UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn

Beitrag zur Theorie und Berechnung der hydraulischen Regulatoren für Wasserkraftmaschinen

Schmoll von Eisenwerth, Adolph

Berlin, 1904

Zahlenbeispiel

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

Visual Library

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).

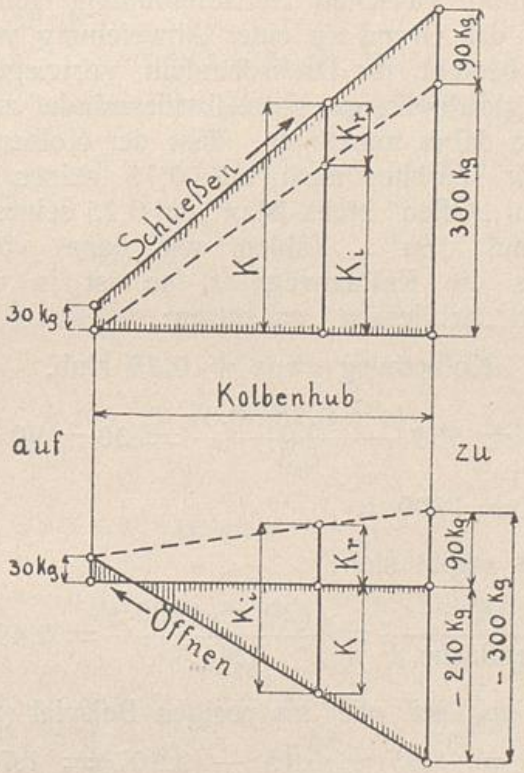

Fig. 20.

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

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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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:

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

Nach S. 68 ist:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$1 \text{ sek.}^2/\text{m} \; . \; 0{,}05 \text{ m/sek.} = 0{,}05 \text{ sek.}$$

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.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

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

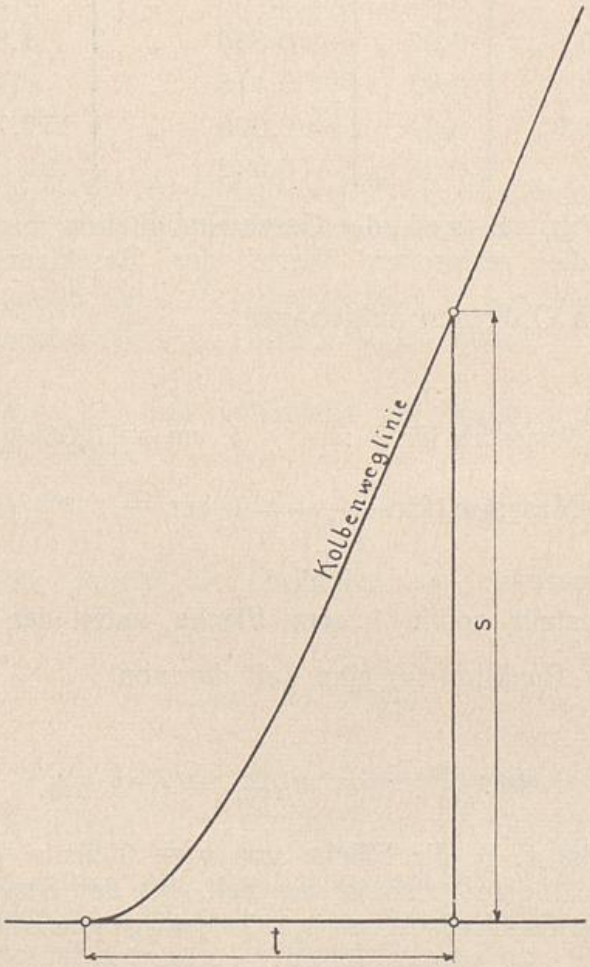

Fig. 21.

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

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

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

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

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

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN