Das Schwungrad.

Bereits früher wurde schon darauf hingewiesen, wie jede Schwungradsberechnung irrig ist, welche den Einfluss der hin- und hergehenden Massen der Dampfmaschine außer Acht lässt. Selbst mäßige Kolbengeschwindigkeiten machen sich hier schon bedeutend fühlbar.

Die verwickelten Verhältnisse, welche das Schwungrad einer Dampfmaschine auszugleichen hat, und welche sich aus Füllung, Expansion, Vorausströmung, Compression und Gegendruck, den endlichen Längen der Schubstangen, sowie aus dem Einflusse der hin- und hergehenden Gestängsmassen ergeben, und selbst durch veränderlichen Widerstand weiters getrübt werden können, sind durch die reine Rechnung nur schwer oder gar nicht derartig zu verfolgen, dass sich die Punkte der größten und kleinsten Umfangsgeschwindigkeiten und die Ungleichmäßigkeit des Schwungrades ergeben. Durch Benützung der Kurbel- (Tangentialdruck)-Diagramme wird aber all' dieser Zusammenhang sofort und wie mit einem Schlage erhellt, und die Berechnung des Rades wird im höchsten Maße einfach und klar.

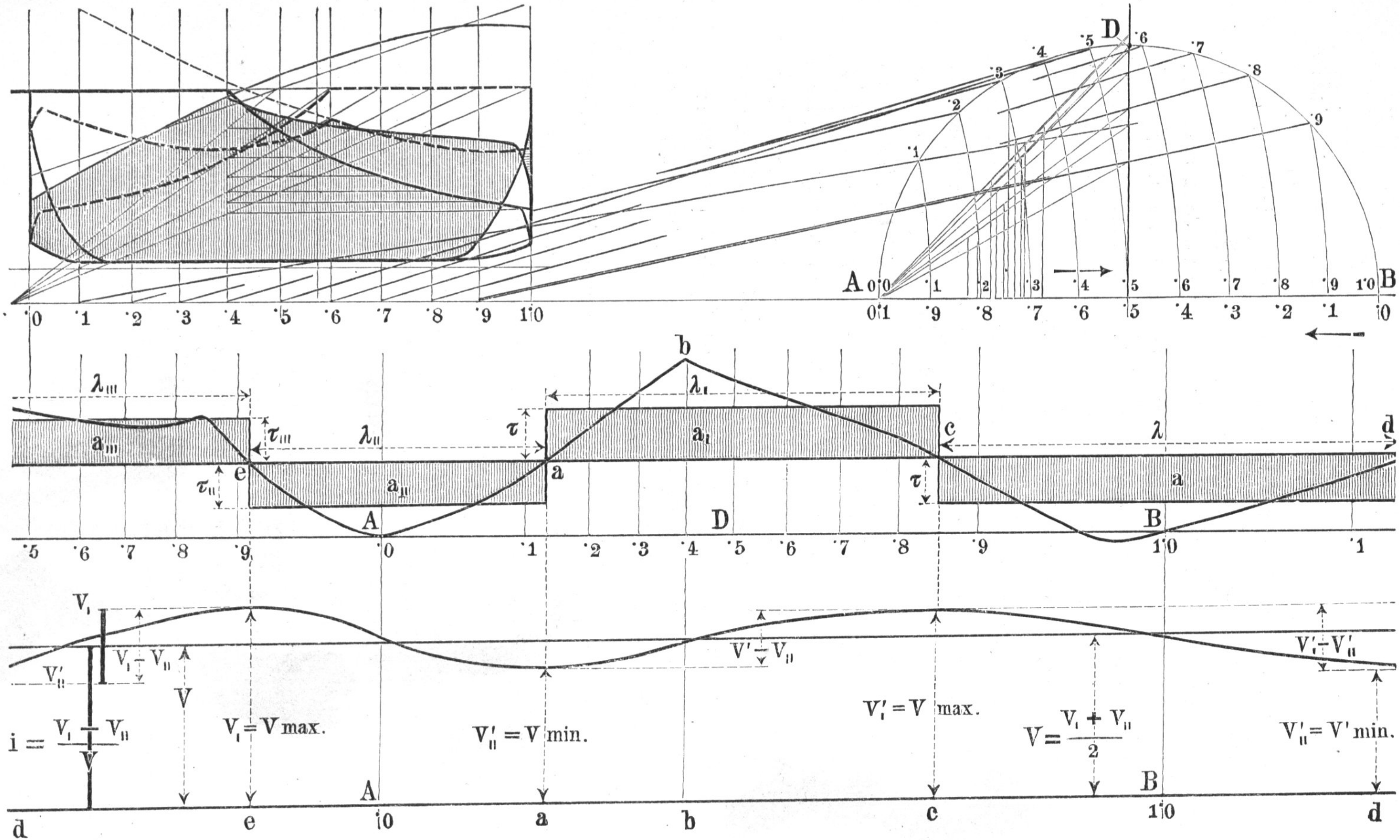
Jene Flächen nämlich, welche im Kurbeldiagramm die Linie des Widerstandes überragen, sind das Bild und Maß der Mehrarbeit am Kurbelzapfen, das Product von Kraft mal Weg während der Zeit der Ueberragungen. Sie müssen gleicher Fläche mit der Summe der Unterschneidungen, d. i. der Minderarbeiten in dem übrigen Theile der wiederkehrenden Zeitperiode sein, falls der periodische Beharrungszustand herrscht. Die im Ring concentrirt gedachte schwere Masse des Schwungrades muss die Ueberschussarbeit während der Zeit als diese andauert aufnehmen, oder muss den Mangel decken, so lange dieser währt. Beides ist durch Geschwindigkeitsänderungen der Masse des Rades möglich, welches daher nicht mit einer gleichförmigen, sondern nur mit wogender Geschwindigkeit arbeiten kann.

Der Punkt wo eine Ueberragung beginnt, d. i. die Minderarbeit endet, ist sofort ein Ort einer kleinsten Umfangsgeschwindigkeit des Schwungrades. So lange dann das Ueberragen der Kraft gegenüber dem Widerstande andauert, so lange steigt die Geschwindigkeit des Rades, und erreicht ein Maximum am Ende der Ueberragung. Hierauf beginnt die Geschwindigkeit im Maße des Mangels an Dampf- gegenüber der Widerstandsarbeit zu sinken, bis wieder der Ausgangspunkt erreicht wird. Die Punkte der größten und kleinsten Umfangsgeschwindigkeiten ergeben sich sonach ganz ohne Rechnung und nur aus der Betrachtung des Schaubildes allein. Siehe Fig. 72.

Selbst der örtliche Charakter der Geschwindigkeitscurve lässt sich durch logische Schlüsse bestimmen. So lange nämlich die überwiegende Kraft noch im Anstiege ist (von a bis b), wird die Geschwindigkeit rascher zunehmen, als dann, wenn die Kraft bereits (von b bis c) zu sinken beginnt. Ebenso wird sich das Fallen der Geschwindigkeit ermäßigen, wenn sich die Kraft (von A bis a) bereits wieder erholt.

Bei unendlicher Länge der Schubstange und völlig symetrischer Steuerung folgen sich durchwegs gleiche Beträge von Ueberschuss und Mangel und die über- und unterschneidenden Flächen sind völlig einander gleich. Durch die endliche Stangenlänge verschiebt sich aber diese frühere Gleichheit und nun muss eine volle Drehung der Kurbel in Betracht gezogen werden.

Fig.72



D
A
B
λ_III
λ_II
λ_I
λ
τ
τ_III
τ_II
a_III
a_II
a_I
a
b
c
d
e
V_I
V_I − V_II
V'_II
V
i = (V_I − V_II) / V
V_I = V max.
V'_II = V min.
V' − V_II
V'_I = V max.
V = (V_I + V_II) / 2
V'_I − V'_II
V'_II = V' min.

Die größte der Ueberragungs- oder Unterschneidungsflächen ist der Rechnung zu Grunde zu legen; sie stellt die Zahl der Kilogrammeter für jeden Quadratcentimeter der Kolbenfläche vor, welche das Rad zu seinem bestehenden mittleren Arbeitswerth $= \frac{G V^2}{2g}$ hin annimmt oder davon abgibt.

Die Größe dieser Fläche bekommt man nach irgend einer Methode, am einfachsten jedoch und für die meisten Fälle genau genug, durch deren Verwandlung in ein Rechteck dem Augenmaße nach. (Siehe auch Fig. 25, die punktirte Linie im Kurbeldiagramm). Andere Methoden für ähnliche Fälle sind im Anhange V angeführt.

Wäre also:

λ die Länge der Ueberragung in Meter,

τ die mittlere Höhe derselben in Kilogramm, so ist:

$a = \lambda \,.\, \tau$ Meterkilogr. die Ueberschussarbeit per 1 cm^2 Kolbenfläche.

Bezeichnet ferner:

f die Fläche des Dampfkolbens in Quadratcentimeter,

D den mittleren Durchmesser des Schwungringes in Meter,

G dessen Gewicht in Kilogramm,

$V = \frac{V_, + V_{,,}}{2}$ die mittlere Geschwindigkeit des Schwungringes,

$V_,$ und $V_{,,}$ die größte und kleinste Geschwindigkeit desselben,

$i = \frac{V_, - V_{,,}}{V}$ das Ungleichförmigkeitsverhältniss des Ganges,

g die Acceleration der Schwere $= 9 \cdot 81\ m$,

so ist, weil die Arbeit $f.a$ die Masse des Schwungrades von der kleinsten auf die größte Geschwindigkeit bringt:

$$f.a = \frac{G}{2g}\left(V_,^2 - V_{,,}^2\right),$$

woraus durch Berücksichtigung der Werthe für V das Gewicht des Schwungringes wird:

$$G = \frac{g.f.a}{i V^2}.$$

Die Ungleichförmigkeit i wird bekanntlich für gewöhnliche Maschinen zwischen $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{60}$ angenommen. Bei Spinnereimaschinen sinkt sie bis $\frac{1}{100}$ und weiter, und bei Maschinen für den directen Antrieb von Dynamos wird oftmals ein Gleichgang von $i = \frac{1}{400}$ verlangt, und selbst $\frac{1}{600}$ gewährt*).

Den Durchmesser D des Rades wählt man 7—9 Kurbelhalbmesser lang, wobei aber die Umfangsgeschwindigkeit $V = \frac{D \pi . n}{60}$ nicht größer als ungefähr 19 m bei Seil- und 28 m bei Riemen-Abtrieb werden soll, worauf Seite 287 zurückkommt. Nur bei Walzwerksmaschinen kommen Ausnahmen vor. Wegen des Einflusses der Arme kann man das berechnete Gewicht des Ringes um circa 10 Percent verringern.

Die Schwungradsberechnung für gekuppelte und mit beliebig vielen Cylindern arbeitenden Maschinen kann in gleicher Weise geschehen, nachdem früher die Einzel-Tangentialdruckdiagramme zu einem Summendiagramm graphisch addirt wurden.

---

*) Wird $V_{\prime\prime} = 0$, d. i. $i = 2$ gesetzt, so ergibt sich die Bedingung, unter welcher ein Schwungrad nicht mehr im Kreise herumkommt, sondern knapp nach dem todten Punkte (bei a der Figur) stehen bleibt. Jede Erhöhung des Grenzwerthes (Schwungringgewicht) $G = \frac{g f a}{2 V^2}$ sichert den Rundlauf, wenn auch Anfangs bei stark hinkendem Gange.

Durch Einführung des Werthes für V erhält man daher, bei gegebenem Radgewichte G, die kleinste Umdrehungszahl:

$$n^2 = \frac{60.60.g}{2 \pi^2} \frac{f.a}{G D^2} \qquad n^2 = 1800 \frac{f.a}{G D^2}.$$

Der Werth a, welcher von den Massendrücken mitabhängt und nur durch Construction zu finden ist, ändert sich hierbei allerdings mit n und der Kolbengeschwindigkeit v. Wie klein aber letztere in der Nähe eines zu örtlichem Stillstande geneigten Ganges auch sei, so wird doch a kleiner als bei gänzlichem $v = o$, daher die kleinste Umdrehungszahl einer Maschine stets tiefer sinken kann, als es ohne Berücksichtigung der Massendrücke erscheinen würde.