Die Construction der Beschleunigungscurve für endliche Schubstangenlängen.

Diese Curve, deren Abscissen am Kolbenwege oder am Kurbelkreisdurchmesser erscheinen, während die Ordinaten q darauf senkrecht nach dem Druckmaßstab des Dampfdiagramms aufzutragen sind, kann nach der Gleichung (3_1)

$$q = \frac{F}{f}\left(\cos\omega + \frac{r}{L}\cos 2\omega\right)$$

auf folgende Arten leicht construirt werden:

a) Mit Hilfe einer Cosinustabelle,

b) mit Hilfe einer Kolbenwegstabelle,

c) mittelst einiger (7) charakteristischen Punkte,

d) mittelst des Tangentenverfahrens,

e) durch Abstechen der Ordinaten richtig vorgezeichneter Curven,

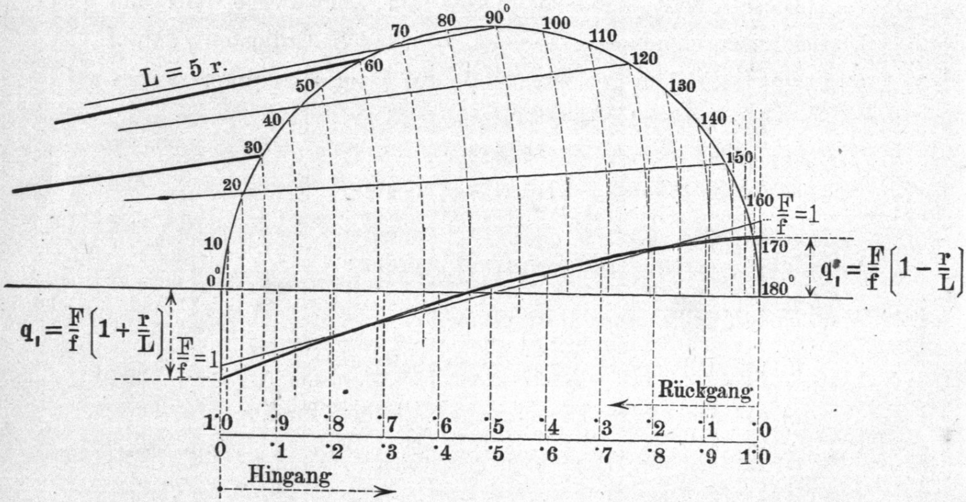
f) durch ein abgekürztes Verfahren.

a) Mit Hilfe einer Cosinustabelle lässt sich für jedes Schubstangen-Längenverhältniss $\frac{r}{L}$ der Werth in der Klammer für die einzelnen Winkel ω berechnen, und mit der Annahme $\frac{F}{f} = 1$ als Ordinaten über den zugehörigen Kolbenstellungen auftragen.

Im Anhange IIa ist eine solche Tabelle für einige der gebräuchlichsten Schubstangenlängen zu finden, und die Curve für $\frac{L}{r} = 5$ in der folgenden Figur gezeichnet.

Für $\frac{F}{f} = 1$ ist als Maßstab die Höhe der Ordinaten von 1 Kilogr. per 1 $cm^2 = 1$ Atm. im Dampfdiagramme zu nehmen. Wäre dieser Maßstab beispielsweise 10 *mm* per Atmosphäre, so

Fig. 4



wären die Werthe der Klammer als q sofort als Millimeter aufzutragen, wie es in der Fig. 4 geschah.

Für größere oder kleinere Beträge von $\frac{F}{f}$ sind die Werthe der Klammer mit dem Betrage $\left(\frac{F}{f}\right)$ zu multipliciren, was bei ganzen Vielfachen am einfachsten gleich durch wiederholtes Umschlagen mit dem Zirkel geschieht.

Die so erhaltenen Ordinaten q stellen dann stets jenen Druck in Atmosphären am Dampfkolben vor, welchen die hin- und hergehenden Massen in Folge ihrer Geschwindigkeitsänderungen beanspruchen oder abgeben. Wird der Kurbelkreisdurchmesser nun nachträglich in zehn oder mehr gleiche Theile getheilt, so ergeben sich die Werthe für q bei den einzelnen Kolbenstellungen durch Abstechen mit dem Zirkel.

b) Mit Hilfe einer Kolbenwegstabelle, welche die den einzelnen Zehnteln des Hubes zugehörigen Beschleunigungsdrücke unter Berücksichtigung verschiedener Schubstangen-Längenverhältnisse $\frac{r}{L}$ und mit Zugrundelegung von $\frac{F}{f} = 1$ enthält, lassen sich die Ordinaten der Beschleunigungscurve wohl am einfachsten über den zugehörigen Kolbenstellungen auftragen.

Als Höhenmassstabs-Einheit ist wieder $\frac{F}{f} = 1$ gleich dem Drucke von 1 Kilogr. per 1 $cm^2 = 1$ Atm. im Dampfdiagramm zu nehmen. (Ableitung im Anhange II*b*.)

Tabelle der Beschleunigungsdrücke

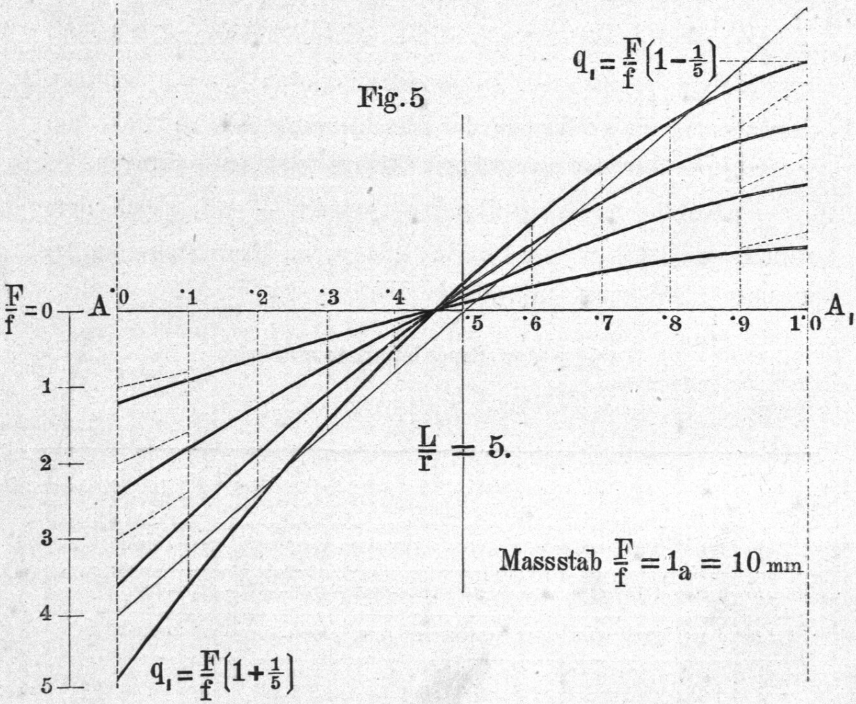
für $\frac{F}{f} = 1$ Atm.

Kolbenweg →	0	·1	·2	·3	·4	·5	·6	·7	·8	·9	1·0	Hingang
$L = 4r$	1·250	·9382	·6437	·3682	·1137	−·1172	−·3210	−·4932	−·6279	−·7172	−·7500	
$L = 5r$	1·200	·9073	6299	·3691	·1265	−·0960	−·2960	−·4706	−·6161	−·7278	−·8000	
$L = 6r$	1·167	·8875	·6220	·3712	·1364	−·0810	−·2793	−·4566	−·6099	−·7368	−·8333	
Kolbenweg ←	1·0	·9	·8	·7	·6	·5	·4	·3	·2	·1	0	Rückgang

Für größere oder kleinere Werthe von $\frac{F}{f}$ sind die Zahlen der Tabelle mit dem Betrage von $\left(\frac{F}{f}\right)$ zu multipliciren, was wieder am einfachsten durch Umschlagen mit dem Zirkel oder mittelst eines Proportionswinkels geschieht, nachdem man die Werthe für $\frac{F}{f} = 1$ nach dem Atmosphärenmaßstab in das Diagramm zeichnet.

Wäre letzterer Maßstab 1 c Höhe per 1 Atm., so wären die Zahlen der Tabelle direct als Centimeter zu behandeln.

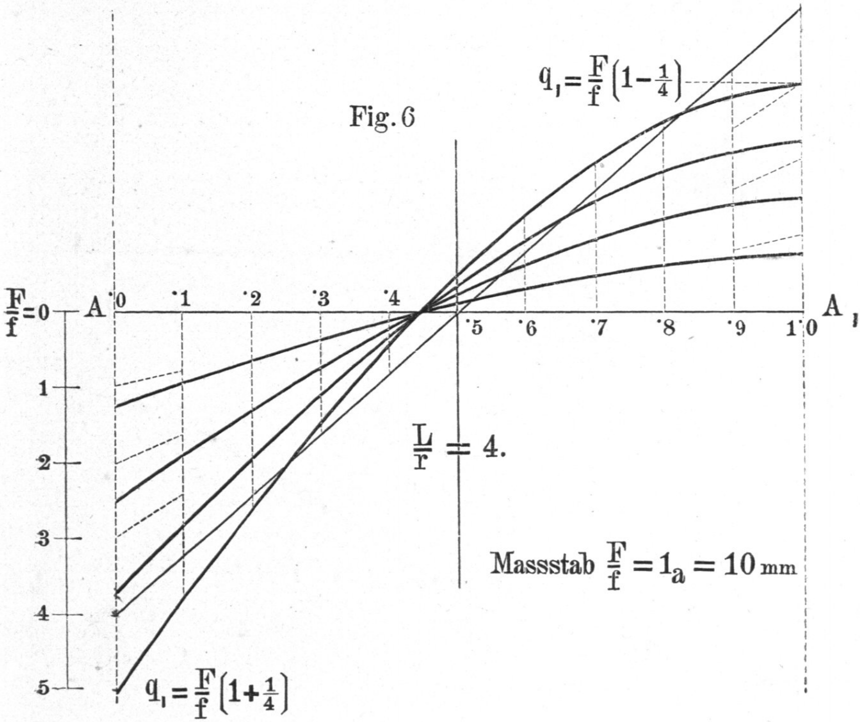
Derart entstanden die ersten (innersten) Curven der Fig. 5 und Fig. 6, indem über dem einzelnen Zehntel des angenommenen



Kolbenweges $A A_1$ die Ordinaten für $\frac{F}{f} = 1$ nach der Tabelle auf der vorigen Seite im Maßstabe $\frac{F}{f} = 1\,a = 1$ Centimeter aufgetragen und die erhaltenen Punkte verbunden wurden. Durch Umschlagen mit dem Zirkel ergaben sich die Beschleunigungscurven für die weiteren Werthe von $\frac{F}{f} = 2$ und mehr.

c) Die Curve lässt sich mittelst einiger charakteristischen Punkte zeichnen, wozu folgende Anhalte dienen.

Als Hilfslinie zeichnet man zuerst die Beschleunigungsgerade für unendlich lange Schubstangen, was mit $q_1 = \frac{F}{f}$ geschieht.



α) An den todten Punkten ist nun (siehe Fig. 7, Punkt *a* und *b*)

$$q_1 = q_2 = \frac{F}{f}\left(1 \pm \frac{r}{L}\right).$$

Das positive Zeichen gilt für den äußeren todten Punkt, d. i. den Beginn des Kolbenhinganges, das negative Zeichen für das Ende des Hinganges oder den Beginn des Rücklaufes.

Bei $\frac{r}{L} = \frac{1}{5}$ wird daher die äußere Ordinate der Geraden um $\frac{1}{5}$ ihrer Höhe vergrößert (Punkt a) und am inneren todten

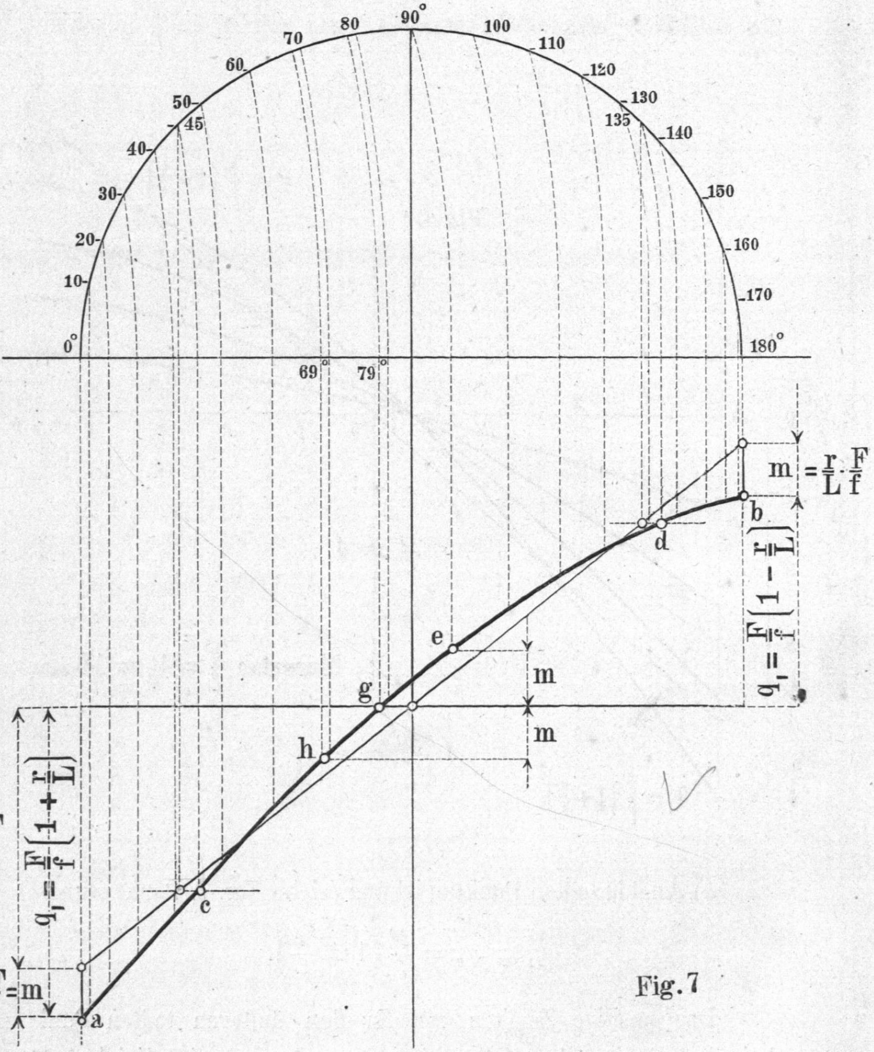


Fig. 7

Punkte, wobei der Kolben dem Kurbellager am nächsten steht, um $\frac{1}{5}$ verkleinert (Punkt b). Der Unterschied $m = \frac{F}{f} \cdot \frac{r}{L}$ kommt noch weiters zur Verwendung.

β) Werden die Winkel 45°, 90° und 135° (— 45°) vom Kurbelkreis unter Berücksichtigung der Schubstangenlänge auf die Abscisse projicirt, so ergeben sich drei weitere Punkte der Curve.

Bei den Kurbellagen $\omega = 45^0$ und 135^0 sind nämlich die Beschleunigungsdrücke q_3 und q_4 bei endlicher und unendlicher Schubstangenlänge einander völlig gleich und können daher durch Construction übertragen werden (Punkt c und d); bei der Kurbelstellung $\omega = 90^0$ (Punkt e) ist aber die Größe des Beschleunigungsdruckes $q_5 = -\frac{F}{f} \cdot \frac{r}{L} = -m$, gleich dem Unterschiede an den todten Punkten*).

Der Nachweis hiefür und die Lage von zwei weiteren Punkten, nämlich $q_6 = 0$ (Punkt g), an dem die Curve die Abscissenachse schneidet, und $q_7 = +m$ (Punkt h), für welchen die Ordinate bereits in den Zirkel gefasst ist, findet sich im Anhange IIc.

Danach wird

für $\frac{L}{r} =$		4	5	6	
$q_5 = -m$	bei	·563	·550	·542	des Kolbenweges
$q_6 = 0$	„	·448	·456	·466	„ „
$q_7 = +m$	„	·347	·369	·387	„ „

---

*) Statt mittelst Construction kann auch die Lage des hingehenden Kolbens für die Kurbelstellung $\omega = 90^0$, wobei $q = m$ ist, aus der Gleichung (1_1), Anmerkung Seite 14, gefunden werden, welche für $\omega = 90^0$ die Form annimmt

$$x = r\left(1 \pm \frac{1}{2}\frac{r}{L}\right)$$

Für $\frac{L}{r} =$	4	5	6	
wird $x_{,} =$	·563	·550	·542	des Hubes für den Hingang
und $x_{,,} =$	·437	·450	·458	„ „ „ „ Rückgang.

d) Tangentenverfahren. Werden die drei charakteristischen Punkte der zu ziehenden Curve: Anfang, Ende und Lage für die Kurbelerhebung von $\omega = 90^0$ nach Vorgang *c* bestimmt, so ergeben sich die Winkel β ihrer Tangenten gegen die Abscissenachse laut Anhang II*d* aus der Gleichung (*i*)

$$r . \operatorname{tg} \beta = \frac{F}{f} \cdot \frac{1 + 4 \frac{r}{L} \cos \omega}{1 + \frac{r}{L} \cos \omega} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (i)$$

Hiernach sind bei den Kurbelstellungen des Hinganges von:

	$\omega = 0^0$	90^0	$\omega = 180^0$
für $\frac{L}{r} = 4$	$r . \operatorname{tg} \beta = \frac{8}{5} \cdot \frac{F}{f}$	$= \frac{F}{f}$	$r . \operatorname{tg} \beta = 0$
$= 5$	„ $= \frac{3}{2} \cdot \frac{F}{f}$	$= \frac{F}{f}$	„ $= \frac{1}{4} \cdot \frac{F}{f}$
$= 6$	„ $= \frac{10}{7} \cdot \frac{F}{f}$	$= \frac{F}{f}$	„ $= \frac{2}{5} \cdot \frac{F}{f}$

Für die Stellung bei $\omega = 90^0$ ist die Tangente sofort zu ziehen. Denn hier ist sie stets für die Curve eine Parallele zur Geraden für die unendliche Schubstangenlänge, deren Anfangspunkt die Ordinate $\frac{F}{f}$ hat.

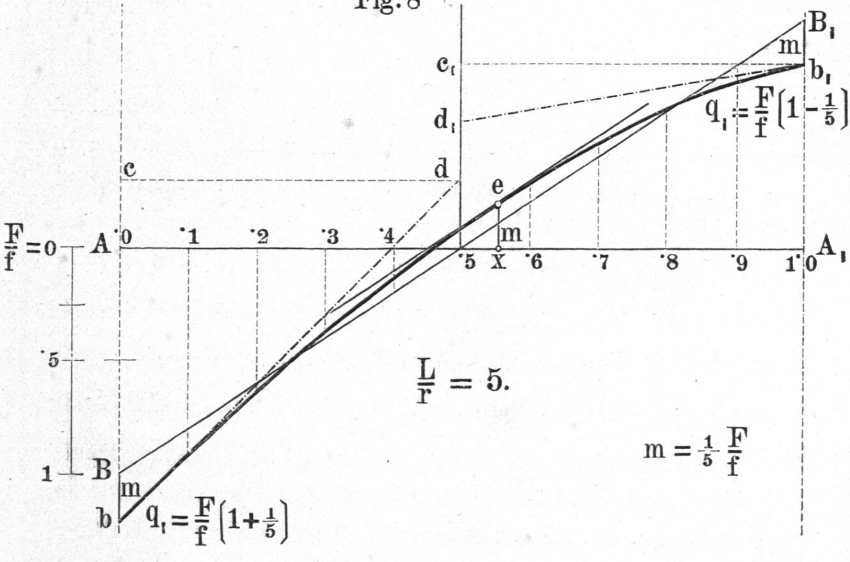
Letztere im Maß $\left(1 + \frac{r}{L}\right)$ mal vergrößert, gibt den Anfangspunkt der Curve. Wird von letzterem nun der Betrag der Tangente z. B. (bei fünffacher Stangenlänge) $\frac{3}{2}$ mal $\frac{F}{f}$ nach aufwärts getragen und auf die Ordinate für ·5 Kolbenweg projectirt, so ist die Verbindungslinie zwischen dem letztgefundenen Punkte und dem Anfangspunkte der Curve sofort deren Tangente.

In gleicher Weise wird am Endpunkte verfahren, wobei die Form der Ausdrücke für die Tangenten als kurze Brüche von $\frac{F}{f}$ deren Auftragen mit dem Zirkel gestattet.

In Fig. 8 für fünffache Schubstangenlänge wurden also vorerst $\frac{F}{f} = 30$ *mm* angenommen und Punkte b und b_1 in der Entfernung von $\frac{F}{f}\left(1 \pm \frac{1}{5}\right)$ von A und A_1 bestimmt. Hierauf die Hälfte der Größe $AB = \frac{1}{2}\frac{F}{f}$ in den Zirkel genommen und von b nach c dreimal aufgetragen, der Punkt c nach d projectirt und bd als gesuchte Tangente gezogen.

Ebenso wurde b_1 nach c_1 projectirt, von c_1 eine Länge $c_1 d_1 = \frac{1}{4}\frac{F}{f}$ aufgetragen und $b_1 d_1$ als zweite Tangente gezogen.

Fig. 8



Wird noch berücksichtigt, dass für die Kolbenlage bei 90°, Punkt x der Fig. 8, die Tangente der Curve parallel der bereits gezogenen Geraden BB_1 und in einer Höhe e läuft, deren Ordinate $= m$ dem Unterschiede Bb ist, so kann nun die Curve mit großer Sicherheit diesen Tangenten entlang gezogen werden.

In gleicher Weise und mit den gleichen Buchstaben bezeichnet erscheinen die Figuren im Anhange IId für die Stangenlänge $L = 4$ und 6 mal der Kurbellänge r.

e) Verfahren durch das Abstechen der Ordinaten richtig vorgezeichneter Curven. Die Beschleunigungscurve für $\frac{F}{f} = 1$ ist für jedes einzelne Stangenverhältniss $\left(\frac{r}{L}\right)$ constant, und nicht etwa noch weiters von variablen, absoluten anderen Größen, von Hub, Kolbengeschwindigkeit, Touren oder den Massengewichten mehr abhängig. Man braucht sie daher nur ein- für allemal zu construiren (oder hier aus den Figuren abzustechen), um sie für alle in der Praxis vorkommenden Fälle zu Gebote zu haben.

Für einen speciellen graphisch durchzuführenden Fall werden die Ordinaten einfach $\frac{F}{f}$ mal so groß als für $\frac{F}{f} = 1$.

f) Abgekürztes Verfahren. Der parabelähnliche Charakter der Curve gestattet deren Zug allein aus den drei Punkten: Anfang, Ende und jenem, wo die Kurbel eben senkrecht steht. Ist noch an diesem letzteren Punkte die Tangente ohneweiters bekannt, so erhöht sich die Sicherheit des Zuges.

Verfahren. Vorerst wird die Linie für unendliche Stangenlänge gezogen, wozu man den Werth $q_1 = \frac{F}{f} = \frac{P}{f}\frac{w^2}{g\,r}$ oder $q_1 = \frac{F}{f} \cdot \frac{v^2}{2l} \dots$ im Metermaß rechnet und im Druckmaßstabe des Dampfdiagrammes als $\pm$ Endordinaten der Geraden benützt.

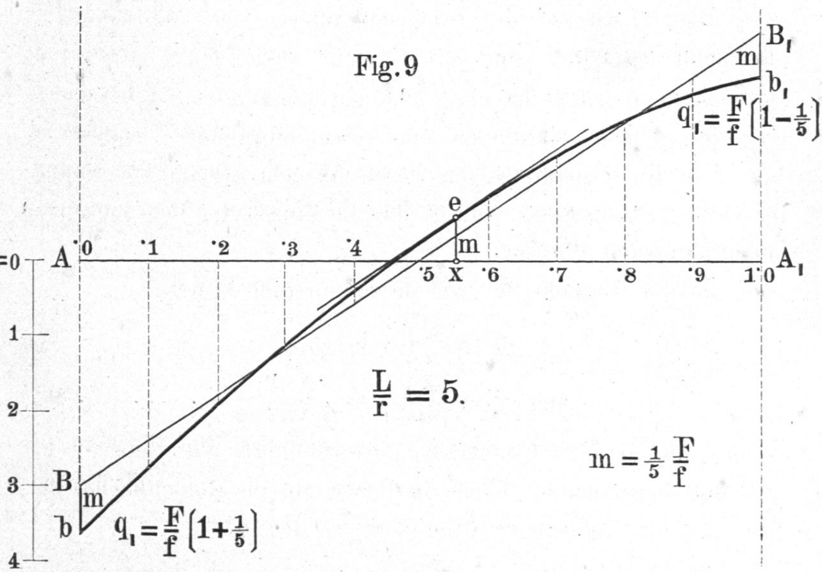
Dann wird mittelst Construction die Kolbenlage für die Kurbelstellung $\omega = 90^0$ bestimmt*). Hierauf wird die Größe m, der $\frac{r}{L}$- Theil der bisherigen Endordinaten in den Zirkel genommen und an den drei Punkten: Anfang, Ende und jenem, wo die Kurbel eben senkrecht steht, aufgetragen, wie bei Verfahren *c)* erörtert wurde. Durch den letzten dieser erhaltenen Punkte (für $\omega = 90^0$) wird zur Geraden für die unendlichen Stangenlängen eine Parallele gelegt, welche eine Tangente für die gesuchte Curve ist.

---

*) Siehe Anmerkung, Seite 21.

Nun gestattet der parabelähnliche Charakter der Curve ihren Zug allein aus diesen so erhaltenen drei Punkten (b, e und b_1 der Fig. 9) unter Beachtung der mittleren Tangente. Die Curve ist immer eine Parabel, deren Scheitel für alle Schubstangenlängen $L > 4r$ außerhalb des Endpunktes des Kolbenweges liegt; bei $L = 4r$ steht die Tangente senkrecht auf die Endordinate.

Fig. 9



Nachdem die übrigen Ordinaten der Curve von geringem Einflusse auf die weiteren Vorgänge bleiben, so genügt bei einiger Uebung und für alle Fälle, in welchen nicht Grenzgeschwindigkeiten zu beurtheilen sind, dieses einfachste dem Gedächtnisse anzuvertrauende Verfahren.