$$(45)\quad \left[\frac{b\,c\,\alpha_0}{2\mathfrak{f}} + l\,(\alpha_2 - \alpha_1)\right] \alpha_1 = \frac{n}{6}\,(\alpha_3 - \alpha_2)^2\,(2\alpha_3 + \alpha_2) + \frac{m}{2}\,(\alpha_3 - \alpha_2)\,(\alpha_3 + \alpha_2),$$

auf der rechten Seite

$$-\alpha_2 = \alpha_3 - 2\varepsilon\,.$$

Dieses ε ist also der Winkelabstand, den die Mitte des Impulsintervalles gegen den Totpunkt einnimmt; es wird durchweg eine kleine Größe sein, deren höhere Potenzen zu vernachlässigen sind. Dann ergibt sich:

$$(46)\quad \left[\frac{b\,c\,\alpha_0}{2\mathfrak{f}} + l\,(\alpha_2 - \alpha_1)\right] \alpha_1 = \frac{2}{3}\,(\alpha_3 - \varepsilon)\left[n\,(\alpha_3^{\,2} + \varepsilon\alpha_3) + 3m\varepsilon\right].$$

Werden nun vorläufig die kleinen Glieder auf der linken Seite vernachlässigt, so ergibt sich die Gleichung

$$(47)\qquad n\,(\alpha_3^{\,2} + \varepsilon\alpha_3) + 3m\,\varepsilon = 0.$$

1. Ist $\varepsilon = 0$, so wird

$$(48)\qquad n = 0,$$

d. h. wenn man die Auslösung vernachlässigt und das Impulsintervall so legt, daß es durch den Totpunkt ($-\mathfrak{f}$) der Schwingung halbiert wird, so ist die Kurve des übertragenen Kraftmomentes, wie zu erwarten war, eine wagrechte Gerade. In diesem Falle wäre also die »*transmission uniforme de la force*« die Bedingung für den Isochronismus.

2. Ist $\varepsilon > 0$, was in der Praxis wohl am häufigsten vorkommt, so gilt die Bedingungsgleichung 47:

$$(49)\qquad n = -\,m \cdot \frac{3\,\varepsilon}{\alpha_3\,(\alpha_3 + \varepsilon)}\,.$$

Ist also der Impulsweg vor dem Totpunkte kleiner als hinter diesem, so muß die Hemmung notwendig so eingerichtet sein, daß die Größe des übertragenen Momentes nach hinten zu abfällt, und zwar ist die Tangente (n) des Neigungswinkels durch Gleich. 49 bestimmt, worin ε der halbe Unterschied der beiden Wege ist.

3. Der Fall $\varepsilon < 0$ bietet vorläufig wenig Interesse. Wir kommen sogleich in anderem Zusammenhange darauf zurück. —

Nun wollen wir in Gleich. 46 auch das Korrektionsglied berücksichtigen. Die Gleichung ergibt dann für die Neigung

$$(50)\quad n = -\,\frac{1}{\alpha_3\,(\alpha_3 + \varepsilon)} \cdot \left\{3\,m\,\varepsilon + \frac{3}{2}\,\frac{1}{\alpha_3 - \varepsilon}\left[\frac{b\,c\,\alpha_0}{2\mathfrak{f}} + l\,(\alpha_2 - \alpha_1)\right](-\alpha_1)\right\}.$$

Dieser Wert wird bei normalen Verhältnissen nicht stark von dem einfacheren in Gleich. 49 abweichen, weshalb letzterer im allgemeinen vorzuziehen sein wird.

43. Unsere Betrachtungen über die Form der Übertragung des aufgeprägten Momentes waren gemäß dem linearen Ansatze in diesem Abschnitte bisher darauf beschränkt, die Bedingungen des Isochronismus für einzelne Fälle aufzustellen, wenn eben diese Übertragungsgröße gleichförmig im ganzen Impulsintervall ab- oder zunimmt. Unser Satz über den Isochronismus gilt aber ganz allgemein. Wir können das Impulsdiagramm also auch durch eine Kurve begrenzen. In der Tat wird es wohl meist nötig sein, von der einfachen Form des von einer geraden Linie begrenzten Diagramms abzuweichen, weil bei äquidistanten Grenzen des Störungsintervalls sonst im Anfang das Übertragungsverhältnis sehr groß gewählt werden müßte, was nicht wünschenswert erscheint. Immerhin haben die von uns angegebenen Typen den Wert von Vergleichstypen für die wirklich zu benutzenden Diagrammformen.

Vorstehende Ausführungen gelten für den Fall, daß das Störungsintervall auf dem Schwingungswege festgelegt ist, d. h. in Gleich. 43 die α_1, α_2, α_3 gegeben sind und die m und n bestimmbar bleiben. Für diesen Fall, der in sehr vielen Hemmungen eintritt, läßt sich also nur durch passende Form der Hebeflächen eine geeignete Übertragung vermitteln. Ob freilich die Schwierigkeiten, die bei der Formgebung der Hebeflächen auftreten, durch die Verbesserung des Ganges aufgewogen werden, muß in das Ermessen des Praktikers gestellt werden. Es wird wohl selten vorkommen, daß man bei Ankeruhren eine Genauigkeit verlangt, die beim Fall der Amplitude von $^3/_2\pi$ auf π größer ist als ein bis zwei Sekunden täglichen Ganges.

44. Beim Chronometer dagegen wird ein solcher Fehler sehr wohl ins Gewicht fallen. Hier ist der Isochronismus auch weit einfacher zu erzielen. Bei der Chronometerhemmung wie bei allen Hemmungen, die einseitig oder auch doppelt, aber mit getrennten Übertragungsmechanismen, wirken, ist das Impulsintervall nicht an eine bestimmte Stelle des Schwingungsweges gebunden. Man kann also das Übertragungsdiagramm verschieben, bis der Schwerpunkt in den Totpunkt fällt. Dann ist der Zeitzuwachs gleich null.

b) Ist also das Störungsintervall nicht an eine bestimmte Stelle des Schwingungsweges gebunden, so läßt sich Isochronismus erzielen durch eine geeignete Verschiebung dieses Intervalls auf dem Schwingungswege. Die Übertragungsform der äußeren Kraft (und damit die Hebeflächen) brauchen nicht geändert zu werden.

Es sei eine Verschiebung des Impulsdiagrammes um den Winkel ξ nötig. Dann sind die neuen Grenzen des Intervalls α_1', α_2', α_3' mit den alten α_1, α_2, α_3 verbunden durch die Gleichung

$$(51)\qquad \alpha' = \alpha - \xi\,.$$

Die neuen Grenzen müssen, in Gleich. 45 eingesetzt, diese befriedigen. Führen wir nun für diese Grenzen die in Gleich. 51 gegebenen Werte ein und berechnen ξ, so ergibt sich:

$$(52)\quad \xi = \frac{\frac{n}{6}\,(\alpha_3 - \alpha_2)^2\,(2\alpha_3 + \alpha_2) + \frac{m}{2}\,(\alpha_3 - \alpha_2)\,(\alpha_3 + \alpha_2) - \left[\frac{bc\alpha_0}{2\mathfrak{f}} + l\,(\alpha_2 - \alpha_1)\right]\cdot\alpha_1}{\frac{n}{2}\,(\alpha_3 - \alpha_2)^2 + m\,(\alpha_3 - \alpha_2) - \left[\frac{bc\alpha_0}{2\mathfrak{f}} + l\,(\alpha_2 - \alpha_1)\right]}$$

oder, wenn wir wieder wie oben die kleinen Glieder in der eckigen Klammer vernachlässigen,

$$(53)\qquad \xi = \frac{\frac{n}{3}\,(\alpha_3 - \alpha_2)\,(2\,\alpha_3 + \alpha_2) + m\,(\alpha_3 + \alpha_2)}{n\,(\alpha_3 - \alpha_2) + 2\,m}\,,$$

worin natürlich die α wieder die alten sind.

Praktisch kann man so verfahren, daß man das Übertragungsdiagramm für die Chronometerhemmung aufstellt, ähnlich wie wir dies für die Ankerhemmung in Fig. 7, Artikel 15, getan haben. Bestimmt man dann die Abszisse des Schwerpunktes (etwa durch Ausbalanzieren des ausgeschnittenen Diagramms auf einer Messerschneide), so gibt deren Abstand vom Totpunkte den Winkel ξ an, um den das Diagramm (und damit an der Hemmung selbst die Auslösung) verschoben werden muß.

Der hier entwickelte Gedanke, das Impulsintervall auf dem Schwingungswege zu verschieben, ist nicht neu. Die Verschiebung wird praktisch erleichtert durch eine Befestigungsart des Spiralklötzchens, wie sie Herr Ch. Rosat vor einigen Jahren entworfen hat.

45. Man sieht also, daß man durch Verbesserungen an der Hemmung den Gang der Uhr verfeinern kann. Die Korrektionen sind, wenn man von groben Fehlern absieht, ihrer Größe nach von zweiter Ordnung. Ihre Anwendung hat demnach nur Sinn, wenn am freien Regulator die Korrektion erster Ordnung durchgeführt ist. Mit den Korrektionen zweiter Ordnung (Hilfskompensation), die seit Jahren untersucht werden, stehen sie dagegen in der gleichen Reihe und dürfen neben ihnen sicher nicht vernachlässigt werden.