

2. Schubstange von endlicher Länge.

a) Minimum der Spannung. Damit auch hier nicht der Beginn der Massenbewegung einen größeren Druck per Kolbenflächeneinheit verlangt, als der Dampfüberdruck zu bieten vermag, werden wir auch hier die Grenze der Kolbengeschwindigkeit durch die Gleichsetzung des benötigten Massenbeschleunigungs- und des vorhandenen freien Dampfdruckes am todten Punkte erhalten.

Es ist also der größere der beiden Werte (für $\omega = 0$) aus Gleichung (3₁)

$$q_1 = \frac{F}{f} \left(1 + \frac{r}{L}\right) = (p_1 - p_0) \dots \dots (3_1)$$

zu setzen.

Führt man dieselbe Umwandlung dieses Ausdrucks durch, welche bei der unendlichen Stangenlänge vorgenommen wurde, so folgt im Allgemeinen:

$$(p_1 - p_0) = q_1 = \frac{\pi^2}{2g} \left(1 + \frac{r}{L}\right) \frac{P}{f \cdot l} \cdot v^2 \dots \dots (6_1)$$

oder für Kilogramm und Meter:

$$(p_1 - p_0) = q_1 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{r}{L}\right) \frac{P}{f \cdot l} \cdot v^2 \dots \dots (7_1)$$

Dieser Formel entnimmt man, dass der nöthige Dampfüberdruck den $\left(1 + \frac{r}{L}\right)$ fachen Werth des Ueberdruckes der Maschine mit unendlicher Leitstange haben muss, wenn nicht bei Beginn des Hubes ein Anriss des Gestänges von der Kurbel aus erfolgen soll. Oder aber, bei gleichen Maschinenverhältnissen und Dampfdrücken, muss das Quadrat der Kolbengeschwindigkeit der Maschine mit unendlich langer Stange durch $\left(1 + \frac{r}{L}\right)$ dividirt werden, um der Rücksicht der endlichen Stangenlänge gerecht zu werden.

Eine Maschine wird also unter gleichen Verhältnissen desto schneller laufen dürfen, je größer die Pleuelstangenlänge im Verhältniss zur Kurbellänge wird. (Später, unter: „Das Gegen-

gewicht“ soll gezeigt werden, dass die Maschine dann auch desto ruhiger geht.)

Für Metermaß und unter Einsetzung der speciellen Gewichtswerthe $\frac{P}{f}$ oder $\frac{P}{f \cdot l}$, wie Seite 49, ergeben sich wieder als Grenzwerte bei Berücksichtigung der endlichen Stangenlänge:

- a_1) für kleine Hochdruckmaschinen
Hub bis $\cdot 7 m$ $(p_1 - p_0) = \frac{1}{7} \left(1 + \frac{r}{L}\right) \frac{v^2}{l}$
- b_1) „ große Hochdruckmaschinen
Hub über $\cdot 7 m$ $(p_1 - p_0) = \frac{1}{5} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$
- c_1) „ kleine Niederdruckmaschinen
Hub bis $\cdot 9 m$ $(p_1 - p_0) = \frac{1}{10} \left(1 + \frac{r}{L}\right) \frac{v^2}{l}$
- d_1) „ große Niederdruckmaschinen
Hub über $\cdot 9 m$ $(p_1 - p_0) = \frac{1}{9} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$
- e_1) „ Locomotive ohne Kuppelstangen $(p_1 - p_0) = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$
- f_1) „ „ mit „ $(p_1 - p_0) = \frac{1}{4 \cdot 5} - \frac{1}{3 \cdot 6} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$
- g_1) „ Schiffsmaschinen, Hochdruck (Torpedoboote) $(p_1 - p_0) = \frac{1}{4 \cdot 5} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$
- h_1) „ „ „ Mitteldruck $(p_1 - p_0) = \frac{1}{10} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$
- i_1) „ „ „ Niederdruck $(p_1 - p_0) = \frac{1}{16} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$

als Abhängigkeit der Kolbengeschwindigkeit vom freien Anfangsdampfdruck.

Für das Beispiel, welches bei unendlicher Leitstangenlänge, Seite 52, eine Kolbengeschwindigkeit

von $v = 4 \cdot 4 m$ bei $1 m$ Hub

und von $v = 2 \cdot 8 m$ bei $0 \cdot 3 m$ Hub

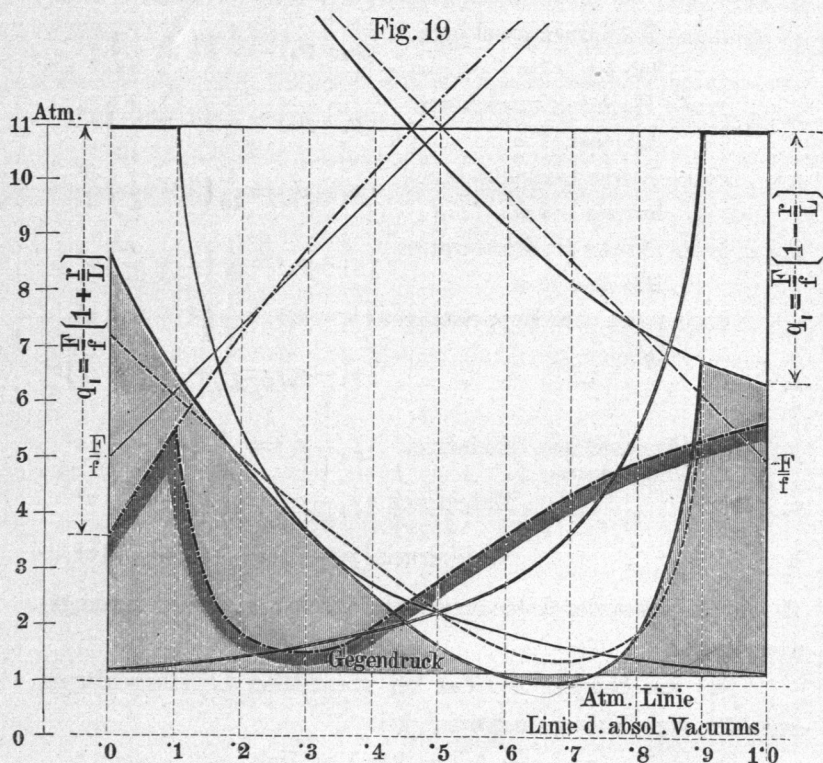
ergab, wird jetzt wieder bei 5 Atm. absolutem Eintritts- und $1 \cdot 2$ Atm. Gegendruck, bei einem Schubstangenverhältniss von $5 : 1$

$$(5 - 1 \cdot 2) = \frac{1}{5} \left(1 + \frac{1}{5}\right) v^2 \quad v = 4 \cdot 2 m$$

$$(5 - 1 \cdot 2) = \frac{1}{7} \left(1 + \frac{1}{5}\right) \frac{v^2}{\cdot 3} \quad v = 2 \cdot 5 m$$

als äußerste Geschwindigkeit für stoßfreien Gang.

b) Minimum der Füllung. Damit aber der rasch sinkende Dampfdruck, wie es bei geringen Füllungen vorkommt, selbst bei richtig eingeleiteter Bewegung, nicht noch im weiteren Verlaufe vom Beschleunigungsdruck überholt wird, wie es Fig. 19



rechts darstellt, muss, der ungünstigeren Kolbenseite Rechnung tragend, die Füllung den Minimalwerth erreichen (nach Anhang IV, Gleichung 9₁).

$$\frac{l_1}{l} = \frac{F \left(1 + \frac{r}{L} \right)}{8 p_1 f} \left[1 + \frac{f}{F \left(1 + \frac{r}{L} \right)} p_0 \right]^2 \dots \dots (9_1)$$

Hierbei sind die beiden Hubseiten für den Eintritt der Gefahr nicht mehr gleichwerthig, sondern der Rücklauf ist ungünstiger, wie ein Blick in Fig. 19 lehrt, in welcher unter Annahme einer völlig symmetrischen Dämpfvertheilung die Linien sowohl für den Hin- als den Rückgang eingezeichnet wurden. Die punktirte Linie gibt die Verhältnisse, wie sie unter Vernachlässigung der endlichen Stangenlänge erscheinen würden.

c) Die kleinste Füllung beim Maximum der Geschwindigkeit. Die größte Geschwindigkeit, welche durch den Dampfüberdruck überhaupt erreichbar wird, ist nach Gleichung (3₁) an die Grenze gebunden:

$$q_1 = \frac{F}{f} \left(1 + \frac{r}{L} \right) = (p_1 - p_0).$$

Setzt man diesen Werth in Gleichung (9₁), so ergibt sich das Minimum der Füllung, welches der Maschine ertheilt werden muss, wenn deren voller Anfangsdruck zum Erhalt des schnellsten erlaubten Ganges der Maschine ausgenützt werden soll, nämlich:

$$\frac{l_1}{l} = \frac{1}{8} \cdot \frac{p_1}{(p_1 - p_0)} \quad \dots \dots \dots (10_1)$$

wie bei der unendlichen Leitstange; doch, wie dort, versteht es sich von selbst, dass die Möglichkeit dieser geringen Füllung nur dann verwendet werden kann, wenn dabei der Enddruck des expandirten Dampfes den Gegendruck überwiegt oder ihm zum wenigsten gleichkommt, also die Füllung nicht kleiner wird, als:

$$\frac{l_1}{l} = \frac{p_0}{p_1} \quad \dots \dots \dots (11)$$

Die Formel (10) oder (10₁) gibt eine höchst merkwürdige Bedingung an, welche kurz gefasst lautet: Soll eine Maschine mit ihrer höchsten Geschwindigkeit arbeiten, so muss die Füllung größer als $\frac{1}{8}$ sein.

Die Gleichung (9₁) bestimmt aber die Minimalfüllung für mittlere Geschwindigkeiten.

Die vortheilhafteste Dampfspannung.

d) Die vortheilhafteste Dampfspannung wird hier, wie bei der unendlich langen Kurbelstange dann eintreten, wenn die Füllung, welche beim Maximum der Geschwindigkeit nöthig ist, damit der Dampf trotz des abfallenden Druckes während der Expansion doch fortwährend den Beschleunigungsdruck zu üben vermag, wenn diese Füllung eben hinreicht, den Enddruck noch gleich dem Gegendruck des Ausströmdampfes zu erhalten. Also wenn auch hier wieder wird:

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{1}{8} \cdot \frac{p_1}{(p_1 - p_0)} \quad \text{oder}$$

$$p_1 = 6.8 p_0 \quad \dots \dots \dots (12.)$$

In Verbindung mit der Gleichung $\frac{l_1}{l} = \frac{p_0}{p_1}$ ergibt sich:

$$\frac{l_1}{l} = 0.15 \quad \dots \dots \dots (13.)$$

d. h. die Füllung, welche der vortheilhaftesten Spannung und größten Geschwindigkeit entspricht, ist 15%.

Diese beiden letzten Gleichungen haben allgemeine Gültigkeit.

α) Maschinen ohne Condensation. Für die Nicht-Condensationscyliner kann man $p_0 = 1.2$ Atm. voraussetzen und sieht dann, dass eine Spannung von $p_1 = 6.8.1.2 = 8$ Atm. über das absolute Vacuum jener Dampfdruck ist, welcher auch dann, wenn man seine Spannung mit der höchsten zulässigen Expansion, bei

$$\frac{l_1}{l} \dots = \frac{1}{8} \cdot \frac{8}{(8-1.2)} = \dots 15\% \text{ Füllung}$$

ausbeutet, an jedem Punkte selbst noch Ueberdruck genug hat, die Massen in jener Geschwindigkeit zu erhalten, welche ihm, seinem Initialdrucke zufolge, mit Recht auferlegt werden darf, ohne einer Nachhilfe seitens des Schwungrades zu bedürfen.

Um dem, schon bei der unendlich langen Leitstange betonten Verlangen nach Sicherheit und der Rücksicht auf die passiven Widerstände gerecht zu werden, soll der Gegendruck größer angenommen werden, als er wirklich zu erwarten ist; wird hierbei von $p_0 = 1.2$ auf $p_0 = 1.6$, d. i. um 25% gestiegen, so zeigt sich $p_1 = 6.8.1.6 = 11$ Atm. absolut oder 10 Atm. Manometeranzeige als günstigster und verwendbarster Dampfdruck.

Bei fünfmaliger Kurbellänge als Schubstangenlänge ergeben sich nach Gleichungen (7_1):

a) für kleine Hochdruckmaschinen (Hub bis $\cdot 7$ m)

$$(11 - 1.6) = \frac{1}{7} \left(1 + \frac{1}{5}\right) \frac{v^2}{l} = \frac{1}{6} \frac{v^2}{l}$$

$$v^2 = 55.l$$

d. h. bei $l = \cdot 3 \quad \cdot 5 \quad \cdot 7$ m Hub
 $v = 4.0 \quad 5.2 \quad 6.2$ m per Secunde
 $n = 400 \quad 312 \quad 270$ Umdrehungen per Minute.

b) für große Hochdruckmaschinen (Hub über $\cdot 7$ m)

$$(11 - 1.6) = \frac{1}{5} \left(1 + \frac{1}{5}\right) v^2 \dots v^2 = 39$$

$$v = 6.3 \text{ m Const.,}$$

d. h. bei $l = \cdot 7 \quad 1.0 \quad 1.5$ m
 $n = 270 \quad 190 \quad 125$ Umdrehungen per Minute.

e) für Locomotive ohne Kuppelstangen wird nach e)

$$(11 - 1.6) = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{1}{5}\right) v^2 \dots v^2 = 47$$

$$v = \sim 7 \text{ m Const.,}$$

In Fig. 20, in welcher die Curven ab und $a_1 b_1$ die Beschleunigungsdrücke begrenzen, ist der Fall b der noch zulässigen Geschwindigkeit gezeichnet.

Der Gegendruck, welcher mit 1.2 Atm. erwartet werden darf, ist vorsichtshalber mit 1.6 angenommen und als p_0 in das Diagramm gezogen; er erscheint als die punktirte Linie $a p_0$ und man wird bemerken, dass jeder der tiefsten Punkte der Druckcurven diese Linie berührt, aber nicht unterschneidet.

keit von Ungleichheiten in der Steuerung zu beurtheilen sein, welche oft der endlichen Excenterstangen halber nicht völlig gleichartig sein kann.

Die für Hin- und Rückgang senkrecht und wagrecht schraffirten Flächen der auf die Kurbel übertragenen Arbeit, deren Ordinaten die Horizontaldrücke auf dieselben darstellen, sind in der Figur der Größe nach einander gleich angenommen, und sind selbstverständlich auch noch der Fläche ACp_0DaA oder $A_1C_1aDp_0A_1$ der Arbeit des Dampfes gleich.

Eine gute Eigenschaft dieser gezügelten Geschwindigkeit liegt auch noch in dem Umstande, dass dabei der Horizontaldruck auf den Kurbelzapfen nie größer als der Initialdruck wird, wie ein Blick auf Fig. 20 lehrt.

Dampf von höherer oder niederer Pressung lässt sich nimmer so allseitig ausnützen, wie solcher von 10 Atm. Ist der Dampf von geringerer Spannung (beispielsweise von 6 Atm.), so könnte man mit der Füllung ohne Anstand seitens der Beschleunigungsdrücke tiefer gehen (nach Gleichung (10) bis auf 0·13), als es die Uebereinstimmung von End- und Gegendruck erlaubt (denn nach Gleichung (11) wird das Füllungsminimum 0·20). — Hätte dagegen der Dampf eine höhere Spannung, so würde das umgekehrte Verhältniss eintreten.

Sind daher die angewendeten Dämpfe niedriger gespannt, als 8—10 Atm. absolut, so braucht man (immer Nicht-Condensationsmaschinen vorausgesetzt) sich aus Sorge für die Beschleunigungsdrücke um die Füllung gar nicht weiter zu kümmern, indem diese des Enddruckes wegen immer höher sein muss, als dass die Gefahr heranrücken könnte, der Druck des expandirenden Dampfes sinke während des Laufes unter den Massendruck (Fig. 19). Doch bei 8 Atm. ist jene Gefahr eben berührt, und bei noch höherer Spannung muss man die Expansion dann vorzeitig begrenzen, wenn man mit der Geschwindigkeit das der

Spannung entsprechende, mögliche Maximum [Gleichungen (6) und (7)] erreichen, und keine Stöße herbeiführen will, — oder man muss bei Vollaussnützung der Expansion bis zum Gegendrucke, mit der Geschwindigkeit niedriger bleiben, als es der Anfangsdruck gestatten würde.

Diese allseitige Benützbarkeit der vortheilhaftesten Spannung, um einen verlangten Effect gleichzeitig mit der höchsten Geschwindigkeit und der höchsten Expansion, also der vortheilhaftesten Maschine, zu gewinnen, erinnert lebhaft an die Verhältnisse eines Körpers gleichen Biegungswiderstandes. Wie dort den wachsenden Momenten Querschnitte entgegenstehen, deren Fasern alle gleich beansprucht sind und gleiche Sicherheit bieten, so sind auch hier den wechselnden Drücken Dampfspannungen entgegengestellt, welche mit gleicher Sicherheit genügen. Und wie dort die Gewinnung des anderen Ufers die billigste wird, wo man Balken gleicher Festigkeit zur Brücke nimmt, so wird hier die Gewinnung des Effectes, der Uebergang von Wärme zur Arbeit, am billigsten, wo man die Spannung des Dampfes nach Geschwindigkeit und Expansion gleichmäßig ausnützt.

Von diesem Standpunkte aus nennen wir 8 Atm. über das Vacuum, oder, der Sicherheit wegen, 8—10 Atm. Manometerdruck die vortheilhafteste Dampfspannung, die man bei 15 % Füllung bei allen jenen Hochdruckmaschinen anwenden oder anstreben wird, welche bei den kleinsten Dimensionen noch ruhig und ökonomisch arbeiten sollen. Wegen der hohen Geschwindigkeit wird die Maschine in der Anlage, wegen der ausgenützten Expansion im Betriebe, billig. Die Ruhe des Ganges wird durch das Balanzgewicht leicht erzwungen, welches weiter unten betrachtet werden soll, und die wechselnden Drücke, deren Einfluss wir eben jetzt verfolgt und zu begrenzen gelernt haben, werden durch ein weit kleineres, weil rasch rotirendes Schwungrad geebnet und besänftigt. So steht uns diese Maschine gleichsam als Ideal

vor Augen, welches einer Richtung von Absichten und Bedingungen am besten und allseitigsten folgt.

β) Maschine mit Condensation. Will man Condensationsmaschinen mit dem Maximum jener Geschwindigkeit arbeiten lassen, welche vermöge des Anfangsüberdruckes zulässig ist, so darf man im Allgemeinen auch hier mit der Füllung nicht weiter sinken [nach Formel (10)], als bis

$$\frac{l_1}{l} = \frac{1}{8} \cdot \frac{p_1}{(p_1 - p_0)} \quad \dots \dots \dots (10)$$

Wäre der Gegendruck $p_0 = 0$, so müsste (das Maximum der laut Anfangsdruck zulässigen Geschwindigkeit verlangt) demnach die Füllung mindestens $\frac{l_1}{l} = \frac{1}{8}$ betragen, und die Geschwindigkeit in dem Maße sinken, als etwa geringere Füllungen verwendet werden wollten.

Bestimmt man aber der Maschine eine gewisse, noch niedrigere Füllung, als ungefähr $\frac{1}{8}$, so gibt die Formel (9₁) die Grenze der Geschwindigkeit.

Die vortheilhafteste Dampfspannung wäre, wenn sie vom Standpunkte der Kolbengeschwindigkeit aus betrachtet und der Gegendruck vom Condensator aus mit $p_0 = 0.2$ Atm. angenommen wird, theoretisch nach Formel (12₁)

$$p_1 = 6.8 p_0 = 1.36 \text{ Atm.}$$

über das Vacuum, oder 0.36 Atm. Manometeranzeige.

Bei den alten Watt'schen Maschinen war ungefähr jener niedere Dampfdruck in Anwendung, und wenn aus Gleichung (7₁)

$$(p_1 - p_0) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{r}{L}\right) \frac{P}{f \cdot l} v^2$$

die Kolbengeschwindigkeit v berechnet wird, welche bei einer Anfangsspannung von $p_1 = 1.36$ Atm. einem Gegendrucke von $p_0 =$

0·16 Atm. über das Vacuum, $\frac{r}{L} = \frac{1}{5}$, und des gusseisernen Balanciers und der gusseisernen Kurbelstange wegen eines Werthes von $\frac{P}{f \cdot l} = 2\cdot6$ zulässig erscheint, so ergibt sich diese mit $v = 0\cdot8$ m per Secunde, welche das Maximum der Geschwindigkeit ist, welche man mit dieser Spannung und dieser Maschine erreichen kann.

Diese Geschwindigkeit war aber ungefähr in den alten Watt'schen Maschinen eingeführt, und wenn auch alle Dimensionen groß wurden und man sie jetzt nicht mehr baut, so ist sie aber dieser betonten Uebereinstimmung halber heute noch ein Bild einer vollkommenen Maschine, welche ihre Geschwindigkeit mit der Spannung im vollen Einklange hatte und alle Vortheile, nur der Condensation angepasst, an sich trägt, welche wir unter: „Die vortheilhafteste Dampfspannung“ für Hochdruckmaschinen fanden.

Nun könnte auch hier bei den Condensationsmaschinen, wie es für die Hochdruckmaschinen begründet wurde, sicherheitshalber ein höherer Gegendruck in Gleichung (12₁) eingeführt und damit jener Dampfdruck berechnet werden, welcher nach ähnlichem Vorgange bei der Auspuffmaschine als der vortheilhafteste erkannt wurde.

Nähme man beispielsweise 0·5 statt der erwarteten 0·2 Atm. als Gegendruck, so würde $p_1 = 6\cdot8\cdot0\cdot5 = 3\cdot4$ Atm. der vortheilhafteste Druck sein.

Doch gibt es einen viel freieren Weg, die Geschwindigkeit einer Condensationsmaschine mit dem Dampfdrucke in Uebereinstimmung zu bringen. Hier ist man nämlich mit der Füllung nicht so beschränkt und kann immer jene als „vortheilhafteste“ bezeichnete Füllung von ~~0~~ 15% einhalten, ob der Dampf hoch oder nieder gespannt ist.

Erklärt man demnach jene Dampfspannung p_1 , welche aus irgend anderen Gründen zum Betriebe der Maschine gewählt wird, als die „vorteilhafteste“, so rechnet sich nach $p_1 = 6 \cdot 8 p_0$ der ideelle Gegendruck $p_0 = \frac{1}{6 \cdot 8} p_1$, und mit diesen beiden Spannungen entweder aus Gleichung (3₁) oder aus Gleichung (6₁) die Geschwindigkeit.

Würde für eine Condensationsmaschine beispielsweise Dampf von 4 Atm. absoluter Spannung verwendet, so würden wir $0 \cdot 15$ Füllung einleiten, den ideellen Gegendruck mit $4 \cdot 0 \cdot 15 = 0 \cdot 6$ Atm. annehmen und damit jene Geschwindigkeit berechnen, bei welcher Spannung und Expansion gleichförmig und ganz, also am besten ausgenützt wird.

Gleichung (7₁) gibt nun

$$(p_1 - p_0) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{r}{L}\right) \frac{P}{f \cdot l} \cdot v^2.$$

Hinge nun eine Luftpumpe direct am Kolben, so dass der Betrag $\frac{P}{f \cdot l} = \cdot 6$ gesetzt werden müsste, und sei $\frac{r}{L} = \frac{1}{5}$, so ergibt sich

$$(4 - \cdot 6) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{5}\right) \cdot \cdot 6 \cdot v^2$$

$$v = 3 \cdot 0 \text{ m}$$

als passendste Kolbengeschwindigkeit.

Das Druckdiagramm, dieser und aller nach diesem Wege gerechneten Maschinen sind mit dem Diagramme (Fig. 20) in jedem Punkte ähnlich, nur werden bei gleichem Maßstabe die Ordinaten, je nach der Dampfspannung, mehr gedrückt erscheinen.

Reine Niederdruckmaschinen kommen wohl im heutigen Maschinenbau kaum mehr vor. Wichtig wird aber ihre Betrachtung für die Niederdruckseite der Verbundmaschinen. Hier werden sie mit dem Abströmdampfe des Hochdruckeylinders betrieben, und dessen Spannung übersteigt bei zweistufiger Expansion selten

1 $\frac{1}{2}$ Atm. Bei Maschinen mit dreistufiger Expansion waten aber die Kolben des letzten Cylinders häufig im Vacuum.

Bei zweistufig expandirenden stationären großen Maschinen ist nun laut Formel (7 $_1$)d)

$$(p_1 - p_0) = \frac{1}{9} \left(1 + \frac{r}{L}\right) v^2$$

und bei $p_1 = 1.2$ und $p_0 = 0.2$ Atm. Gegendruck und fünffacher Stangenlänge erscheint

$$v = 2.7 \text{ m}$$

als Grenzwert für jeden Hub.

Bei dreistufig expandirenden Schiffsmaschinen, wo das Gewicht der hin- und hergehenden Theile auf's Aeußerste reducirt ist, und $\frac{P}{f \cdot l} = 0.12$ Kilogr., und $(p_1 - p_0) = 1$ Atm. wird, ist etwa nach Gleichung (7 $_1$)

$$(p_1 - p_0) = 1.0 = \frac{1}{16} \left(1 + \frac{1}{5}\right) v^2$$

$$v = 3.6 \text{ m per Secunde}$$

ein unüberschreitbarer Grenzwert der Kolbengeschwindigkeit für gefahrlosen Gang, welcher aber nur durch die ganz besondere Gewichtsverringering des Gestänges erreichbar wurde.

Bei kleineren Niederdruck-(Verbund-)Cylindern kommt die Geschwindigkeit noch früher an die Grenze.

Hier ergäbe sich

$$(1.2 - .2) = \frac{1}{10} \left(1 + \frac{1}{5}\right) \frac{v^2}{l} \dots v^2 = 8.3.l$$

für: $l = .3 \quad .6 \quad .9 \text{ m Hub.}$

$v = 1.6 \quad 2.2 \quad 2.7 \text{ m Max.-Kolbengeschw. per Sec.,}$

woraus zu entnehmen ist, dass es ganz kleine und dabei schnelllaufende, d. i. mit höheren Kolbengeschwindigkeiten arbeitende Verbundmaschinen überhaupt nicht geben kann.

Andere Maschinen-Massen.

Sind an einer Condensationsmaschine die Luft- und Wasserpumpenkolben vom Dampfkolben oder dem Kreuzkopfe und nicht von der Schwungradwelle aus getrieben, so vergrößert deren Gewicht das der hin- und hergehenden Theile, und man hätte es entweder direct zu dem P der Formel (6) zuzugeben, wenn der Antrieb direct, oder im Maße seiner Bewegung reducirt zu nehmen, wenn der Antrieb indirect geschieht.

Ein Gegendruck der Luftpumpe wäre dabei gleichfalls vom Dampfdrucke abzuziehen. Nachdem aber die Luftpumpe zu Anfang keinen oder nur einen verschwindend kleinen Betriebsdruck beansprucht, und letzterer erst gegen oder nach Ueberschreitung des halben Hubes beträchtlich wird, so bleibt der Kraftbetrieb der Luftpumpe von der rückwärts verlängerten Kolbenstange oder vom Kreuzkopfe aus auf die Geschwindigkeitsgrenzen außer Belang, und nur die Masse ihres Gestänges allein kommt in Betracht.

Das Gleiche gilt auch von direct betriebenen Luftcompressoren und Gebläsemaschinen, deren Geschwindigkeit heute noch lange nicht an der Grenze des Möglichen angelangt ist.

Bei direct wirkenden Wasserpumpen jedoch ist gleich zu Beginn des Hubes der volle Wassersäulendruck zu bewältigen, und der freie zur Beschleunigung verwendbare Gesamtdruck ist nur gleich der Differenz von Dampf- und Wasserdruck je auf die ganze Kolbenfläche gerechnet. Da er auch noch die beiläufig doppelt schweren Massen des zusammenhängenden Gestänges und die Wassermasse bis zum Windkessel hin zu beschleunigen hat, so muss hier die größte stoßfreie Geschwindigkeit weit unter den Grenzen der einfachen Dampfmaschinen zurückbleiben, was die Erfahrung schon längst berücksichtigt. Der Weg für die Untersuchung, die theoretische Erhebung der zulässigen Geschwindigkeiten wäre aber in all' diesen Fällen genau so, wie es hier für die Dampfmaschine im Besonderen gezeigt wurde.
