

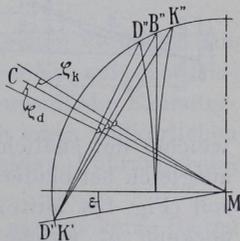
an der Überdeckung nachträglich vorzunehmende Korrekturen besprochen werden, soll noch ein Verfahren angegeben werden, nach welchem die Schränkungsrichtung und die Lage der Zentralen zur geschränkten Führungsbahn genauer bestimmt werden kann wie durch das rein geometrische Verfahren. Dasselbe ist sowohl für unveränderliche Füllungen wie für die kompensierten Füllungen von Stellexzentersteuerungen anwendbar.

Bestimmung der Schränkung durch Rechnungswerte.

363. Das oben angegebene Verfahren zur Auffindung der beiden Deckungspunkte der Führungsbahn durch Kreisbögen aus D' und D'' sowie aus K' und K'' ist, obwohl es theoretisch korrekt ist, doch praktisch wenig brauchbar, weil bei der zweckmäßigen Exzenterstangenlänge der Schnitt der Kreisbogen sehr flach wird. Das tritt in Fig. 127 nicht so stark hervor, weil, um die geometrische Konstruktion zu verdeutlichen und die Figur kurz zu halten, die Exzenterstangenlänge erheblich kürzer gehalten wurde, als dies nach Art. 361 zweckmäßig ist. Zeichnerisch etwas genauer ist bei der empfehlenswerten Stangenlänge die Errichtung der Mittelsenkrechten auf $D'D''$ und $K'K''$ und der Kreisbogenschlag aus D' oder D'' und aus K' oder K'' . Immerhin haftet auch dieser Konstruktion eine ziemliche Ungenauigkeit an, weil die Richtungsfestlegung der Sehnen $D'D''$ und $K'K''$ durch die Verbindung der beiden Punktpaare bei kleinem Schieberkreis unsicher ist, und die Verzeichnung eines großen Schieberkreises die Benutzung langer Stangenzirkel für die Bogenprojektion der Pleuelstange verlangen würde.

364. Deshalb ist es zweckmäßig, die Richtungen der Mittelsenkrechten durch rechnerisch ermittelte Winkel festzulegen. Um hier wieder (Art. 347) für die Bestimmung des Montagewinkels (Aufteilungswinkels) des Exzenters sich auf die zugehörige zentrale Schieberichtung beziehen zu können, ist es zweckmäßig, die Winkel zu berechnen, welche die Mittelsenkrechten auf $D'D''$ und $K'K''$ mit der Zentralen (der Senkrechten auf $D'B''$) bilden. Sie mögen mit ζ_d und ζ_k bezeichnet werden (Fig. 133, in welcher wieder, wie früher, der kurbelseitige Bogenschlag durch gedankliche Umkehrung der ganzen Maschine um 180° aus der gleichen Kolbenstellung heraus ausgeführt ist wie der deckelseitige).

Fig. 133.



Die Berechnung der Winkel ζ_d und ζ_k ist ziemlich umständlich, weshalb in nachstehender Tabelle einige Werte ihrer tg angegeben sind:

		$\lambda = 1/5$							
$s_1/s =$		0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35	0,4
tg ζ_d		0,0189	0,0268	0,0329	0,0370	0,0402	0,0428	0,0460	0,0477
tg ζ_k		0,0247	0,0343	0,0405	0,0442	0,0472	0,0489	0,0501	0,0509

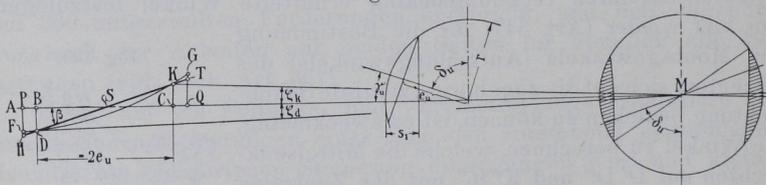
		$\lambda = 1/4$				$\lambda = 1/6$			
$s_1/s =$		0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4
tg ζ_d		0,0329	0,0448	0,0536	0,0591	0,0224	0,0308	0,0370	0,0399
tg ζ_k		0,0448	0,0565	0,0617	0,0641	0,0282	0,0364	0,0399	0,0422

Zwischenwerte können für den vorliegenden Zweck genau genug linear interpoliert werden. Wenn die Steuerung, wie es meist der Fall ist, für veränderliche Füllung als Reguliersteuerung ausgeführt wird, so kommt es nicht genau darauf an, für welche Füllung der Ausgleich eintritt. Im allgemeinen wird man ihn für eine etwas unterhalb der normalen liegende Füllung zu erreichen suchen, und da mag die nächst kleinere, in der Tabelle enthaltene Füllung gewählt werden.

365. Mit Hilfe der Winkel ζ kann man das Steuerungsdiagramm mit der Führungsbahn sogleich für die Grundrichtung der Zentralen (Art. 349) auftragen und dabei folgendermaßen vorgehen:

Man verzeichnet zunächst das Steuerungsdiagramm für unendliche Pleuelstangenlänge in Normalgröße für diejenige Füllung, bei

Fig. 134.



welcher mit endlicher Stangenlänge durch die Schränkung Füllungsausgleich bei beiderseits gleichem Voreintrittswinkel erreicht werden soll (Fig. 134 Mitte), und findet den Voreilwinkel δ_u und die Überdeckung e_u , welche für den Entwurf des endgültigen Diagramms und des endgültigen Exzenterlagerschemas weiter verwertet werden sollen.

366. Alsdann trägt man von einer Horizontalen MA aus den Winkel ζ_d entgegen der Drehrichtung, ζ_k im Sinne der Drehrichtung auf und wählt die Länge der Exzenterstange für unveränderliche Füllung beliebig, jedoch (um gleiche Öffnungsweiten zu erzielen) besser ebenso groß, wie für veränderliche Füllung empfohlen, d. h. $\sim l = 1,4rL/R$. Dann schlägt man aus M mit $MB = 1 + e_u$ und mit $MC = 1 - e_u$ Kreisbogen, welche in die beiden durch ζ_d und ζ_k bestimmten Richtlinien in D und K einschneiden. Die Linie DK gibt die Schränkungsrichtung an (beachte Art. 350 Schluß).

Der Schwingungsausschlag wird, wie in Art. 344 erläutert wurde, durch Kreise mit $1+r$ und $1-r$ aus M gefunden, welche die geradlinige Führungsbahn in H und T die gleichwertige gekrümmte in F und G begrenzen.

Für den Übergang zu einer anderen Schubrichtung kann man wieder das Lot von M auf DK fällen und den Schränkungskreis schlagen (Art. 344) oder auch sich des Schränkungswinkels β bedienen. In der neuen Lage behalten β und MS die in Fig. 134 gefundene Größe bei.

367. Für veränderliche Füllung geht man am besten so vor, daß man zunächst das Steuerungsdiagramm für unendliche Pleuelstangenlänge in beliebiger Normalgröße mit der Scheitelkurve nach Art. 255, 277 oder 287 entwirft und erst zum Schluß die Maßstabsbestimmung des ganzen Steuerungsgetriebes mit Exzenterstangenlänge und Schränkungskreis vornimmt; vgl. Fig. 135a außen.

Hierbei hat man zu beachten, daß der wirksame Ausschlag auf der geschränkten Bahn $1/\cos\beta$ mal so groß ist wie der doppelte Exzenterradius, und daß daher das Steuerungsgetriebe, nachdem der Maßstab des Diagramms für unendliche Pleuelstangenlänge bestimmt ist, noch auf das $\cos\beta$ -fache zu verkleinern ist. Diese letzte Maßstabsveränderung wird man zusammen mit der durch etwa zwischen-geschaltete Hebel usw. bedingten vornehmen.

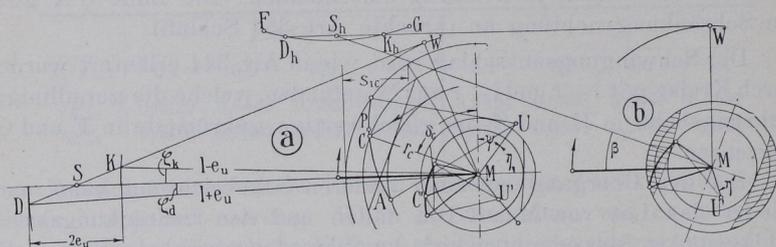
Zweckmäßig ist es, bei dem hier vorgeschlagenen Verfahren mit der Schränkungscentralen, welche ein Zurückgreifen auf das Diagramm für unendliche Pleuelstangenlänge und unendliche Exzenterstangenlänge bei allen Füllungen gestattet, noch einen willkürlichen Maßstab für das Diagramm mit der geschränkten Führungsbahn einzuschieben (Fig. 135a inneres Diagramm).

Das Diagramm für unendliche Stangenlänge enthält keine Bögen mit großem Radius, so daß auch bei Auftragung in großem Maßstabe kein Stangenzirkel benutzt werden braucht. Man wird also

dies Diagramm in reichlicher Größe zeichnen, um die aus demselben abzugreifenden Maße recht genau zu erhalten (etwa 200 mm Durchmesser bei einer mittleren Exzentrizität).

Das Diagramm mit der Schränkungslinie wird man dann wegen der Bogenschläge mit $1+e_u$ und $1-e_u$ in kleinerem Maßstab (der am besten ein glatter Bruchteil des ersten ist, etwa $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$)

Fig. 135.



auftragen. Da die Winkel ζ durch Rechnung gefunden sind, können hier große Fehler auch bei kleinem Maßstab nicht auftreten. Beim Ziehen der Verbindungslinie DK, welche den Schränkungsgrad und den Punkt S bestimmt, ist jedoch größtmögliche Sorgfalt geboten.

368. In Fig. 135a ist der größere Steuerungskreis für unendliche Stangenlängen konzentrisch um den kleineren für die geschränkte Schubrichtung gezeichnet. Die Verhältnisse sind für unendliche Stangenlänge ebenso gewählt wie im Diagramm Fig. 103 S. 152, aus welchem nur die Scheitellinie und der Deckungskreis übernommen werden braucht. Der Vollständigkeit halber ist noch der zur Normalfüllung von 28 Prozent gehörige Scheitelkurvenpunkt P und der Steuerungskreis für die größte Füllung von 45 Prozent eingetragen.

Man wählt alsdann diejenige Füllung, für welche man den vollkommenen Ausgleich mit gleichen Füllungswegen, gleichen Voreinstromungswinkeln und gleichen radialen Öffnungsweiten zu erreichen wünscht (die kompensierte Füllung). Diese braucht nach Art. 364 nicht gerade mit der normalen übereinzustimmen, kann vielmehr in der Nähe unterhalb der Füllung für die Normalleistung nach den in der Tabelle auf S. 204 enthaltenen Werten angenommen werden.

Die kompensierte Füllung werde $= 0,25$ gewählt, wofür die Tabelle bei einem λ von $\frac{1}{5}$ angibt $\zeta_d = 0,0402$, $\zeta_k = 0,0472$. Um die Exzentrizität zu bestimmen, muß man die zu der Füllung 0,25 gehörige Exzentrizität aufsuchen; das geschieht mit Hilfe des mehrfach (z. B. Art. 272) angegebenen Verfahrens. Der Punkt C ist der zur

Füllung 0,25 gehörige Scheitelkurvenpunkt, $MC \equiv r_c$ die Exzentrizität der kompensierten Füllung.

Die Exzenterstangenlänge wird dann nach Art. 361 gefunden $l = 1,4 r_c \cdot L/R = 1,4 \cdot 5 \cdot r_c = 7 r_c$, die Schränkungslinie DK, der Schränkungskreis MW, der Zentralpunkt S auf der Linie DK wie im Art. 366 erläutert in dem kleineren Maßstab bestimmt.

369. Da die Zentrale MS in der Grundrichtung aufgetragen ist (vgl. Art. 348 u. 349), wird für die geschränkte Schubrichtung DK das Lagenschema der Scheitelkurve gegenüber der Kurbel gefunden, indem man die Scheitelkurve spiegelsymmetrisch zu MS (mit Benutzung der Winkel γ für die Grenzlagen) in dem verkleinerten Maßstab überträgt. Man kann für die Übertragung auch den Mittelpunkt U der Scheitelkurve benutzen und den Winkel $90 - \psi \equiv \gamma$ von der über M hinaus verlängerten Zentrale im Sinne der Drehrichtung der Maschine auftragen.

Wenn man jetzt für das in der Fig. 136 dargestellte Steuerungsgetriebe, in welches die Diagramme Fig. 135 noch einmal in ver-

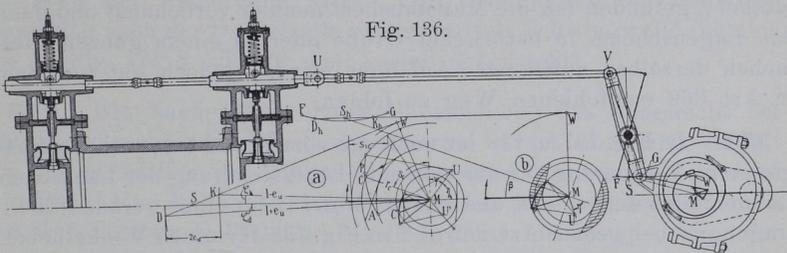


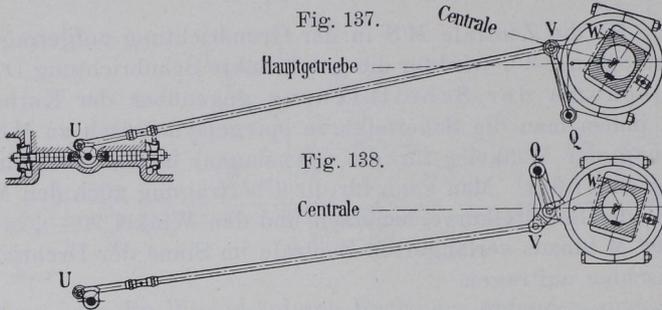
Fig. 136.

kleinertem Maßstabe eingetragen sind, aus dem in Art. 350 bis 352 angegebenen Grunde zu einer horizontalen Schubrichtung (Fig. 135 b) übergeht, so kommt die Zentrale in die Richtung MS_h . Die Scheitelkurve muß in bezug auf MS_h bei in der Deckelotlage belastener Kurbel ebenso liegen wie in Fig. 135 a, innere kleine Darstellung, in bezug auf MS (Benutzung des Winkels γ für die Übertragung des Scheitelkurvenmittelpunktes).

Fig. 135 b zeigt hiernach das endgültige Lagenschema der Scheitelkurve für das in Fig. 136 wesentlich kleiner dargestellte Steuerungsgetriebe. Die Kurbel ist in der Getriebezeichnung in der äußeren Totlage also um 180° gegen das Lagenschema Fig. 135 b gedreht gezeichnet. Daß in Fig. 135 b die kompensierte Exzentrizität gerade in die Richtung der Kurbel fällt, ist ein Zufall.

Die Öffnungssicheln sind in dem Lagenschema für die größte Füllung schraffiert, und zwar in der Meßrichtung (Art. 354), d. h. auf der Deckelseite senkrecht zur Hebelarmstellung D_h , auf der Kurbelseite senkrecht zur Hebelarmstellung K_h .

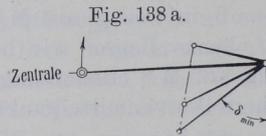
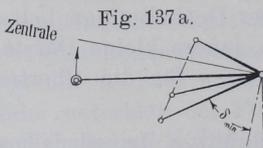
370. Es ist nicht gerade erforderlich, die im Art. 369 erläuterte Auftragung des Lagenschemas der Scheitellinie in dem kleineren



Maßstab, der in Art. 368 nur dazu diente, das Schränkungs-dreieck MSW zu bestimmen, vorzunehmen. Man kann, nachdem der Schränkungs-winkel β gefunden ist, die Maßstabsbestimmung vornehmen und dann das Lagenschema in natürlicher Größe oder in einem ganzen Vielfachen derselben auftragen. Anfänger werden jedoch gut tun, dem in Art. 369 empfohlenen Weg zu folgen.

371. In Fig. 137 u. 138 ist noch der vorstehend besprochene Ausgleich in Anwendung auf die bekannte Lentzsteuerung der Lanzschen Lokomobilen dargestellt, und zwar in Fig. 137 für einen geraden Übertragungshebel gemäß Art. 352 und in Fig. 138 für einen Winkelhebel.

Da in Fig. 137 außerdem der Exzenterstangenangriffspunkt und der Kuppelstangenangriffspunkt am Hebel zusammengelegt sind, geht derselbe in eine einfache Lenkstange über. Die Richtung der



Schränkungslinie SW Fig. 135 a fällt in Fig. 137 mit der Richtung der Kuppelstange zusammen in dem Augenblick, in welchem die Deckungspunkte durchlaufen werden.

Die Anordnung der Fig. 138 ist so gewählt, daß die Zentrale in die Haupttrichtung der Maschine fällt; damit wird die Scheitelkurven-

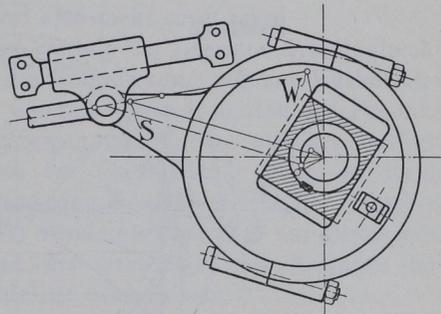
lage in bezug auf die Kurbel die gleiche wie bei einer normalen Schiebersteuerung mit axialer Schubrichtung und innerer Einströmung.

Fig. 137 a zeigt das Lagschema der Scheitellinie für die Anordnung Fig. 137, und Fig. 138 a dasjenige für die Anordnung Fig. 138, beidemale unter Annahme einer Prismenführung für das Stellerxcenter.

Der Exzenterstangenendpunkt kann auch auf einer geraden, geschränkten Gleitbahn geführt werden. Fig. 139 zeigt eine solche Anordnung.

Auch für Ventilsteuerungen mit Steuerwelle ist der Ausgleich mit geschränkter Führungsbahn und kurzer Exzenterstange anwendbar und auch schon vereinzelt ausgeführt. Die Steuerwelle wird dann nur bis zum vorderen Zylinderende geführt, wo auch der Flachregler liegt. Die Übertragung der Schwingbewegung nach der Deckelseite erfolgt mittels Schwingwelle (ähnlich wie in Fig. 171 S. 269 für den Auslaß dargestellt).

Fig. 139.



372. Die Nachprüfung der Vollkommenheit des Ausgleichs bei Füllungen, welche von der kompensierten verschieden sind, erfolgt am besten mittels des Müller-Seemannschen Steuerungsdiagramms (vgl. Art. 334). In Fig. 140 ist das Diagramm für die Füllungsgrenzen von 00 (absolute Nullfüllung) bis 45 Prozent, mit Kompensation für 20 Prozent, bei mäßig scharf gekrümmter Scheitelkurve dargestellt (scharfe Krümmung ist bei weiten Füllungsgrenzen hier nicht zu empfehlen).

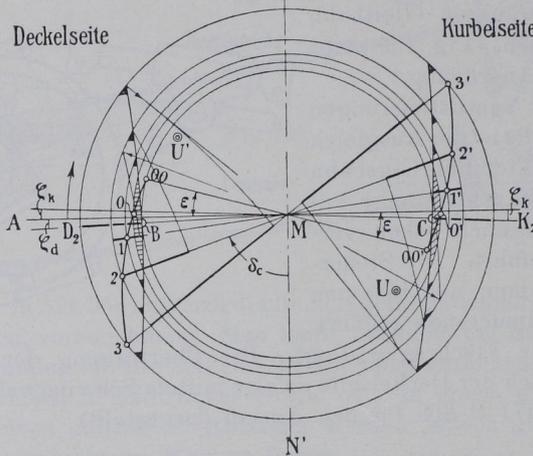
Die Kolbenweglinien, welche bei dieser Darstellung mit den Exzenterrichtungen zusammenfallen, sind, um für den Bogenschlag die gleiche Schablone verwenden zu können, gleich lang gemacht und durch Ziehen der Füllungsstrahlen auf den Kreis der Füllung 2 bezogen. Die Füllungswege sind kräftig ausgezogen. Der Vergleich der beiderseitigen Längen zeigt sehr guten Ausgleich bei fast allen Füllungen.

373.¹⁾ Über die Voreinströmungs- und Füllungsverhältnisse bei ganz kleinen Füllungen kann man sich, genauer

¹⁾ Art. 373 ÷ 375 nur für Vorgeschnittene.

als dies durch graphische Ermittlung möglich ist, in folgender Weise ein Bild machen. Die Linien MD_2 und MK_2 (Fig. 140) teilen die Öffnungssichel auf der Deckelseite bzw. auf der Kurbelseite in zwei symmetrische Hälften. In B bzw. in C wird die Sichel zu einem Punkt. Voreinströmung und Füllungsabschluß fallen zusammen. Die

Fig. 140.



zugehörige Kolbenweglinie ist die Linie $00M00$ (00 Einmündungsstelle der Scheitelkurve in den Deckungskreis), B liegt um den Winkel $\varepsilon + \zeta_d$ vor der Deckeltotlage und C um den Winkel $\varepsilon - \zeta_k$ vor der Kurbeltotlage. Die beiden Voreinströmungswinkel der absoluten Nullfüllung unterscheiden sich also um den Winkel $\zeta_d + \zeta_k$. Wenn die Steuerung für eine Füllung von 20 Prozent kompensiert wurde, ist $\zeta_d + \zeta_k = \sim 4^\circ 40'$ (vgl. die Tabelle S. 204).

Diese Ungleichheit in der Voreinströmung und, da Voreinströmung und Füllungsabschluß bei der absoluten Nullfüllung identisch sind, auch der Füllung wird zum Teil zunächst noch bestehen bleiben, wenn die Füllung ein wenig über die absolute Nullfüllung, etwa bis auf die Leerlauffüllung (die dem Punkt 0 auf der Scheitelkurve entsprechen möge), vergrößert wird. In dieser Ungleichheit bei ganz kleinen Füllungen könnte ein Nachteil erblickt werden.

374. Bei den ganz kleinen Füllungen kommt es jedoch für die Gleichheit der Arbeitsleistung auf beiden Zylinderseiten weniger auf die Gleichheit der Füllungswege als auf die Gleichheit der eingelassenen Dampfmengen an. Die eingelassenen Dampfmengen hängen

aber bei engen Querschnitten, wenn der Druckunterschied beim Eintritt groß ist (mäßig hochreichende Kompression), vor allem von der Öffnungsweite und der Länge des Öffnungsbogens und weniger von der Lage des Öffnungsbogens gegenüber dem Totpunkt ab.

Die radiale Öffnungsweite ist nach den Annahmen des Steuerungsentwurfs auf beiden Seiten gleich, der Öffnungsbogen (die Öffnungszeit) auf der Kurbelseite etwas größer. Der Unterschied in den eingelassenen Dampfmenngen wird also nicht groß sein.

Wenn man Wert darauf legt, gerade bei Leerlauf Arbeitsgleichheit zu erzielen, so kann man die Überdeckung auf der Kurbelseite nachträglich ein wenig größer einstellen, etwa so, daß das Produkt aus Öffnungsweite und Öffnungsbogen gleich dem auf der Deckelseite wird. Die Verschiedenheit der Überdeckung wird, da durch eine Vergrößerung derselben auf der Kurbelseite beide Faktoren (Öffnungsweite und Öffnungszeit) verkleinert werden, nur Bruchteile eines Millimeters betragen und die Gleichheit der Arbeiten bei größeren Füllungen kaum nachteilig beeinflussen.

375. Hält man an der beiderseits gleichen Diagrammüberdeckung fest und läßt die kleinen (durchaus zulässigen) Verschiedenheiten in der Arbeitsleistung bei kleinsten Füllungen zu, so läßt sich über den Voreinströmungswinkel bei verschiedenen Füllungen folgendes aussagen: Bei absoluter Nullfüllung ist er auf der Deckelseite um den Winkel $\zeta_d + \zeta_k$ größer wie auf der Kurbelseite, für die kompensierte Füllung ist er, entsprechend den Bedingungen des Entwurfs, auf beiden Seiten gleich, für Füllungen, welche größer sind wie die kompensierte, wird er auf der Deckelseite kleiner wie auf der Kurbelseite.

Bei dem Füllungsausgleich mit zentraler Schubrichtung (Art. 335) fallen die Punkte C und D in die Richtung AM. Es wird also, wenn die Exzenterstangenlänge so kurz gewählt wird, daß die absolute Nullfüllung auf beiden Seiten gleichzeitig erreicht wird, auch der Voreinströmungswinkel auf beiden Seiten gleich. Bei allen anderen Füllungen, insbesondere den großen, werden sie jedoch sehr ungleich, was als ein Hauptnachteil dieser Art des Ausgleichs bezeichnet wurde (vgl. Fig. 124). Bei der geschränkten Führungsbahn treten demgegenüber die Ungleichheiten in der Voreinströmung bei den kleinsten Füllungen auf, wo sie wegen des gleichzeitigen Auftretens der starken Drosselung unschädlich sind (vgl. auch Art. 328 Anm.).

376. Der Ausgleich mit geschränkter Führungsbahn und kurzer Exzenterstange ist schon längere Zeit bekannt, aber doch nicht so

häufig angewandt, wie er es verdiente. Mit den von mir für Steuerungen mit veränderlicher Füllung vorgeschlagenen Entwurfsgrundsätzen steht der Ausgleich dem mit zwei getrennten Stell-exzentern auf einer Steuerwelle (Art. 314) durchaus nicht nach. Er ist einfacher wie dieser und läßt Fehler in der Einstellung der Steuerung wegen der durch die Konstruktion festgelegten geometrischen Zusammenhänge nicht so leicht vorkommen.

Sowohl in der Praxis wie in der Literatur bestehen Unklarheiten über die zweckmäßige Länge der Exzenterstange; vor allem scheinen die besonderen Bedingungen, welche die Steuerungen mit veränderlicher Füllung an diese Art des Ausgleichs stellen (Art. 358 bis 360), und die Mittel, diesen Bedingungen gerecht zu werden, nicht klar erkannt zu sein. Einige mir bekannt gewordene Ausführungen aus neuerer Zeit zeigen wenig günstige Maßverhältnisse. Leist behandelt den Ausgleich nur andeutungsweise, und zwar auch nur für feste Füllung (Steuerungen, 2. Aufl. S. 100 u. 101); er empfiehlt ein Exzenterstangenlängeverhältnis $r/l = R/L$.

Bedeutung des Füllungs- und Kompressionsausgleichs.

377. Die Bedeutung des Füllungsausgleichs wird im allgemeinen etwas überschätzt. Von großer Bedeutung ist die Gleichheit der Arbeiten auf beiden Zylinderseiten nur bei Maschinen, welche zeitweise sehr langsam laufen müssen und dabei nicht stehen bleiben dürfen (Akkumulatorpreßpumpen Bessemergebläse); dann bei Maschinen ohne Schwungrad, für welche möglichst gleichmäßige Drehkräfte und für die Deckel- und Kurbelseite gleich günstige Anfahrstellungen gefordert werden müssen (Schiffsmaschinen).

Wenn solche Maschinen stehend angeordnet sind und die Gewichte der auf- und niedergehenden Triebwerksteile nicht gegenseitig durch die Kurbelstellung (2 mal 180° und 3 mal 120°) ausgeglichen sind, wird besonders bei Maschinen der ersten Art Arbeitsausgleich für Auf- und Niedergang durch etwas verschieden große Füllungen (größere Füllung auf der Kurbelseite) zu erreichen sein. Die Verfahren, um eine gewollte Verschiedenheit in der Füllung zu erreichen, sind grundsätzlich die gleichen wie die zur Erreichung der Füllungs-gleichheit angegebenen. Die rechnermäßig gefundenen Werte von λ_c (Art. 361) und ζ_d und ζ_k (Art. 364) gelten jedoch für gleich große Füllungen.

Auch die Verschiedenheit der Kolbenflächen auf der Deckel- und Kurbelseite bei nicht oder nicht in gleicher Stärke durchgeführter