

II. ABSCHNITT.

Die Bewegungsverhältnisse der einfachen Schubkurbel.

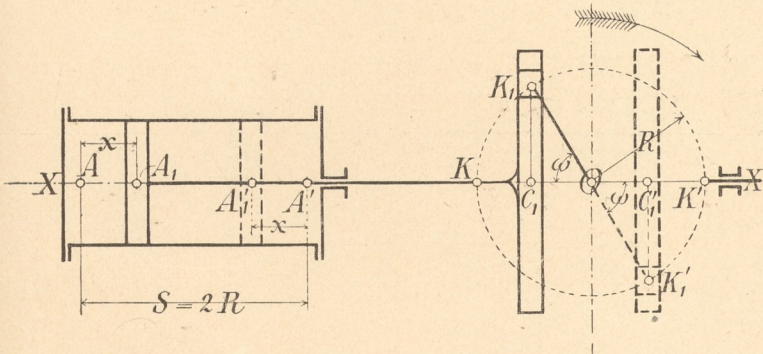
§ 7.

Beziehung zwischen Kolben- oder Kreuzkopfweg und Drehwinkel der Kurbel.

1. Schubstange unendlich lang (Kurbelschleife).

Für die um den Winkel ω aus der zugehörigen Totlage gedrehte Kurbellage OK_1 bzw. OK_1' in Fig. 7 des Textes erhält man den Weg

Fig. 7.



$x = AA_1 = KC_1$ bzw. $= A'A_1' = K'C_1'$ des Kolbens aus dessen entsprechender Totlage, indem man von dem Kurbelzapfenmittel K_1 bzw. K_1' eine Senkrechte auf die Hubrichtung $X-X$ fällt. Da ferner

$$KC_1 = OK - OC_1 = R - R \cdot \cos \omega$$

und $K'C_1' = OK' - OC_1' = R - R \cdot \cos \omega$

ist, so bestimmt sich für Hin- und Rücklauf

$$x = R(1 - \cos \omega) \quad \dots \quad 20$$

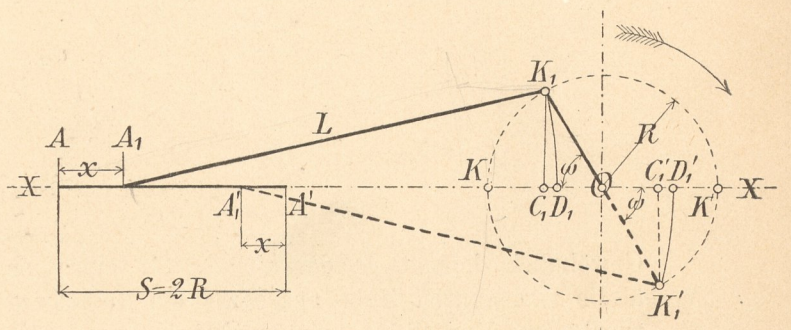
2. Schubstange von endlicher Länge L.

Um zu den Kurbellagen OK_1 bzw. OK_1' , welche in Fig. 8 des Textes mit der linken bzw. rechten Totlage den Winkel ω bilden, die Wege

$$x = AA_1 \text{ bzw. } x = A'A_1'$$

von Kolben und Kreuzkopf aus deren entsprechenden Totlagen zu bekommen, hat man hier mit der Schubstangenlänge L in K_1 bzw. K_1' einzusetzen und auf der Hubrichtung $X-X$ einzuschneiden.

Fig. 8.



Setzt man andererseits in A_1 bzw. A_1' ein und schlägt mit der Länge L die Kreise $K_1 D_1$ bzw. $K_1' D_1'$, so ist der erwähnte Kolben- und Kreuzkopfweg auch

$$x = AA_1 = KD_1 \text{ für den Hinlauf}$$

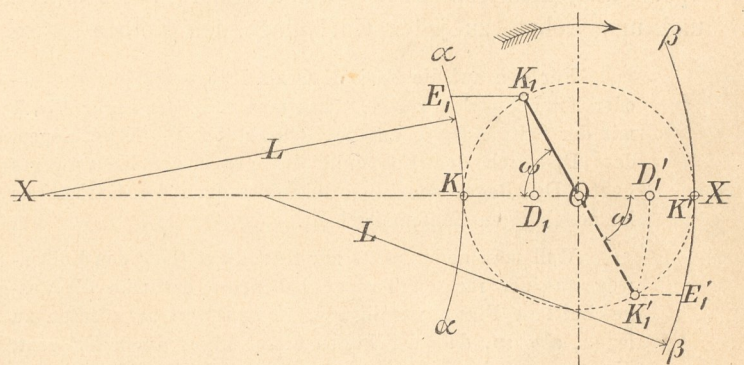
und $x = A'A_1' = K'D_1'$ für den Rücklauf.

Daraus ergeben sich die folgenden beiden einfachen Verfahren zur graphischen Bestimmung des Kolben- und Kreuzkopfwegs x bei einem Drehwinkel ω der Kurbel.

1. Verfahren. Kolbenweg-Diagramm von Schorch.

Schlägt man in Fig. 9 des Textes mit der Schubstangenlänge L zwei Kreise $\alpha K \alpha$ und $\beta K' \beta$, deren Mittel-

Fig. 9.



punkte auf der Hubrichtung $X-X$ liegen, so erhält man für irgend eine Kurbellage OK_1 bzw. OK_1' den Kolben- und Kreuzkopfweg x aus der zugehörigen Tot-

lage in der durch K_1 bzw. K_1' gezogenen Parallelen E_1K_1 bzw. $E_1'K_1'$ zur Hubrichtung $X-X$.

Nach der Figur ist nämlich der Weg

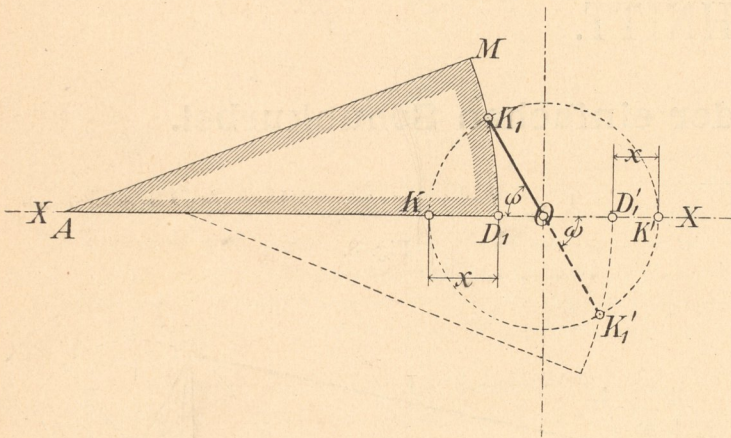
$$x = KD_1 = E_1K_1 \text{ für den Hinlauf}$$

und

$$x = K'D_1' = E_1'K_1' \text{ für den Rücklauf.}$$

2. Verfahren.

Fig. 10.



Gewöhnlich kommt es darauf an, für einen im Verhältnis zum ganzen Hube ausgedrückten Kolbenweg die zugehörige Kurbellage, und umgekehrt zu einer Kurbellage den so ausgedrückten Kolbenweg zu finden. Man trägt deshalb, wie später gezeigt werden wird, den Kurbelkreis nicht in wirklicher, sondern in beliebig reduzierter Grösse auf, schlägt ihn also mit einem beliebigen Radius OK , am besten mit $OK = 50 \text{ mm}$, ($KK' = 100 \text{ mm}$). Schneidet man sich dann eine Figur AD_1M (Fig. 10 des Textes) in Pappe oder Holz aus, bei der der Bogen D_1M einen Radius $AD_1 =$ der Schubstangenlänge L hat, und berücksichtigt, dass L gewöhnlich zwischen $4R$ bis $6R$ schwankt, am meisten $5R$ beträgt, also für $OK = 50 \text{ mm}$, $L = 250 \text{ mm}$ genommen werden kann, so erhält man durch einfaches Anlegen dieser Figur AD_1M in der aus Fig. 10 ersichtlichen Weise zu jedem Kolbenweg x die zugehörige Kurbellage, und umgekehrt, zu jeder Kurbellage den Kolbenweg x .

Für den auf die Basis KK' als Hub bezogenen Kolben- oder Kreuzkopfweg $x = KD_1$ hat man z. B. die Figur AD_1M mit der Seite AD_1 so an die Hubrichtung $X-X$ anzulegen, dass D_1 durch den Endpunkt des gegebenen Kolbenweges geht. Der Bogen der Figur schneidet dann den Kurbelkreis im zugehörigen Zapfenmittel K_1 .

Will man andererseits zur Kurbellage OK_1' den Kolbenweg aus der rechten Totlage haben, so hat man die ausgeschnittene Figur, wie in Fig. 10 punktiert angedeutet, zu legen, also so, dass der Bogen dieser Figur durch K_1' geht, die untere Seite derselben aber immer in die Hubrichtung fällt. $D_1'K'$ ist dann der gesuchte Kolbenweg, natürlich bezogen auf KK' als Hub.

Ein anderes Verfahren zur Bestimmung der Kolbenwege ist das Folgende.

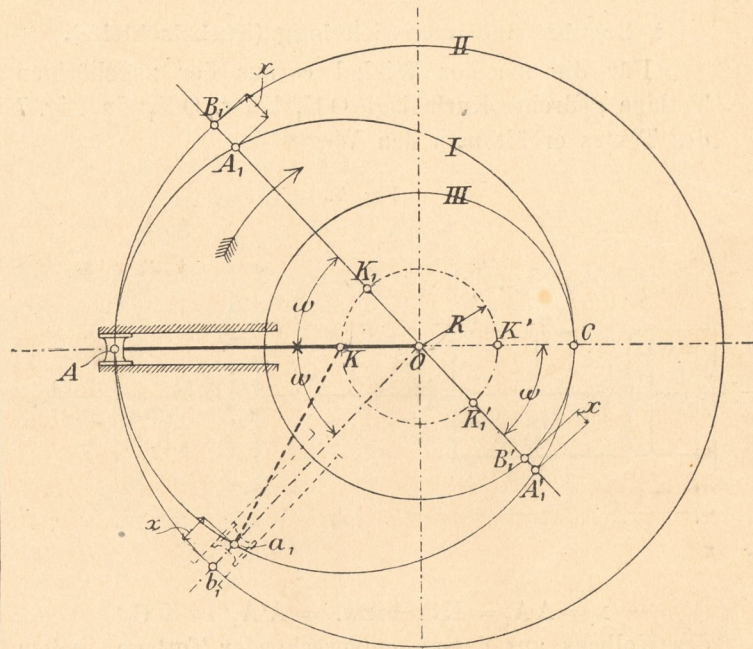
3. Verfahren. Kolbenweg-Diagramm von Prof. Chr. Müller in Stuttgart¹⁾.

In Fig. 11 des Textes ist K der Mittelpunkt eines mit der Schubstangenlänge L als Radius geschlagenen Kreises I, O dagegen der Mittelpunkt zweier Kreise II und III, die beide den Kreis I berühren, und zwar der erste aussen im Punkte A , der zweite innen im Punkte C . Um nun mit Hilfe dieser drei Kreise den Kolbenweg x für irgend eine um den Winkel ω aus der zugehörigen Totlage abweichende Kurbelstellung OK_1 bzw. OK_1' zu erhalten, hat man nur diese Kurbelstellung zu verlängern und die Schnittpunkte dieser Verlängerung mit den Kreisen I und II für den Hinlauf, I und III für den Rücklauf aufzusuchen. Es ist dann nach der Figur

$$x = A_1B_1 \text{ für den Hinlauf und}$$

$$x = A_1'B_1' \text{ „ „ Rücklauf.}$$

Fig. 11.



Die Richtigkeit des vorstehenden Verfahrens erkennt man, sobald man der ganzen Maschine, deren Kurbel sich in der linken Totlage befinden und die sich in der angedeuteten Pfeilrichtung drehen möge, eine ebenso grosse, aber entgegengesetzte Drehung erteilt. Die Kurbel liegt dann in OK fest, während sich das ganze Maschinenbett (siehe die punktierte Lage) entgegen zur wirklichen Drehrichtung der Kurbel herumbewegt. Dabei bleiben natürlich die Kolben- oder Kreuzkopfwege für gleiche Winkel ω dieselben wie bei der thatsächlichen Bewegung der Schubkurbel. Man braucht aber den Winkel ω nicht entgegen zur Drehrichtung der Kurbel aufzutragen, da, wie aus der Figur ersichtlich, z. B. $A_1B_1 = a_1b_1$ ist.

1) Civilingenieur 1861, Seite 347.

Durch Rechnung findet man den Kolben- oder Kreuzkopfweg $x = KD_1$ bzw. $K'D_1'$ (Fig. 8 des Textes auf Seite 15) bei einem Drehwinkel ω der Kurbel aus der linken bzw. rechten Totlage angenähert, aber für die Fälle der Praxis hinreichend genau, zu

$$x = R(1 - \cos \omega) \pm \frac{1}{2} \frac{R^2}{L} \sin^2 \omega \dots 21$$

worin das $+$ Zeichen für den Hin-, das $-$ Zeichen für den Rücklauf gilt, R der Kurbelradius, L die Schubstangenlänge ist.

Nach Fig. 8 ist

$$x = KD_1 = KC_1 + C_1D_1 \text{ für den Hinlauf und}$$

$$x = K'D_1' = K'C_1' - C_1'D_1' \text{ für den Rücklauf.}$$

Nach Gleichung 20 beträgt nun $KC_1 = K_1'C_1' = R(1 - \cos \omega)$, und ferner ist

$$C_1D_1 = C_1'D_1' = A_1D_1 - A_1C_1 = L - \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2 \omega}$$

$$= L \left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \omega} \right),$$

also genau

$$x = R(1 - \cos \omega) \pm L \left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \omega} \right) 21a$$

oder, da annähernd

$$\sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \omega} \approx 1 - \frac{1}{2} \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \omega \text{ ist,}$$

$$x = R(1 - \cos \omega) \pm \frac{1}{2} \frac{R^2}{L} \sin^2 \omega.$$

Schliesslich empfiehlt es sich, zu merken, dass bei demselben Drehwinkel ω der Kolbenweg x für endliche Schubstangenlänge um dasselbe Stück ($C_1D_1 = C_1'D_1'$ in Fig. 8 des Textes, $\frac{1}{2} \frac{R^2}{L} \sin^2 \omega$ in Gleichung 21) bei **Hinlauf grösser**, beim **Rücklauf kleiner** als für unendlich lange Schubstange ist.

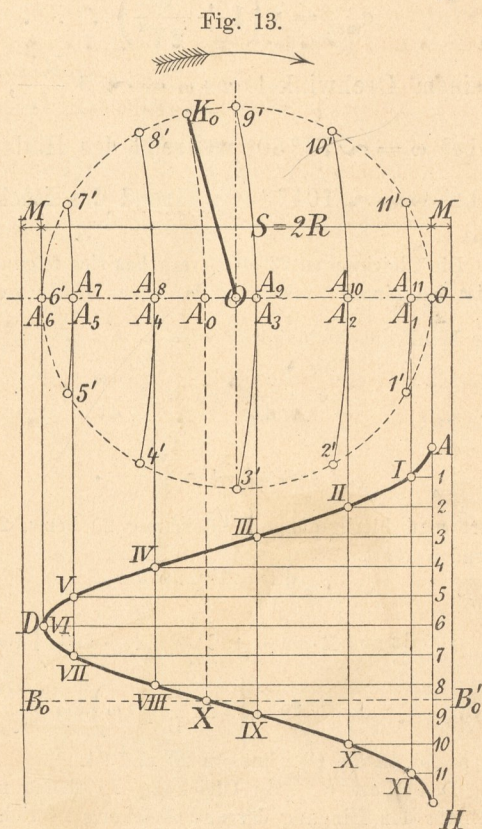
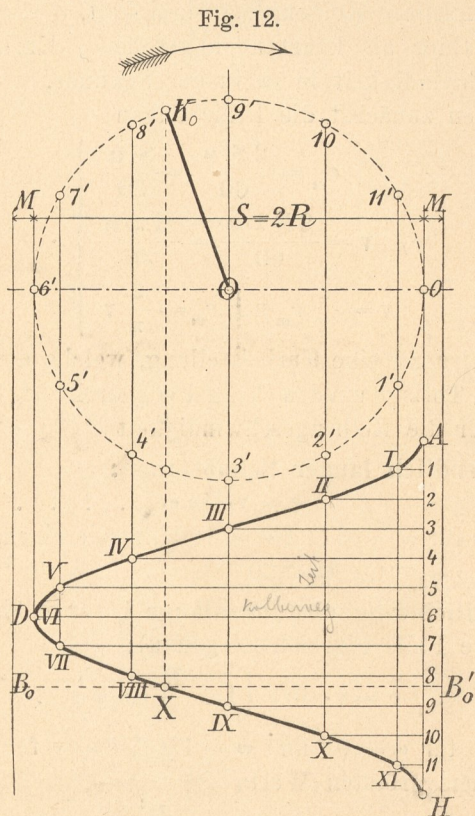
Zur Konstruktion der Arbeits- und Druck-Diagramme von Maschinen mit mehrmaliger Expansion des Dampfes bedarf man der sogenannten **Raum- oder Volumdiagramme**, wie solche zuerst von Zeuner behandelt und in Fig. 12 und 13 des Textes dargestellt sind. In diesen Figuren ist ADH eine Kolbenweglinie, welche als Abscissen die Kolbenwege, als Ordinaten die *Zeit hat* und in der folgenden Weise gefunden wird.

Man teilt sich in Fig. 12 des Textes den Kurbelkreis in eine Anzahl, z. B. 12, gleiche Teile $\widehat{01'}$, $\widehat{1'2'}$ u. s. w. und trägt unterhalb des Kreises in vertikaler Richtung ebenso viele, also im vorliegenden Falle 12, gleiche und beliebig grosse Strecken A_1, A_2 u. s. w. auf. Diese letzteren sind dann offenbar der Zeit proportional, in welcher die Teile $\widehat{01'}$, $\widehat{1'2'}$ des Kurbelkreises von dem mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich drehenden Kurbelzapfenmittel durchlaufen werden. Zieht man durch $0, 1', 2' \dots$ Vertikalen, durch $A, 1, 2 \dots$ Horizontalen, so liefern die Schnittpunkte $I, II \dots$ der entsprechenden Vertikalen und Horizontalen Punkte der erwähnten Kolbenweglinie für unendlich lange Schubstange.

Zu beiden Seiten des Kurbelkreises sind noch im Abstände M zwei Vertikalen gezogen. M ist, wie später angegeben, die Höhe des schädlichen Raumes, bezogen auf die nutzbare Kolbenfläche und den Massstab, in welchem der Kurbelkreis aufgetragen wurde.

In Fig. 13 des Textes ist die Kolbenweglinie unter Berücksichtigung der endlichen Schubstangenlänge gezeichnet. Man zieht hier nicht durch die Kurbelpunkte $1', 2' \dots$, sondern durch die diesen entsprechenden Kolbenstellungen $A_1, A_2 \dots$ Vertikalen. In der Figur sind diese Kolbenstellungen nach dem durch Fig. 10 auf Seite 16 angedeuteten Verfahren konstruiert.

Für irgend eine Kurbelstellung OK_0 erhält man nun aus den vorstehenden Raumiagrammen die Strecken B_0X und XB_0' , indem man die durch K_0 in Fig. 12, A_0 in Fig. 13 gezogenen Vertikalen zum Schnitt mit



dem zugehörigen Teil DH der Kolbenweglinie in X bringt. Diese Strecken B_0X und XB_0' stellen aber in dem gewählten Massstabe die Räume dar, welche, bezogen auf die Einheit der Kolbenfläche, links und rechts vom Kolben bei der erwähnten Kurbellage vorhanden sind.

§ 8.

Die Kolben-(Kreuzkopf-)Geschwindigkeit.

Ist

R der Kurbelradius, **S = 2R** der Kolbenhub in **m**,
c_m die mittlere Kolbengeschwindigkeit,
v die (hier als konstant angesehen) Kurbelzapfen-
 geschwindigkeit in **m** in der Sekunde,
 so bestehen zunächst die Beziehungen

$$\left. \begin{aligned} c_m &= \frac{2S \cdot n}{60} = \frac{S \cdot n}{30} \\ v &= \frac{2R \pi \cdot n}{60} = \frac{R \pi \cdot n}{30} \\ v &= \frac{\pi}{2} c_m \text{ und } c_m = \frac{2}{\pi} v \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 22$$

Für irgend eine Kurbelstellung, welche aus der zu-
 gehörigen Totlage um den Winkel ω gedreht ist, berechnet
 sich ferner die Kolbengeschwindigkeit

bei **unendlich langer Schubstange:**

$$c = v \cdot \sin \omega \dots \dots \dots 23$$

mit $c = 0$ für $\omega = 0^\circ$ und $\omega = 180^\circ$, sowie einem grössten
 Werte $c_{\max} = v$ für $\omega = 90^\circ$;

bei **endlicher Schubstangenlänge L** (angenähert, aber
 für unsere Fälle hinreichend genau):

$$c = v \cdot \sin \omega \left(1 \pm \frac{R}{L} \cos \omega \right) \dots \dots 24^1)$$

mit $c = 0$ für $\omega = 0^\circ$ und $\omega = 180^\circ$, $c = v$ für $\omega = 90^\circ$,
 sowie einem grössten Werte

$$c_{\max} = v \left(1 + \frac{R^2}{2L^2} \right) \dots \dots \dots 25$$

der bei einem Drehwinkel $\cos \omega = \sim \pm \frac{R^1}{L}$, also für

$\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$ bei $\omega = \sim 78^\circ 30'$ während des Hinlaufes,

bei $\omega = \sim 101^\circ 30'$ während des Rücklaufes,
 eintritt.

Die Gleichungen 23 bis 25 ergeben sich folgendermassen.
 Es ist bei einem Drehwinkel ω , einem Kolbenwege x und
 einer Winkelgeschwindigkeit $w = \frac{v}{R}$

$$c = \frac{dx}{dt} \text{ und } w = \frac{d\omega}{dt},$$

also

$$c = w \frac{dx}{d\omega} = \frac{v}{R} \frac{dx}{d\omega}.$$

Führt man hierin den aus Gleichung 20 bzw. 21 sich er-
 gebenden Wert

$$dx = R \cdot \sin \omega \cdot d\omega$$

bzw.

$$\begin{aligned} dx &= \left(R \cdot \sin \omega \pm \frac{R^2}{2L} 2 \sin \omega \cdot \cos \omega \right) d\omega \\ &= R \cdot \sin \omega \left(1 \pm \frac{R}{L} \cos \omega \right) d\omega \end{aligned}$$

ein, so folgen die Gleichungen 23 und 24.

Den Wert c_{\max} in Gleichung 25 findet man, wenn
 z. B. für den Hingang der aus Gleichung 24 sich ergebende
 Wert

$$\frac{dc}{d\omega} = \cos \omega + \frac{R}{L} \cos 2\omega = 0$$

oder

1) Das + Zeichen gilt für den Hin-, das - Zeichen für den
 Rücklauf.

$$\cos^2 \omega + \frac{L}{2R} \cos \omega - \frac{1}{2} = 0$$

oder

$$\cos \omega = -\frac{L}{4R} + \sqrt{\frac{L^2}{16R^2} + \frac{1}{2}} = \frac{L}{4R} \left(-1 + \sqrt{1 + 8 \frac{R^2}{L^2}} \right)$$

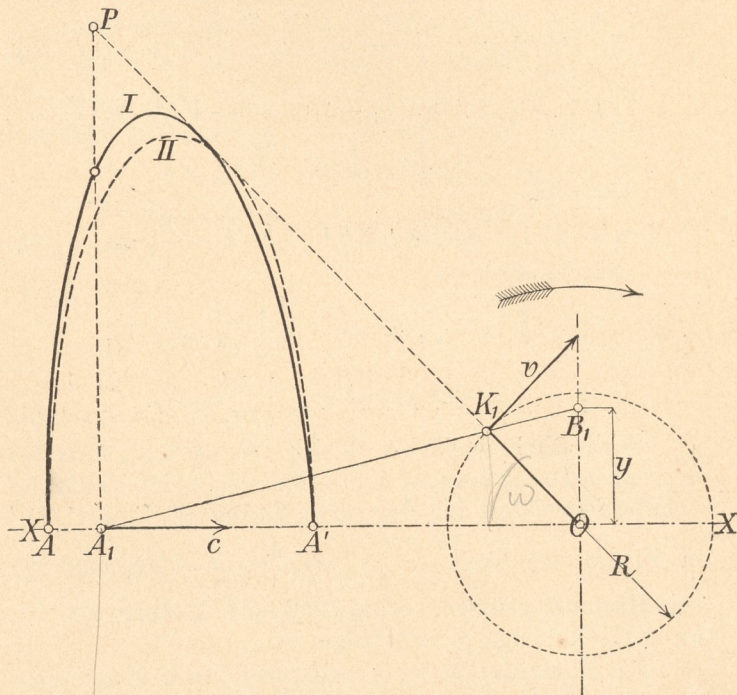
oder genügend genau

$$\cos \omega = \sim \frac{R}{L}$$

gesetzt und in Gleichung 24 eingeführt wird, nämlich

$$c_{\max} = v \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \left(1 + \frac{R^2}{L^2} \right)} = \sim v \left(1 + \frac{R^2}{2L^2} \right).$$

Fig. 14.



Zu einer einfachen graphischen Darstellung der
 Kolbengeschwindigkeit gelangt man, wenn man berück-
 sichtigt, dass in Fig. 14 des Textes für irgend eine
 Kurbellage OK_1 und der zugehörigen Pleuellager-
 stellung A_1 der Schnittpunkt P der Verlängerung von OK_1 mit der
 in A_1 auf $X-X$ errichteten Senkrechten den Pol für
 die augenblickliche Bewegung der Punkte A_1 und K_1
 bildet. Es verhält sich deshalb

$$\frac{c}{v} = \frac{A_1 P}{K_1 P} = \frac{OB_1}{OK_1} = \frac{y}{R},$$

woraus dann

$$c = \frac{v}{R} y$$

folgt.

Konstruiert man also für die einzelnen Pleuellager-
 stellungen die Strecke y und trägt diese, multipliziert mit dem Werte
 von $\frac{v}{R}$, in dem betreffenden Massstabe in den einzelnen
 Pleuellagerlagen als Ordinaten auf, so erhält man ein Diagramm
 der Pleuellagergeschwindigkeit. In Fig. 14 des Textes gilt die
 Kurve $A_1 A'$ für ein Verhältnis $\frac{R}{L} = \frac{1}{3}$, diejenige $A_1 A' A'$
 für $L = \infty$.

Wählt man den Massstab so, dass $\frac{v}{R} = 1$ wird, so

braucht man y nur zu übertragen; für $L = \infty$ wird das
 Diagramm der Pleuellagergeschwindigkeit dann der über dem
 Pleuellager $\overline{AA'}$ als Durchmesser geschlagene Halbkreis.

§ 9.

Die Kolben-(Kreuzkopf-)Beschleunigung.

Während des ersten Teiles eines einfachen Hubes steigt die Kolben- und Kreuzkopfgeschwindigkeit c , die in den Totlagen Null ist, allmählich bis auf ihren grössten Wert c_{max} , um dann während des zweiten Teiles wieder auf Null herabzusinken. Kolben und Kreuzkopf erfahren also anfangs eine Beschleunigung, später eine Verzögerung, welche beide in der Totlage ihren grössten Wert, in der Lage c_{max} dagegen den Wert Null haben.

Für irgend eine Kurbellage, die gegen die verlassene Totlage unter dem Winkel ω geneigt ist, bestimmt sich die Beschleunigung, die, wenn sie negativ ausfällt, eine Verzögerung bedeutet,

bei **unendlich langer Schubstange** zu

$$p_0 = \frac{v^2}{R} \cos \omega \dots \dots \dots 26$$

bei **endlicher Schubstangenlänge L** zu

$$p = \frac{v^2}{R} \left(\cos \omega \pm \frac{R}{L} \cos 2 \omega \right) = p_0 \pm \frac{v^2}{R} \frac{R}{L} \cos 2 \omega \quad 27$$

wenn R wieder der Kurbelradius, v die konstante Kurbelzapfengeschwindigkeit (siehe Gleichung 22) ist und das +Zeichen für den Hin-, das -Zeichen für den Rücklauf gilt. Die Gleichung 27 ergibt

für $\omega = 0^\circ \dots p = \frac{v^2}{R} \left(1 + \frac{R}{L} \right)$ Beschleunigung **28a**

für $\alpha = 180^\circ \dots p = \frac{v^2}{R} \left(-1 + \frac{R}{L} \right)$ Beschleunigung

oder $p = \frac{v^2}{R} \left(1 - \frac{R}{L} \right)$ Verzögerung **28b**

Ferner ist bei endlicher Schubstangenlänge

für $\omega = 90^\circ$ ($\cos \omega = 0$)... die Verzögerung gleich $\frac{v^2}{R} \frac{R}{L}$,

für $\omega = 45^\circ$ ($\cos 2 \omega = 0$)... die Beschleunigung ebenso gross,

für $\omega = 135^\circ$ ($\cos 2 \omega = 0$)... die Verzögerung ebenso gross,

für $\omega = 30^\circ$ ($\cos 2 \omega = \frac{1}{2}$)

die Beschleunigung um $\frac{1}{2} \frac{v^2}{R} \frac{R}{L}$ grösser,

für $\omega = 60^\circ$ ($\cos 2 \omega = -\frac{1}{2}$)

die Beschleunigung um $\frac{1}{2} \frac{v^2}{R} \frac{R}{L}$ kleiner,

für $\omega = 120^\circ$ ($\cos 2 \omega = -\frac{1}{2}$)

die Verzögerung um $\frac{1}{2} \frac{v^2}{R} \frac{R}{L}$ grösser,

für $\omega = 150^\circ$ ($\cos 2 \omega = +\frac{1}{2}$)

die Verzögerung um $\frac{1}{2} \frac{v^2}{R} \frac{R}{L}$ kleiner

als die Beschleunigung bzw. Verzögerung bei unendlich langer Schubstange für denselben Drehwinkel ω .

Die Gleichung 26 bzw. 27 ergibt sich, wenn man aus Gleichung 23

$$p_0 = \frac{dc}{dt} = v \cdot \cos \omega \frac{d\omega}{dt},$$

oder mit

$$\frac{d\omega}{dt} = w = \frac{v}{R},$$

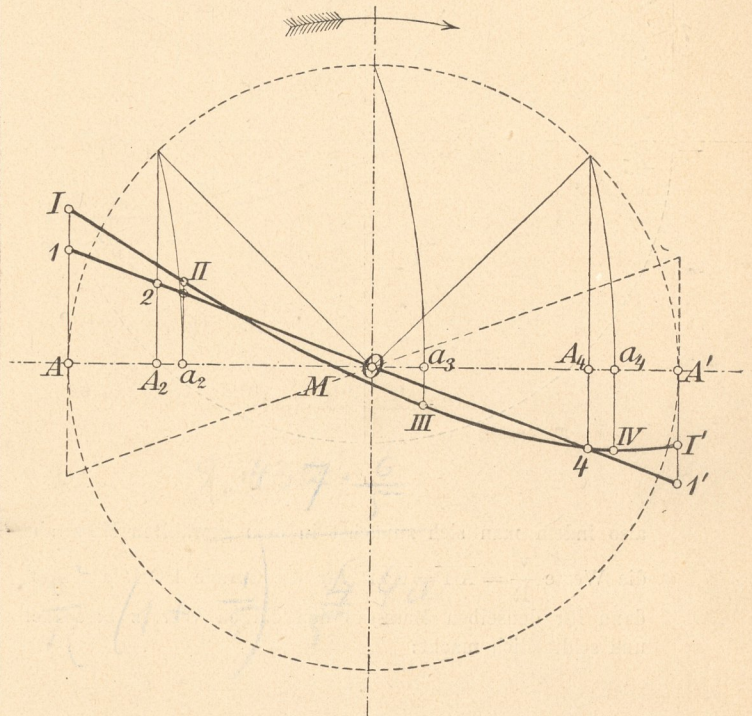
$$p_0 = \frac{v^2}{R} \cos \omega$$

bildet, bzw. aus Gleichung 24

$$p = \frac{dc}{dt} = v \left(\cos \omega \pm \frac{R}{L} \cos 2 \omega \right) \frac{d\omega}{dt} = \frac{v^2}{R} \left(\cos \omega \pm \frac{R}{L} \cos 2 \omega \right)$$

herstellt.

Fig. 15.



Die graphische Darstellung der Beschleunigungen während eines einfachen Hubes ergibt bei unendlich langer Schubstange die gerade Linie 1 O 1' in Fig. 15 des Textes für den Hinlauf.

Diese Linie schneidet die Hublinie $\overline{AA'}$ im Mittelpunkte O und hat in der einen Totlage die in dem betreffenden Massstabe nach oben aufgetragene Beschleunigung $\frac{v^2}{R} = \overline{AI}$, in der anderen Totlage die ebenso grosse, aber nach unten aufgetragene Verzögerung $\frac{v^2}{R} = \overline{A'I'}$ als Ordinaten.

Für den Rücklauf liegt die Beschleunigungskurve, wie punktiert angedeutet, gerade entgegengesetzt zur Hublinie.

Bei endlicher Schubstangenlänge bildet die Beschleunigungskurve die gekrümmte Linie IMI' in Fig. 15 des Textes für den Hinlauf. Man verzeichnet diese Linie am einfachsten mit Hilfe der Geraden 1 O 1' und des Wertes

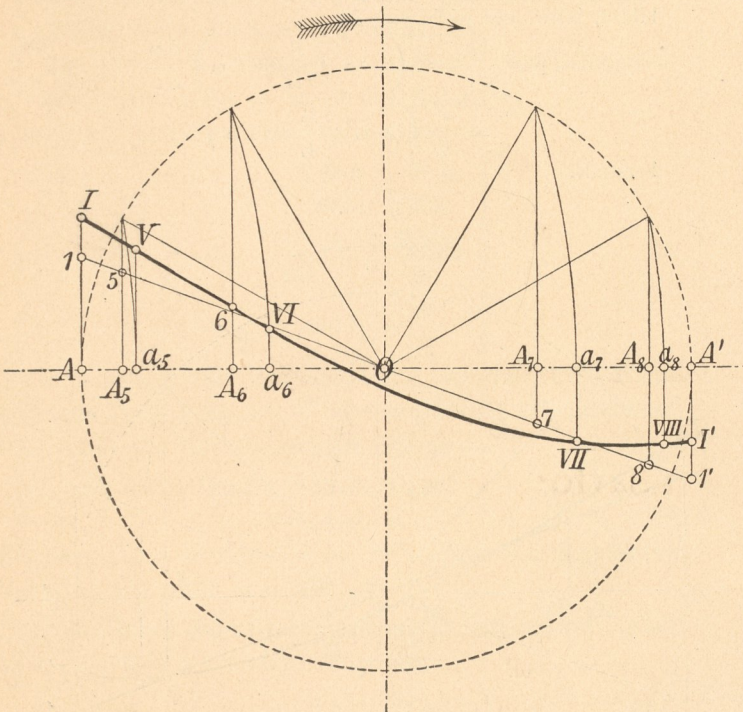
$$z = \frac{v^2}{R} \frac{R}{L},$$

indem man einige Punkte der Kurve bestimmt.¹⁾ In Fig. 15 des Textes sind die vier Punkte I, II, III, IV, I' für die Drehwinkel $\omega = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ bestimmt.

1) Siehe „Radinger, Dampfmaschinen mit hoher Kolben- geschwindigkeit“, Verlag von Carl Gerold's Sohn in Wien.

Man findet diese Punkte, wenn man die Gleichungen 26 bis 28, sowie das über die Grösse der Beschleunigung bei $\omega = 90^\circ, 45^\circ$ und 135° auf Seite 19 Angegebene berücksichtigt,

Fig. 16.



also indem man sich zunächst in dem gewählten Massstabe die Werte $\frac{v^2}{R} = \overline{AI} = \overline{A'I'}$ für die Gerade $101'$ aufträgt, dann für denselben Massstab den obigen Wert z berechnet und schliesslich macht:

bei $\omega = 0^\circ \dots \overline{AI} = \overline{A'I} + z,$
 bei $\omega = 45^\circ \dots \overline{a_2 II} = \overline{A_2 2},$
 bei $\omega = 90^\circ \dots \overline{a_3 III} = z,$
 bei $\omega = 135^\circ \dots \overline{a_4 IV} = \overline{A_4 4},$
 bei $\omega = 180^\circ \dots \overline{A'I'} = \overline{A'I'} - z.$

Will man weitere Punkte der Kurve festlegen, so kann man die in Fig. 16 des Textes angegebenen Punkte V, VI, VII, VIII für die Drehwinkel $\omega = 30^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ aufsuchen.

Diese Punkte findet man ebenfalls, wenn man das auf Seite 19 Gesagte, um wieviel nämlich bei den angegebenen Drehwinkeln die Beschleunigung bzw. Verzögerung bei endlicher Schubstangenlänge grösser oder kleiner als bei unendlich langer ist, berücksichtigt, also macht:

bei $\omega = 30^\circ \dots \overline{a_5 V} = \overline{A_5 5} + \frac{1}{2} z,$
 bei $\omega = 60^\circ \dots \overline{a_6 VI} = \overline{A_6 6} - \frac{1}{2} z,$
 bei $\omega = 120^\circ \dots \overline{a_7 VII} = \overline{A_7 7} + \frac{1}{2} z,$
 bei $\omega = 150^\circ \dots \overline{a_8 VIII} = \overline{A_8 8} - \frac{1}{2} z,$

Die Beschleunigungskurve für endliche Schubstangenlänge schneidet die Hublinie bei einem Drehwinkel ω , für den die Kolbengeschwindigkeit gleich c_{max} ist. Auf Seite 18 wurde dieser Winkel bei einem Verhältnis $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$

zu $\omega = \sim 78^\circ 30'$ für den Hinlauf und
 zu $\omega = \sim 101^\circ 30'$ für den Rücklauf

berechnet.