Beitrag zur Theorie und Berechnung der hydraulischen Regulatoren für Wasserkraftmaschinen

Schmoll von Eisenwerth, Adolph

Berlin, 1904

II. Teil.

urn:nbn:de:hbz:466:1-44587

II. Teil.

Untersuchung der Kolbenbewegung des Servomotors für veränderliche Verstellkraft des Leitapparates.

Die Bewegungsgleichung für diesen Fall lautet nach S. 17

$$-\frac{dv}{dt} - v^2 a - v^{\frac{3}{2}} b \pm c_0 \pm c_1 s \pm c_2 s^2 \ldots \pm c_\nu s^\nu = 0.$$

Wir haben gesehen, dass im besonderen Falle ($p_k = k_0 =$ konst.) das Glied $v^{\frac{3}{2}} b = v^2 \frac{b}{\sqrt{v}}$ näherungsweise durch $v^2 . \frac{b}{\sqrt{v_{max}}}$ ersetzt werden durfte, so dass an die Stelle von $- v^2 a - v^{\frac{3}{2}} b$ ein Glied $- v^2 a'$ trat, also die $\frac{3}{2}$te Potenz von v verschwand (S. 27). Es fragt sich nun, ob eine solche Vereinfachung auch im vorliegenden Falle statthaft ist.

Auch hier wird beim Ingangsetzen des Treibkolbens dessen Geschwindigkeit von Null aus bei zunächst noch kleinen Wegen s rasch anwachsen. Ist p_k nicht aussergewöhnlich stark vom Wege s abhängig, so wird daher während der starken Geschwindigkeitssteigerung am Anfang der Bewegung der Druck p_k sich noch nicht viel geändert haben; es gilt daher für den Anfang der Bewegung hinsichtlich des Einflusses von $v^{\frac{3}{2}} . b$ dasselbe wie im Falle $p_k =$ konst.

Bei den nunmehr erreichten grösseren Geschwindigkeiten findet eine raschere Zunahme des zurückgelegten Kolbenweges statt und es machen sich die Aenderungen von p_k deutlicher geltend. Wächst mit zunehmendem Kolbenweg der Widerstandsdruck p_k, so nimmt die Kolbengeschwindigkeit v allmählich wieder ab. Das Maximum von v ist in diesem Falle etwas kleiner als diejenige Geschwindigkeit $v_{0\,max}$, die bei konstanter Wirkung der Anfangsgrösse von p_k ($= p_k$ für $s = 0$) im Maximum eintreten könnte. Wird dagegen mit zunehmendem Kolbenweg der Widerstandsdruck p_k kleiner, so nimmt die Kolbengeschwindigkeit v weiter zu und kann $v_{o\,max}$ überschreiten. Diese Geschwindigkeitsänderungen im weiteren Verlaufe der Kolbenbewegung liegen nun bei brauchbaren Konstruktionen innerhalb gewisser Grenzen. Jedenfalls darf v nicht unter einen bestimmten Betrag sinken, da sonst die Regulierung ungünstig (mit grosser Schlusszeit) arbeitet. Im allgemeinen wird die Kolbengeschwindigkeit in den Gebieten der grösseren Geschwindigkeiten bleiben, in denen die Aenderungen des Gliedes $\frac{b}{\sqrt{v}}$ gegenüber dem Werte $\frac{b}{\sqrt{v_{o\,max}}}$ nicht mehr von grossem Einfluss sind.

Wir werden daher auch hier, ohne grosse Fehler zu begehen, statt des veränderlichen $\frac{b}{\sqrt{v}}$ das konstante $\frac{b}{\sqrt{v_{o\,max}}}$ setzen dürfen, d. h. an Stelle von

$$- v^2 a - v^{\frac{3}{2}} b$$

setzen wir

$$- v^2 a',$$

wobei

$$a' = a + \frac{b}{\sqrt{v_{o\,max}}}$$

ist, und $v_{o\,max}$ aus der Gleichung folgt:

$$a\, v_{o\,max}{}^2 + b\, v_{o\,max}{}^{\frac{3}{2}} = c_o\,.$$

Mit dieser Vereinfachung lautet jetzt die Bewegungsgleichung:

$$-\frac{dv}{dt} - v^2 a' \pm c_o \pm c_1 s \pm c_2 s^2 \pm \ldots \ldots$$

$$\pm c_v s^v = 0.$$

Setzen wir zur Abkürzung:

$$\pm c_o \pm c_1 s \pm c_2 s^2 \pm \ldots \pm c_v s^v = \Phi(s),$$

so ist:

$$-\frac{dv}{dt} - v^2 a' + \Phi(s) = 0.$$

Die Lösung dieser Gleichung lautet (*Forsyth-Maser*, Lehrbuch der Differentialgleichungen (1889) 4. Kap. § 67):

$$v = \sqrt{\frac{\Phi(s) - \left[\frac{\Phi'(s)}{2a'} + \frac{\Phi''(s)}{(2a')^2} + \frac{\Phi'''(s)}{(2a')^3} + \ldots \frac{\Phi^v(s)}{(2a')^v}\right] - \frac{C}{e^{2a's}}}{a'}};$$

dabei bedeutet:

$$\Phi'(s) \ldots \frac{d\,\Phi(s)}{ds},$$

$$\Phi''(s) \ldots \frac{d^2\,\Phi(s)}{ds^2},$$

$$\Phi^v(s) \ldots \frac{d^v\,\Phi(s)}{ds^v},$$

e = Basis der natürlichen Logarithmen.

C ergibt sich aus dem Anfangszustand:

Für $s = 0$ soll sein $v = 0$, also ist

$$C = \Phi(s=0) - \left[\frac{\Phi'(s=0)}{2a'} + \frac{\Phi''(s=0)}{(2a')^2} + \frac{\Phi'''(s=0)}{(2a')^3} + \ldots \frac{\Phi^v(s=0)}{(2a')^v}\right].$$

Aendert sich der Verstellungswiderstand beispielsweise nach einer Geraden derart, dass er mit zunehmendem Weg s grösser wird, so ist

$$\Phi(s) = c_0 - c_1\, s,$$

also

$$\Phi'(s) = -c_1,$$

$$\Phi''(s) \text{ usw. bis } \Phi^v(s) = 0.$$

Also:

$$C = c_0 + \frac{c_1}{2a'}$$

und

$$v = \sqrt{\frac{c_0 - c_1\, s - \left(\frac{-\,c_1}{2a'}\right) - \dfrac{c_0 + \dfrac{c_1}{2a'}}{e^{2a's}}}{a'}},$$

$$= \frac{1}{a'}\sqrt{\frac{(2a'\, c_0 + c_1)\left(1 - \dfrac{1}{e^{2a's}}\right) - 2a' c_1 s}{2}}.$$

Mit wachsendem s wächst $e^{2a's}$ rasch, also nimmt $(2a'\, c_0 + c_1)\left(1 - \frac{1}{e^{2a's}}\right)$ vom Werte Null aus rasch zu; dagegen wächst $2a'\, c_1\, s$ langsamer. Daraus folgt, dass v in diesem Falle zunächst rasch zunimmt, ein Maximum erreicht und dann allmählich abnimmt (vergl. die graphische Darstellung Fig. 16)

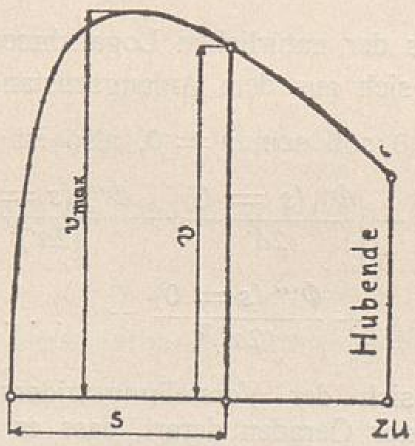

Fig. 16.

Die Lösung $v = \sqrt{\Phi\,(s)}$ usw. liefert die Kolbengeschwindigkeit v als Funktion des Weges s.

Der Zusammenhang zwischen Weg und Zeit ergibt sich dann mit Hilfe der Beziehung:

$$v = \frac{ds}{dt};\; dt = \frac{1}{v}\,.\, ds.$$

Zeichnen wir mit Benützung der Lösung $v = \sqrt{\Phi(s)}$ usw. eine Kurve:

$$\frac{1}{v} = \text{Funktion } (s),$$

indem wir z. B. die Wege s als Abszissen, die reziproken Werte der zugehörigen Geschwindigkeiten v als Ordinaten auftragen, so stellt das Flächenelement zwischen

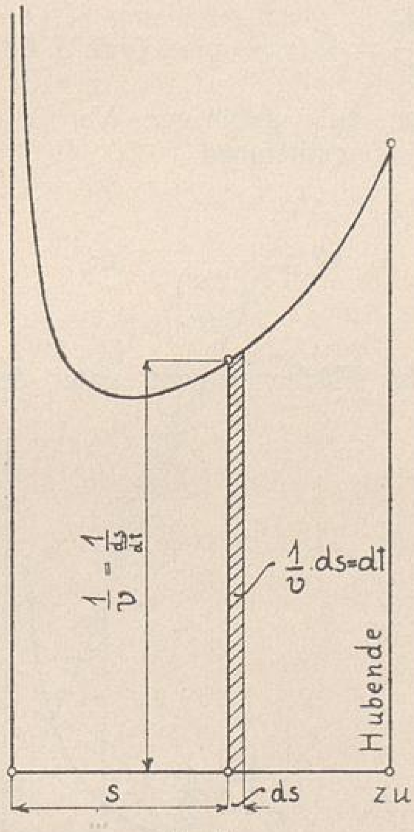

Fig. 17.

zwei um ds entfernten Ordinaten die Zeit dt dar, die für die Zurücklegung des Weges ds erforderlich ist. (Fig. 17). Die Fläche zwischen den zu s_1 und s_2 zugehörigen Ordinaten $\frac{1}{v_1}$ und $\frac{1}{v_2}$ stellt folglich die Zeit dar, die zur Zurücklegung des Weges $s_2 - s_1$ erforderlich ist.

Wir brauchen nun die Zeiten vom Anfang der Bewegung an, also von $s = 0$ an. Dabei ergibt sich die Schwierigkeit, dass die zu $s = 0$ zugehörige Anfangskoordinate $\frac{1}{v}$ unendlich ist, da ja für $s = 0$ auch $v = 0$ ist. Diese Schwierigkeit lässt sich folgendermaassen umgehen:

Wir bestimmen für den Bewegungsanfang die Beschleunigungen $i = \frac{dv}{dt}$ als Funktion von v aus der ursprünglichen Gleichung

$$\frac{dv}{dt} = \Phi(s) - v^2 a' \text{ (vgl. S. 68),}$$

wobei wir den zu v gehörigen Wert s aus der Kurve $v =$ Funktion (s) entnehmen.

Nun ist

$$dt = \frac{1}{\left(\frac{dv}{dt}\right)} \cdot dv,$$

mithin stellt das Flächenelement unter der neuen Kurve

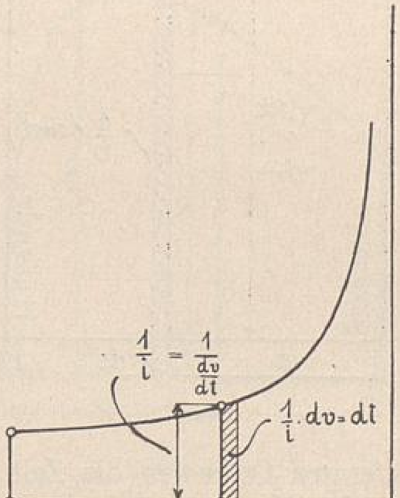

Fig. 18.

$\frac{1}{\left(\frac{dv}{dt}\right)} =$ Funktion (v), begrenzt von zwei um dv entfernten Ordinaten, die Zeit dt dar, während welcher die Geschwindigkeit um dv gewachsen ist. Die Fläche von $v = 0$ an bis $v = v$ stellt die Zeit t dar, die von Anfang der Bewegung bis zur Erreichung der Geschwindigkeit v verstrichen ist. Fig. 18. Da nun die zu den Geschwindigkeiten v zugehörigen Werte s aus der

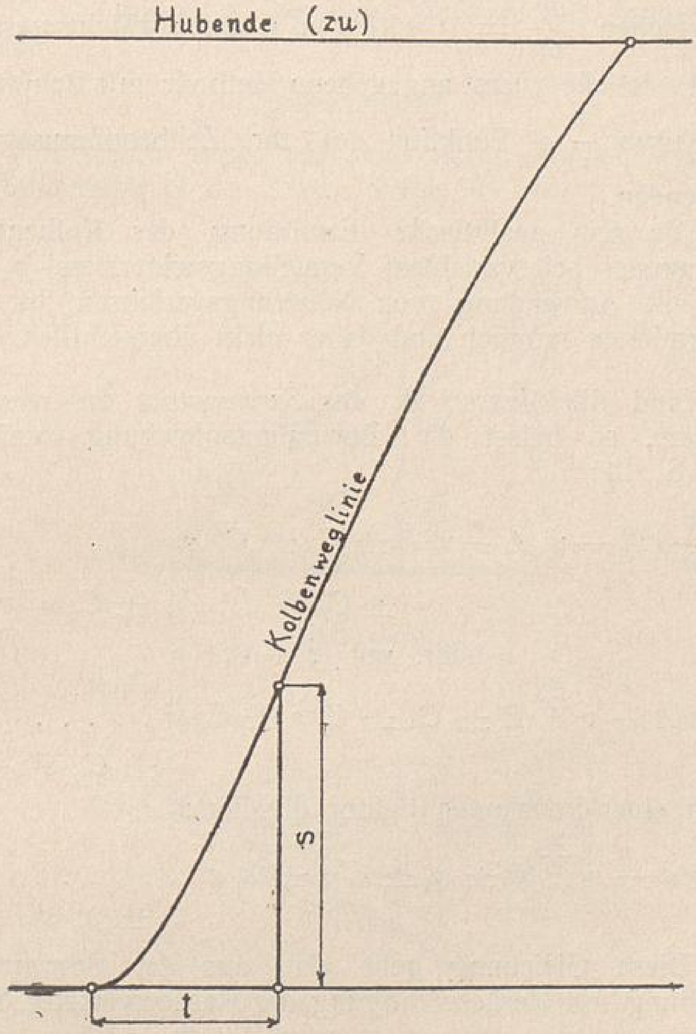

Fig. 19.

Kurve $v =$ Funktion (s) bekannt sind, so sind wir auch imstande, die Zeiten t zu bestimmen, die zum Zurücklegen der Wege s erforderlich sind. Die Zusammenstellung dieser Wertepaare s und t in rechtwinkligen Koordinaten gibt das gesuchte Kolbenwegdiagramm $s =$ Funktion (t), Fig. 19. Die Anfangskoordinaten der hier zur Zeitbestimmung benutzten Kurve $\frac{1}{\left(\frac{dv}{dt}\right)}$ = Funktion (v) liegen im Endlichen, so dass diese Methode für die Verfolgung des Bewegungs*anfanges* zu verwenden ist.

Für den Teil des Bewegungsvorganges dagegen, für welchen $\frac{dv}{dt} = 0$ wird (wo v einen Höchtswert erreicht), ist die zuerst angegebene Methode mit Benützung der Kurve $\frac{1}{v}$ = Funktion (s) zur Zeitbestimmung zu verwenden.

Die rein analytische Ermittlung des Kolbenwegdiagrammes bei variablem Verstellungswiderstand p_k ist nur mit Anwendung von Näherungsverfahren für die Integrationen möglich und daher nicht übersichtlich.

Sind die *Massen* $\mathfrak{M}$ *des Servomotors zu vernachlässigen*, so heisst die Bewegungsgleichung zunächst nach S. 17:

$$-\frac{dv}{dt}\,\mathfrak{M} - v^2 A - v^{\frac{3}{2}} B \pm C_0 \pm C_1\, s \pm C_2\, s^2 \;\ldots\ldots \pm C_v\, s^v = 0,$$

oder, mit $\mathfrak{M} = 0$:

$$-v^2 A - v^{\frac{3}{2}} B \pm C_0 \pm C_1\, s \pm C_2\, s^2 \ldots\ldots \pm C_v\, s^v = 0;$$

durch einen konstanten Faktor dividiert:

$$-v^2 a - v^{\frac{3}{2}} b \pm c_0 \pm c_1\, s \pm c_2\, s^2 \ldots\ldots \pm c_v\, s^v = 0.$$

Diese Gleichung geht also aus der Bewegungsgleichung mit Berücksichtigung der Massenwirkung, S. 17 oder 67, hervor, wenn das Glied $-\frac{dv}{dt}$ gleich 0 gesetzt wird.

Es folgt daher nach S. 68:

$$-v^2 a' + \Phi(s) = 0,$$

$$v = \sqrt{\frac{\Phi(s)}{a'}}.$$

Die weitere Behandlung zur Ermittlung der Zeit bleibt wie vorher, d. h. man zeichnet die Kurve $\frac{1}{v}$ als Funktion von s; das Flächenstück unter der Kurve von $s = s_1$ bis $s = s_2$ gibt die Zeit t, die zur Zurücklegung des Weges $s_2 - s_1$ erforderlich ist. Da stets $v > 0$ sein muss, so ist diese Methode hier immer anwendbar.

Zahlenbeispiel.

Wir setzen denselben Servomotor voraus wie für das Zahlenbeispiel des ersten Teiles (S. 30).

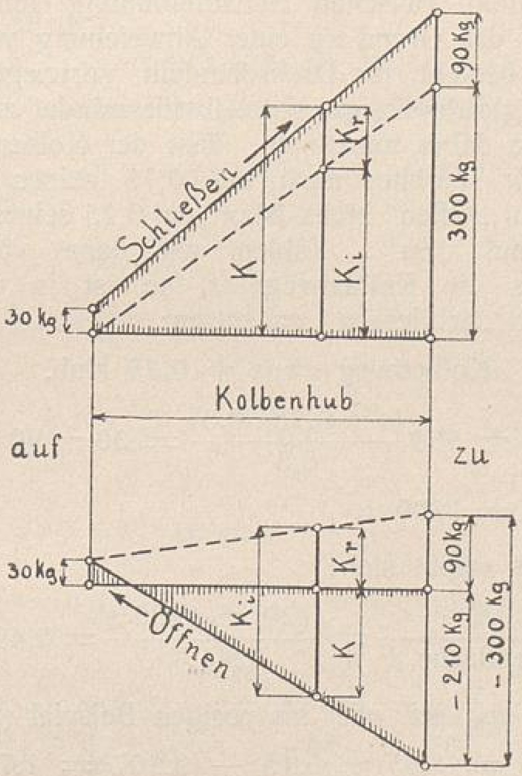

Fig. 20.

Die aufzuwendende Verstellkraft K sei linear abhängig von den Kolbenwegen, und zwar sei

für offene Schaufeln : $K_i = 0$ kg; $K_r = 30$ kg;
für geschlossene Schaufeln: $K_i = 300$ kg; $K_r = 90$ kg.

Für die Schliessbewegung gilt also (vergl. Fig. 20):

$$K = 30 + \frac{390 - 30}{\text{Kolbenhub}} \times \text{Kolbenweg in Richtung auf „Zu“}.$$

Für die Oeffnungsbewegung:

$$K = -210 + \frac{210 + 30}{\text{Kolbenhub}}$$
$$\times \text{Kolbenweg in Richtung auf „Offen“}.$$

Auch bei diesem Beispiele handle es sich um eine Aenderung des Momentes entsprechend 0,75 auf 0,55 der Füllung.

Bei stark veränderlicher Verstellkraft besteht meist Proportionalität zwischen Schaufelöffnung und Kolbenweg, denn der Grund zu einer Abweichung von diesem Verhältnis besteht für Drehschaufeln vorwiegend darin, möglichst gleichmässige Verstellwiderstände zu erzielen. Wir wollen daher annehmen, dass der Kolben bei 0,75 Füllung der Turbine auch auf 0,75 seines Hubes in Richtung auf „Offen“ steht, bezw. auf 0,25 seines Hubes in Richtung auf „Zu“. Zählen wir dann von diesem Punkte aus die Kolbenwege s, so ist in obiger Beziehung für „Schliessen“ zu setzen:

$$\text{Kolbenweg} = s + 0{,}25 \text{ Hub},$$

$$K = 30 + 360 \frac{(s + 0{,}25 \,.\, 0{,}3)}{0{,}3} = 30 + 90 + 1200\, s$$
$$= 120 + 1200\, s.$$

Daraus ergibt sich:

$$p_k = \frac{K}{\text{Kolbenfläche } F} = \frac{120 + 1200\, s}{241{,}4} = 0{,}497 + 4{,}97 s.$$

$p_o + p_h - p_{\rho o}$ sei wie im vorigen Beispiel (S. 32 und 37) $= 1{,}85 + 0{,}15 - 0{,}207 = 1{,}793$

also:

$$p_o + p_h - p_{\rho o} - p_k = 1{,}793 - 0{,}497 - 4{,}97\, s$$
$$= 1{,}296 - 4{,}97\, s.$$

Der Koeffizient C_o (absolutes Glied der Bewegungsgleichung, vergl. S. 17) wird daher

$$C_o = 1{,}296.$$

Der Koeffizient von s:

$$C_1 = 4{,}97.$$

Ferner sei $\mathfrak{M}$ wie vorher 1,1142 (S. 45), also:

$$c_0 = \frac{C_0}{\mathfrak{M}} = \frac{1{,}296}{1{,}1142} = 1{,}16$$

$$c_1 = \frac{C_1}{\mathfrak{M}} = \frac{4{,}97}{1{,}1142} = 4{,}45.$$

Die ideelle Kolbengeschwindigkeit für die Anfangsgrösse von $p_k = 0{,}497$ ist wie vorher:

$$v_i = 0{,}266,$$

also bleibt auch

$$a' = 16{,}45 \text{ (S. 49).}$$

Demnach lautet die Bewegungsgleichung:

$$-\frac{dv}{dt} - v^2 \,.\, \underset{\substack{\| \\ a'}}{16{,}45} + \underset{\substack{\| \\ c_0}}{1{,}16} - \underset{\substack{\| \\ c_1}}{4{,}45}\, s = 0.$$

Nach S. 68 ist:

$$\Phi\,(s) = \underset{\substack{\| \\ c_0}}{1{,}16} - \underset{\substack{\| \\ c_1}}{4.45}\, s,$$

$$\Phi'\,(s) = -\,4{,}45$$

$$\Phi''\,(s) \text{ usw.} = 0,$$

$$C = 1{,}16 + \frac{4{,}45}{2\,.\,16{,}45} = 1{,}295,$$

$$v = \sqrt{\frac{\Phi\,(s) - \dfrac{\Phi'\,(s)}{2a'} - \dfrac{C}{e^{2a's}}}{a'}}$$

$$= \sqrt{\frac{1{,}16 - 4{,}45\, s + \dfrac{4{,}45}{2\,.\,16{,}45} - \dfrac{1{,}295}{e^{2\,.\,16{,}45\, s}}}{16{,}45}}$$

$$= 0{,}281 \sqrt{1 - \frac{1}{e^{32{,}9\, s}} - 3{,}44\, s}.$$

Es ergibt sich aus dieser Formel z. B.:

für $s =$	0	m	$v =$ 0	m/sek.	$\frac{1}{v} =$	∞
	0,01	„	0,139	„		7,16
	0,02	„	0,180	„		5,55
	0,05	„	0,224	„		4,47
	0,07	„	0,2283	„		4,38
	0,1	„	0,220	„		4,54
	0,15	„	0,194	„		5,16
	0,2	„	0,157	„		6,37
Hubende	0,225	„	0,134	„		7,46

In Fig. 16 (S. 70) sind die Wege s als Abszissen, die Geschwindigkeiten v als Ordinaten aufgetragen.

Maasstab für s : 1 cm = 0.05 m Kolbenweg;
Maasstab für v : 1 cm = 0,05 m/sek.

In Fig. 17 sind gleichfalls die Wege s als Abszissen im Maasstab:

1 cm = 0,05 m Kolbenweg

aufgetragen, ferner als Ordinaten die Grössen $\frac{1}{v}$ im Maasstab:

1 cm = 1 sek./m.

Für den Anfang der Kolbenbewegung ist nach S. 71 die Kurve $\frac{1}{v}$ = Funktion (s) zur Ermittlung der Zeit unbrauchbar, da die Anfangsordinate unendlich ist. Wir berechnen daher noch die Beschleunigungen und deren reziproken Werte als Funktion (v) aus

$$\frac{dv}{dt} = \Phi\,(s) - v^2\,a'$$

$$= 1{,}16 - 4{,}45\,s - v^2 \,.\, 16{,}45,$$

indem wir die Werte s aus der obigen Tabelle oder der

Kurve (Fig. 16) für die betreffenden Werte v entnehmen. Z. B.

v	s	$\frac{dv}{dt}$	$\frac{1}{\left(\frac{dv}{dt}\right)}$
0,0 m/sek.	0,0 m	1,16 m/sek^2.	0,864 sek.^{2}/m
0,139 „	0,01 „	0,786 „	1,273 „
0,180 „	0,02 „	0,536 „	1,866 „
0,224 „	0,05 „	0,115 „	8,73
$v_{max} \sim$ 0,2283 „	0,07 „	$\sim$ 0,006 „	177,7 „
0,227 „	0,08 „	— 0,042 „	− 24,16 „

In Fig. 18 sind die Geschwindigkeiten v als Abszissen, die reziproken Werte der Beschleunigungen $\frac{1}{\left(\frac{dv}{dt}\right)}$ als Ordinaten aufgetragen.

Maasstab für v : 1 cm = 0,05 m/sek.;

Maasstab für $\frac{1}{\left(\frac{dv}{dt}\right)}$: 1 cm = 1 sek.^{2}/m.

Es stellt somit 1 qcm Fläche unter der Kurve: $\frac{1}{\left(\frac{dv}{dt}\right)}$ = Funktion (v) eine Zeit dar von

1 sek.^{2}/m . 0,05 m/sek. = 0,05 sek.

Es ist z. B. die Fläche von $v = 0$ bis $v = 0{,}139$ $= \sim$ 2,72 qcm; also ist die Zeit, bis der Servomotorkolben die Geschwindigkeit 0,139 m/sek. angenommen hat,

$$t = 2{,}72 \ . \ 0{,}05 = 0{,}136 \text{ sek.}$$

Der zu v zugehörige Weg ist nach Tabelle oder Kurve Fig. 16:

$$s = 0{,}01 \text{ m},$$

also hat der Kolben nach 0,136 sek. von seiner Anfangsstellung aus einen Weg von 0,01 m zurückgelegt.

Auf diese Weise sind die Wertepaare t und s bis in die Gegend von $s \sim 0{,}07$ (entsprechend v_{max}) ermittelt und im Kolbenwegdiagramm Fig. 19 zusammengestellt.

Maasstab für t : 1 cm = 0,2 sek. (Abszissen);
Maasstab für s : 1 cm = 0,02 m (Ordinaten).

Von den grösseren Werten v ab ist die Zeit aus

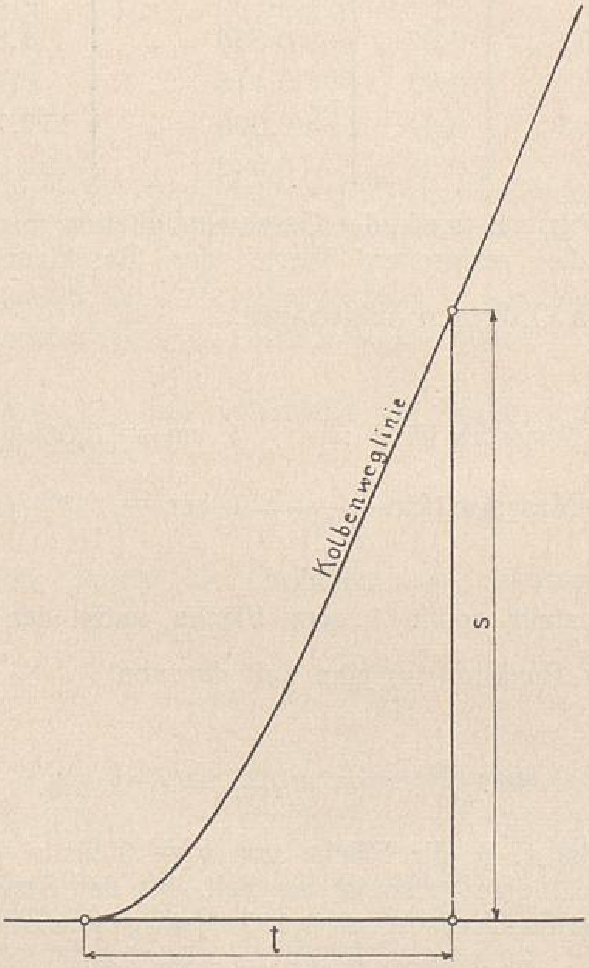

Fig. 21.

der Kurve $\frac{1}{v}$ = Funktion (s), Fig. 17, durch Flächenberechnung ermittelt. Es stellt 1 qcm der Fläche unter dieser Kurve dar:

$$1 \text{ sek.}/\text{m} \;.\; 0{,}05 \text{ m} = 0{,}05 \text{ sek.}$$

So ist z. B. die Fläche von $s = 0{,}1$ bis $s = 0{,}15$ $= \sim 4{,}8$ qcm. Der Kolben des Servomotors braucht also eine Zeit von

$$4{,}8 \cdot 0{,}05 = 0{,}24 \text{ sek.},$$

um den Weg von 0,1 m (von seiner Anfangsstellung aus gemessen) bis 0,15 m zurückzulegen. Die so gefundenen Wertepaare sind zur Ergänzung des Kolbenwegdiagrammes in Fig. 19 eingetragen. In Fig. 21 ist der Anfang dieses Diagrammes doppelt vergrössert dargestellt, also im gleichen Maasstabe wie das Kolbenwegdiagramm Fig. 5 für K = konst. (s. S. 21).

Die Umzeichnung des Kolbenwegdiagrammes zur Füllungskurve und deren weitere Verwendung erfolgt in derselben Weise, wie bei dem Beispiel für konstante Verstellkraft K gezeigt wurde (s. S. 52).

Vereinfachtes Verfahren.

Da im vorstehenden Beispiele dieselbe Anfangsgrösse der Verstellkraft $K = 120$ kg vorausgesetzt ist, wie im Beispiel für konstante Verstellkraft K (S. 33), so sind die Kolbenwegdiagramme Fig. 21 und Fig. 5 zum Vergleich geeignet. Man erkennt, dass der Beschleunigungsvorgang am Anfang der Bewegung in beiden Fällen sich fast deckt und dass sich die immerhin beträchtliche Aenderung der Verstellkraft erst bei grösseren Wegen im Kolbenwegdiagramme deutlich bemerkbar macht. Aehnliche Verhältnisse wird man im allgemeinen von guten Konstruktionen erwarten dürfen. (Vergl. auch S. 67). Für kleinere Füllungsänderungen darf man daher wohl in den meisten Fällen der Praxis die Veränderlichkeit von K während des Hubes vernachlässigen und verfahren wie bei unveränderlicher Verstellkraft, nur muss man die Anfangsgrösse von K für die betreffende Anfangsstellung des Servomotorkolbens richtig einsetzen. Insbesondere kann dann zur Berücksichtigung der Massenwirkung auch von dem vereinfachten Verfahren mit Benützung der Asymptote des Kolbenwegdiagrammes Gebrauch gemacht werden (s. S. 66).

Diesen Voraussetzungen gemäss ist für das vorliegende Beispiel bei kleineren Füllungsänderungen die unten folgende Tabelle verwendbar. Sie enthält für die

Anfangskolbenstellung		Anfangsgrösse der aufzuwendenden Verstellkraft K:	c_0 = Anfangsbeschleunigung:	v_i	t_s
		kg:	m/sek.²:	m/sek.:	sek.:
Schliessen.	offen	30	1,495	0.303	0,140
	1/4 Hub	120	1,160	0,266	0,159
	1/2 Hub	210	0,826	0,222	0,186
	3/4 Hub	300	0,495	0,167	0,234
	zu	390	0,159	0,095	0,413
Oeffnen.	zu	— 210	2,387	0,383	0,111
	3/4 Hub	— 150	2,160	0,364	0,117
	1/2 Hub	— 90	1,940	0,346	0,124
	1/4 Hub	— 30	1,716	0,324	0,131
	offen	+ 30	1,495	0,303	0,140

Oeffnungs- und Schliessbewegung des Kolbens, ausgehend von vier Anfangsstellungen, die zugehörigen Anfangsgrössen der aufzuwendenden Verstellkraft K, ferner c_0 = Anfangsbeschleunigung, sowie die Bestimmungsgrössen v_i und t_s für die Asymptoten der Kolbenwegdiagramme.

Die Werte für andere als die angeführten Anfangsstellungen des Kolbens lassen sich aus der graphischen

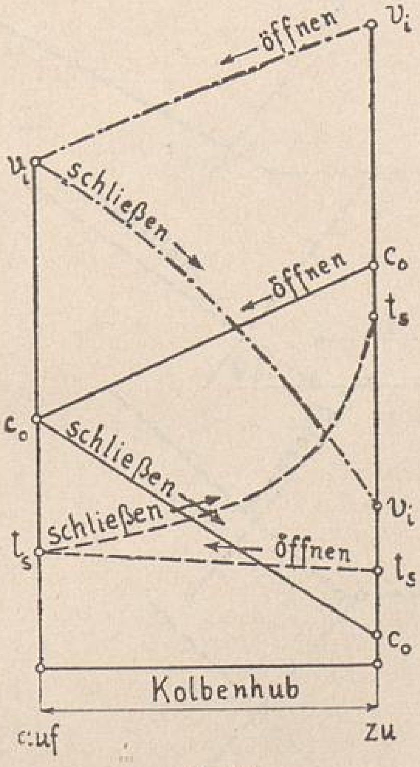

Fig. 22.

Darstellung der Tabelle, Fig. 22, interpolieren. In Fig. 23 sind die Asymptoten der Kolbenwegdiagramme mit Hilfe der Grössen v_i und t_s der Tabelle aufgezeichnet. Es ist ersichtlich, dass die grösseren Verstellkräfte gleichzeitig eine Verkleinerung von v_i und Vergrösserung von t_s verursachen, also in doppelter Hinsicht ungünstig auf die Füllungsänderung und damit auf den Reguliervorgang überhaupt wirken.

Was die weitere Ausführung des Verfahrens betrifft, so darf wohl auf das Beispiel des ersten Abschnittes verwiesen werden.

Sind die Massen des Servomotors zu vernachlässigen, so stellen die v_i der Tabelle oder der Fig. 22 die während des Bewegungsvorganges bei den betreffenden Kolbenstellungen auftretenden Geschwindigkeiten dar.

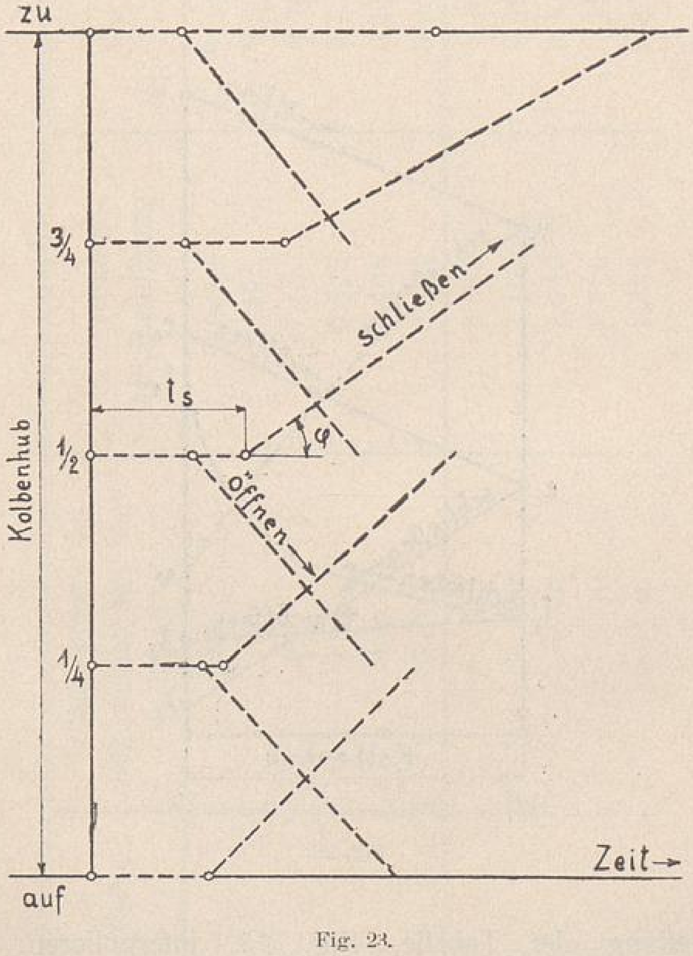

Fig. 23.

Wir erhalten somit nur *eine* Geschwindigkeitskurve $v = v_i$ = Funktion (s) für „Schliessen" und nur *eine* für „Oeffnen", die von jedem Punkte aus für den weiteren Verlauf der Bewegung gelten. D. h.: die Geschwindigkeitskurve, die z. B. für eine Bewegung von 0,5 des Hubes aus gilt, ist die kontinuirliche Fortsetzung der Kurve, die von irgend einer vorhergehenden Stellung aus in derselben Bewegungsrichtung bis zu 0,5 des Hubes gilt. (Bei Massenwirkung im Servomotor und Reguliergetriebe beginnen dagegen alle Geschwindigkeitskurven stets mit $v = 0$).

Die Kurven $v = v_1 =$ Funktion (s), die bei unmerklicher Massenwirkung gelten, sind im übrigen ebenso weiter zu verwenden wie die entsprechenden bei Berücksichtigung der Massenwirkung gültigen Kurven $v =$ Funktion (s).