

verrichtete Bremsarbeit $2\pi r(T_1 - T_2)$, wobei r als Halbmesser von Mitte Welle bis Mitte Seil gemessen werden muß.

Die effektive Leistung ausgedrückt in Pferdekraften ergibt sich daraus mit

$$N_e = \frac{2r\pi n(T_1 - T_2)}{60 \times 75}.$$

Der mechanische Wirkungsgrad ist somit der Bruch

$$\frac{N_e \text{ (Nutzleistung in PS)}}{N_i \text{ (indizierte Leistung in PS)}};$$

oder, wenn man die Leistung nicht auf Pferdestärken reduziert, das Verhältnis der an der Bremse abgegebenen Arbeit zu der an den Kolben der Maschine abgegebenen Arbeit per Umdrehung derselben, nämlich

$$\frac{2r\pi(T_1 - T_2)}{l(p_m a + p_m' a')}$$

im Sinne der Bezeichnungen des § 105.

Ein biegsames Band z. B. aus einigen Streifen guten Baumwollstoffes gebildet, arbeitet viel weicher und ruhiger als Schnüre und bedarf keiner Schmierung, empfiehlt sich daher besonders zur Bremsung kleiner Maschinen. Wenn es sich nur um einige, etwa bis 3 Pferdekraften handelt, dann genügt schon ein einziger Tuchstreifen.

Für große Leistungen ist eines der besten und genauesten Absorptionsdynamometer jenes, bei welchem die Leistung der Maschine dazu verbraucht wird, um durch Rotation einer Art Turbinenrades in einem Gehäuse, welchem Wasser kontinuierlich zufließt, dieses hinauszuschleudern. Das Gehäuse wird durch einen belasteten Hebel verhindert sich mit zu drehen; durch das Moment des Belastungsgewichtes bestimmt sich die an die Welle des Turbinenrades abgegebene Arbeit. Um Transmissionseffektverluste zu verhindern, empfiehlt es sich, das Dynamometer direkt auf der Maschinenwelle anzubringen. Prof. Reynolds benutzte bei seinen Versuchen eine sehr vollkommene Bremse dieser Art, deren vollständige Beschreibung in den *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1897 enthalten ist. Prof. Reynolds verwendete diese Bremse nicht nur zur Untersuchung von Maschinen hinsichtlich ihrer Nutzleistung, sondern auch zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes durch Beobachtung der die Bremse passierenden und infolge der in Wärme umgesetzten Arbeit von 0° C auf 100° C Temperatur erwärmten Wassermenge, bei gleichzeitiger Beobachtung der hierzu aufgewendeten Arbeit.

119. Versuche mit Maschinen bei veränderlicher Belastung.

In den meisten Fällen ihrer Verwendung arbeiten Wärmekraftmaschinen unter mehr oder minder veränderlicher Belastung und es ist daher von

Wichtigkeit und Interesse, die Leistungsfähigkeit einer Maschine bei abnehmender als auch bei der maximalen Belastung im Wege des Versuches kennen zu lernen. Bei elektrischen Lichtbetrieben z. B. arbeiten die Betriebsmaschinen zeitweilig bei sehr geringer Belastung und bildet gerade unter diesen Verhältnissen der Wirkungsgrad derselben ein wichtiges Moment für die Rentabilität der Anlage. Um in dieser Hinsicht ein vollständiges Urteil gewinnen zu können, müssen sich die Versuche auf eine Reihe von Belastungen, von voller Belastung bis herab zur Leerangabe der Maschine erstrecken.

Eine Reihe von in diesem Sinne vollständig durchgeführter Versuche enthält der bereits in Abschnitt IV erwähnte Bericht von Willans. Es empfiehlt sich, die Resultate solcher Versuche graphisch darzustellen durch eine Kurve, deren Abscissen die Leistung in Pferdestärken und deren Ordinaten den Dampfverbrauch pro Pferdekraftstunde darstellen. Zwei solcher Kurven, welche sich auf zwei von Willans durchgeführte Versuchsreihen mit einem seiner einfach wirkenden Compoundschnellläufer mit Kondensation beziehen, sind in dem Diagramm Fig. 63 dargestellt*).

Bei der einen Versuchsreihe war das Expansionsverhältnis konstant $r = 4,8$ und wurden die abnehmenden Leistungen beziehungsweise die korrespondierenden Dampfverbrauchsziffern durch Änderung der Anfangsspannung von ca. 9 Atmosphären absolut bis herab auf 3 Atmosphären erzielt.

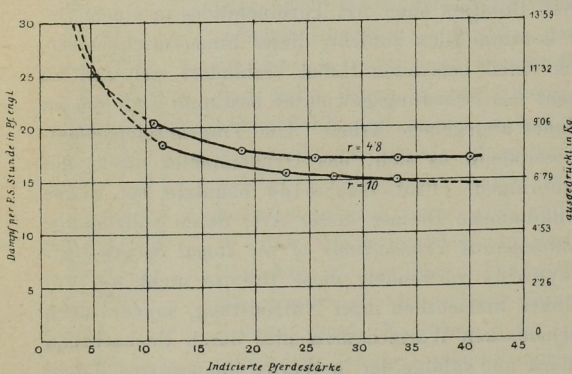


Fig. 63.

Kurven, welche einen ganz anderen, jedoch für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Maschine charakteristischen Verlauf nehmen. Zwei

zielt. Die zweite Kurve gehört einer identischen Versuchsreihe an, bei welcher das Expansionsverhältnis jedoch konstant gleich 10 gehalten wurde.

Trägt man über die jeweilige Leistung einer Maschine als Abscisse den korrespondierenden Gesamtdampfverbrauch pro Stunde als Ordinate auf, so erhält man

*) Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. CXIV, 1893.

solcher Kurven, entsprechend den beiden Versuchsreihen Fig. 63, sind in Fig. 64 abgebildet; die Leistung wurde wie dort durch Änderung der Admissionsspannung bei gleichbleibendem Expansionsverhältnis und konstanter Umlaufzahl geregelt.

Willans fand, daß unter diesen Verhältnissen die Kurve des totalen Dampfverbrauches in Beziehung zur geleisteten Arbeit eine nahezu gerade Linie bildet, wie Fig. 64 zeigt; bei konstantem Admissionsdruck und veränderlicher Füllung nimmt die Kurve, wie Fig. 65 zeigt, eine sichelförmige Form an, welche auf Seite der größeren Leistungen steiler verläuft als auf der anderen Seite.

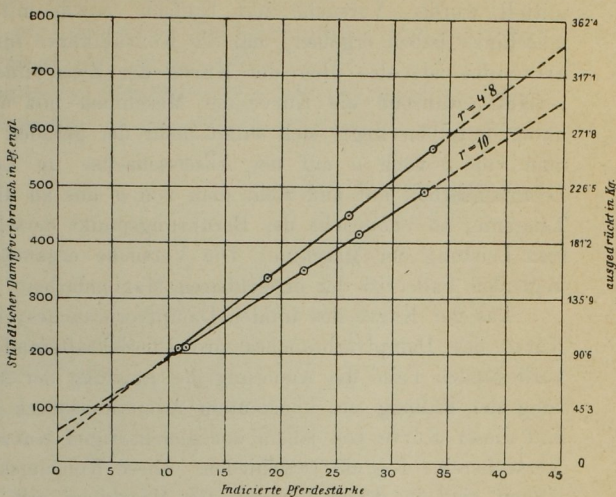


Fig. 64.

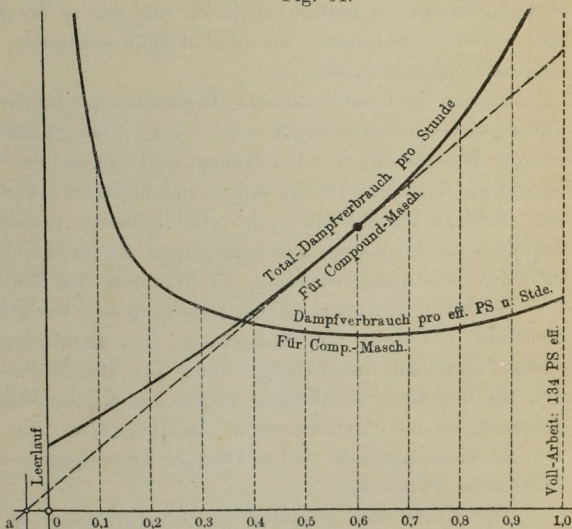


Fig. 65.

Des Vergleiches wegen sind in Fig. 65 die Konsumkurven einer 80 PS Sulzer-Compoundmaschine mit Kondensation dargestellt. Da es sich hier in erster Linie nur um den Verlauf der Kurven

handelt, sei auf die Dimensionsverhältnisse der benutzten Versuchsmaschine nicht weiter eingegangen und nur erwähnt, daß die Versuche bei 9 kg/qcm

effektiver Admissionsspannung durchgeführt und der Dampfverbrauch durch Messung des Speisewassers und des Oberflächenkondensates ermittelt wurde. Versuche mit Einfach- sowie mit Dreifachexpansionsmaschinen haben ergeben, daß die Konsumkurve im ersteren Falle mehr gekrümmt ist, also über der Kurve der Zweicylindercompoundmaschine verläuft, während die Kurve der Maschinen mit dreistufiger Expansion unter derselben liegt, sich somit mehr der geraden Linie nähert. Trägt man von o nach a auf der Abscissenachse im Leistungsmaßstabe die Leergangsarbeit auf und zieht man von a aus an die Konsumkurve eine Tangente, so entspricht der Berührungspunkt derselben der ökonomischen Leistung der Maschine. Die Versuche ergaben hierfür in dem vorliegenden Falle 0,6 der erreichbaren Maximalarbeit.

Aus der Kurve des totalen Dampfverbrauches ergibt sich sodann die Kurve des Dampfverbrauches pro Pferdekraftstunde; nachdem in dem vorliegenden Falle die Änderung der Leistung der Maschine durch Änderung der Füllung bei konstantem Admissionsdruck erfolgte, ist der Verlauf dieser Kurve von jenem der gleichartigen Kurve der Willansschen Versuchsreihe Fig. 63 verschieden. Diese Konsumskurven pro Leistungseinheit sind in ihrem Verlaufe für Maschinen mit ein-, zwei- und dreistufiger Expansion nahezu identisch und nur in der Richtung der y -Achse um soviel verschoben, als der Dampfverbrauch bei günstigster Beanspruchung verschieden ist.

Bei der in Rede stehenden Tandemcompoundmaschine ergab sich ein günstigster Dampfverbrauch von 7,1 kg; bei gleichem Admissionsdrucke betrug derselbe für die Dreifachexpansionsmaschine 6,15 kg und für die Eincylindermaschine 10,3 kg mit, beziehungsweise 12,5 kg ohne Kondensation pro effektive Pferdekraftstunde. Bei höheren Admissionsspannungen verschiebt sich die Kurve ohne wesentliche Änderung nach rechts und nähert sich die günstigste Belastung der Maschine der Vollbelastung derselben.

Nachdem die graphische Darstellung des Verbrauches an motorischer Substanz pro Zeit- beziehungsweise Leistungseinheit von der Art und Weise derselben unabhängig, somit für alle Wärmemotoren die gleiche ist, sei des Zusammenhanges wegen das Konsumdiagramm einer Leuchtgasmaschine hier angeschlossen. Das Diagramm Fig. 66 wurde auf Grund der an einer nominell 6 PS Deutzer Leuchtgasmaschine durchgeführten Messungen entworfen.

Die Kurve des stündlichen Gasverbrauches ist bei gut funktionierenden Maschinen eine gerade Linie; die Entfernung des Durchschnittspunktes a derselben mit der Abscissenachse vom Anfangspunkte o gibt genau die Leergangsarbeit. Die Maschine arbeitete mit Glührohrzünder; die Glührohrbrenner verbrauchen durchschnittlich bei allen Maschinen-

größen ca. 70 Liter Gas pro Stunde; zieht man daher in einem entsprechenden Abstände eine Parallele zur Konsumlinie, so gibt diese Linie den totalen stündlichen Gasverbrauch der Maschine.

Der Gaskonsum pro indizierter Pferdekraftstunde gibt unter obiger Voraussetzung eine zur x -Achse parallele Gerade.

Gleichartige Diagramme können ebenso vorteilhaft zur graphischen Darstellung des Verbrauches an motorischer Substanz in Beziehung zur

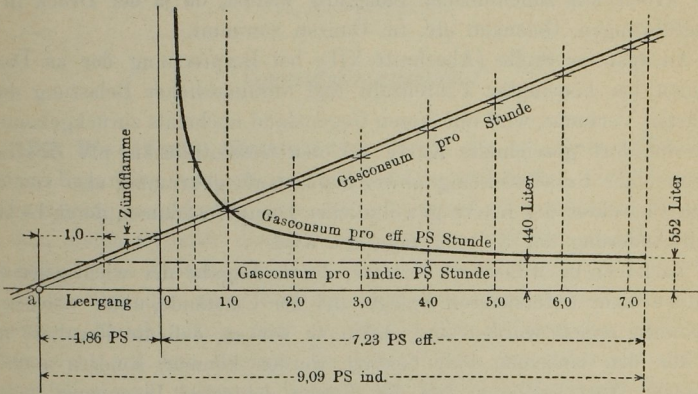


Fig. 66.

Arbeit einer Pumpe, eines Elektromotors etc. benutzt werden und geben ein klares Bild jener Bedingungen, unter welchen das Maximum des Wirkungsgrades erreicht werden kann, sowie der Leistungsfähigkeit der Maschine unter weniger günstigen Umständen, wie solche der praktische Betrieb mit sich bringt.

Legt man der Zeiteinheitkonsumkurve eine gerade Linie, wie in Fig. 64 und 66 zu Grunde, dann kann der Verbrauch an motorischer Substanz als aus zwei Teilen zusammengesetzt angesehen werden, und zwar dem konstanten unproduktiven Konsum, welcher keine äußere Arbeit verrichtet und jenem Verbrauch, welcher der indizierten Leistung proportional ist; für irgend eine Belastung der Maschine ist daher der Gesamtkonsum

$$a(i + b),$$

wenn i die Anzahl indizierter Pferdekräfte und a jenen Betrag an motorischer Substanz darstellt, welcher nach Abzug des unproduktiven Konsums ab auf jede Pferdekraft entfällt.

Gleiches gilt für den Fall, daß nicht die indizierte sondern die effektive Leistung der Maschine als Abscisse aufgetragen wird; ab stellt dann jenen Dampfverbrauch dar, welcher für den Leergang der Maschine er-

forderlich ist; b ist die sogenannte Leergangsarbeit der belasteten Maschine; dieselbe ist stets etwas größer als die zur Überwindung der Eigenreibung der Maschine erforderliche indizierte Arbeit.

Ein Vergleich der beiden Konsumkurven für die indizierte beziehungsweise effektive Leistung beantwortet zugleich die Frage, ob und inwieweit die Reibungsarbeit der Maschine bei hoher und geringer Belastung derselben konstant bleibt. Im allgemeinen kann wohl erwartet werden, daß diese Arbeit mit zunehmender Belastung wächst, da ja der Druck in den Geradführungen, Gelenken etc. im Ganzen zunimmt.

An späterer Stelle (Abschnitt XII), bei Besprechung der an Dampfturbinen bei konstanter Tourenzahl und veränderlicher Belastung durchgeführten Versuche, wird auf diesen Gegenstand nochmals zurückgekommen; auch die dort gezeichnete Kurve für den Gesamtkonsum pro Zeiteinheit ist von einer Geraden wenig abweichend, sanft gekrümmt, also von demselben Charakter der Kurve gewöhnlicher Dampfmaschinen, deren Leistung durch Änderung der Füllung reguliert wird.

Nachdem es wünschenswert ist, durch Angabe der wichtigsten Verhältnisse einer untersuchten Anlage und der Umstände, unter welchen die Ergebnisse erzielt worden sind, dahin zu wirken, daß die Resultate nicht nur für den einzelnen Fall benutzt werden können, sondern auch allgemeinen Wert erlangen, hat der Verein deutscher Ingenieure und der internationale Verband der Dampfkesselüberwachungsvereine im Jahre 1884 Grundsätze und Anleitung für die Untersuchungen an Dampfkesseln und Dampfmaschinen zur Ermittlung ihrer Leistungen aufgestellt. Auf Beschluß der beiden genannten Vereine wurden diese Grundsätze nunmehr einer Durchsicht unterzogen, an welcher sich auch der Verein deutscher Maschinenbauanstalten beteiligte. Das Ergebnis der gemeinsamen Arbeit sind die in der *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure* Jahrg. 1900, S. 460 veröffentlichten „Normen für Leistungsversuche an Dampfkesseln und Dampfmaschinen“.