Graham's ruhende Pendelhemmung für Thurmuhren.

„Uebrigens ist ein Pendel, gleichviel von welcher Länge, nur dann zu reguliren, wenn es die bewegende Kraft beherrscht und nicht den wechselnden Zuständen derselben unterworfen ist."
Saunier.

(Schluss.)

Ein Beispiel wird uns Klarheit über die gestellte Frage verschaffen: ob mit kurzen Pendeln und ruhender Hemmung bei Thurmuhren auch zufriedenstellende Resultate zu erzielen seien.

Nehmen wir an, eine, der durch ihren vorzüglichen Gang berühmten Thurmuhren von Vulliamy müsste baulicher Veränderung wegen zu einer Sekundenpendeluhr umgearbeitet werden. Die Pendel dieser Uhren haben 3,975 m Länge und sind 67 Kilo schwer, die Kraft wirkt an einem Hebelarm von 12 cm Länge, mit, soweit ich Erfahrungen einziehen konnte, einem Druck von ca. 200 gr. Die Hebel verhalten sich wie 1 zu 33 und die Kräfte wie 1 zu 385, also verhält sich die Kraft zur Last wie 1 zu 12705 und um also das gleiche Verhältnis bei dem um $^1/_4$ so langen Pendel zu haben, müsste das Gewicht desselben das vierfache, also 268 Kilo betragen. Dass aber ein so schweres Pendel bei einer stärkeren Erschütterung sofort stehen bleiben würde, kann jeder leicht einsehen. Aber trotzdem würde ein solches Monstrum dennoch nicht dieselbe Regelmässigkeit ergeben; durch eine kurze Betrachtung der Pendelbewegung hoffe ich meine, vielleicht irrthümlichen Ansichten klar zu legen.

Wenn ein Pendel ruhig hängt, so ist eine gewisse Kraft erforderlich, um es in Bewegung zu setzen; je weiter es von der senkrechten Linie gehoben wird, um so grössere Kraft ist erforderlich. Die Grösse dieser Kraft lässt sich sowol durch Versuche wie durch trigonometrische Berechnung ermitteln. Hat man an einem Faden eine Kugel von 1000 gr Gewicht hängen, so ist am Umfang derselben zur Bewegung folgender Druck erforderlich, gleichviel wie lang der Faden ist:

für 1 Grad	= 1,745 gr	für 5 Grad	= 8,716 gr
„ 2 „	= 3,490 „	„ 6 „	= 10,453 „
„ 3 „	= 5,234 „	„ 7 „	= 12,187 „
„ 4 „	= 6,976 „	„ 8 „	= 13,917 „

abgesehen von der bei grösseren Schwingungen, auch grösser werdenden Luft- und Aufhängungsreibung.

Mit dieser erhaltenen Kraft stürzt nun das Pendel zurück; wird ihm aber unterwegs etwas von der Kraft geraubt, so wird die Bewegung eine langsamere, weil die beschleunigende Fallkraft eine geringere geworden ist. Diese eben ermittelte Kraft ist aber nur richtig am Kehrpunkt des Pendels, wo die Bewegung noch gleich Null ist; bei den Fallbewegungen wächst die Kraft mit dem zurückgelegten Weg und würde also im Gleichgewichtspunkt am grössten sein. Leider findet aber die grösste Reibung oder der grösste Kraftraub beim Grahamhaken gerade im Kehrpunkt des Pendels statt.

Versuchen wir einmal diesen Kraftverlust in Zahlen auszudrücken: Gesetzt, die früher zitirte Cosmae-Thurmuhr besässe bei gleicher Antriebskraft des Steigrades (300 gr) ein Pendel von 1000 mm und von gleicher Schwere wie jetzt (20000 gr), und einen Graham-Anker mit 100 mm langen Hebelarmen und machte eine Schwingung von 8°, 4° Hebung und auf jeder Seite 2° Ueberspielung; auf jeder Seite also 4° Entfernung von der Senkrechten. 4° erfordern laut obiger Tabelle für ein 1000 gr-Pendel rund 7 gr, also 20000 gr = 140 gr. Es ist durch Versuche ermittelt, dass wenn ein Metallkörper von 100 gr Gewicht auf einer geölten Metallfläche fortgeschoben werden soll, dazu eine Kraft von 15 gr erforderlich ist. Da nun der Druck auf den Hebelarm gleich 300 gr, so beträgt also die Reibung auf den Ruhebögen der Arme $3 \times 15 = 45$ gr. Da nun aber das Pendel 10 mal länger ist, wie der reibende Hebel, so ist am Schwingungsmittelpunkt des Pendels also auch nur $4^1/_2$ gr Kraft nöthig, um den Anker aus der Ruhelage herauszureissen. Also besitzt das Pendel nicht mehr eine Kraft von 140 gr, sondern nur 140 weniger $4^1/_2 = 135^1/_2$ gr. Da nun das Verhältnis von $4^1/_2$ zu 140 gleich ist, rund wie 1 zu 31, so muss also die Bewegung des Pendels auch um den 31. Theil langsamer werden. Wäre das Pendel ohne Uhrwerk vorher vollständig regulirt gewesen, so müsste aus diesem Grunde die zu einem Sekundenpendel (rund 1000 mm) berechnete Uhr in Verbindung mit diesem Pendel ganz bedeutend zu spät gehen. Nehmen wir diesen Verlust willkürlich bei jedem Umkehren zu $^1/_{100}$ Sekunde, so beträgt derselbe beim Sekundenpendel in der Stunde $3600 \times 0{,}01 = 36$ Sek., beim Zweisekundenpendel, das in derselben Zeit nur 1800 mal kehrt nur 18 Sekunden, wenn die Verlangsamung der beiden gleich wäre.

Wäre das Pendel aber wie jetzt 4 m lang, so würde bei sonst gleichen Verhältnissen die Verlangsamung nur $^1/_4$, also den 124. Theil betragen. In Wirklichkeit müssten noch einige Faktoren in Rechnung gebracht werden und der Verlust ist in der Praxis ein so grosser nicht; so würde z. B. die Kraft des Steigrades beim Sekundenpendel nicht mehr 300, sondern der Uebersetzung wegen kaum noch 150 gr und die Reibung nur $22^1/_2$ gr und am Schwingungsmittelpunkt des Pendels $2^1/_4$ gr betragen. Wir hätten demnach beim Sekundenpendel bei jeder Schwingung eine Verlangsamung von $^1/_{62}$; also dennoch genau das Doppelte des Zweisekunden-Pendels; beträgt der Zeitverlust bei stärkerer Antriebkraft beim Zweisekunden-Pendel 18 Sekunden in der Stunde, so verliert also eine Uhr mit Sekundenpendel in derselben Zeit bei gleichem Pendelgewicht und gleichem Motor 72 Sekunden; wirkte aber der Radzahn mit gleicher Kraft auf das kurze Pendel, so würde der Verlust sogar 144 Sekunden betragen. Diese Zahlen sind im Ganzen wol zu hoch gegriffen; allein da mir aber nur daran liegt, den Beweis zu führen, dass ein längeres Pendel eine grössere Regelmässigkeit des Ganges ergibt, so darf ich auch wol recht in die Augen fallende, dicke Farben auftragen.

Der berühmte Berthoud führte seiner Zeit diesen Beweis durch Thatsachen aus. Er regulirte ein Pendel ganz genau und brachte es dann mit einer Uhr mit Graham-Anker von $5^1/_2{}^0$ Hebung in Verbindung und gab der Uhr nur soviel Triebkraft, dass der Gesamtschwingungsbogen 8° betrug und siehe da, die Uhr verlor 12 Minuten in 24 Stunden; als er die Kraft vergrösserte, verlor sie sogar 14 Min. 48 Sekunden. Einen recht schlagenden Beweis der Verlangsamung durch die Ruhereibung erlebte auch ich vor einigen Wochen. Ein 80 schlägiger Gewichtsregulator machte genau so viel Gang, wie die Emailleskala breit war; leider bestand der ganze Weg in Hebung. Die Uhr ging recht gut, so lange wie die Ankerklauen gut geölt und keine Erschütterungen stattfanden; dann fand sie es aber auch sofort für gut, von den Strapazen durch Stillstehen auszuruhen. Es war also Bedingung, die Gangtheile alle 6 Wochen zu ölen. Vor einiger Zeit war das Reinigen des Werkes nothwendig. Ich liess die Uhr nach demselben einige Tage gehen und fand, dass sie wieder richtig ging. Jetzt nahm ich die beiden Klauen heraus, gab deren Hebeflächen nur die halbe bisherige Höhe und schob die Klauen wieder derart im Anker zurecht, dass der Zahn nur eben auf Ruhe fiel. Die Uhr wieder in Thätigkeit gesetzt, machte jetzt nur ganz genau auf der Skala die halb so grosse Bewegung; nach 5 Minuten (400 Schwingungen) machte das Pendel genau wieder den alten Bogen, jetzt natürlich aber mit etwa 2° Hebung und 2° Ergänzungsbogen, und ist bis heute dabei geblieben, verlor aber in 24 Stunden sieben Minuten. Auch bei dieser Uhr war das 559 mm lange Pendel zu kurz resp. zu leicht im Verhältnis zum Hemmungshebel. Gibt man dem Haken aber eine derartige Form, dass am Kehrpunkt des Pendels das Rad selbst das Pendel etwas herunter drückt, oder wie der technische Ausdruck lautet, dem Anker etwas Rückfall, so wird der Kraftverlust bei richtigem Verhältnis der Theile untereinander fast ganz durch diesen Kraftzuschuss wieder ersetzt.

Die Praxis hat diesen Schluss aufs glänzendste bewährt; Thurmuhren mit schwachem Rückfall haben ganz ausgezeichnete Gänge geliefert.

Selbstredend muss der Rückfall um so stärker werden, je kürzer und leichter das Pendel resp. je kleiner die Differenz