

lator selbst ein großes Energievermögen besitzen, d. h. mit anderen Worten, so angeordnet sein, daß er eine bedeutende Gegenkraft hervorruft. Bei einfachen Pendelregulatoren ist der einzig mögliche Weg dies zu erreichen, die Vergrößerung des Pendelgewichtes selbst. Belastete Regulatoren haben diesen gegenüber den Vorteil großer Kraftentwicklung mit verhältnismäßig kleinen rotierenden Massen. Die Erhöhung der Gegenkraft eines Regulators, sei es durch Schwerkraft, zusätzliche Belastung oder Federkraft, bringt stets eine Erhöhung seiner Energie, d. i. der Kraft in der Richtung der Hülsenverschiebung, hervor. Belastete Regulatoren sind daher auch bei gleicher rotierender Masse energischer und kräftiger, um diesen Ausdruck zu gebrauchen, weil sie mit höherer Geschwindigkeit laufen, daher eine größere Gegenkraft notwendig machen.

**163. Graphische Darstellung der Gegenkraft.** Untersuchungen über die Empfindlichkeit und Energie der Regulatoren werden durch die Benützung graphischer Methoden der Darstellung der Gegenkraft sehr erleichtert; eine solche Methode (nach Hartnell\*) soll nachstehend erörtert werden.

Hat man  $F$  für verschiedene Pendelstellungen bestimmt, dann zeichne man eine Kurve  $P_1P_2$  Fig. 149, deren Abscissen den Halbmessern  $r$  der Pendelbahnen und deren Ordinaten den zugehörigen Werten von  $F$  entsprechen. Um nun jene Konfiguration zu finden, die einem gegebenen Werte der Geschwindigkeit  $n$  entspricht, ziehe man durch  $O$  eine Linie  $OS$  unter einem solchen Winkel gegen die Abscissenachse, daß

$$\text{tang } XOS = 4\pi^2 n^2 M.$$

Unter Zugrundelegung derselben Maßeinheiten stellt die Abscisse  $OX$  den  $r$ -Wert, die Ordinate  $SX$  den  $F$ -Wert des Punktes  $S$  dar; wenn daher die Linie  $OS$  die Kurve der  $F$ -Werte des zu untersuchenden Regulators im Punkte  $P$  schneidet, dann ist für diesen Punkt

$$PA = F = OA \text{ tang } AOP = 4\pi^2 n^2 r M;$$

der Durchschnittspunkt  $P$  bestimmt daher den Halbmesser  $r$  jener Kreisbahn, welche die Pendel bei der gegebenen Geschwindigkeit  $n$  beschreiben. In gleicher Weise wird die Tangente des Neigungswinkels irgend einer anderen durch  $O$  gezogenen, die  $F$ -Kurve durchschneidenden Geraden  $OP_1$  oder  $OP_2$  gegen die  $X$ -Achse proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit jener Kreisbahn sein, welche dem Halbmesser  $OA_1$  beziehungsweise  $OA_2$  entspricht. Wenn daher  $OA_1$  den Halbmesser der kleinsten,  $OA_2$  jenen der größten Pendelbahn darstellt, entsprechend den

\*) *Proc. Inst. Mech. Eng.* 1882.

Stellungen für Volldampf beziehungsweise Dampfabschluß (größte, beziehungsweise Nullfüllung), dann bestimmen die Neigungen der Linien  $OP_1$  beziehungsweise  $OP_2$  gegen die X-Achse die ganze Reihe von Veränderungen, welche die Geschwindigkeit  $n$  infolge der Stabilität des Regulators, von dem Einflusse der Reibung abgesehen, durchläuft.

Um die Geschwindigkeitsänderungen unter Berücksichtigung der Reibung zu bestimmen, zeichnet man über, beziehungsweise unter die  $P_1P_2$ -Kurve Fig. 150 ein Paar zusätzlicher Kurven  $Q_1Q_2$  und  $R_1R_2$ , die Werte  $F+f$  und  $F-f$  in Beziehung zu  $r$  darstellend. Die kleinste Geschwindigkeit des Regulators ist durch die Neigung der Linie  $OR_1$ , die größte hingegen durch die Neigung der Linie  $OQ_2$  bestimmt.

Die totale Arbeit, welche der Regulator infolge der Konfigurationsänderung vom Halbmesser  $OA_1$  auf  $OA_2$ , oder während der steigenden

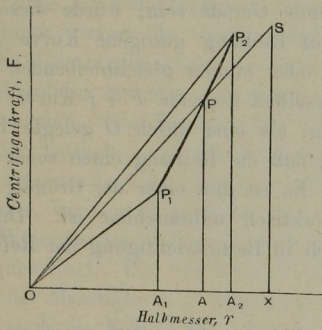


Fig. 149.

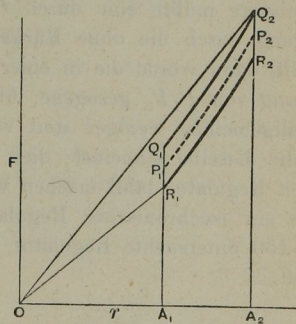


Fig. 150.

Bewegung der Pendel von  $A_1$  nach  $A_2$ , per Pendel verrichtet, ist ohne Berücksichtigung der Reibung gegeben durch die Fläche  $A_1P_1P_2A_2$ , in Wirklichkeit jedoch durch die Fläche  $A_1Q_1Q_2A_2$ . Andererseits entspricht die während der sinkenden Bewegung der Pendel von  $A_2$  nach  $A_1$  von denselben abgegebene Arbeit der Fläche  $A_2R_2R_1A_1$ ; die Differenzfläche  $R_1Q_1Q_2R_2$  wurde für Überwindung der Reibung während der Verstellung des Regulierorganes von Volldampf auf Nullampf oder die Verstellung der Steuerung von größter Füllung auf Nullfüllung verbraucht.

Die Energie des Regulators ist bestimmt durch die Fläche  $A_1P_1P_2A_2$ , d. i. (ohne Berücksichtigung der Reibung) die aufgenommene und abgegebene Arbeit, während sich die Pendel von einer Grenzlage in die andere bewegen. Unter der Voraussetzung, daß die Reibung keine wesentliche Unregelmäßigkeit der Geschwindigkeit hervorruft, muß diese Fläche ein Vielfaches der Flächen  $P_1Q_1Q_2P_2$  beziehungsweise  $P_1R_1R_2P_2$  sein. Wenn die Reibung  $f$ , wie oben vorausgesetzt wurde, den gleichen Wert für die

steigende wie für die fallende Bewegung besitzt, dann sind diese beiden Flächen einander gleich; die Konstruktion Fig. 149 ist jedoch ohneweiters auch auf den Fall anwendbar, daß der Wert von  $f$  sich mit der Bewegungstendenz ändert.

Die Eigenschaft der Stabilität fordert, daß die Neigung der  $F$ -Kurve gegen die  $X$ -Achse größer sein muß, als die Neigung irgend einer durch  $O$  gezogenen Geraden, welche die Kurve an einem Punkte innerhalb der Reihe möglicher Konfigurationen des Regulators trifft. Die in Fig. 149 gezogene Kurve entspricht somit einem stabilen Regulator, weil eine beliebige durch  $O$  gehende Linie  $OP$  weniger steil verläuft, als die Kurve selbst im Punkte  $P$ ; es wird hierdurch der in § 154 ausgesprochenen Bedingung der Stabilität, daß die Gegenkraft rascher zunehmen muß als der Radius, entsprochen. Die  $F$ - über  $r$ -Kurve eines vollkommen isochronischen Regulators müßte eine durch  $O$  gehende Gerade sein; würde diese Bedingung durch die ohne Rücksicht auf Reibung gezogene Kurve  $P_1P_2$  erfüllt, dann würde die in einer mehr oder minder gleichbleibenden Entfernung von  $P_1P_2$  gezogene, über derselben liegende  $F + f$ -Kurve  $Q_1Q_2$  im allgemeinen weniger steil verlaufen, als eine durch  $O$  gelegte Linie, welche dieselbe schneidet; dies besagt, daß die Reibung einen sonst neutralen Regulator labil machen würde. Es ist dies einer der Gründe, weshalb ein isochronischer Regulator praktisch unbrauchbar ist. Der in Fig. 150 untersuchte Regulator ist auch in Berücksichtigung der Reibung stabil.

**165. Unstetigkeit der Regulatoren.** Abgesehen von den oben erörterten Gründen ist eine geringe Stabilität eines Regulators unter allen Umständen, namentlich aber dann erforderlich, wenn eine Änderung der Geschwindigkeit einen gewissen Zeitaufwand benötigt, um auf die Zufuhr der Arbeitsflüssigkeit regulierend einwirken zu können.

Ein überempfindlicher Regulator ruft stets und zwar aus mehrfachen Gründen in der von ihm bedienten Maschine eine erzwungene Unruhe oder Unstetigkeit hervor. Sobald sich eine Änderung der Geschwindigkeit fühlbar macht, tritt zunächst eine Verzögerung der Gegenaktion der Maschine ein, so rasch auch der Regulator seine Konfiguration ändert; der Regulator ist nicht imstande, die Geschwindigkeit augenblicklich zu beherrschen, nachdem in der Maschine und zwar in den bewegten Teilen derselben, als auch in jener Dampfmenge, welche das Regulier- oder Einlaßorgan bereits passiert hat und Arbeit in der Maschine verrichtet, noch eine gewisse Energie aufgespeichert ist. Wirkt der Regulator auf ein Drosselorgan, dann bildet das Volumen des Steuergehäuses selbst nach vollständigem Schluß des Organes noch ein Dampfreservoir, welches die