Verhältnisse so gewählt, daß die Zentrifugalkraft Z_1 doppelt so groß ist wie Z_2 oder Z_3. Da weiter Z_1 genau in der Mitte zwischen den beiden anderen Z liegt, so herrscht stets dynamisches Gleichgewicht und ein Zentrifugalmoment tritt nicht auf. Betrachtet man einen der drei Lappen als den auszubalancierenden Zeiger, so hat man schon eine Konstruktion, bei der die Auswuchtung statisch und dynamisch gelungen ist, denn der Schwerpunkt des Ganzen liegt auf der Drehachse und Zentrifugalmomente treten nicht in Erscheinung. Das ist aber nur ein spezieller Fall, wenn auch nicht ganz so speziell wie die von Hellwig vorgeschlagene Verlängerung des Zeigers nach rückwärts um sich selbst. Der Möglichkeiten sind aber unzählbar viele, und damit der Uhrmacher sieht, wie man eine von ihnen verwirklichen kann, soll im folgenden ein konkretes, anschauliches Beispiel für dynamische Auswuchtung kurz durchgesprochen werden. Wir wählen dazu den sehr allgemeinen und außerdem gut bekannten Fall der Lokomotivachse, an deren beiden Rädern Gegengewichte so angebracht werden, daß der Einfluß des an den Kurbeln hängenden schweren Gestänges ausgeglichen wird. Zentrifugalkräfte oder -momente dürfen

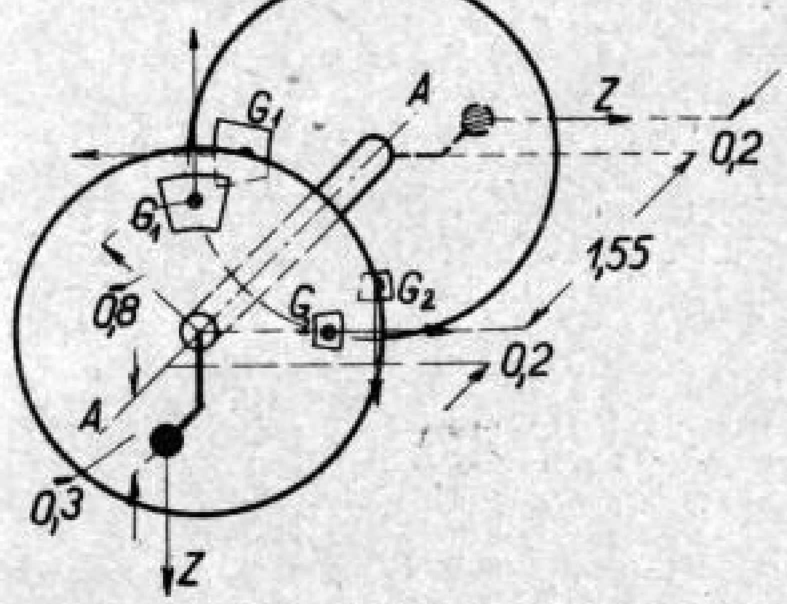

Abb. 5

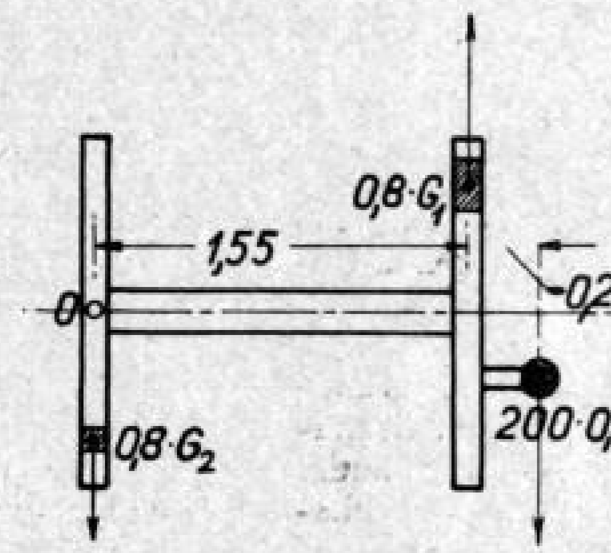

Abb. 6

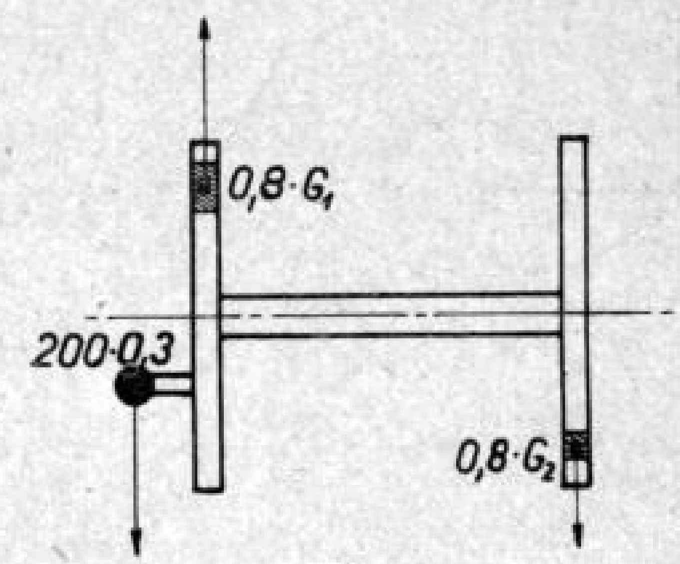

Abb. 7

nach erfolgter Ausbalancierung nicht mehr auftreten. Man vergleiche die perspektivisch gezeichnete Abb. 5. Die beiden Kreise bedeuten die Räder, die in Schienenentfernung (1,55 m) auf der Achse AA aufsitzen und an denen die Gegengewichte angebracht werden sollen, und zwar im Abstande 0,8 m von der Achse. Im Abstande 0,2 m außerhalb der Räder befinden sich die Kurbelzapfen, an denen das schwere Gestänge hängt, das durch je einen schwarzen Punkt angedeutet ist und auf 200 kg geschätzt werden möge. (Unter diesem Gestänge möge sich der Uhrmacher den schweren Zeiger einer Turmuhr vorstellen.) Die Gestänge sollen durch je zwei an einem Rade angebrachte Gegengewichte G_1 und G_2 ausbalanciert werden, deren Größe zu bestimmen ist. Natürlich erfahren auch diese Gegengewichte Zentrifugalkräfte, die in der Abbildung durch Pfeile angedeutet sind. Die sechs Kräfte sollen sich nun in jedem Augenblick und bei jeder Drehgeschwindigkeit das Gleichgewicht halten. Sehen wir uns die Achse zunächst von oben an, d. h. betrachten wir die waagerechten Kräfte. Dann zeigt sich Abb. 6. Nun ist die Schleuderkraft nach Gleichung (1) proportional zu $G \cdot r \cdot n^2$. Da n^2 bei allen Kräften auftritt, lassen wir es von vornherein weg und sagen damit, daß unsere Lösung für jede Drehzahl gelten muß. In der Abbildung sind die Produkte $G \cdot r$ angeschrieben. Es sind also Maßzahlen für die einzelnen Schleuderkräfte. Jetzt ist es ein leichtes, die notwendige Größe der Gegengewichte G_1 und G_2 zu bestimmen. Da nach den Regeln der Mechanik im Gleichgewichtszustande die nach oben ziehenden Kräfte ebenso stark sein müssen wie die nach unten treibenden, so muß sein:

$$0{,}8 \cdot G_1 = 0{,}8\ G_2 + 200 \cdot 0{,}3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Ferner müssen die Momente, die auf irgendeinem Drehpunkt, z. B. 0, rechts herumdrehen, ebenso stark sein wie die links herum wirkenden; also muß sein:

$$0{,}8 \cdot G_1 \cdot 1{,}55 = 200 \cdot 0{,}3\ (1{,}55 + 0{,}2) \quad . \quad . \quad (3)$$

1,55 und $1{,}55 + 0{,}2 = 1{,}75$ sind nämlich die Hebelarme, und die Kraft $0{,}8 \cdot G_2$ hat keinen Hebelarm. Aus (2) und (3) ergibt sich leicht durch Ausrechnung: $G_1 = 85$ kg und $G_2 = 10$ kg. Genau dasselbe ergibt sich, wenn wir die Achse von der rechten Seite betrachten, also bloß die senkrechten Kräfte berücksichtigen (siehe Abb. 7), weshalb wir hierüber kurz hinweggehen.

Die vorgeführte Überlegung ist typisch für alle solche Ausbalancierungsfälle. Sie vereinfacht sich natürlich erheblich, wenn die Massen alle in einer Ebene liegen, wie es bei den Zeigern der Fall ist. Sieht man z. B. in Abb. 6 den schwarzen Punkt als den Zeigerschwerpunkt an, so genügen die beiden innen angebrachten in der Zeigerebene liegenden Gegenwichte G_1 und G_2, um sämtliche Schleuderkräfte vollkommen aufzuheben, und die Achse ist zu einer „freien" geworden, die, abgesehen von ihrem Gewicht und dem Zahndruck, keinerlei Zwanges bedarf, um in ihrer Lage gehalten zu werden. Die Lager sind also jetzt genau so belastet, als ob das Werk stillstände. Die in sich vollkommen abgeglichenen Schleuderkräfte üben jetzt auch keinen Einfluß mehr auf die Zapfenreibung aus, und selbstverständlich findet auch kein Anheben und Absinken des Zeigerschwerpunktes statt, wie es Abb. 1 schildert; denn der Gesamtschwerpunkt der Zeigerwelle mit all ihren Anhängseln liegt ja auf der Drehachse.

Für feine Präzisions- und für schwere Turmuhren sind diese Überlegungen durchaus nicht ohne Bedeutung. Bei auf solche Art ausbalancierten Maschinerien fallen Erschütterungen und Schnarrgeräusche weg, und alles läuft wie „in Butter". Wer einmal ein modernes Schiff besteigt oder eine Dampfturbine besichtigt, möge hierauf achten, und er wird mit Befriedigung feststellen können, daß der erstrebenswerte Zustand erreicht ist. Bei der Uhr sind es zwar nicht die Schnarrgeräusche, wohl aber der Einfluß auf die zum Gangrade gelangende Triebkraft, der die Ausbalancierung fordert. (I/668)