

## Die gekuppelten Maschinen.

### I. Zwillingmaschinen.

Arbeiten zwei gleiche Maschinen mit versetzten Kurbeln an derselben Schwungradwelle, so erhält man das entsprechende Tangentialdruck-Diagramm durch Uebereinanderzeichnen der beiden Einzeldiagramme und Addirung der aufeinander fallenden Druckordinaten. Bei diesem Uebereinanderzeichnen sind natürlich die Einzeldiagramme um so viel gegenseitig zu verschieben, als es der Versetzung der Kurbeln entspricht.

Die Linie des auf den Kurbelkreis reducirten Widerstandes von Seite der Last rückt nun doppelt so hoch, als bei der einfachen Maschine, und sie wird auch hier von Flächenspitzen überragt und unterschritten, welche die Unterschiede von erzeugter und verbrauchter Arbeit darstellen.

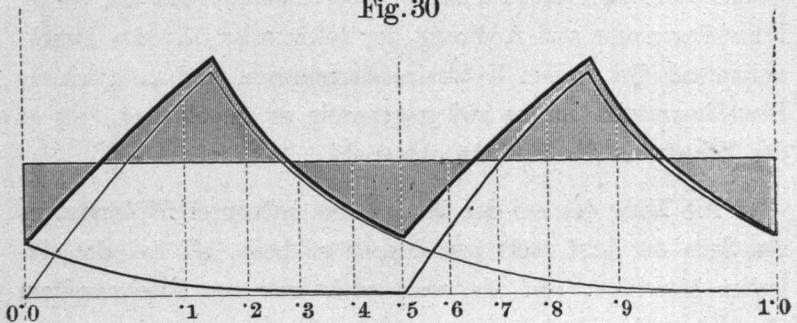
Bei langsamem Gange der Maschine und einer Versetzung der Kurbeln um  $90^\circ$  sind diese Unterschiede bedeutend geringer, als bei der gleichstarken Eincylindermaschine, und das Verhältniss der Unregelmäßigkeit beider ist schon längst bekannt und festgestellt.

Bei schnellerem Gange verschiebt aber der Einfluss der hin- und hergehenden Massen auch hier die Verhältnisse gegen jene, bei welchen dieser Einfluss nicht berücksichtigt erscheint, und ebenso leuchtet es ein, dass die Versetzung der Kurbeln um  $90^\circ$  nicht für alle Fälle das Beste zu sein braucht.

## Die Versetzung der Kurbeln.

So lange eine Zwillingmaschine nur für langsamen Gang bestimmt bleibt, erscheint die Versetzung der Kurbeln um  $90^\circ$  als die vortheilhafteste. Dabei ist aber immer noch die vom Schwungrade auszugleichende Differenz der Minimal- und Maximaldrücke (15% Füllung vorausgesetzt Fig. 30) ungefähr der Größe des gesammten Lastdruckes gleich (Minimaldruck  $\sim 0.5 Q$ , Maximaldruck  $1.5 Q$ ), und diese Druckextreme würden für jede andere Versetzung der Kurbeln noch mehr vom mittleren Widerstande abweichen.

Fig. 30



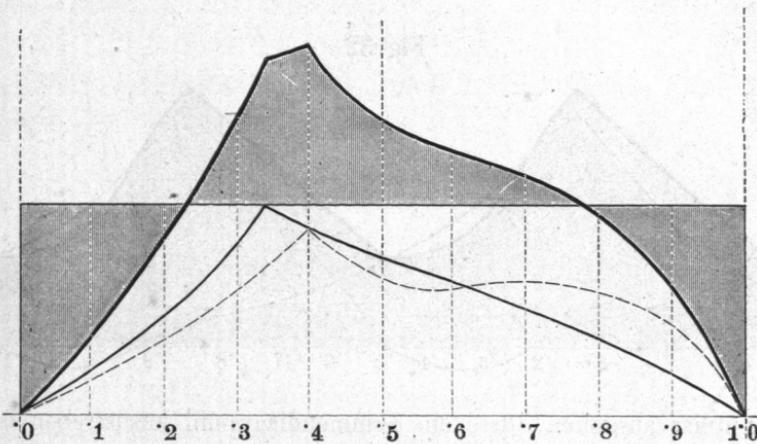
Bei der Versetzung um  $0^\circ$  oder  $180^\circ$  würde diese Differenz (mit circa Null und  $2 Q$ ) ein Maximum, und gleich jener, welche bei der Einzelmaschine herrscht. Nur durch die endliche Schubstangenlänge verwehrt sich das einfache Verdoppeln der Druckordinaten, wie dies Fig. 31 zeigt.

Versetzung der Kurbeln um  $90^\circ$  Grade.

Bei der Versetzung der Kurbeln um  $90^\circ$  ist aber die Gleichmäßigkeit des Ganges, d. i. der Unterschied der Drehkräften gegen die mittlere Widerstandsarbeit von der Kolbengeschwindigkeit gänzlich unabhängig, und diese Druckunterschiede werden durch den Einfluss der hin- und hergehenden Massen nicht

gemildert, wie es bei der Eincylindermaschine so herrlich geht. Denn der gleiche Druck, welchen die hingehenden Massen der einen Maschine zu ihrer Beschleunigung brauchen und der Dampfdruckwirkung auf den Kurbelzapfen entziehen, werden durch den Druck der sich verzögernden Massen der anderen Maschine an ihrem Kurbelzapfen ersetzt. Die Summen der Tangentialdrücke an den beiden Kurbelzapfen ist daher von der Geschwindigkeit in diesem Falle fast gänzlich unabhängig, und wird durch die end-

Fig. 31



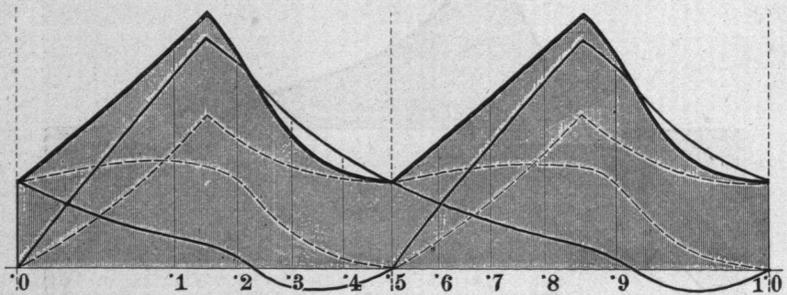
liche Länge der Pleuelstange nur unmerklich beeinflusst. (Begründet im Anhang IX.)

In Fig. 32 ist dies einfach graphisch bewiesen. Die feingezogenen Linien stellen die Kurbeldiagramme zweier unter 90° gekuppelten Maschinen bei unendlich langsamem Gang dar, während die punktierten Linien derselben Maschine bei völlig gleich gebliebenem Dampfdruckdiagramme, aber mit Berücksichtigung von Beschleunigungsdrücken, angehören. Die Summe der Ordinaten der gezogenen und der punktierten Linien sind aber an jedem Punkte einander völlig gleich, wie die Zirkelprobe ergibt.

Diese Drucksumme bleibt aber nur so lange gegen den Einfluss der hin- und hergehenden Massen unempfindlich, als die Kurbeln, unter  $90^\circ$  versetzt, arbeiten, und die Massendrücke genau „Voll auf Fug“ zur Wirkung kommen.

Wenn die Maschine fortwährend mit gleicher Geschwindigkeit arbeiten soll, und nur einen Sinn der Drehung kennt, so kann man für die einmal angenommenen Verhältnisse der beiden einfachen Diagramme durch Uebereinanderschieben und Addirung der Druckordinaten derselben leicht den vortheilhaftesten Verstellwinkel der Kurbeln aufsuchen. Dabei wird man von der Er-

Fig. 32



kennntnis ausgehen, dass ein Summendiagramm anzustreben ist, in welchem die Maximal- und Minimaldrücke eine geringste Abweichung vom Lastdrucke zeigen, d. h. die Arbeitsdifferenzen am kleinsten sind.

So würde eine Zwillingmaschine, welche mit 8 Atm. Dampf und 0,15 Füllung ohne Condensation arbeitet und deren Einzeldiagramm durch Fig. 18 gegeben ist, das Diagramm Fig. 30 als Bild und Maß der Tangentendrücke für alle Geschwindigkeiten haben, so lange die Kurbeln um  $90^\circ$  von einander abstehen. Die Berechnung des Schwungrades und dessen Ungleichmäßigkeit im Ganzen bleiben von den Einwirkungen der hin- und hergehenden Massen unberührt, wie groß immer deren Geschwindigkeit auch sei.

## Versetzung der Kurbeln um 45 Grade.

Würden aber die Kurbeln um 45°, d. i. derart versetzt, dass eine derselben ihre todte Lage durchheilt, wenn in der anderen Maschine eben circa 15% des Kolbenweges zurückgelegt sind, und wird angenommen, dass auch die Füllung 0·15 betrage, so ergäben sich für die verschiedenen Geschwindigkeiten die neuen Tangendruckverhältnisse der Diagramme 33—36.

Nach Formel (7) entsprechen:

Fig. 33	einem	$q_1 = 0$	Atm.,	$v = 0$	$m,$	$n = 0$	Umdr.pr.Min.
" 34	"	$= 2\cdot6$	"	$= 3\cdot7$	"	$= 110$	" " "
" 35	"	$= 4\cdot0$	"	$= 4\cdot5$	"	$= 135$	" " "
" 36	"	$= 6\cdot7$	"	$= 5\cdot8$	"	$= 174$	" " "

Kurbelversetzung constant 45°

Füllung " 0·15

Anfangsdruck " 8 Atm.

Zwillingsmaschinen werden, abgesehen von kleinen Windwerken, hauptsächlich nur als Walzwerk- und Locomotivmaschinen ausgeführt. Beide haben ohne Schwungrad zu arbeiten, und bei beiden entfällt die Rücksicht auf eine günstigste Geschwindigkeit. Für die Maximal-Geschwindigkeiten ist jede Hälfte als Einzelmaschine zu betrachten, wofür die Formeln (7) mit ihren Specialisirungen (*e*) und (*f*) für Locomotiven) ohne Weiteres gelten.

Ueber Dampfwege und Balanzgewichte dieser Maschinen handeln die Abschnitte VI und VII.

Aus diesen Diagrammen ist nun klar zu ersehen, wie die Maschine bei 135 Spielen in der Minute (Fig. 35) weitaus gleichförmiger arbeiten kann, als mit 90° versetzten Kurbeln (Fig. 30). Der Maximaldruck verhält sich zum Minimaldruck nur mehr wie 1·7 zu 1·0, während dieses Verhältniss dort 4:1 beträgt.

Die Ueberschussarbeit, welche durch das Schwungrad gestaut wird, bleibt wohl in beiden Fällen ziemlich gleich; daher werden auch die Abweichungen der Umfangsgeschwindigkeiten von der mittleren dieselben sein. Doch während bei den 90gradigen Kurbeln der Uebergang von der kleinsten zur größten Geschwin-

Fig. 33

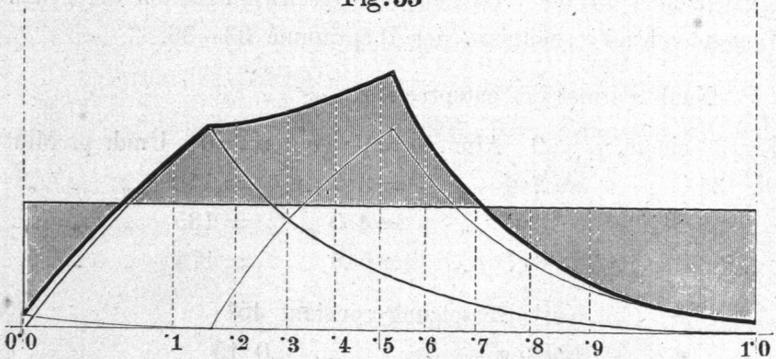
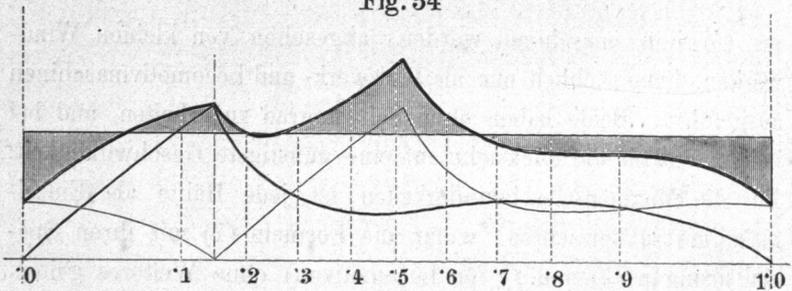


Fig. 34



digkeit durch einen energischen Ueberdruck auf kurzem Wege ( $\frac{1}{4}$  des Halbkreises) erzwungen wird, um nach plötzlicher Unterbrechung ebenso rasch wieder aufzutreten, die Arbeit also gleichsam wie in hartem Pulsschlag wirkt, sehen wir bei den anders versetzten Kurbeln die Beschleunigung durch einen mäßigen Ueberdruck langsam (während eines  $\frac{1}{2}$  Halbkreises) und gleichmäßig, wie im sanften Wogen geleitet.

Der Unterschied dieser beiden Arbeitsweisen unter sonst völlig gleichen Verhältnissen erinnert lebhaft an das verschiedene Spiel von Tragfedern unter gleichem Stoß. Während die kurzen Federn eines Eisenbahnlastwagens schnell und hart schwingen, wiegen die langen Blätter des Personenwagens in doppelter Zeit.

Freilich müssen wir aber bei der Dampfmaschine mit  $45^\circ$  versetzten Kurbeln die gewählte Geschwindigkeit genau einhalten

Fig. 35

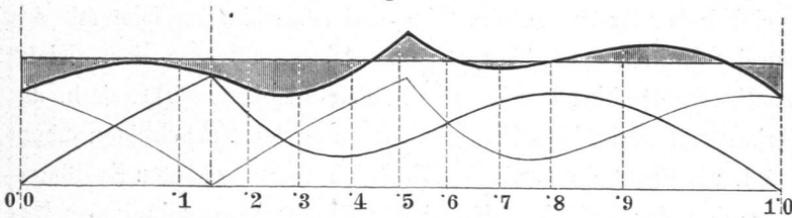
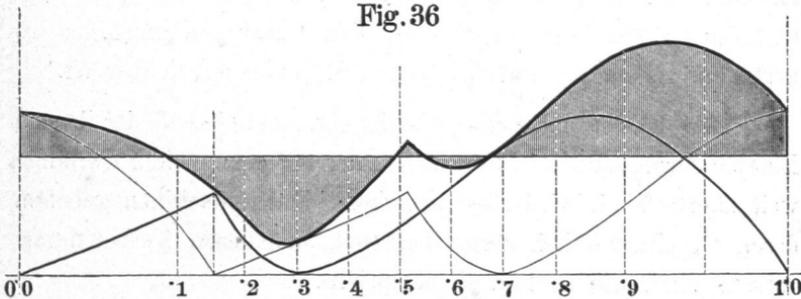


Fig. 36



und gefasst sein, dass beim Angehen, wie auch bei einem allfälligen Durchgehen, die Maschine viel ungünstiger und roher angegriffen wird, als es bei der für die Geschwindigkeit unempfindlichen Stellung von  $90^\circ$  geschieht.

Aus diesem Grunde empfehle ich auch nicht ein Abweichen von der normalen Kurbelversetzung oder wenigstens nicht für alle Fälle. Doch sollte hier die Folge der erlangten Erkenntnisse gezogen und gezeigt werden, dass für einzelne bestimmte Ver-

hältnisse auch nach dieser Richtung hin eine Verbesserung des Gleichganges gewonnen werden kann.

Zu den Vortheilen der gekuppelten Maschine, welche nach anderer Richtung hin sehr bedeutend sind und gewiss nicht verkannt werden sollen, zählt man aber hauptsächlich die Gleichmäßigkeit der bewegenden Drücke und den damit erzeugten ruhigeren Gang.

Ich muss dazu aber nun ausdrücklich bemerken, dass bei gleich hoher Expansion eine Eincylindermaschine, welche mit der durch Formel (17) bestimmten Geschwindigkeit der gleichmäßigsten Drehkraft geht, noch gleichmäßiger wirkt, d. h. die Arbeit mit geringeren Unterschieden auf den Kurbelzapfen überträgt, als dies bei einer in gewöhnlicher Weise gebauten Zwillingmaschine der Fall ist. Nur bei geringer Verwendung der Expansion, d. i. bei hohen Füllungsgraden, wäre die 90° gekuppelte (Zwilling-) Maschine im Stande, den Gang gleichmäßiger zu gestalten, als es mit einer einfachen Maschine erreichbar ist.

Der höchst mögliche Gleichgang, und jenen der besten Eincylindermaschinen sowohl als den der 90° gekuppelten Zwillinge weit übertreffend, wird aber von Zweicylindermaschinen geboten, deren Geschwindigkeit derart begrenzt, und deren Kurbel derart versetzt sind, wie es Fig. 35 entspricht.

Wo, wie bei direct gekuppelten Lichtmaschinen, das Angehen mit geringem Arbeitsaufwand pro Hub und kein Durchgehen zu erwarten, d. i. weder die Erscheinung der Fig. 33, noch jene der Fig. 36 zu befürchten ist, kann gewiss der Gleichgang durch die Versetzung der Kurbeln um circa 45° statt 90° zur höchsten Vollendung gebracht werden.

---