

## Nochmals: Schwerpunkt oder nicht?

Zunächst etwas Sprachliches. Eigentlich sollte es heißen: Auswuchtung oder nicht. Denn einen Schwerpunkt hat jeder Körper; es kommt bloß darauf an, wo er liegt, ob auf der Drehachse oder daneben. Der Verfasser der Betrachtung in Nr. 52, Jahrgang 1936, spricht in der Tat auch von mehreren Schwerpunkten, weil jeder „Teil“ der Unruh einen solchen hat. Geht man auf diesem Wege weiter, so kommt man schließlich zu unendlich vielen Teilchen und ebenso vielen Schwerpunkten. Uns interessiert aber nur der eine Schwerpunkt des gesamten schwingenden Systems; liegt er auf der Achse, so ist das System „statisch ausgewuchtet“, sonst nicht. Die Mechanik kennt außerdem noch die „dynamische Auswuchtung“; bei schweren, schnell laufenden Rädern, z. B. bei den Schaufelrädern der Dampfturbinen oder bei den Triebrädern der Lokomotiven, ist sie von größter Bedeutung; bei der Unruh aber kommt sie kaum in Frage. Trotzdem kann es dem Jünger eines technischen Faches empfohlen werden, sich einmal bei Gelegenheit ein solches Triebtrieb anzuzeigen (Bild 1, perspektivisch). An den Kurbeln K hängt das schwere Triebgesänge und belastet die Kurbelzapfen bei rascher Drehung mit gewaltigen Schleuderkräften Z, während zwei in den Rädern angebrachte Gegengewichte die Schleuderkräfte C erzeugen. Alle vier halten sich jederzeit gegenseitig das Gleichgewicht. Das nennt man eben dynamische Auswuchtung. Außerdem liegt der Gesamtschwerpunkt (einschließlich des Gestränges) bei S auf der Drehachse. Der Radsatz ist also auch statisch ausgewuchtet. Nebenbei bemerkt: Ebenso verhält es sich auch beim Erdball, der ja gar keine Lager hat, die irgendwelche Kräfte aufzunehmen vermöchten.

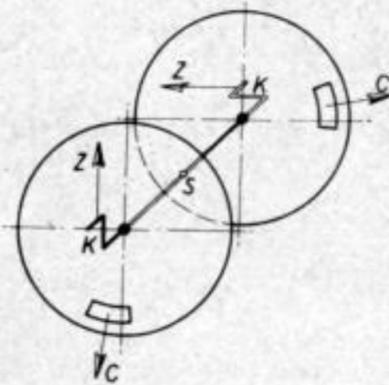


Bild 1

Und nun zurück zur Unruh. Der Verfasser behauptet, daß sich auch bei der statisch, aber nicht dynamisch ausgewuchteten Unruh Störungen des Ganges zeigen; das scheint mir nur möglich zu sein, wenn die Zapfenlöcher so weit sind, daß die Zapfen an ihnen trotz des Öles hin und her wackeln können. Ob sie das trotz der Kleinheit der auftretenden Schleuderkräfte wirklich tun, ist fraglich.

Wie sich die fehlende statische Auswuchtung, d. h. der neben der Drehachse liegende Gesamtschwerpunkt, auf den Gang auswirkt, hat bereits Julius Großmann in Le Locle durch Versuche festgestellt; nach seinen Untersuchungen kann sich der „Schwerpunkt“, je nachdem, im Sinne einer Beschleunigung des Ganges oder auch umgekehrt bemerkbar machen, ja er kann auch ganz unwirksam sein. Jedenfalls aber sind die Störungen bei kleinen Ausschlagwinkeln der Unruh am stärksten.

Man kann die Sache auch rechnerisch angenähert lösen. Eine genaue Untersuchung dieser Art würde freilich sehr umständlich werden, aber für die Zwecke der Praxis genügt eine gute Näherung. Der Gesamtschwerpunkt S liege bei vollkommener entspannter Spirale (Skizze 2) an der gezeichneten Stelle, also nicht am tiefsten Punkt. Sein Abstand e von der Mitte sei sehr klein. Dann ergibt die Rechnung, die wir hier wegen ihrer Umständlichkeit natürlich nicht wiedergeben können, folgendes Bild (Bild 3): Bei kleiner Schwungweite ist das Voreilen infolge der fehlenden Auswuchtung recht groß; bei wachsendem Ausschlag wird es immer kleiner, und

bei rund 220° einseitigem Ausschlag, d. h. bei einer Gesamtschwungweite von etwa 440°, verschwindet der Einfluß des Schwerpunktes, um sich bei noch weiterem Ausschlag in ein geringfügiges Nachbleiben zu verwandeln. Dies erreicht seinen Höhepunkt etwa bei 305° einseitigem Ausschlag. An dieser Stelle herrscht sogar eine Art von Isochronismus, wie bei der Unruh ohne Schwerpunkt mit Endkurven an der Spirale, aber nur in einem ziemlich engen Gebiet; d. h. die Schwingungsdauer ändert sich nicht wesentlich, wenn die Schwungweite von jenen 305° nach oben oder unten um einige Grade abweicht. Bei astronomischen Pendeluhren spielt dieser „Pseudoisochronismus“ eine erhebliche Rolle, hier aber ist er schon deshalb unwesentlich, weil die Schwungweite ja doch nicht dauernd in der Nähe von 305° bleibt.

Nun kommt aber noch der Einfluß des Winkels  $\alpha$  hinzu. Wäre  $\alpha = 0$ , d. h. läge der Schwerpunkt bei entspannter Spirale an seiner tiefsten Stelle, so wäre alles genau so, wie eben beschrieben wurde; hätte dagegen  $\alpha$  den Wert 90°, läge also der Schwerpunkt in gleicher Höhe mit der Achse, so wäre sein Einfluß auf den Gang so gut wie Null, obschon jetzt der Ausschlag nach beiden Seiten nicht mehr derselbe ist. Hat  $\alpha$  endlich irgendeinen Wert zwischen 0 und 90°, etwa so, wie die Skizze zeigt, so ist die Schwerpunktwirkung geschwächt. Mißt man den einseitigen Ausschlag der Unruh in Bogengraden, so beträgt das tägliche Voreilen in Sekunden etwa:

$$65\,000\,000 \cdot \frac{T^2}{r^2} \cdot e \cdot \cos \alpha \left[ 1 - \frac{\varphi}{141} + \frac{1}{4,3} \cdot \left( \frac{\varphi}{141} \right)^2 \right],$$

worin T die Schwingungsdauer der ungestörten Unruh, also etwa  $\frac{1}{5}$  Sek. r ist der Unruhhalbmesser und e der Abstand des Schwerpunktes von der Drehachse, beides in Millimetern. Ein Zahlenbeispiel: Der Halbmesser der Unruh betrage 7 mm, der Schwerpunktsabstand e 0,001 mm, der Ausschlag  $\varphi$  200 Bogengrade und die Uhr werde so gehalten, daß der Winkel  $\alpha$  45 Bogengrade wird; dann ergibt sich aus der Formel eine tägliche Voreilung infolge des Schwerpunktes von rund 20 Sek. (nachrechnen!). Man sieht, welchen riesigen Einfluß der Schwerpunkt auf die Lagenregulierung hat. Stellen wir uns einmal vor, der Schwerpunkt befinde sich bei entspannter Spirale, von der Drehachse aus gesehen, an derselben Seite wie der Bügel, von der Zeigerwelle aus gesehen, so

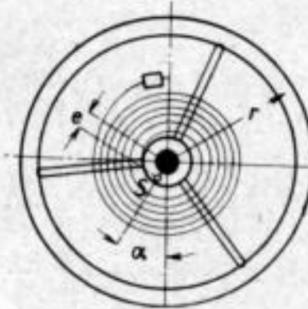


Bild 2

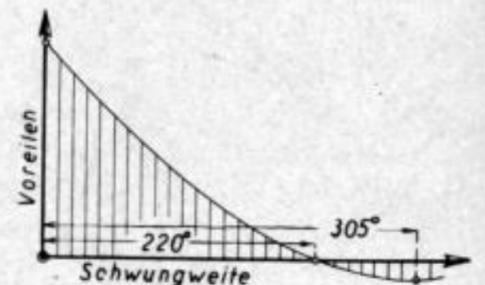


Bild 3

wird die Uhr bei Bügel unten stark voreilen (in unserem Beispiel um 28 Sek. je Tag, denn  $\alpha$  ist jetzt Null und  $\cos \alpha$  gleich 1); bei Bügel rechts oder links tritt kein störender Einfluß auf und bei Bügel oben würde ein tägliches Nachbleiben von 28 Sek. eintreten, denn jetzt ist der Abstand e ja negativ. Daraus ergibt sich die praktische Folgerung: Eine Uhr, die in Lagen reguliert werden soll, darf unter keinen Umständen einen „Schwerpunkt“ haben, auch nicht nach Temperaturänderungen, wenn sich die Kompensationsreifen mehr auf- oder zugebogen haben. Eine schwierig zu erfüllende Forderung!

(III/1296)