

wo er absteigt und somit fördernd wirkt; das Drehmoment, mit dem er das tut, ist offenbar $G \cdot h = G \cdot r \cdot \sin \varphi$, worin G das Gesamtgewicht des rotierenden Teiles und r die „Exzentrizität“ ist. Abb. 2 zeigt die Änderung des Momentes M während einer Drehung in Form einer „Sinoide“ genannten Schlangenlinie, die ohne weiteres verständlich ist.

Damit ist die Sache aber durchaus nicht abgetan. Nimmt die Drehgeschwindigkeit nämlich einen einigermaßen bedeutenden Wert an, wie es ja beim Minutenzeiger während des Vorrückens der Fall ist, so kommt noch die Zentrifugal- oder Schleuderkraft hinzu, die nach den Gesetzen der Mechanik im Schwerpunkt S selbst angreift und in Abb. 1 mit Z bezeichnet ist. Die Stärke der Schleuderkraft ist unschwer zu berechnen. Ist die Drehgeschwindigkeit so groß, daß bei gleichmäßiger Fortsetzung in der Sekunde n Umdrehungen der Achse und damit auch n Umläufe des Schwerpunktes stattfinden würden, so heißt die Zahl $2\pi \cdot n = 6,28 \cdot n$ die Winkelgeschwindigkeit der Drehung. 2π ist nämlich der Kreisumfang und bedeutet soviel wie „einmal herum“, und das geschieht eben in der Sekunde n mal. Ist weiter G das Gewicht des gesamten rotierenden Konstruktionsteils (Welle, Zeiger usw.) in Gramm und $g = 981$ die Be-

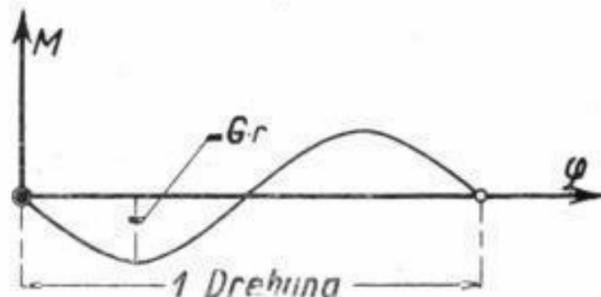


Abb. 2

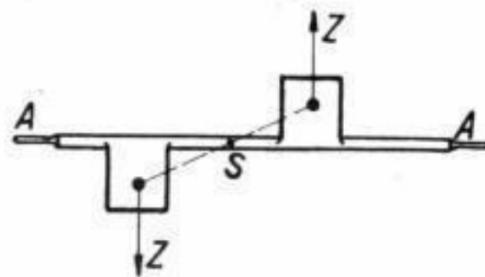


Abb. 3

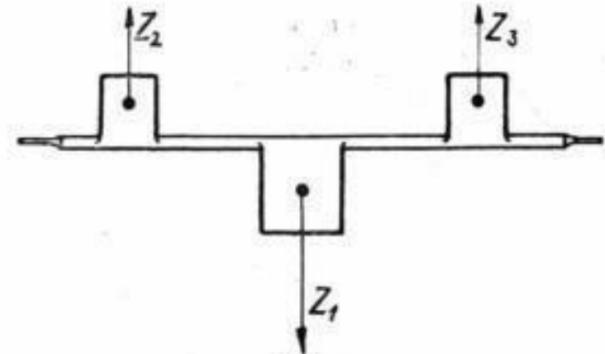


Abb. 4

schleunigung der Schwere, so hat die Schleuderkraft den Wert:

$$Z = (2\pi n)^2 \cdot r \cdot \frac{G}{g} = 0,04 \cdot n^2 \cdot r \cdot G \text{ Gramm} \quad (1)$$

r ist dabei die Exzentrizität in Millimeter. Wiegt z. B. das Viertelrohr einer Turmuhr samt Zeiger 40 kg, beträgt die Exzentrizität bloß 50 mm und dreht sich der Zeiger über die Minute in 2 Sekunden, so ist die Drehgeschwindigkeit bei dieser Bewegung

$$2\pi \cdot \frac{1}{120} = 0,053,$$

denn eine ganze Zeigerdrehung, im gleichen Triff zurückgelegt wie die 1 Minute, dauerte 120 Sekunden, so daß auf 1 Sekunde $\frac{1}{120}$ Drehung kommt. Somit beträgt die Schleuderkraft hier

$$Z = 0,04 \cdot 40000 \cdot 0,053^2 \cdot 50 = 220 \text{ Gramm,}$$

ein Wert, der bei größerer Exzentrizität und schnellerer Bewegung natürlich noch erheblich höher werden kann und auf die Größe der Reibung von Einfluß ist. Da nämlich die Schleuderkraft Z stets durch die Achsenmitte geht, so wirkt sie entlastend, wenn sich der Schwerpunkt über der Achse befindet, im gegenteiligen Falle aber belastend. So etwas muß natürlich vermieden werden, besonders bei Uhren, von denen große Genauigkeit verlangt wird. In der Großmaschinenteknik bewirkt die Schleuderkraft bei hohen Drehgeschwindigkeiten schlimme Erschütterungen, weswegen hier auf genaue Auswuchtung der größte Wert gelegt werden muß, besonders bei schweren, schnell laufenden Turbinenrädern. Hier hat man Apparate konstruiert, mit deren Hilfe sich der Schwerpunkt durch systematische Verfahren bis auf geringe Bruchteile des Millimeters genau auf die Drehachse bringen läßt; das bloße Herumprobieren ist in

solchen Fällen nicht hinreichend leistungsfähig, und an die Stelle der alten „Meisterwirtschaft“ ist die moderne wissenschaftliche Methodik getreten. So wird es nach und nach überall kommen.

Wer nun aber glaubt, mit der statischen Auswuchtung, der Verlegung des Schwerpunktes auf die Drehachse, sei die Sache abgetan, irrt sich gewaltig. Auch wenn die Beseitigung der Zentrifugalkraft durch die Zentrierung des Schwerpunktes vollständig gelungen sein sollte, bleibt immer noch ein übler Umstand übrig, das sogenannte Zentrifugalmoment, dessen Wegschaffung bei Mechanismen für genaue Funktionen, also auch bei Präzisionsuhren, eine wesentliche, bislang zu wenig beachtete Sache ist. In Nr. 49 der UHRMACHERKUNST hat A. Helwig auf diese Tatsache eindringlich hingewiesen, und wir wollen im folgenden kurz plausibel zu machen suchen, um was es sich bei dieser „dynamischen Auswuchtung“ handelt. Helwig schlägt hierfür bei astronomischen Uhren einen vollkommen symmetrisch gestalteten Minutenzeiger vor, dessen eine Hälfte etwa durch blaues Anlassen als bedeutungslos gekennzeichnet werden könnte; dadurch würde ein besonderes Gegengewicht natürlich überflüssig werden, und die dynamische Auswuchtung wäre in einfachster

und idealer Weise erreicht. Einen ähnlichen Zustand haben wir übrigens auch bei der Unruh, bei der ebenfalls neben der Zentrierung des Schwerpunktes auf die dynamische Auswuchtung geachtet werden sollte; hier wird sie wesentlich dadurch erreicht, daß die Ebene der Unruh möglichst genau senkrecht zur Drehachse gestellt wird. Der Helwigsche Vorschlag bedeutet einen allerdings ganz besonders einfachen Sonderfall unter vielen möglichen; wer sich aber an der Verlängerung des Zeigers nach rückwärts stößt, kann andere Mittel zur Anwendung bringen, wie wir sie z. B. bei den ausbalancierten Schiffsmaschinen seit langem anwenden. Schen wir uns einmal Abb. 3 an: Die Achse AA möge durch zwei an beliebiger Stelle angebrachten plattenförmigen Ansätzen belastet sein. Auch hier liegt der Gesamtschwerpunkt sicher auf der Drehachse, wenn die beiden Ansätze gleich sind; denn ihr Teilschwerpunkt befindet sich ja aus Symmetriegründen in S , also auch auf der Achse. Trotzdem aber werden die beiden Lager bei rascher Rotation der Achse Kräfte erfahren, die durch die beiden Schleuderkräfte Z hervorgerufen werden und mit der Achse umlaufen. Zwei solche gleich große, parallele, einander entgegengerichtete Kräfte nennt man aber in der Mechanik ein Kräftepaar oder Moment, und daher spricht man hier von einem Zentrifugalmoment. Es liegt auf der Hand, daß es bei der relativ schnellen Rotation eines schweren Viertelrohres beim Vorschub die Zapfen belasten und damit ihre Reibung erhöhen muß. Daher das berechtigte Bestreben, das Zeigersystem auch „dynamisch“ auszuwuchten oder, anders gesagt, dafür zu sorgen, daß kein Zentrifugalmoment auftritt. Das ist z. B. bei der Anordnung der Abb. 4 geschehen; hier sind die