagegen hat sich bis auf den heutigen Tag erhalten, trotz ihrer großen Empfindlichkeit gegen die Luftfeuchtigkeit, die sich auch durch Olimprägnation, Firnis und Politur nicht ganz beseitigen läßt. Diese Empfindlichkeit ist die Hauptursache des mangelhaften Ganges der mit Holzpendeln ausgerüsteten sogenannten „Regulatoren“, die ihren Namen mit nichten verdienen, denn Gangänderungen von mehreren Sekunden pro Tag sind bei ihnen an der Tagesordnung, und eine gute Präzisionstaschenuhr ist entschieden vorzuziehen. — Graham selbst erkannte die Nachteile der Holzstange bald und wandte deshalb sein Interesse den von Jos. Harrison im Jahre 1726 angegebenen Rostpendeln zu, bei denen die verschieden große Ausdehnung verschiedener Metalle dazu benutzt wird, die Schwingungsdauer von der Temperatur möglichst unabhängig zu machen. Ein Rostpendel besteht aus einer Kombination einer ungeraden Zahl von Stäben, z. B. von drei Stahl- und zwei Zinkstäben (Abb. 23). Da die Ausdehnungskoeffizienten von Stahl und Zink sich rund wie 1:2 verhalten, so werden die beiden Zinkstangen Z bei steigender Temperatur eine etwa ebenso große Hebung der Pendellinse verursachen, als die drei Stahlstangen S sie herabsinken lassen. Wendet man statt Stahl und Zink z. B. Stahl und Messing an, deren Ausdehnungskoeffizienten sich ziemlich genau wie 2:3 verhalten, so sind fünf Stahl- und vier Messingstangen erforderlich, wie man leicht einsehen kann. Gewöhnlich ist die mittellste der Stangen des Rostes aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzt, deren unteres röhrenförmig ausgebildet ist und das obere umhüllt; je nach der Stelle, an welche man die die beiden verbindende Klemmschraube K hinsetzt, kommt das eine oder das andere Metall mehr zur Geltung, wodurch eine Art Regulierung der Kompensationswirkung möglich wird. Die Rostpendel werden auch so konstruiert, daß je zwei symmetrisch gelegene Stangen zu einer die inneren Stangen umschließenden Röhre

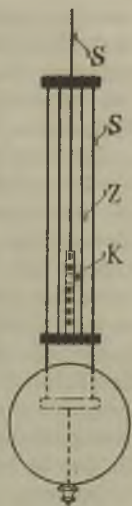


Abb. 23.
Rostpendel.

erweitert werden, so daß das ganze System aus einer Stange und mehreren Röhren besteht und das Aussehen eines einzigen Stabes bekommt; solche „Röhrenpendel“ sind aber deshalb unvorteilhaft, weil die eingeschlossenen Stangen resp. Röhren den Schwankungen der Temperatur langsamer folgen als die äußeren.

Die Rostpendelkonstruktionen zielen also darauf ab, die Höhenlage der Pendellinse und ihres Schwerpunktes konstant zu halten, während die Schwingungsdauer nicht hiervon, sondern von der reduzierten Pendellänge abhängt (S. 18). Dies Verfahren würde nur dann berechtigt sein, wenn die Linse im Verhältnisse zum Roste so schwer wäre, daß der Einfluß des letzteren auf die Schwingung vernachlässigt werden könnte. Einer genauen Berechnung ist das Rostpendel kaum zugänglich, und auch das Probieren führt selten zu einem befriedigenden Resultat. — Man glaube ja nicht, daß die an unseren Wanduhren gelegentlich zu findenden rostartigen Konstruktionen eine tatsächliche Kompensationswirkung gegen Temperaturschwankungen entwickeln; sie sind in den meisten Fällen nichts als wertlose Zierstücke.

Diejenige Idee, die bisher die beste Temperaturkompensation ermöglicht hat und zugleich den Vorteil besitzt, auf jedwede Komplikation der Pendelkonstruktion zu verzichten, ist folgende: man verfertigt die Pendelstange aus einem Material, dessen Ausdehnungskoeffizient im Verhältnis zu dem des Linsenkörpers ein sehr kleiner ist, und läßt sich letzteren in gewöhnlicher Weise auf eine unter ihm auf der Stange befindliche Schraubenmutter stützen. Es ist klar, daß die bei steigender Temperatur eintretende geringfügige Verlängerung der Stange bei zweckentsprechender Wahl der Materialien durch die starke Ausdehnung der Linse selbst, die ja nur nach oben erfolgen kann, ausgeglichen wird. Eine solche Anordnung hat auch den Vorzug, daß sich ihre Verhältnisse rechnerisch festlegen lassen, wodurch das lästige und zeitraubende Herumprobieren vermieden werden kann. Es kommt also nur darauf an, passende Materialien ausfindig zu machen.

Von den Versuchen mit Holz-, Schiefer- und Glasstangen mit Metallinse ist bereits gesprochen worden. Graham erkannte in dem Quecksilber ein geeignetes Linsenmaterial für ein Pendel mit Metallstange, da seine räumliche Ausdehnung etwa 15 mal größer ist als die lineare des Stahles, während sein Gewicht das der meisten Metalle noch übertrifft. Mit seiner Anwendung wird die Linse natürlich zu

einem Gefäße, das unten an der Stange befestigt ist. Dehnt sich die Stange samt der Aufhängefeder aus, so steigt auch das Quecksilber in dem Gefäß, wie in einem Thermometer, nur in entsprechend geringerm Maße, und paralyziert dadurch die entstandene Pendelverlängerung. Die Berechnung eines solchen Quecksilber-Kompensationspendels wird dadurch kompliziert, daß auch das Gefäß, welches aus Eisen oder Gußstahl besteht, an der Ausdehnung teilnimmt; man ist oft gezwungen, seine Wirkung nachträglich noch zu korrigieren, wie dies z. B. an der Uhr der Sternwarte Neuchâtel noch nach mehrjährigem Betriebe notwendig wurde. — Ein Übelstand des Quecksilberpendels besteht darin, daß die große Flüssigkeitsmasse im Gefäß in Bewegung geraten kann und außerdem den Schwankungen der Zimmertemperatur nicht so rasch zu folgen vermag wie die dünne Metallstange; daher entsteht z. B. durch einen plötzlichen Temperatursturz ein so lange andauerndes Vorgehen der Uhr, bis auch das Quecksilber die niedrige Temperatur der Stange angenommen und sich entsprechend zusammengezogen hat. Bei Heizung des Uhrraumes können außerdem Temperaturstichtungen auftreten, welche dauernde Verschiedenheiten in den Temperaturen der einzelnen Pendelteile hervorrufen. Man tut deshalb gut, die Uhr in einem Raume mit möglichst konstanter Temperatur aufzustellen und außerdem die Quecksilbermasse in mehrere kleinere zu unterteilen (S. 57). Neuerdings sind Vorschläge gemacht worden, das Quecksilber durch ein festes Material von ähnlicher Ausdehnung, als sie jenes besitzt, zu ersetzen, z. B. durch Ebonit; die Pendelstange soll unten auf der Schraubennutter eine Ebonitröhre tragen und diese wieder die Metallrinne.

Weitere Vervollkommnungen wurden ermöglicht durch die Entdeckung des Dr. Guillaume in Sevres, daß eine Legierung von 35,7% Nickel und 64,3% Stahl, Invar genannt, einen Ausdehnungskoeffizienten besitzt, der nur rund $\frac{1}{18}$ von dem des Messings ist, nämlich etwa 1 Millionstel der Stangenlänge für einen Grad Celsius. Zunächst erwies sich das Invar allerdings als nicht recht geeignet, weil es infolge der in ihm herrschenden Molekularspannungen bei Temperaturwechsel Neigung zu sprungweisem Zusammenziehen oder Ausdehnen hatte, jedoch ist es gelungen, durch einen wochenlangen Temperungsprozeß, der von 180° ausgehend unter häufigem Erschüttern bis zur Lufttemperatur herab fortgeführt wird, jenen Übelstand so weit zu beheben, daß der Nickelstahl nunmehr als ein

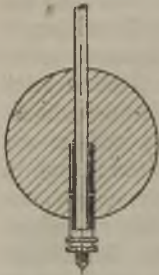


Abb. 24.
Rieflerpendel.

für Pendelstangen außerordentlich geeignetes Material betrachtet werden muß, das neuerdings allenthalben das Quecksilberpendel der astronomischen Uhren verdrängt und auch schon in die Chronometer- und Taschenuhrenfabrikation eingedrungen ist. Übrigens hat Dender gezeigt, daß das Material jedes Pendels erst nach Jahren zur Ruhe kommt, wenn sich seine Eigenspannungen allmählich ausgeglichen haben. — Das Riefler'sche Nickelstahlpendel, von dem schon ca. 2000 Stück in Gebrauch sind, hat folgende sehr einfache Konstruktion (Abb. 24): auf die Mutter der 10 bis 14 mm starken Nickelstahlstange sind zwei zusammen 100 mm lange Hüllen aus Stahl und Messing aufgesetzt, die ihrerseits wieder die schwere, aus Messing oder Gußeisen bestehende Linse in ihrem Mittelpunkte unterstützen. Das Verhältnis der Länge der Stahlhülle zu derjenigen aus Messing, deren Ausdehnungskoeffizient 1,5 mal größer ist, wird so gewählt, daß die Summe ihrer Ausdehnungen gerade hinreicht, um die reduzierte Pendellänge konstant zu halten. Es wechselt wegen der Verschiedenheit der Nickelstahlstäbe, deren jeder physikalisch auf Ausdehnung geprüft wird, von Fall zu Fall; je stärker die letztere ist, um so mehr Messing muß man anwenden. In extremen Fällen nimmt man seine Zuflucht zu dem sich doppelt so stark als Stahl ausdehnenden Aluminium an Stelle des Messings. Die Errechnung der Dimensionen erfolgt mit solcher Genauigkeit, daß ein nachträgliches Probieren oder Korrigieren so gut wie überflüssig ist; das Pendel der Uhr des geodätischen Instituts zu Potsdam hat z. B. einen Temperaturkoeffizienten von nur + 0,00015 Sekunden pro Grad und Tag, d. h. um diesen kleinen Betrag geht die Uhr pro Tag langsamer, wenn die Temperatur um einen Grad Celsius gestiegen ist. — Die Invarpendel werden auch in billigeren Ausführungsformen gebaut, doch so genau, daß der Temperaturkoeffizient immer noch unter 0,02 Sekunden pro Tag und Grad liegt. Durch Einführung eines solchen an Stelle eines Holzpendels läßt sich mancher Regulator erheblich verbessern, wie Verfasser selbst erprobt hat.

In neuester Zeit hat man Versuche angestellt mit röhrenförmigen Pendelstangen aus geschmolzenem Quarz, einer amorphen Masse vom spezifischen Gewicht 2,2, deren Ausdehnungskoeffizient zu den

kleinsten gehört, die man kennt. Ein solches Pendel weicht selbst bei völligem Verzicht auf Kompensation pro Tag und Grad etwa nur 0,02 Sekunden ab; jedoch steht die große Zerbrechlichkeit des Materials seiner allgemeinen Einführung hindernd im Wege.

Eine neue Erfindung Rieflers ist das Schichtungskompensationspendel, bei dem der Kompensationskörper nicht in der Linse, sondern an einer bestimmten Stelle der Stange angebracht ist; hierdurch wird erreicht, daß die Kompensation auch dann noch wirksam ist, wenn die Luft oben bis zu 30° wärmer als unten ist, allerdings unter der Voraussetzung, daß sich die Temperatur längs der Pendelstange ungefähr gleichmäßig ändert, wie es z. B. dem sogenannten adiabatischen Gleichgewicht der Atmosphäre entspricht. In Potsdam angestellte Versuche haben einen Gangunterschied von 0,0087 Sekunden ergeben für einen Grad Temperaturdifferenz zwischen oberem und unterem Ende.

Schließlich kann man die Wärmestörungen auch noch dadurch weiter abschwächen, daß man die kompensierte Uhr in einen Raum mit möglichst geringen und langsam verlaufenden Temperaturschwankungen stellt. So befindet sich die Uhrenanlage der Sternwarte zu Bergedorf in einer allseitig vollkommen abgeschlossenen Betonkammer, die ihrerseits von einem ventilierbaren, ebenfalls geschlossenen Gange umgeben ist; die Instrumente selbst stehen auf tief fundierten und daher erschütterungsfreien Pfeilern. In der Uhrenkammer des Elgin-Observatoriums in Nordamerika hat man außerdem noch einen Glühlampenheizkörper eingebaut, der die Temperatur automatisch auf 27° erhält und deshalb Thermostat genannt wird; er ist natürlich so montiert, daß er weder durch Wärmestrahlung noch durch Bildung von Temperaturschichten schädlich wirken kann. — Durch eine solche Stabilisierung der Temperatur wird neben der Veränderung des Pendels auch noch ein Verziehen des Werkes, des Gehäuses und des Fundaments sowie vor allem eine Variation der Zähigkeit des Schmieröles vermieden; d. h. alle Faktoren, die auf den Gang von Einfluß sein könnten, werden so konstant wie möglich gehalten.

Dergestalt eingerichtete Uhrenräume dürfen von Personen nur ausnahmsweise betreten werden, weil jeder Besuch einen Wärmetransport bedeutet; die elektrischen Aufzugs-, Serneinstellungs- und Zeitmeldevorrichtungen machen ihn ja auch im allgemeinen überflüssig.

Eine weitere Störung des Pendels ergibt sich aus der Schwankung des



Abb. 25.

Luftdruck-Kompensation.

Luftdruckes. Wie bereits auf S. 19 gezeigt wurde, steigt die Schwingungsdauer mit der Luftdichte infolge des vergrößerten Widerstandes und des erhöhten Auftriebes durch die Atmosphäre. Doch ist diese zweite Störung nicht entfernt so stark wie die durch die Wärme verursachte und kommt deshalb nur für feine Präzisionswerke in Betracht. Je nach der Form des Pendels, insbesondere der Linse, beträgt der Luftdruckkoeffizient eines Sekundenpendels etwa 1 bis 2 Hundertstel Sekunde, d. h. um soviel geht die Uhr pro Tag langsamer, wenn das Barometer um 1 mm Quecksilbersäule steigt.

Ein Radikalmittel gegen die Schwankungen des Luftdruckes ist die Einkapselung der Uhr in einen luftdichten Glaszylinder (Abb. 50). Derselbe braucht durchaus nicht evakuiert zu sein, denn wenn die Zahl der Luftmoleküle pro Volumeneinheit konstant ist, so ist es auch der Widerstand, den sie dem Pendel entgegensetzen, ganz unabhängig von dem unter dem Glase herrschenden Druck, der bekanntlich mit der Temperatur veränderlich ist. Nichtsdestoweniger pumpt man den Glaszylinder möglichst stark aus, um ihn dann mit künstlich getrockneter Luft wieder aufzufüllen, aber nicht ganz, sondern nur bis zu einem gewissen Unterdruck, z. B. bis zu 650 mm Quecksilber. Das hat folgenden Zweck: indem man sich so die Möglichkeit einer Veränderung des Druckes nach unten und oben (durch Auspumpen oder Lufteinlassen) offenhält, hat man ein vorzügliches und sehr feines Mittel zur Regulierung der ja sonst unzugänglichen Uhr an Stelle der Zulagegewichte, das bei Nichtvorhandensein eines Einstellungsapparates auch gelegentlich zur Standkorrektur benutzt werden kann.

Es gibt aber auch Vorrichtungen, die die Kompensation des Luftdruckes ohne die Anwendung des teuren und unbequemen Verschlusses in recht guter Weise erreichen. Die von Dr. Riefler bei seinen astronomischen Uhren ohne Glasverschluß zur Anwendung gebrachte Konstruktion besteht aus einem mit Gewichten belasteten Aneroid, d. h. einer luftleer gemachten Dose aus gewelltem Blech, die an der Seite der Pendelstange oberhalb der Mitte derselben angebracht ist (Abb. 25). Die Verhältnisse sind so getroffen, daß die bei steigendem Barometer erfolgende Zusammenpressung des Aneroids das Be-

lastungsgewicht gerade so weit senkt, daß die Verlängerung der Schwingungsdauer ausgeglichen wird; denn nach dem auf S. 51 Gesagten wirkt ein Zulagegewicht um so intensiver beschleunigend, je mehr es der Mitte der Pendelstange, diese letztere bis zum Schwingungspunkte gerechnet, genähert wird. Die Vorrichtung wird deshalb etwa in $\frac{1}{4}$ der Pendellänge unterhalb der Drehachse angeschraubt. Würde sie unterhalb der Stangenmitte befestigt, so wirkte sie verschlimmernd, in der Mitte selbst aber überhaupt nicht. Nach den Untersuchungen Dr. Rüdigers auf der Sternwarte zu Königsberg arbeitet das Aneroid der dortigen Uhr so gut, daß die Luftdruckkonstante des Instruments unter einem Tausendstel Sekunde liegt.

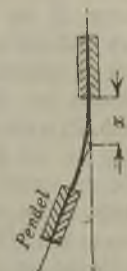


Abb. 26.
Ideeller Pendel-
drehpunkt.

Ein wichtiger Konstruktionsteil ist die Führungsgabel des Pendels, die seine Verbindung mit der Hemmung herstellt. Auf die Ankerachse ist ein Arm aufgesetzt, welcher an seinem unteren Ende eine Gabel trägt, die die Pendelstange lose umflammt, resp. einen Stift, der in einen Schliß der Stange eingreift, oder sich auch bloß von der Seite an sie anlegt. Die Vorrichtung muß eine seitliche Verstellung zulassen, entweder durch eine Schraube oder durch Biegen des Armes, damit man einen etwaigen ungleichen Abfall, das sogenannte Hinken der Uhr, ohne Verschiebung des Gehäuses beseitigen kann. Die Achse des Ankers soll in der Verlängerung der ideellen Pendeldrehachse liegen, die, wie Verfasser nachgewiesen hat, bei hinreichend kleiner Schwungweite um x cm unterhalb der oberen Federklemmung befindlich zu denken ist (Abb. 26); es ist:

$$x = \frac{z-1}{z+1} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{G}}, \text{ worin: } z = e^{1 \cdot \sqrt{\frac{G}{E \cdot J}}}$$

und G das Pendelgewicht, l die Federlänge, J das Trägheitsmoment ihres Querschnittes und E ihr Elastizitätsmodul, alles in Zentimetern und Kilogrammen gerechnet, sowie e die Basis der natürlichen Logarithmen, 2,718. Durch die Auffindung dieses Ausdrucks für x ist der Streit über die Existenz und die Lage der „Drehachse“ entschieden. Unter normalen Verhältnissen ist x rund gleich einem Drittel der Federlänge.

Eine geringe Reibung in der Pendelführung infolge exzentrischer Lage der Ankerachse beeinflusst den Gang erheblich, besonders bei Turmuhren, weswegen die Gabel etwas Öl erhalten muß. Unange-

nehm ist die Belastung, die die Tragzapfen der Ankerachse durch den Gabelarm erfahren; man tut deshalb gut, ihn so leicht wie möglich zu machen, ja man hat Konstruktionen erfunden, die die Last des Armes der Achse abnehmen und sie auf das Pendel übertragen. Abb. 21 zeigt eine solche nach Strasser in Glashütte im Auf- und Kreuzriß. An der Pendelstange ist seitlich eine Blattfeder *f* angeschraubt, die an ihrem unteren freien Ende einen doppelarmigen Hebel *h* trägt, dessen einer Arm mit dem Dreiecksauschnitt *s* sich von unten gegen den Stift *s* des Führungsarmes legt und ihn somit umklammert, während der andere Arm als Gegengewicht ausgebildet ist, und zwar von solcher Schwere, daß der hintere Zapfen der Ankerachse gerade entlastet wird. Die Schraube *s* dient zum seitlichen Verstellen der Feder, d. h. zum Ordnen des Abfalles.

Die gewöhnliche Führungsvorrichtung des Pendels, wie sie hier beschrieben ist, erleidet mancherlei Abänderungen. So ist bei Schwarzwälder Uhren das Pendel oft in die als Haken ausgebildete Führungsgabel selbst eingehängt, wodurch das Schwingungsgesetz eine wesentliche Modifikation erfährt (Problem von „Glocke und Klöppel“). Bei den Hemmungen mit stetiger Kraft, insbesondere bei den modernen Federkrafthemmungen, fällt die Gabel vollständig fort, und der Antrieb erfolgt mit Hilfe der Aufhängefeder oder sonst irgendwie.

Eine besondere Form des Pendels ist das sogenannte sphärische, auch Kegel- oder Zentrifugalpendel genannt, dessen Stange nicht eine Ebene, sondern eine Kegelfläche beschreibt. Die Aufhängung erfolgt an einem biegsamen Faden oder an einer aus zwei Einzelfedern bestehenden doppelten Feder, deren Ebenen aufeinander senkrecht stehen, so daß wie beim Universalgelenk Bewegungsfreiheit nach allen Seiten herrscht. Der Antrieb geschieht durch einen vom Werk direkt ohne Zwischenschaltung einer Hemmung gedrehten wagerechten Arm, dessen senkrechte Drehachse mit der Mittellinie des stillstehenden Pendels zusammenfällt, und der sich unterhalb der Kugel seitlich an die Stangenspitze anlegt. Die Bewegung des Werkes und des Pendels ist also eine kontinuierliche, und von einer eigentlichen Schwingung ist keine Rede. Der Apparat stellt vielmehr eine besondere Form der Dämpfung dar, eine Art verbesserten Windfang; denn der einzige Umstand, der ihn befähigt, die überschüssige Energie des Triebwerkes aufzunehmen, ist der Luftwiderstand, den die Kugel erfährt. Daß seine Funktion sehr vom Barometerstande abhängt, ist hiernach nicht verwunderlich.

Erheblich sind die praktischen Schwierigkeiten, die sich der Ausführung eines Kegelpendels entgegenstellen. Schwer ist vor allem, den Antrieb so zu gestalten, daß die Bewegung tatsächlich in einem Kreise erfolgt, d. h. daß die Pendelspitze nicht an der Antriebsstange hin- und herreißt, sondern relativ ruht. Ist der Durchmesser der Bahnkurve im Verhältnis zur Stangenlänge hinreichend klein, so entsteht bei Abweichungen vom Kreise eine elliptische Bahn; bei weiterer Ausschwingung jedoch pendelt der Ausschlagwinkel um seinen Mittelwert mit einer Schwingungsdauer, die größer ist als ein Viertel der ganzen Umlaufzeit. — Für genaue Zeitmesser hat der Apparat daher keine Anwendung gefunden, trotz der Einfachheit seiner ganzen Anordnung. Die überraschend guten Erfahrungen, die Dr. Zeißig auf der Erdbenenwarte Jugenheim an einem mit Reibungsbremse ausgerüsteten Rieslerkegelpendel von 2 Sekunden Umlaufzeit zeitweise gemacht hat (mittlere tägliche Variation etwa 0,5 Sekunde! Vgl. S. 107), dürfen nicht ohne weiteres verallgemeinert werden.

Die Regulierung geschieht ebenso wie beim ebenen Pendel durch Verlängerung oder Verkürzung; diese wirkt aber hier keinesfalls durch Veränderung einer gar nicht vorhandenen „Schwingungsdauer“, sondern einfach dadurch, daß unter sonst gleichen Umständen bei vergrößerter Pendellänge ein stärkeres Antriebsmoment dazu gehört, um dieselbe Drehungsgeschwindigkeit zu unterhalten.

Die Unruh. Bei der nicht ortsfesten Uhr tritt an Stelle des Pendels die von Hooke 1660 angegebene Unruh oder Balance. Sie ist durch Weiterentwicklung aus der vor der Einführung des Pendels auch bei stationären Werken gebräuchlich gewesenen Wage hervorgegangen, indem der einfache, um eine lotrechte Achse drehbare Balken zu einem vollständigen Rade mit mehreren Speichen oder Schenkeln erweitert wurde. Zu einem wirklich schwingenden Regler wurde die Unruh aber erst durch die Hinzufügung der elastischen Spiralfeder. Die ersten Taschenuhren überhaupt konstruierte der Nürnberger Schlosser Peter Henlein um das Jahr 1511; sie „schlugen und zeigten“ 40 Stunden lang.

Mit der Einführung der Spirale, die die Unruh aus jeder Stellung in die Mittellage zurückzuführen bestrebt ist, wurde jede Art von Hemmung anwendbar, während vordem nur rückfallende Gänge (siehe unter Hemmungen) brauchbar gewesen waren, die jenes Zurückführen selbst besorgten, höchstens unterstützt durch die Wirkung zweier Schweinsborsten, an welche die Balance in ihren äußersten Lagen anstieß.

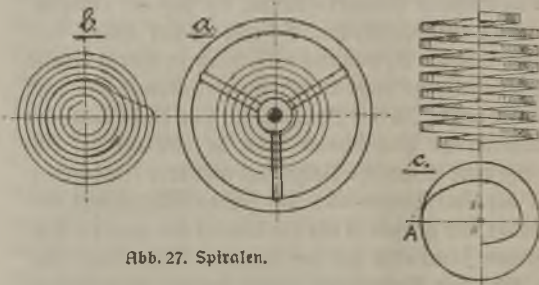


Abb. 27. Spiralen.

Die Unruhe ist ein Rad mit verhältnismäßig starkem Kranz, dabei, soweit es geht, glatt und ohne Vorsprünge gehalten, des Luftwiderstandes halber. In einem auf ihrer

Achse befindlichen Röllchen ist das innere Ende der Spirale befestigt, die, aus einem dünnen, elastischen Bande bestehend, die Achse in engen Windungen umgibt, um außen in einem festen Klöbchen zu enden (Abb. 27a). Das Material, aus dem sie hergestellt ist, ist gehärteter, blau angelassener Stahl (neuerdings auch Nickelstahl), den man eben noch biegen kann; man findet aber auch Spiralen aus federhartem Golde oder aus Palladium, letzteres aus magnetischen Gründen und des Rostens wegen. Die Breite der Klinge einer Taschenuhrspirale beträgt etwa 0,4 mm, die Stärke 0,02 mm und ihr Gewicht 0,015 g. Ein Kilogramm zu feinen Spiralen verarbeiteten Stahls kostet über 30 000 M.

Die Spirale soll auf die Unruhe keinen seitlichen Druck oder Zug ausüben, der die Zapfen belasten und die Reibung vermehren würde. Wenn man jedoch das Spiel einer gewöhnlichen Spirale betrachtet, so bemerkt man bei den Schwingungen ein seitliches Herausquellen und Abweichen von der Kreisform, dem eine zusätzliche „innere Spannung“ der Spirale, ein Seitendruck auf die Unruhachse und ein Hin- und Herwandern des Spiralschwerpunktes parallel läuft. Wie schon auf S. 21 bemerkt wurde, ist das für einen genauen Gang in allen Lagen sehr hinderlich. Der Grund dieser Asymmetrie liegt offenbar in dem Vorhandensein des Befestigungsklöbchens, das an der einen Seite die Ausdehnung der Spirale unmöglich macht. Deshalb kam Breguet auf den Gedanken, auch den äußeren Befestigungspunkt so weit als möglich nach der Mitte zu verlegen. Er erreichte dies dadurch, daß er die letzte Spiralwindung aufbog und dann bogenförmig über die anderen Windungen hinweg in einer zweiten, über der Spirale liegenden Ebene nach der Mitte zu führte (Abb. 27b). Ein Stück des Bogens ist als konzentrischer Kreis ausgebildet, um die Anwendung des weiter unten

zu besprechenden Ruders zu ermöglichen. Fast alle besseren Taschenuhren haben heutzutage eine Breguetspirale. Außerdem gibt es noch andere, mehr Höhenraum erfordernde Spiralförmungen, deren gebräuchlichste die Schraubenspirale der Chronometer ist (Abb. 27c).

Sehr wichtig ist der schon besprochene Isochronismus der Unruh. Es gelingt, die Spiralen so zu arbeiten, daß die kleinen und die großen Schwingungen gleich lange dauern, oder auch je nach Belieben die einen länger als die anderen. Von Einfluß auf den Isochronismus ist vor allem die Form der Endkurven der Spirale (Prinzip von Phillips), ferner ihre Windungszahl und Länge (Prinzip von Le Roy), zuletzt aber auch die Zapfenreibung und die Arbeitsweise der Hemmung. Hält das Wachstum des Drehmomentes der Spirale mit dem des Winkels nicht gleichen Schritt, so dauern die weiten Schwingungen länger als die kleinen (wie beim Pendel) und umgekehrt. Wer sich speziell für die Anschauungen des Praktikers interessiert, sei auf die Preisschrift von Immisch über den Isochronismus, Weimar 1879, verwiesen; wissenschaftlich erschöpft ist das Thema durch die schon auf S. 20 zitierte Arbeit von Phillips. Abb. 27c zeigt im Grundriß eine Endkurve, die den von Phillips aufgestellten Isochronismusbedingungen Genüge leistet (ihr Schwerpunkt S liegt auf dem zu OA senkrechten Radius, und ihre Länge, mit OS multipliziert, ist gleich dem Quadrat von OA). Eine mechanische Vorrichtung zur Bestimmung solcher Endkurvenformen hat Guillaume 1898 angegeben. Der Schwerpunkt einer dergestalt ausgebildeten Spirale bleibt stets auf der Drehachse, und ihre Formänderung geschieht ohne jede Asymmetrie.

Physikalisch bemerkenswert ist die Erscheinung, daß die Spiralen mit der Zeit einer Veränderung ihrer molekularen Struktur unterliegen, infolgedessen der Gang der Chronometer eine sogenannte dauernde Akzeleration erleidet, die positiv, aber auch negativ sein kann und meistens nach einem halben bis einem ganzen Jahre Betriebszeit von selbst verschwindet. Ferner reagiert die Spirale auf jede Überbeanspruchung durch zu heftiges Spannen, wie es bei plötzlichen Bewegungen des Uhrgehäuses eintreten kann, mit einer Schwächung, die sich in einem einige Zeit anhaltenden Nachgehen bemerkbar macht. Bei den Beobachtungen des täglichen Lebens ist von alledem natürlich nichts zu spüren, wohl aber von dem Zurückbleiben der Uhr, welches durch Rostansatz auf der Spirale hervorgerufen wird, und zwar selbst dann, wenn der Rostfleck mit bloßem Auge kaum erkennbar ist.

Da somit auch die bestregulierte Uhr nicht auf die Dauer ihren Gang beibehält, so muß man eine Vorrichtung anbringen, mit deren Hilfe man die Schwingungsdauer der Unruh beeinflussen kann, ähnlich wie es beim Pendel durch Verstellen der Linse geschieht. Dies Mittel ist der Ruder. Je geringwertiger die Uhr ist, die jemand besitzt, um so öfter ist er gezwungen, ihn zu betätigen und sich zwischen retarden und avancer zu entscheiden. Der Ruder ist ein um dieselbe geometrische Achse, wie die Unruh selbst, drehbarer Konstruktionsteil, der einen feinen Schliß hat, durch den die äußerste Windung der Spirale, bei der Breguetform das kreisförmige Stück des aufgebogenen Endes, hindurchgeführt ist. Der Schliß soll unten durch einen sogenannten Schlüssel abgeschlossen sein, damit nicht bei heftigen Bewegungen auch die zweite Windung in ihn hineingeraten kann; Breguetspiralen machen den Schlüssel überflüssig. Der Ruder schaltet gewissermaßen das Ende der Spirale von der Tätigkeit aus und macht sie dadurch kürzer und unelastischer; je mehr man ihn daher von dem Endpunkte der Spirale entfernt, um so schneller geht die Uhr und umgekehrt. Die Spirale soll frei, aber nur mit geringer Luft in dem Ruderschliß spielen und darf nicht etwa an ihm kleben. Immerhin tritt die Berührung zwischen Ruder und Spirale erst dann ein, wenn sich die Unruh um mindestens 20° aus der Mittellage herausgedreht hat; dementsprechend dauern bei zu weitem Schliß die kleinen Schwingungen länger als die großen, weil bei ihnen während eines relativ erheblichen Teiles des Weges die ganze Länge der Spirale in Aktion ist. Bei guten Uhren sind besondere Vorkehrungen getroffen, um den Stiel des Ruders ganz genau einstellen zu können; sie bestehen entweder aus einer feinen Schraube, welche seitlich gegen den von einer Feder angepreßten Ruderstiel drückt, oder in einer ebenso angeordneten drehbaren Erzenterscheibe, oder in einer Zahnradübersetzung und dgl.

Der Ruder ist als ein notwendiges Übel zu betrachten, dessen Betätigung bei einer feinen Uhr die ganzen Gangverhältnisse zu stören vermag. Deshalb haben auch z. B. die berühmten Taschenuhren von Dent in London keinen solchen und ebensowenig natürlich die Seechronometer; man reguliert sie möglichst genau auf andere Weise ein und notiert sich dann die Gangabweichungen, um sie beim Ablesen rechnerisch zu verwerten, ebenso wie dies bei einer astronomischen Uhr ohne bewegliche Zusatzgewichte oder ohne Luftdruckregulierung geschieht.

Von noch einschneidenderer Bedeutung als beim Pendel ist bei der Unruh die Frage der Temperaturkompensation. Bei Erwärmung dehnt sich nicht bloß das Schwungrädchen aus und bekommt dadurch ein höheres Trägheitsmoment, sondern vor allem wird die Spirale schlaffer und länger, alles Umstände, die eine Verlangsamung des Ganges hervorrufen, denn das Drehmoment einer Blattfeder ist unter sonst gleichen Umständen umgekehrt proportional ihrer Länge. Z. B. würde ein



Abb. 28.
Kompensationsunruh.

Chronometer mit massiver Messingunruh pro Tag und Celsiusgrad mindestens 10 Sekunden abweichen, wovon etwa 85% auf das Schuldkonto der Spirale entfallen, deren Elastizitätsmodul bei 100° Erwärmung etwa um 2,5% abnimmt. Der in der Geschichte der Chronometer wohlbekannte Harrison sah zuerst die Notwendigkeit einer Korrektur dieser Störung ein, und Le Roy stellte 1766 die Grundsätze auf, nach denen die Kompensationsunruhen noch jetzt gebaut werden.

Am nächsten liegt es, jene wärmeempfindlichen Teile aus einem Material herzustellen, dessen Ausdehnungskoeffizient gering ist. Guillaume liefert Nickelstahl mit 28% Nickelgehalt, bei dem die Elastizität von der Temperatur unabhängig, der Ausdehnungskoeffizient aber nicht null ist; massive Unruhen aus Invar ergeben mit solchen Guillaume-Spiralen relativ gute Gänge. Schon in der Mitte des 19. Jahrhunderts hat Dent aus gleichem Grunde mit gläsernen Spiralen und Unruhen experimentiert.

Die gewöhnliche Kompensationsunruh, Abb. 28, hat einen „bimetallischen“ Radkranz, der aus einem Messing- und einem Stahl- resp. Nickelstahlstreifen zusammengelötet oder geschmolzen ist. Das Metall mit dem großen Ausdehnungskoeffizienten, also das Messing, befindet sich außen. Es sind nur zwei Schenkel vorhanden, neben denen der Kranz an zwei einander gegenüberliegenden Stellen aufgeschnitten ist. Bei Chronometern befindet sich der Schnitt zuweilen auch in der Mitte zwischen den beiden Schenkeln, so daß vier freie Arme entstehen. Ringsherum ist eine Anzahl Belastungsschrauben aus einem schweren und schwer oxydierbaren Material, am besten Gold, angebracht; je schwerer die Schrauben spezifisch sind, um so kleiner können sie gehalten werden, und desto geringer ist der Luftwiderstand. Bei

zunehmender Temperatur krümmen sich die doppelmetallischen Bögen infolge der stärkeren Ausdehnung des außen liegenden Metalles mit ihren freien Enden nach innen, wodurch das Trägheitsmoment des Schwungringes abnimmt und die durch die Ausdehnung des Materials und die Erschlaffung der Spiralfeder erzeugte Verzögerung gemäß der „Unruhformel“ (S. 20) mehr oder weniger genau paralytisiert wird, und umgekehrt. Die Vorrichtung läßt sich dadurch genau einstellen, daß man die Belastungsschrauben mehr nach dem freien Ende der bimetallichschen Streifen hin versetzt oder mehr von ihnen entfernt, je nachdem ob sie zu schwach oder zu stark wirkt; dabei ist natürlich stets so zu verfahren, daß der Schwerpunkt der Unruh auf der Drehachse verbleibt und dieselbe ihr indifferentes Gleichgewicht beibehält. Innerhalb gewisser Grenzen, etwa über 30° hinweg, arbeitet eine solche Kompensation in zufriedenstellender Weise; wird dieses Gebiet aber von der Temperatur über- oder unterschritten, so treten in den Reifen erhebliche Spannungen auf, welche die Wirkung in Frage stellen können. Deshalb wendet man gelegentlich sogenannte Hilfskompensationen an, die bei einer bestimmten extremen Temperatur spontan in Wirksamkeit treten und die Hauptkompensation unterstützen. In dieser Ploählichkeit der Wirkung liegt die Schwäche der Einrichtung. Die Frage der Hilfskompensierung wurde aktuell durch die im Jahre 1842 von Dent gemachte Beobachtung, daß eine für mittlere Temperaturen kompensierte Uhr bei extremen Wärme- oder Kältegraden zurückbleibt; wertvolle theoretische Studien dazu lieferte der Astronom Airy. Nardin fabriziert bimetallichsche Nickelstahl-Messing-Unruhen mit 45% Nickelgehalt, die in Verbindung mit gewöhnlichen Spiralen die Hilfskompensation überflüssig machen sollen. — Wichtig für die Frage der Kompensation ist die physikalische Beobachtung, daß die Metalle ihre Dimensionen bei außergewöhnlichen Temperaturgraden gelegentlich dauernd verändern, d. h. nachher nicht wieder in ihre alte Form zurückkehren. Hieraus dürfte sich manche „Laune“ einer sonst gut kompensierten Uhr erklären. Besonders groß ist diese Gefahr bei jungen Werken, deren bimetallichsche Streifen sozusagen noch nicht zur Ruhe gekommen sind.

Da die am freien Ende schwer belasteten Reifen der Chronometerunruh sich bei weiten Schwingungen unter dem Einfluß der Schleuderkraft etwas nach außen biegen, so tritt leicht ein Zurückbleiben bei großen Schwungweiten ein, dem durch Abweichen von der Phillips'schen End-

turvenform vorgebeugt werden kann. Man sieht also wieder, daß der Isochronismus keineswegs eine Eigenschaft der Spirale allein ist.

Verkehrt ist es, jede Balance mit bimetallichem Kranz für eine vollwertige Kompensationsunruh zu halten, besonders wenn die Streifen nur halb durchgeschnitten sind, was man bei billigeren Ankeruhren häufig finden kann. Eine solche Einrichtung hat höchstens dekorativen Wert. Eine gute Kompensation setzt überhaupt ein tadelloses Werk voraus, wie es für einen geringen Preis gar nicht herstellbar ist. Vgl. auch unter „Zylindergang“.

Genauere Unruh-Uhren ohne Kompensation nennt man Thermochronometer; da sich ihr Gang mit der Temperatur erheblich ändert, so kann man sie, wenn sie präzise genug arbeiten, dazu benutzen, um die mittlere Temperatur von Zeiträumen annähernd zu bestimmen. Ihre Eichung erfolgt durch Versuch.

Wegen der hohen Bewegungsgeschwindigkeit und der von einem Drehkörper stark abweichenden Form der Unruh hat die Luftdichtigkeit auf die Schwingungsdauer naturgemäß einen gewissen Einfluß, der aber von den sonstigen Unregelmäßigkeiten des Ganges verdeckt und deshalb wenig beachtet wird. An einzelnen Chronometer-Prüfstellen hat man allerdings Apparate, die die Untersuchung der Seeuhren unter verschiedenen Drucken ermöglichen. Jürgensen hat vorgeschlagen, bei Chronometern vom Isochronismus abzuweichen und die kleineren Bögen in kürzerer Zeit durchlaufen zu lassen, und zwar für je 15° um 0,5 Sekunde pro Tag; da sie bei hoher Luftdichte eintreten, wo die Schwingungsdauer an sich länger ist, so käme dadurch ein Ausgleich zustande. Zugleich würde aber die Schwingungsdauer stark unter den Einfluß des Werkes geraten, was vom Übel wäre.

Außer den oben erwähnten Belastungsschraubchen trägt der Kranz der Unruh noch einige (etwa vier) andere, sogenannte Regulierschrauben, welche zwar nicht versezt, wohl aber mehr oder weniger herausgeschraubt werden können (Abb. 28). Sie dienen nicht sowohl zur Einstellung der richtigen Schwingungsdauer, als besonders dazu, den Schwerpunkt des Systems genau auf die Achse zu bringen. Befindet sich letzterer nicht auf der Drehachse, so hat die Unruh ein statisches Moment wie ein Pendel, d. h. sie strebt auch ohne Spirale einer bestimmten Lage zu. Ihre Schwingungsdauer ändert sich dann mit der Lage der Uhr (ob Bügel „oben“ oder unten oder rechts oder links), und zwar am meisten bei solchen Werken, die wie die Zylinderuhren

nur eine kleine Schwingungsweite besitzen. Zwar benutzt man den „Schwerpunkt“ gelegentlich zu Regulierzwecken, aber bei genauen Uhren, die in allen Lagen richtig gehen sollen, ist ein solches Verfahren unzulässig. — Bei den in neuerer Zeit wieder aufgekommenen Drehganguhren vollführt die Unruh samt Hemmung und Steigrad außer ihrer Schwingung in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Minute, eine Umdrehung, zu welchem Zwecke sie mit jenen Teilen zusammen in einem besonderen, drehbaren Gestell gelagert ist. Dreht sich die Hemmungspartie langsam, etwa in einer Stunde einmal, so spricht man von einer Karusselluhr. Durch die Rotation wird der Einfluß eines etwa vorhandenen „Schwerpunktes“ ausgeglichen, weil sich dieselben Fehler alle Minuten resp. alle Stunden in positivem und negativem Sinne wiederholen. Die Regulierungserfolge mit Drehgängen sind trotz deren Kompliziertheit sehr gute, woraus man schließen kann, daß mangelhafte Ausbalanzierung der Unruh resp. ungleichseitige Ausdehnung der Spirale einen erheblichen Anteil an der Erzeugung der Gangabweichungen haben.

Die Zapfen der Unruh, die bei Taschenuhren etwa 0,1 mm stark sind, ruhen in Steinlagern mit Decksteinen, Abb. 13b, zwischen denen sie etwas Luft haben. Diese macht sich bei plötzlichem Umkehren der Uhr auf die andere Seite an einem durch den Fall erzeugten leisen Erklingen der Unruh bemerkbar. Der Zustand der Zapfen und Steine ist auf den Gang von großem Einfluß und erfordert bei der Regulierung einer genauen Taschenuhr eine subtile Behandlung, denn nur durch eine solche kann man erreichen, daß die Uhr außer in jenen vier oben bereits erwähnten Lagen auch in den Stellungen „Zifferblatt oben“ oder „unten“ denselben Gang hat. Je mehr das auf dem Deckstein ruhende Zapfenende abgerundet, oder je dünner der Lochstein ist, um so geringer ist die Reibung im Liegen bzw. im Hängen, und um so kürzer im allgemeinen die Schwingungsdauer und umgekehrt. Die Verhältnisse liegen aber sehr verwickelt, denn auch die Antriebskraft ist dabei von Einfluß. In der Hängelage ist die Reibung trotz aller Kunst meistens etwas größer als in der wagerechten und die Schwungweite dementsprechend durchschnittlich 15 bis 20 % kleiner; man kann zufrieden sein, wenn man die Gangunterschiede der verschiedenen Lagen auf 5 Sekunden pro Tag herabgedrückt hat.¹⁾

1) Vgl. Lossier, Das Regulieren der Uhren in den Lagen, 1895.

Infolge der allmählichen Verdickung des Öles, ohne das man leider bis jetzt nicht auskommen kann, ändert sich die Zapfenreibung und damit der Gang nach und nach; man muß deshalb stets damit rechnen, daß nach einigen Jahren Gangstörungen auftreten, die eine Reinigung und Neuölung notwendig machen. Verkehrt ist es jedenfalls, eine Uhr länger als drei bis vier Jahre mit demselben Öle laufen zu lassen; wenn sie auch noch „klappert“, so ist doch der durch die Abnutzung entstehende Schaden, der sich in verschlechterter Regulierbarkeit äußert, nicht mehr zu reparieren. Auch die täglichen Abweichungen sind im wesentlichen die Folge veränderlicher Reibung in Verbindung mit mangelndem Isochronismus.

Während man eine Pendeluhr durch sorgfältige Aufstellung vor Erschütterungen und Bewegungen zu schützen sucht, muß die Uhr mit Unruhe diesen gewachsen sein. Man gibt der Unruhe deshalb eine möglichst große Schwungweite und Schwingungszahl, damit die äußeren Bewegungen gegenüber denjenigen der Unruhe gewissermaßen verschwinden. Bei Seechronometern, die ja in verhältnismäßiger Ruhe verharren, und auch bei Duplexuhren (s. unter „Hemmungen“) begnügt man sich mit vier Schlägen pro Sekunde, bei den gewöhnlichen Taschenuhren mit fünf, während die Taschenchronometer es bis auf sechs bringen. Sehr empfehlenswert ist das Aufziehen der Taschenuhren am Morgen, damit sie am Tage, zur Zeit der heftigen Bewegungen, ihre größte Schwungweite und somit auch ihre größte Unempfindlichkeit haben. Die Modenarrheit, die Uhr an der unruhigsten und den größten Temperaturschwankungen ausgesetzten Körperstelle, im Armbande, zu tragen, verschwindet hoffentlich bald wieder. Besonders störend wirken rhythmische Bewegungen, wie Laufen und Reiten, weil sich die Störungen bei ihnen summieren; auch der durch das Stampfen der Maschinen erzeugte „Seegang“ der Schiffschronometer gehört hierher, desgleichen die merkwürdige Tatsache, daß manche Präzisionstaschenuhren ein ganz anderes Verhalten zeigen, wenn sie ihren Träger gewechselt haben. Wichtig ist, daß die aus der Tasche genommene Uhr fest liegt oder hängt; wird sie einfach frei an einen Nagel gehängt, so gerät das Gehäuse in Schwingungen, die den Gang stören und deutliche Interferenz- resp. Resonanzerscheinungen aufweisen. Letztere treten dann ein, wenn die natürliche Schwingungsdauer der hängenden Uhr gleich $\frac{1}{5}$ Sekunde, d. h. gleich der Schwingungsdauer der Unruhe ist. Eine frei aufgehängte Taschenuhr bildet

demnach ein hübsches Demonstrationsmittel für erzwungene Schwingungen; verhält sich die Schwingungsdauer des Gehäuses zu derjenigen der Unruh wie $m:n$, worin m und n ganze Zahlen ohne gemeinsame Teiler sind, so wiederholt sich dieselbe Serie von Bewegungen alle $\frac{m}{5}$ Sekunden. — Da die Unruh außerdem einen Kreisel vorstellt, der zwar nicht „seine Richtung im Raume zu erhalten bestrebt ist“, wohl aber bei äußeren Bewegungen kräftig seitlich auszuweichen sucht, so entsteht dabei eine zusätzliche Zapfenreibung, besonders wenn die Schwungweite groß ist; die Erhöhung der letzteren wirkt also in diesem Sinne schädlich. Bei Armbanduhren und anderen viel bewegten Werken ist dieser viel zu wenig beachtete Umstand von erheblicher Bedeutung.

Was den Einfluß des Magnetismus auf die Uhr mit Unruh anlangt, so ist bekannt, daß die harten Stahlteile bei Annäherung an einen Magneten oder eine stromführende Leitung durch Influenz selbst zu permanenten Magneten werden. Durch das Wechselspiel der magnetischen Anziehungen und Abstößungen zwischen den arbeitenden Teilen der Unruh und der Hemmung kommen dann Störungen in den Gang der Uhr, die sich bis zu ihrem Stillstande steigern können. Durch Hineinbringen des Werkes in ein allmählich abklingendes Wechselfeld oder Drehfeld läßt sich der Magnetismus zwar abschwächen, aber eine gründliche Beseitigung ist nur durch Behandlung eines jeden einzelnen Stahlteiles für sich möglich, weil bei unzerlegtem Werke das veränderliche Feld wegen der „Schirmwirkung“ der in den massiven Teilen auftretenden Induktionsströme gar nicht überall hingelangt.

Man verwendet deshalb, wie schon gesagt, als Material für die Spirale neuerdings auch andere harte Metalle und nennt eine solche Uhr dann „antimagnetisch“. Ob aber derartige Materialien an Elastizität dem besten Stahl gleichkommen, ist zu bezweifeln. Auch dem Nidestahl werden antimagnetische Eigenschaften nachgerühmt. Vielfach wird das Stahlgehäuse als wirksamer Schutz empfohlen, andererseits aber behauptet, daß ein solches Gehäuse, selbst magnetisch geworden, schlimmer sei als ein anderes. Physikalisch liegt die Sache so, daß eine vollständig geschlossene Eisenkapsel (also z. B. ein Uhrgehäuse mit Savonnette) einen gewissen Schutz gewährt, daß dieser aber nur dann vollkommen ist, wenn die Kapsel Kugelform hat. Doch davon ist das Gehäuse einer Uhr weit entfernt. Genauere Versuche über den

Schutzwert stählerner Gehäuse scheinen noch nicht angestellt worden zu sein.

Eine Abart der Unruh ist die sogenannte Torsionswage, die in der Physik unter dem Namen der Coulombschen Drehwage bekannt ist. Sie wird wegen ihres geringen Energieverbrauches und wegen ihrer langen Schwingungsdauer oft bei sogenannten „Jahresuhren“ verwendet, die dem Laien durch die Länge ihrer Gangdauer imponieren sollen. Sie besteht aus einer an einem dünnen Draht hängenden großen Unruh, deren Direktionskraft durch die Torsionselastizität des Drahtes geliefert wird. Das obere Ende des Drahtes ist mit einer zweckentsprechenden Hemmung verbunden. Die Kompensation ist mangelhaft, der Isochronismus kaum erreichbar und die Schwingungsdauer wegen der Veränderlichkeit der Drahtelastizität wenig konstant. Die Einrichtung stellt demnach eine Spielerei für Liebhaber vor. Zudem ist sie nur in ortsfesten Werken verwendbar, bei denen man ohnehin besser ein Pendel anwendet.

Achtes Kapitel.

Die Hemmungen im besonderen.

Das Wesen und der Zweck der Hemmung ist in Kapitel 4 allgemein und an dem Stiftgang im einzelnen dargelegt worden; hier soll nun eine Anzahl besonders häufig vorkommender resp. typischer Hemmungen oder „Gänge“, wie man auch sagt, so weit beschrieben werden, als es für den Nichtfachmann von Interesse ist. Die zugehörigen Stützen sind schematisch gehalten unter Hervorhebung des prinzipiell Wichtigen, während konstruktive Einzelheiten meist unberücksichtigt gelassen sind.

Die Hemmungen zerfallen naturgemäß in zwei Gruppen, je nachdem ob sie für Pendel- oder für Unruh-Uhren bestimmt sind. Ihrer dynamischen Natur nach kann man sie ferner einteilen in rückfallende, ruhende und freie; der Unterschied der drei Arten macht sich fast ausschließlich im Ergänzungsbogen des Reglers bemerkbar, d. h. auf demjenigen Teil seiner Schwingungsbahn, den er nach vollzogener Hebung durchmisst. Von einem rückfallenden Gange wird der Regler im Ergänzungsbogen derartig beeinflusst, daß der Gang ihn in die Mittellage zurückzutreiben sucht; letzterer unterstützt also die Direktionskraft der Schwere oder der Spirale. (Das erreicht man dadurch,

daß man die Hemmungsteile so formt, daß das Gangrad nach vollendeter Hebung durch den im Ergänzungsbogen weiterschwingenden Regler ein wenig nach rückwärts gedreht wird, der Regler also an das Rad Energie zurückgibt.) Diese Art von Hemmung war vor der Anwendung des Pendels oder der Spirale die einzig verwendbare, weil ohne sie eine Umkehr der Reglerbewegung überhaupt nicht stattgefunden haben würde. Bei der ruhenden Hemmung steht das Gangrad während des Ergänzungsbogens zwar still, aber dadurch, daß es mit seinem Zahn auf irgendeinem Teile des schwingenden Reglers ruht, entsteht eine gewisse Reibung, die die Reglerbewegung mehr oder weniger bremst (vgl. den Stiftgang, S. 24). Bei einem freien Gange endlich ist der Regler während des Ergänzungsbogens von jeder mechanischen Verbindung mit dem Steigrade oder den Hemmungsteilen losgelöst und schwingt vollkommen unbehelligt.

Endlich kann man noch unterscheiden zwischen solchen Gängen, bei denen das Gangrad während jeder Reglerschwingung um eine halbe oder auch um eine ganze Zahnteilung vorspringt, und denjenigen, bei denen das Weiterspringen des Rades erst bei jeder zweiten Schwingung oder noch weniger oft stattfindet; die dazwischen liegenden Schwingungen nennt man „tote“ oder „verlorene“, daher die Bezeichnung „Hemmung mit totem Schlage“.

Eine besondere und wichtige Stellung nehmen unter den freien Pendeluhrehemmungen diejenigen mit konstanter oder „stetiger“ Kraft ein, durch deren Konstruktion dasselbe angestrebt wird wie durch den auf S. 43 besprochenen Nachspannapparat, nämlich trotz wechselnder Triebkraft und schwankendem Widerstande im Räderwerke dem Pendel stets gleich starke Impulse zuzuführen. Die Nachspannvorrichtung ist hier nicht vor das Gangrad gelegt, sondern sie ist mit der Hemmung selbst zu einem organischen Ganzen verschmolzen. Ebenso wie man zwei Arten von indirektem Antriebe hat, das durch die Schwerkraft betätigte Kegelradgetriebe und die Federremontoirvorrichtung, so gibt es auch zwei Gruppen von Gängen mit stetiger Kraft, die Schwerkraft- und die Federkrafthemmungen, wie man sie wohl nennen kann. Die letzteren, die der neuesten Zeit angehören, realisieren eine Freiheit der Pendelschwingung und eine Vollkommenheit in der Erfüllung der auf S. 23 angegebenen Bedingungen, die wohl kaum noch übertroffen werden können. Die Schwerkraftgänge sind meist älteren Datums und besonders für Turmuhren gedacht; die Meinungen über

ihren Wert sind geteilt, da es mit der Stetigkeit des Antriebes und der Konstanz ihres Auslösungswiderstandes im allgemeinen nicht weit her sein soll, und außerdem Stöße auftreten, die die Aufhängefeder schädlich beeinflussen. Die Firma Riesler hat daher bei ihrem neuen, der Federkrafthemmung (S. 80) nachgebildeten Schwerkraftgang das Pendel auf Schneiden gelagert und damit recht gute Resultate erzielt. Die Präzision ist größer als bei der Grahamhemmung, erreicht jedoch die des Federkraftganges nicht ganz; dafür ist der neue Apparat aber auch weit weniger empfindlich als jener.

1. Die Pendeluhrhemmungen.

Der Hafengang (Abb. 29a). Ein noch heute sehr viel in Gebrauch befindlicher rückfallender Gang ist der sogenannte englische Hafengang, im Jahre 1680 von Clement angegeben. Er wurde seinerzeit als große Erfindung gepriesen und der „königliche“ genannt. Die Drehachse A des Ankers oder Hafens, auf der auch die Pendelführungsgabel sitzt, ist so angeordnet, daß der Eingriff der Ankerklauen oder Paletten auf den Berührungspunkten der von A an den Umfang des Steigrades gelegten Tangenten erfolgt. Dadurch wird erreicht, daß die Bewegungsrichtungen der Klauen nach dem Mittelpunkte des Rades zu gerichtet sind, also auf geradem Wege in die Zähne hinein und wieder heraus. Solch Eingriff „auf der Tangente“ gilt für jede gute Ankerhemmung als grundsätzlich wünschenswert. Der Hafen überspannt mit seinen Klauen einen so großen Bogen des Rades, daß die eine sich gerade mitten in einer Lücke befindet, wenn die andere über einem Zahn steht; der Bogen ist also gleich einer ungeraden Zahl halber Zahnteilungen, die letztere von Mitte Zahn bis wieder zu Mitte Zahn gerechnet. Bei je zwei Pendelschwingungen rückt das Steigrad um eine Zahnteilung weiter; es muß also z. B. in Verbindung mit einem „Achtzigschläger“ (d. h. einem Pendel mit 80 Schwingungen pro Minute) 40 Zähne haben, wenn es in einer Minute eine Umdrehung machen soll.

Die Arbeit der Hemmung spielt sich folgendermaßen ab: das Pendel ist auf dem Wege nach rechts (vgl. die Abb.) gerade so weit gekommen, daß die rechte, die „Ausgangsclau“, ihren Zahn freigegeben hat; da es aber im Ergänzungsbogen noch weiter nach rechts geht, so wird das Steigrad durch die schräge Fläche der Eingangsclau nach rückwärts getrieben und widerstrebt somit im Vereine mit der Schwerkraft der

Widerstände so groß geworden sind, daß sie jenes Mehr an Kraft paralisieren. Trotzdem zeigt der rückfallende Gang in solchen Fällen eine Neigung zu schnellerem Gehen, eine Tatsache, die schon jeder daran bemerkt haben wird, daß die Federzuguhr mit Rückfall, wenn sie bald abgelaufen ist, zurückbleibt. Das rührt eben davon her, daß das Gangrad in den Ergänzungsbogen von den Klauen zurückgedrängt wird, die Triebkraft somit die Wirkung der Schwere auf das Pendel unterstützt; läßt der Antrieb also nach, so äußert sich dies in demselben Sinne, wie wenn die Schwerkraft schwächer würde.

Der Hafengang wird in den verschiedensten Formen ausgeführt. In den billigen Pendeluhrn, in denen er fast immer zu finden ist, besteht der Anker oft nur aus einem passend gebogenen Blechstreifen (Abb. 29b).

Der Grahamgang (Abb. 29c). Der Grahamgang, die wichtigste und für Pendeluhrn besserer Konstruktion fast ausschließlich angewendete Hemmung, entstand 1710 dadurch, daß Graham die Rückfallflächen des Hafenganges durch zylindrische Flanken ersetzte, deren Achse mit derjenigen des Ankers selbst zusammenfällt. Damit wurde die Hemmung zu einer ruhenden, d. h. während des Ergänzungsbogens steht das Steigrad still, und der Zahn „ruht“ auf der zylindrischen Klauenflanke, die Pendelbewegung je nach der Größe der Triebkraft mehr oder weniger bremsend.

Im Gegensatz zum Hafengange besteht hier im Ergänzungsbogen kein Unterschied zwischen „ein- und ausgehender“ Reibung, denn die Richtung der von der Zahnspitze auf der Ruhesfläche erzeugten Reibungskraft geht ja immer durch den Mittelpunkt des Steigrades, vorausgesetzt, daß der Eingriff auf der Tangente erfolgt. Eine Veränderung der Triebkraft wirkt auf den Gang weder verzögernd noch beschleunigend, wenigstens nicht direkt; wohl aber erhöht eine Zunahme der Kraft naturgemäß die Schwingweite des Pendels und damit auch die Schwingungsdauer, wenn auch beides nicht in dem Maße, wie es geschehen würde, wenn keine ausgleichende Ruhereibung vorhanden wäre (vgl. auch S. 25).

Die Figur zeigt einen gewöhnlichen Grahamgang mit Spitzzähnen, bei dem der Eingriff auf der Tangente erfolgt, und dessen Klauen besonders eingefetzte Stücke sind, die man herausnehmen und umdrehen kann, falls das eine Ende abgenutzt sein sollte. Der Winkel, den die schrägen Hebungsf lächen mit der Tangente bilden, ist von großem Ein-

fluß; ist er klein, so kann man eine kleine Schwingungsweite erreichen, und der Impuls geschieht kräftig, ist er aber groß, so wird der Reibungsweg verlängert, und die Schwingungsweite muß größer sein. In der Skizze überspannt der Anker, von Mitte Klaue bis Mitte Klaue gemessen, $7\frac{1}{2}$ Zahnteilungen t ; die Klauenstärke b ist aber etwas kleiner als $0,5 t$, damit der erforderliche Sail f zustande kommt. α ist der Hebungsbogen des Pendels, β der Auffallwinkel des Zahnes (von den Uhrmachern die „Ruhe“ genannt), der aus Sicherheitsgründen offenbar notwendig ist, weil sonst „Gangaussitzen“ eintreten könnte. Das Pendel hat auf seinem Rechtszuge gerade den Punkt q passiert, woselbst der Abfall an der rechten Klaue stattgefunden und der Ruheweg an der linken begonnen hat. In r erfolgt die Umkehr, bei p der Übergang des Zahnes auf die Hebefläche der linken Klaue, die bei n wieder verlassen wird. $q r p$ und $n m o$ sind also die Ergänzungsbogen, $p n$ und $o q$ dagegen die Hebungswinkel. Die Stücke $n o$ und $p q$ entsprechen dem Auffallwinkel β .

Ofters macht man den Anker kürzer als $7,5 t$ und übernimmt gelegentlich auch nach dem Vorgange von Kessels einen Teil der Hebefläche mit auf die Zähne, so daß die in der Abb. 29 d gezeichnete Form mit „Kolbenzähnen“ entsteht. Die Hebung zerfällt dann in zwei Teile: zuerst gleitet die Ede der Ankerklaue an der schrägen Zahnfläche entlang und dann die äußerste Zahnspitze an der schrägen Fläche der Klaue. Wegen der Empfindlichkeit der spitzigen Zähne wendet man diese „Schweizer“ Form mit Vorliebe bei Turmuhren an, bei denen subtile Teile nicht angebracht sind. — Ähnlich sind die Zahnformen bei den später zu besprechenden Ankergängen der Unruhuhren.

Der Grahamgang eignet sich wegen seiner Einfachheit, seines geringen Ölbedarfs und wegen der Möglichkeit, die Hebeflächen mit Steinen zu besetzen, besonders für seine astronomische Uhren, bei denen er bis vor kurzem der fast allein gebräuchliche war. Durch Herabsetzung des Hebungswinkels auf 2° und weniger sowie der ganzen Amplitude auf 3 bis 4° wird der Isochronismus gewährleistet (S. 18), durch genau gearbeiteten Gewichtsantrieb und schweres Pendel die Schwingweite außerdem sehr konstant gemacht. Neuerdings ist ihm allerdings in den freien Federkrafthemmungen ein gefährlicher Konkurrent erwachsen.

Es gibt eine Menge Ausführungsformen und Modifikationen des Grahamganges, die zum Teil ein Mittelding zwischen ihm und dem Hafengange darstellen. So finden sich Hemmungen, bei denen die eine

Klaue Ruhereibung, wie der Grahamgang, die andere dagegen Rückfall, wie der Hafengang aufweist. Hiermit will man erreichen, daß die Eigenschaft des Hafenganges, bei gespannter Zugfeder vorzueilen, durch die des Grahamganges, im gleichen Falle bei großen Amplituden ein wenig nachzubleiben, ganz oder wenigstens zum Teil ausgeglichen wird. Jedenfalls ist aber der reine Grahamgang als die bessere Lösung anzusehen, denn er macht, wenn die Schwungweite klein ist, den Regler von dem Werke fast unabhängig.

Der Stiftgang (Abb. 6). Dieser von Amant im Jahre 1741 angegebene Gang stellt eine Abart und zugleich eine Vereinfachung des Grahamganges dar, die sich leichter als dieser richtig ausführen läßt und besonders für Turmuhren verwendet wird. Seine Grundform wurde bereits auf Seite 24 besprochen; sie ist ebenso wie der Grahamgang eine ruhende Hemmung mit auf den Klauen befindlichen Hebeflächen, läßt aber einen sehr großen Ergänzungsbogen zu. — Es existieren mancherlei Spielarten des Stiftganges, darunter solche, wo die Stifte auf beide Seiten des Rades verteilt sind, andere mit totem Schlage und mit beweglichen Klauen.

Der Brocotgang (Abb. 29 e). Auch der Brocotgang ist ein vereinfachter Grahamgang, aber kein verbesserter. Die Klauen sind bei ihm in Stifte mit halbkreisförmigem Querschnitt verwandelt; die Hebung erfolgt durch Abgleiten der Zahnspitze von der Rundung des Stiftes, während die letztere im Ruhebogen an der Zahnflanke entlanggleitet; die Flanke muß deshalb radial stehen, vorausgesetzt, daß der Anker auf der Tangente eingreift. Die Stifte werden gewöhnlich aus Stein hergestellt. Bei Stuhuhren ist der Brocotgang häufig auf dem Zifferblatt sichtbar angebracht.

Der Röllchengang (Abb. 30). Der an Nippuhren mit weit ausschwingendem Pendel öfter zu findende Röllchengang ist den ruhenden Hemmungen mit totem Schlage zuzurechnen; er ist wohl die einfachste Hemmungskonstruktion, die sich überhaupt ausdenken läßt. Besonders übersichtlich sind bei ihm die Reibungsverhältnisse, weshalb wir uns sein Spiel genauer ansehen wollen. In der Figur ist das Pendel auf dem Wege von links nach rechts schon fast in der Stellung A angekommen, wo gerade die Hebung beginnen soll. Auf seinem weiteren Wege bis in die Lage B, wo der Zahn die Lücke des Röllchens verläßt und somit die Hebung aufhört, bekommt es den Impuls. Während der Hebung ist die Reibung gering, und zwar um so kleiner, je



Abb. 30. Röllchengang.

kleiner der Hebungswinkel des Pendels selbst ist; in seiner Mitte ist sie sogar einen Augenblick null. Die Art, wie das Steigrad dem Röllchen den Antrieb übermittelt, hat viel Ähnlichkeit mit dem Verhalten von Zahnrad und Trieb. — Nach Beendigung der Hebung und nach eingetretenem Fall schwingt das Pendel noch weiter nach rechts über B hinaus im Ergänzungsbogen, während der nächste Zahn links an der Rolle in Ruhereibung anliegt, wobei er sich mit seiner Spitze gegen die Drehungsrichtung der Rolle stemmt („eingehende Reibung“); nach der Umkehr des Pendels jedoch und während seines ganzen Linksganges verläuft die Reibung in erheblich günstigerer Weise („ausgehende Reibung“). Dabei tritt keine Hebung ein, sondern der Einschnitt des Röllchens passiert die Zahnspitze nur mit einem „toten“ Schlag. Beim darauffolgenden Rechtsgang wiederholt sich dasselbe Spiel, zuerst beginnend mit einer kurzen Periode eingehender Reibung.

Den charakteristischen Unterschied der beiden Arten der Reibung kann man sich z. B. dadurch veranschaulichen, daß man ein Stück Kreide über eine Tischplatte führt, das eine Mal schräg nach hinten liegend, das andere Mal nach vorn gestemmt. Im letzteren Falle ist mehr Kraft zur Fortbewegung erforderlich, und es treten gelegentlich Vibrationen mit Tonbildung ein, zum Entsetzen empfindsamer Zuhörer. — Statistisch erklärt sich diese Verschiedenheit so (Abb. 30): dreht sich das Röllchen im Sinne des Uhrzeigers, so wirkt die Reibungskraft auf den Zahn in der Richtung von R_1 und übt auf das Steigrad ein Drehmoment aus, welches gegen den Sinn des Uhrzeigers gerichtet ist, mithin der Triebkraft des Werkes entgegenarbeitet und dabei den Zahndruck verringert; im umgekehrten Falle tritt die Reibungskraft R_2 auf, welche den Zahndruck und damit sich selbst vergrößert. Die erste Art ist die ausgehende, die zweite die eingehende Reibung. Die letztere erfordert eine reichliche Anwendung von Öl, das aber auch beim Röllchengang durch die Lücke der Rolle gut festgehalten wird und bei jeder Schwingung den Zahn benetzt.

Der Schwerkraftgang von Mannhardt (Abb. 31). Der Mannhardtgang ist nicht bloß eine Hemmung mit stetiger Kraft, sondern

auch durchaus frei, da das Pendel immer erst nach 60 Schwingungen mit dem Werke in Verbindung tritt, dazwischen aber tote Schläge ausführt. P stellt ein kurzes Stück der Pendelstange vor. Bei jedem Linksgange wird das Rädchen R durch die feststehende Sperrklinke um einen Zahn weiter geschaltet; schließlich gelangt der Stift s in die Höhe des Hebels h, drückt diesen beim Rechtsgange des Pendels zurück und löst so das Räderwerk aus, das nun die Zeiger um eine Minutenteilung vorwärts treibt. Dabei wird das rollenartige Gewicht G frei, sinkt herab und gleitet bei dem darauf folgenden Linksgange des Pendels die an dessen Stange befindliche schiefe Ebene hinab, ihm so einen Impuls erteilend. Gleich danach wird G durch das Exzenter, dessen Bewegung durch den Windfang gedämpft

ist, wieder emporgehoben, so daß der Weg für die schiefe Ebene wieder frei ist. Nach je einer Minute beginnt daselbe Spiel von neuem. Da das Gewicht der Rolle konstant ist, so ist es auch der Antrieb. — Fraglich ist, ob es wirklich vorteilhaft ist, ein Pendel 59 Sekunden lang frei schwingen zu lassen, um ihm dann auf einmal einen für eine ganze Minute ausreichenden Impuls zukommen zu lassen, oder ob man nicht besser daran tut, schwächere Impulse in kürzeren Intervallen anzuwenden. Bei Turmuhren ist der Mannhardtgang vielfach mit gutem Erfolge im Betrieb.

Der Federkraftgang von Dr. Riefler (Abb. 32, schematisch). Der Rieflergang repräsentiert eine Klasse für sich; die mit ihm ausgestatteten astronomischen Werke haben Gangleistungen aufzuweisen, wie man sie vordem nicht kannte. Dadurch sind die Bedenken, die man in Fachkreisen zuerst gegen ihn hegte, endgültig zerstreut worden.

Das Pendel hängt an zwei 0,11 bis 0,12 mm starken Blattfedern f, deren obere Fassung durch ein Loch des Balkens B hindurchgeht und sich mittels des Stiftes s auf ihn stützt. Irgendeine sonstige Verbindung

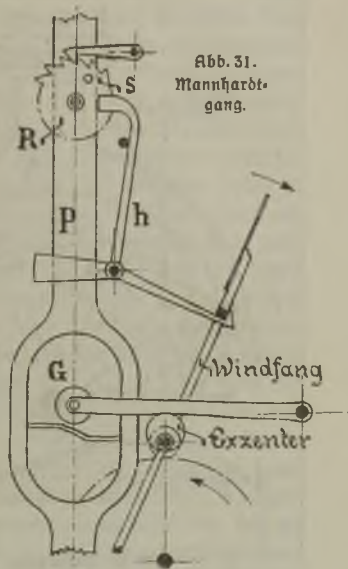
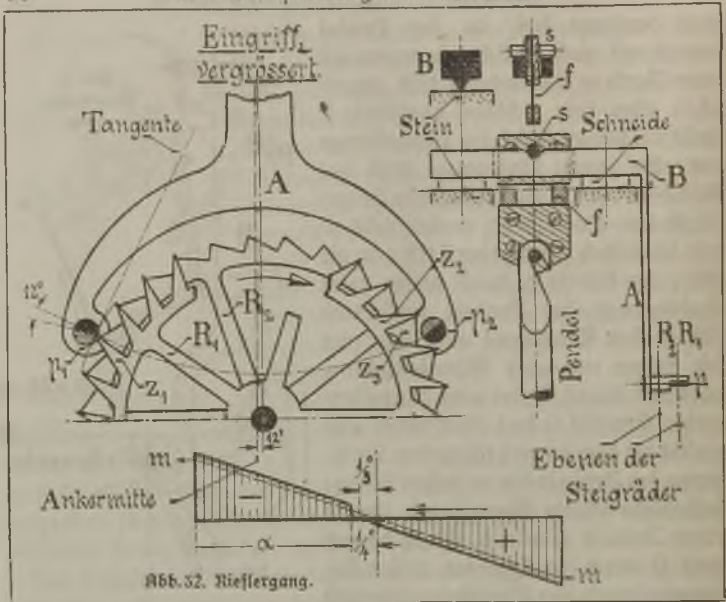


Abb. 31.
Mannhardt-
gang.

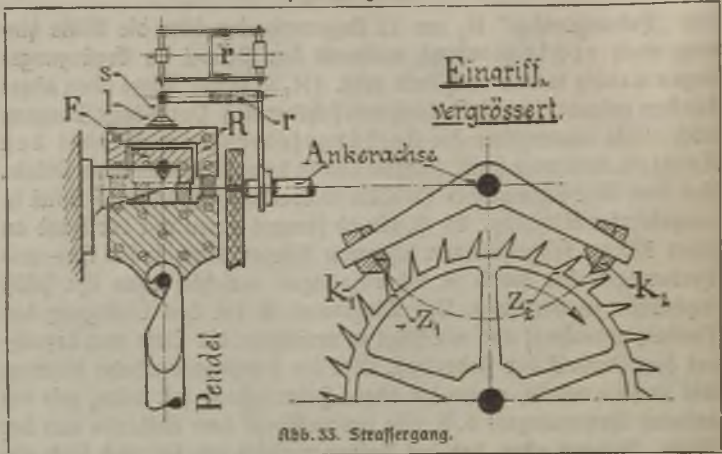


des Pendels mit dem übrigen Werke, eine Führungsgabel beispielsweise, ist nicht vorhanden. Der Balken, der den Anker A mit den Paletten p trägt, ist vermittlems zweier Stahlschneiden so auf zwei steinerne Pfannen gelagert, daß seine Drehachse genau mit derjenigen des Pendels zusammenfällt, die rund 1 mm unterhalb der Unterkante der oberen Federfassung anzunehmen ist. Das Spiel des Mechanismus ist folgendes (vgl. das untenstehende Federkraftdiagramm): das Pendel ist in der Figur in der äußersten Rechtslage gedacht, und die Palette p_1 ruht auf einer Zahnspeize des „Ruherades“ R_1 . Sobald es auf seinem Linksgange die Mittellage um etwa $\frac{1}{4}^\circ$ überschritten hat, wird durch die hierdurch erzeugte Anspannung der Aufhängesfedern der um die Stahlschneiden bewegliche Anker nach links gedreht, so daß p_1 den Zahn Z_1 frei gibt; insolgedessen springt das Ruherad im Sinne des Pfeiles um eine halbe Zahnteilung weiter, bis Z_2 die Palette p_2 erreicht hat. Dabei geschieht aber noch etwas Besonderes: bei dem Fortrücken des Rades wird der runde Teil der Palette p_2 durch den Zahn Z_3 des hinter R_1 auf derselben Achse sitzen-

den „Hebungsrades“ R_2 um 12 Bogenminuten über die Mitte hinweg nach rechts gedrängt, während das Pendel im Ergänzungsbogen a ruhig weiter nach links geht. (R_1 ist in der Skizze oben abgebroschen gedacht, so daß R_2 dort voll sichtbar ist.) Durch diese Biegung nach rechts übermitteln die Aufhängesfedern dem Pendel den Antrieb, und zwar sanft, stoßfrei und in stets gleichbleibender Stärke. Bei dem Rechtsgange des Pendels wiederholt sich dasselbe Spiel in umgekehrter Richtung. Es ist, als ob jemand einen mit der Hand an einer Schnur festgehaltenen schweren Körper durch leises Hin- und Herbewegen der Hand in Schwingungen versetzte, ohne ihn selbst irgendwie zu berühren. Das Diagramm ist für den Linksgang des Pendels gezeichnet und wie folgt zu verstehen: die Linie mm bezeichnet den Verlauf der Federkraft über die Schwingungsbahn hinweg, wie er sein würde, wenn die obere Federfassung fest wäre, wie bei anderen Hemmungen, d. h. also proportional dem Abstände von der Mitte. Dadurch aber, daß der Balken zunächst um 12' nach links abgelenkt ist, um dann plötzlich, wie oben beschrieben, in dieselbe Lage nach rechts überzugehen, entsteht ein Überschuß von Antrieb (+) über den Gegenantrieb (—), mithin ein Impuls. Es leuchtet ein, daß er um so kräftiger ausfallen wird, je später jene Umlegung erfolgt; deshalb schrägt Riefler die Paletten um 11 bis 12° ab, dem Reibungswinkel von Stein auf Messing entsprechend, so daß nunmehr die Palettenreibung und damit auch die Triebkraft des Räderwerkes keinen Einfluß mehr auf die zur Ankerlösung notwendige Kraft hat, ebenso wenig wie z. B. das Gewicht eines schweren Körpers von Einfluß ist auf die Kraft, die man anwenden muß, um ihn eine entsprechend schräge Ebene hinab zu schieben.

Der Irrtum der ersten Beurteiler des Rieflerganges bestand eben darin, daß sie glaubten, das Pendel würde durch erhöhte Palettenreibung oder abgenutzte Stahlschneiden behindert werden; im Gegenteil, in solchen Fällen erfolgt die Umlegung des Balkens nur ein wenig später, und der Impuls wächst in ganz geringem Maße. Im übrigen hat die Schwingung mit den Stahlschneiden nicht das mindeste zu tun. Jedenfalls ist die Unregelmäßigkeit des Antriebes weit geringer als z. B. beim Grahamgang, wie lange Erfahrungen bewiesen haben. (Vgl. Wanach, Astronomische Nachrichten Nr. 4546.)

Auch bei Turmuhren hat man den Rieflergang in Verbindung mit Nickelstahlpendeln mit Erfolg zur Anwendung gebracht, allerdings nur



unter Verwendung indirekten Antriebes, weil er Änderungen der Antriebskraft nicht verträgt. Eine erschöpfende theoretische Behandlung erfährt der Rieflgang und insbesondere auch die Pendelfeder in meiner Broschüre „Kritische Theorie der freien Rieflerhemmung“. Vgl. S. 18.

Der Federkraftgang von Prof. Strasser (Abb. 33, schematisch). Derselbe ist gewissermaßen eine Modifikation des Rieflganges im Sinne einer Vereinfachung; die Stahlschneiden und das zweite Steigrad sind beseitigt. Es sind vier Blattfedern vorhanden, von denen die beiden mittleren, die oben in der festen Fassung *F* sitzen, die eigentlichen Aufhängesfedern sind; die beiden äußeren dagegen dienen der Übertragung des Impulses. Zu dem Zwecke ist an der mit der Schwingungsachse wiederum genau zusammenfallenden Ankerachse ein leichter Rahmen *r* angebracht, der einen konischen Stahlstift *s* trägt. Die obere Fassung *R* der äußeren Federn ist oben mit einem Saphirsteinloch *l* versehen, in das der Stift *s* eingreift. Dadurch wird die sonst völlig frei schwebende Fassung genötigt, die Bewegungen des Ankers mitzumachen, und die an ihr befestigten beiden äußeren Federn üben auf das Pendel das Antriebsmoment aus. Das Steinloch gibt der Verbindung zwischen Achse und *R* eine gewisse Beweglichkeit, wodurch Zwängungen vermieden werden. Die Paletten und das Steigrad sind ähnlich wie beim Grahamgang ausgebildet, nur befindet sich

die Ruhefläche am Ende der Hebefläche auf einer zweiten, mit ihrer Spitze etwas hervorragenden Klaue k , und ein „Auffallwinkel“ (vgl. Grahamgang) ist nicht vorhanden. Der Eingriff ist also sozusagen die kinematische Umkehrung des Rieflerischen. — Das Spiel der Hemmung verläuft analog dem des Rieflerganges: sobald das zunächst rechts gedachte Pendel bei seinem Linksgange die Mittellage um ein geringes überschritten hat, wird z_1 frei, z_2 aber fällt direkt gegen die Hebefläche und treibt den rechten Ankerarm so lange hoch, bis die vorstehende Ruheklaue k_2 dem Steigrade Halt gebietet; das Pendel geht währenddessen im Ergänzungsbogen weiter nach links. Der Antrieb erfolgt also auf ähnlich vollkommene Weise wie beim Rieflergange, und auch das Federkraftdiagramm ist im großen und ganzen daselbe. In der Trennung der Aufhänge- von den Antriebsfedern liegt der Vorteil, daß man Isochronismus und Triebkraft unabhängig voneinander regeln kann.

Die Strafferhemmung, die übrigens nicht patentiert ist, hat bei astronomischen Uhren schon vielfach erfolgreiche Anwendung gefunden.

Von der großen Zahl der eigentlichen freien Pendeluhrehemmungen hat es keine zu allgemeiner Anerkennung gebracht. Später wird bei Besprechung des Chronometerganges eine einfache Form einer solchen Hemmung im Prinzip vorgeführt werden. Die Nachteile dieser Mechanismen sind ihre Kompliziertheit sowie die Trägheit ihrer zahlreichen Hebel, die sie für rasch schwingende Pendel ungeeignet machen. Durch die Erfindung der freien Federkraftgänge sind sie überdies so gut wie überflüssig geworden.

2. Die Hemmungen für Unruh-Uhren.

Das Charakteristische der für Unruhen bestimmten Hemmungen besteht darin, daß sie eine sehr große Schwingungsweite zulassen, die sich auf mehr als 360° steigern kann. Sie ist notwendig zur Unschädlichmachung der äußeren Bewegungen, wie dem Leser bereits bekannt ist.

Zu unserer Großväter Zeit spielte der Spindelgang (Abb. 34) noch eine wichtige Rolle und verlieh den da-

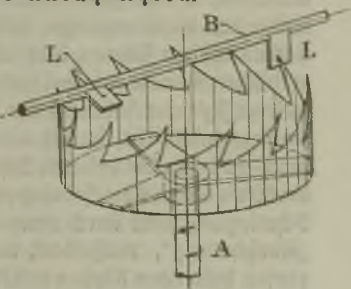


Abb. 34. Spindelgang.



Abb. 35. Zylindergang.

maligen „Sackuhren“ die bekannte rundliche, an die Nürnberger Eier erinnernde Form; er paßte so recht in die Biedermeierzeit, in der weder mangelhafter Gang noch Häßlichkeit in dem Besitzer den Gedanken zu erwecken vermochten, daß es etwas Besseres geben könnte. Heutzutage ist er vollständig von der Bildfläche verschwunden und soll deshalb übergangen werden.

Der Zylindergang (Abb. 35).

Der Zylindergang wurde von Graham im Jahre 1720 an-

gegeben und hat zuerst wegen der unzumutbaren Verhältnisse, die man ihm gab, allerlei Kinderkrankheiten zu bestehen gehabt, so daß er sich nur langsam Eingang zu schaffen vermochte. Jetzt aber beherrscht er das Gebiet der billigen Taschenuhren und besonders der Damenuhren zu etwa neun Zehnteln. Er gehört zu den ruhenden Hemmungen und bedarf keiner Schnecke. Der Zylinder besteht aus einem stählernen Rohre, das an beiden Enden durch Zapfen tragende Spunde oder Tampons geschlossen ist. Auf seinen oberen Teil wird die Unruh aufgesetzt, deren Durchmesser etwa 18 mal größer ist als der des Zylinders. Durch einen fast bis zur Mitte reichenden Einschnitt in das Zylindertoehr entstehen zwei Lippen l_1 , die den Paletten des Grahamganges entsprechen, doch befinden sich die Hebeflächen auf den Zähnen, deren Außenseiten annähernd nach einer archimedischen Spirale geformt sind. Die Zähne sitzen auf kleinen Säulchen, und der Zylinder hat unter der Ausgangslippe noch einen sogenannten Passageeinschnitt e , so daß ein weiteres Ausschwingen der Unruh ermöglicht wird. Die gesamte Schwingungswerte beträgt etwa 270° , wobei 30 bis 40° auf die Hebung entfallen, d. h. rund 13%. Eine zu weite Schwingung wird durch einen in die Unruh eingesetzten Prellstift, den „Auschwung“, verhindert, welcher gegen den oberen Zylinderzapfen haltenden Kloben anstößt. Solches Anprallen bewirkt aber eine bedeutende Beschleunigung des Ganges und muß vermieden werden.

Der Zylinder ist für den Moment gezeichnet, wo er zur Ruhe gekommen ist und im Begriff steht, die dem Sinne des Uhrzeigers entgegengesetzte Bewegung zu beginnen; dabei ruht der Zahn auf seiner Innenseite, und der Radarm befindet sich im Passageeinschnitt. Die gestrichelte Lage zeigt die Hebung an der Ausgangs-, die strichpunktete den Beginn derselben an der Eingangslippe. Die Lippen sind selbst etwas abgerundet und tragen so zur Hebung mit bei, besonders die am Ausgang.

Die Hemmung hat eine starke Ruhereibung, die wegen der raschen Bewegung weit schlimmer ist als diejenige des Grahamganges. Sie braucht deshalb viel Öl und läßt wirkliche Präzisionsleistungen nicht zu; vermöge der Ruhereibung ist eben der Einfluß der Triebkraft und somit des Räderwerkes zu groß. Kompensationsvorrichtungen bringt man nicht an, weil dies verlorene Liebesmühe sein würde; daher sind tägliche Abweichungen von einer bis zwei Minuten pro 10° Temperaturunterschied, wie er etwa zwischen Zimmer und Tasche besteht, als normal anzusehen.

Aus alledem geht hervor, daß der Zylindergang der solide Gang der billigen Durchschnittsuhr ist, für genaue Werke dagegen nicht in Betracht kommen kann.

Der freie Anfergang (Abb. 36). Im Jahre 1791 kam Robin auf die Idee, den Grahamanker für Unruh-Uhren verwendbar zu machen; als der eigentliche „Erfinder“ gilt aber Thomas Mudge, der 1799 wichtige Dervollkommnungen veröffentlichte. — Da der Grahamanker nur für eine kleine Schwingungsweite brauchbar ist, die Unruh aber eine große hat, so brachte man zunächst zwischen beiden eine Zahnradübersetzung an, etwa im Verhältnisse 1:3; Mudge beseitigte sie jedoch bis auf einen einzigen Zahn an der Unruh und eine einzige Zahnflüße an dem Anker, so daß die Unruh im Ergänzungsbogen außer Eingriff geriet und die Hemmung dadurch zu einer freien wurde. In seiner heutigen Form ist der Anfergang für Unruh-Uhren, wenigstens für tragbare, mit die vollkommenste Hemmung, mit der vorzügliche Erfolge erzielt werden. Man spricht sogar von Halb- oder Ankerchronometern, worunter sehr genau gearbeitete Anfertäschenuhren verstanden werden; auf dem Pariser Kongreß für Chronometrie ist die Bezeichnung „Chronometer“ allerdings jeder Präzisionsäschenuhr zugestanden worden.

Die Abb. 36 a zeigt einen Anfergang moderner Bauart. Die Achsen

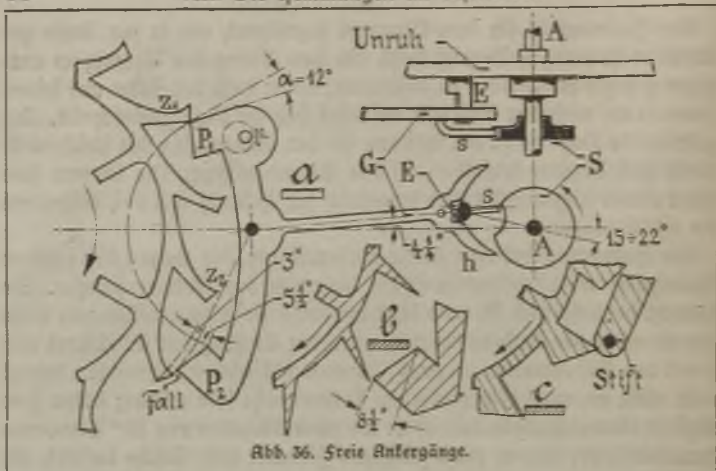


Abb. 36. Freie Anfergänge.

von Steigrad, Anker und Unruh (A) liegen in einer geraden Linie, à la ligne droite, und nicht in einem rechten Winkel, wie man es früher oft sehen konnte; auf eine besondere Ausbalanzierung der Anfergabel G hat man verzichten können, weil das Gleichgewicht des Anfers durch die Verteilung der Metallmasse erzielt wird (Adolf Lange 1896). Der Hebestift E, die Ellipse (stammend von *ἐκλείπω*, wie Elliptik, und nicht, wie Ellipse, von *ἐλλείπω*), sitzt in einer besonderen Scheibe auf der Unruhachse oder auch in einem Schenkel der letzteren selbst. Darunter befindet sich die kleine Sicherungsscheibe S, in deren Lücke der Sicherungstift oder -finger s der Gabel einspielt. Die Unruh hat gerade, gegen den Sinn des Uhrzeigers rotierend, den Ergänzungsbogen verlassen, und der Hebestift befindet sich bereits in dem Gabelschnitt, dessen Seiten nach den Gesetzen der Punktverzahnung als Äquidistanten zu einer Epizykloide ausgebildet sind. Er hat auch schon den Anker um $1\frac{1}{3}^{\circ}$ gedreht, wozu eine gewisse Auslösungskraft erforderlich war, denn die Ruhfläche der Klaue ist nicht zylindrisch wie beim Grahamgang, sondern sie besitzt einen Einzug- oder Anzugwinkel α von 12° (das Gegenteil von Rückfall!), vermöge dessen der Anker durch den Druck des Steigradzahnes in seiner Endlage festgehalten wird. Zur Sicherheit ist aber noch der Finger s vorhanden, der durch die Scheibe S, solange die Unruh im Ergänzungsbogen schwingt, am Zu-

rückgehen gehindert wird, falls der Einzug hierzu nicht ausreichen sollte. — Nun hat der Hebestift die Auslösung vollendet, und die Hebung beginnt, von der 3^o Ankerdrehung auf die Hebefläche des Zahnes, 5 $\frac{1}{2}$ ^o dagegen auf die Klaue entfallen, wenigstens bei der gezeichneten Schweizer Kolbenzahnform; bei den englischen Spitzzähnen, die empfindlicher sind und das Öl schlecht halten, kommt die ganze Hebung auf die Klaue (Abb. 36b), und bei dem amerikanischen Stifanker endlich, der meist nur in roheren Werken („Roskopfgang“) Verwendung findet, ganz auf den Zahn, da die Klaue zu einem Stift zusammengeschrumpft ist (Abb. 36c). Während der Hebungsperiode treibt die Gabel den Hebestift; es ist also erforderlich, daß bereits bei ihrem Beginn der Stift so weit in die Gabel eingedrungen ist, daß er von der nachfolgenden Kante derselben gefaßt werden kann. Nach vollendeter Hebung fällt der Zahn z₂ auf P₂, deren Ruhefläche bei dem gezeichneten „ungleicharmigen“ Anker von der Drehachse ebensoweit entfernt ist wie die von P₁, wodurch die Auslösungswiderstände einander gleich werden. Nach dem Fall, der ziemlich knapp auf die Cde von P₂ erfolgt, führt der Hebestein die Gabel noch um eine Spur weiter bis in die Endlage, die durch den Stift p gegeben ist, der in ein entsprechend weites Loch der unteren Platine hineinragt und die Bewegung begrenzt. Diese Spur, der „verlorene Weg“ genannt, ist notwendig, damit der Hebestift bei seiner Rückkehr und beim Beginn der nächstfolgenden Hebung auch wirklich von der treibenden Gabelkante erfaßt wird. Der letzte Rest der Endbewegung des Ankers erfolgt unter dem Einflusse des Anzugwinkels von selbst, oder aber im Notfalle wird er durch die Sicherungsscheibe S erzwungen, welche mit der oberen Cde ihrer Lücke den Sicherungsstift s nach unten drängt. Die Hörner h, die bei gut gearbeiteten Gängen eigentlich überflüssig sind, dienen ebenfalls der Erzwingung der Endbewegung. Der Sicherungsstift darf im Ergänzungsbogen die Sicherungsscheibe nur in Ausnahmefällen berühren, damit die Freiheit der Schwingung nicht gestört wird. Daher besitzt er gegen die Scheibe S etwas Luft, jedoch nicht mehr als 1 $\frac{1}{3}$ ^o, weil sonst der Zahn von der Ruhefläche abgleiten könnte. So groß ist nämlich der Ruhebogen des Ankers. — Der Hebungswinkel der Unruh beträgt 30^o bis 45^o, der Ergänzungsbogen aber hat oft eine solche Größe, daß die Schwingungsweite 1 $\frac{1}{2}$ Umgänge erreicht. Der Hebungswinkel macht demnach etwa 8% der gesamten Schwingung aus, also weit weniger als beim Zylinderang. Die Schwäche des Anferganges ist der Anzug,

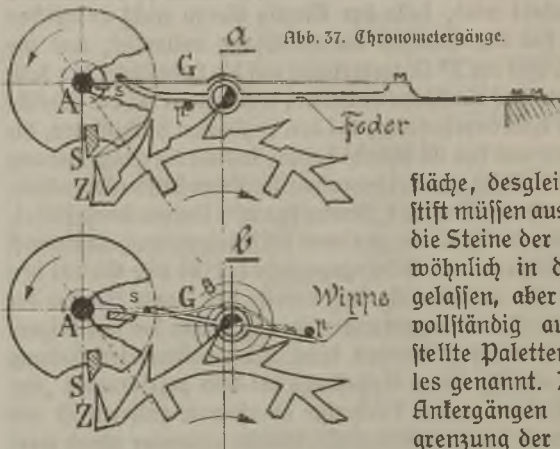


Abb. 37. Chronometergänge.

der durch seine Trockenheit das Werk leicht zum Stehen bringen kann. Anzugs- und Hebung-

fläche, desgleichen der Hebestift müssen aus Stein bestehen; die Steine der Klauen sind gewöhnlich in das Metall eingelassen, aber man findet auch vollständig aus Stein hergestellte Paletten, levées visibles genannt. Bei den meisten Ankergängen findet die Begrenzung der Gabelbewegung

nicht durch einen Stift *p* statt, sondern durch zwei Kanten oder Stifte, welche zu beiden Seiten des Gabelendes in der Nähe der Unruh platziert sind; solch ein Anker ist aber schwerer. Auch die Konstruktion von Ellipse und Sicherung zeigt mancherlei Variationen, auf die aber hier nicht eingegangen werden kann. Adolf Lange in Glashütte, der sich um die Vervollkommnung und Verbreitung des Ankerganges große Verdienste erworben hat, schleift bei seinen besten Uhren die Hebeflächen konvex und konkav, um die Ungleichheit des Antriebes auszugleichen, die von der verschiedenen Entfernung der beiden Hebeflächen von der Ankerachse herrührt. Es gibt auch Anker, bei denen diese beiden Entfernungen gleichlang sind, sogenannte „gleicharmige“; dann sind aber die beiden Ruheflächen verschieden weit entfernt, und es besteht ein Unterschied zwischen den beiden Auslösungswiderständen.

Der freie Chronometergang (Abb. 37). Nach den Memoiren der Pariser Akademie der Wissenschaften geschah die Erfindung der „freien“ Hemmungen im engeren Sinne durch Pierre le Roy um das Jahr 1748. Die Ausbildung der Idee bis zu der Form, wie sie in den modernen Seeuhren Anwendung findet, fand etwa 50 Jahre später statt und knüpft sich in erster Linie an die Namen Berthoud und Carnshaw.

Die Abbildung zeigt die beiden Hauptformen des Ganges. Bei der Form *a* („Feder gang“) lehnt sich der Zahn des Steigrades an einen mit

etwas Anzug versehenen Stein, der an einer Feder sitzt. In der skizzierten Stellung hat sich die Achse A der Unruh bereits so weit gedreht, daß im nächsten Augenblick durch den auf die „Goldfeder“ G wirkenden Hebestein s die Auslösung erfolgen muß, worauf das Steigrad um eine ganze Zahnteilung weberspringt, und der Zahn Z dem Antriebstein S einen Impuls erteilt. Ehe aber Z von S wieder freigegeben wird, legt sich die Feder an den Anschlag p und fängt mit ihrem Steine den nächsten Radzahn auf. Darauf schwingt die Unruh im Ergänzungsbogen vollkommen frei weiter. Bei der Rückkehr drückt der Stein s die Goldfeder nur so viel abwärts, daß er gerade durchschlüpfen kann; eine Hebung findet dabei nicht statt, und der Schlag ist ein toter.

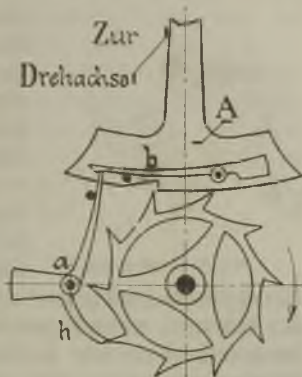


Abb. 38. Freier Gang für Pendeluhren.

Die Feder wird häufig durch einen drehbaren Hebel, die Wippe, ersetzt; Form b stellt die sogenannte deutsche Wippenhemmung dar, bei der der Ruhestein selbst die Achse der Wippe bildet. Das Zurückgehen der letzteren wird durch eine Spiralfeder erzwungen. Der Wippen-gang hat zwar zwei Zapfen mehr als der Federgang, aber er löst bei Erschütterungen nicht so leicht aus und eignet sich deshalb vornehmlich für Taschenchronometer.

Abb. 38 endlich zeigt eine Anwendung des freien Chronometer-ganges auf Pendeluhren, die sich besonders für Halbf Sekundenpendel eignen dürfte, weil dann der Zeiger alle Sekunden springt. Das auf die Ankerachse aufgesetzte Stück A löst mittelst des Hafens b bei jeder zweiten Schwingung den um a drehbaren Ruhehebel h aus, worauf ein Zahn in den Einschnitt von A eingreift und den Impuls vermittelt. Vgl. das auf S. 83 Gesagte.

Die Hebung der Chronometerunruh nimmt einen Winkel von etwa 45° ein; da sie aber nur bei jeder zweiten Schwingung eintritt, so ist der Ergänzungsbogen im Verhältnisse zum Hebungsbogen größer als bei irgendeiner anderen Hemmung. Setzt man die Schwingweite gleich 500° , so macht also die Hebung nur $4,5\%$ der gesamten Schwin-gung aus. Weitere Vorzüge des Ganges sind der sehr geringe Aus-

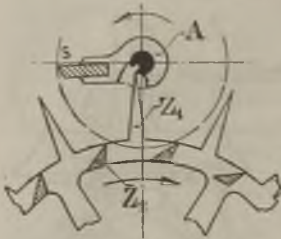


Abb. 39. Duplexgang

lösungswiderstand und die Überflüssigkeit des Oles. Für Seeuhren wird er deshalb ganz allgemein angewendet; weniger gut eignet er sich für Präzisionstaschenuhren, weil er bei heftigen Bewegungen leicht auslöst und weil er wegen des toten Schlages nicht allein in Gang kommt. Auch hat er Neigung zum „Galoppieren“, d. h. bei starker Außenbewegung oder übermäßiger Antriebskraft kann es vorkommen, daß die Unruh sich zweimal herumdreht und dabei zwei Antriebe hintereinander bekommt, worauf natürlich zwei tote Schläge eintreten. Hierdurch entsteht ein sehr starkes Doreilen, weil die Unruh die großen Schwingungen in ungefähr derselben Zeit vollführt wie die kleinen.

Der freie Chronometergang erfordert im allgemeinen die Anwendung einer Schnecke, wenn er erstklassige Leistungen vollbringen soll.

Der Duplexgang (Abb. 39). Der Duplexgang hat zwar mit der Zeit an Bedeutung verloren, aber bei billigeren Taschenuhren kommt er auch heute noch vor, weshalb wir ihn nicht übergehen können. Er wurde im Jahre 1724 von Dutertre angegeben und erhielt seinen Namen nach den ursprünglich vorhandenen zwei Steigrädern. Die Art des Antriebes hat er mit dem Chronometergange gemeinsam, während die Ruhelage an den Röllchengang erinnert. Der Ruhemechanismus ist sehr subtil und empfindlich gegen Veränderungen an den Zapfen, auch erfordert er wegen der scharfen eingehenden Reibung häufige Ölung; trotzdem ist die Abnutzung der Zahnspitzen eine große. Befindet sich die Hemmung in tadellosem Zustande, so sind ihre Leistungen annähernd denen des Anferganges gleichwertig, doch verwendet man die Mühe der genauen Herstellung und Unterhaltung zweimäßiger auf den letzteren. Mit dem Chronometergang teilt der Duplexgang die Neigung zum Stehenbleiben und zum Galoppieren. Da jeder zweite Schlag ein toter ist, so ist es wie bei jenem erforderlich, der Unruh eine gerade Zahl von Schwingungen pro Sekunde zu geben, z. B. vier, damit der Sekundenzeiger auf jedem Teilstrich stehen bleibt.

In der Abbildung ist A die Unruhachse, gegen die sich der Ruhe Zahn Z_1 legt. Dreht sich die Unruh gegen den Sinn des Uhrzeigers, so schlüpft Z_1 durch die Lücke der Achse hindurch, und der Stein s empfängt von dem Zahn Z_2 , der nach vorne aus der Zeichnung herausragend zu

denken ist, einen Impuls. Bei dem Rückgange der Unruh kann der Ruhezahl nicht durchpassieren, und der Schlag ist ein toter.

Mit dieser Zusammenstellung ist die Zahl der in Gebrauch befindlichen oder gar der „erfundenen“ Hemmungen, die etwa 300 beträgt, natürlich bei weitem nicht erschöpft, aber die wichtigsten sind angeführt, und damit ist der dem Rahmen dieses Bändchens entsprechende Zweck erfüllt.

Neuntes Kapitel.

Die Zeitkundgebung.

Es ist begreiflich, daß mit dem Wachstum der Städte, mit der Zunahme von Wandel und Verkehr auch das Bedürfnis nach zuverlässigen Zeitangaben gestiegen ist; bedeutet doch für den der Schnellbahn zustrebenden Großstädter die Minute ebensoviel wie die Viertelstunde für den behäbigen Philister. Auch wenn man weit davon entfernt ist, den Grundsatz „Zeit ist Geld“ zu propagieren; auch wenn man weiß, daß viele, insbesondere künstlerische Leistungen unbedingte Zeitfreiheit erheischen, so muß man doch zugeben, daß die Art und Weise, wie die „öffentliche Meinung“ durch die allerorten sichtbaren und hörbaren Uhren belogen wird, wenig zeitgemäß ist. Will man eben die Zeit öffentlich bekanntgeben, so hat dies mit einer gewissen Genauigkeit zu geschehen. Nimmt man mit Prof. Wilhelm Förster an, daß die Durchschnitts-Mißweisung einer guten Taschenuhr den Wert von einer halben Minute, der Maximalfehler aber eine ganze nicht übersteigen soll, was wegen der Zeigereinstellung berechtigt ist, so bedarf man zur Kontrolle ihres Ganges der öffentlichen Angabe der genauen Sekunde, und andererseits kann man dann billigerweise verlangen, daß die öffentlichen Uhren ohne Sekundenzeiger sich mindestens auch innerhalb jener Fehlergrenzen halten. Mit der Zunahme der Verwendung guter Anfertigungstaschenuhren wird dies Bedürfnis sicher noch weiter wachsen, und umgekehrt lehrt die Erfahrung, daß die Zunahme der Präzision der öffentlichen Zeitangaben das Verlangen nach guten Taschenuhren zu steigern pflegt.

Mit welcher Genauigkeit die Sternwarten die Zeit zu verbürgen imstande sind, hat der Leser bereits aus dem 2. Kapitel erfahren; jetzt wollen wir uns unter den Hilfsmitteln umsehen, die uns die Elektrotechnik geschenkt hat, um Hunderte, ja Tausende von Zeitmessern in übereinstimmendem Gange zu erhalten.

1. Die Augen- und Ohrmethode.

Handelt es sich um die Versorgung weiter Ländergebiete mit Normalzeit, so ist die Anwendung des Telegraphen oder Telephons unter Zwischenschaltung des menschlichen Beobachters das beste Verteilungsmittel. Auf solche Weise erhalten z. B. die Zentralstationen des preussischen Eisenbahndienstes die mitteleuropäische Zeit automatisch durch die Zentraluhr des Schlesiſchen Bahnhofes in Berlin, welche wiederum durch die direkt von der Berliner Sternwarte „sympathetisch“ abhängige Hauptuhr der Gesellschaft „Normalzeit“ richtiggehalten wird. Das Signal besteht in einer 2 Minuten vor 8 Uhr morgens beginnenden Reihe intermittierender Stromunterbrechungen (die Bahn Telegraphie arbeitet mit Ruhestrom), die einem etwa noch gepflogenen telegraphischen Verkehr ein gewaltsames Ende bereiten; rund 1 Minute vorher aber setzt dauernde Unterbrechung ein, deren Punkt 8 Uhr eintretender Schluß die genaue Zeit fundgibt. Nach Angaben von Prof. Förster kommt sie mit großer Genauigkeit an; an einzelnen Stellen ist durch die direkte astronomische Beobachtung festgestellt worden, daß sich die Fehler innerhalb weniger Zehntel der Sekunde halten.

Das Telephon kann man dazu benutzen, um die Schläge einer genauen astronomischen Uhr Hunderte von Kilometern weit hörbar zu machen. Auf diese Art erhalten von Riefler in München viele, 100 und mehr Kilometer weitab wohnende Telephonabonnenten wöchentlich mehrmals die genaue Zeit. — Einige Sternwarten, z. B. die in Hamburg, gestatten sämtlichen Teilnehmern des öffentlichen Fernsprechnetzes unter einer bestimmten Nummer jederzeitigen Anschluß an die Normaluhr, die jede Minute ein Signal in das Netz gibt.

Die modernste Methode dieser Art ist die funfentelegraphische. Von der Großstation Norddeich wird alle 12 Stunden um 1 Uhr ein derartiges Signal gegeben, das den Schiffen die Kontrolle des Ganges der Chronometer ermöglicht. Auf der internationalen Konferenz zu Paris ist 1912 eine Vereinheitlichung des Zeitdienstes angeregt worden; die Station Eiffelturm soll die aus den Angaben der verschiedenen Observatorien ermittelte Normalzeit verteilen. Da sie aber nicht überall hinreicht, so sind vorläufig noch 14 andere Stationen vorgesehen, darunter auch Norddeich. Ein entsprechendes internationales Abkommen ist 1913 ebenfalls in Paris getroffen. — Als Empfänger für die Zeit signale baut die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie zu Berlin einen zwischen Erde und Antenne zu schaltenden Apparat, der

ein an der Seite des Wandkästchens hängendes Telephon trägt, mit dem das Zeichen aufgenommen wird; bei hängendem Hörer ist die Antenne geerdet. Die Wellenlänge ist auf 1650 m festgesetzt, und bei 5% Abweichung ist nichts mehr vernehmbar. Andere derartige Empfänger stammen von Dr. Huth und Carl Warmbach.

Um für besondere Zwecke die meist nur 0,25 Sekunden verbürgende Genauigkeit der Hörmethode zu verbessern, hat man ein besonderes Verfahren erdonnen, das vor Mitternacht am Eiffelturm in Tätigkeit treten soll und auf folgender originellen Idee beruht: der Eiffelturm gibt um diese Zeit in Abständen von $\frac{50}{51}$ Sekunden je ein ganz kurzes, nur aus einem Funken bestehendes drahtloses Signal mit Hilfe eines Kontaktes an einem Pendel von 0,9804 Sekunden Schwingungsdauer, die zu vergleichende Normaluhr aber, deren Abweichung mit dem gewöhnlichen Hörverfahren bereits bis auf Bruchteile der Sekunde ermittelt ist, ebensolche in Abständen von 1 Sekunde; zählt man nun an ihrem Zeiger die Sekundenzahl ab, die von dem sich alle 50 Sekunden wiederholenden und bekanntgegebenen Moment, an dem das Eiffelturmsignal einen wirklichen Sekundenbeginn markiert, bis zum ersten möglichst genauen Zusammenfallen beider Töne im Telephon, der sogenannten Koinzidenz, vergeht, so hat man, was leicht einzusehen ist, die halbe Zahl der Hundertstel Sekunde, um die die zu prüfende Normaluhr differiert. Es handelt sich also um eine Art von akustischem „Zeitnonius“, wie jeder Kenner des Nonius sofort bemerken dürfte.

In neuerer Zeit sind Projekte aufgetaucht, Uhren direkt auf funkentelegraphischem Wege zu regulieren, so z. B. in Sulda; wie zu erwarten stand, bisher ohne allen Erfolg.

2. Das sog. Zifferblattsystem.

Eine genaue Hauptuhr beeinflusst eine größere Anzahl von Nebenuhren in dem Sinne, daß sie deren Zeiger jede volle oder auch jede halbe Minute um einen Teilstrich weiter springen läßt; die Nebenuhren haben also kein selbständiges Gangwerk, sondern sie werden rein elektromagnetisch betätigt, oder sie sind, z. B. bei Turmuhren, durch Gewichte getriebene Laufwerke, neuerdings auch wohl durch einen kleinen Elektromotor direkt in Bewegung gesetzte Räderysteme, die alle Minuten von der Hauptuhr ausgelöst werden. Aus dem jedesmal am Schlusse der vollen Minute erfolgenden Zeigersprung läßt sich übrigens die genaue Sekunde entnehmen.

Ein Nachteil dieses besonders für begrenzte Bezirke geeigneten Systems besteht darin, daß bei einer Störung der Leitung oder der Hauptuhr sofort alle angeschlossenen Zeigerwerke falsch anzeigen, was aber bei den modernen Konstruktionen kaum noch vorkommt. — Ein Vorläufer der Zifferblattanlagen war das Popp'sche Luftdrucksystem in Paris, das zum Teil noch jetzt in Betrieb ist.

Bei einer Zifferblattanlage unterscheidet man also zwischen der Haupt- und den Nebenuhren oder Zeigerwerken. Die Hauptuhr ist eine selbständige, genau gehende Pendeluhr, die alle Minuten einen Stromstoß in das von ihr abhängende Leitungsnetz sendet, und zwar bei den jetzt gebräuchlichen Konstruktionen in abwechselnder Richtung; hierdurch wird die Sicherheit gegen Störungen (z. B. Vibrieren der Kontakte) vergrößert, und außerdem geschieht die Zeigerbewegung bei den „Stromwechsel“-Nebenuhren energischer als bei Gleichstromwerken. Die Hauptuhr hat meistens ein besonderes Laufwerk, das durch das Gangwerk jede volle Minute ausgelöst und neuerdings auch aufgezogen wird und nun seinerseits den stromgebenden Apparat betätigt. Dieser kann beispielsweise wie folgt eingerichtet sein (Abb. 40a): das Erzzenter E wird durch das Laufwerk jedesmal um eine halbe Umdrehung vorwärtsgedreht, etwa im Sinne des Uhrzeigers; dabei hebt es die Feder f_1 von ihrer Unterlage empor, und der Strom fließt vom positiven Pol der Batterie B über f_2 in die Leitung L, durch die Nebenuhren und von diesen zurück über f_1 und E wieder nach der Batterie. Kurz bevor die Drehung vollendet ist und das Erzzenter die Feder f_1 verläßt, legt sich diese wieder an ihren Ruhekontakt K an, so daß die Leitung kurz geschlossen und ein Öffnungsfunken vermieden wird.

Bei allen elektrischen Apparaten, in denen aus Elektromagneten kommende Ströme plötzlich unterbrochen werden müssen, ist die Beherrschung des Öffnungsfeuers eine wichtige Sache; man erreicht sie eben auf die oben angegebene Weise, indem man dem Strom im letzten Augenblicke vor der totalen Unterbrechung irgendeinen Nebenweg zum Totlaufen eröffnet.

Berührt E nach einer Minute bei der weiteren Drehung um 180° die Feder f_2 und hebt sie hoch, so geht wiederum ein Stromstoß in die Leitung, diesmal aber in umgekehrter Richtung.

Die Batterie der Zentraluhr erfordert wenig Bedienung, wenn sie als Akkumulatorenbatterie mit „konstanter Ladung“ ausgeführt, d. h.

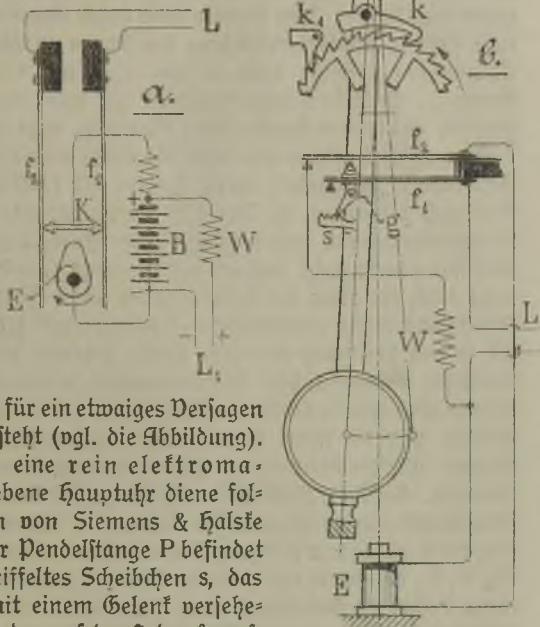
an die Lichtleitung L_1 über einen Widerstand W hinweg dauernd angeschlossen ist. W muß so groß gehalten werden, daß im Laufe eines Tages gerade so viel Strom der Batterie zufließt, als für sämtliche 1440 Stromimpulse notwendig ist, oder besser noch etwas mehr,

damit eine Reserve für ein etwaiges Versagen der Lichtleitung besteht (vgl. die Abbildung).

Als Beispiel für eine rein elektromagnetisch angetriebene Hauptuhr diene folgende Konstruktion von Siemens & Halske (Abb. 40b): an der Pendelstange P befindet sich seitlich ein geriffeltes Scheibchen s , das unter dem bei g mit einem Gelenk versehenen Stift hinstreift, der auf der Feder f_1 aufliegt.

Unterschreitet die Schwungweite des Pendels eine gewisse Größe, so bleibt die Spitze des Stiftes in der Riffelung von s hängen, und f_1 wird durch das Pendel kurz nach dessen Umkehr angehoben, setzt sich aber, gleich nachdem das Pendel die Mittellage überschritten hat, wieder auf. Während des Anhebens kommt f_2 zum Kontakt mit dem Stift, und der hierdurch geschlossene Strom erregt den Elektromagneten E , der dem Pendel einen Impuls erteilt. Noch bevor aber f_2 von f_1 freikommt, legt es sich wieder an seinen Ruhekontakt an und schließt die Drahtspule des Magneten E über den Widerstand W hinweg kurz, so daß sich der Strom der Spule E durch W totlaufen kann, und die Öffnung des Kontaktes zwischen f_1 und f_2 ohne nennenswerte Feuererscheinung erfolgt. — Das auf diese Weise in Bewegung erhaltene Pendel schaltet mittels einer einfachen Klinke k das Steigrad

Abb. 40. Hauptuhr, Stromgeber.



bei jeder zweiten Schwingung um einen Zahn vorwärts und dreht so den Zeiger; eine Sperrklinke oder Bremse k_1 verhindert das Zurückgehen des Rades. Jede Minute wird durch eine direkt auf dem Steigrade sitzende Kontaktvorrichtung der Strom in die Leitung und die Nebenuhren gesandt, bald in der einen und bald in der anderen Richtung. Dieselbe Ganggenauigkeit wie beim mechanischen Antrieb läßt sich mit solcher Konstruktion allerdings nicht erzielen.

Ganz ohne Batterie und ohne Kontakte arbeitet die Hauptuhr der Gesellschaft „Magna“, deren System seit 1900 mehr und mehr in Gebrauch gekommen ist. Das sehr kräftig gebaute Werk besitzt einen Nachspannapparat, dessen überschüssige Energie aber nicht in einem Windfang verbraucht, sondern zur Drehung einer Kurbel um 180° benutzt wird, die durch ein Hebelgestänge unter Mitwirkung geeigneter Prellfedern einen „magnetischen Kommutator“ jede Minute umschaltet, so daß der durch eine feste Spule gehende Induktionsfluß eines ebenfalls unbeweglichen Stahlmagneten jedesmal umgepolt wird. Hierbei entstehen in der Spule Stromstöße, die in das Leitungsnetz eindringen und die meist hintereinander geschalteten Nebenuhren betätigen. Wie die Richtung des Flusses, so wechselt auch jedesmal die des Stromes. Auf diese Weise lassen sich bis zu 750 Nebenuhren von einem Hauptwerke aus versorgen. Der Aufzug des letzteren erfolgt entweder von Hand oder etwa alle zwei Stunden durch einen Elektromotor von $\frac{1}{16}$ P. S., der durch das sinkende Gewicht eingeschaltet wird. Neuerdings liefert die Gesellschaft auch Hauptwerke, die direkt an eine vorhandene Turmuhr angebaut werden können und von dieser selbsttätig aufgezogen werden. — Auch für Schiffe ist das System verwendbar; hier ist die Hauptuhr ein Anfergang mit Federzug oder mit geführtem Gewicht.

Praktisch ist die Verbindung der Hauptuhren mit automatischen Signalanlagen für Klingelbetrieb in Schulen, Fabriken usw.; die Zeichengebung wird in einfachster Weise durch ein in 24 Stunden abrollendes Stahlband mit verstellbaren Kontakten bewerkstelligt.

Die Nebenuhren, die durch die wechselnden Stromstöße der Hauptuhr alle Minuten in Tätigkeit gesetzt werden, lassen sich in solche mit oszillierendem und solche mit rotierendem Anker einteilen. Das Prinzip des oszillierenden oder pendelnden Werkes soll an Abb. 41a erläutert werden, die im großen und ganzen die Konstruktion von Siemens & Halske schematisch wiedergibt. Der in der Leitung liegende

Elektromagnet E steht auf dem einen Pole des permanenten Stahlmagneten M, der drehbare Anker A aber ruht mit seinen Zapfen in dem anderen Pol. Der Name „polarisierte Nebenuhr“ rührt von der Anwendung des permanenten Pole besitzenden Stahlmagneten her. In der gezeichneten Stellung

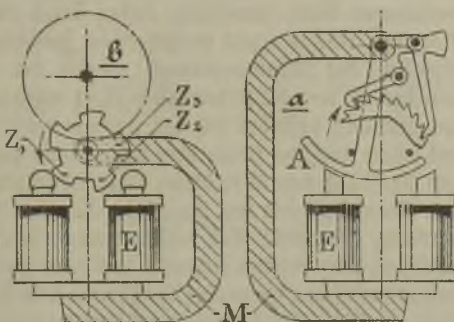


Abb. 41. Nebenuhren.

geht, solange E stromfrei bleibt, der magnetische Kraftfluß von M hauptsächlich durch den linken Schenkel von E, weil hier der hindernde Luftspalt viel schmaler ist als rechts. Dadurch wird der Anker an dem linken Schenkel festgehalten. Wird nun von der Hauptuhr ein Strom in solcher Richtung durch die Spulen des Elektromagneten hindurchgeschickt, daß der Kraftfluß in dem linken Schenkel geschwächt, in dem rechten dagegen verstärkt wird, so wird der Anker auf die rechte Seite herübergezogen, wo er bis zum nächsten, in umgekehrter Richtung erfolgenden Stromstoß liegen bleibt. Bei jeder Bewegung des Ankers wird das Zahnrad durch das Fortschaltewerk um eine halbe Zahnteilung weiterbefördert. Da zwei Klitten vorhanden sind, so geschieht die Fortschaltung kontinuierlich, und eine besondere Sperrklinke, wie bei der Siemens'schen Hauptuhr, ist überflüssig. Wohl aber ist noch eine Einrichtung vorhanden, die die Klinke und somit das Rad feststellt, solange sich der Anker in einer der Endlagen befindet. Das ist nötig, weil sonst die Zeiger durch Erschütterungen oder durch Winddruck außer der Zeit weitergeschoben werden könnten. — Etwas anders ist die oszillierende Nebenuhr der Gesellschaft „Magneta“ gebaut, in der A auf einen eigenartigen, bei größeren Ausführungen zweiteiligen Stifanker einwirkt, der das Rad fortzuschaltet.

Die Nebenuhr mit rotierendem „Z-Anker“ ist gebräuchlicher als die mit pendelndem Anker, wenigstens für Innenuhren. Ihr nicht ganz einfaches Prinzip möge an Abb. 41 b erklärt werden, die etwa die Konstruktion von Hipp darstellt. Der Anker ist hier zu einem mit breiten Zähnen

versehenen Rade geworden, dessen Trieb direkt in das Minutenrad eingreift. Alle hin- und hergehenden Zwischenteile fallen mithin fort, wodurch der Stromverbrauch wegen der verminderten Reibung herabgesetzt und die Betriebsicherheit erhöht wird. In der gezeichneten Stellung befindet sich der unsymmetrisch geformte Zahn Z_1 mit seiner höchsten Stelle dem linken Pole gegenüber und wird durch den Kraftfluß von M in dieser Lage festgehalten; kommt nun ein solcher Stromstoß von der Hauptuhr, daß der linke Schenkel von E geschwächt, der rechte aber verstärkt wird, so überwiegt die Anziehung zwischen dem rechten Schenkel und dem Zahn Z_2 , der vermöge der unsymmetrischen Form von Z_1 näher an dem Pole des rechten Schenkels liegt als Zahn Z_3 ; folglich wird der Radanker um eine halbe Zahnteilung gegen den Sinn des Uhrzeigers so weit fortgeschaltet, bis die höchste Stelle von Z_2 dem rechten Pole gegenüberliegt. Bei dem nach einer Minute eintretenden umgekehrten Stromstoße dreht sich der Anker um eine weitere halbe Zahnteilung, und zwar in derselben Richtung, wie man leicht einsieht. — Bei dem analog wirkenden „Doppel-Z-Anker“ umfassen die Magnetpole eine ganze Zahl von Zähnen, die aber hier abwechselnd nord- und südmagnetisch sein müssen; die Fortschaltung beträgt daher eine volle Zahnteilung.

Zum Betriebe der Nebenuhren sind etwa 12 Volt erforderlich; der Stromverbrauch ist gering und kann im Bedarfsfall von Klingelementen bestritten werden.

3. Das sog. Reguliersystem.

Hier sind die Nebenuhren selbständig gehende, etwas auf Voreilen eingestellte Gangwerke mit Pendel, die nur von Zeit zu Zeit durch eine Normaluhr berichtigt werden. Auf solche Weise lassen sich sehr viele, 12 und mehr Kilometer entfernte Nebenuhren durch ein verästeltes Leitungsnetz an eine einzige Normaluhr anschließen. Bleibt der korrigierende Stromimpuls einmal aus, so tritt kein Stillstand ein, sondern die Nebenuhren gehen allein weiter. Meist wird das Reguliersystem zum Richtighalten der Hauptuhren der verschiedenen zerstreut liegenden Zifferblattanlagen benutzt; mit einem solchen „gemischten“ Betriebe vermag man eine ganze Großstadt zu beherrschen.

Die bekannteste Anordnung dieser Art ist die der Gesellschaft „Normalzeit“, deren Nebenuhren mit Genehmigung der Direktion der Königlichen Sternwarte die Umschrift „Normalzeit der Sternwarte“ tragen. Eine genaue und starke Hauptuhr treibt ein Kontaktrad R

(Abb. 42), das den Stromkreis der Batterie B alle $3\frac{3}{4}$ Minuten für 2 Minuten schließt; der Vorgang wiederholt sich also in der Stunde 16 mal. An jede der von ihr ausgehenden Lei-

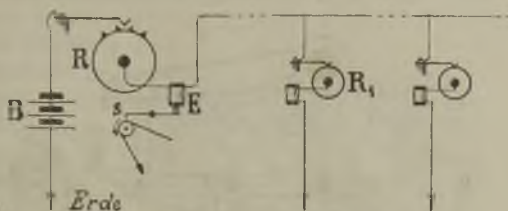


Abb. 42. System „Normalzeit“.

zungen sind in der skizzierten Weise oder auch verästelt bis zu 64 Nebenuhren in Parallelschaltung angeschlossen, die ebenfalls je ein Kontakttrader R_1 besitzen, das den Strom alle 4 Stunden oder auch öfter gerade dann auf eine Minute schließt, wenn die Nebenuhr das volle Sechzehntel der Stunde erreicht hat; und zwar tun sie das nicht alle auf einmal, sondern eine nach der andern der Reihe nach. Sobald der Strom nun beiderseits geschlossen ist, hält ein in die betreffende sekundäre Uhr eingebauter Elektromagnet die Führungsgabel des Pendels, die hier einseitig an der Stange anliegt, fest, während das letztere unbehelligt weitererschwingt. Dies geschieht wegen des Voreilens der Nebenuhr jedesmal um einige (etwa 2) Sekunden vor dem Moment, wo die Hauptuhr den Strom wieder unterbricht, was nach Obigem genau in Abständen von 4 Stunden stattfindet. In diesem richtigen Augenblick wird also die Nebenuhr wieder freigegeben. — Ein an der Zentraluhr eingebauter Elektromagnet E betätigt beim Stromschlusse weiter eine Nadelspitze, die einen Eindruck in einen laufenden Papierstreifen macht, durch dessen Lage sich der Zeitpunkt des Einschaltens durch die Nebenuhr verrät; hiermit ist eine Kontrolle jeder einzelnen Nebenuhr von der Zentrale aus ermöglicht. Der Aufzug der kleineren Nebenuhren geschieht durch den schon auf S. 30 erwähnten, von einigen Trockenelementen gespeisten Mechanismus. Da von einer Hauptuhr 20 und mehr Leitungen ausgehen, die je 64 parallelgeschaltete Nebenuhren versorgen, so vermag sie also über 1000 Uhren „am Gängelbände“ zu führen. Insgesamt sind auf diese Weise in Berlin über 20 000 Nebenuhren angeschlossen.

Außer der bereits erwähnten Zeitabgabe an die Staatsbahn hat die Gesellschaft auch die Regulierung der Uhren der Reichspost- und Telegraphenverwaltung, zahlreicher Zeitballstationen in Hafenorten für die Zwecke der Chronometerkontrolle, vieler öffentlicher Gebäude und den Betrieb der Sendestation Norddeich (vgl. S. 92) übernommen.

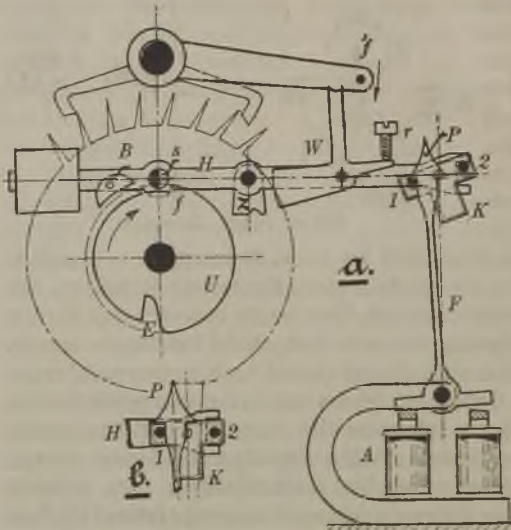


Abb. 43. „Magna“-Reguliervorrichtung.

Anders geartet ist das Regulierprinzip der Gesellschaft Magneta, mit dem diese neuerdings die Hauptuhren ihres auf S. 96 beschriebenen Zifferblattsystems durch eine Normalhauptuhr richtig hält, und zwar durch denselben Induktionsstromstoß, der auch die Nebenuhren betätigt, so daß also die Nebenuhren eines benachbarten Häu-

serblocks mit den zu regulierenden Hauptuhren der anderen Blocks oder auch mit Turmuhren hintereinander geschaltet werden können. Außerdem erfolgt die Berichtigung der sekundären Hauptuhren, die wie bei „Normalzeit“ auf Doreilen eingestellt sind, hier nicht alle 4 Stunden, sondern immer dann, wenn die Differenz den Wert einer Sekunde erreicht hat, so daß die Kontrolle eine noch straffere ist; allerdings verbietet sich bei diesem System die Anwendung eines Rücksignals. — Abb. 43 gibt eine Prinzipstizze des geistreichen Mechanismus, der in die Sekundäruhren eingebaut wird. Der jede Minute eindringende Stromstoß betätigt den einer oszillierenden Nebenuhr nachgebildeten Umschalter A, so daß der auf der Blattfeder F sitzende Pfeil P jedesmal umgelegt wird. Geschieht dies, wenn der Stein s des um z drehbaren Hebels H noch nicht über den Abfall f der auf die Gangradwelle gefeilten unrundern Scheibe U hinweg ist, so ereignet sich gemäß Abb. 43 b nichts, und der Pfeil befindet sich nachher über Stift 2 statt über 1; ist die Sekundäruhr aber bereits über eine Sekunde, d. h. so weit vorgeeilt, daß s schon über dem tiefer ausgedrehten Scheibenteil stand, wie in Abb. 43 a, so kommt P beim Umlegen unter den Stift 2 des auf H beschränkt dreh-

baren Kniestückes K zu liegen. Nach etwa einer halben Minute gelangt nun der Einschnitt E unter s, und H fällt, durch P nicht mehr gehalten, beim Linksgange des Pendels gerade im Moment der vollendeten Hebung herab, wobei der Bremsfloß B das Gangrad feststellt. Der nun

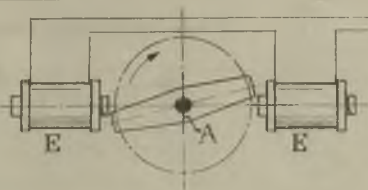


Abb. 44. Reguliervorrichtung von Siemens und Halske.

folgende Rechts- und Linksgang spielt sich bei stillstehendem Gangrade ab, und die Uhr bleibt um zwei Sekunden zurück. Nähert sich das Pendel wieder der linken Endlage, so drückt der auf der Pendelachse montierte, seiner tiefsten Stellung zustrebende Stift t das Winkelstück W, das sich, gestützt durch die Schraube r, beim Falle des Steines nach rechts geneigt hatte, herab, und mit ihm den Hebel H, so daß P jetzt wieder einschnappen kann, womit die Arretierung des Gangrades gelöst ist und die Uhr weitergeht, natürlich mit 2 Sekunden Verzögerung, d. h. mit einer Sekunde Nachteilung. Nach 1 bis 4 Stunden, wenn die Zurückstellung durch die Voreilung wieder eingeholt ist, wiederholt sich der Vorgang. Wie man sieht, kann die Abweichung von der Normalzeit der Zentral-Hauptuhr nie größer als 1 Sekunde werden.

Auch Siemens & Halske regulieren die „Relais“-Hauptuhren ihrer Zifferblattanlagen von einer Normal-Hauptuhr aus durch denselben Stromstoß, der die angeschlossenen Nebenuhren betätigt, und zwar jede Minute (Abb. 44). Im Augenblick des Stromstoßes wird der auf der Minutentradwelle sitzende Anker A durch den Elektromagneten E — E in dessen Achse gerückt, falls er abgewichen sein sollte. Die Schaltung ist dieselbe wie beim System Magneta, der Mechanismus einfacher, aber nicht so genau in seiner Funktion und auch nicht überall anwendbar.

4. Die sympathetische Koppelung.

An Genauigkeit übertroffen werden die bisher besprochenen Zeitübermittlungssysteme durch die zuerst im Jahre 1860 in England durch Jones ausgebildete Methode der sympathetischen Koppelung, bei der die Pendel sämtlicher, als selbständige Gangwerke gebauten Nebenuhren auf elektromagnetischem Wege gezwungen werden, mit dem der Normaluhr synchron, d. h. gleichzeitig zu schwingen.

Meistens wird dies durch einen intermittierenden elektrischen Strom

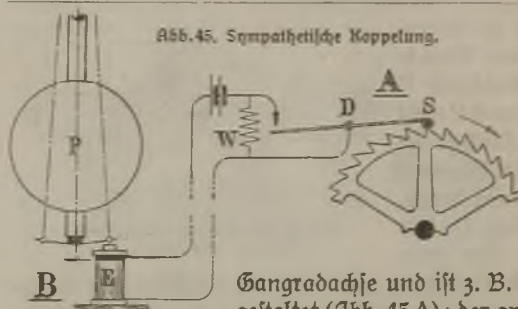


Abb. 45. Sympathetische Koppelung.

erreicht, der von der Normaluhr je eine Sekunde lang geschlossen und dann wieder eine Sekunde lang unterbrochen wird. Die Kontaktvorrichtung befindet sich auf der

Gangradachse und ist 3. B. bei Kiefler wie folgt gestaltet (Abb. 45 A): der an einem leichten, um D drehbaren Hebel befestigte Stein S ist so gestellt, daß er je eine Sekunde lang auf einem Zahn des Kontakttrades und dann wieder eine ebenso lange Zeit in der Zahnlücke liegt. Dabei wird der Kontakt am anderen Ende des Hebels abwechselnd geöffnet und geschlossen. W ist eine selbstinduktionslose „Antifunkenspule“, die bei der Stromunterbrechung den aus der Leitung kommenden Extrastrom aufnimmt und so die Korrosion des Kontaktes durch Öffnungsfeuer verhindert. — Unter den Pendeln P der Nebenuhren befindet sich seitlich, dem Prinzip nach so weit von der Mitte entfernt, als die halbe Schwingungsweite beträgt, je ein Elektromagnet E, der auf den an der Pendelstange befestigten Eisenanker anziehend wirkt oder nicht, je nachdem ob er erregt oder unerregt ist (Abb. 45 B). Sämtliche Magnete E der Nebenuhren liegen in dem obenerwähnten Stromkreis der Normaluhr. Erregt sind sie immer dann, wenn die Nebenuhrpendel sich ihnen nähern, und umgekehrt. Dadurch werden die Pendel eben gezwungen, mit dem der Normaluhr synchron zu schwingen. Die dynamische Wirkungsweite der magnetischen Zugkräfte auf die Pendel ist verwickelter, als es den Anschein hat; sie besteht im wesentlichen darin, daß die Anker so lange über den Magneten festgehalten werden, bis der Strom unterbrochen ist. Deshalb wird ein Voreilen der Nebenuhren besser überwunden als ein Zurückbleiben, und man stellt sie zweckmäßig auf ein tägliches Vorgehen von einer bis zwei Sekunden ein. Zu bemerken ist, daß durch diese Vorrichtung ein ganz genauer Synchronismus tatsächlich nicht erreicht wird, sondern vielmehr die Nebenuhren um einige Zehntel Sekunde nachhinken; das läßt sich aber leicht dadurch ausgleichen, daß man die Hauptuhr um ein entsprechendes Stück vorlaufen läßt. Bei der beschriebenen Anordnung kommt man mit Stromstärken von vier

bis zehn Tausendstel Ampere aus, so daß sich ein ganzes Duzend hintereinander geschalteter Nebenuhren an eine einzige Hauptuhr hängen läßt, ohne ihren Gang merkbar zu beeinflussen. Will man aber die Normaluhr ganz entlasten, so schaltet man Relaisuhren ein, wie es auf S. 104 bei der Beschreibung der von Riefler aufgestellten Anlage des Deutschen Museums in München erklärt ist.



Abb. 46.
Quecksilberfontant.

Das System des sympathetischen Ganges eignet sich besonders für Sternwarten, wo eine größere Anzahl Uhren auf die Sekunde genau übereinstimmen muß. Es läßt auch die Anwendung eines Rücksignals zu, wie wir es z. B. bei dem System „Normalzeit“ schon kennen gelernt haben. Zu dem Zwecke läßt man den Synchronisationsstrom durch das Werk der Nebenuhr gehen, woselbst er durch eine mit dem Sekundentade verbundene Kontaktvorrichtung alle Minuten einmal unterbrochen wird, etwa von der 58. bis zur 60. Sekunde. An dieser Unterbrechung erkennt man auf der Zentralstation, ob die betreffende Nebenuhr richtig gefolgt ist oder nicht. Mit dem Reguliersystem hat die sympathetische Koppelung den Vorzug gemeinsam, daß die Nebenuhren bei einer Unterbrechung der Stromzuführung ruhig allein weitergehen und durch den wiedereinsetzenden Strom allmählich wieder in die richtige Schwingungsphase zurückgeholt werden; an Genauigkeit überragt sie jenes, weil jeder einzelne Sekundenschlag verbürgt ist, dagegen ist der Verbrauch an Leitungsmaterial viel größer und die Anlage deshalb kostspieliger und weniger zum Massenbetrieb geeignet.

Für manche Zwecke, die, wie der Zeitnonius, absolut genau 1 Sekunde auseinanderliegende Stromstöße erfordern, genügt der Steigradfontant nicht; in solchem Falle muß man das Pendel selbst als Kontaktgeber benutzen. Um dies möglichst ohne Störung zu bewerkstelligen, hat man mancherlei Konstruktionen erdonnen, die meist darauf abzielen, dem Pendel die Arbeit des Stromschlusses in der Mitte seiner Bahn, wo es bekanntlich am unempfindlichsten ist, zu übertragen und sie ihm außerdem so bequem wie möglich zu machen. Abb. 46 zeigt eine solche Anordnung; der Stift s durchstreicht eine Quecksilbertuppe M und bewirkt so den Stromschluß.

Zusammenfassung. Die verschiedenen Arten der Zeitabgabe lassen sich bequem an dem Beispiel einer Turmuhr vergleichen:

1. Augen- und Ohrmethode. Die Angaben der selbständig gehenden, mit Nachspannwerk ausgerüsteten Uhr werden etwa jede Woche mit der telephonisch übermittelten Zeit verglichen.

2. Zifferblattsystem. Die Uhr ist als bloßes Laufwerk mit Gewichts- oder auch Elektromotorantrieb ausgebildet und wird jede halbe oder ganze Minute durch eine Normaluhr vermöge einer der polarisierten Nebenuhr nachgebildeten Vorrichtung ausgelöst.

3. Reguliersystem. Sie wird auf Dorgehen einreguliert und z. B. nach der Methode der Normalzeit alle 4 Stunden durch Festhalten des Anfers oder nach dem System Magneta immer dann durch Bremsung des Gangrades zurückgehalten, wenn die Abweichung eine Sekunde erreicht hat.

4. Sympathetische Koppelung. Ihr Pendel wird mit dem einer genauen Normaluhr elektromagnetisch gekoppelt, so daß die Sekunde jederzeit verbürgt ist.

Auf diese Weise kann man es erreichen, daß der erste Schlag der Viertelglocke, aus unmittelbarer Nähe wahrgenommen, den präzisen Beginn der Viertelstunde markiert. In weiterer Entfernung hat man zu berücksichtigen, daß der Schall 3 Sekunden braucht, um 1 km zurückzulegen.

Zum Schlusse sei eine allgemeine Beschreibung der von Dr. Riefler im Deutschen Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik zu München aufgestellten elektrischen Uhrenanlage gegeben, die alle Vorteile der Anwendung der Elektrizität ausnutzt und außerdem deshalb öffentliches Interesse besitzt, weil von ihr sämtliche Post- und Telegraphenstationen Bayerns täglich das Zeitsignal bekommen. Vgl. die Schaltungsstizze Abb. 47.

Die Anlage besteht aus einer Hauptuhr H und einer Relaisnebenuhr N, sowie aus zwei Schalttafeln mit den nötigen Meßapparaten, Umschaltern und dergl. nebst Batterien. Außerdem befindet sich in Rieflers Laboratorium am Lenbachplatz eine weitere Schalttafel für die Serneinstellvorrichtung und ein Chronograph, die mit zu der Anlage zu rechnen sind.

Die Hauptuhr H besitzt luftdichten Glasverschluß, freien Rieflergang, Nickelstahlpendel und elektrischen Aufzug, der seinen Strom über den Regulierwiderstand W_1 hinweg von den gemeinsamen Sammelschienen S bekommt, zwischen denen eine Spannung von vier Volt herrscht. W_1 wird so eingestellt, daß der Aufzug alle 32 bis 34 Sekunden erfolgt, desgleichen auch der Widerstand W_2 , über den der Aufzugstrom der Nebenuhr N geht. Diese letztere, welche sich von der Hauptuhr dadurch unterscheidet, daß ihr Gehäuse nicht luft-, sondern nur staubdicht ist, bekommt von dem intermittierenden Sekundenkontakt am Steigrade der Hauptuhr den Synchronisationsstrom, der mittels des Regulier-

aus durch den an der Uhr H angebrachten Feinjustapparat. Man stellt zu dem Zwecke den Umschalter U_1 nach oben und bekommt durch Schließen des Kontaktes U_3 eine Retardation von 0,1 Sekunde pro Stunde, desgleichen eine Akzeleration von demselben Betrage, wenn man U_2 nach oben legt. Die beiden Elektromagnete der Einstellvorrichtung haben die gemeinsame Rückleitung R, die durch einen Vor-schaltwiderstand W_4 geht, der den Strom auf einer Stärke von 14 Milliampere hält.

Ein besonderer Vorzug der Anordnung ist der, daß die Hauptuhr H nur den schwachen Synchronisationsstrom zu liefern hat, während die als Relais benutzte Nebenuhr N alle anderen Apparate mit Strom versorgen muß. Weiter ist es sehr zweckmäßig, daß die Nebenuhr chronographisch verglichen, die Hauptuhr dagegen eingestellt wird; hiermit wird über beide Uhren zugleich eine Kontrolle ausgeübt, weil jede Störung ihres synchronen Ganges sich sofort am Chronographen bemerkbar machen würde.

Die Sammelschienen S erhalten ihren Strom von der Akkumulatoren-batterie B_1 , welche von der Lichtleitung L aus über zwei Sicherungen s und die Vor-schalteglühlampen G hinweg dauernd mit einer Stromstärke von 15 Milliampere geladen wird, während sie im Durchschnitt bloß 10,7 Milliampere abzugeben hat. Der Ladestrom kann durch das Amperemeter A_2 kontrolliert werden. — Für vorkommende Fälle ist auch noch eine Primärbatterie B_3 als Reserve vorgesehen. Das ausschaltbare Voltmeter V gestattet jederzeit eine Prüfung der Schienen-spannung.

Zehntes Kapitel.

Mittlerer Gang und Gangvariation.

Bei der Beurteilung der Angaben und Leistungen eines Zeitmessers kommen drei Größen in Betracht, die häufig miteinander verwechselt werden, nämlich der Stand, der Gang und die Variation oder Veränderung des Ganges. (Vgl. Kap. 2.)

Unter dem Stande versteht man die Differenz zwischen dem, was die Uhr wirklich anzeigt, und dem, was sie anzeigen sollte. So bedeutet z. B. „Stand + 3,2 sek“, daß die Uhr um 3,2 Sekunden hinter der Normaluhr zurück ist oder „nachgeht“, anderseits z. B. „Stand — 1,4 sek“, daß sie um diesen Betrag vorgeht. Die Vorzeichen der Standangaben sind also derart gedacht, daß man sie als Korrektur zu den An-

gaben der Uhr zu addieren hat, wenn man die richtige Zeit bekommen will. — Für den Stand ist die Uhr nicht verantwortlich zu machen; man kann ihn sofort durch Stellen der Zeiger beseitigen, resp. wenn man den Sekundenzeiger mitkorrigieren will, durch entsprechend langes Anhalten, im Falle des Nachgehens verbunden mit einem Vorstellen um eine Minute. Bei astronomischen Uhren geschieht die Korrektur bekanntlich durch entsprechende Handhabung des Feineinstellapparates, der Zulagegewichte oder der Luftpumpe, oder auch, wie bei den Chronometern, einfach durch Notieren des Standfehlers.

Der zweite in Betracht kommende Begriff ist der tägliche Gang. Er bedeutet die Änderung, welche der Stand im Verlaufe von 24 Stunden erfährt. Z. B. heißt „Gang — 2,6 sek“, daß der Stand pro Tag um eben diese Größe abnimmt, oder daß die Uhr pro Tag 2,6 Sekunden „gewinnt“; umgekehrt bezeichnet „Gang + 1,8 sek“ ein tägliches „Verlieren“ vom entsprechenden Betrage. Kennt man also den Stand einer Uhr sowie auch ihren Gang, so kann man den Stand, wie er z. B. nach zwei Tagen vermutlich sein wird, sofort dadurch ermitteln, daß man den Gang unter Berücksichtigung der Vorzeichen zweimal zu dem Stande addiert. — Der Gang ist somit kein Fehler der Uhr, solange er konstant bleibt; man kann ihn in bekannter Weise durch die Pendelschraube, durch Zulagegewichte, durch die Luftpumpe oder durch den Ruder beseitigen, oder ihn endlich, wie bei Seechronometern, einfach rechnerisch verwerten, ohne an der Uhr etwas zu verändern. Dies Verfahren ist auch bei Präzisionstaschenuhren, von abnormen Fällen abgesehen, das empfehlenswerteste, weil die Betätigung des Ruders eine gewisse Unruhe in den Gang der Uhr bringt, die erst nach Tagen verschwindet und das Geschäft des Regulierens erschwert.

Stand und Gang berühren also die Zuverlässigkeit eines Zeitmessers in keiner Weise; anders steht es mit der Variation, d. h. der Änderung, welcher der Gang im Laufe der Zeit unterliegt. Betrug er z. B. am 10. April, von Mittag bis Mittag gerechnet, + 2,5 sek, am 11. — 0,5 sek und am 12. + 1 sek, so war die Variation, bei der es, wie bei jedem „zufälligen“ Fehler, auf das Vorzeichen im allgemeinen nicht ankommt, in der Zeit vom ersten zum zweiten Beobachtungstage — 0,5 — 2,5 = |3| und vom zweiten zum dritten Tage 1 — (— 0,5) = |1,5| Sekunden, also im Mittel $\frac{3+1,5}{2} = |2,25|$ Sekunden pro Tag.

Die Größe der mittleren täglichen Variation gibt tatsächlich einen

Maßstab für die Güte eines Zeitmessers ab; bei einem idealen Exemplar müßte sie null sein. Da man sie im allgemeinen nicht voraussehen kann, so kommt in die Angaben des Zeitmessers ein Element der Unsicherheit hinein, das dem Instrument einen launenhaften Charakter verleiht. — Es hat im Grunde genommen keinen Sinn, bei einer Präzisionsuhr zu garantieren, daß ihre Abweichung, d. h. ihre Standveränderung pro Monat so und so viel, etwa eine Minute, nicht überschreiten werde; richtiger würde es sein, die unter den verschiedenen Umständen beobachteten Gänge oder die mittlere und die höchste vorgekommene Tagesvariation anzugeben. Daraus aber einen Schluß auf die zu erwartende Monatsabweichung zu ziehen, wäre verfehlt, denn man kann nie wissen, welches Vorzeichen die kleinen und kleinsten Gangfehler haben, und wie sie sich gruppieren werden, obschon natürlich ein gewisser allgemeiner Zusammenhang zwischen ihnen und der Abweichung besteht.

Wir gehen nunmehr auf die Ursachen der Variation näher ein und setzen dabei ein gut gearbeitetes Werk voraus, welches grobe Gangfehler ausschließt. Wie wir schon wissen, sind diese Ursachen zu suchen in der Veränderlichkeit der Temperatur, in geringem Grade auch des Luftdruckes, in den Erschütterungen und Verschiebungen der Pendeluhren, den Bewegungen und Lagenänderungen der Unruhhren, in der Veränderlichkeit des Öles und in den Unvollkommenheiten des Werkes, bestehend in Verzahnungs-, Zapfen- und Hemmungsfehlern, mangelndem Isochronismus, Rostbildung, Abnutzung, molekularen Veränderungen der Federn und anderem mehr. Bei Pendeluhren mit guter Hemmung gilt im allgemeinen der Satz: grobe Variationen rühren vom Pendel her, kleinere vom Werk; bei guten Taschenuhren sind die täglichen Abweichungen vom mittleren Gange in erster Linie bedingt durch mangelhafte Lagenregulierung sowie durch die veränderliche Zähigkeit des Öles in Verbindung mit Anisochronismus.

Wichtig ist die Unterscheidung der Ursachen in bekannte und unbekannt. Zu den ersteren gehört der Einfluß der Temperatur und des Luftdruckes, in gewissem Sinne auch die Zeit selbst, da im Verlaufe der Jahre und Jahreszeiten gewisse Gangänderungen eintreten, welche als „dauernde Akzeleration“ resp. als „Jahreskurve“ bezeichnet werden und sich mit Hilfe der Erfahrung mit einiger Sicherheit voraussagen lassen. Wären bloß diese Störungen vorhanden, so würden z. B. die Angaben eines Chronometers auf See unter Zuhilfe-

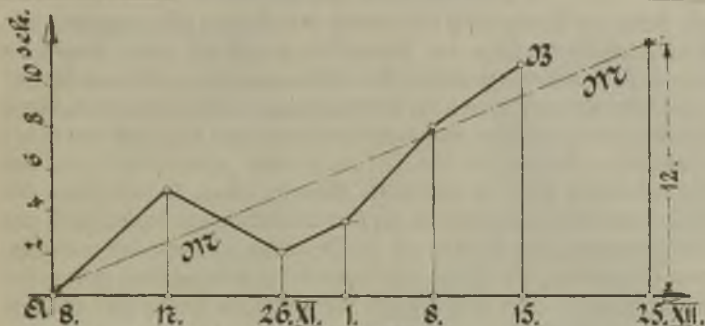


Abb. 48. Stand-Schaulinie.

nahme von Thermometer und Barometer jederzeit einigermaßen forrigiert werden können, und grobe „Zufälligkeiten“ oder Sprünge wären ausgeschlossen. Leider kommen aber die andern Störungsursachen hinzu, deren Richtung und Größe nicht bekannt ist, so daß sie uns als zufällige erscheinen. Der Mensch bezeichnet eben gemeinhin dasjenige als Zufall, dessen Kausalzusammenhang mit dem Vorgangenen er nicht zu übersehen vermag. Beseitigt man die äußeren störenden Einflüsse durch geeignete Aufstellung und Behandlung des Zeitmessers, so geben die noch „übrigbleibenden“ zufälligen Gangfehler eine Handhabe ab für die Beurteilung des „Maßes der Präzision“, mit welchem das Instrument arbeitet, resp. gearbeitet ist. So ist es bei allen Meßapparaten.

Wir kommen weiter zu einer praktisch wichtigen Sache, zur Definition des mittleren Ganges. Er dürfte sich am leichtesten an der Hand eines Beispiels klarlegen lassen. Jemand ist im Besitze einer genügend kompensierten, guten Uhr mit einwandfreier Hemmung; durch Vergleich mit einer Normaluhr haben sich folgende Stände ergeben:

8. Nov.	17. Nov.	26. Nov.	1. Dez.	8. Dez.	15. Dez.
± 0	+ 5	+ 2	+ 3,5	+ 8	+ 11 sek.

Am 25. Dezember legt sich der Besizer die Frage vor, wie groß wohl jetzt der Stand sein möge. Er trägt die beobachteten Stände nach der in Abb. 48 angegebenen Art graphisch auf; der gebrochene Linienzug A B gibt nun ein ungefähres Bild von dem Gange der Uhr innerhalb der 37 tågigen Beobachtungszeit, ohne jedoch einen direkten Schluß auf die Sachlage am 25. Dezember zuzulassen. Legt man sich durch

die Reihe der Punkte nach Augenmaß eine Gerade MM dergestalt hindurch, daß sie der Lage der Zickzacklinie möglichst nahe kommt, so kann man sie mit einer gewissen Berechtigung als den „mittleren Stand“ des Zeitmessers während der Beobachtungsperiode ansprechen. Durch Verlängerung der Linie nach rechts bekommt man nun aber den mutmaßlichen Stand für die Zukunft, man „extrapoliert“, wie der Mathematiker sagt. Da wir nichts Besseres haben, so betrachten wir diesen wahrscheinlichen Stand als den wirklichen und konstatieren aus der Zeichnung, daß die Uhr am 25. Dezember 12 Sekunden nachgeht, eine Vermutung, die nachträglich durch die Beobachtung nahezu bestätigt wurde. — Die Neigung von MM gegen die Horizontale gibt uns weiter den gesuchten „mittleren Gang“ von $+ \frac{12}{47} = + 0,25$ sek pro Tag, den wir eventuell durch Betätigen der Reguliervorrichtung zu beseitigen haben.

Jeder Mensch vollzieht tagtäglich halb unbewußt und in roher Form Überlegungen, die den obigen analog sind, sobald er nur nach der Uhr sieht; einer solchen Ableitung haftet eben immer eine gewisse Unsicherheit an, die um so größer wird, je primitiver das Uhrwerk ist. Der Zeitmesser ist sozusagen ein schlecht gesteuertes Schiff, das bald nach rechts und bald nach links vom Kurse abweicht und deshalb ab und zu durch astronomische Messungen kontrolliert werden muß.

Schließlich wollen wir noch versuchen, aus der Schaulinie einen direkten Schluß auf die Güte unserer Uhr zu ziehen. Wir sehen, daß der Gang während der ersten der fünf Beobachtungszwischenzeiten positiv, in der zweiten negativ und in der dritten wieder positiv gewesen ist; während der vierten war er zwar auch positiv, aber größer als in der vorangegangenen, und endlich in der fünften wieder kleiner. Je bunter nun der Wechsel dieser „größer“ und „kleiner“, der konkaven und der konvexen Winkel der Schaulinie (von oben gesehen!) ist, d. h. je mehr sie sich der Zickzackform nähert, ohne sich jedoch von MM zu weit zu entfernen, desto besser ist die Uhr, denn um so sicherer ist man, daß die verpönten „konstanten“ Fehlerquellen, z. B. eine dauernde Akzeleration, fehlen; eine solche würde sich eben in einer längeren Folge gleichartiger Winkel äußern. Bemerkt sei aber, daß solche Betrachtungen nur dann Sinn haben, wenn die auf Konto äußerer Einflüsse zu setzenden Störungen ferngehalten, kompensiert oder aber rechnerisch eliminiert sind; man kann sie daher nicht etwa auf

eine temperaturempfindliche Zylinderuhr anwenden wollen, die sich bald im kalten Zimmer und bald in der um rund 10° wärmeren Tasche befindet.

Auch bei der Anwendung der Begriffe „mittlerer Gang“ und „mittlere Variation“ ist weise Zurückhaltung geboten; streng genommen haben sie nur Berechtigung bei gut kompensierten Uhren, die in hinreichend gleichmäßiger innerer und äußerer Lage verhärten, wie es etwa genaue Pendeluhrn tun. In solchen Fällen findet man den mittleren täglichen Gang am einfachsten rechnerisch

durch Addition der Einzelgänge (unter Berücksichtigung ihrer Vorzeichen) und Division ihrer Summe durch die Zahl der Gänge; ähnlich ergibt sich die mittlere tägliche Variation im Sinne der Fehlertheorie durch Quadrieren der einzelnen Variationen, durch Division der Summe dieser Quadrate mit ihrer Anzahl und durch Ausziehen der Quadratwurzel. Hierbei ist zu beachten, daß n Standbeobachtungen $n-1$ Tagesgänge und $n-2$ Variationen ergeben.

Nun einige Worte über die Seeuhr oder das Box-Chronometer (Box = Büchsengehäuse), Abb. 49. Seit der berühmten Fahrt der „Deptford“ nach Westindien im Jahre 1761, auf der das Chronometer des Jean Harrison seine Feuerprobe bestand, ist es ein unentbehrliches Hilfsmittel der Navigation geworden. — Ein sehr genau gearbeitetes, in seiner Größe etwa die Mitte zwischen Taschenuhr und Wanduhr innehaltendes Werk ist in ein Metallgehäuse eingeschlossen, das durch kardansche Ringe innerhalb eines Holzkästchens so aufgehängt ist, daß die horizontale Zifferblattlage jederzeit gewahrt bleibt. Der Antrieb erfolgt durch Feder und Schnecke; die Hemmung ist ein Chronometergang, die isochronische Unruhe gegen Temperaturen sorgfältig kom-

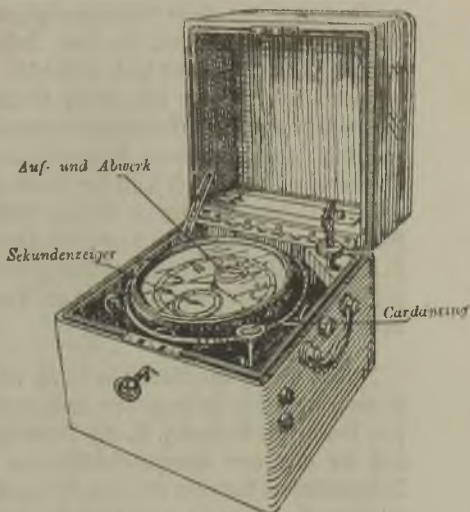


Abb. 49. Box-Chronometer.

penziert und mit einer Schraubenspirale ohne Ruder versehen. Der Bedeutung entsprechend, die dem Instrument in der Schifffahrt zukommt, ist seine Technik hoch entwickelt, und die Gangleistungen sind hervorragende. Durch öffentliche Wettbewerbe und Prämiiierungen der nach bestimmten Grundsätzen geprüften und klassifizierten Apparate (vgl. das betreffende Regulativ der Abteilung IV der deutschen Seewarte zu Hamburg) sucht der Staat die Industrie anzuspornen. So zeigte z. B. das beste der im Winter 1905/06 auf dem Wettbewerbe zu Hamburg preisgekrönten deutschen Chronometer, das von der Firma A. Lange und Söhne in Glashütte geliefert war, bei der Temperaturprüfung folgende durchschnittlichen Tagesgänge:

Bei	30°	25°	20°	15°	10°	5°
	+ 0,13	- 0,06	- 0,12	- 0,02	- 0,06	± 0,00 sek.

Ist das Gesetz annähernd bekannt, nach dem sich der Gang ändert, so kann man die Zeitangaben auch noch rechnerisch korrigieren. Diesem Bedürfnis kommt z. B. die Deutsche Seewarte dadurch entgegen, daß sie aus den Gangbeobachtungen der Prüfung entsprechende Interpolationsformeln ableitet, die den Einfluß der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Zeit selbst zum Ausdruck bringen.

Die Anschaffung eines Chronometers verbietet sich dem Privatmann im allgemeinen des hohen Preises wegen, der zwischen 500 und 1000 M. liegt; rationeller ist für den, der auf präzise Zeitangaben einiges Gewicht legt, die Ausstattung eines guten Gewichtsregulators mit einem Nickelstahlpendel und die Einmontierung desselben in ein festes Gehäuse mit mehrfach verleimter Rückwand, obgleich hiermit die Genauigkeit einer Seeuhr im allgemeinen nicht erreicht wird. Solche Pendeluhr verlangt aber einen durchaus festen und erschütterungsfreien Standort, eine Unannehmlichkeit, die man umgeht, wenn man sich zum Ankauf einer erstklassigen Anfertigungsuhr entschließt. Die Leistungen solcher Werke zeigen, daß die 200 M., die sie im Silbergehäuse etwa kosten, nicht weggeworfen sind. Als Beleg diene eine Standtabelle, die an einer bereits 5 Jahre im Gebrauch befindlichen Langeuhr erster Güte in einer Zeit heftiger Temperaturschwankungen, direkt nach dem Verstellen des Ruders, aufgenommen ist; man bemerkt deutlich das Abflauen der hierdurch veranlaßten Unruhe:

10. März:	— 20 Sek.	15. März:	— 33 Sek.	23. März:	— 28,5 Sek.
12. "	— 20 "	20. "	— 32 "	25. "	— 25 "
13. "	— 28 "	21. "	— 28 "	26. "	— 26 "
14. "	— 30 "	22. "	— 28 "	27. "	— 28 "

Das ergibt eine mittlere Tagesvariation von 3,5 Sekunden; dies Resultat spricht für sich, ob schon der Zeitraum der Beobachtung für ein abschließendes Urteil natürlich viel zu kurz ist.

Natürlich sind all diese Erfolge verschwindend gegenüber dem, was heutzutage in bezug auf Genauigkeit in dem Gebiete der astronomischen Pendeluhrn geleistet wird.

Über der Nebenuhr der früher beschriebenen Uhrenanlage im Deutschen Museum zu München befindet sich ein Schildchen mit der Angabe, daß diese Uhr die mitteleuropäische Zeit stets mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2$ Sekunden anzeigt, ob schon die astronomischen Zeitbestimmungen gelegentlich selbst Fehler bis zu 0,05 Sekunden aufweisen. Dies ist gewiß an sich schon bedeutsam, aber es wird noch erstaunlicher, wenn man hört, daß eine Einstellung der Uhr höchstens alle 8 bis 14 Tage notwendig ist. Astronomische Uhren mit einer mittleren täg-

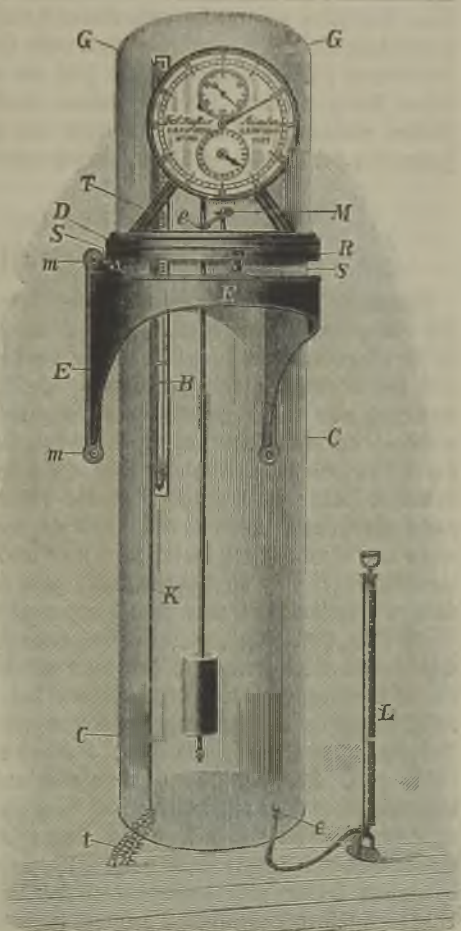


Abb. 50.

Astronomische Uhr von Riefler mit freiem Federgang, elektrischem Aufzug, Sekundenfontatt, Invarpendel und luftdichtem Glasverschluß.

lichen Variation von weniger als einem Hundertstel Sekunde sind eben heutzutage keine Sehenswürdigkeiten mehr (vgl. Abb. 50). Welch eine Wandlung seit der vorgalileischen Zeit, wo man noch an einem täglichen Gang von $\frac{3}{4}$ Stunden keinen sonderlichen Anstoß nahm! Früher mühten sich Könige vergeblich um die Uhr, und jetzt ist der Zeitmesser der König der Präzisionsinstrumente.

Elftes Kapitel.

Von der Fabrikation.

Neuerdings ist die Uhrenfabrikation, dem Zuge der Zeit folgend, fast völlig zur planmäßigen Massenherstellung übergegangen, zu der sie sich allerdings auch ganz besonders eignet wegen des Massenbedarfs und der Gleichartigkeit ihrer Erzeugnisse. Der kleine Meister leistet eigentlich nur noch Reparaturarbeit, wobei er die nötigen Ersatzteile meistens ebenfalls von der Großindustrie bezieht. Diese Einengung der Lebensbedingungen vieler kleiner Existenzen ist zwar an sich bedauerlich, aber es ist fraglich, ob die Lebensweise des Angestellten eines Großunternehmens mit ihren geringeren Sorgen nicht doch mehr Annehmlichkeiten bietet, was vielfach übersehen wird. Die Gesamtleistungen sind hierbei jedenfalls ganz außerordentlich gestiegen, und es ist erstaunlich, was man heutzutage für wenig Geld erstehen kann. Die „Dollaruhr“, natürlich eine amerikanische Idee, ist zu einem Gebrauchsartikel geworden, den man wie einen Geschirrscherben in den Mülleimer tut, wenn er ausgedient hat. Damit ist allerdings ein Stück deutschen Wesens mehr zu Grabe getragen, und das von den Vorfahren ererbte, liebgewordene Stück ist auch hier so ziemlich verschwunden. Aber der Deutsche ist ehrlich und scheidet reinlich: billige und außerdem ganz teure Ware sind seine Spezialität, und für Mittelmäßiges ist er nicht zu haben; derartiges wird in Deutschland von der Taschenuhrenindustrie kaum hergestellt. Erstere genügt dem Massenbedürfnis, letztere repräsentiert wirkliche Meßinstrumente, denen dies Büchlein, seiner Bestimmung gemäß, vorzugsweise gewidmet ist.

Die Herstellungsart zerfällt demnach auch in verschiedene Gruppen, in die schablonenmäßige Erzeugung billiger und doch meist preiswerter Sorten einerseits und dann in die zwar ebenfalls fabrikmäßig gestaltete, aber trotz aller Arbeitsteilung doch keinen eigentlichen Massenbetrieb darstellende Fabrikation der guten Marken, deren Preis

freilich auch etwa das Zehnfache der ersteren beträgt. — Ganz für sich allein steht naturgemäß die Chronometerfabrik und noch mehr die der astronomischen Uhren, für die kein Massenbedarf vorliegt; sie arbeitet weniger schablonenhaft, dafür aber mit liebevollster Behandlung der Details. Wenn man Preise von fünf- und mehr tausend Mark für ein Stück zahlt, so kann man das freilich auch verlangen.

Man hört oft die Klage, es gäbe keine so guten Uhren mehr wie früher. Weit gefehlt! Im Gegenteil, die Präzisionsuhr von heute übertrifft selbstverständlich alles früher Geschaffene an Materialqualität und Arbeitsgenauigkeit und daher auch in den Leistungen. Aber man will ja nicht mehr zahlen; man beachtet die Entwertung des Geldes nicht und weiß auch den Wert moderner technischer Qualitätsarbeit nicht recht einzuschätzen. — Auch die Behauptung, das Ausland sei uns in bezug auf Genauigkeit weit voraus, ist ein Schluß auf falscher Grundlage. Bei einer Präzisionsuhr kommt es lediglich auf die Kleinheit und jahrelange Beständigkeit der Gangvariation an, und ihre Teile sind keineswegs dazu da, mit dem Mikroskop auf „Sauberkeit“ hin begutachtet zu werden. Dieser kindliche und höherer Gesichtspunkte ermangelnde Standpunkt paßt nicht mehr zu der berechtigten rationellen Richtung unserer Zeit.

Man hat in Deutschland scharf zu unterscheiden zwischen der Groß- und der Taschenuhrenindustrie. Letztere ist nicht von erheblicher Bedeutung; sie nahm ihren Ausgang von Glashütte in Sachsen, wo heute eine große und zwei kleinere Fabriken Taschenuhren bester Art nach maschinentechnischen Prinzipien erzeugen. Weiter bestehen im Schwarzwalde, in Thüringen und in Pforzheim einige Firmen, die die billigsten Sorten im Preise von 3 bis 5 Mark in großer Menge herstellen. Mittlere Ware dagegen wird nur in Pforzheim und Schramberg fabriziert, und zwar erst seit etwa zehn Jahren. Rund zwanzig im Elsaß ansässige Unternehmungen fabrizieren im allgemeinen nicht selbst, sondern setzen nur die aus der Schweiz bezogenen Einzelteile zusammen. Präzisionspendeluhren baut man im wesentlichen nur in Glashütte und bei Riefler in München, Chronometer in Hamburg-Altona, Berlin, Glashütte, Bremerhaven, Geestemünde usw. — Die Zahl der beschäftigten Arbeiter betrug vor dem Kriege rund 13 000, die pro Jahr 7000 t Messing verarbeiteten.

Der Gesamtexport bewertete sich um diese Zeit auf 27 Millionen Mark und bestand zum überwiegenden Teile aus im Schwarzwalde

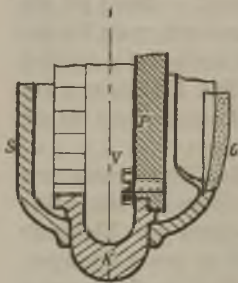


Abb. 51.

Gehäusequerschnitt.

P Platine.

K Gehäuseeisen.

V Dorreiberschrauben.

S Außenbedel.

G Glas.

und in Freiburg in Schlesien montierten schweizerischen Erzeugnissen; hiervon entfielen 19 Millionen allein auf Wand- und Standuhren; der Taschenuhrenexport beschränkte sich wohl allein auf Glashütte und auf die billigen Sorten. Dem gegenüber stand eine Einfuhr von 30 Millionen Mark Wert, die aber im Gegensatz zur Ausfuhr fast lediglich in Taschenuhren bestand.

Wir wollen nun noch kurz den Gesamtaufbau und den Werdegang einer Taschenuhr als Fabrikationsbeispiel verfolgen; nachdem der Laie aus den vergangenen Abschnitten deren Einzelteile in großen Zügen kennen gelernt hat, wird er zu folgen vermögen, vorausgesetzt, daß ihm die technologischen Sachausdrücke nicht ganz unbekannt sind, die hier natürlich nicht näher erörtert werden können.

Das Fundament der Taschenuhr ist die aus gewalztem Messingblech ausgefräste Platine P, d. i. die runde Messingplatte, auf der das Räderwerk aufgebaut ist; sie ist am Rande gedreht und liegt auf einem Flansch der Karrüre, des Gehäuseeisens, auf, wo sie durch Dorreiberschrauben V festgehalten wird. Vgl. Abb. 51. Nur die Platinen der billigen Amerikaner- und Koskopuhren werden aus Messingblech gestanzt. In der Platine befinden sich die hinteren Zapfenlöcher, die schablonenmäßig, d. h. alle auf einmal durch einen Bohrer erzeugt werden, deren Einzelbohrer parallel und an der Stelle stehen, wo die Löcher hinkommen sollen. Die vorderen, nach dem Beschauer zu liegenden Zapfen laufen in auf analoge Art wie die Platine hergestellten Kloben oder Brücken (Abb. 15); erstere ruhen einseitig, letztere mit beiden Enden auf der Platine auf. Es gibt Ausführungsformen, bei denen alle Vorderzapfen in einer vorderen Platine liegen, was das Zusammensetzen erschwert, aber ihre genaue Lage garantiert. Diese Bauart wird in England und Amerika bevorzugt, während die Schweizer Firmen meist reine Klobenwerke fabrizieren, wenigstens auf eigene Rechnung; ein Mittelding ist das Glashütter Dreiviertelplatinenwerk, wo nur die Hemmungsteile samt dem Gangrade gesonderte Kloben erhalten. Die Klobenlöcher werden mit einem Zentrierapparat (Abb. 52) gebohrt, bei dem ein Zentrierstift s durch das

schon gebohrte Platinenloch geführt wird; der Stift liegt in der Verlängerung der Bohrerachse, so daß beide Löcher genau in dieselbe Linie zu liegen kommen.

Die Löcher der kleineren und rascher umlaufenden Räder bekommen Steinfutter, die aus Rubin oder Saphir hergestellt, mit Diamanten gebohrt und in ihrem eigenen Staube poliert werden. Sie kommen in eine mit

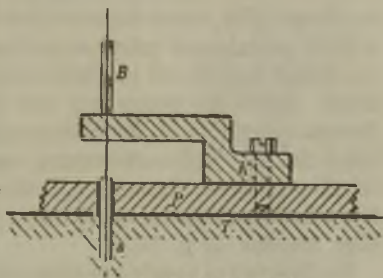


Abb. 52. Zentrierapparat.
P Platine. K Kloben. T Werkstück.
B Bohrer. s Zentrierstift.

dem Fassungsfräser gemachte Vertiefung der Platine, die von einer gleich mitgefrästen Ölrinne umgeben ist, deren umgebogener Rand den Stein festhält; bessere Arten erhalten statt dessen auch besondere angeschraubte Fassungsringe aus Gold, das von der unvermeidlichen Säure des Öles nicht angegriffen wird und daher keine Veranlassung zu dessen Verderbnis gibt. Die Unruh bekommt noch weitere, von der Außenseite gegen die Platine gelegte flache Decksteine ohne Bohrung (Abb. 13b auf S. 38), auf denen die meistens leicht kugelig geformten Stirnenden der dünnen Zapfen aufliegen. Sie werden in ähnlicher Weise wie die eigentlichen Lochsteine befestigt.

Die aus bestem Stahl bestehenden Achsen kauft man gleich als „Triebstahl“, d. h. mit dem erwünschten Querschnitt der Triebe, der durch Ziehen oder auch durch Fräsen hergestellt ist. Aus diesem werden die Achsen samt ihren Zapfen gedreht, gehärtet und blau angelassen. Zuletzt „rolliert“, d. h. glättet man die Zapfen mit dem glasharten Polierstahl unter Zusatz von Poliermitteln, wobei sie in der halbzylin- drischen Ausparung einer entsprechenden Unterlage ruhen; ihre Stirnflächen werden mit dem Ölstein flach oder kugelig geschliffen und auch poliert. Auf die Achsen sind die aus Messingblech gestanzten Räder genietet. Die Verzahnung wird bei guten Sorten durch Spezialmaschinen Lücke für Lücke eingefräst; die Abrundung roh hergestellter Verzahnungen mit der „Wälzmaschine“, einem sich selbsttätig von Zahn zu Zahn fortschaltenden Fräser, kommt nur für einfachere Ausführungen und für Reparaturen in Betracht. Auf der Achse der Unruh sitzt das Spiratröllchen, das man an jeder Wederuhr sehen kann, und in welches das innere Ende der Spirale eingestiftet ist, und weiter

die Unruh selbst, deren bimetalischer Ring mit Silber hart zusammengelötet, gedreht und zuletzt aufgeschnitten ist. Der innere Stahlreifen des Ringes besteht mit den beiden Speichen und der Nabe aus einem Stück. Außerdem stecken auf der Unruhachse die entsprechenden Hemmungsteile, z. B. die Sicherungsscheibe des Anferganges, bzw. bildet bei der Zylinderhemmung der aus einem feinen Stahlrohre mit eingetriebenen Spunden („Tampons“) bestehende Zylinder selber einen Teil der Achse, die ihrerseits die Fortsetzung der Spunde darstellt. (Vgl. die Abb. 35 u. 36.)

Die Zugfeder besteht aus blau angelassenem Federstahl. Nachdem der Stahlbraht bis zur gewünschten Verdünnung ausgewalzt und geglättet ist, läuft er durch einen erhitzten Raum noch glühend in ein Ölbad, wobei er erhärtet; nach der Reinigung vom Öl wird er auf einer heißen Platte bis zu einer bestimmten Temperatur neu angewärmt und dabei blau angelassen, um zuletzt durch ein Gewicht geradegerichtet und dann aufgespult zu werden. Die Federenden werden am Federhause und am Kern entweder mit einem Loch an einem Haken eingehängt, oder sie sind selbst hakenförmig und fassen um entsprechende Vorsprünge. Ähnlich, nur weit diffiziler, ist die Konstruktion und die Herstellung der Spirale der Unruh, die aber mit ihren Enden durch kleine Löcher des zugehörigen Klöbchens und der Rolle gesteckt und darin mit Stiften festgefeilt, angestiftet wird. Die Endkurve wird mit einer passenden Zange im federharten Zustande gebogen.

Das Zifferblatt besteht aus Kupferblech mit aufgebrachtener Emaille, auf das die Ziffern noch vor dem Brennen durch Zeichnung oder neuerdings durch Druck gesetzt sind. Genaue Zifferblätter fassen über den Rand der Platine, damit sie stets zentrisch liegen bleiben; bei präzisen Ausführungen wird der Zahlenkranz des Sekundenzeigers bisweilen für sich angefertigt und dann aufgesetzt, was seine richtige Lage gewährleistet. Vgl. das auf S. 42 Gesagte. Die Zeiger werden meist aus Stahlblech gestanzt und erhalten ein angenietetes oder gleich angestanztes Futter zur Befestigung auf der Zeigerachse.

Der Gehäuserifen, die Karrüre K (vgl. Abb. 53 u. 55), trägt auf einer Seite den Gehäuseknopf O, Pendant genannt, in den die Aufzugkrone gelagert ist. Von ihr wird die zum Aufzuge nötige Drehung des Federhauses mittels eines Kegelrades k abgeleitet. Eine Vorrichtung gestattet, die Krone auf das Wechselgetriebe umzu-

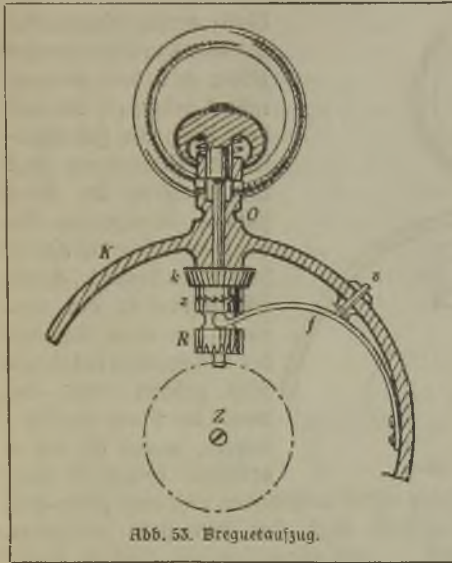


Abb. 53. Breguetaufzug.

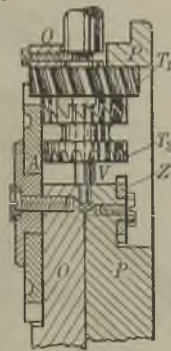


Abb. 54.
 Querschnitt eines
 Breguetaufzuges.
 O Oberplatte.
 P Platine.
 V Dierfant der
 Kronenachse.
 T₁ Aufzugtrieb.
 T₂ Zeigerstelltrieb.
 A Aufzugrad.
 Z Zwischenrad.

schalten, wodurch die Einstellung der Zeiger ermöglicht wird. Von dieser Einrichtung, auf deren Herstellung vielfach nicht die genügende Sorgfalt verwendet wird, gibt es zwei Spielarten, das Gesperre von Bréguet und die Wippe.

Bei ersterem, das in Abb. 53 dargestellt ist, erfolgt die Umschaltung durch Druck auf einen über den Gehäuserand herausragenden, auf eine Feder *f* gestützten Stift *s*; der Kopf der Feder ruht in einer Ringnut des auf einem Dierfant der Kronenachse verschiebbaren Doppelkronrades *R*, das in seiner oberen Lage die Aufzugkrone an *k* und in der unteren an das auf dem Minutenrohr sitzende Zeigerstellrad *Z* anpoppelt. (Meistens greift der Zeigerstelltrieb nicht direkt in *Z* ein, sondern es sind noch ein oder mehrere „Zwischenräder“ vorhanden, deren eines gewöhnlich das Wechselrad ist.) Die Kopplung mit dem Aufzugregelrad *k* erfolgt durch die gesperrartig ausgebildete Stirnverzahnung *z*, die ein Rückwärtsdrehen der Krone ermöglicht. (Vgl. auch Abb. 54.)

Abbildung 55 stellt eine bekannte Form der Wippe dar. In der skizzierten Lage ist die Aufzugkrone vermöge des auf einem Dierfant ihrer

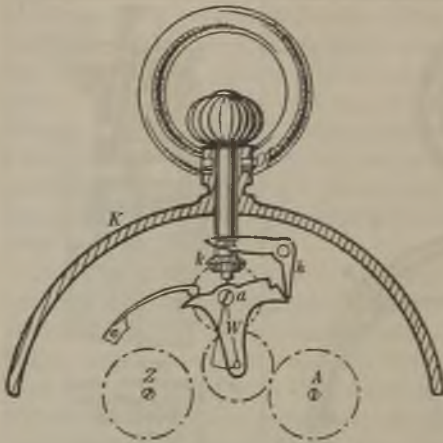


Abb. 55. Wippenaufzug.

Welle verschiebbaren Ke-
gelrades *k* und der übrigen
Räder mit dem Aufzug-
rade *A* gefoppelt, das mit
dem Kern des Federhau-
ses in Verbindung steht
und meistens im Werk
sichtbar angeordnet ist;
zieht man aber die Krone
herauf, so bewegt sich der
Winkelhebel *h*, der von
einem in einer Ringnut
der Kronenachse ruhenden
Stift geführt wird, ein
wenig im Sinne des Uhr-
zeigers, wobei die um *a*
drehbare Wippe *W* nach

links umgelegt, die Kopplung mit *A* aufgehoben und eine solche mit dem Zwischenrade *Z* hergestellt wird, das seinerseits wiederum in das Wechselrad eingreift. — Bei einer anderen vielfach anzu-
treffenden Wippenkonstruktion wird die Umschaltung nicht durch
Heraufziehen der Krone, sondern durch Umlegen eines am Karrüren-
rand angeordneten Hebels bewirkt, der mit *h* in direkter Verbindung
steht. Dadurch ist der fatale Fall ausgeschlossen, daß man das
Zurückschalten nach der Zeigereinstellung vergißt und so das Werk
zwingt, die Krone mitzudrehen; denn der auf Zeigerstellung umgelegte
Randhebel steht weit hervor und behindert das Einführen der Uhr in
die Tasche. Ein Nachteil der Wippe besteht darin, daß es schwierig ist,
die Stellvorrichtung von der Krone abzukoppeln, ohne dabei die Zeiger
in unerwünschter Weise von neuem zu verschieben.

An der einen Glasseite trägt die Karrüre den in der Abbildung 51
nicht mitgezeichneten inneren *Staubdeckel*, die Küvette, die manchmal
aus Glas mit Metallfassung ist, damit der Besitzer seine Neugier ohne
Gefährdung des Werkes befriedigen kann; darüber liegt der Außen-
deckel S (Abb. 51). Auf der anderen Seite befindet sich das in einen
besonderen Rahmen eingesetzte Uhrglas *G* und darauf gelegentlich
noch der *Springdeckel*, die Savonnette, die auch in der Mitte eine
glasverschlossene, freisförmige Schauöffnung tragen kann und dann

Halbsavonnette heißt. Feinere Werke erhalten zum Schutze manchmal noch einen besonderen Staubring, der eine Verbindung zwischen den Außendeckeln und dem Reif bildet, aber trotzdem ein häufigeres Ausbürsten der Uhrtasche nicht überflüssig macht.

Bei der großen Mannigfaltigkeit der Bauarten und der Fabrikationsmethoden kann diese kleine Betrachtung natürlich keine auch nur entfernt erschöpfende Darstellung genannt werden; es ist ja auch nicht der Zweck dieses Bändchens, auf technologische Einzelheiten näher einzugehen. — Zahlreiche praktische Winke finden Interessenten in der Sachliteratur; als gute Bücher dieser Richtung seien genannt: Schulz, Der Uhrmacher am Werkstisch, und Siefert, Leitfaden für die Uhrmacherlehre.

Schlußwort.

Der kleine Ausschnitt aus einem ebenso verbreiteten wie unbeachteten Gebiete, den dies Bändchen darstellt, dürfte dem Laien vor Augen führen, wie oberflächlich man im „Jahrhundert der Technik“ über die landläufigsten Dinge hinweggeht, selbst wenn man sie zeit lebens in der Tasche trägt, und wie wenig man geneigt ist, sie nach ihrem wahren Werte zu schätzen; ist doch die Uhr für die meisten kaum mehr als ein Zifferblatt oder ein Schmuckstück! — Dem technisch Gebildeten aber wird er gezeigt haben, welch eine Fülle von Problemen in diesem engen Raume beschlossen liegt.

Damit ist der Zweck des Büchleins erfüllt, denn der Anfang aller Erkenntnis ist die Entdeckung der Probleme und das Staunen.



Teubners Kleine Fachwörterbücher

bringen sachliche und wörterklärende Erklärungen aller wichtigeren Gegenstände und Sachausdrücke der einzelnen Gebiete der Natur- und Geisteswissenschaften. Sie wenden sich an weiteste Kreise und wollen vor allem auch dem Nichtfachmann eine verständnisvolle, befriedigende Lektüre wissenschaftlicher Werke und Zeitschriften ermöglichen und den Zugang zu diesen erleichtern. Dieser Zweck hat Auswahl und Fassung der einzelnen Erklärungen bestimmt: Berücksichtigung alles Wesentlichen, allgemeinverständliche Fassung der Erläuterungen, ausreichende sprachliche Erklärung der Sachausdrücke, wie sie namentlich die immer mehr zurücktretende humanistische Vorbildung erforderlich macht.

Mit größeren rein wissenschaftlichen Nachschlagewerken können die kleinen Fachwörterbücher namentlich hinsichtlich der Vollständigkeit natürlich nicht in Wettbewerb treten, sie verfolgen ja aber auch ganz andere Zwecke, durch die Preis und Umfang bedingt waren. Den allgemeinen Konversationslexika gegenüber bieten sie bei den sich ohnehin mehr und mehr spezialisierenden auch außersachlichen Interessen des Einzelnen Vorteile insofern, als die Bearbeitung den besonderen Bedürfnissen des einzelnen Fachgebietes besser angepaßt und leichter auf dem neuesten Stand des Wissens gehalten werden kann, als insbesondere auch die Neu- und Nachbeschaffung der einzelnen abgeschlossene Gebiete behandeln. Den Bände bedeutend leichter ist als die einer Gesamt-Enzyklopädie, deren erster Band gewöhnlich schon wieder veraltet ist, wenn der letzte erscheint.

* sind erschienen bzw. werden demnächst erscheinen; die anderen Bände sind in Vorbereitung.

* **Philosophisches Wörterbuch**, 2. Aufl. v. Studienrat Dr. P. Thormeyer. (Bd. 4) geb. M. 7.—

* **Psychologisches Wörterbuch** von Dr. Frh. Giese. (Bd. 7) geb. M. 7.—
Literaturgeschichtliches Wörterbuch von Dr. H. Köhl.

* **Musikalisches Wörterbuch** von Privatdoz. Dr. J. H. Moser. (Bd. 12.)
Wörterbuch des klassischen Altertums von Dr. B. A. Müller.

* **Physikalisches Wörterbuch** v. Prof. Dr. G. Berndt. (Bd. 5) geb. M. 7.—

* **Chemisches Wörterbuch** von Privatdozent Dr. H. Kuntz. (Bd. 10.)

* **Astronomisches Wörterbuch** v. Observator Dr. H. Laumann. (Bd. 11.)

* **Geologisch-mineralogisches Wörterbuch** von Dr. C. W. Schmidt. (Bd. 6) geb. M. 8.—

* **Geographisches Wörterbuch** v. Prof. Dr. O. Kende. (Bd. 8) geb. M. 9.—

* **Zoologisches Wörterbuch** von Dr. Th. Knottnerus-Meyer. (Bd. 2) geb. M. 8.—

* **Botanisches Wörterbuch** von Dr. O. Gerke. (Bd. 1) geb. M. 8.—

* **Wörterbuch der Warenkunde** von Prof. Dr. M. Pletsch. (Bd. 3) geb. M. 9.—

* **Handelswörterbuch** v. Dr. V. Sitteln u. Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 9)

Auf sämtliche Preise Feuerzugszuschläge des Verlages 120% (Abänderung vorbehalten) und teilweise der Buchhandlungen

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Teubners Naturwissenschaftliche Bibliothek

Serie A. Für reifere Schüler, Studierende und Naturfreunde

Alle Bände sind reich illustriert und geschmackvoll gebunden

- Große Physiker.** Von Joh. Keferstein. Mit 12 Bildnissen. M. 6.60
- Physikalisches Experimentierbuch.** Von G. Rebenstorff. In 2 Teilen. 1. Teil. 2. Aufl. Mit Abbildungen. (U. d. Presse.) II. Teil. Mit 87 Abbildungen. . M. 5.40
- Chemisches Experimentierbuch.** Von K. Scheid. In 2 Teilen. 1. Teil. 4. Aufl. Mit 77 Abbildungen. M. 6.—. II. Teil. Mit 51 Abbildungen. M. 6.40
- An der Werkbank.** Von E. Oschaidlen. Mit 110 Abbildungen u. 44 Tafeln. M. 6.—
- Hervorragende Leistungen der Technik.** Von K. Schreber. Mit 56 Abb. M. 4.—
- Vom Einbaum zum Einflenschiff.** Streifzüge auf dem Gebiete der Schifffahrt und des Seewesens. Von K. Kadunz. Mit 90 Abbildungen. M. 4.—
- Die Luftschiffahrt.** Von K. Nimsühr. Mit 99 Abbildungen. M. 3.—
- Aus dem Luftmeer.** Von M. Sassenfeld. Mit 40 Abbildungen. M. 3.—
- Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge.** Von J. Rusch. 2. Aufl. Mit 30 Figuren und 1 Sternkarte. (U. d. Presse.)
- An der See.** Geogr.-geologische Betrachtungen. Von P. Dahms. Mit 61 Abb. M. 4.—
- Rüstenwanderungen.** Biologische Ausflüge. Von W. Franj. Mit 92 Fig. M. 3.—
- Geologisches Wanderbuch.** Von K. G. Volk. 2 Teile. I. 2. Aufl. Mit Abb. (U. d. Presse.) II. Mit 193 Abb. M. 8.—
- Große Geographen.** Bilder aus der Geschichte der Erdkunde. Von F. Lampe. Mit 6 Porträts, 4 Abb. und Kartenstizze. M. 5.40
- Geographisches Wanderbuch.** Von A. Berg. 2. Aufl. Mit 212 Abb. M. 8.—
- Anleitung zu photographischen Naturaufnahmen.** Von G. E. J. Schulz. Mit 41 photographischen Aufnahmen. M. 6.60
- Vegetations schilderungen.** Von P. Gräbner. Mit 40 Abbildungen. . . M. 3.60
- Unsere Frühlingpflanzen.** Von Fr. Höd. Mit 76 Abbildungen. . . M. 4.—
- Große Biologen.** Bilder aus der Geschichte der Biologie. Von W. Mah. Mit 21 Bildnissen. M. 4.—
- Biologisches Experimentierbuch.** Anleitung zum selbständigen Studium der Lebenserscheinungen für jugendliche Naturfreunde. Von E. Schäffer. Mit 100 Abbildungen. M. 6.60
- Insektenbiologie.** Von Chr. Schröder. (U. d. Presse 1921.)
- Erlebte Naturgeschichte.** Von E. Schmidt. 2. Aufl. Mit 95 Abb. i. Text. Kart. M. 6.60
- Das Leben unserer Vögel.** Von J. Ehlenemann. ca. M. 4.—

In Vorbereitung:

- Große deutsche Industriebegründer.** Von C. Matschoss. **Große Mathematiker.** Von E. Löffler. **Große Chemiker.** Von D. Ohmann und K. Winderlich.

Serie B. Für jüngere Schüler und Naturfreunde.

- Physikalische Plaudereien f. die Jugend.** Von E. Wundt. Mit 15 Abb. Kart. M. 2.—
- Chemische Plaudereien für die Jugend.** Von E. Wundt. Mit 5 Abb. Kart. M. 2.—
- Mein Handwerkszeug.** Von D. Frey. Mit 12 Abbildungen. . . . Kart. M. 1.60
- Vom Tierleben in den Tropen.** Von K. Guenther. Mit 7 Abb. Kart. M. 1.60
- Versuche mit lebenden Pflanzen.** Von M. Detli. Mit 7 Abb. Kart. M. 1.60
- Jungdeutschland im Gelände.** Hrsq. v. D. Schmidt. Mit 36 Abb. u. 8 Kart. Kart. M. 2.—
- Auf sämtliche Preise Feuerzuschläge des Verlags 120% (Abänd. vorbeh.) u. teilw. d. Buchs.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Teubners Künstlersteinzeichnungen

Wohlfeile farbige Originalwerke erster deutscher Künstler fürs deutsche Haus
Die Sammlung enthält jetzt über 200 Bilder in den Größen 100×70 cm (M. 9.-), 75×55 cm
(M. 7.50), 103×41 cm a. 60×50 cm (M. 6.50), 55×42 cm (M. 5.50), 41×30 cm (M. 4.50)
Rahmen aus eigener Werkstatt in den Bildern angepaßten Ausführungen äußerst preiswürdig.

Schattenbilder

R. W. Diefenbach „Per aspera ad astra“. Album, die 34 Zellbl. des vollst.
Wandziefes fortlaufend wiederg. (20 $\frac{1}{2}$ ×25 cm) M. 25.—. Zellbilder als Wandziefle
(42×80 cm) je M. 6.50, (35×18 cm) je M. 2.—, auch gerahmt in versch. Ausführ. erhältlich.

„Göttliche Jugend“. 2 Mappen, mit je 20 Blatt (25 $\frac{1}{2}$ ×34 cm) je M. 17.80.
Einzelbilder je M. 1.20, auch gerahmt in versch. Ausführ. erhältlich.

Kindermusik. 12 Blätter (25 $\frac{1}{2}$ ×34 cm) in Mappe M. 16.— Einzelblatt M. 1.60

Serda Luise Schmidt (20×15 cm) je M. —.90. Auch gerahmt in verschiedener Aus-
führung erhältlich. Blumenotatel. Der Besuch. Der Liebesbrief. Ein Frühlings-
strauch. Die Freunde. Der Brief an „Ihn“. Annäherungsversuch. Am Spinnet. Beim
Wein. Ein Märchen. Der Geburtstag.

Teubners Künstlerpostkarten

(Ausf. Verzeichnis v. Verlag in Leipzig.) Jede Karte 30 Pf. Reihe von 12 Karten in Umschlag
M. 3.—, jede Karte unter Glas mit schwarzer Einfassung und Schnur M. 2.20, oval M. 2.40.
Die mit * bezeichneten Reihen auch in feinen ovalen Holztüchchen (M. 6.20 bzw. M. 7.50, edig
M. 5.20), in Leupa-Rahmen (edig M. 2.90, oval M. 3.20) oder in Kettenrahmen (M. 3.40).
Teubners Künstlersteinzeichnungen in 12 Reihen. Teubners Künstlerpostkarten
nach Gemälden neuerer Meister. 1. Macco, Matenzeit. 2. Köselig, Sonnenbild. 3. Butt-
sac, Sommer im Moor. 4. Hartmann, Sommerweide. 5. Kühn jr., Im weißen Zimmer. In
Umschlag M. 1.50. *Diefenbachs Schattenbilder in 7 Reihen. (Kinderbild, je M. —.40,
Reihe M. 4.—) Aus dem Kinderleben, 6 Karten nach Bleistiftzeichnungen von H. v. Peters.
1. Der gute Bruder. 2. Der böse Bruder. 3. Wo drückt der Schuh? 4. Schmeißeltüchchen.
5. Püppchen, aufgeschafft! 6. Große Wäsche. In Umschlag M. 1.50. *Schattenpostkarten von
Serda Luise Schmidt: 1. Reihe: Spiel und Tanz, Fest im Garten, Blumenotatel, Die kleine
Schäferin, Belaußcher Dichter, Kattenjäger von Hameln. 2. Reihe: Die Freunde, Der Besuch,
Im Grünen, Reisenspiel, Ein Frühlingsstrauch, Der Liebesbrief. 3. Reihe: Der Brief an „Ihn“,
Annäherungsversuch, Am Spinnet, Beim Wein, Ein Märchen, Der Geburtstag. Jede Reihe
in Umschlag M. 1.50. Denkwürdige Stätten aus Nordfrankreich. 12 Original-Litho-
graphien von K. Lohé.

Rudolf Schäfers Bilder nach der Heiligen Schrift

Der barmherzige Samariter (M. 7.50), Jesus der Kinderfreund (M. 6.—), Das Abendmahl
(M. 7.50), Hochzeit zu Kana (M. 6.50), Weihnachten (M. 7.50), Die Beigpredigt (M. 6.50)
(75×55 bzw. 60×50 cm), 6 Blätter in Mappe zum ermäßigten Preise von M. 31.—
Diese 6 Blätter in Format **Biblische Bilder** in Mappe M. 19.—, als
29×30 unter dem Titel Einzelblatt je M. 3.—
(Auch als „Kirchliche Gedenkblätter“ und als „Stückwunsch- u. Einladungskarten“ erhältlich.)

Karl Bauers Federzeichnungen

Führer und Helden im Weltkrieg. Einzelne Blätter (28×36 cm) M. 1.—,
Liebhaberausgabe M. 2.—, 2 Mappen, enthaltend je 12 Blätter, je . . . M. 5.—

Charakterköpfe z. deutschen Geschichte. Mapps, 32 Bl. (28×36 cm) M. 13.—,
12 Bl. M. 5.—, Einzelblätter M. 1.—. Liebhaberausgabe auf Karton gebliet M. 2.—

Aus Deutschlands großer Zeit 1813. In Mappe, 16 Bl. (28×36 cm) M. 6.50,
Einzelblätter M. 1.—. Liebhaberausgabe auf Karton gebliet M. 2.—

Auf sämtl. Preise Steuerzuschläge (Poststattenpreise ohne Steuerzuschl.) des Verlags 180%₀₀,
Abänderung vorbehalten.

Vollständiger Katalog über künstlerischen Wandschmuck mit farbiger Wiedergabe von
über 200 Blättern gegen Nachnahme für M. 5.50 vom Verlag in Leipzig, Poststraße 3, erhältlich

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

BG Politechniki Śląskiej

nr inw.: 102 - 130431



Dyr.1 130431

