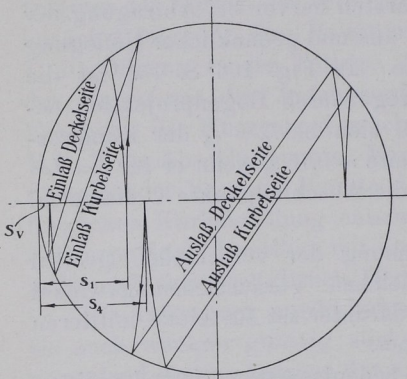


Ausgleich bei vier getrennten Exzentern.

295. Am leichtesten und vollkommensten ist der Ausgleich möglich bei vier getrennten Steuerorganen, von denen jedes sein eigenes Antriebsexzenter hat. Wenn man als das erstrebenswerte Ziel die Erreichung paarweise gleicher Kolbenwege auf der Deckel- und Kurbelseite für alle vier Steuerphasen ansieht (die Berechtigung dieser in der Literatur meist aufgestellten Forderung

Fig. 111.



wird bezüglich der Vorausströmung weiter unten in Frage gestellt* werden) und für die gleichen Kolbenstellungen die zugehörigen Kurbelstellungen aufsucht (Fig. 111), so findet man, indem man die zusammengehörigen Öffnungspunkte und Abschlüßpunkte miteinander verbindet, vier Deckungslinien von verschiedener Richtung und verschiedenem Abstand von der Mitte. Das ist für nicht

geschränkte Steuerungsantriebe (geschränkte vgl. Art. 336 bis 376) gleichbedeutend mit der Notwendigkeit von vier Exzentern mit verschiedenem Voreilwinkel und vier Steuerorganen mit verschiedenem Deckungsverhältnis e/r . Die Exzentrizitäten r brauchen zur Erfüllung der Forderung des Abschlusses in den gewollten Kolbenstellungen nicht verschieden zu sein; wenn man jedoch noch die weitere Forderung stellt, daß die freigegebenen Strömungsquerschnitte und die Drosselwege gleich werden, ergibt eine getrennt durchzuführende Maßstabsbestimmung (nach Art. 254 bis 257, 259 u. 260, 277, 281, 288) auch vier verschiedene Exzentrizitäten.

296. Wenn man bei nicht geschränktem Antrieb mit weniger wie vier Exzentern auskommen will, muß man auf die Erfüllung aller Forderungen bezüglich der Gleichheit der Dampfverteilung verzichten, die eine Forderung zugunsten einer anderen zurücktreten lassen, muß die Wichtigkeit der einen Forderung gegen die andere abwägen, und prüfen, ob ein völliger Verzicht auf die Erfüllung der einen oder anderen Forderung angezeigt erscheint oder nur eine mehr oder weniger große Zurückstellung. Diese Abwägung der einzelnen hierbei in Frage kommenden Rücksichten ist eine schwierige Aufgabe.

Um ihr zunächst aus dem Wege zu gehen, ist der anscheinend kompliziertere Fall mit vier ganz verschiedenen Exzentern hier vorweggenommen.

297. Bevor der Fall weiter behandelt wird, müssen die üblichen Forderungen bezüglich der Gleichheit der Dampfverteilung einer Kritik unterzogen werden: Daß man die Gleichheit der Füllung für die Kurbel- und Deckelseite erstrebt, ist, abgesehen von einigen weiter unten (Art. 377) noch zu besprechenden Ausnahmen, korrekt; das gleiche gilt bezüglich der Kompressionswege, sofern man nicht etwa, um für Hin- und Rückgang den Druckwechsel im Gestänge zeitlich gleich weit vor dem Totpunkt zu erhalten, einen verschieden großen Kompressionsweg für zweckmäßig hält.

Dagegen entbehrt die Forderung paarweise gleicher Kolbenwege auf der Deckelseite und Kurbelseite für das Voröffnen (Vorausströmung und Voreinströmung) jeder Berechtigung. Diese Forderung sucht nur die Folgen einer anderen, viel wichtigeren Forderung zu beseitigen oder gleichzumachen und verletzt dabei in gröblicher Weise diese Forderung selbst. Um das einzusehen, muß man sich den Zweck der Vorausströmung und Voreinströmung noch einmal klarmachen.

298. Durch die Vorausströmung soll

1. dem Dampf Zeit gelassen werden, abzufießen, so daß beim Hubwechsel der Dampfdruck annähernd bis auf den Ausschubgegendruck p_3 gesunken ist (Fig. 1 S. 2), und

2. den Steuerorganen Zeit gelassen werden, die nötigen Öffnungen herzustellen (Näheres vgl. Führer 45, 6÷12).

Es handelt sich hier also um die Forderungen gewisser Zeiten, nicht gewisser Kolbenwege, zur Erfüllung der Bedingung richtigen Dampfabflusses. Zeiten werden aber bei der annähernd gleichförmigen Drehgeschwindigkeit der Welle durch Kurbelwinkel, nicht durch Kolbenwege gemessen. Es ist also falsch, für die Vorausströmung den Ausgleich anzustreben, weil man damit entweder zu knappe Abströmzeiten für die Kurbelseite oder zu reichliche für die Deckelseite erhält. Ist der Vorausströmungswinkel für die Kurbelseite richtig getroffen, so ergibt sich, wenn man aus dem zugehörigen Kolbenweg den Kurbelwinkel für die Deckelseite ableitet, für diese ein erheblich größerer Winkel als erforderlich, so daß der Dampf vorzeitig abfließt. Man verzichtet damit ohne Grund auf einen Teil der Arbeitsfläche des deckelseitigen Diagramms.

Die Forderung vollkommener Identität der Diagramme ist eine ganz willkürliche und wird bei gleichen Vorausströmungskolbenwegen nicht einmal erreicht, weil die Zeit für die Abströmung auf der Deckelseite größer ist und daher im Dampfdiagramm die Ausströmungslinie auf der Deckelseite stärker abfallen wird. Diese Gesichtspunkte habe ich bereits im Führer 45, 12 hervorgehoben.

299. Fast genau dasselbe wie für die Vorausströmung gilt für die Voreinströmung. Auch hier muß eine gewisse Zeit für das Anfüllen des schädlichen Raumes mit Frischdampf und für die Herstellung ausreichender Strömungsquerschnitte bis zum Hubwechsel verlangt werden. Es hat also gar keinen Sinn, für Deckel- und Kurbelseite gleiche Voreinströmungskolbenwege zu erstreben.

300. Im Zweifel könnte man vielleicht sein, ob es nicht richtiger ist, statt gleicher Voröffnungswinkel gleiches lineares Voröffnen auf der Kurbel- und Deckelseite zu fordern. Wenn der Voröffnungswinkel gleich, die Überdeckungen verschieden sind, ergibt sich für die Seite mit der größeren Überdeckung im Totpunkt eine etwas kleinere Öffnungsweite, so daß trotz der gleichen Zeit für das Überströmen die durchgelassenen Dampfmenge etwas verschieden sein werden. Wenn dagegen das lineare Voröffnen auf beiden Seiten gleich gemacht wird (was erreicht wird, wenn man mit dem gewünschten linearen Voröffnen um den Totpunkt des Diagramms einen Kreis schlägt und die Deckungslinien diesen Kreis tangieren läßt), so ergeben sich etwas verschiedene Voröffnungswinkel, also auch verschiedene Voröffnungszeiten.

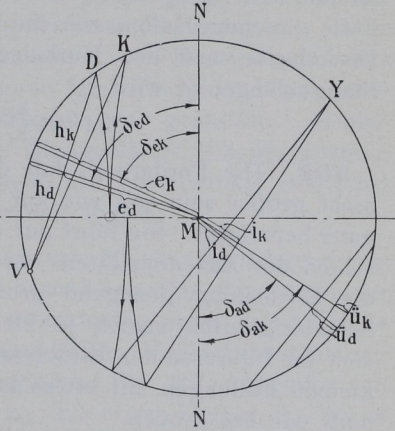
Das theoretisch Richtige liegt also zwischen beiden Forderungen. Die Abweichung von der für die weitere Behandlung gewählten Forderung gleicher Voröffnungswinkel ist sehr gering und ist wegen der Unsicherheit in den Regeln über das zweckmäßige Voröffnen (bedingt besonders durch die Unsicherheit der Gesetze der Eintrittskondensation beim Eintritt und des Nachdampfens beim Austritt) fast bedeutungslos.

301. Für die Vierexzentersteuerung wird man hiernach die Bestimmung der Steuerungsgrößen nach Fig. 112 durchführen, d. h. für die Vorausströmung und Voreinströmung von einem bestimmten, für Deckel- und Kurbelseite gleichen Winkel (Punkt Y und V Fig. 112) ausgehen und nur für die Füllung und die Kompression den Bogen-schlag ausführen. Man kommt damit auf Verhältnisse, welche von denen der Fig. 111 wesentlich abweichen. Der Unterschied der

Voreilwinkel für die Deckel- und Kurbelseite wird größer, der Unterschied der Deckungsverhältnisse e/r kleiner. Die große Verschiedenheit in der „Pfeilhöhe der Öffnungssichel“ in Fig. 111 macht sehr verschieden große Exzentrizitäten notwendig, wenn man auf der Deckelseite ebenso große Öffnungen erzielen will wie auf der Kurbelseite. Durch die Einführung der richtigen Grundlagen für die Gleichheit der Voreinströmung (gleiche Voreinströmungswinkel auf beiden Seiten) werden also auch die auf die Öffnungsweiten bezüglichen Schwierigkeiten vermindert.

Die Forderung gleichen linearen Voröffnens gibt noch etwas kleinere Unterschiede in den Öffnungsweiten bei gleicher Exzentrizität wie die Forderung gleicher Voröffnungswinkel, indem sich die beiden Deckungslinien etwas überschneiden.

Fig. 112.



Bestimmung der Exzentrizitäten für Deckel- und Kurbelseite.

302. Wenn man für den Einlaß für Kurbel- und Deckelseite gleiche Drosselwege erhalten will, kann man entsprechend dem in Art. 255 erläuterten Verfahren vorgehen und die Maßstabsbestimmung für Deckel- und Kurbelseite getrennt vornehmen. Hierbei müßte natürlich auch die Aufsuchung des Kurbelwinkels, bei welchem die Drosselung beginnen soll, mittels Bogenschlags erfolgen. Ferner müßte die Kurve der erforderlichen Kanalöffnungen unter Berücksichtigung des verschiedenen Geschwindigkeitsgesetzes für Deckel- und Kurbelseite verzeichnet werden.

Das Verfahren würde außerordentlich umständlich werden. Die Umständlichkeit läßt sich angesichts der in Art. 244 und 245 ange deuteten, in der Zugrundelegung bestimmter Drosselwege liegenden Willkürlichkeit nicht rechtfertigen.

Deshalb möge ein abgekürztes Verfahren gewählt werden und die Forderung gestellt werden, daß die Pfeilhöhe der Öffnungssichel in beiden Fällen gleich werde, und zwar ebenso groß, wie sie bei

Voraussetzung unendlicher Stangenlänge vorläufig gefunden wurde. Man hat also die für unendliche Stangenlänge gefundene Einlaßexzentrizität nur mit dem Verhältnis der Pfeilhöhen der Öffnungssichel zu multiplizieren. Ist r_e die für $\lambda = 1/\infty$ gefundene Exzentrizität und h_d, h_k, h_u in einem Kreis von beliebigem, für alle drei Fälle gleichem Halbmesser die Pfeilhöhe der Öffnungssichel auf der Deckelseite, auf der Kurbelseite (Fig. 112) und für unendliche Stangenlänge, so wird

$$r_{ed} = r_e \frac{h_u}{h_d} \quad \text{und} \quad r_{ek} = r_e \frac{h_u}{h_k}.$$

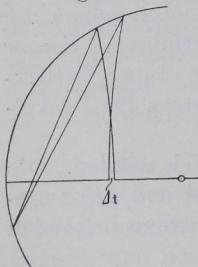
303. Die Forderung, daß die Drosselung auf der Deckelseite nicht größer sein soll wie auf der Kurbelseite, ist aber auch nicht ganz berechtigt. Sie führt auf einen verhältnismäßig großen Unterschied der Exzentrizitäten. In Art. 284 wurde hervorgehoben, daß die Erreichung genügend großer Öffnungsweiten um so größere Schwierigkeiten macht, je kleiner die Füllung ist, und daß man sich im Interesse der Einschränkung der Steuerungsabmessung bei kleinen Füllungen mit etwas knapperen Öffnungsweiten bescheiden muß wie bei großen.

Dieser dort für verschiedene Füllungen ausgesprochene Satz ist bei Berücksichtigung der endlichen Pleuelstange dahin zu erweitern und zu berichtigen, daß man anstatt „kleine und große Füllungen“ sagt „kleine und große Öffnungswinkel φ (Öffnungszeiten)“. Man wird also angesichts der größeren Schwierigkeiten die Exzentrizität auf der Deckelseite etwas kleiner wählen wie das oben gefundene r_{ed} , auf der Kurbelseite etwas größer wie das oben gefundene r_{ek} .

304. Infolge der knapperen Bemessung der Exzentrizität für die Deckelseite wird dann die Drosselung und damit auch der Unterschied zwischen Abschlußfüllung und ideeller Füllung auf der Deckelseite größer wie auf der Kurbelseite. Bedeutsam für gleiche Arbeitsleistung und, was wichtiger ist, für Erreichung gleicher Expansionsenddrucke ist aber die ideelle Füllung (Art. 25). Man wird also, um gleiche ideelle Füllung zu erreichen, auf der Deckelseite einen etwas größeren Füllungszuschlag geben müssen, wenn man den Unterschied in den Exzentrizitäten kleiner annimmt wie errechnet.

Der Unterschied in den Füllungszuschlägen wird in einem schätzungsweise einzuführenden sehr kleinen Unterschied Δt in den Abschlußfüllungswegen (Fig. 113) zum Ausdruck kommen, dessen

Fig. 113.



Einführung auch wieder auf die Voreilwinkel auf der Deckel- und Kurbelseite einen beim Entwurf nachträglich zu berücksichtigenden Einfluß ausübt.

Die letzte Korrektur etwa begangener Schätzungsfehler kann beim Einstellen der Steuerung durch Veränderung der Stangenlänge stattfinden. Steuerungen mit vier getrennten Steuerorganen haben im Gestänge stets Schraubenverbindungen, welche eine getrennte Einstellung der einzelnen Steuerorgane (gleichbedeutend mit selbständiger Einstellbarkeit der Überdeckungen) gestatten. Kleine Korrekturen durch Veränderung der Stangenlänge (Überdeckungen) sind zulässig; große schädlich, weshalb die Voreilwinkel möglichst korrekt beim Entwurf festgelegt werden sollten.

305. Der Gang des Diagrammentwurfs für eine Einlaßsteuerung mit unveränderlicher Füllung und besonderen Einlaßexzentern für die Deckel- und Kurbelseite wird zweckmäßig etwa der folgende sein: Entwurf für unendliche Stangenlänge; Maßstabsbestimmung nach Art. 255; Verzeichnung des Diagramms Fig. 212; Abgreifen von h_d , h_k , h_u ; Berechnung von r_{ed} und r_{ek} ; r_{ed} etwas kleiner, r_{ek} etwas größer gewählt wie gefunden; endgültige Bestimmung der Voreilwinkel δ_{ed} und δ_{ek} und annähernd endgültige Bestimmung der Überdeckungen; Korrektur der letzteren nach den Indikatordiagrammen.

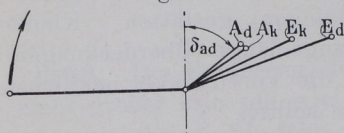
306. Für den Auslaß wird es im allgemeinen genügen, bei getrenntem Antrieb von Deckel- und Kurbelseite zum Ausgleich nur die Voreilwinkel verschieden anzunehmen, so wie sie sich nach Fig. 112 ergeben. Die Exzentrizitäten wird man einander gleich und ebenso groß machen, wie sie sich im Entwurf für $R/L = 1/\infty$ ergeben haben, und die Gleichheit der Kanalöffnungen durch verschieden großes Überlaufen erreichen ($\ddot{u}_d > \ddot{u}_k$ Fig. 112).

Exzenterlagenschema für vier Exzenter auf der Hauptwelle für unveränderliche Füllung.

307. Der Fall mit vollkommenem Ausgleich durch vier Exzenter kommt zwar nur bei gleichzeitiger Anwendung einer besonderen Steuerwelle vor, weil die vier langen Steuergestänge von der Hauptwelle bis zum Zylinder zu umständlich und schwerfällig werden. Man begnügt sich (auch für Ventilsteuerungen), wenn der Antrieb von der Hauptwelle aus direkt erfolgen soll, mit zwei Exzentern und dem Ausgleich nach dem weiter unten (Art. 324 bis 376) besprochenen Verfahren.

Um jedoch die gedankliche Verbindung mit den früheren Entwicklungen herzustellen, ist zunächst ein Vierexzenterantrieb von der Hauptwelle aus mit vollkommenem Stangenlängenausgleich vorausgesetzt. In Fig. 114 ist das zugehörige Exzenterlagenschema dargestellt, und zwar für normale in die Hauptrichtung der Maschine fallende Schubrichtung für alle vier Exzenterstangen. Wie bei geneigter Schubrichtung die Aufkeilungswinkel zu bestimmen sind, ist in Art. 283

Fig. 114.

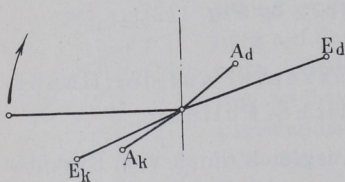


gezeigt.

Die Fig. 114 setzt ferner für alle vier Steuerorgane die gleichen Abschlußbedingungen voraus, wie sie beim normalen Muschelschieber bestehen, d. h. außen abschneidende Einlaßsteuerkanten, innen abschneidende Auslaßsteuerkanten. Die Winkel sind einfach dem Diagramm Fig. 112 zu entnehmen und spiegelsymmetrisch zu MN abzutragen. Die Einschriften der Voreilungswinkel für den Auslaß sind in Fig. 112 (lediglich der Deutlichkeit wegen) auf der Seite der Auslaßdeckungslinien angebracht. Für innen abschneidende Auslaßsteuerkanten sind im Steuerungsdiagramm (wie in Fig. 112 S. 169) die Auslaßexzenter hiergegen um 180° versetzt einzutragen, ehe man beim Übergang zum Exzenterlagenschema sie symmetrisch zu MN abträgt.

Die Exzentrizitäten für den Einlaß sind auf Grund einer Maßstabsbestimmung des vorläufigen Diagramms Fig. 112 nach dem in Art. 302 und 303 erläuterten Verfahren verschieden groß gefunden, die

Fig. 115.



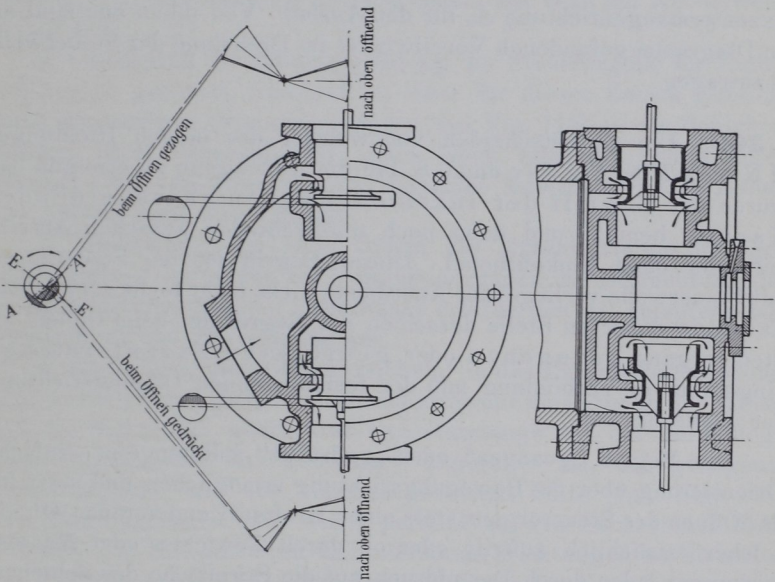
Auslaßexzentrizitäten gemäß Art. 306 gleich groß angenommen. Die Exzenter sind in Fig. 114 bezeichnet: Einlaßdeckelseite mit E_d , Einlaßkurbelseite mit E_k , Auslaßdeckelseite mit A_d , Auslaßkurbelseite mit A_k .

In Fig. 115 ist gleichfalls für gleiche Schubrichtung für alle vier Exzenterstangen das Exzenterlagenschema, jedoch für den Fall dargestellt: Einlaßorgan Deckelseite außen abschneidend, Einlaßorgan Kurbelseite innen abschneidend; Auslaßorgan Deckelseite innen abschneidend, Auslaßorgan Kurbelseite außen abschneidend. Mit diesen Voraussetzungen nähert man sich schon den Bedingungen, welche beim Antrieb mittels Steuerwelle vorliegen (Art. 308 bis 313).

Exzenterlagenschema für vier Exzenter auf einer Steuerwelle für unveränderliche Füllung.

308. In Verbindung mit Schiebern kommt zwar die Steuerwelle selten und dann in der Regel in der Weise zur Anwendung, daß die Bewegung der nur einseitig steuernden Schieber durch geeignete Zwischengetriebe stark unsymmetrisch gemacht wird, um den toten Hub der Schieber nach erfolgtem Abschluß zu kürzen. Hier sollen

Fig. 116.



jedoch, um den Übergang von Früherem zu Ventilsteuerungen mit Steuerwellenantrieb zu vermitteln, symmetrisch schwingende Schieber vorausgesetzt werden, welche durch Winkelhebel mit dem Übersetzungsverhältnis 1:1 angetrieben werden (Fig. 116). Die kleinen durch die Bogenführung der Hebelarme bedingten Abweichungen mögen vernachlässigt werden, was zulässig ist, wenn die mittleren Richtungen der Angriffsstangen auf den mittleren Armstellungen des Winkelhebels senkrecht stehen.¹⁾

¹⁾ Die Schieber sind, um den Lauf der Dampfströmung einzeichnen zu können, beide in geöffneter Lage dargestellt. Diese Lagen kommen betriebsmäßig natürlich nicht gleichzeitig vor.

Grundsätzlich hat die Übertragung der im Diagramm gefundenen Voreilwinkel in das Exzenterlagenschema genau so zu erfolgen, wie das in Art. 263-266 angegeben wurde, d. h. von der Senkrechten zur mittleren Exzenterstangenrichtung aus im Sinne der Drehrichtung der Welle (hier der Steuerwelle) bei auf Totpunkt gestellter Maschine. Nur sind die mittleren Exzenterstangenrichtungen für Ein- und Auslaß hier sehr verschieden.

EE' Fig. 116 und 117 ist die Senkrechte zur mittleren Exzenterstangenrichtung E_s für den Einlaß, AA' die Senkrechte zur mittleren Exzenterstangenrichtung A_s für den Auslaß. Von ihnen aus sind die im Diagramm gefundenen Voreilwinkel im Drehsinne der Steuerwelle abzutragen.

309. Um zu entscheiden, von welcher der beiden Richtungen MN oder MN' Fig. 99 c und d S. 146 die Auftragung zu erfolgen hat, wurde der Begriff der innen oder außen abschneidenden Kanten benutzt und dann noch unterschieden zwischen Antrieb mit oder ohne Umkehrhebel. Dieser Begriff ist bei Steuerungen mit Steuerwelle vorliegender Anordnung nicht mehr recht verwertbar. Es werde daher an Stelle desselben der Begriff der beim Öffnen des Steuerorgans gezogenen oder gedrückten Exzenterstange eingeführt in Verbindung mit der festzulegenden Öffnungsrichtung des Steuerorgans.

Der Begriff „gezogen“ oder „gedrückt“ soll nur eine einfache Orientierung über die Bewegungsrichtung ermöglichen und setzt für das Öffnen des Steuerorgans stets einen Kraftaufwand voraus. Ob ein solcher tatsächlich auftritt oder ob durch Gewichts- oder Massenwirkungen oder durch Dampfdruck auf die Stirnfläche der Schieberstange die Krafrichtung umgekehrt wird, soll dabei nicht beachtet werden.

Bei Steuerungen mit nur je einem Exzenter für Einlaß und Auslaß ist die Stange für die Deckelseite gezogen, wenn sie für die Kurbelseite gedrückt ist, und umgekehrt. Bei Trennung nach Deckel- und Kurbelseite ist das gleiche denkbar (Fig. 114), kommt aber in Verbindung mit der Steuerwelle nicht vor. Es sind hier der Gleichartigkeit der Übertragungsgetriebe wegen stets beide Einlaßexzenterstangen entweder gedrückt oder gezogen, ebenso, unabhängig davon, beide Auslaßexzenterstangen entweder gedrückt oder gezogen. Die Exzenter für Kurbel- und Deckelseite liegen sich daher annähernd gegenüber.

310. Damit man bei der Aufstellung des Exzenterlagenschemas nicht irrt, ist es für Steuerwellenantrieb zu empfehlen, einen bestimmten Gang zu befolgen. Ich empfehle, die nachfolgende Reihenfolge innezuhalten:

1. Feststellung des Drehsinnes der Steuerwelle für die gewollte Maschinendrehrichtung (Unterschied, ob das Kegelrad der Hauptwelle am Lager sitzt oder ihm gegenüber, wie z. B. in der Dispositionsskizze am Ende des Werkes); Einführung einer einheitlichen Beschaurichtung für den Drehsinn der Steuerwelle, z. B. von hinten gesehen, d. h. vom hinteren Zylinderdeckel aus nach der Kurbelwelle zu gesehen.

2. Eintragung der Öffnungsrichtung der Steuerorgane für Einlaß und Auslaß getrennt, Anschrift in einer für diesen Zweck gezeichneten allgemeinen Dispositionsskizze (vgl. Fig. 116) an die Schieberstangen oder Ventilspindeln „nach oben öffnend“, „nach unten öffnend“ (bei Ventilsteuerungen liegender Maschinen meist Einlaß und Auslaß nach oben öffnend).

3. Feststellung, ob beim Öffnen die Exzenterstange gezogen oder gedrückt ist, wofür bei Ventilsteuerungen die Betrachtung des Zwischengetriebes an der Ventilhaube erforderlich ist; entsprechende Anschrift an die Exzenterstangen.

4. Eintragung der „Öffnungssicheln“ in das Exzenterlagenschema oder in ein „Vorzeichenschema“, und zwar nur einseitig in der Weise, daß die Sichel bei gedrückter Exzenterstange auf der Seite liegt, nach welcher die Exzenterstange abgeleitet ist, bei gezogener Exzenterstange auf der entgegengesetzten Seite (vgl. Fig. 116). Die Deckungslinien sind dabei parallel zu den Senkrechten EE' und AA' auf den mittleren Exzenterstangenrichtungen zu ziehen.

Für die unter 5 gewählte Grundstellung der Kurbel trage man für den Einlaß die Überdeckung e_d der Deckelseite, für den Auslaß die Überdeckung i_k der Kurbelseite ein. Nachträglich kann man dann noch die korrespondierenden Deckungen e_k und i_d nach derselben Seite hin eintragen, besser ist es jedoch, um die Übersicht nicht zu stören, dieselben zunächst wegzulassen (Fig. 117).

Wenn die Füllung veränderlich ist, zeichne man den Exzenterkreis zu dem vorliegenden Zweck zunächst nur für eine Füllung, etwa die größte, in das Exzenterlagenschema ein, und zwar bei dem in Nr. 5 befolgten Gang der Auftragung den größten Schieberkreis für die Deckelseite.

5. Für die Festlegung der gegenseitigen Exzenterlagen muß irgend eine Kurbelstellung gewählt werden; am geeignetsten hierfür

Wenn die Kurbel in der Deckeltotlage steht, muß der Auslaß auf der Kurbelseite um das lineare Auslaßvoröffnen geöffnet sein und bei einer gedachten Weiterdrehung der Kurbel weiter geöffnet werden. Man wird also bei gedrückter Auslaßexzenterstange, wie sie in Fig. 117 vorausgesetzt ist, den dem Steuerungsdiagramm Fig. 112 zu entnehmenden Voreilwinkel δ_{ak} der Kurbelseite von MA' aus im Sinne der Drehbewegung auftragen. Den Voreilwinkel δ_{ad} für den deckelseitigen Auslaß, dessen Steuerorgan sich bei der betrachteten Kurbelstellung in der Schlußlage bewegen muß, wird man von MA aus im Sinne der Drehbewegung abzutragen haben.

313. Die Beschriftung des Exzenterlagenschemas muß eine sehr ausführliche sein und alle der Auftragung zugrunde liegenden Voraussetzungen enthalten, insbesondere auch den Drehsinn der Maschine, Lage des Zylinders zur Steuerwelle, Drehsinn der Steuerwelle, daneben event. Grundrißskizze des Kegelradantriebes; besondere Aufmerksamkeit bei stehenden Maschinen mit Steuerwelle und mehrfacher Zahnrad- und Schraubenradübersetzung. (Exzenterlagenschema mit ausführlicher Beschriftung für veränderliche Füllung vgl. Fig. 120 S. 180.) Die Art der Maßeinschriften für die Winkel wird von den Montagemitteln abhängen, welche man für das Anreißen der Befestigungsteile (Keilnuten usw.) benutzt. Wenn eine Wasserwage mit Gradbogen benutzt wird (Art. 381 und 382), müssen die Winkel, welche die Exzenter für eine bestimmte Kurbelstellung (Deckeltotlage) mit der Wagrechten bilden, angegeben sein.

Wenn Exzenter zusammengegossen sind oder mit einer durchgehenden Keilnute auf der Welle befestigt werden sollen, muß der Winkel, welchen die Exzenterarme miteinander bilden, angegeben sein (vgl. Fig. 121 S. 181). Die Winkel werden auch in Konstruktionszeichnungen für die Exzenterlagen meist in Graden angegeben, zuweilen aber auch durch Dreiecke mit Seitenangaben festgelegt, selten durch die sonst im Maschinenbau für geneigte Linien übliche Angabe der Koordinaten zweier Punkte.

Ausgleich für veränderliche Füllung mit zwei Stell-
exzentern für den Einlaß, ein oder zwei Exzentern
für den Auslaß.

314. Die vorstehenden Betrachtungen, Entwicklungen und Darstellungen (Art. 295 bis 313) beziehen sich auf den Ausgleich von Steuerungen mit unveränderlicher Füllung. Schwieriger und nicht für alle Füllungen erreichbar ist der Ausgleich für Steuerungen mit

veränderlicher Füllung. Man wird sich im allgemeinen damit begnügen, für je zwei Füllungen durch passende (für beide Zylinderseiten verschiedene) Legung der Scheitellinie den Füllungsausgleich zu erstreben; dann wird für Füllungen, welche zwischen denselben liegen, die Abweichung nicht allzu groß werden.

Es wird unter Umständen möglich sein, durch verschiedene Formen der Scheitellinie oder durch verschiedenartige Übertragung der Stellbewegung des Regulators auf die beiden Stellexzenter noch für eine dritte Stellung des Regulators genauen Füllungsausgleich zu erzielen, doch wird die durch Erstrebung dieses Ziels bedingte größere Umständlichkeit beim Entwurf und in der Konstruktion wohl in keinem Verhältnis zu dem immerhin nur sehr bescheidenen Gewinn stehen.

315. Bei dem Entwurf des Steuerungsdiagramms mit Füllungsausgleich durch besondere Stellexzenter für die Kurbelseite und Deckelseite geht man zweckmäßig von dem vorläufigen Steuerungsdiagramm aus. Für die Bedingungen der Hauptaufgabe (Art. 23, 49, 284, 288, 289) findet man das korrigierte Diagramm folgendermaßen:

Im Normaldiagramm von 100 mm Durchmesser wird abgegriffen für eine Füllung von 0,175 bei einem Voreinstromungswinkel von 15° $h_u = 7,8$; $h_d = 6,6$; $h_k = 9,1$ mm. Die Exzentrizität für normale Füllung war bei $\lambda = 1/\infty$ gefunden = 40,3 mm (Fig. 109 S. 161). Für gleiche Öffnungsweiten würde sich also nach Art. 302 ergeben

$$r_d = \frac{7,8}{6,6} 40,3 = 47,5; \quad r_k = \frac{7,8}{9,1} 40,3 = 34,6,$$

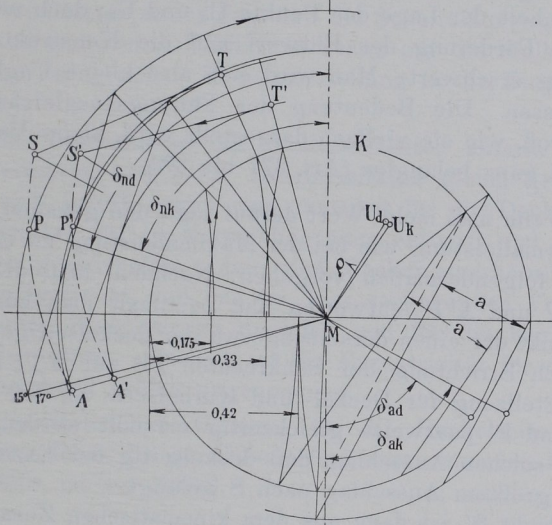
gewählt wird (entsprechend Art. 303 und 304) $r_d = 44$; $r_k = 38$. Als dann wird ein Unterschied im Füllungszuschlag $\Delta t = 0,015$ s eingeführt und das Diagramm in doppelter natürlicher Größe verzeichnet (Fig. 118 S. 177): Kreise mit r_d und r_k , Aufsuchung der Füllungswinkel für die Normalleistung. Wahl der Voreinstromungswinkel (wie im Diagramm mit $\lambda = 1/\infty$) für Deckel- und Kurbelseite gleich groß (15°), Ziehen der Deckungslinien für die Deckel- und Kurbelseite, Senkrechte dazu, Einschrift der Voreilwinkel δ_{nd} und δ_{nk} für normale Leistung. Schlagen der die Deckungslinien berührenden Deckungskreise (gültig bleibend für alle Füllungen).

316. Entscheidung darüber, für welche weitere Füllung Füllungsgleichheit gefordert wird.¹⁾

¹⁾ Man kann dabei etwa so vorgehen, daß man zunächst die Füllungswinkel für die Kurbel- und Deckelseite bei der zweiten Füllung, bei welcher Füllungsgleichheit erreicht werden soll, bestimmt, dann den Voreinstromungswinkel für

Hier möge Erreichung der absoluten Nullfüllung bei gleich großem Voreinströmungswinkel auf beiden Seiten (17°) gefordert werden. Mittelsenkrechte auf AP und $A'P'$, welche in U_d und U_k in den Kreis mit ρ einschneiden, der für Kurbelseite und Deckelseite so groß beibehalten werden möge, wie er im vorläufigen Diagramm Fig. 109 gefunden wurde; Bestimmung der Füllungswinkel für maximale Füllung, Lote in T und T' auf den Füllungsstrahlen zwecks Bestimmung der Scheitelkurvenlänge, reichend bis S und S' .

Fig. 118.



317. Es ergibt sich dabei ein verschiedener Ausschlag AU_dS und $A'U_kS'$. Es muß dafür gesorgt werden, daß die Übertragung der Regulatorstellbewegung auf die beiden Stellexzenter derartig

diese Füllung wählt, etwa nach dem vorläufigen Diagramm mit $R/L = 1/\infty$, und zwar vorbehaltlich nachträglicher Änderung für Kurbel- und Deckelseite gleich groß; dann den Winkel zwischen Füllungsstrahl und Voreinströmungsstrahl halbiert (für Kurbel- und Deckelseite besonders), die Deckungslinien senkrecht zu den Winkelhalbierenden als Tangenten an die bereits gefundenen Deckungskreise zieht und in den Schnittpunkten der Deckungslinien mit den Füllungsstrahlen die Endpunkte der Exzentrizitäten findet. Durch Schlagen der Exzenterkreise findet man dann in den Schnittpunkten derselben mit den erwähnten Winkelhalbierenden Punkte der Scheitelkurven. Bezüglich der verschiedenen Übertragung der Regulatorbewegung auf die beiden Stellexzenter gilt das gleiche, was im Art. 317 und 318 gesagt ist.

verschieden ist, daß von dem Stellexzenter der Deckelseite der Winkel $A U_d S$ um den Punkt U_d beschrieben wird, wenn von dem Stell-exzenter der Kurbelseite der Winkel $A' U_k S'$ beschrieben wird.

Wenn das erreicht wird, ist freilich noch nicht ohne weiteres der Bedingung genügt, daß auch die Punkte P und P' bei der gleichen Regulatorstellung von beiden Stellexzentern gleichzeitig eingenommen werden. Es wird zwar unter Umständen möglich sein, die Übertragungsgetriebe zwischen Regulator und Stellexzentern (das Stellzeug) so auszubilden, daß für drei Punktpaare das Zusammenfallen in der gewünschten Weise erreicht wird, z. B. durch erhebliche Verschiedenheit der Lage der Punkte U_d und U_k ; doch würde durch eine solche Forderung der Entwurf und die Konstruktion unverhältnismäßig erschwert. Man wird sich also kleine Ungleichheiten gefallen lassen. Die Bedeutung des Füllungsausgleichs ist auch nicht so groß, wie sie vielfach dargestellt wird, kleine Verschiedenheiten sind ganz belanglos (Art. 377 bis 379).

318. Wenn man mehr Wert darauf legt, den genauen Ausgleich bei der Normalleistung wie bei der Maximalleistung zu erhalten, so kann man folgendermaßen vorgehen: Nachdem man die Scheitelkurven AP und $A'P'$ entworfen hat, bestimmt man zunächst nur den Endpunkt der einen derselben, etwa der deckelseitigen Scheitelkurve, durch Errichtung der Senkrechten TS auf MT ; konstruiert dann das Stellzeug für Deckel- und Kurbelseite so, daß A und A' sowie P und P' paarweise gleichzeitig erreicht werden, und gibt ihm einen solchen Ausschlag, daß deckelseitig der Exzentermittelpunkt bei größtem Ausschlag nach S gelangt.

Der Punkt S' ist dann aus dem kinematischen Zusammenhang der beiden Stellzeuge zu finden und nicht durch $T'S'$. Es ist S' derjenige Punkt, auf welchen sich der Mittelpunkt des Exzenter auf der Kurbelseite einstellt, wenn derjenige der Deckelseite nach S gebracht wird.

319. Die Forderung, daß die Voreinströmungswinkel auf der Kurbelseite und Deckelseite paarweise gleich sein sollen, daß also z. B. in Fig. 118 die Öffnungssicheln für Normalleistung beide auf dem Voreinströmungsstrahl von 15° ansetzen sollen und die Scheitelkurven für Erreichung der absoluten Nullfüllung auf dem 17° -Strahl in die Deckungslinien einmünden sollen, ist keine absolut dringende. Kleine Verschiedenheiten der Voreinströmungswinkel auf beiden Seiten sind durchaus zulässig und unter Umständen zur Erreichung nicht zu ungleicher Stellzeuge auch zu empfehlen. Bei

der Anempfehlung gleicher Voreinströmungswinkel wurde (Art. 297 bis 301) nur betont, daß man sich nicht durch unberechtigte Forderung namhafter Ungleichheiten in einer für den Entwurf unvorteilhaften Weise binden soll.

Wenn aus irgendwelchen Gründen die Voreinströmungswinkel für die paarweise zusammengehörigen Füllungen etwas verschieden angenommen werden, wird doch anzustreben sein, daß die zusammengehörigen Füllungen bei der gleichen Regulatorstellung erreicht werden; das gilt besonders auch von der absoluten Nullfüllung (oder richtiger von der nur etwas größeren Leerlaufzufüllung). Man wird also die Verhältnisse so wählen, daß die Scheitelkurven, wenn auch bei etwas verschiedenem Winkel in bezug auf die Kolbenweglinie, so doch bei der gleichen Regulatorstellung in die Deckungskreise einmünden.

Für die Bestimmung der Auslaßexzenter könnte man nach Art. 306 verfahren und beide Exzentrizitäten gleich groß wählen. Es zeigt sich jedoch, wenn man zunächst für die Deckelseite den Auslaß nach Art. 281 im Normaldiagramm entwirft und dann durch Ziehen der gestrichelten Linie das Deckungsverhältnis i/r_a der Kurbelseite bestimmt, daß bei den hier vorliegenden Verhältnissen das Überlaufen doch gar zu ungleich und für die Kurbelseite zu klein werden würde. Deshalb ist die Exzentrizität für die Kurbelseite entsprechend größer angenommen.

Daß die Maßstabsbestimmung für die Deckelseite auf einen Exzenterkreis führt, der gerade mit dem angenommenen Kurbelkreis zusammenfällt, ist nur Zufall.

Exzenterlagenschema für zwei Stellexzenter und zwei Auslaßexzenter auf einer Steuerwelle.

320. Aufstellung des Schemas nach den in Art. 308 ÷ 313 aufgestellten Grundsätzen.

In Fig. 119 ist zunächst zur Feststellung der Ausgangsrichtungen für die Auftragung der Voreilwinkel das „Vorzeichenschema“ dargestellt. Die mittleren Exzenterstangenrichtungen sind durch langgestrichelte Linien dargestellt, die Normalen EME und AMA, von welchen aus die Auftragung der Voreilwinkel zu erfolgen hat, sind strichpunktiert.

Es werde für den Einlaß ein Zwischengetriebe nach Fig. 150 S. 230 angenommen, für den Auslaß ein Zwischengetriebe nach

Fig. 157 S. 242.¹⁾ Der Einlaß arbeitet dort mit gedrückter Stange, der Auslaß mit gezogener Stange (also umgekehrt wie in Fig. 117). Die Öffnungssichel für den Einlaß muß daher dem Getriebe zugewandt

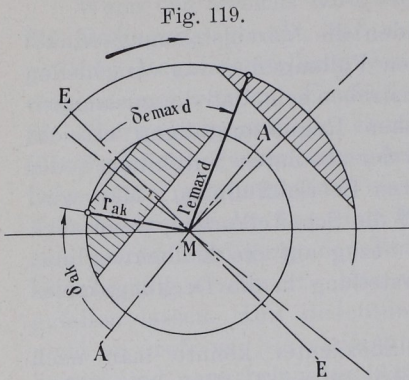


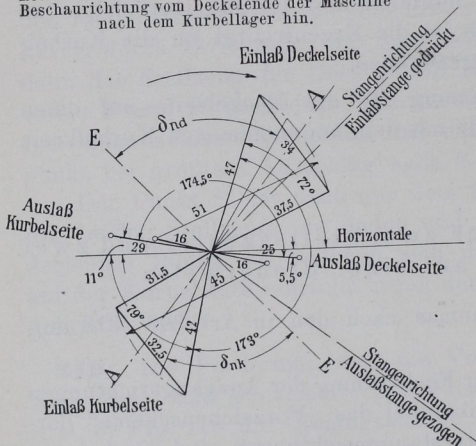
Fig. 119.

gezeichnet werden, die Öffnungssichel für den Auslaß von dem betreffenden Getriebe abgewandt sein (Fig. 119). Die Auftragung ist (wie in Art. 310 empfohlen) für die Kurbelstellung in der Deckelotlage ausgeführt, und zwar für das Einlaßexzenter der Deckelseite (größte Füllung) und das Auslaßexzenter der Kurbelseite, welche beide gerade die Totlagen voröffnung geben und bei weiterer Drehung der Steuerwelle in der

angegebenen Richtung die Kanäle weiter öffnen müssen. Daraus ergibt sich diejenige Richtung ME und MA, welche als Ausgangsrichtung für die Auftragung der Voreilwinkel zu benutzen ist.

Fig. 120.

Exzenterlagerschema für vorwärts laufende Rechtsmaschine, Kurbel in der Deckelotlage, Bescharrichtung vom Deckelende der Maschine nach dem Kurbellager hin.



Die entgegengesetzten Richtungen ME und MA sind dann für die Abtragung der Exzenter für den Einlaß auf der Kurbelseite und für den Auslaß auf der Deckelseite zu benutzen; die bezüglichen beiden Exzenter sind in Fig. 119 nicht mit eingezeichnet.

321. Nachdem so die Ausgangsrichtungen für die Abtragung der einzelnen Voreilwinkel festgelegt sind,

¹⁾ Es wird unten gezeigt werden, daß durch die für Ventilsteuerungen erforderlichen Zwischengetriebe zwar das Gesetz der Öffnungsbewegung völlig geändert wird, daß aber das Steuerungsdiagramm der Exzenter sowohl bezüglich der Voreilwinkel wie der Scheitelkurve, abgesehen von einer Maßstabsänderung (geometrisch ähnlichen Verkleinerung oder Vergrößerung), das gleiche bleibt wie bei der äquivalenten Schiebersteuerung (Art. 385—387).

kann die Auftragung des Exzenterlagenschemas, wie es für das Anreißen der Exzenter und Exzenterbefestigungen erforderlich ist und den Werkstattzeichnungen beizugeben ist, stattfinden. Fig. 120 zeigt das Schema für die in Fig. 118 dargestellten Steuerungsverhältnisse bei den angenommenen oder durch besondere Rücksichten bedingten Stangenrichtungen.

Die einzelnen Maße und Winkel sind durch sorgfältiges Abgreifen aus dem Steuerungsdiagramm zu finden (Art. 264).

322. Die für die Werkstatt in das Lagenschema einzutragenden Maße werden zum Teil nicht direkt aus dem Diagramm entnommen werden können, sondern sich durch die geometrische Konstruktion im Lagenschema ergeben, weshalb auch die Auftragung in hinreichend großem Maßstab erfolgen soll (hier ist der Maßstab aus Platzrück-sichten nur halb so groß gewählt wie derjenige der Fig. 118).

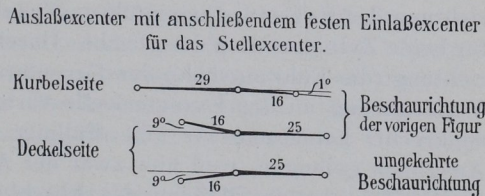
Die Voreilwinkel sind keine Werkstattmaße. Die Eintragung der Winkel δ_{nd} und δ_{nk} in das für die Werkstatt bestimmte Schema dürfte also fortfallen; die Winkel sind hier nur zur Erläuterung des Zusammenhanges mit Früherem eingeschrieben. δ_{nd} ist der Voreilwinkel für den deckelseitigen Einlaß bei der Normalleistung, δ_{nk} der entsprechende Voreilwinkel für den kurbelseitigen Einlaß.

Die Maßeinschriften sind für Montage der Exzenter mittelst einer an den Exzentern zu befestigenden Wasserwage (Art. 381 und 382) eingerichtet.¹⁾ Die Überschriften und Anschriften in Fig. 120 sind möglichst ausführlich gehalten und können als Muster für die notwendige Vollständigkeit in anderen Fällen dienen, für welche natürlich stets eine besondere Überlegung anzustellen ist, ob noch weitere Anschriften erforderlich sind und wie der Richtungssinn (das Vorzeichen) einzelner Größen sich ändert.

323. Das Exzenterlagenschema ist dann noch durch die Fig. 121 für den

Fall ergänzt, daß das Auslaßexzenter mit dem festen Exzenter für das Stellexzenter des Einlasses zusammengeworfen ist oder mit ihm gemeinsam aufgekeilt werden soll. Da die festen Einlaßexzenter

Fig. 121.



¹⁾ Die Einschrift der Winkel 173° und $174,5^\circ$ wäre dabei entbehrlich, ist aber zu empfehlen, weil diese Winkel allgemeinere Gültigkeit besitzen und auch bei einer anderen Stangenrichtung Gültigkeit behalten.

beide nach innen liegen und man (beim Vorreißen der Exzenter für die Bearbeitung) beide Exzenterpaare entweder vom Einlaßexzenter oder vom Auslaß aus beschauen wird, ist für die Winkelabtragung der Deckelseite noch die Lage bei umgekehrter Beschaurichtung angegeben.

Ausgleich der Füllung bei gemeinsamem Einlaßexzenter für beide Zylinderseiten.

324. Einfacher in der Konstruktion, aber nicht ganz so vollkommen und in dem gedanklichen Zusammenhang schwieriger zu übersehen ist der Ausgleich bei nur einem Einlaßexzenter und einem Auslaßexzenter für beide Zylinderseiten.

Es soll hier vor allem der Ausgleich für den Einlaß (der Füllungsausgleich) besprochen werden, bei welchem die Schwierigkeiten größer werden, wenn die Füllung veränderlich ist und für mehrere Füllungen ein möglichst vollkommener Ausgleich erstrebt wird. Der Ausgleich für den Auslaß kann entweder wegen Art. 380 unterbleiben oder nach denselben Grundsätzen durchgeführt werden, wie sie im nachfolgenden für den Einlaß bei unveränderter Füllung erörtert sind.

325. Die hier zu besprechende Form des Füllungsausgleichs kommt besonders für Ventilsteuerungen ohne Steuerwelle in Frage, deren Einlaßexzenter von einem unmittelbar auf der Hauptwelle sitzenden Flachregler verstellt wird; ferner bei zwangläufigen Corlißsteuerungen. Aber auch für Ventilsteuerungen mit Steuerwelle und Flachregler wird zuweilen der Ausgleich mit nur einem Einlaßexzenter ausgeführt (Art. 371).

326. Da das Exzenter für die Kurbelseite und Deckelseite gemeinsam sein soll, ist die Exzentrizität und bei zentraler Schubrichtung des Exzenterstangenführungspunktes auch der Voreilwinkel für beide Zylinderseiten der gleiche. Durch Schräkung der Schubrichtung (die Führungsbahn des Exzenterstangenendes geht in ihrer Verlängerung an der Exzenterwelle vorbei, steht zu ihr geschränkt senkrecht) kann man für eine Füllung zu einem vollkommeneren Ausgleich gelangen, weil hier zwar der Aufkeilungswinkel auch der gleiche ist, aber im Moment des Abschlusses und der Öffnung für beide Zylinderseiten verschiedene Diagrammvoreilwinkel zur Wirkung kommen. Zunächst möge der Ausgleich bei zentraler Schubrichtung des Exzenterstangenführungspunktes und langer Exzenterstange besprochen werden. Da Exzentrizität und Voreilwinkel gleich sind, kann der Ausgleich nur durch verschieden große Überdeckung erreicht werden.