

# Hemmungen mit konstanter Kraft oder konstanter Antrieb?

Von A. Helwig, Deutsche Uhrmacherschule (Glashütte in Sachsen)

In den letzten Jahren ist den „Hemmungen mit konstanter Kraft“ erhöhte Beachtung zuteil geworden. Pendeluhren werden schon lange mit ihnen ausgestattet und die dadurch erzielten wirklich großartigen Gangleistungen, die im Gegensatz zu Uhren mit einfacher Grahamhemmung erheblich gesteigert worden sind, lassen den Wunsch gerechtfertigt erscheinen, auch die Unruh-hemmungen mit „konstanter Kraft“ auszurüsten. Das Gebiet dieser Hemmungen ist bei den Großuhren als beinahe abgeschlossen zu betrachten; denn die Genauigkeit der besten Pendeluhren, von einem Tag zum anderen gerechnet, ist größer als diejenige Genauigkeit, mit welcher der Astronom an den Gestirnen die Zeit von heute bis morgen zu bestimmen vermag. Der tägliche Gangunterschied bester Pendeluhren sinkt bis zu  $\frac{1}{100}$  Sekunde herab, doch die Genauigkeit der Zeitbestimmung mittels des Durchgangsinstrumentes kommt nicht unter einen Fehler von  $\frac{3}{100}$  Sekunde herunter. Daß dies nicht an der Güte der Instrumente liegt, noch viel weniger an der Geschicklichkeit der Astronomen, dürfte bekannt sein; es sind einfach die Störungen durch die Veränderlichkeit unserer Atmosphäre schuld.

Ob die Bezeichnung „Hemmung mit konstanter Kraft“ überhaupt zu Recht besteht, sei hier nicht erörtert. Es genügt zu wissen, was unter diesem Namen gemeint ist, nämlich Hemmungen, bei welchen das letzte Laufwerksrad das Pendel oder die Unruh nicht unmittelbar antreibt, sondern das Rad hebt ein Gewicht oder spannt eine Feder, und erst diese aufgespeicherte Energie wirkt als Antrieb des Regulators.

Bei astronomischen Pendeluhren „konstante Kraft“ an der Hemmung zu erzielen, ist im Gegensatz zu Federzuguhren verhältnismäßig leicht; denn schon die Antriebskraft, der Zug des Gewichtes, ist tatsächlich konstant. Das Laufwerk einer Pendeluhr kann man so gut ausführen, daß es als „tadellos“ im wirklichen Sinne des Wortes anzusprechen geht; denn die Größenverhältnisse erlauben eine Genauigkeit der Ausführung, welche den errechneten Werten praktisch gleichkommt. Es ist nur der Einfluß des Oles, welcher verhindert, daß z. B. beim Grahamgang „konstante Kraft“ von den Steigradzähnen auf die Hebeflächen des Ankers übertragen wird.

Vielleicht sind derartige Überlegungen die Ursache dazu, daß die sogenannten Hemmungen mit konstanter Kraft bei Pendeluhren neuerdings lieber als „freie Hemmungen“ bezeichnet werden, eben zum Unterschied zur Grahamhemmung, bei welcher der Ergänzungsbogen unter dem Einfluß des Räderwerkes stattfindet, und zwar ist dieser durch das Gleiten der Radzähne auf den Ruheflächen so deutlich sichtbar, daß man daran auch glauben muß. Wenn man den Einfluß des Oles herabmindern könnte oder, genauer gesagt, wenn man die Veränderlichkeit des Oles beseitigen oder wenigstens ihren Beginn auf lange Zeit hinausschieben könnte, so dürfte man auch gut konstruierte und ausgeführte Pendeluhren mit Grahamgang als Uhren bezeichnen, in deren Hemmung die gewünschte konstante Kraft tätig ist. Möglicherweise ist das Sigma-Öl dazu berufen, die so alten Wünsche nach besserem Öl zu erfüllen.

Es mag aber noch andere Mittel geben, den Einfluß der Veränderlichkeit des Oles zu verringern. Man müßte sich nur zunächst von dem Gedanken frei machen, daß eine astronomische Pendeluhr in der Hauptsache eine Uhr ist wie jede andere Uhr für den bürgerlichen Gebrauch auch, daß sie Stunden und Minuten und Sekunden anzeigen soll und daß sie außerdem noch ihre

eigentliche Bestimmung zu erfüllen hat, die Bruchteile der Sekunden anzugeben! Leider verlangt man das alles zusammen auch wirklich von den besten astronomischen Pendeluhren, während man sich mit der Angabe der Sekunden und ihrer Bruchteile begnügen sollte. Man erwartet ja auch nicht von einem großen Refraktor, der z. B. zur Auflösung von Nebeln geeignet ist, daß er das ganze Sternbild, zu welchem der Nebel gehört, gleichzeitig zu überblicken gestattet! Dazu dient doch das Suchfernrohr oder deren mehrere. So ähnlich sollte es mit der Zeitangabe gehalten werden. Die Stunde und die Minute könnte sehr gut von einer Hilfsuhr angegeben werden und nur die Sekunde würde von der Hauptuhr, wie wir wohl die astronomische Pendeluhr einer Sternwarte richtig zu benennen haben, anschaulich zu machen sein.

Es gibt für den Uhrmacher mehrere gewichtige Gründe, zu fordern, daß bei Hauptuhren wenigstens der Stunden- und der Minutenzeiger, am besten aber auch der Sekundenzeiger, wegbleibe. Das Zeigerwerk, welches lediglich die Aufgabe zu erfüllen hat, den Stundenzeiger zu bewegen, stellt eine vermeidbare Belastung für das Laufwerk dar. Man lasse es versuchsweise weg und man wird feststellen können, daß jetzt das Gewicht zum Antrieb der Uhr ein beachtliches Teil leichter sein kann. Die ersten Zapfen des zeigerwerklosen Laufwerkes erfahren durch die verringerte Antriebskraft eine verminderte Belastung, gestatten dadurch die Anwendung dünneren Oles und weisen schwächere Abnutzung auf. Dünnflüssiges Öl aber ist nicht so großen Veränderungen durch Temperaturwechsel ausgesetzt als dickeres. Geringere Abnutzung von Zapfen und Lagern gewährleistet längere Erhaltung des Gleichförmigkeitsgrades der Kraftübertragung. Es fallen auch mit dem Weglassen des Zeigerwerkes zwei Ölstellen, nämlich die der Wechselradzapfen, weg und das ist wieder ein Gewinn. Weiterhin kann das Minutentrieb zwei dünne Zapfen erhalten und nicht, wie beim Vorhandensein eines Zeigerwerkes, einen dünnen und einen sehr dicken. Es ist nicht so sehr die Dicke des Zapfens selber, die unerwünscht ist, als vielmehr die ungünstigen Ölverhältnisse, welche ihm eigentümlich sind. Die Umfangsgeschwindigkeit des dicken Minutenzapfens und seine Belastung durch den Eingriffsdruck des Hauptrades würden die Anwendung eines ziemlich dünnen Oles rechtfertigen. Jedoch diese günstigen Umstände werden ins genaue Gegenteil verwandelt infolge der verhältnismäßig großen Belastung, unter welcher das Minutentrieb durch das Gewicht des Viertelrohres und des Minutenzeigers samt dessen Gegengewicht zu leiden hat. Dazu kann noch das riesige Gewicht des Stundenrades und -zeigers kommen, wenn dasselbe unmittelbar auf dem Viertelrohr läuft. Das Viertelrohr ist mit seinem Minutenzeiger allenfalls statisch so leidlich im Gleichgewicht, weil eine Art Gegengewicht meistens angebracht ist. Da jedoch, wie die in beträchtlichen Rucken weitergehende Minutenzeigerspitze ahnen läßt, die Umfangsgeschwindigkeit großer Minutenräder nicht vernachlässigt werden darf, so ist es wünschenswert, ja sogar notwendig, das ganze Viertelrohrsystem dynamisch auszuwuchten. Das ist aber bei der hergebrachten Bauart der astronomischen Pendeluhren kaum möglich; denn es würde ein vollkommen symmetrisch geformter Minutenzeiger über dem Zifferblatt kreisen müssen, ein Zeiger, dessen Gegengewicht genau die Form und Masse des eigentlichen Zeigers hätte. Das Ablesen der Minutenangabe wäre trotzdem möglich, wenn man nur die anzeigende Zeigerhälfte blau anlassen wollte, wie bei der Kompaßnadel. Doch würde der Uhrmacher

hierbei wegen der großen Masse dieses dynamisch ausgeglichenen Zeigers wieder die ungünstige Belastung der Minutentriebzapfen zu fürchten haben, ganz besonders ungünstig deshalb, weil sie am äußersten Ende des freitragenden, weit hinausragenden Endes der Welle erfolgt. Die Uhrmacherei, wohl der älteste Zweig der Mechanik, hat ihre Kunden jahrhundertlang ganz maßlos verwöhnt in bezug auf die Bequemlichkeit des Zeitablesens, so daß es tatsächlich so weit gekommen ist, daß die Güte und Brauchbarkeit einer Uhr zuerst nach dieser Bequemlichkeit beurteilt wird, und dann erst, mehr als etwas Selbstverständliches, wird das richtige Gehen in Betracht gezogen. Bei anderen wissenschaftlichen Instrumenten dagegen nimmt man geradezu Schwierigkeiten beim Beobachten und Ablesen ohne Tadel in Kauf, wenn nur der Endzweck des Instrumentes ungeschmälert bleibt. Man hütet sich, diesen letzteren einer Bequemlichkeit beim Ablesen zuliebe anzutasten. Ganz anders bei der Uhr! Hier scheut man sich nicht, zu fordern, daß eine Hemmung zunächst durch einen „Schlag“ das Zeitabnehmen bequem zu machen hat, und doch wissen diejenigen, welche das fordern, ganz genau, daß das größere Geräusch einer Maschine niemals ein Kennzeichen für ihre Güte bedeutet. Der höchste mechanische Wirkungsgrad wird von der Hemmung gefordert und Geräusch! So ergeht es dem Uhrmacher!

Doch zurück zu der zeigerlosen Uhr: Gegner des hergebrachten Minutenzeigers an Hauptuhren zu sein, bedeutet noch nicht, auf die Angabe der Minuten ganz verzichten zu wollen. Wenn wir auf dem Kranz des Minutenrades eine regelrechte Minutenteilung anbringen, so können wir mit Hilfe eines feststehenden Zeigers die Zeit der Minute nach feststellen. Dies ist jedoch nicht von Wichtigkeit. Anders aber bei der Sekunde. Deren Angabe brauchen wir unmittelbar, wenn auch nicht öfter als höchstens einmal am Tage, da wir ja eine zweite Uhr mit den üblichen Zeigern mit unserer zeigerlosen Hauptuhr so genau synchronisieren können, daß wir letztere nur noch brauchen, um die Bruchteile der Sekunde feststellen zu können. Auch das Gangrad würde man mit einer Teilung versehen, um mittels eines festen Zeigers bei ausreichender Bequemlichkeit die sekundengenaue Zeit bei Bedarf nachprüfen zu können. Man kann auch an der 60. Sekunde einen kleinen Spiegel am Radkranz des Gangrades anbringen, der sogar dynamisch ausgleichbar sein würde, um mit Hilfe eines Lichtstrahles und einer lichtempfindlichen Zelle die Stellung des Gangrades in beliebiger Entfernung von der Uhr einmal je Minute prüfen zu können, ohne ihr auch nur zu nahe kommen zu müssen. Den Schlag der Hemmung würde man heute nicht mehr unmittelbar hörbar zu machen brauchen, sondern man wird ihn, so leise er auch sei, beliebig verstärken können. Die Mittel dazu kennt jedermann aus der Radiotechnik. Es sei dabei gleich an die Vorschläge erinnert, mit Hilfe des im Pendeluhrgehäuse angebrachten Mikrophons und Verstärkerröhren eine zweite Uhr zu synchronisieren. Dieses Verfahren ist den hergebrachten Kontakten am Pendel selbstverständlich vollkommen überlegen; denn wendet man einen mechanisch einrückbaren Kontakt an, der also nur auf Wunsch zeitweilig mitläuft, so hat man eine unmittelbare, zeitweilige mechanische Beeinflussung des Pendels. Läßt man den Kontakt dauernd mitarbeiten, aber nur bei Bedarf Strom hindurchgehen, so hat man auch eine zeitweilige mechanische Beeinflussung des Pendels, hervorgerufen durch elektrostatische Aufladungen, welche sich in einer Art Kleben der Kontakte deutlich äußert. Läßt man endlich dauernd Strom durch einen ständig mitlaufenden Kontakt gehen, so ist das Pendel der Veränderlichkeit ausgesetzt, welche durch das unvermeidliche Verschmutzen sowie das Kleiner-

werden der einen Kontaktseite und Größerwerden der anderen bedingt wird. Unvermeidliche Schwankungen der Stromstärke bedeuten verschieden große elektrostatische Aufladung der Kontakte, also wechselndes Kleben und nicht zuletzt ist die mechanische Abnutzung der gesamten Kontaktanlage eine ständige Fehlerquelle.

Heute also dürfte eine Hauptuhr einen leisen Schlag der Hemmung haben, er wird verstärkt und sogar der Synchronisierung dienstbar gemacht und das Pendel braucht nicht erst durch eine Hemmung mit konstanter Kraft „frei“ gemacht zu werden, um es sogleich wieder durch Kontakte zum Gegenteil von „frei schwingend“ zu machen. Heute haben Kontakte in der astronomischen Hauptuhr keine volle Daseinsberechtigung mehr.

Kommen wir nach diesem allgemeinen Überblick über die ganze Uhr zur bewegenden Kraft zurück, zum Gewichtantrieb. Auch das sogenannte Walzenrad ist einer Verbesserung zugänglich. Die größte Fehlerquelle der bisherigen Aufzugeinrichtung liegt im Gegengespeerr, jener Einrichtung, welche dem Laufwerk Kraft zuführt, während das Gewicht gehoben wird. Auf die früher geforderte Symmetrie hat man schon vernünftigerweise verzichtet, indem man das Gewicht nicht mehr genau vor dem Pendel fallen läßt, sondern an der Seite, in einer Ecke des Gehäuses. Es geschieht dies, damit sich Pendel und Gewicht nicht gegenseitig beeinflussen; denn es kommt vor, wenn das Gewicht gerade weit genug gefallen ist, um ein Sekundenpendel zu ergeben, daß es lebhaft mit-

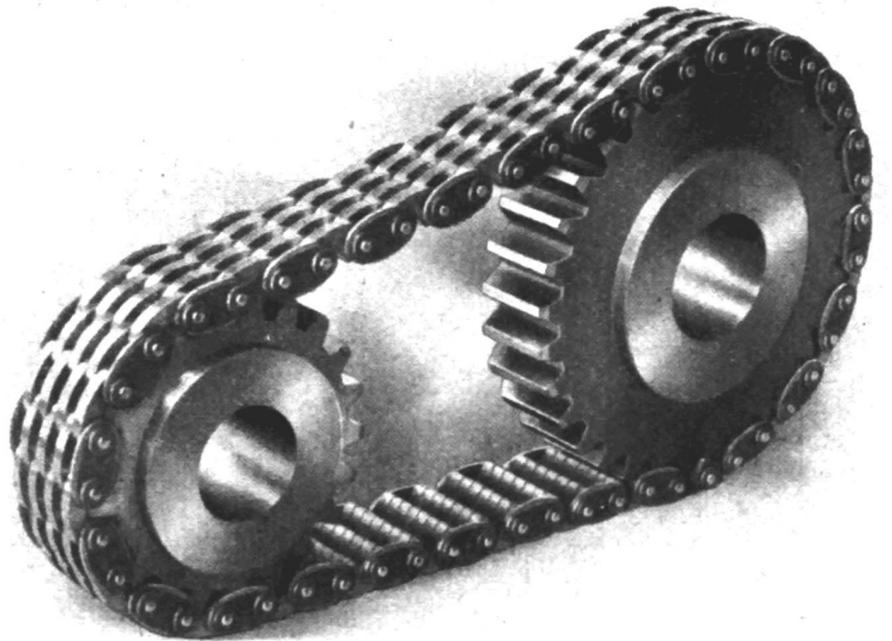


Abb. 1

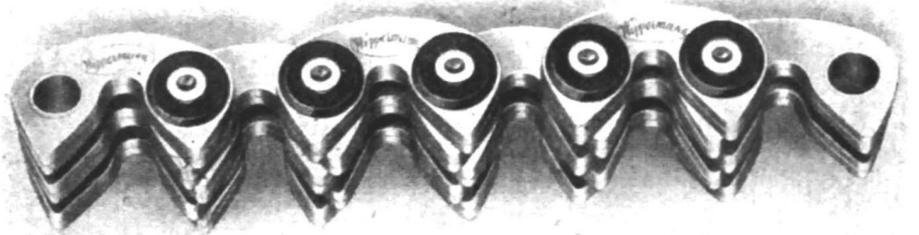


Abb. 1a

schwingt. Nicht allein durch die Resonanz des bloßen Mitschwingens, sondern fast noch mehr durch seine ständig sich ändernde Länge beeinflusst das zum Pendel gewordene Gewicht das eigentliche Sekundenpendel in einem Maße, daß die Uhr durchaus keine Präzisionsuhr mehr ist, sie kann sogar stehenbleiben. Das nicht mehr in der Mitte fallende Gewicht ist demnach eine Selbstverständlichkeit geworden. Man könnte nunmehr mit Vorteil das alte Prinzip der „Schnur ohne Ende“ anwenden, das wir schon bei Huygens finden. Dabei ist allerdings nicht mehr an die Verwendung einer eigentlichen Schnur

gedacht, sondern an eine Kette. Das scheint zunächst eine sehr kühne Neuerung zu sein, aber wir brauchen nur daran zu denken, wie selbstverständlich wir im Seechronometer die Kette anwenden und wie vollkommen sie dort alle Anforderungen erfüllt. Allerdings muß die Kette eine Art Zahnteilung haben, etwa wie die allbekannte Fahrradkette. Die gewöhnliche Kette der Schwarzwälder Uhren kommt nicht in Frage. Ernsthafter Erwägung wert ist aber die neuzeitliche Zahnkette, bekannt als Renold-Kette, die in Abb. 1a dargestellt ist. Man kann derartige Ketten als biegsame Zahnstangen bezeichnen. Sie versehen ihren Dienst im Großmaschinenbau mit einer Sicherheit und einem Wirkungsgrad, der alle Erwartungen erfüllt. Unser Walzenrad wäre überaus einfach, wenn wir eine dieser Renold-Ketten, die im Gegensatz zur hergebrachten Schnur oder Saite von nahezu unbegrenzter Lebensdauer ist, anwenden wollten. Wir hätten da nur eine Welle mit zwei ziemlich dünnen und darum vorteilhaften Zapfen, weil wir hier kein Aufzugviereck mehr brauchen, und auf dieser Welle säßen nur zwei vollkommen fest angebrachte Räder, das Hauptrad a (Abb. 2) welches in das Minutentrieb b eingreift, und das Kettenrad c, dessen Einfachheit aus der Abb. 1 hervorgeht. Die endlose Kette treibt es endlos an. Aus Abb. 2 geht auch die allgemeine Anordnung einer Uhr mit Kette ohne Ende hervor, es ist d eine Umleitrolle, welche in diesem Falle

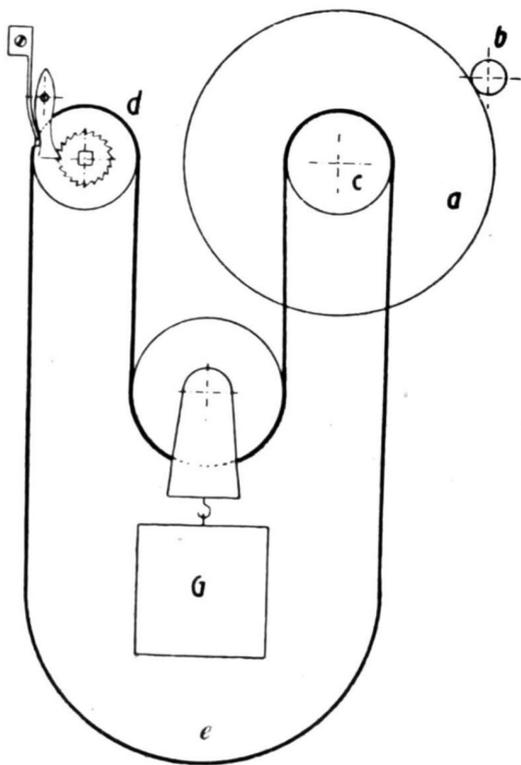


Abb. 2

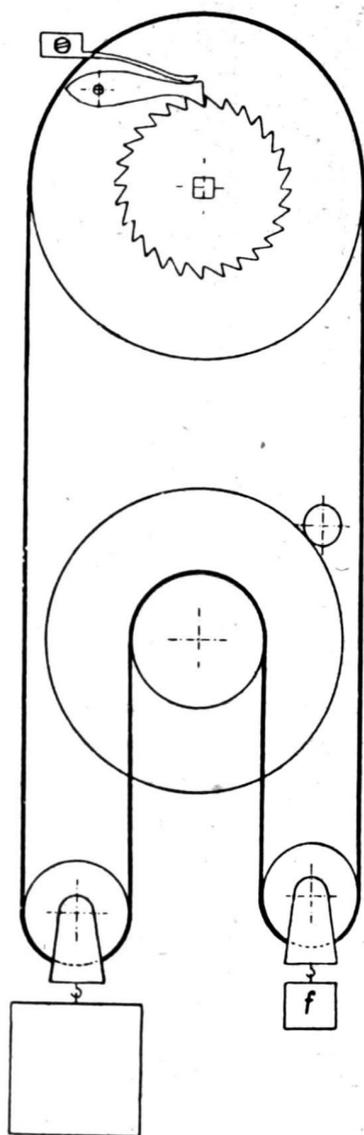


Abb. 3

aber für die Teilung der Kette gezahnt ist, wie die Räder in Abb. 1 es sind. Dieses Umleitrad d besitzt den Aufzugviereckzapfen, und das ganz einfache Gesperr befindet sich fest auf dem als Lagerung dienenden Gestell. Es ist klar, daß man durch das Rad d das Gewicht heben kann, sooft man will, und das Hauptrad a wird niemals das mindeste von diesem Aufziehen merken. Es sind nicht mehr Zapfen nötig wie bisher; denn d ist ja schon jetzt vorhanden wegen der seitlichen Gewichtführung. Die Teile sind ohne Ausnahme überaus einfach geworden.

Was für ein komplizierter und gewichtiger Teil ist dagegen das jetzige Hauptrad! Und wie oft versagt das Gegengeserr, wenn das Öl klebrig wird. Diese Anordnung der „Kette ohne Ende“ kommt aber erst zur vollen Entfaltung ihrer Vorzüge, wenn der Aufzug automatisch elektrisch erfolgt, wenn also der Viereckzapfen d von einem Elektromotor gedreht wird, unter Zwischenschaltung

der zur Reduktion der Umdrehungszahl nötigen Räder. Das Steuern der Kontakte würde das Gewicht zu übernehmen haben, und man würde auf eine sehr geringe Fallhöhe zukommen müssen, also auf häufiges Aufziehen, damit das Eigengewicht der allerdings sehr leichten Kette beim Ablauf nicht störend in Erscheinung tritt. Die bisher übliche Fallhöhe wäre nicht empfehlenswert; denn dann würde das Gewicht der Kette eine unkonstante bewegende Kraft zustande bringen. Man kann sich hier auch ein dünnes Stahlband als „Schnur ohne Ende“ denken, welches in vollkommen genauer Teilung gelocht sein müßte. Die Kettenränder wären auch in diesem Fall überaus einfach, man könnte das sehr geringe Gewicht dieses Stahlbandes getrost vernachlässigen und eine Fallhöhe des Gewichtes ausnutzen, wie sie bisher üblich ist. Dazu wird eine Anordnung nach Abb. 3 nötig sein, weil hier das Gewicht in seiner Fallhöhe nicht von dem aufsteigenden Teile (Abb. 2) der Kette oder des Stahlbandes behindert würde. In Abb. 3 stellt f ein kleines Gegengewicht vor, welches bei Anwendung des „Stahlbandes ohne Ende“ nötig ist.

Man sollte sich nicht scheuen, zeitgemäße Maschinenelemente in die allzu konservative Uhrmacherei einzuführen, hier z. B. die Renold-Kette oder das Stahlband.

Man kann noch weiter gehen: In Abb. 2 kann das Rad d von einem zweiten Uhrwerk angetrieben werden, und natürlich gerade mit einer derartigen Umdrehungszahl, daß das Gewicht G in vollkommen gleicher Höhe bleibt. Auf den ersten Blick erscheint dies als eine unerhört schwülstige Lösung, aber dieses zweite Werk könnte gleich diejenige Uhr sein, von welcher schon die Rede war, als gefordert wurde, daß Stunden und Minuten von einer Nebenuhr angegeben werden sollten. Das zweite Werk würde am besten Unruhremmung erhalten, damit eine Beeinflussung zweier in unmittelbarer Nähe zueinander schwingender Pendel ausgeschaltet wäre.

Für das Gewicht dieses zweiten Werkes bestehen zahlreiche Möglichkeiten des Aufziehens, aber wie das Aufziehen auch immer geschehe, das Hauptwerk hätte eine wahrhaft konstante bewegende Kraft. Bei dieser Lösung könnte man auch das Übersetzungsverhältnis vom Hauptrad zum Minutentrieb viel kleiner halten als bisher. Dieser erste Eingriff ist jetzt eine Quelle der Sorge; denn bei dem üblichen Verhältnis von 1 : 15 kommt ein idealer Eingriff nur unter ernststen Schwierigkeiten zustande. Die jetzige überaus unvorteilhafte Größe und Schwere der Haupträder ist das Ergebnis der Forderung, daß das Zifferblatt symmetrisch zu sein hat und daß die Gangzeit der Uhr so lang als möglich sein muß, damit sie tunlichst selten durch das Aufziehen gestört werde; denn das Aufziehen empfindet die Uhr jedesmal als Störung. Ganz anders und viel besser aber wäre das alles bei unserer Anordnung mit zwei Werken.

Man könnte noch weiter gehen: Anstatt das Hauptrad durch eine Kette ohne Ende mit konstanter Antriebskraft zu versorgen, könnte man auf dieselbe Weise auch die bewegende Kraft einem anderen Rade zuführen, etwa dem Zwischenrad. Natürlich ist dabei auch an den ununterbrochenen Aufzug durch das vorgeschlagene zweite Werk gedacht. Das Hauptwerk würde noch viel einfacher werden, und es ist sehr fraglich, ob diese Uhr teurer würde als eine bisherige Pendeluhr; denn das aufziehende Werk kann sehr einfach, kräftig und dadurch geradezu billig ausgeführt werden.

Wir hätten uns auf diese Weise zu einer neuen Ausführungsform einer Art Hemmung mit konstanter Kraft durchgedacht. Der Gedankengang erscheint so selbstverständlich, daß man sich wundern sollte, wenn er nicht schon irgendwo als Vorschlag oder gar in einem ausgeführten Stück bestände. Antrieb durch ein Gewicht oder eine Feder am Steigrad oder am Zwischenrad, auch am Minutenrad, gibt es längst, aber ob sie den hier vorgeschlagenen ununterbrochenen Aufzug haben, das ist die

Frage. Eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Vorschlag hat der Loßsche Bremsregler.

Die hier entwickelten Vorschläge mögen von manchem als eine Reise nach Utopien angesehen werden. Daran ist aber nur das viel zu zähe Festhalten an unseren Überlieferungen schuld. Es war das Hauptrad, Walzenrad oder wie es sonst genannt werden mag, welches die vorstehenden Zukunftswünsche auslöste. Betrachten wir das übrige Laufwerk auf Verbesserungsmöglichkeiten hin. Denken wir dabei an eine Uhr mit bisherigem Hauptrad oder auch an den vorgeschlagenen Aufzug durch Kette ohne Ende, allerdings nicht am Zwischenrad, sondern am Hauptrad. Wir setzen weiterhin voraus, daß wir uns entschlossen haben, weder Stunden-, Minuten- noch Sekundenzeiger anzuwenden. Daraufhin können wir eine verbesserte Lagerung aller Zapfen vornehmen. Man sollte in diesem Falle alle Zapfen, sogar schon die des Hauptrades, gegen Decken laufen lassen. Es herrscht dabei nicht der Wunsch vor, die Reibung der Zapfenansätze beseitigen zu wollen, jedoch die Kapillarität des Oles wird hierbei von einer Stelle, eben an den Zapfenansätzen, ausgeschaltet, welche besonders stark zur Veränderlichkeit neigt; denn sofern eine Welle hin und her wandert, indem sie die Endluft in Anspruch nimmt, pumpen die Zapfen das Öl hin und her. Leider geschieht das mit dem Endergebnis, daß die ganze Ölmenge sich als Folge der Kapillarität an den Zapfenansätzen ansammelt, und hier ist sie in überaus schädlicher Weise der Luft, besonders ihrem Sauerstoff und der Verunreinigung ausgesetzt. Das bedingt frühzeitige Veränderung des „inneren Widerstandes“ des Laufwerkes, wenn dieser Ausdruck hier einmal gebraucht werden darf.

Anders ist das, wenn wir Decken für die Zapfen anwenden. Bei der richtigen, gewölbten Form der Lochsteine (oder der Messinglager) und der richtigen Entfernung der Decken bleibt der Ölverrat mit so großer Kapillarkraft zwischen den beiden Steinen haften, daß die Welle hin und her wandern kann, sooft sie will, sie wird niemals von der Kapillarität nach einer Seite hin stärker beeinflusst werden, und die Zapfen wirken niemals als Pumpenkolben; denn das Öl bleibt unbedingt dort, wo die Kapillarität am größten ist, nämlich zwischen Decke und Zapfenlager. Ein Ansaß, der mit der am Deckstein herrschenden Kapillarität in Wettbewerb treten könnte, ist ja nicht vorhanden. Außerdem kann man zwischen Loch- und Deckstein einen Ölverrat von einer Größe anbringen, wie er sich in der üblichen Olsenkung gewöhnlicher Zapfen niemals halten kann. Die größere Ölmenge aber verdickt und schwindet nicht so leicht als die kleine. An dem der Welle zugekehrten Ende des Zapfens kann sich bei richtiger Anordnung von Deck- und Lochstein niemals ein nennenswerter Ölverrat befinden. Das Öl kann hier unter keinen Umständen austreten, weil es bei jedem Versuch dazu mit geradezu gewaltiger Kraft in den engen Spalt zwischen Zapfen und Lochwand hineingezogen wird. Die Berührungsfläche zwischen Öl und Luft ist also bei Anwendung von Decken fast gleich Null, im Gegensatz zu Zapfen mit Ansaß und offener Olsenkung. Es ist, wie bemerkt, nicht die übliche Furcht vor „Reibung“ der Beweggrund für Anwendung von Decken, sondern die so sehr berechtigte Sorge für das Öl. Aber erst bei der zeigerwerklosen und sekundenzeigerlosen Uhr ist die restlose Anwendung von Decken möglich, und die klar auf der Hand liegenden Vorzüge sollten vollkommen genügen, auf die Zeiger zu verzichten, d. h. sinngemäß, bei der astronomischen Hauptpendeluhr.

Übrigens wird in der einfachsten Maschine jede Ölstelle gegen Verunreinigung geschützt, nur nicht im Uhrwerk. Wenn auch das Gehäuse den Gesamtschutz des Oles zu übernehmen hat, so weiß doch jeder geplagte

Regleur, was für eine unglaublich große Menge von Staubfasern sich in kürzester Zeit gerade in den Olsenkungen ansammelt, auch wenn das Gehäuse geradezu luftdicht schließt. Warum also soll man nicht auch in der Uhr jede einzelne Ölstelle zudecken dürfen, besonders wenn das so leicht zu bewerkstelligen geht wie in einer großen Pendeluhr.

Da es sich hier um Betrachtungen über die „konstante Kraft“ handelt, sollen nicht Verbesserungen erörtert werden, welche zweifellos an der Verzahnung noch möglich sind. Sie ändern nichts Wesentliches in der **Gleichförmigkeit** der Kraftübertragung; denn alle von den Verzahnungen herrührenden Schwankungen können als periodisch betrachtet werden, in vollkommenem Gegensatz zu den Oleinflüssen.

Nun aber zu den Hemmungen! Auf eine sorgfältige Einteilung in Klassen sei verzichtet, da die Grenzen manchmal durchaus nicht scharf gezogen werden können. Sehen wir uns zuerst wieder den Grahamgang an. Er wird oft mit dem Ankergang der Taschenuhren verglichen oder es werden wenigstens gemeinschaftliche Eigenarten beider Hemmungen festgestellt. Am nächsten verwandt dagegen ist der Grahamgang mit dem Zylindergang, nur daß bei dem einen der Ergänzungsbogen recht klein, bei dem anderen sehr groß ist. Beide haben Hebung, Fall, Ruhe und Gleiten der Zähne während des Ergänzungsbogens. Hätte man beim Grahamgang statt der üblichen Zähne etwa axial gestellte Stifte im Radkranz (wie bei manchen Turmuhren im Scherengang) und genügend lange Klauen im Anker, dann wären auch hier ein größerer Schwingungsbogen möglich, unter genau denselben Umständen wie beim Zylindergang. Was aber beide Hemmungen nicht haben, das ist die dem Taschenuhrankergang durchaus eigentümliche Auslösung, die auch für den Chronometergang eine ganz besonders bezeichnende Eigenschaft ausmacht. Diese Auslösung bildet schon immer den Störenfried in der Reglage, und man muß gerade den Grahamgang wegen des Fehlens jeder Art von Auslösung als eine Hemmung ansehen, welche die besten Vorbedingungen für die Reglage besitzt. Die Hebung findet hier in der so sehr erwünschten Nähe der Mittellage statt, und es kann demnach nur der Einfluß des Oles auf den Ruheflächen sein, welcher den Wunsch nach einer noch besseren, noch freieren Hemmung wachruft.

Lassen wir die älteren Schwerkrafthemmungen beiseite, da sie nur in einzelnen Stücken angefertigt wurden, nämlich die Hemmung der Westminster-Uhr in London, die Tiede-Hemmung und so manche andere, besonders in Turmuhren angewendete Schwerkrafthemmung.

Beachtlich dagegen sind schon die sogenannten Kugelhemmungen, da sie in zahlreichen Stücken existieren. Der Name ist für das Wesen dieser Hemmungen nicht bezeichnend; denn nur von der in die Augen fallenden Form der kleinen Gewichte, welche das Pendel antreiben, hat der Gang seinen Namen erhalten. Diese Gewichte haben nämlich meistens Kugelform. Die Wirkungsweise dieser Hemmungen ist bei oberflächlicher Betrachtung einfach, nicht aber so ganz, wenn man sich in die Sache vertieft. Aber sehen wir zuerst dem Spiel der Hemmung zu. Gleich unterhalb der Pendelfeder trägt das Pendel eine etwa 20 cm lange, waagerechte Stange, die an jedem Ende eine kleine Kugelpfanne aufweist (Abb. 4). Über diesen Pfannen schweben Kugeln, welche an Seidenfäden aus dem Uhrwerk heraushängen. Von welchem Teile sie getragen werden, mag uns zunächst nichts angehen. Jedenfalls bemerken wir beim Beobachten des Spieles der Hemmung, daß das Pendel sich einmal die rechte Kugel aushängt und dann wieder die linke, und da das gerade immer dann geschieht, wenn die Pfanne ungefähr oben ist, so ist klar,

daß das abwechselnd drückende Gewicht der Kugeln das Pendel im Schwingen erhalten muß, und zwar in vollkommen gleich großen Schwingungen, da die treibende Kraft, die in den Kugeln wirkende Schwerkraft, durchaus unveränderlich ist. Es gehört noch dazu, zu sagen, daß das Uhrwerk so klug ist, die Kugeln von den Pfannen gerade dann wieder abzuheben, wenn sie ungefähr unten sind. Bis hierher betrachtet, macht der Kugelgang den Eindruck der allervollkommensten Hemmung mit tatsächlich konstanter Kraft.

Sonderbar ist es allerdings, wie das Uhrwerk wissen kann, wann es die Kugeln wirken lassen soll und wann es sie wieder hochheben muß. Würde das Uhrwerk das aus irgendeinem Grunde nach seiner eigenen Idee ausführen, so müßte sich das Pendel schließlich nach dem Uhrwerk richten. Umgekehrt ist es aber doch das Pendel, welches die Angaben des Uhrwerkes beaufsichtigen soll. Somit muß das Pendel dem Uhrwerk gewissermaßen den Augenblick selber anzeigen, in welchem die Kugeln wirken sollen und auch, wann sie wieder hochgehoben werden müssen. Diese Tätigkeit des Pendels, sich selber im geeigneten Augenblick die neue Antriebskraft zu verschaffen, nennt man die Auslösung. Im Maschinenbau heißt ein derartiger Vorgang „Steuerung“. Z. B. steuert sich die einfache Schieberdampfmaschine den Ein- und Austritt des treibenden Dampfes in den Arbeitszylinder selber, die Ventildampfmaschinen natürlich ebenso, nur ist das bei letzteren nicht so klar verständlich wie bei der alten Dampfmaschine mit dem einfachen Muschelschieber. Es ist ganz klar, daß die Bewegung des Schiebers, welcher den Dampf „steuert“, einen beträchtlichen Teil der Leistung der Maschine für sich beansprucht, und diejenige Dampfmaschine gilt immer als die bessere, welche die verhältnismäßig geringste Energie für ihre eigene Steuerung verbraucht.

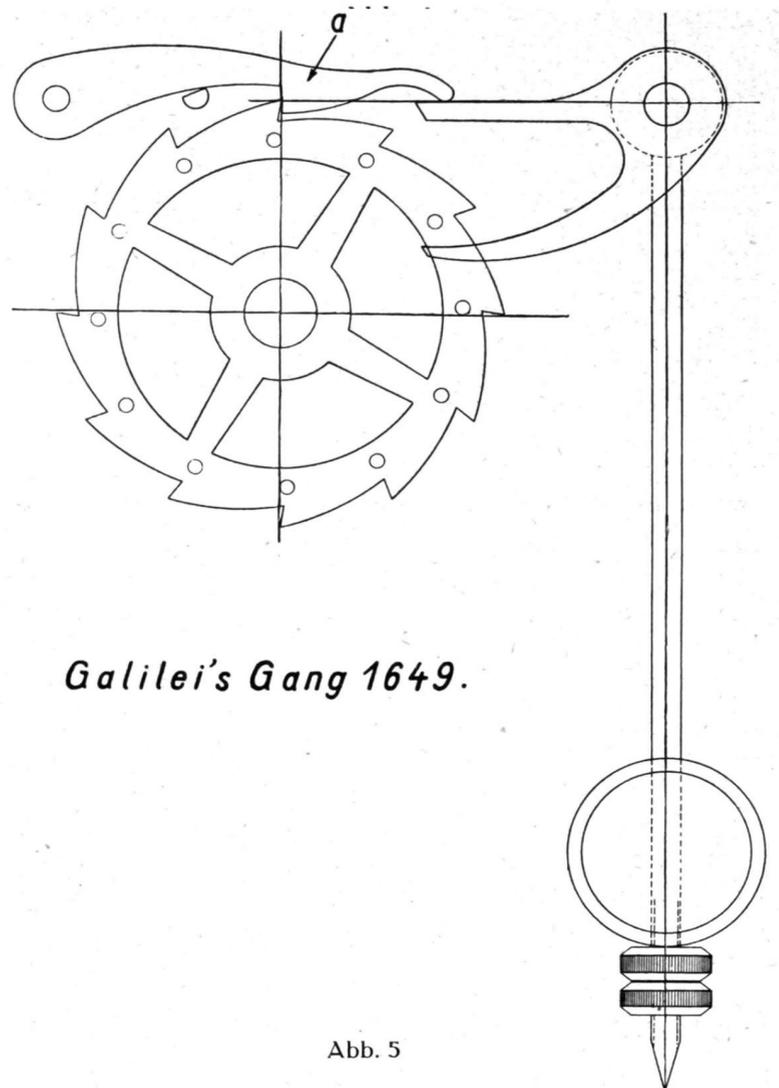
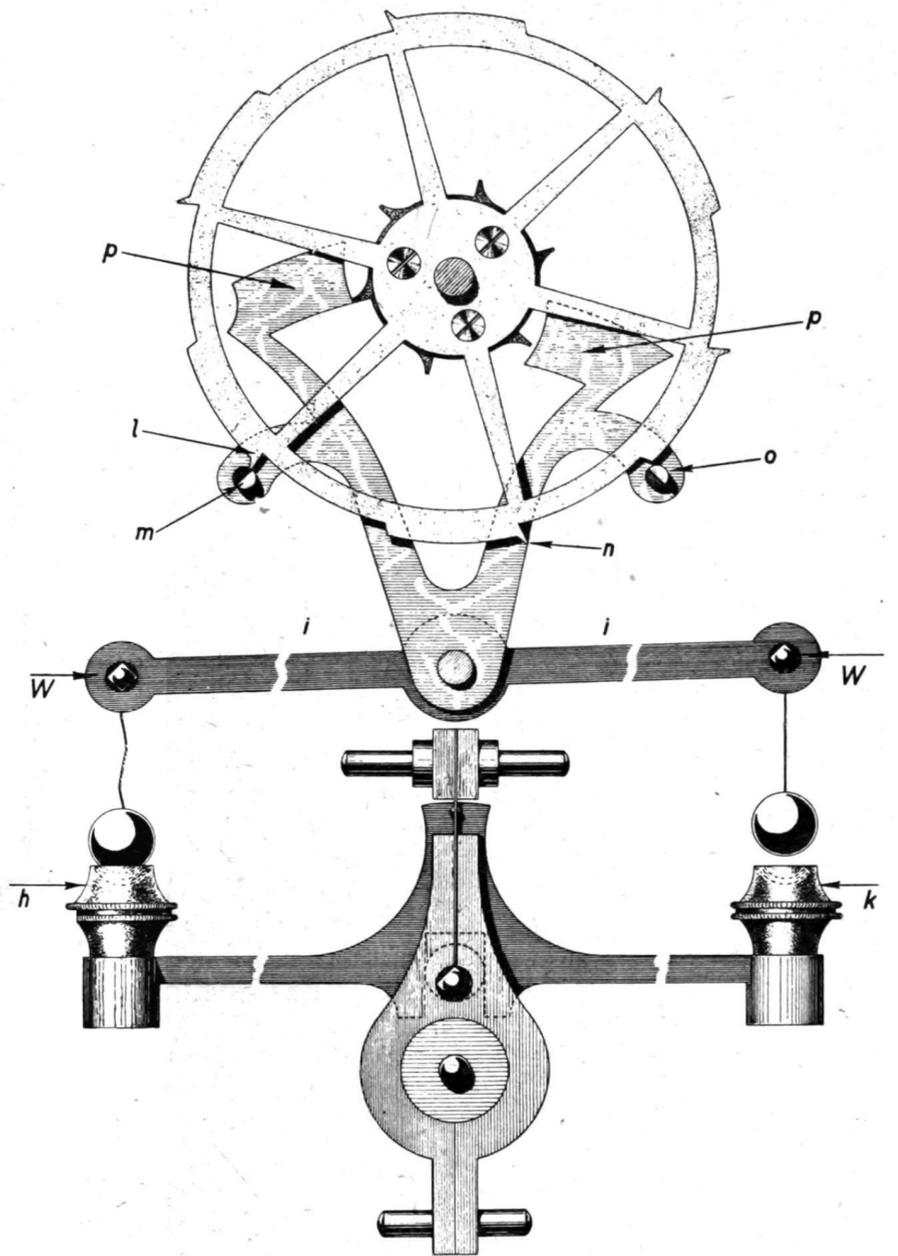
Die Dampfturbine dagegen hat keine Steuerung im Sinne der Kolbendampfmaschine, verbraucht demnach auch keine Energie dafür. So ist es auch mit dem Grahamgang; er hat keine Auslösung, keine besondere Steuerung und seine Energiewirtschaft ist deshalb günstiger als die derjenigen freien Hemmungen, welche wir als „konstante“ bezeichnen. Beweis: Pendeluhren mit Grahamgang brauchen leichtere Gewichte zum Antrieb als solche mit „konstanter Kraft“ in der Hemmung.

So wie es bei den Kolbendampfmaschinen zugeht, genau so ist das bei den „freien Hemmungen“. Einen Teil der Energie, welche dem Pendel oder der Unruh zugeführt wird, verbraucht gleich wieder die „Auslösung“, richtiger also die „Steuerung“. Was die Auslösung eigentlich ist, zeigt am besten Galileis Hemmung, Abb. 5. Der Sperrhaken *a*, welcher das Steigrad festhält, sieht nicht vertrauenerweckend aus im Hinblick auf die Freiheit der Pendelschwingungen. Und doch finden wir diesen Haken in irgendeiner Form in allen freien Hemmungen; denn die Wippe und die Gangfeder des Chronometerganges sind ganz brutal wirkende Sperrhaken, auch wenn sie noch so zart ausgeführt sind. Der Anker des „freien Ankerganges“ ist sogar ein doppelt wirkender Sperrhaken. Genau so schwer, wie es beim Galilei-Gang dem Pendel augenscheinlich fällt, den Haken auszuheben und dadurch den neuen Antrieb auszulösen, ebenso schwer fällt der Unruh die Auslösung der Sperrhaken beim Anker- und beim Chronometergang, wenn das auch z. B. durch die Kleinheit der Auslöserolle bei letzterer Hemmung gemildert erscheint.

Die Arbeitsweise der Galilei-Hemmung ergibt sich aus der Abb. 5 ganz von selbst. Man hat fast den Chronometergang.

Wie geht nun beim Kugelgang die notwendige Auslösung vor sich? Betrachten wir wieder Abb. 4 der linke Faden ist gerade schlaff und daraus folgt deutlich, daß die linke Kugel dem Pendel gerade einen Antrieb erteilt.

Die Pfanne *h* sinkt herunter, bis der Faden straff gespannt sein wird, um in demselben Augenblick die Kugel von der Pfanne abzuheben. Ganz richtig ausgedrückt, wird die Abwärtsbewegung der Kugel plötzlich aufgehoben und die Pfanne enteilt der Kugel. Wenn



*Galilei's Gang 1649.*

Abb. 5

dieser Augenblick eintritt, ist die linke Seite des zweiarmigen Hebels  $i$  um das Gewicht der Kugel vermehrt worden.

Es ist nun dafür gesorgt, daß genau in demselben Augenblick, in welchem die linke Pfanne  $h$  sich von ihrer Kugel trennt, die rechte Pfanne  $k$  ihre Kugel aufnimmt. Dadurch ist ein ausgesprochenes Übergewicht der linken Seite des Hebels  $i$  eingetreten, welches bewirkt, daß der Ruhestein  $m$  den bis jetzt auf ihm ruhenden Radzahn  $l$  freigibt. Achten wir wohl darauf: Stein  $m$  ist mitsamt dem ganzen ankerartigen Teil, in dem er sitzt, wieder der schon bekannte Sperrhaken aller freien Hemmungen! Das Hemmungsrad dreht sich so lange, bis Zahn  $n$  auf Stein  $o$ , also auf Ruhe fällt; dann natürlich ist dieser rechte Ruhestein  $o$ , wie bei jedem Anker, inzwischen noch mehr in den Bereich der Zähne eingetreten. Infolge der Tätigkeit des Zahnes  $r$  auf der Hebefläche  $p$  tritt der Stein  $o$  wieder ein Stück aus dem Ruherad heraus, aber nur so viel, daß das richtige Maß von Ruhe eintritt. Die Tätigkeit der Klauen  $p$ , welche die Hebung vermitteln, hier sogar in reinstem Sinne des Wortes, nämlich die Hebung der Kugeln, wird ohne Erklärung verständlich sein.

Es ist nicht der Zweck dieser Niederschrift, einzelne oder mehrere „freie Hemmungen“ ihrer Konstruktion und ihrer Tätigkeit nach zu erklären, sondern es soll untersucht und klargestellt werden, ob es überhaupt schon Hemmungen mit konstanter Kraft gibt, oder wie nahe die als solche bezeichneten an das Ideal herankommen. Somit kümmern wir uns nicht weiter als nötig um die Vorgänge am Hemmungsrad und am Anker, das schnelle Verstehen des Kugelganges würde unnötig erschwert.

Betrachten wir aber besonders die Tätigkeit der Pfannen und der Kugeln und erinnern wir uns daran, daß die linke Kugel von ihrem Zusammenhang mit dem Pendel in demselben Augenblick gelöst wird, in welchem die rechte Pfanne die Kugel aufnimmt. Damit das erreicht wird, sind die Längen der Fäden einstellbar gemacht dadurch, daß sie auf den Umfang von Wellen  $w$  gewickelt werden, welche durch ein Viereck bequem drehbar gemacht sind. Die gerade antreibende Kugel verbleibt auf ihrer Pfanne bis kurz vor dem Umkehrpunkt des Pendels, aber während dieses kleinen Ergänzungsbogens ruht auf der aufsteigenden Pfanne schon die Kugel. Nun bedeutet dieses geringe Anheben der Kugel aber die Auslösung, wie wir gesehen haben, und gerade hier wird es deutlich klar, daß Auslösung Arbeitsaufwand des Pendels erfordert, eben in dem Anheben der einen Kugel bestehend. Dieser zur Auslösung notwendige Arbeitsaufwand erfolgt offensichtlich in nächster Nähe des Umkehrpunktes, also gerade dort, wo das Pendel am allerleichtesten zu beeinflussen geht. So selbstverständlich der Antrieb durch die Kugeln konstant ist, so selbstverständlich ist es auch, daß die Auslösung bei diesem Gang ungünstig ist.

Es ist fraglich, ob ein vollkommen konstanter Antrieb überhaupt gebraucht wird. Das Pendel ändert noch aus anderen Ursachen, als es die Verschiedenheit der Auslösung ist, die Größe seines Schwingungsbogens. Das Pendel benötigt eigentlich eine Hemmung, welche Rücksicht auf die äußeren Einwirkungen auf das Pendel nimmt, eine Art ausgleichende Hemmung also. Das Problem müßte bezeichnet werden: Hemmung, welche dem Pendel einen Schwingungsbogen von unveränderlicher Größe gewährleistet. Es ist aber Aufgabe dieser Niederschrift, zu untersuchen, ob es „Hemmungen mit konstanter Kraft“ gibt im wirklichen Sinne des Wortes.

Ein Vorschlag: Man könnte vom Pendel durch einen Spiegel einen Lichtstrahl steuern lassen, welcher eine photoelektrische Zelle derart beeinflußt, daß die erzielten Stromstöße nur die Auslösung der Hemmung bewerkstelligen. Den Antrieb aber sollte man der Schwerkraft

überlassen in Gestalt des Kugelgewichtes. General Ferrié hat vorgeschlagen, durch Steuerung einer photoelektrischen Zelle ein zum Antrieb des Pendels dienendes Solenoid zu erregen. Dabei hätte das Pendel keine Auslösungsenergie abzugeben und das wäre ein großer Vorteil. Doch kann man sich nicht denken, daß dieser Antrieb besser sein soll als derjenige durch die Schwere der Kugeln. Selbst wenn es möglich wäre, auf ganz einfache Weise eine dauernd konstante Stromquelle zu schaffen, so hätte man immer noch mit Schwankungen der elektromagnetischen Kraft des Solenoides zu rechnen, weil der Leitungswiderstand der Wicklung bei Temperaturschwankungen nicht gleich bleibt. Auch die magnetischen Eigenschaften des Ankers, sei er Weicheisen oder permanenter Magnet, sind auf keinen Fall für die Dauer so gleichmäßig, daß man einen „konstanten Antrieb“ erzielen könnte.

Es ist noch zu untersuchen, ob der vom Kugelgang dem Pendel zur Auslösung entnommene Arbeitsaufwand konstant ist oder nicht. Wäre er es, dann könnte man diese Hemmung tatsächlich als „konstant“ bezeichnen und wir brauchten nach keiner besseren zu suchen.

Stellen wir uns die Kugeln wieder in dem Augenblick vor, in welchem die linke von ihrer Pfanne losgelassen, die rechte dagegen aufgenommen wird. Das sofort auftretende Überwiegen der linken Seite des zweiarmigen Hebels  $i$  muß unweigerlich zur Folge haben, daß das ganze Ankersystem im Zusammenhange mit dem Pendel sich bewegt; für einen Weg von der Länge des Ruheweges schwingt der Arm  $i$  samt Anker mit dem Pendel synchron, beide sind geradezu gekoppelt. Die biegsamen Fäden rufen das Gefühl hervor, daß diese nicht zu bezweifelnde Kopplung sehr lose sein muß. Sie ist aber sehr fest, wie das unter anderem aus folgenden Betrachtungen hervorgehen wird.

Wir stellen uns wieder den Augenblick vor, in welchem die linke soeben von der Pfanne verlassene Kugel ihren Faden spannend sich anschickt, den Ruhestein  $m$  vom Zahn  $l$  abzustreifen. In demselben Maße, wie ihr das gelingt, wird sie ihrer Pfanne naheilen und dieselbe zu belasten suchen, und auf der rechten Seite wird die Kugel, die im Begriff war, sich auf ihre Pfanne aufzulegen, von ihrem steigenden Faden am festen Auflegen gehindert werden und dadurch die Pfanne entlasten. Man ist versucht, zu glauben, daß in dieser zur Auslösung der Ruhe nötigen Zeit das Pendel vollkommen frei schwingt, da ja keine der beiden Kugeln zu einem Aufliegen kommen kann. In Wirklichkeit jedoch wird das gegenseitige Abwägen der beiden Kugeln und der Schwebezustand, den sie in bezug auf das Auflegen auf die Pfannen durchmachen, eine Art Eigenschwingung des ganzen Ankersystems zur Folge haben während der ganzen Zeit, in welcher die Ruhe ausgelöst wird. Daß diese Eigenschwingung anders verläuft, wenn der Zahn mit höherem Druck auf Ruhe liegt, als wenn er wegen Ölverdickung im Laufwerk mit niedrigerem Druck aufliegt, ist selbstverständlich. Daß die Neigung zu Eigenschwingungen diesem Kugelganganker eigentümlich ist, kann man durch den Versuch sofort zeigen. Man braucht nur den einen Faden eine Kleinigkeit zu verkürzen, so daß nicht beide Kugeln gleichzeitig soeben die Pfannen berühren und das Vibrieren des Ankers während der Auslösung ist fertig. Verlängert man einen Faden, so ist bisweilen der Anker sich selbst überlassen und dem Druck des Rades auf die Ruheflächen, der natürlich schwankt, wodurch die Standfestigkeit des Ankers eine wechselnde ist, ein Grund zu Vibrationen. Die richtige Länge der Fäden ist dann erreicht, wenn in der Ruhelage des Pendels und ohne Antriebskraft des Laufwerkes beide Kugeln soeben die Pfanne berühren und die Fäden soeben straff gespannt sind. Es ist prak-

fisch fast unmöglich, diese richtige Fadenlänge herzustellen und sie auf die Dauer zu erhalten. Deshalb sehen wir uns gezwungen, sowohl die Folgen zu langer als auch zu kurzer Fäden zu untersuchen.

Erstens: Die Fäden sind zu lang. Stellen wir uns wieder vor, daß die linke Pfanne niedersteigt. Da der Faden zu lang ist, wird er zu spät gestrafft. Das zur Auslösung der Ruhe erforderliche Übergewicht der linken Seite des Hebels  $i$  tritt zu spät ein; der an sich schon kleine Ergänzungsbogen wird dadurch noch mehr verkleinert. Der Auflösungswiderstand wird noch mehr in die Nähe des gefährlichen Umkehrpunktes gelegt. Verringert sich aus irgendeinem äußeren Grunde der Ergänzungsbogen, so tritt bald die Gefahr des Stehenbleibens der Uhr ein. Auf der rechten Seite ist, da der Faden zu lang ist, die Kugel unnötig zeitig von der Pfanne aufgenommen worden. Dadurch ist aber das zur Auslösung nötige Übergewicht der linken Hebelseite noch nicht eingetreten. Beide Kugeln liegen eine Zeitlang gleichzeitig auf und ein Antrieb findet so lange nicht statt, was zur Folge hat, daß die Zeit des Antriebes gekürzt worden ist. Dadurch wird der Schwingungsbogen auch abnehmen. Die Auslösung aber ist ein Stück weiter hinausgeschoben worden und es ergibt sich, daß die Uhr stehenbleiben kann, also eine Folge zu langer Fäden.

Zweitens: Die Fäden sind zu kurz. Auch jetzt wieder stellen wir uns den Augenblick vor, in welchem die linke Pfanne die Kugel frei gibt. Der Faden strafft sich, jedoch das zur Auslösung nötige Übergewicht der linken Hebelseite ist noch nicht eingetreten. Das Pendel allerdings ist jetzt vollkommen frei, jeder Zusammenhang mit den Kugeln und somit mit der Hemmung fehlt, es schwingt seinen Ergänzungsbogen. Fast am Ende desselben nimmt erst die rechte Pfanne ihre Kugel auf, und da jetzt erst das Übergewicht der linken Hebelseite eintritt, erfolgt auch erst jetzt die Auslösung. Das geschieht geradezu auf dem Umkehrpunkte. Bedenken wir, daß der linke Faden, da er zu kurz war, zu zeitig seine Kugel abhob. Der Antrieb ist dadurch geschwächt, die Schwingung wird kleiner. Aber wegen der weiter hinausgeschobenen Auslösung möchte sie **nicht** kleiner werden, da sonst diese Auslösung eben nicht mehr stattfinden kann. Das klare Ergebnis lautet: Die Uhr hat Neigung, stehenzubleiben, wenn die Fäden gekürzt werden.

1) Beim Graham-Gang bildet die Gabel während des Falles des Gangrades eine Vermehrung des Pendelgewichtes oberhalb des Schwingungsmittelpunktes und beim Taschenuhrankergang verursacht der Anker, welcher während des Falles des Gangrades noch in einem losen Zusammenhang mit der Unruh steht, eine Belastung der Unruh, welche derjenigen eines Ungleichgewichtes der Unruh ähnlich ist.

Dieser Kugelgang Abb. 4 besitzt noch eine weitere unangenehme Eigenschaft. Stellen wir uns den Augenblick vor, in welchem der Zahn  $l$  von seinem Ruhestein soeben abgefallen ist, der Hebungs Zahn  $r$  aber seine Hebungsfäche  $p$  noch nicht berührt. Was tut der Anker während des Falles des Gangrades, also in einer Zeitspanne, während welcher er sich selbst überlassen ist? Zweifellos bildet er da einen Teil des Pendels, mit dem er gerade vollkommen festgekoppelt ist; denn das Gewicht der Kugeln und ihr Bestreben, sich gerade alle beide genau gleichzeitig auf die Pfannen aufzulegen, muß die Fäden soeben spannen und das bedeutet nichts anderes als eine völlig feste Koppelung. Dadurch besitzt das Pendel in der Masse des Ankers vorübergehend einen Gegenschwung. Das wäre an sich zu ertragen, indem die zeitweilige Beeinflussung durch den Gegenschwung gewissermaßen in die Reglage mit hineinreguliert werden könnte. Aber die Zeit, während welcher der Gegenschwung das Pendel beeinflusst, ist verschieden lang, weil das Hemmungsrad eben kurze Zeit zum Fall braucht, wenn das Öl des Laufwerkes gerade dünnflüssig ist, dagegen längere, wenn das Öl dicker wird, von anderen Ursachen zur Ungleichförmigkeit der Kraft im Räderwerk noch ganz abgesehen. Während der Anker den Gegenschwung bildet, beeinflusst, d. h. dämpft, auch das Öl an den Ankerzapfen die Schwingung des Pendels und das natürlich in verschiedenem Maße, entsprechend dem Zustand des Oles.

Die Zeit des Fallens des Hemmungsrades beim Kugelgang ist manchmal ganz erheblich lang, nämlich bei jenen Uhren, welche einen Windfang haben. In den älteren Uhren mit Kugelgang findet man stets einen Windfang, der von einem Rad angetrieben wird, welches auf der Welle des Hemmungsrades sitzt. Man bezweckt damit, daß das Rad nicht schlagartig anläuft. Ohne diese Maßnahme rasselt der Gang allzu leicht durch, wozu eine sehr geringe Erschütterung genügend ist; denn wir haben, als Ganzes betrachtet, in dieser Hemmung keinen Zwangslaufmechanismus vor uns, trotz der bisweilen vorhandenen festen Kopplung. Auch wenn der Kugelgang neuerdings ohne Windfang gebaut wird, die Zeit des Falles des Gangrades also sehr kurz ist, darf sie unter keinen Umständen vernachlässigt werden, weil sie in ihrer Länge ganz naturgemäß schwankend sein muß 1).

Zusammenfassend kann von Kugelgang behauptet werden, daß der Antrieb ohne Zweifel konstant, also ideal ist, daß aber die Auslösung in jeder Beziehung unvollkommen ist.

Quelle: Die Uhrmacherskunst Nr.49 v. 30.11.1928 S. 977-978; Nr. 50 v. 07.12.1928 S. 990-992; Nr. 51 v. 14.12.1928 S. 1008-1011