

Verbesserungen des Chronometers?

Von Alfred Helwig, Deutsche Uhrmacher-Schule, Glashütte (Sa.)

Das Seechronometer ist als feinste tragbare Uhr das erste Sorgenkind des Präzisionsuhrmachers. Man möchte ihm dieselbe Ganggenauigkeit geben wie einer Pendeluhr, muß aber, da die Uhr tragbar sein soll, auf Gewichtsantrieb und Pendel verzichten, wie schon Huygens zu seinem Leidwesen erfahren mußte. Während man mit der ersten Pendeluhr leicht eine Ganggenauigkeit von $\frac{1}{100}$ Sekunde pro Woche erzielen kann, muß man beim Seechronometer zufrieden sein, wenn man dasselbe Ergebnis pro Tag erreicht.

Die beiden schwachen Punkte des Seechronometers sind gegenüber der Pendeluhr erstens der Antrieb durch Zugfeder, zweitens die Gangregelung durch Unruh mit Spiralfeder. Es ist natürlich, daß diese beiden Stellen seit mehr als zwei Jahrhunderten diejenigen sind, auf die sich alle Bemühungen um Verbesserung vereinigen. Um den ungleichförmigen Antrieb der Zugfeder auszugleichen, benutzt man seit nunmehr etwa 400 Jahren die Schnecke (erfunden 1525 von Jacob Zech). Die Spiralfeder ist dauernd der Gegenstand von Verbesserungen gewesen, wobei besonders an Berthoud und Le Roi, sowie an Phillips (Endkurven) und, aus neuester Zeit, an Guillaume (Elinvarspiralfeder) erinnert sei.

Da von der Zuverlässigkeit des Seechronometers in der Schifffahrt das Leben von Hunderten von Menschen und dazu noch die Erhaltung großer Werte abhängt, so ist der Chronometermacher, der sich seiner ungeheuren Verantwortung bewußt ist, gegen Neuerungen mißtrauisch und wendet nur Konstruktionen an, welche die Gewähr absoluter Zuverlässigkeit bieten. Das darf aber nicht hindern, daß Neuerungen gewissenhaft daraufhin zu prüfen sind, ob sie wirkliche Verbesserungen, sei es in der Konstruktion, sei es in der Ausführung, darstellen. Allergrößte Hauptsache ist dabei, daß die mit den Neuerungen ausgestatteten Chronometer mindestens genau dieselben Gangergebnisse erzielen, die mit der bisherigen Bauart erreichbar sind; denn ein Chronometer ist eben nur dann ein Chronometer, wenn es so gut geht, wie es der Seemann zu verlangen hat. Bei Seechronometern sind nicht verschiedene Qualitäten denkbar, wie das bei allen anderen Uhren selbstverständlich ist, ausgenommen natürlich astronomische Pendeluhren. Eine Taschenuhr ist immer als Taschenuhr zu gebrauchen, ob sie nun wie ein Seechronometer oder wie eine alte Holzuhr geht.

Zweck dieser Zeilen soll es sein, bei Gelegenheit der Besprechung von Verbesserungsvorschlägen für Chronometer einige Gesichtspunkte zu erörtern, die bei der bisherigen Konstruktion und Ausführung dieser Präzisionsinstrumente maßgebend sind. Am Schluß dieses Aufsatzes wird man sehen, wie sehr verschieden die Wirkungen einer gegebenen Ursache auf alle möglichen Einzelteile des Chronometers einwirken. Es wird dem Leser bisweilen vorkommen, als seien die zum Ausdruck gebrachten Gedanken nicht sonderlich schön geordnet. Es ist das nicht zu vermeiden; das Seechronometer ist eben leider kein einfaches mechanisches Wesen, und es ist ihm darum mit geradlinigen Gedankengängen kaum beizukommen. Es ist launenhaft. Man möchte es geradezu als etwas „Organisches“ ansehen, das auf einen Eingriff an der einen Stelle an einer ganz anderen anspricht. Deshalb ist vieles zu bedenken und vorzubringen, was dem flüchtig Hinschauenden als Abschweifung erscheinen könnte.

Es sind in letzter Zeit grundlegende Änderungen an Seechronometern ausgeführt worden, und diese Vorschläge harren der praktischen Ausführung. Ehe an diese herangegangen werden kann, soll man sich klar sein über folgendes:

1. Bietet die Neuerung dieselbe Sicherheit wie das Alte?
2. Welche Wirkungen und welche Nebenwirkungen sind von der Neuerung zu erwarten?

In den Nummern 9 und 10 des Jahrganges 1923 und 16 und 17 des Jahrganges 1924 der Deutschen Uhrmacher-Zeitung bespricht Prof. Dr.-Ing. Bock zwei Neuerungen, einmal ein „Nachspannwerk an der Hemmung“ als Ersatz der Schnecke, das andere Mal einen „Ersatz für Endkurven an Chronometerspiralen“. Beide Artikel behandeln die schon erwähnten schwachen Stellen der Seechronometer. Wenden wir uns zuerst dem Nachspannwerk zu und betrachten wir auf das genaueste den Teil, den man bei Anwendung dieser Neuerung überflüssig zu machen denkt, nämlich die Schnecke mit allem Zubehör. Sie ist bis heute als eine Selbstverständlichkeit im Seechronometer angewendet worden. Die gleichförmige Anziehungskraft der Erde, welche die Pendeluhr mit der erwünschten „konstanten Kraft“ versorgt, steht uns im Seechronometer leider nicht zur Verfügung. Wir haben hier nur eine Zugfeder, deren Kraft von der Elastizität und der Spannung abhängig ist; die erstere ist wieder abhängig von der Temperatur. Die Spannung der Zugfeder nimmt nun, vom Aufziehen an gerechnet, ständig ab; wir haben also durchaus keine gleichförmige bewegende Kraft zur Verfügung. Wie schon erwähnt, benutzt man seit etwa 400 Jahren die Schnecke, um aus der ungleichförmigen Zugkraft der Feder eine möglichst gleichförmige Kraft für das Laufwerk zu gewinnen. Ganz vernünftigerweise ändert man den Fehler gleich dort ab, wo er sitzt. Dies Verfahren hat sich stets bewährt.

Allen den vielen Vorschlägen zum Trotz, der Hemmung ohne Anwendung der Schnecke „konstante Kraft“ zuführen zu können, hat die Schnecke ihren Platz siegreich behauptet. Der Chronometermacher von Beruf ist eine Art Virtuofeste mit ihr eingegangen. Er liebt sie nicht sonderlich, aber er möchte sie auch nicht missen. Am Ende ist das Bequemen, so etwas wie Angst vor der Veränderung! Manchen Menschen schätzt man erst, wenn man ihn nicht mehr hat. So ähnlich wird es dem Chronometermacher ergehen, wenn er sich von seiner alten vertrauten Schnecke getrennt haben wird.

Ob wir nun ein Nachspannwerk oder irgendeine andere Vorrichtung zur Erzielung konstanter Kraft außer der Schnecke anwenden, wir haben stets ein gezahntes Federhaus. Jedesmal, wenn ich mir ein Chronometer mit einem solchen Federhaus vorstellen muß, kommt mir der drollige Gedanke, daß ja dann eine astronomische Pendeluhr mit Zugfeder im gezahnten Federhaus auch nichts Falsches sein könnte. In der heutigen vollwertigen Pendeluhr hat man wohl meist eine Hemmung mit sogenannter „konstanter Kraft“. Trotzdem verzichtet man keineswegs auf die konstante Antriebskraft durch das Gewicht. Man fertigt sehr gern das komplizierte Walzenrad an, das nicht einfacher ist als eine Schnecke. Diese ist genau dasselbe wie ein Walzenrad; man gibt eben der Walze gleich die Form, welche die ungleichmäßig ziehende Zugfeder haben will. Jedenfalls ist man bestrebt, dem ersten Trieb der Uhr gleichförmige Kraft zuzuführen. Das soll nun also anders werden; denn die Zugfeder wirkt nun mit der ihr angeborenen Ungleichförmigkeit direkt auf das Minutentrieb. Die Schnecke, die bisher vermittelte, muß weichen. Ganz vollkommen hat allerdings sehr selten eine Schnecke die ihr zugeordnete Aufgabe des Kraftausgleichens erfüllt. Sie hätte es schon getan, aber die Zugfeder richtet sich nicht während ihrer ganzen Lebenszeit

nach der Schnecke. Der kleine Fehler, welcher bleibt, hat den Chronometermacher von Beruf nicht gestört. Er weiß ganz genau, daß er mit der Schnecke, falls er sie hinauswirft, eine Menge kleiner und großer Annehmlichkeiten zugleich los wird.

Die Schnecke ist nicht nur ein Ausgleicher der Kraft, sie ist eine Art Puffer. Reckt und streckt sich die Zugfeder in ihrem engen Hause, das heißt, macht sie einmal einen Ruck, dann merkt das Minutentrieb nichts davon, genau so wenig die Hemmung. Die Schnecke ist eine ziemlich schwere Masse, die sich von einer kleinen Kapriole der Zugfeder gar nicht stören läßt. Außerdem hängt sie mit der Umgebändigen nicht sonderlich fest und starr zusammen, denn es befindet sich ein Schlepptau zwischen beiden, die Kette. So etwas Starres, durchaus Unnachgiebiges wie ein Zahn am Federhause, ist so eine Chronometerkette tatsächlich nicht, wenn sie auch nicht mit einem Gummiband vergleichbar ist; aber eine gewisse Anpassungsfähigkeit ist ihr doch zu eigen. Das ruckweise Arbeiten der ablaufenden Zugfeder wird im Chronometer mit gezahntem Federhause (also ohne Schnecke) als Störung empfunden. Wenn noch das Kleben der einzelnen Federwindungen und das dadurch hervorgerufene sogenannte Rucken eine Sache wäre, die sich einen Tag genau so abspielte wie am anderen! Leider ändert die Feder sich in diesem Punkte täglich. Dieses jeder Zugfeder eigentümliche Rucken stört in anderen Uhr- und Laufwerken kaum, am meisten wohl noch beim Grammophon, aber dem Chronometermacher macht es Sorgen. Man wendet einen Steg oder Zaum im Federhause an und erreicht ein sehr viel besseres und schon recht gleichförmiges, weniger ruckendes Abflauen der Feder. Die Wirkung eines solchen Steges kann mit der Wirkung einer Spiralfeder-Endkurve verglichen werden; bei beiden erstrebt man konzentrisches Arbeiten. Bei Verwendung des gezahnten Federhauses im Sechronometer müßte man der Tätigkeit des Steges und der damit zusammenhängenden konzentrischen Entwicklung der Zugfeder viel größere Sorgfalt zuwenden als im Schneckenchronometer. Aber eigentlich wollte man ja vereinfachen!

Im Schneckenchronometer nimmt das arbeitende Laufwerk, sonderlich die Laufwerkzapfen in ihren Löchern, eine Art Gleichgewichtszustand ein. Jeder Zapfen schafft oder sucht sich in seinem Loch eine Art Mulde, und er wird weder durch grobe allgemeine tägliche Veränderungen in der Zugkraft, noch durch zeitweiliges Nachlassen und plötzliches Verstärken derselben (Rucken der Zugfeder) in seiner beschaulichen Tätigkeit gestört. Das Chronometer befindet sich äußerst wohl dabei und zeigt dieses durch seine Zeiger an: es hat keine große tägliche Variation und macht keine großen Sprünge. Im Chronometer mit gezahntem Federhause wechselt die Belastung der Zapfen von Stunde zu Stunde. Das Laufwerk kommt zu keiner Beruhigung. Erscheinen diese Sachen auch lächerlich winzig, nun denn, die Gangfehler, die es zu beseitigen gilt, erscheinen auch lächerlich winzig; dennoch ergibt ihre Beseitigung eben erst das Sechronometer, das der Kapitän wirklich gebrauchen kann. Andernfalls entsteht eben nur eine Uhr, die der Schiffskoch in seine Küche hängen mag.

Die tadellosen Gangergebnisse von Sechronometern der letzten Zeit ergeben sich aus daraus, daß der Regleur die Fehler dort vermeidet, wo sie wirklich sitzen könnten. Ist eben schon ein Einfluß einer ungleichförmigen Belastung der Laufwerkzapfen feststellbar (und er ist es), so wird die Belastung eben gleichförmig gemacht, bisher geschieht dies durch die Schnecke. Man kann eine Vorrichtung zur Erlangung „konstanter Kraft“ einbauen, wo immer man will, sei es in der Hemmung, sei es im Laufwerk selbst, ein nachweisbarer Einfluß einer ungleichförmigen Belastung des die Kraft zuführenden Laufwerkes bleibt bestehen. Es wird im weiteren Verlauf dieser Abhandlung noch öfters dargelegt werden, daß es so ist.

Nächst der angeblich schwierigen und teuren Herstellung der Schnecke macht man ihr den Vorwurf, daß sie doch niemals genau zur Zugfeder passe, mindestens nicht auf die Dauer. Das behauptet kaum ein Chronometermacher. Die Unvollkommenheit der Schnecke wird dadurch wenig fühlbar, daß man dem Sechronometer eine zweitägige Gangdauer gibt. Aufgezogen wird es unter allen Umständen an jedem Tage und das muß unbedingt geschehen. Der zweite Tag ist niemals in Anspruch zu nehmen, allerhöchstens nur bei einer Prüfung des Schneckenprofils an Hand der Größe des Schwingungsbogens der Unruh. Es ist leicht, das Schneckenprofil für den ersten Gangtag richtig auszuführen. Die Kraft einer Zugfeder ändert sich auch für die ersten zwei Umgänge des Ablaufens so gut wie gar nicht, auch nicht nach langer Zeit. Wohl aber tut sie das für den dritten bis fünften Umgang des Ablaufens. Das ist eben ihre Natur. Das hat man schon in den Anfängen der Chronometrie erkannt, und nur darum gab man den Chronometern die zweitägige Gangzeit. Immerhin ist diese eine Sicherheit; man soll sie jedoch absichtlich niemals gebrauchen. Es ist für die Zugfeder und ihre gleichmäßige Kraftentfaltung erforderlich, daß man sie nur halb ausnutzt, statt sie ohne Not hin und wieder ganz, also für zwei Tage, zu beanspruchen. Die Erfahrung beweist, daß Federn in Chronometern, die jeden Tag aufgezogen werden, lange nicht so leicht springen, als in solchen, die mit oder ohne Absicht regelmäßig oder unregelmäßig zwei Tage lang gehen müssen.

Nämlich eine unangenehme Sache ist es, wenn in einem Sechronometer die Zugfeder springt. Die neue Feder muß man so wählen, daß ihre Kraftentfaltung recht genau zum Schneckenprofil paßt. Der Erfahrene sieht dabei darauf, daß für den ersten Gangtag die gleichmäßigste Zugkraft erreicht wird. Das ist viel besser, als für beide Tage etwas ziemlich gut passendes zu finden. Ist beim Schneckenchronometer die Zugfeder gesprungen, so ist selbst absolut sicher: Die Explosion im Federhause hat weder dem Laufwerke, noch der Hemmung im geringsten geschadet. Der gewaltige Rückstoß der springenden Zugfeder verpufft vollkommen unschädlich für das Laufwerk, und wenn das Chronometer nicht wieder den alten Gang aufnimmt, so liegt das nicht an etwa eingetretenen gewaltsamen Veränderungen, sondern lediglich an der neuen Feder. Deshalb braucht man nicht lange nach dem Fehler zu suchen.

Jedemal, wenn ich eine gesprungene Feder in einem Sechronometer zu ersetzen habe, kommt mir der Gedanke, was diese stramme Feder wohl in einem gezahnten Federhause für einen Schaden angerichtet hätte. So eine Sechronometerfeder hat nämlich ungeahnte Kräfte! Alles läuft immer darauf hinaus: Erhaltung der Reglage. Ich kann mir nur sehr schwer denken, daß nach dem Springen und dem Ersatz einer Zugfeder im Sechronometer der Gang des Instrumentes derselbe geblieben ist, selbst kaum dann, wenn eine „Hemmung mit konstanter Kraft“ vorhanden ist. Es wird immer nötig sein, das Werk zu zerlegen und nach Folgen des Unglückes durchzuspüren. Verborgene Zähne dürfen das wenigste sein, was zu reparieren ist; denn der einzige Schutz, den sich das Chronometer beim Federspringen schafft, ist das Verbiegen einiger Zähne. Irgendwo muß die ganz gewaltige Kraft des Rückstoßes eben bleiben. Macht man die Zähne in der Achsenrichtung lang genug, also gegen Verbiegen gesichert, so wird der Schlag auf das Laufwerk um so roher. Dann sind es die Zapfen, die den Druck aufnehmen müssen. Sie nehmen ihn auf, aber sie zerdrücken sich dabei ihr selbst geschaffenes Lager, welches eine überaus wichtige Rolle spielt im Hinblick auf die tägliche Variation und die Sprünge des Ganges. Es wird geraume Zeit vergehen, ehe das Laufwerk wieder seinen gewöhnlichen Zustand einnimmt und das Chronometer wieder als Seuhr brauchbar wird. Wie sich Instrumente mit „konstanter Kraft“ benehmen, wenn die Zugfeder gesprungen und ersetzt worden

ist, kann nur die Praxis endgiltig lehren. Selbstverständlich kann man eine Sicherheitsvorrichtung gegen die Folgen des Federspringens einbauen, aber die geplante Vereinfachung des Chronometers ist dann zum zweitenmal nicht ganz ideal.

Wie anders findet sich nun ein Schneckenchronometer mit dem Federspringen ab? Tritt dies ein, so ist es niemals ein Unglück, sondern ein kleines Malheur. Nichts Gewalttätiges geschieht. Das Federhaus saust nur mit großer Geschwindigkeit wie ein Kreisler rückwärts herum und tobt sich ganz unschuldig an. Wer das einmal sehen will, der braucht nur das Loch am äußeren Ende der Feder versuchsweise so weit auszufüllen, daß es beim vollen Aufzuge ausreißen muß. Es kann weiter nichts Schlimmes geschehen, wenn dieser Fall eintritt, aber lehrreich ist es sehr, zusehen zu können, welche Kräfte beim Federspringen frei werden. Hat man das gesehen, dann dürften wohl einige Bedenken gegen gezahnte Federhäuser auftreten. Beim Schneckenantrieb fällt die Kette beim ersten Beginn des Rückstoßes auf der Stelle vom Federhaus ab. Voraussetzung dafür ist, daß der Haken richtig gefeilt ist, nämlich ganz genau gleich einem Sperrzahn. Ebenso ist Bedingung, daß der Haken und die ersten Kettenglieder sich um ihre Nieten vollkommen willig bewegen. Die anderen Glieder werden durch ihre tägliche Bewegung von selbst willig genug, nicht so die etwa sechs ersten Glieder, die den Umfang des Federhauses niemals verlassen. Daß die Kette reißt, ist ein sehr seltener Fall. Geschieht es einmal, so ist das für das Instrument ohne Bedeutung. Schleudern die Enden der Kette herum, dann können sie keinen empfindlichen Teil treffen; denn die Gangfeder ist durch ihren Ruheschraubenkloben vollkommen geschützt, die Unruhwellen durch ihren unteren Kloben, der jedem Nicht-Chronometermacher komisch und als von altertümlicher Form vorkommt. Das Reißen der Kette kommt in alten mühen Spindeluhren sehr oft vor, und es scheint mir, daß aus den schlechten Erfahrungen mit Kette und Schnecke bei diesen Uhren der Schluß gezogen wird, im Sechronometer könne das nicht anders sein und daher müßten diese Instrumente von der Schnecke erlöst werden. Es ist vor diesem Schritt doch allerhand zu bedenken; denn man verzichtet dann auf vieles, was dem Regleur sehr fehlen wird.

Ist die Feder im Sechronometer gesprungen, dann geht es noch drei bis vier Minuten ruhiger weiter, da die Gegenfederkraft noch solange Kraft liefert. Hoch geschätzt wird dabei, daß die nunmehr wirkende bewegende Kraft von Schwingung zu Schwingung geringer wird, die Schwingungen der Unruh werden kleiner und kleiner, und die Unruh schläft tatsächlich sanft ein. Ist die Kraft der Gegenfederkraft so klein geworden, daß die Uhr stehen bleibt, so liegt immer noch ein Gangradzahn entweder auf dem Hebestein oder auf dem Ruhestein, und bei Bewegungen, die das Chronometer erleidet, kann niemals die schwere Unruh in eine ungewollte Berührung mit den Hemmungsteilen geraten. Nichts an der Hemmung kann auch nur im allergeringsten leiden.

Wie viel anders geht diese Angelegenheit doch im Chronometer mit gezahntem Federhaus vor sich! Das Gangrad ist im Moment des Zerspringens der Zugfeder ohne Kraft; es hat sogar die Neigung, nach rückwärts zu gehen. Ist irgendeine Einrichtung vorhanden, der Unruh „konstante Kraft“ zuzuführen, so bleibt trotzdem das Gangrad unzulänglich stehen. Die Unruh richtet nun mit ihrer geradezu gewaltigen Wucht Schaden an allem an, was sich erkünnen sollte, sich ihr in den Weg zu stellen. Wehe dem Gangradzahn, der sich vom Hebesteine erwischen läßt! Erbarmungslos wird er verbogen. Leider wird er dabei auch zusammengestaucht; er wird geradezu kürzer. Ist der Gangradzahn so trotzig, wirklichen Widerstand zu leisten, dann haben die Zapfen von Unruhwellen und Gangtrieb den Anprall auszuhalten.

Wenn sie sich dabei verbiegen, dann mag es angehen, das sieht man und kann es allenfalls ändern. Noch schlimmer ist es, wenn sich die Zapfen nicht verbiegen, sondern quetschen. Das sieht man nicht, sondern man merkt es an der miserablen Reglage. Dann ist es aber reichlich spät. Traurig kann das plötzliche Stehenbleiben des Gangrades für die Gangfeder ablaufen. Durch Auftreffen des Hebesteines auf eine Gangradzahnspitze kann das Gangrad nach Art einer Schleuder mit zerstörender Kraft auf den Ruhestein der Gangfeder geschmettert werden. Dabei bricht entweder der Ruhestein oder die Gangfeder. Der ganz richtige Chronometermacher macht seinen Ruhestein aus mancherlei Gründen gerade so stark, als er ist, und dies als Schutz für die Gangfeder. Lieber soll der Stein brechen als die Feder. Bei einer Reparatur, vor allem schon beim Einrichten des Ganges, ist dieselbe Gefahr für die Gangteile vorhanden, wie sie hier als Folge des gezahnten Federhauses beschrieben ist. Ein Chronometermacher muß eben wirklich sehr viel Kleinkram beachten! Wie groß die zerstörende Kraft einer Sechronometer-Unruh ist, kann sich nur derjenige vorstellen, der mit solchen Dingen arbeitet. Das Gewicht der Unruh ist fünfzehnmal so groß wie das der schwersten Taschenuhr. Die Zapfen sind nur einundeinhalbmal so stark. Der Durchmesser der Unruh ist zweimal so groß. Das Trägheitsmoment ist sechzigmal so groß wie das der Taschenuhr, also auch ihre Wucht. Bleibt die im Vergleich zur Chronometerunruh geradezu federleichte Unruh der Taschenuhr plötzlich stehen, so stört das die Zapfen, die ja vergleichsweise geradezu stramme Burschen sind, nicht. Noch weniger die Kolbenzähne des Gangrades; die sind zum unschädlichen Abstrichen geschaffen. Unangenehm ist dem Regleur da nur die Verschmierung des Öles. Die Zähne des Chronometergangrades sind in Anbetracht ihrer spitzen Form nur sehr wenig kräftiger als die Kolbenzähne des Taschenuhrgangrades. Wer sich über das Kraftmoment und alles damit zusammenhängende unterrichten will, findet das in Julius und Hermann Grossmanns „Leçons théoriques“, Band II.

Auch über die Stellung ist einiges zu sagen, was zugunsten der Schnecke spricht. Es gibt da zwei Anordnungen, die angewendet werden, um das zu weite Aufziehen zu verhindern. Beide beanspruchen wenig Raum, sind sehr leicht anzufertigen und völlig sicher in der Wirkung. Der Regleur schätzt es hoch ein, daß er die Stelle, an der die Stellung wirkt, ganz beliebig verändern kann, indem er die Zugfeder mehr oder weniger spannt, nämlich an dem Gesperr der Federwelle, ohne die schwingende Unruh im mindesten stören zu müssen. Dieses Gesperr ist ebenso wie die oben erwähnte Stellung von robuster Einfachheit. Es ist bei der Reglage außerordentlich wichtig, weil man mit seiner Hilfe die Prüfungen des Isochronismus vornehmen kann, und zwar auch wieder, ohne die Schwingungen der Unruh zu stören. Zu diesem Zweck ist das Gesperr von Herrn William Meier, Direktor der Chronometerwerk G. m. b. H. in Hamburg, in eine vorbildliche Form gebracht worden. Eine Konstruktion, welche es nicht ermöglicht, Unruherschwingungen verschiedenster Größe zu erzielen, ohne die Unruh anhalten zu müssen, wird vom Regleur mit Mißtrauen, sogar Ablehnung behandelt werden.

Die Stellung an der Schnecke wirkt nur gegen zu weites Aufziehen, nicht aber in derselben Weise beim Ablauf. Das ist eine hochgeschätzte Eigenschaft der Schnecke. Läuft ein Chronometer ab, so schlafen die Unruherschwingungen innerhalb einer bis zwei Stunden ganz sanft ein. Es ist dies ähnlich dem Stehenbleiben beim Federspringen, nur vollzieht es sich in einer verhältnismäßig sehr langen Zeit. Hier wie dort ist es aber die Hauptsache, daß an der Hemmung weder etwas in Unordnung geraten, noch die kleinste Be-

schädigung eintreten kann. Die Eigenschwingungen der Unruhreifen und der Spiralklinge, die dem Summen einer Stimmgabel vergleichbar sind, können ganz langsam ausklingen. Das ist eine Gewähr für richtige Wiederaufnahme des Gangresultates.

Verwendet man ein gezahntes Federhaus, so ist eine Art Malteserkruegstellung nötig. Diese müßte unbedingt so beschaffen sein, daß die Feder ganz ablaufen kann, um Beschädigung der Hemmung zu vermeiden. Aber auch dann ist sie immer noch im Nachteil gegenüber der Schneckenanordnung; denn bei dieser hört wohl die Kraft der Feder ganz allmählich zu wirken auf, doch entspannt sie sich nicht ganz, wird also in ihrem stationären Zustand weniger gestört. Das ist scheinbar eine geringfügige Kleinigkeit, aber für die Feinstellung des Chronometers ist jede Kleinigkeit wichtig. Aus den angeführten Gründen ist es auch zu verwerfen, wenn Uhren mit Schnecke mit Malteserkruegstellung ausgerüstet werden.

Es muß auch noch an das Auf- und Abwerk gedacht werden. Bei der Schneckenuhr ist es so einfach als es nur möglich; es besteht nur aus dem Zeiger, einem Anrichtstift, einem Rade, einem Triebe. Was für eine Menge von Arbeit steckt dagegen im Auf- und Abwerk einer Uhr ohne Schnecke! Selbstverständlich muß ein Differentialwerk angewendet werden, und ein solches gehört nicht gerade zu den ganz einfachen mechanischen Einrichtungen. Es erfordert eine recht erhebliche Anzahl von bewegten Teilen, und diese können nur von einem hochwertigen Arbeiter eingebaut werden. Ersparnisse an Zeit und Mühe sind beim Chronometer mit gezahntem Federhause nicht so leicht erreichbar. An Stelle des Differentialwerkes etwa ein Zählwerk, welches immer irgendeine Reibung zu seinem Funktionieren braucht, anzuwenden, kommt überhaupt nicht in Frage. Alle Auf- und Abwerke für gezahnte Federhäuser, denen nicht die Idee des Differentialwerkes zugrunde liegt, machen Fehler. Der Seemann aber verlangt absolute Sicherheit.

Zusammenfassend kann man behaupten: Das heutige Seechronometer ist seinen Gangleistungen nach ein sehr vollkommenes Instrument. Diese Vollkommenheit hat ihren Grund in der Feinheit der regulierenden Teile, namentlich auch der Hemmung. Gerade die Hemmung kann aber so zart ausgeführt werden, weil sie durch das Vorhandensein der Schnecke einen allseitigen Schutz genießt. Das Bindeglied zwischen beiden, nämlich das Laufwerk, muß notgedrungen auch aufs Feinste ausgeführt werden. Alles zusammen ergibt das heutige hochwertige Seechronometer. Es wird nicht angehen, von dem jetzigen Seechronometer einen beliebigen Teil, der sich gut bewährt hat, sagen wir die vollständige Hemmung, herauszunehmen und in ein Werk anderer Konstruktion hineinzubauen. Läßt man die Schnecke weg, so wird man auch die Hemmung umgestalten müssen.

Bald nach der Einführung der Chronometer in die Seefahrt tauchten zahlreiche Pläne auf, den Gang dieser Instrumente durch Anwendung einer „Hemmung mit konstanter Kraft“ zu verbessern. Zu jener Zeit war das notwendig, denn man verstand im Vergleich zu heute noch sehr wenig von Isochronismus. Keine der zahlreichen Hemmungen mit konstanter Kraft hat irgendeinen dauernden Erfolg gehabt; man hat immer wieder die Schnecke und den Chronometergang in seiner einfachsten Form angewendet.

Am bekanntesten dürfte von den Hemmungen mit konstanter Kraft der mit „Spinne“ bezeichnete Gang geworden sein. Bei diesem und bei vielen anderen, ihm ähnlichen, wird die Kraft des Gangrades dazu benutzt, eine Spiralfeder zu spannen. Diese gibt die in ihr aufgespeicherte Kraft an die Unruh ab, wenn letztere die Kraft auslöst. Man sorgt durch Anwendung einer gehörig großen Kraft des Laufwerkes

dafür, daß das Gangrad stets instande ist, die zum Antriebe der Unruh dienende Spirale von neuem anzuspannen. Es ist klar, daß nimmeh die Unruh immer dieselbe Kraft erhalten muß, denn irgendwelche Unregelmäßigkeiten im Laufwerk können der Unruh nichts mehr anhaben. Aber wenn man gedacht hatte, daß jetzt das Chronometer durch Weglassen der Schnecke einfacher geworden ist, so hatte man sich sehr geirrt. Die Hemmung mit der „Spinne“ ist äußerst schwierig auszuführen, und sie hat eine fabelhaft große Neigung, Fehler zu machen. Alles das möchte man unter Umständen in Kauf nehmen, wenn das Gangergebnis besser geworden wäre. Aber das Gegenteil hatte man erreicht. Die Kraft war viel weniger „konstant“ als bei Anwendung der Schnecke. Weshalb?

Die Spiralfeder, welche die Unruh anzutreiben hatte, änderte ihre Spannkraft mit jedem einzelnen Grad Temperaturveränderung. Daß diese Spannungsänderung bedeutend sein mußte, ist bekannt durch die Tatsache, daß man Kompensationsunruhen kaum wegen der Veränderung des Trägheitsmomentes der Unruh anwendet, sondern hauptsächlich wegen der Erschlaffung der Spiralfeder in der Wärme. Der hierdurch hervorgerufene Fehler ist vier- bis fünfmal so groß als der erstgenannte. Außerdem wirkte diese Spannungsspirale an einer Welle mit Zapfen, und deren Öl spielt eine sehr wichtige Rolle gegen die konstante Kraft. Alle Zapfen, die nicht rotieren, sondern die eine kleine hin- und hergehende Bewegung machen, sind Sorgenkinder in bezug auf das Öl, trotz der häufigen Versicherung des Gegenteiles. Die Großmechanik beweist das noch deutlicher.

Um die der Spirale anhaftenden Fehler zu vermeiden, wendete man bald eine Blattfeder an, so etwas wie eine Gegenspreeder. Die Spannungsänderung war erträglich, die „Konstanz der Kraft“ schon etwas besser gewahrt. Dennoch gingen derartige Chronometer viel schlechter als die gewöhnlichen, weil der Antrieb der Unruh ungünstig wurde. Gleich nach der Auslösung erhält die Unruh die meiste Kraft, schlagartig, da die verhältnismäßig kurze Antriebsfeder selbstverständlich zu Beginn ihrer Entspannung am kräftigsten wirkt. Die Unruh kann die Kraft in dieser schlagartigen Form nicht aufnehmen; sie antwortet mit schlechter Reglage. Man mußte den Hebungswinkel stark vergrößern, bis an 60°. Selbstverständlich wurde die Reglage dadurch gleich noch viel schlechter. Die Auslösung ist für die Unruh mit einem Schlage vergleichbar, den sie erleidet. Die sehr stramme Antriebsfeder erfordert zum Auslösen auch wieder einen besonders großen Kraftaufwand seitens der Unruh, und gleich dahinter erhält diese dann den allzustarcken Antrieb, der schnell nachläßt. Das ist gerade das, was die Unruh am allerwenigsten verträgt. Der Antrieb durch das Gangrad bei der jetzigen Ausführung des Chronometerganges ist geradezu als ein „Gleichdruck“ aufzufassen, der schlagartige Antrieb durch die besprochene „Hemmung mit konstanter Kraft“ dagegen als „Verpuffung“. Es könnte den Eindruck erwecken, daß diesen geringfügig erscheinenden Dingen eine viel zu große Wichtigkeit beigemessen wird. Doch bei dem zähen Kampf des Chronometermachers mit der Hunderstel-Sekunde ist nichts, aber auch gar nichts ohne Wichtigkeit. Der doppelte Schlag, die Auslösung und der darauffolgende zu heftige Antrieb werden von den vibrierenden Unruhreifen und der in beständigem Zittern sich befindenden Spirale sofort als eine Störung empfunden. Es ist zu bekannt, daß die Reifen der Chronometerunruh der Einwirkung der Zentrifugalkraft in besonders hohem Maße ausgesetzt sind, als daß ich das hier noch erläutern müßte. Jede allzu plötzliche Veränderung in der Umfangsgeschwindigkeit der Unruh, wie sie durch zu harte Auslösung und zu sehr stobartigen Antrieb verursacht wird, bedingt sofortige Veränderung in der Einwirkung der Zentrifugalkraft. Diese Fehlerquelle entzieht sich völlig der direkten Behandlung durch den Regleur. Alles, was er tun kann, ist, sein ganzes Streben auf die denkbar vollkommenste praktische Ausführung der Hemmung zu richten. Hier hat er die Auslösung,

den Antrieb, die Ruhe mit allen Mitteln so zu gestalten, daß die Unruh so wenig wie möglich vom Dasein der Hemmung merkt. Daß der Unruh durch die Hemmung frische Kraft zugeführt wird, ist ihr erster selbstverständlicher Zweck, aber die Hemmung so zu gestalten, daß dieses Selbstverständliche ohne jede vermeidbare Belästigung der schwingenden Unruh vor sich geht, ist Reglearbeit, nicht etwa nur Gangmacherarbeit. Der Chronometermacher hat das in den Fingerspitzen, und wer erstrebt, auch dahin zu gelangen, dem sei ein eifriges Studium der Schrift des Herrn Prof. Irk über den Chronometergang auf das dringendste empfohlen. Es ist dies ein hochwichtiges Werk, und es enthält zum erstenmal Angaben über den Chronometergang in einer so leicht faßlichen Art, daß man es gut als den „Chronometermacher am Werkisch“ bezeichnen könnte.

Hat der Regleur seine Hemmung aufs beste eingerichtet, dann hat er, so gut es im Bereich des Möglichen liegt, dafür gesorgt, daß die gefährdeten allzu plötzlichen Veränderungen der Zentrifugalkraft-Einwirkungen auf ein erträgliches Maß zurückgeführt sind. Aber die Hemmung muß dazu von einer solchen Konstruktion sein, daß ein ideales Einrichten derselben überhaupt möglich ist. Reglage ist nicht das Wissen um allerhand Tricks und Geheimnisse und ihre Anwendung, sondern stille, zähe und gewissenhafteste Arbeit am Werkisch. Der Regleur, der seine Hemmung einrichtet, „reguliert“. Stille Werkstattarbeit ist es bisher gewesen, welche in der Hauptsache die erstklassigen Gangergebnisse der deutschen Seechronometer zeitig hat.

Die berufenen Konstrukteure haben bis in die letzte Zeit hinein vor dem Seechronometer Halt gemacht. Es ist hoch erfreulich, daß man jetzt mit Wagemut an das bisher Unberührte heranget. Wie erwähnt, rechnet der Chronometermacher mit einer Eigenschaft des Unruhreifens, die ich schon als „Zittern, etwa gleich einer Stimmgabel“ bezeichnete. Man muß sich klar sein darüber, daß die Zentrifugalkraft in jeder Phase einer einzelnen Unruherschwingung verschieden wirkt. Am Umkehrpunkt der Schwingung steht die Unruh einen Augenblick, aber auch wirklich nur einen Augenblick still; es ist keine Einwirkung der Zentrifugalkraft vorhanden. Beim Wiederbeginne einer neuen Schwingung wächst die Umfangsgeschwindigkeit von Werten Null an bis zum Maximum der Geschwindigkeit, nämlich während des Durchganges bei der Hemmung, um am Ende der Schwingung wieder zu Null zu werden. Genau wie diese Umfangsgeschwindigkeit, ist selbstverständlich die Wirkung der Zentrifugalkraft auf Masse und Reifen in jedem Augenblick von anderer Größe. Der Reifen gerät in Schwung; er macht eine pendelnde, ja vibrierende Bewegung ganz für sich. Diese nun wird, wie ausführlich erwähnt, von einer schlecht ausgeführten und nicht mit höchstem Verständnis eingestellten Hemmung jäh unterbrochen. Eine Unruh hat also noch eine ganz andere Bewegung zu erleiden als nur die eigentliche Schwingung und die Temperatur-Ausgleichs-Bewegung der Reifen. Wie sehr man Grund hat, die Vibration der Unruhreifen zu fürchten, geht aus folgender Tatsache hervor: Ein Chronometer, dessen Unruh aus irgendeinem Grunde einen zu großen Schwingungsbogen angenommen hat, etwa $1\frac{1}{2}$ Umgang, geht lange Wochen hindurch sehr unregelmäßig, nachdem man den unbedingt nötigen Schwingungsbogen von $1\frac{1}{4}$ Umgang wieder hergestellt hat. Dieser schlechte Gang wird leichtin der Überlastung der Spiralfeder zugeschrieben, da der zu große Schwingungsbogen zu große Anforderungen an ihre Elastizität stellt. Selbstverständlich rückt sich die Spirale, für die eine ganz behäbige Gleichmütigkeit das einzig richtige ist. Doch diese Erklärung für die in Rede stehenden Sprünge dürfte nicht erschöpfend sein. Das einzige, was man von einer Spirale verlangt und wozu man sie anfertigt, ist, daß sie elastisch ist und federt. Doch vom Unruhreifen verlangt man das auch, ob er dazu geschaffen ist

oder nicht, er muß eben federn. Man bedenke, daß eine Vergrößerung des Schwingungsbogens eine sehr erhebliche Vergrößerung der Einwirkung der Zentrifugalkraft bedeutet. Der Unruhreifen soll also einmal mehr, ein andermal weniger federn, trotzdem er überhaupt nicht als Feder geschaffen wurde. Das Wesen der Kompensationsunruh ist alles andere, nur nicht das einer Feder. Die Vorgänge, die sich im Reifen einer solchen Unruh abspielen, sind vielmals verwickelter als die Tätigkeit der Spirale. Bei dieser wird mit allen Mitteln der erstbeste ideale Gleichgewichtszustand der Elastizität zu erreichen gesucht. Die ganz genau so wichtige Unruhreifen-„Feder“ entzieht sich als einzige Feder im Chronometer völlig der direkten Einwirkung des Regleurs. Hier ist der Unruhmacher zum Regleur geworden. Man denkt immer, das Verhältnis von Stahl zu Messing ist alles, um das sich die Kunst des Unruhmachens dreht. Das hat der Unruhmacher bald heraus. An Angaben über die ganze Dicke des Reifens und seine Höhe lassen es die Regleure auch nicht fehlen. Aber keinerlei Angaben erhält der Unruhmacher darüber, wie er seine Unruhreifen zu Federn macht. Das ist das Kunststück. Eine weiche Unruh ist nie eine Feder, somit niemals zu einer Präzisionsreglage im Seechronometer zu gebrauchen. Eine allzuharte Unruh vergrößert den sekundären Temperaturfehler und ist, ebenso wie die zu weiche, die Ursache, wenn ein Chronometer nach Überstehen eines großen Temperaturabfalles nicht wieder seinen früheren Gang aufnimmt. Die Unruh nun gerade so hart zu machen, daß die erwähnten Fehler vermieden werden, das ist eine Künstlerarbeit allerersten Ranges. Kompensationsunruhen überhaupt eine gewisse Härte zu geben, ist schon sehr schwierig. Nickelstahl-Kompensations-Unruhen hart zu machen, erschien zuerst ganz unmöglich. Heute wird in allen deutschen Chronometern eine Unruh verwendet, die meiner Ansicht nach nicht mehr und nirgendwo übertroffen werden kann. Sie leistet ideale Kompensationsarbeit und federt in einer nicht mehr zu übertreffenden Weise, was sich in der geringen täglichen Variation des Ganges und der Kleinheit der Sprünge kundgibt. Man stelle sich nur einmal das Gegenteil vor: eine Unruh, bei welcher Stahl und Messing in schlechtem Verhältnis stehen, bei welcher zudem das Messing gedankenlos aufgeschmolzen ist, und welche, statt federhart zu sein, weich wie Blei ist! Was richten Temperaturschwankungen und sogar gleichförmige Einwirkungen der Zentrifugalkraft mit dieser Unruhe an!

Man halte fest: Reglage ist stille, zähste Werkstattarbeit an allen Teilen des Chronometers. Die besten deutschen Chronometer-Unruhen nun, welche schon äußerlich betrachtet, das hellste Entzücken hervorrufen, tragen alle den Stempel: Richard Griebach, Glashütte i. Sa. In der Werkstatt dieses Mannes wird die allerzähste und die so stille Arbeit geleistet, von der hier so oft die Rede sein muß.

Wir sprachen vorhin von gedankenlosem Aufschmelzen des Messings. Das ist ein Kapitel für sich. Heute kann für Chronometerunruhen nur noch Nickelstahl, Invar, in Frage kommen. Das schmelzende Messing dringt in das Invar-Metal mehr oder weniger tief ein, die Grenze zwischen Stahl und Messing ist bei derartigen Unruhen durchaus nicht scharf, die Metalle fließen ineinander über. Diese Tatsache fördert gar sehr die bitter notwendige Eigenschaft der Unruh, nach dem Überstehen von Kälteeinwirkungen den vorherigen Gang wieder aufnehmen zu helfen. Es kommt der Unruh dabei eine vielmals größere Wichtigkeit zu als der Spiralfeder. Man bedenke, daß in der Kälte die Unruhreifen eine beträchtliche Bewegung nach außen ausführen mußten, und daß sie das beliebe nicht freiwillig getan haben, sondern daß Messing und Stahl, auf Verderb und Gedeih unerbitlich aneinandergesesselt, ihre Kräfte gegeneinander abgewogen haben. Wird eines der beiden Metalle dabei ermüdet, oder werden gar in dem anderen Kräfte frei, die bis

dahin schlummerten, oder löst sich auch nur an der winzigsten Stelle die Fessel (die Zusammenschmelzung!), so kehrt der Unruhreif ganz einfach nicht in seine vorherige Stellung zurück. Ganz deutlich ausgedrückt: die Unruh hat sich in der Kälte verzogen. Und wenn das Maß dieses Verziehens nur nach einem Tausendstel eines Millimeters gerechnet werden kann, so ist doch der Schwingungshalbmesser verändert: das Chronometer geht anders als vor der Einwirkung der Kälte, es ist kein Chronometer mehr, sondern — ein Gangmodell!

Was nützt nun die genaueste Angabe des Verhältnisses zwischen Stahl und Messing, wenn bei der einen Unruh das Messing weniger, bei der anderen mehr tief in den Nickelstahl eingedrungen ist? Was für Messing, welche Schmelztemperatur, welche Schmelzdauer, welches Flußmittel, welche Abkühlungszeit und noch viele fast unbewußte Sachen machen die Güte einer Chronometer-Unruh aus! Das Messing der Nickelstahl-Kompensationsunruh ist nicht auf den Stahl aufgeschmolzen, sondern tatsächlich mit ihm zusammen geschmolzen. Dieser Ausdruck, für Unruhen neu, wurde mit voller Absicht schon vorhin benutzt.

Es ist im vorstehenden nicht die Absicht gewesen, weit abzuschweifen, sondern die Tatsache ganz eingehend zu erläutern, daß die Unruhreifen Federn sein müssen, als solche nach Möglichkeit hergestellt und bei der Reglage gewertet werden müssen. Bei der Spirale wird ein molekularer Gleichgewichtszustand angestrebt; sie soll nicht einmal mehr und ein andermal weniger stark durch verschiedene große Unruherschwingungen in ihrem tatsächlich notwendigen molekularen Gleichgewicht gestört werden. Über diese Störungen quittiert die Spiralfeder prompt durch schlechte Reglage, durch Sprünge. Einleuchtend wird aus dem über die Unruh Gesagten sein, daß sie noch viel stärker als die Spiralfeder auf Störungen im molekularen Gleichgewicht durch schlechtes Regulieren antwortet. Daraus ergibt sich die Forderung: Der Schwingungsbogen sei so gleichmäßig als denkbar! Man sagt, daß eine isochrone Spirale dafür Sorge, Veränderungen in der Schwingungsgröße unschädlich zu machen. Das ist selbstverständlich richtig, aber gegen die Störung des molekularen Gleichgewichtes in Unruh und Spiralfeder kann auch die vollkommenste Spiralkurve nichts tun.

Ein Chronometer ohne Schnecke oder ohne eine Hemmung mit konstanter Kraft oder eine ähnliche Einrichtung ist für den heutigen Chronometer-Regleur nur schwer denkbar. Bei Chronometern von Kessels, welche immer als überzeugendes Beispiel dafür genannt werden, daß man Chronometer mit gezahntem Federhaube, also ohne Schnecke, mit Erfolg bauen kann, kann nach dem heutigen Stande der Chronometrie kaum daran gedacht werden, einen Wettbewerb einzugehen.

Mit berechtigter Spannung muß man den Gangleistungen der Chronometer von Paul Ditisheim in La Chaux-de-Fonds, entgegensehen. Dieses mit vollem Recht weltberühmte Haus hat seinerzeit eine Neukonstruktion*) des Seechronometers in schweizerischen Fachzeitschriften veröffentlicht. Man läßt die Schnecke weg und verwendet auch keine „konstante Kraft“. Wer eine solche Konstruktion wagt, der muß den Isochronismus, das A und O aller Reglage, meistens wie nur irgend jemand. Nur einem Regleur wie Ditisheim kann man bei einer solchen Neukonstruktion Vertrauen schenken und dabei hoffen, daß diese neuartigen Chronometer den bisher gelieferten nicht nachstehen werden. Es ist wahrscheinlich, daß die zur Reglage nötige Zeit länger sein wird als bisher; denn da der Schwingungsbogen sich fest von Stunde zu Stunde ändern wird, so kann der molekulare Gleichgewichtszustand in der Spirale und besonders in der Unruh, wenn überhaupt, erst nach längerer Zeit eintreten. Dauert dies unverhältnismäßig lange, so ist die Ersparnis durch Fortfall der Schnecke auch wieder aufgehoben und ihre vielen Annehmlichkeiten vermißt der Regleur doch.

Man wird vollkommenen Isochronismus und Temperaturausgleich erzielen, aber damit ist ein Chronometer noch nicht fertig reguliert. Erst die Beseitigung der täglichen Variation, der Akzeleration, der Sprünge und der Gangleiter nach extremen Temperaturen machen das gebrauchsfertige Chronometer aus. Ohne einen gleichmäßig großen Schwingungsbogen war das bisher nicht zu erreichen. Man bedient sich dazu mit vollem Erfolge der Schnecke, doch sehen wir zu, ob die Vorschläge zu deren „Ersatz“ Aussicht haben, praktisch ausgeführt zu werden.

Herr Prof. Dr.-Ing. H. Bock hat in Nr. 9 der Deutschen Uhrmacher-Zeitung, Jahrgang 1923, den Vorschlag gemacht, in Chronometern die Schnecke wegzulassen und dafür eine Vorrichtung einzubauen, welche unter der Bezeichnung „Bremsregler für Kraftmaschinen“ Herrn Albert Lotz in Charlottenburg patentiert worden ist. Es wird behauptet, daß nach Zwischenschaltung eines solchen Bremsreglers das Gangrad „konstante Kraft“ erhalten muß, unabhängig von der augenblicklichen Kraftleistung der Zugfeder und ihren Veränderungen und unabhängig von mehr oder weniger guten Eingriffen und dem Einfluß des Oles.

Wenn dem Chronometermacher eine Neuerung dieser Art vorgeschlagen wird, dann stellt er zwei Fragen:

1. Werden die Gangleistungen noch bessere als bisher?
2. Werden, falls die Herstellung weniger mühevoll wird als bisher, die Gangleistungen wenigstens dieselben bleiben wie bisher?

Bei der zweiten Frage mag auffallen, daß weder nach Vereinfachung, noch nach Verbilligung gefragt ist. Eine Notwendigkeit zu einer Verbilligung besteht nicht; denn Seechronometer werden kaum jemals ein Gegenstand dringenden Bedarfes der großen Menge werden. Nach einer Vereinfachung wird auch nicht gefragt, höchstens nach weniger mühevoller Arbeit etwa insofern, als man die Anzahl der zarten Teile gern verringern möchte. Nur eins wird verlangt: Sicherheit der angewendeten Konstruktion. Gewünscht wird immer: Noch weitere Verbesserung der Gangergebnisse. Betrachten wir unter diesen Gesichtspunkten den vorgeschlagenen Bremsregler.

Ob man ihn als zur Hemmung gehörend betrachtet oder nicht, wir haben einen „Gang mit konstanter Kraft“. Betrachtet man ihn als solchen, so fällt angenehm auf, daß in die eigentliche Hemmung keine neuen Teile eingebaut sind, Gangrad, Hebescheibe, Auslösung, Gangfeder usw. behalten die Form und Anordnung, die dem Chronometermacher vertraut ist. Gegen die Katastrophe des Federspringens sind die Gangteile durch die pufferartige Nachspannfeder leidlich gut geschützt. Das Gangrad wird allem Anschein nach auch nicht ganz plötzlich ohne Kraft sein; die Hemmung wird solange ihre Tätigkeit fortsetzen, als die Nachspannfeder noch Kraft abzugeben hat. Wahrscheinlich aber wird nach etwa einem Umlauf des Gangtriebes der Bremsklotz am Planetenwerk soviel Widerstand finden, daß eine Gefährdung der Gangteile durch die sicherlich noch zu lebhaft schwingende Unruh eintreten kann. Wie schon im ersten Teile dieser Abhandlung erwähnt, ist das Federspringen bei der Schneckenuhr viel ungefährlicher für die Hemmung, da die Unruh ganz langsam zur Ruhe kommen kann.

Es ist nicht angenehm, daß man bei Verwendung des „Bremsregler“ eine Spirale als Nachspannfeder kaum vermeiden kann. Bei wechselnder Temperatur ändert sich allzusehr die Elastizität einer solchen Feder. Es liegt im Wesen der zu besprechenden Neuerung, daß sie instand ist, sich dem Wechsel der Temperatur in gewissen Grenzen anzupassen. Kommt ein mit dem „Bremsregler“ ausgerüstetes

*) Diese Neukonstruktion ist in Nr. 21, Jahrgang 1922, der Deutschen Uhrmacher-Zeitung beschrieben. Die Schriftleitung.

Chronometer in Wärme, so drückt das Laufwerk die nachspannende Spiralfeder, welche eben etwas schlapper geworden ist, entsprechend mehr nach; denn die Länge des Weges zum Nachspannen ist nicht „dosiert“. Der Sekundenzeiger, der in mittlerer Temperatur genau auf den Strich springt, wird eine kleine Voreilung, eine Art Phasenverschiebung erleiden. Falls die Fehlangebe eine Viertelsekunde erreicht, wird das Chronometer unbrauchbar. Es kann sehr gut gegangen sein, doch macht es ihm die Zwischenschaltung der Spiralfeder unmöglich, das Ergebnis richtig anzuzeigen. Die Hauptforderung nämlich, völlige Sicherheit, ist wahrscheinlich nicht zu erreichen. Falls Aussicht vorhanden wäre, daß mit der Neuerung *b e d e u t e n d* bessere Gangergebnisse zu erzielen sind als bisher, so könnte man sich der Mühe unterziehen und ein leerlaufendes Sekundenrad, vom Gangtrieb in Umdrehung versetzt, einbauen. Doch das könnte wegen seiner nicht unbedeutenden Masse und den daraus sich ergebenden Trägheits- und Beschleunigungserscheinungen Unregelmäßigkeiten bei der Reglage verursachen.

Es würde den Erfahrungen des Chronometermachers zuwiderlaufen, bei einer etwaigen praktischen Ausführung der Neuerung die vorgeschlagene Form anzuwenden. Es geht nicht gut an, das verhältnismäßig schnell laufende Gangrad mit irgend etwas zu beschweren, ihm also das Gewicht des Bremsklotzes und dessen Gestänges samt Gegengewicht aufzupacken. Ein so belastetes Gangrad braucht viel zu lange Zeit, ehe es nach der Auslösung in Schwung kommt. Der Gangradzahn trifft den Hebestein erheblich zu spät, der Anprall der zu großen Masse ist ein Schlag für die Uhr, und das mag sie nicht leiden. Der Gangradzahn ist dem Anprall nicht gewachsen, er nutzt sich schnell ab, und das verändert sämtliche Funktionen des Ganges. Auch der Anprall der großen Masse auf den Ruhestein der Gangfeder verursacht eine weitere starke Abnutzung der Gangradzahnspitzen. Im vierten Teile dieser Abhandlung wird von den Zahnspitzen noch zu reden sein.

Es wird außergewöhnliche Mühe machen, den Bremsklotz und seine Gestänge auf dem Gangtrieb so anzubringen, daß eine Lagerung des unteren Gangtriebzapfens in Loch- und Deckstein möglich ist. Man würde diese beiden Steine auf dem Zapfenende des letzten Laufwerktriebes, also gewissermaßen fliegend, anbringen müssen. Das Rundlaufen derartig gefaßter Steine ist kaum zu erreichen. Ist aber das Gangtrieb eines Chronometers nicht durchaus sicher gelagert, so ergeben sich daraus Ungenauigkeiten im Spiel der Hemmung, die ein gutes Gangergebnis von vornherein völlig ausschließen. Der Chronometergang verlohnt aller genaueste Ausführung der Hemmung, sonst rächt er sich, indem er Fehler von allen Sorten macht.

An eine wichtige Eigenschaft des Chronometerganges ist bei dem Vorschlage wahrscheinlich nicht gedacht worden, nämlich an den Zug. Dieser ist unter keinen Umständen zu entbehren. See-Chronometer, denen versuchsweise der Zug genommen wurde, machten Sprünge von solchem Ausmaße, daß nur Fehler des Ganges die Ursache sein konnten. Nach Wiederherstellung des Zuges waren die schlechten Gangergebnisse wieder in die normalen umgewandelt. (Ausführlicher Versuch an dem Chronometer D.U.S. Nr. 2602, E. Hauer, Curitiba, Brasilien.) Der richtige Zug hat zur Folge, daß sich das Gangrad ein wenig zurückdreht. Das ist gar nicht so gering und so nebensächlich, als man leichthin glaubt. Bei Anwendung des Lotzchen Bremsreglers, gekuppelt mit dem Gangtrieb, ist es unmöglich, das Gangrad unter Lüftung des Bremsklotzes und unter einer kleinen Rückwärtsdrehung der Bremsscheibe rückwärts zu drehen. Der Bremsklotz wird sich bei der kleinen Rückwärtsdrehung des Gangrades fester an die Bremsscheibe anlegen und unter völliger Ausschaltung der Nachspannfeder (Antriebsfeder) der Kraft des Laufwerkes ganz direkt entgegenzuwirken

haben. Die Auslösung wird, ganz der jeweiligen Spannung der Zugfeder entsprechend, verschiedentlich schwer erfolgen. Das verträgt die Reglage nicht. Man hätte also wohl den Antrieb der Uhr allenfalls konstant gemacht, nicht aber die weit gefährlichere Auslösung.

Falls man das Gestänge des Bremsklotzes federnd macht, würde man soviel Rückführung des Gangrades erzielen, als für den Zug nötig ist, ohne der verschiedenen Kraft des Laufwerkes entgegenzudrücken zu müssen. Doch würde diese Feder, wenn sie nicht in Verbindung mit irgendeiner Anschlagvorrichtung steht, beim Festbremsen der Umlaufbremsscheibe unangenehme Eigenschaften in demselben Maße aufweisen, als sie zwecks gleichmäßiger Rückführung des Gangrades Vorzüge hätte. Die Anschlagvorrichtung würde wiederum die Masse des Gangrades vermehrten, und die Feder verursachte eine Arbeit gleich mühevoll, wie es die Gangfeder tut.

Es erscheint sehr zweifelhaft, ob ein See-Chronometer ohne Schnecke, das aber dafür mit dem „Bremsregler“ versehen ist, dieselben Gangergebnisse erzielen würde, wie sie die bisherigen Chronometer erreichten. Wenn das dennoch der Fall sein sollte, so hätte man bedeutend mehr Mühe aufgewendet, um das gleiche Ergebnis zu erzielen; denn die Anfertigung des Bremsreglers ist auf jeden Fall sehr schwierig im Vergleich zu dem Bau der Schnecke, die von jedem guten Mechaniker angefertigt werden kann. Sie enthält zwar eine große Anzahl von Teilen, doch kein einziger erfordert derartige Feinarbeit, wie alle Teile des Bremsreglers. Die Schnecke wird als Teilarbeit völlig fertig ohne jeden Zusammenhang mit dem Gestell hergestellt. Der Bremsregler dagegen möchte vom Gangmacher in das Gestell eingebaut werden. Man wird sich nicht trauen können, die vielmals schneller als das Gangrad umlaufende Bremsscheibe anders als in Steinen zu lagern. Das ist schon ein kleines Kunststück. Das Abwiegen eines Planetenwerkes ist auch nicht ganz einfach. Die Bremse ist ein Konstruktionsselement, dem der Chronometermacher zunächst hilflos gegenübersteht. Zufällig hat der Verfasser aus dem Kraftfahrzeugen allerdand Erfahrungen über Bremsen, doch hat er sie als etwas sehr Launenhaftes kennengelernt. Die Tätigkeit einer Bremse fußt nur auf Reibung; diese bedeutet Abnutzung, Abnutzung aber ist Veränderung. Diese drei Vorgänge zu vermeiden, soviel es geht, ist bisher eine der wichtigsten Aufgaben des Chronometermachers gewesen.

Wie wäre es nun, wenn man den Bremsregler auf das Sekundenrad oder gar auf das Zwischenrad setzte? In einem derartigen Falle könnten die Teile bedeutend robuster angefertigt werden. Es könnte auch soviel Zurückführung des Gangrades möglich werden, wie der Zug erfordert, ohne daß man irgend etwas absichtlich federnd macht. Die Gangradwelle und das zart zu schenkelnde Sekundenrad sind soweit elastisch, daß der Zug möglich wäre. Doch ist die richtige „Konstanz“ der Kraft dann wieder in Frage gestellt wegen des Oleinflusses an den schnelllaufenden Zapfen. Es ist auch sehr die Frage, ob das Nachspannen ganz prompt erfolgen wird. Die Schritte des Bremsklotzes werden, besonders wenn die Vorrichtung auf dem Kleinbodenrade aufgebaut wird, sehr klein. Die geringste Verklemmung des Bremsklotzes an der Scheibe wird verhindern, daß letztere ganz pünktlich in Umdrehung gerät. Abnutzung der Lagerung der Bremsscheibe wird eine sehr große Rolle dabei spielen.

Ein guter Kern ist in der Idee enthalten, und darum ist die Angelegenheit wert, mit größerer Sorgfalt behandelt zu werden. Räumlich, im Gegensatz zu allen bisherigen Hemmungen, ist der „Bremsregler“ in der Umdrehung zu erteilende Kraft in jeder Hinsicht genauestens zu „dosieren“. Reicht die Kraft, die dem Wege von normalerweise 24° Gangradbewegung pro Umrundung entspricht, aus irgendeinem Grunde einmal nicht aus, so erlaubt

der Bremsregler den Nachschub der Kraft auf einem längeren Stück Weges. Das eigentliche Gangrad kann natürlich nur 24° Weg machen, doch in der dazu nötigen Zeit hat das letzte, das nachspannende Trieb des Räderwerkes, wenn es nötig ist, einen oder gar mehrere Grad mehr Bewegung als 24° vollführt. Das Ergebnis ist, daß die Unruh die ihr zustehende Kraft regelmäßig erhält. Doch ergibt, wie schon erwähnt, gerade dieser größte Vorzug auch die Gefahr einer Mißweisung des Sekundenzegers.

Wie berichtet wird, bestehen noch andere Ausführungsformen für den Bremsregler. Es wäre zu wünschen, daß diese noch veröffentlicht würden; denn sicher kommt irgend etwas dabei heraus. Falls es möglich sein sollte, durch Zusatz irgendeiner Verbesserung zu den jetzigen Instrumenten die Gangresultate zu veredeln, dann wird auch eine mühevollere Herstellung nicht gescheut werden. Die Ausführung der Neuerung in der vorgeschlagenen Form hat nur Sinn, wenn sie durch einen erfahrenen Chronometermacher erfolgt, und da sie sehr viel Mühe und mehrere hundert Mark Kosten verursachen dürfte, so wird sie nur in Angriff genommen werden von jemand, der volles Vertrauen in das Gelingen hat. Es ist zunächst wegen der Unmöglichkeit, den „Zug“ zu erzielen, nicht anzunehmen, daß sich jemand findet, der dieses Vertrauen hat. Ein Gangmodell zu bauen, ist zwecklos; denn es ist nicht von Wichtigkeit, feststellen zu können, daß der Mechanismus überhaupt funktioniert, sondern die Frage lautet: Wie ist das Gangergebnis? Daß trotz der Bedenken wegen des „Zuges“ der Bremsregler bei einem Amerikaner-Wecker funktioniert hat, kann nur daran liegen, daß diese Uhren keine Ansprüche an einen richtigen Zug stellen, und wenn sie ihn brauchen, so sorgt die Nachziehbikeit und allgemeine Wackelikeit aller Teile dafür. Bei der Hemmung des See-Chronometers ist aber gerade die sichere Lagerung der Gangteile bis zur höchsten Vollendung getrieben, deren die menschliche Geschicklichkeit fähig ist.

Da der Bremsregler als wesentlichen Bestandteil eine Feder aufweist, die nicht gerade als willkommene Bereicherung des Chronometers aufgefaßt werden kann, so sei eine Gegenüberstellung mit Hemmungen versucht, die sich auch einer Feder in irgendeiner Form bedienen. Beim Strasser- und beim Riefelergange ist auch eine Feder zur Kraftübertragung benutzt worden, neuerdings auch bei der Schieferstein-Hemmung. Die Tatsache, daß durch die beiden erstgenannten Gänge ein bedeutender Fortschritt in der Präzisions-Uhrmacherei erfolgt ist, sollte die Veranlassung sein, die Feder im Lotzchen Bremsregler doch nicht rundweg abzulehnen, sondern für sie eine recht gute Ausführungsform zu suchen unter sorgfältiger Beachtung der Eigenschaften derjenigen Federn, die gleiche Aufgaben zu erfüllen haben. Beim Strasser- und beim Riefelergange ist die Antriebsfeder am Gangregler, dem Pendel, angebracht in der ganz richtigen Absicht, etwa störende Zwischenglieder auszuschalten. Wollte man genau das gleiche beim Chronometergange tun, dann müßte man die Antriebsfeder irgendwie an der Hebescheibe anbringen, gewissermaßen den Hebestein federnd lagern. (So etwas hat es schon einmal gegeben!) Liegt es aber in der Natur eines Mechanismus wie des Bremsreglers, daß er nicht zu den oszillierenden, sondern zu den rotierenden Teilen gehört, also zum Laufwerk, dann gehört er zum Gangrade und nicht weiter zurück. Die Federn beim Strasser- und Riefelergange sind kurz und steif; sie sind als lange spiralförmige Federn nicht denkbar. Die Bewegung des nachspannenden Stückes ist bei beiden genau begrenzt, die dem Gangregler zugeführte Arbeit genau „dosiert“, einerlei, ob jener immer ganz genau dieselbe Arbeit zugeführt haben will oder nicht. Tatsächlich ist dieser Bedarf beim Pendel verschieden groß, zum Beispiel größer bei fallender Temperatur, da dann die Pendelfeder steifer ist. Nun ist allerdings beim Strasserergange die Antriebsfeder in der Kälte auch steifer, und da bei diesem Gang, wie bei allen Gängen mit konstanter

Kraft, das Laufwerk einen Überschuß an Kraft hat, so schöpft der Anker zugunsten des Ganges aus dieser Reserve dadurch, daß seine Bewegung wegen der größeren Steifigkeit der Antriebsfeder etwas langsamer erfolgt. In dieser Hinsicht ist im allgemeinen das Einhalten der „konstanten Kraft“ gewahrt. Wenn noch kleine Fehler in den Gangleistungen übrigbleiben, so liegt das daran, daß die beiden Federn unter verschiedenen Bedingungen arbeiten, die Pendelfeder unter dem starken Zug durch das schwere Pendel, die Antriebsfeder aber frei davon.

Beim Riefelergang ist es ein Vorteil, daß nur eine Feder vorhanden ist. Die Anwendung einer Schneiden-Aufhängung und namentlich eines Doppel-Gangrades wäre kaum jemals einem Uhrmacher als vorteilhaft erschienen. Diese beiden Konstruktionselemente sind seit etwa 100 Jahren erledigt gewesen. Ihre Wiederaufnahme im Riefelergange und die Tatsache, daß der Firma Riefel mit ihren Uhren ein großer Wurf gelungen ist, sollte ein Ansporn sein, bei der Bewertung von Neuerungen nicht allzu sehr in der Denkweise des Uhrmachers zu verharren.

Könnte man nicht zunächst den Versuch machen, den Bremsregler in eine Pendeluhr mit Grahamgang einzubauen? Es könnte da die Vorrichtung, wie vorgeschlagen, mit dem Gangrade in Verbindung gebracht werden, zumal da kein „Zug“ nötig ist. In Frage kommt aber nur eine Uhr, die schon vorzügliche Gangleistungen aufzuweisen hat. Nur in einem solchen Falle wird man zweifellos feststellen können, ob der Bremsregler eine Verbesserung oder eine Verschlechterung bedeutet. Man könnte dann auch durch Veränderungen des antreibenden Gewichtes die Unreelmäßigkeiten des Laufwerkes bequem darstellen. Die Erfahrungen und Ergebnisse eines solchen Versuches würden vielleicht eine Ausführungsform für das Chronometer liefern lassen. Wie schon gesagt, erscheint die Idee des Bremsreglers gut, die Möglichkeit einer erfolgreichen praktischen Ausführung aber ist noch nicht vorhanden, wenigstens nicht nach den Erfordernissen des Chronometerbaues.

Auch Schieferstein wendet eine Feder als Antriebsmittel an; die Form dieser Feder betrachtet der Uhrmacher aus seiner Erfahrung heraus mit Bedenken. Bei dieser Anordnung antwortet der Schwingungsbogen des Pendels auf jede Änderung der bewegenden Kraft, sofern es sich um ein einzelnes Pendel handelt. Schieferstein selbst hat ja mit dem Hauptpendel ein zweites gekoppelt, um die Fehler in der Schwingweite auszugleichen. Ähnlich dem Lotzchen Bremsregler ist beim Schieferstein-Gang der Ruhepunkt nicht festgelegt. Beide Hemmungen suchen ihn sich selber, der Bremsregler durch Abfühlen mit dem Bremsklotz, der Schieferstein-Gang durch ein gegenseitiges Ausbalancieren der Kraft des Räderwerkes und des Gegengewichtes der Antriebsfeder. Eine große Unsicherheit beim Selbsteinstellen des Ruhepunktes rührt von dem wechselnden Einfluß des Öles her, eine weitere von der verschiedenen Kraft des Laufwerkes. Versuche am Schieferstein-Gang haben gezeigt, daß durch Vergrößern des antreibenden Gewichtes der Ruhepunkt der Kurbel eine ganz andere Stelle einnimmt, als bei normaler Belastung. Die Änderung des Schwingungsbogens ist die selbstverständliche Folge. Unter dem Einfluß von noch so kleinen Unregelmäßigkeiten in der Kraftübertragung des Laufwerkes ist also der Ruhepunkt verschoben, mithin auch die Spannung der Antriebsfeder während der Umkehr der Pendelschwingung. An dieser Umkehrstelle aber ist das Pendel im höchsten Grade empfindlich. Der Schieferstein-Gang ist also keine Hemmung mit konstanter Kraft, was er bei oberflächlichem Betrachten zu sein scheint.

Es liegt die Wahrscheinlichkeit vor, daß beim Lotzchen Bremsregler die Selbsteinstellung des Ruhepunktes ähnlich unsicher erfolgt wie beim Schieferstein-Gange. Die Antriebsfeder ist demnach verschieden gespannt, wenn die Unruh auslösen soll. Die Auslösung muß aber, aller Erfahrung gemäß, so sanft und gleichmäßig wie überhaupt denkbar

erfolgen. Auch der Antrieb wird, von einer Schwingung zur andern gerechnet, etwas verschieden ausfallen. Der Chronometergang ist in bezug auf Ausnutzung der ihm zugeführten Kraft der günstigste von allen; aber er ist darum auch der empfindlichste. Der Schwingungsbogen wird sich ganz bestimmt von einer Schwingung zur andern ändern, sofern der Ruhepunkt am Bremsregler im geringsten schwankt. Die Kraft, welche an der Bremscheibe wirkt, ist außerordentlich gering, so gering, daß der Oleinfluß sich in unangenehmer Weise bemerkbar machen muß, genau wie beim Kurbeltriebe des Schieferstein-Ganges. Um dem überwiegenden Oleinfluß an Zapfen zu entgegen, die sich mit minimaler Kraft sehr schnell drehen müssen, wendete der Uhrmacher bisher ausschließlich Gangrad und Anker an. Diese beiden Teile stellen einen Mechanismus dar, der aus der rotierenden Bewegung eine oszillierende macht, zugleich mit einer Übersetzung im Verhältnis von eins zur doppelten Zähnezahl des Gangrades. Schnell und kraftlos laufende Teile sind dabei vermieden; diese aber wenden sowohl Schieferstein als auch Lot an und beide Mechanismen müssen alle die damit verbundenen großen Nachteile in den Kauf nehmen. Es gibt in der Uhrmacherei einige andere feine Anwendungen des Schiefersteins Prinzip, die fast unbewußt schon seit langer Zeit ausgeführt werden. Zu gegebener Zeit, wahrscheinlich bei Veröffentlichung unserer ausführlichen Erfahrungen mit dem Schieferstein-Gange, soll davon die Rede sein.

Wenn ein Uhrmacher sich dem Bau von Chronometern zuwendet, so ist es ganz in der Ordnung, wenn er die bisherige Bauart dieser Instrumente kritisch betrachtet. Zur Kritik fordert vieles daran geradezu heraus. Zunächst einmal das äußere Aussehen des Werkes. Warum wohl weisen die Gestellplatten diese sonderbare, in der Tat äußerst feine Vollendung auf? Ist sie nicht unnötig schwierig herzustellen? Würde ein einfacher Schliiff oder eine gute Vergoldung nicht genau dieselben Dienste verrichten? Tatsächlich läßt der Anfänger auch immer seine ersten Chronometer vergolden oder gar nur matt schleifen. Bald kommt er dahinter, daß dieser sogenannte englische Schliiff doch allerbund Vortzüge hat. Es ist hier nicht angängig, die Angelegenheit einfach damit abzutun, daß man die landläufige Behauptung wiederholt: Eine gediegene äußere Vollendung weist darauf hin, daß die wirkenden Teile der Uhr mit mindestens ebensolcher Sorgfalt hergestellt wurden. Der tiefere Grund ist dieser: durch die Politur der Platten wird das ganze Werk in einer wunderbaren Weise von Licht durchflutet. Man braucht nur einmal einen Gang zu prüfen in einem rohen Gestell und darauf in einem polierten. Die überraschende Lichtfülle im fertigvollendeten Chronometergestell macht Dinge sichtbar, die man sich vorher nicht träumen ließ. Beim Einrichten des Chronometerganges ist man vollständig auf das Sehen angewiesen, sehr im Gegensatz zum Anker gange, bei dem das Gefühl dem deutlichen Erkennen mit dem Auge so sehr zu Hilfe kommt. Wenn wir zum Beispiel ein wirkliches Chronometer bauen wollen und nicht etwa eine Uhr, die nur ganz genau so aussieht wie ein Chronometer, dann müssen wir felsenfest davon überzeugt sein, daß der Gangradzahn mit seiner ganzen Höhe ganz haargenau auf dem Hebestein arbeitet. Steht der Hebestein mit seiner Arbeitsfläche eine Winzigkeit schief, also nicht parallel zur Uruhachse, dann nutzen sich die Zahnschneidspitzen auch schief ab, und die Folge ist eine Veränderung im Gange. Nach geraumer Zeit wird sich an den Gangradzahnschneidspitzen eine Fläche angeschlagen haben, die selbstverständlich genau der geraden oder leider etwas schiefen Stellung des Hebesteines entspricht; das Chronometer wird, was diese Angelegenheit betrifft, einen konstanten Gang annehmen können. Nun hat aber der Zahn auch mit dem Ruhesteine der Gangfeder zusammenzuarbeiten. Auf diesem Stein soll der Zahn ganz genau mit derselben kleinen Fläche aufliegen, die er sich am Hebestein selber schafft. Steht der Ruhestein in der

Gangfeder schief, dann ist die Zahnschneidspitze gezwungen, sich dort wieder eine besondere Fläche anzuschlagen. Ein Chronometer mit schiefstehenden Steinen nutzt sein Gangrad doppelt so schnell ab als ein solches, in dem diese Steine genau gerade stehen. Ob dies der Fall ist, kann man weder messen, noch abfühlen, sondern man muß es mit dem Auge feststellen. Dabei nutzt keine durch Spiegel oder Prismen in das Werk hineingeworfene Beleuchtung auch nur annähernd soviel, als es die oft kritisierte Politur der englische Art vollendeten Werkplatten tut. Auch die Luft, mit welcher der Hebestein an den Gangradzahnschneidspitzen vorbeigeht, ist ausschließlich durch direktes Sehen feststellbar. Ohne die Plattenpolitur ist das tatsächlich schwierig. Wir also wollen an der bisherigen Art, Chronometerplatten zu vollenden, vor der Hand lieber nichts verbessern!

Der zweite Gegenstand, den der Anfänger unter allen Umständen verbessert, ist die Stellung der Gangfeder und damit die Form der Goldfeder. Vernünftigerweise soll das Ruhestück, wie man Gangfeder oder Wippe nennt, in der Tangente liegen. Das ist eine ganz einfache, selbstverständliche Forderung der Mechanik. In Sechronometern, die von erfahrenen Uhrmachern gebaut wurden, liegt nun die Gangfeder niemals in der Tangente, sondern in einem Winkel, der manchmal nur etwa 70° statt 90° groß ist. Was mag wohl die Veranlassung sein, daß man seit Beginn des Chronometerbaues so etwas sinuwürdig Erscheinendes macht? Ist es einfache Nachahmung irgendeines zur Tradition gewordenen Fehlers? Derartige Gedanken mögen wohl denjenigen beschäftigen, der mit voller Absicht die üblich gewordene Stellung der Gangfeder außerhalb der Tangente nicht anwendet, sondern der das Selbstverständliche macht und die Feder in die Tangente setzt. Tatsache ist, daß bei dieser Stellung der Gangfeder, also genau in der Richtung des Stofses, der Anprall des Gangrades auf den Ruhestein so hart wird, daß die Zahnschneidspitzen sich zu schnell abnutzen. Will man das soviel als möglich vermeiden, dann muß man den federnden Teil der Gangfeder ganz außerordentlich dünn machen, und das hat wieder den großen Nachteil, daß das Anliegen der Feder an der Ruheschneidspitze nicht mehr unter dem überwiegenden Einfluß der Federkraft erfolgt, sondern daß das Gangrad vermöge des „Zuges“ mit der ruhenden Feder macht, was es will, kurz, die Ruhe wird leicht verschieden und unsicher. Taschenchronometer dieser Art würden Gangfehler machen. Sitzt die Gangfeder aber in einem spitzen Winkel, dann trifft sie der Stoß des Gangrades so, daß eine pufferartige Wirkung zustande kommt, der Anprall des Zahnes ist weich, und er erweist sich dafür sehr dankbar, indem er sich lange nicht so stark abnutzt als bei der Tangenteinstellung. Wenn man bei der Stellung der Gangfeder in einem Winkel von etwa 80° dem Ruhestein einen Zugwinkel von üblicherweise 8–10° gibt, dann legt sich der Gangradzahn in einer Weise auf Ruhe, die eine rasche Abnutzung unwahrscheinlich macht. Eine weitere angenehme Begleiterscheinung ist es, daß die Goldfeder eine fast gerade Form bekommen kann (Abb. 1). Eine Goldfeder mit erheblicher Biegung des vorderen Endes taugt nichts, da sie zu leicht ihre Länge und damit die Auslösung ändert (Abb. 2). Setzt man die Gangfeder in die Tangente, dann kann man demnach nicht mehr eine Goldfeder auf der dem Gangrad zugekehrten Seite wie in der Abbildung 2 anwenden, sondern man muß eine auf der Außenseite liegende Goldfeder anordnen, die dann allerdings die von vielen Uhrmachern als Ideal erstrebte ganz gerade Form erhalten kann, wenn dieser Vorteil auch nicht immer ausgenutzt wird. Doch macht die Anbringung eines solchen Goldfederfußes an der Gangfeder eine unangenehm komplizierte Form derselben unbedingt nötig. Schlimmer noch ist dabei der Zuwachs an Masse der Gangfeder. Davon später noch mehr. Allerdings recht günstig liegt die Stelle, mit welcher eine in die Tangente gestellte und mit außen liegender gerader Goldfeder

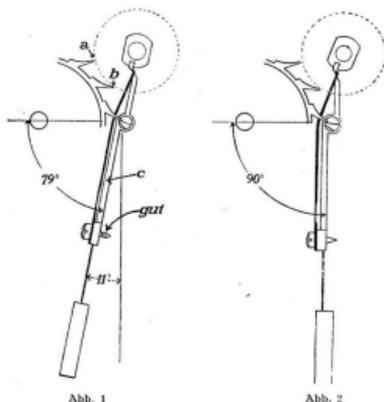


Abb. 1

Abb. 2

versehene Gangfeder an der Ruheschraube anliegt. Diese Ruhestelle kann ganz dicht unter dem Gangrade liegen, und das Aufliegen des Zahnes auf der Ruhe erscheint besser gesichert, als wenn das Festlegen der Gangfeder an der Ruheschraube so weit unter dem Gangrad erfolgen muß, wie es nötig ist, wenn sich zwischen Rad und Ruheschraube noch die Goldfeder befindet.

Bei Besprechung der beigefügten Skizzen wird noch auf eine unangenehme Begleiterscheinung der auf so sichere Weise erzielten Ruhe, wie sie nach der Abbildung 3 möglich ist, zurückkommen sein. Das Unangenehme dieser Anordnung kann sogar das Angenehme überwiegen, wie wir sehen werden.

Es ist zu empfehlen, die Gangfeder vor der Hand ruhig dort stehenzulassen, wohin sie die Altmeister des Chronometerbaues, die Engländer, von Anfang an gestellt haben, nicht in die Tangente, sondern in einen spitzen Winkel, für dessen Größe 75—80° ein durch Erfahrung bestätigtes Maß darstellen. Ganz genau kommt es nun gerade bei diesem Winkel nicht auf 1° mehr oder weniger an; das ist aber auch am Chronometer, sonderbarerweise, eigentlich die einzige und dabei recht wichtige Stelle, von der man endlich einmal sagen kann, daß es nicht so genau darauf ankommt. Ob eine Gangfeder einen englischen Fuß hat oder einen französischen, das ist vollkommen Nebensache. Der englische Fuß ist derjenige, bei dessen Anwendung die Feder direkt auf die Platte geschraubt wird. Bei Anwendung des französischen Fußes, wie ihn die Skizzen zeigen, wird die Feder seitlich an einen starken Messingkloben geschraubt, der gleich die Ruheschraube mitträgt, und dieses Ganze sitzt dann erst an der Platte. Diese Anordnung hat allerhand Vorteile vor der alten englischen voraus. Zunächst läßt sich die Feder erheblich leichter anfertigen, dann besser härten, weil sie nicht soviel Masse besitzt, und als Hauptsache läßt sich der Gang bequemer einrichten. Auch gestattet diese Anordnung, die Höhenstellung der Feder zu Gangrad und Hebescheibe aufs genaueste einzustellen. Gangfedern, deren federnder Teil aus zwei Lamellen besteht, so wie bei einer Pendelfeder, rechtfertigen die zu ihrer Herstellung erforderliche große Mühe nicht dadurch, daß sie ein besseres Gangergebnis liefern als die gewöhnlichen einlamelligen englischen Federn. Es ist wahr, daß ein bestimmtes ausländisches Fabrikat gleich in seinen ersten Erzeugnissen diese Feder einführt (vergl. I r k, Der Chronometergang, Abb. 22) und daß die Gangergebnisse dieser Chronometer von Anfang

an erstklassige waren, zeitweilig sogar einen Rekord aufstellten. Dieses günstige Ergebnis wird wohl zum größten Teile den wunderbaren Eingriffen zuzuschreiben sein, welche diese Werke vor allen anderen auszeichnen. Daß Unruh und Spirale auch erstklassig sind, bedarf keiner Erwähnung bei Chronometern, die erste Preise erzielten. Ganz genaue Angaben über die Stärke des federnden Teiles zu machen, ist eigentlich kaum möglich. Das hängt doch gewaltig von der Stahlorte und ihrer mehr oder weniger zufälligen Härtung ab, weiter von der Breite und Länge des federnden Teiles, sonderlich auch davon, ob man ihn in seiner ganzen Länge gleichmäßig dünn macht oder ob man vorzieht, dem federnden Teil gewissermaßen noch einen federnden Teil, eine etwas dünnere Stelle, zu geben. Das ist eine Gefühls- und Erfahrungssache. Ungefähre Angaben finden sich reichlich in unserer Literatur, so daß ich mir ersparen kann, Zahlen niederzuschreiben, von denen ich vorher weiß, daß sie niemand mehr nutzen als alle anderen bisher veröffentlichten. Der Anfänger macht die Gangfedern zu stark. Bei allzu dünnen Federn wird die Ruhe ungleichmäßig und unsicher, da hilft auch ein stärkeres Anspannen nicht genug. Der Anfänger macht auch den Stiel der Federn immer zu schwer. Bei den meisten Federstielen kann man sagen, daß sie völlig haltbar genug sein würden, wenn sie halb so dick wären, als sie sind. Der Stiel ist der Teil einer Gangfeder, der sich zwischen dem federnden Teile und dem Ruhe-

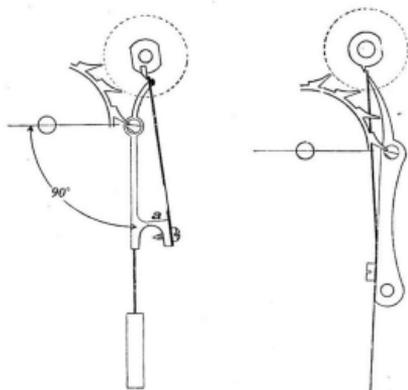


Abb. 3

Abb. 4

steine befindet (Abb. 1 bei r).

Wenn man eine einfache Form der Gangfeder anstrebt, dann ist es kaum zu erzielen, daß die Ruheschraube im Mittelpunkt des Stoßes auf die Feder wirkt. Das hat aber auch gar nichts zu bedeuten, sofern der sich bewegende Teil der Gangfeder so zart als nur möglich ausgeführt ist. Bei Wippen, die leider ein Vielfaches an Gewicht von einer Feder ausmachen, ist die Anbringung der Ruheschraube in der Weise erforderlich, daß sie die Feder genau im Mittelpunkt des Stoßes trifft.

Eine Goldfeder soll nicht von vorn bis hinten gleichmäßig dick (oder dünn!) sein (vergl. Abb. 4), sondern sie soll sogar so stark sein, daß sie sich nicht bei jeder Kleinigkeit verbiegen kann. Sie soll aus einem langen, etwas steifen und aus einem kurzen federnden Teile bestehen, ähnlich wie die Gangfeder selber. Überaus wichtig ist das Anliegen der

Goldfeder am vorderen Teile der Gangfeder, dem sogenannten Finger. Es kommt vor allem darauf an, daß das Aufliegen mit einer nicht zu kleinen Fläche erfolgt, damit auch an dieser einflußreichen Stelle recht bald konstante Verhältnisse herrschen, welche die Reglage so dringend als Vorbedingung fordert. Ist die Auflagefläche aber zu groß, dann sammelt sich Schmutz darauf an, wodurch eine ungleichmäßige Auslösung entsteht. Auch die Adhäsion spielt dann eine Rolle. Wichtig ist, daß das vorderste Ende der Gangfeder als Auflage benutzt wird, da andernfalls bei der Auslösung ein Abwälzen der Goldfeder auf dem Gangfederende eintritt. Zur besonderen Erklärung der Skizzen sei, ein wenig wiederholend, bemerkt, daß sie nicht vollständige Darstellungen des Chronometerganges geben, sondern anschaulich zeigen sollen, welchen Einfluß die Stellung der Gangfeder auf die Form der Goldfeder ausübt. In der Abbildung 1 steht die Gangfeder im Winkel von 79°, also um 11° von der Tangente abweichend. Der Stoß des Gangrades wird elastisch aufgefangen; der Zahn liegt nicht mit der Spitze auf Ruhe, sondern schon fast mit seiner Vorderfläche. Er wird sich hier eine kleine konstante Arbeitsfläche anschlagen, und diese wird die selbe Neigung haben wie die Fläche, welche durch das Auffallen auf den Hebestein entstehen will, falls dieser richtig angebracht ist. Diese Stellung der Gangfeder ist demnach günstig in bezug auf die Zahnspezialnutzung. Die Goldfeder hat nur eine sehr geringe Krümmung nötig; die Auslösung erfolgt ausschließlich als „Führung hinter der Mittellinie“. Bei dieser Anordnung macht die Goldfeder bei der Zurückführung einen etwas großen Weg. Die Darstellung in der Abbildung 1 zeigt den bewährten, allgemein in Sechronometern angeordneten Gang, allenfalls abgesehen von der Form des Federfußes. Die Schraube zur Befestigung der Goldfeder ist in dieser Abbildung richtig, weil ein Teil des Gewindes vorsteht, so daß man die Schraube bei Bruch des Kopfes herausbekommt, sofern sie leicht im Gewinde geht. Letzteres muß der Fall sein, damit sich der Kopf gut flach anlegen kann. Die Spitze ist nötig zum bequemen Anschrauben der Goldfeder; eine Abrundung wäre nicht vorteilhaft. Die Abbildung 2 zeigt denselben Gang, jedoch mit der Stellung der Feder in der Tangente. Der Zahn liegt mit der empfindlichen Spitze auf Ruhe, und das ist nicht gut. Die Goldfeder weist eine Krümmung von solchem Ausmaß auf, daß man Längerveränderungen befürchten muß, wodurch die Auslösung ungleichmäßig wird. Die Erfahrung lehrt, daß dieser folgenschwere Fall eintritt. Der Auffall des Zahnes auf die Feder ist hart, Abnutzung der Zahnspitzen ist wiederum die Folge.

Die Abbildung 3 stellt einen Gang vor, bei dem die Gangfeder auch in der Tangente steht, was in bezug auf den Gangradzahn natürlich dieselben Nachteile hat wie die bei der Abbildung 2 erörterten. Die Goldfeder weist die ideale Geradheit auf, doch ist dieser Vorzug zu teuer erkauft, da zunächst die Gangfeder (bei *a*) schwerer wird, was sehr gefährlich ist, da der Anprall dieser Feder auf die Ruheschraube noch viel weniger im Mittelpunkt des Stoßes stattfindet als bei der einfachsten leichteren Federform nach der Abbildung 1. Die Vorrage des Anschlages in unmittelbarer Nähe des Ruhesteins will man auch nicht entbehren.

Bei Taschenchronometern ist eine Anordnung des Ganges nach der Abbildung 3 eine Quelle vieler Störungen, einerlei, wo man die Ruheschraube anordnet. Das vordere Ende, der sogenannte Finger, an dem die Goldfeder anliegt, ist, nach der Abbildung 3 ausgeführt, unbequem bei der Herstellung und beim Gangeinrichten. Die Vorteile einer solchen geraden Goldfeder gegenüber der in der Abbildung 1 dargestellten scheinen vollständig eingebildeter Natur zu sein; jedenfalls in den Gangleistungen machen sie sich nicht angenehm bemerkbar. Dasselbe gilt bei dieser Ganganordnung von dem Umstande, daß der Anschlag der Gangfeder

an der Ruheschraube ganz dicht unter dem Gangrade stattfindet. Das erhöht, wie schon erwähnt, die Sicherheit der Ruhe, aber der Anprall der Feder ist hart, die Ruheschraube schlägt sich rasch ein, und die Ruhe ändert sich. Bei der Anordnung nach den Abbildungen 1 und 2 ist der Anschlag der Feder an der Ruheschraube, weil noch eine Goldfederbreite vom Ruhestein nach unten entfernt, weicher, die Abnutzung der Ruheschraube und die Veränderung daher tatsächlich geringer.

Die Abbildung 4 stellt die Goldfederanordnung einer merkwürdigen Sorte von Taschenchronometern vor. Hier wird nicht eine Gangfeder, sondern eine Wippe angewendet, aber was für eine! Das ganze Gewicht befindet sich auf einer Seite, ein Gegengewicht, das man sonst an allen Wippen als Selbstverständlichkeit findet, ist gar nicht vorhanden. Der Konstrukteur ist vielleicht der Meinung, daß das Gegengewicht nicht sehr nötig gebraucht wird, weil ja bei der Gangfeder auch keins vorhanden ist. Aber dann müßte die Wippe ebenso leicht sein, wie man den bewegenden Teil der Gangfeder zu machen pflegt. Da diese Art Wippe, wie sie die Abbildung 4 darstellt, noch regelmäßig sehr klobig und ruppig ausgeführt wird, so hat der Konstrukteur einen bedauerlichen Fehler gemacht. Die Ruhe findet nicht auf dem ersten Zahn hinter der Hebescheibe statt, sondern auf dem zweiten. Das bedeutet, daß die niemals ganz vermeidbaren Teilungsfehler des Gangrades doppelt groß in Erscheinung treten. Bei einem feinen Gange wäre das unerträglich. Zugunsten der Anordnung der Ruhe auf dem zweiten Zahne läßt sich nur anführen, daß die Auslösung in bezug auf das Funktionieren des Ganges nicht sehr empfindlich ist. Das bedeutet aber eine größere Empfindlichkeit der Unruh und schlechte Reglage. Für eine tragbare Uhr ist eine solche Chronometerhemmung ein blanker Unsinn; der Erbauer dieser protzigen Sorte von Taschen-Chronometern hat von der Tätigkeit der Uhrmacherschulen nicht ein Fünkchen abbekommen. Gegen solche bequemen „Konstrukturen“ muß sich der Uhrmacher wehren, indem er diese Unruh nicht zur Reparatur annimmt; denn der beste Chronometer-Spezialist weiß aus so einem Gange nichts dauernd Befriedigendes herauszuholen. Es sind leider recht viele von diesen Unruh gebaut worden, und wer noch nicht ein richtiges Chronometer gesehen hat, muß auf den Gedanken kommen, es handle sich bei diesen unglücklichen Dingen, ihrer äußeren Aufmachung wegen, um Präzisionsuhren. Die Abbildung 4 gelte als Warnung.

An Versuche, die Unruh zu verbessern, wagt sich seit der Einführung des Nickelstahles in die Chronometrie so leicht niemand heran. An der Ausführung der heutigen Unruh ist tatsächlich nichts mehr zu verbessern, allenfalls noch an der Konstruktion, deren einzige schwache Stelle darin besteht, daß man den Reifen über dem Schenkel durchbohrt, ein Gewinde einschneidet und die Schraube anbringt, welche das Reguliergewicht trägt. Durch diese Bohrung wird der Reifen gerade dort schwach gemacht, wo er am stärksten sein sollte, nämlich an der Stelle seines Zusammenhängens mit dem Schenkel (Abb. 6 bei *a*). Tatsache ist es, daß ein Unruhreifen ohne jede Bohrung kräftigere Kompensationsbewegungen ausführt als ein solcher mit der üblichen Bohrung für die Regulierschraube. Es ist dabei auch zu bedenken, daß die Zentrifugalkraft bestrebt ist, den Reifen an der Stelle seines Zusammenhängens mit dem Schenkel am meisten zu beanspruchen; man sollte ihn darum an jener am meisten gefährdeten Stelle nicht durch eine Bohrung schwächen! Die heute übliche Form (Abb. 6) der Unruh stammt in der Hauptsache noch aus der ersten Zeit der Chronometrie, und damals gab es wichtigere Fehlerquellen zu ergründen und zu beseitigen, als sich um ein Loch mehr oder weniger im Unruhreifen zu kümmern. Daß die Unruhen, was ihre äußere Gestalt betrifft, noch heute so sind wie vor 100 Jahren, liegt nicht an

dem, der sie herstellt, sondern an denen, die sie in Auftrag geben. Wenn man die Regulierschraube nicht mehr über dem Schenkel anbringen will, muß man einen anderen Platz dafür ausfindig machen. Die Uhrmacherschule in Glashütte läßt seit einigen Jahren von Herrn Griebßach Unruhen anfertigen, die für Tischchronometer von etwa 50—53 mm Plattendurchmesser bestimmt sind. Diese Unruhen, die einen Reifendurchmesser von 18 mm haben, besitzen nach Art der meisten Nickelstahl-Kompensations-Unruhen vier arbeitende Vierteileisen mit vier Massen und tragen zwei Regulierschrauben, die am äußersten Ende von zwei Reifen sitzen, so daß die geschwächte Stelle nicht dort sitzt, wo die Reifen arbeiten und die Masse bewegt (Abb. 5).

Es sind bisweilen Bedenken laut geworden, ob nicht etwa die Beschwerung zweier Reifen an ihrem äußersten Ende unerwünschte Begleiterscheinungen in bezug auf den sekundären Fehler und die Einwirkung der Zentrifugalkraft haben könnte. Wir waren von vornherein überzeugt, daß das durchaus nicht der Fall sein könnte oder nur in ganz ungedeutetem Ausmaße, und die Gangergebnisse weisen ganz auffällige Vorzüge auf gegenüber denjenigen von gleichen Uhren, deren Unruh-Reifen mit irgendwelchen Bohrungen am arbeitenden Teil des Reifens versehen waren. Die Kompensationsarbeit der Unruhen ohne Bohrungen ist so

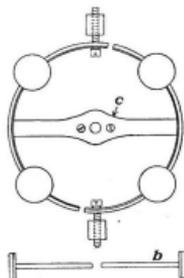


Abb. 5

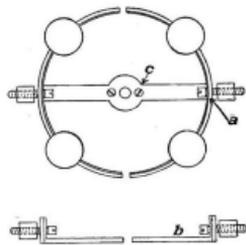


Abb. 6

stark, daß die Massen den günstigsten Platz erhalten konnten in bezug auf den sekundären Fehler, und das ist bei kleinen Unruhen selten, wenn sie vier Massen haben. Die Einwirkung der Zentrifugalkraft war in überraschendem Maße verringert, und dadurch wird die Konstruktion der Spiralfederendkurven erleichtert! Schon vor langen Jahren machte Herr Griebßach auf einen anderen Baufehler der üblichen Chronometerunruhen aufmerksam, der darin besteht, daß die Unruhen nur von einer Seite aus gedreht werden (Abb. 6b), weil es die bisherige Bauweise der Chronometer so verlangte. Derartige Unruhen haben die Neigung, nach dem Aufschneiden unflach zu werden, eben weil durch den einseitig sitzenden Schenkel eine einseitige Spannung zurückbleibt, die in dem Maße ist, das Gangergebnis zu beeinträchtigen. Es wird ohne Zweifel besser sein, die Unruhen von beiden Seiten auszudrehen (Abb. 5 bei b), so daß der Schenkel genau in halber Höhe des Reifens sitzt. Meiner Ansicht nach ist die Unruh dann noch besser gegen die Beanspruchung durch die Zentrifugalkraft gesichert; auch erfordert eine solche Anordnung ganz selbstverständlich eine bessere Placierung der Regulierschrauben. Es sei auch auf die heute übliche Form des Schenkels hingewiesen (Abb. 5c), die eine sehr beachtliche Verbesserung gegenüber der alten englischen Form darstellt (Abb. 6 bei c.) Eine deutsche Chronometerunruh ist ohne diesen vernünftigen gestalteten Schenkel nicht mehr denkbar. Ihr Urheber ist Direktor William Meyer, Hamburg, dem die

deutsche Chronometrie noch viel Wichtigeres zu danken hat, nämlich die heute noch üblichen und so gut bewährten Verhältniszahlen zwischen Nickelstahl und Messing. Sicher ist, daß Herr Griebßach bereit ist, wohlgegründeten Vorschlägen zum Bau von neuartigen Unruhen zur Verwirklichung zu verhelfen; es sei nur an sein Kunststück aus dem Jahre 1901, veröffentlicht in Nr. 21 der Deutschen Uhrmacher-Zeitung jenes Jahrganges auf Seite 333, erinnert, nämlich die Anfertigung einer Garrardschen Chronometerunruh aus einem Stück, eine Arbeit, deren Ausführungsmöglichkeit bis dahin angezweifelt wurde.

Über die Spiralfeder und die Möglichkeiten ihrer Verbesserung will ich mich hier nicht verbreiten. Das ist eine Sache, die ganz für sich behandelt sein will, und der ohne das Rüstzeug höherer Mathematik nicht bezukommen ist. Es sollte aber gerade diese Abhandlung einmal ganz ohne Formeln erscheinen, damit niemand, erschreckt durch deren Anblick, das Beste überschlägt. Immerhin wäre in den vorangegangenen Besprechungen eine Formel manchmal besser angebracht gewesen, und dem Eingeweihten wäre sie gewiß schneller verständlich als die vielen Worte.

Über den Vorschlag von Fr. Vetterlein wird vielleicht eine spätere Zeit von neuem urteilen; denn vielen Ideen ist es bekanntermaßen schon so gegangen, daß sie bei ihrem Erscheinen zunächst beiseitegelegt wurden, um später, nachdem allerhand Grundbedingungen sich verändert hatten, mit Eifer wieder hervorgeholt zu werden. Wer kann heute sagen, daß die Vetterleinschen Spiralfeder nicht eines Tages zu irgendeinem Zwecke hochgeschätzt sein werden?

Viele Verbesserungsversuche, soweit es die Spiralfeder angeht, werden mit der Befestigung der Klinge an Rolle und Klötzchen angestellt. Anfänger glauben, daß das Anstecken der Spirale mit gewaltsam festgeklemmten Stiften etwas Brutales ist, daß die Spirale sich davon belästigt fühlt. Doch das kraftvolle Feststecken will sie gerade haben. Alle Klemm- und Schraubeneinrichtungen halten eine Sechronometer-Spiralklinge nicht entfernt so sicher fest als der übliche Stift, wenn er richtig gemacht ist. Eine Spiralfeder ist niemals zu fest angesteckt, es sei denn, daß der Stift die Klinge beschädigt. Soweit soll der Eifer natürlich auch nicht gehen. An einer Sechronometerspirale gibt es, nachdem sie einmal aufgesetzt ist, nichts mehr zu ändern, was die Ansteckungspunkte betrifft. Ein Abstecken und Wiederumstecken soll möglichst nicht vorkommen. Man muß sich vorher klar sein, was man zu machen hat, und nachdem nach wohlherwogenen Plänen die Kurven gebogen und dabei die Lage der Ansteckungspunkte zueinander beizeiten festgelegt wurde, soll die Spiralfeder endgültig angesteckt werden. Wenn so große Fehler in den Gangleistungen auftreten, daß eine Verbesserung nur durch Veränderungen so schwerwiegender Art, wie es das Ab- und Wiederanstecken bedeutet, ausgeführt werden kann, dann sind erhebliche Fehler schon in der ersten Anlage beim Aufsetzen der Spiralfeder gemacht worden. Es ist ganz selbstverständlich, daß aller Arbeit an der Spiralfeder das Ziel vorschwebt, isochrone Schwingungen (mit einer gewissen Einschränkung!) zu erzielen. Das zu tun, wäre eine einfache Sache, wenn die Zentrifugalkraft nicht auf die Unruhmassen wirkte, wenn die Unruh keine Zapfen brauchte und daran kein Öl, wenn es keinen Luftwiderstand gäbe, wenn keine Auslösung der Hemmung und kein Antrieb nötig wäre und wenn der Totpunkt nicht ein wichtiger Faktor wäre. Eine vollkommene Spiralfederkurve bedarf bei ihrer Berechnung der Berücksichtigung aller dieser „Wenn“. Dem Praktiker mit wissenschaftlich begründeten Angaben aller erwähnten Arten an die Hand zu gehen, wird eine der nächsten und wichtigsten Aufgaben der Theorie sein.

Es soll hier nicht ein abfälliges Urteil über alle Spiral-Feststeckeinrichtungen gesprochen sein, im Gegenteil, in

Taschenuhren haben sich manche davon sehr gut bewährt. Aber in diesen Fällen handelt es sich auch immer um Spiralklingen von ziemlicher Zartheit, welche sich auf jede Art besser feststecken lassen als der dicke, steife, harte Draht einer Seechronometerspirale.

Wirklich der Verbesserung bedürftig sind in jedem Fall die Eingriffe. Daß man die Größen von Rad und Trieb, d. h. die vollen, meßbaren Durchmesser mit jeder gewünschten Genauigkeit herstellen kann, bedarf keiner Erklärung; ebenso ist über die Eingriffsentfernungen kein Wort zu verlieren, da auch sie ohne besondere Schwierigkeit völlig genau einstellbar sind. Das Sorgenkind sind ausschließlich die Zahnformen. Es dürfte an der Zeit sein, zu erwägen, ob nicht die Zykloidenverzahnung zunächst für Pendeluhren und Seechronometer zu verlassen ist, um sich der Evolventenverzahnung zuzuwenden. In der Großtechnik hat die Kenntnis der Verzahnungen ganz ungeahnte Bereicherungen erfahren, dort werden Zahnräder mit idealen Zahnformen für Leistungen von einer Größe erzeugt, die noch vor zehn Jahren als phantastisch bezeichnet werden mußte. Die überraschenden Erfolge auf diesem Gebiete sind nur möglich geworden durch die Herstellung der theoretisch richtigen Zahnform. Ich glaube, Rad und Trieb in der Präzisionsuhr der Zukunft werden Evolventenverzahnung haben, am besten vielleicht den altbekannten Wolfszahn. Wahrscheinlich würde ein Konstrukteur eines großen 20 Tausend PS-Turbinen-Zahnrad-Getriebes sehr erfreut sein über die Eigenschaft unserer Uhräder, daß sie unter allen Umständen nur nach einer Seite zu treiben brauchen; denn etwas so bequemes ist in der Großmechanik ziemlich selten. Sonderlich bei großen Umfangsgeschwindigkeiten, wie sie bei uns, außer bei Schlagwerken, gar nicht vorkommen, muß der Maschinenbauer mit einer gelegentlichen Beanspruchung der Rückseite der Zähne rechnen, auch beim Antrieb nach nur einer Richtung, z. B. bei Belastungsänderungen.

Da die Rückseite unserer Zähne niemals arbeitet, so braucht man auch keine symmetrischen Zähne anzuwenden, sondern einseitige mit Evolventenlaufläufche, eben unsere alten Wolfszähne. Für den, der sich mit den Verzahnungen in der Großmechanik schon etwas eingehend beschäftigt hat, gibt es keine Zweifel mehr darüber, daß die Zykloide nicht mehr so gut wie allein herrschend in der Uhrmacherei bleiben kann. Solange die Herstellungsweisen der Verzahnungen so unvollkommen waren wie es bis vor wenigen Jahren der Fall war, hatte die Zykloidenverzahnung viel Vorteile für den Uhrmacher; der größte davon bestand in der Möglichkeit des Wälzens der Räder, wodurch einige Mängel in ihrer Herstellungsweise weniger fühlbar wurden. Wenn erst die geistreichen Methoden der Zahnformgebung aus der Großmechanik ihren Weg bis zu jenen Stätten gefunden haben werden, die den Uhrmacher mit Werkzeug versorgen, dann wird ein neuer großer Fortschritt zunächst in der Chronometrie zu erwarten sein. Selbst kann der Uhrmacher vor der Hand noch nichts anderes dazu tun, als seine Wünsche laut zu äußern.

Es wurde in dieser Abhandlung schon einmal gesagt, daß kein Gang in bezug auf gleichmäßige Antriebskraft so empfindlich ist, wie der Chronometergang. Er spricht auf jeden schlechten Eingriff sofort an. Beispielsweise kann man einen fehlerhaften Eingriff des Schneckenrades in das Minutentrieb mit überraschender Deutlichkeit durch große Veränderungen des Schwingungsbogens der Unruh feststellen. Wenn man nun auch isochrone Schwingungen erzielen kann, so stören schlechte Eingriffe gerade im Seechronometer die Reglage doch mehr als in jeder anderen Uhr. Das macht sich durch die tägliche Variation und durch Sprünge bemerkbar, und in dieser Hinsicht sind die Bestrebungen, einen Gang mit konstanter Kraft zu schaffen, ganz verständlich. Gäbe es eine gute derartige Hemmung, dann würde ich sie anwenden, nicht um die Schnecke entbeh-

lich zu machen, die ich niemals missen möchte, sondern um die Unannehmlichkeiten der immer unvollkommenen Eingriffe zu vermeiden. Die beste Hemmung mit konstanter Kraft, die überhaupt denkbar ist, würde immer noch nicht das Ideal vorstellen; denn die Unruh braucht gar nicht einmal eine konstante Kraft, sie würde bei Zuführung derselben in der Wärme doch mehr schwingen als in der Kälte, aus denselben Gründen, aus denen das Pendel von Pendeluhren mit konstanter Kraft bei wechselnder Temperatur auch seinen Schwingungsbogen verändert. Sowohl Pendelfeder wie Spiralfeder werden in der Wärme schlaffer, mithin der Kraftbedarf geringer. Bei der Unruh wird diese Wirkung noch erhöht durch die Veränderungen des Öls an den Unruhzapfen.

Durch Kleinarbeit ließe sich an dem jetzt üblichen Instrument noch manches vervollkommen. Dazu wird zunächst die Arbeit des Theoretikers nötig sein, um die notwendige Verbesserung der Eingriffe in die richtigen Wege zu leiten und um wenigstens dem Anfänger direkte Angaben in die Hände geben zu können für die Berechnung und Ausführung solcher Spiralkurven, die ohne mehrmalige Korrekturen möglichst von vornherein das richtige Gangresultat ergeben; denn alle bisherigen Methoden, Kurven zu berechnen, sind unzulänglich. Diese beiden Aufgaben sind ohne Zweifel sehr schwierig zu lösen. Es bedeutet das auch wieder zäheste Kleinarbeit. Der Erfolg, veredelte Gangresultate, ist ein verbürgt sicherer, vielmals sicherer als bei Anwendung einer noch so geistreichen Neukonstruktion.

Es heißt gemeinhin, mit Taschenchronometern sei ein gutes Gangresultat nicht zu erzielen. Das stimmt und stimmt auch wieder nicht. Sicher ist soviel, daß ein von einem wirklichen Chronometermacher hergestelltes und mit einer für das Tragen besonders eingerichteten Hemmung ausgerüstetes feines Taschenchronometer auch beim Tragen in der Tasche ganz hervorragend gut geht. Immerhin ist es nötig, daß der Besitzer nicht die Gewohnheit hat, täglich einige Shimmys oder ähnlich heftige Bewegungen auszuführen. Die allermeisten Taschenchronometer, besonders die mit einfacher Wippe, enttäuschen. Es genügt eben nicht, an irgendein sonst für den Anker gang geeignetes Laufwerk irgendeine Chronometerhemmung anzubauen. Der Chronometergang für Taschenuhren harret noch einer ähnlichen Festlegung seiner Ausführungsregeln, wie wir sie beim Anker gang erlebt haben. Welch ein Fortschritt zwischen einer Ankerhemmung von vor 40—50 Jahren mit ihrer langen schweren Gabel und ihrer einfachen Rolle und der heutigen so völlig sicher funktionierenden Ausführungsart! Es ist noch gar nicht sehr lange her, daß es als feststehend galt, eine Ankeruhr eigne sich nicht zum Tragen beim Reiten. Man sehe den Fragenkasten älterer Fachzeitungen nach! Das ist etwa dasselbe, als wenn es jetzt noch heißt, ein Taschenchronometer eigne sich nicht zum Tragen in der Tasche! Da die jetzigen Ankeruhren eine fast unbeschränkte Regulierfähigkeit besitzen, besteht kein Bedürfnis, Taschenchronometer in erheblicher Menge zu erzeugen. Geschieht das in einzelnen Stücken, so sei folgendes empfohlen: Erstens: Große, gleichmäßige Zugkraft, erzielt durch Schnecke oder zwei hintereinandergeschaltete Federhäuser (eine Ausführungsart dieser Anordnung, auf der Deutschen Uhrmacherschule zu Glashütte (Sa.) in mehreren Stücken mit glänzendem Erfolge gebaut, soll in Kürze veröffentlicht werden). Zweitens: Hemmung mit Gangfeder. Das Ungleichgewicht schadet durchaus nicht, wenn die Feder von der denkbar zarresten Ausführung ist. Es ist ja auch kaum einer von unseren heutigen Anker n im Gleichgewicht! (Dieser kleine Mangel wird zur Stunde in einer Glashütter Uhrenfabrik zu beseitigen versucht. Der Name des Ausführenden verbürgt tadelloses Gelingen.) Die Gangfeder ist dem Anker gegenüber in einer Beziehung im Vorteil, wird sie doch nicht, wie die-

ser, nur durch den „Zug“ auf der Ruhe festgehalten, sondern noch dazu von ihrer Federkraft. Bei jedem Chronometergang, sei er für See-, sei er für Taschenchronometer bestimmt, ist peinlich darauf Bedacht zu nehmen, daß sich die Zahnschneidungen des Gangrades so wenig als möglich abnutzen können. Das ist etwas, was vom Chronometergang einfach nicht zu trennen ist; schon beim Einrichten eines neuen Ganges muß man darauf Rücksicht nehmen, indem man den Hebestein am eintretenden Zahn (Abb. 1 bei a) mit mehr Luft vorbeigehen läßt als am ausgetretenen (bei b), denn mit einsetzender Abnutzung der Zahnschneidungen rückt das auf Ruhe liegende Gangrad in seiner Drehrichtung etwas vor, so daß mit der Zeit die Luft am eintretenden Zahn geringer, am austretenden größer wird. Beim Ankergering ist ein abgenutztes Gangrad nicht denkbar, beim Chronometergang ist es eine Unvermeidlichkeit, und deshalb muß man stets damit rechnen. Immer wieder wurde aus guten Gründen in dieser Abhandlung die Abnutzung der Gangradzahnschneidungen erwähnt und bei allen möglichen Dingen darauf Rücksicht genommen. Man unterschätze niemals die große Wichtigkeit dieses Punktes!

Will man im Taschenuhrchronometer die Gangfeder aus irgendwelchen Gründen nicht verwenden, dann kommt nur die Wippe mit Sicherung nach J. Großmann in Frage (siehe Irk „Der Chronometergang“, Abb. 21). Für die besonderen Zwecke der Glashütter Bauart ist dieser Gang von Richard Lange in diejenige Ausführungsform gebracht worden, die den Glashütter Taschenchronometern eine Zuverlässigkeit gleich den Ankeruhren gegeben hat, ein schonendes Tragen vorausgesetzt.

Aus dieser Abhandlung dürfte hervorgehen, daß man in der Chronometrie nicht auf große Umwälzungen wartet, von denen man eine erhebliche Verbesserung der Gangergebnisse erhoffen könnte, sondern man glaubt, dieses Ziel durch Ausschaltung vieler Kleinigkeiten zu erreichen. Daß Vorschläge auftauchen könnten, welche die so sehr mühevoll hergestellte Chronometrie erleichtern, ist unwahrscheinlich; man sieht im Gegenteil das Heil in einer noch viel präziseren Arbeit, bei der man die Mitwirkung der Wissenschaft zunächst in der Weise herbeiwünscht, wie sie hier bei Besprechung der Eingriffe und der Spiralfeder-Endkurven angedeutet wurde.

Quelle: Deutsche Uhrmacher-Zeitung Nr. 35 vom 30.08.1924 S.547-549; Nr. 36 vom 06.09.1924 S. 565/566; Nr. 38 vom 20.09.1924 S. 603-605; Nr. 41 vom 11.10.1924 S. 658-661; Nr. 45 vom 08.11.1924 S. 729-731; Nr. 47 vom 22.11.1924 S. 762-765