

180. Geschwindigkeitsschwankungen in Beziehung zur Energie des Schwungrades. Die Grenzen, innerhalb welcher das Schwungrad als Energiereservoir ausgleichend wirkt, lassen sich dadurch bestimmen, daß man das Diagramm der seitens des Kolbens oder der Kolben an die Kurbel abgegebenen Arbeit mit einem ähnlichen Diagramme vergleicht, welches die während einer Umdrehung von der Kurbel behufs Überwindung der Widerstandsarbeit sowie der Eigenreibung abgegebene Arbeit darstellt. Dieser Widerstand kann ebenso wie die treibende Kraft als ein Drehmoment, oder indem man dieses Moment durch den Kurbelkreishalbmesser dividiert, durch den am Kurbelkreis wirkenden Tangentialdruck ausgedrückt werden.

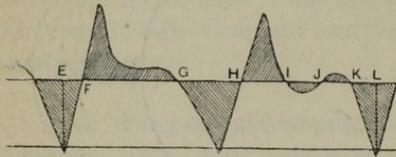


Fig. 179.

Wenn die Maschine nicht zum direkten Betriebe einer Pumpe, eines Gebläses, eines Kompressors oder einer anderen Arbeitsmaschine periodisch veränderlicher Leistung dient, kann der Widerstand an der Kurbel als mehr oder minder konstant, die Widerstandskurve des Diagrammes somit als eine gerade, zur Abszissenachse parallel verlaufende Linie *EFGHIJKL* Fig. 179 angenommen werden.

In den Punkten *F*, *G*, *H*, *I*, *J* und *K* ist die an die Kurbel übertragene gleich der von derselben abgegebenen Arbeit; in diesen Punkten wird das Schwungrad daher weder Geschwindigkeit aufnehmen noch Geschwindigkeit abgeben. Die über *FG* liegende schraffierte Fläche des Diagrammes stellt daher einen Überschuß der von der Kurbel aufgenommenen Arbeit dar, welche die Geschwindigkeit des Schwungrades von einem Minimum in *F* auf ein Maximum in *G* erhöht. Andererseits wird während der Drehung der Kurbel von *G* bis *H* das Schwungrad, den eingetretenen Arbeitsmangel ersetzend, im Ausmaße der unter der *GH*-Linie liegenden schraffierten, die Differenz zwischen Arbeitabgabe und Arbeitsaufnahme darstellenden Fläche, Arbeit an die Kurbel abgeben, infolgedessen die Geschwindigkeit desselben von dem Maximalwerte in *G* auf ein Minimum in *H* abnehmen wird, um in *I* wieder ein Maximum zu erreichen u. s. f.

Die Arbeitsüberschüsse gleichen in jeder Umdrehung (Arbeitsperiode) den Arbeitsmangel aus, wenn, wie vorausgesetzt werden muß, die Maschine mit konstanter sekundlicher Tourenzahl läuft; es muß daher die Summe der über der *EL*-Linie liegenden Arbeitsflächen gleich der Summe der unter dieser Linie liegenden schraffierten Flächen sein. Der nachstehenden Untersuchung liegt die Annahme zugrunde, daß diese Arbeitsüberschüsse oder Abgänge im Verhältnisse zu der im Schwungrade

Die Arbeitsüberschüsse gleichen in jeder Umdrehung (Arbeitsperiode) den Arbeitsmangel aus, wenn, wie vorausgesetzt werden muß, die Maschine mit konstanter sekundlicher Tourenzahl läuft; es muß daher die Summe der über der *EL*-Linie liegenden Arbeitsflächen gleich der Summe der unter dieser Linie liegenden schraffierten Flächen sein. Der nachstehenden Untersuchung liegt die Annahme zugrunde, daß diese Arbeitsüberschüsse oder Abgänge im Verhältnisse zu der im Schwungrade

zufolge seiner Rotation aufgespeicherten Energie sehr klein sind, und daß daher die Schwankungen der Geschwindigkeit im Verhältnisse zur mittleren Geschwindigkeit gleichfalls als klein vorausgesetzt werden können. In der Praxis werden die Dimensionen und die Geschwindigkeit des Schwungrades stets so gewählt, daß dieser Voraussetzung entsprochen wird, denn der Hauptgegenstand der diesbezüglichen Untersuchungen besteht eben in der Ermittlung jener Energie, welche ein Schwungrad besitzen muß, damit die Geschwindigkeitsschwankungen eine bestimmte Grenze nicht überschreiten.

Bezeichne ΔE den größten Betrag an Energie, welchen das Schwungrad während einer Umdrehung (Arbeitsperiode) aufnimmt oder abgibt; derselbe wird am einfachsten dadurch ermittelt, daß man den Flächeninhalt der schraffierten Flächen Fig. 179 mißt und die größte dieser Einzelflächen wählt. Bezeichne ferner ω_1 und ω_2 den Maximal- und Minimalwert der Winkelgeschwindigkeit des Rades, entsprechend den Endpunkten jener Arbeitsperiode, während welcher die Energie ΔE angesammelt oder abgegeben wird, dann ist die mittlere Winkelgeschwindigkeit des Schwungrades ω_0 genügend genau gegeben durch den Wert $\frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$, wenn die Geschwindigkeitsänderungen innerhalb enger Grenzen liegen. Endlich sei E_0 die Energie des Schwungrades bei dieser mittleren Geschwindigkeit ω_0

$$E_0 = \frac{1}{2} J \omega_0^2,$$

wenn J das Trägheitsmoment des Schwungrades bezeichnet. Ferner ist

$$\Delta E = \frac{J(\omega_1^2 - \omega_2^2)}{2} = J \omega_0 (\omega_1 - \omega_2) = 2 E_0 \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{\omega_0}.$$

Der Wert $\frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_0} = \delta$, das ist das Verhältnis der Differenz der Grenzgeschwindigkeiten zur mittleren Geschwindigkeit, bestimmt den Grad der Ungleichförmigkeit der Geschwindigkeit, beziehungsweise der Unstetigkeit des Ganges der Maschine, welchen das Schwungrad unverbessert läßt.

Wenn δ einen bestimmten Wert nicht überschreiten soll, dann muß das Schwungrad in seinen Abmessungen so gewählt werden, daß die Energie desselben

$$E_0 = \frac{\Delta E}{2\delta}.$$

Die periodischen Schwankungen der Geschwindigkeit zufolge der begrenzten Fähigkeit des Schwungrades, Energie aufzuspeichern, können experimentell dadurch nachgewiesen und untersucht werden, daß man z. B. eine Stimmgabel durch einen elektrischen Strom in gleichmäßige Schwingungen versetzt und diese Oszillationsbewegungen auf einer mit dem Schwungrade

rotierenden Oberfläche schreiben läßt. Man benützt hierzu am besten berußtes Papier, welches man an geeigneter Stelle um die Maschinenwelle spannt; die Gabel zeichnet mit Hilfe einer steifen Borste oder einer kleinen Feder, welche an einer der beiden Zinken befestigt ist, auf demselben wellenförmige Linien. Damit sich diese Linien nicht decken, wodurch die Deutlichkeit vollständig verloren ginge, muß die Gabel parallel zur geometrischen Achse der Maschinenwelle langsam fortbewegt werden, so daß die Wellenlinien der einzelnen Umdrehungen stets auf eine andere Partie der berußten Oberfläche gezeichnet werden können. Man benützt hierzu am einfachsten einen mittels Schraubenspindel bewegten Schlitten, in welchen die Gabel eingespannt wird und dessen langsam fortschreitende Bewegung von der Maschinenwelle direkt abgeleitet wird.

Dieses in Ruß geschriebene Diagramm wird nachher durch eine dünnflüssige Harzlösung fixiert und gestattet nun die unmittelbare Zeichnung der tatsächlichen Geschwindigkeitskurve, indem man vor Verwendung der Gabel die Zahl der Schwingungen pro Sekunde in geeigneter Weise bestimmte; war die Zahl der Schwingungen n , dann gibt die Entfernung von Wellenspitze zu Wellenspitze des Diagrammes den Weg am Umfange der Kurbelwelle in $\frac{1}{n}$ -Sekunde*).

181. Druckwechsel an den Zapfen. Der resultierende Dampfdruck auf den Kolben einer Dampfmaschine sei durch die Linie SS Fig. 180 für die beiden unmittelbar aufeinander folgenden Hübe derart dargestellt, daß diese Linie für die Bewegung des Kolbens gegen die Kurbelwelle über der Grundlinie, für die entgegengesetzte Bewegung desselben jedoch unter der Grundlinie oder Basis des Diagrammes liegt. In gleicher Weise stelle die Beschleunigungsdruckkurve RR jene Kräfte dar, welche zur Acceleration der abwechselnd bewegten Teile der Maschine aus-

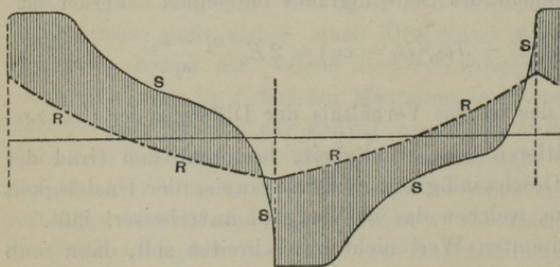


Fig. 180.

*) Beispiele hinsichtlich der Benützung dieser Methode zur Bestimmung des Ungleichförmigkeitsgrades δ siehe die Abhandlung von H. B. Ransome in *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. XCVIII; ferner *Society of Arts, Report on Trials of Motors for Electric Lighting* (1889), sowie J. Radinger, „Über Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit“, 3. Aufl., Wien, 1892.