

Das Verhältnis f/F wird bei Ventilkolben mit gedrängter Ventilordnung gleich $1/_{3,2}$ bis $1/_{3,8}$ gefunden. Man erhält also mit Gleichung 5 S. 329 die zulässige Kolbengeschwindigkeit, wenn man die danach berechneten Werte von $\mu \cdot v_m$ oder die Werte der Tabelle auf S. 329 durch $3,2 \div 3,8$ dividiert. Mit 3,4 ergibt sich:

für die Zweiventilluftpumpe mit 0,25 Füllung . . . $c = 0,442 \sim 0,45$,
 für die Dreiventilluftpumpe $1\frac{1}{2}$ mal so viel . . . $c = 0,66$.

Für Luftpumpen von Oberflächenkondensatoren mit Dreiklappenanordnung und $\mu \cdot v_m = 1,5 \cdot 4,65$ wird die größte zulässige mittlere Kolbengeschwindigkeit $c = 2,05$, und wenn man die Kolben solcher Pumpen weniger eng mit Ventilen besetzt, weil hier die Schwierigkeiten in der Unterbringung geringer sind, so erhält man mit $f/F = 1/4$. . . $c = 1,74$.

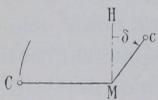
Das stimmt wieder gut mit den im Schiffsmaschinenbau empfohlenen Werten, indem Bauer setzt:
 für Handelsschiffe . . . $c = 1 \div 1,8$,
 für Kriegsschiffe . . . $c = 1,5 \div 2,7$

Anhang VII.

Das Sehnenlotdiagramm.

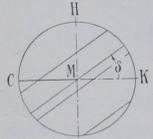
1. Der Voreilwinkel δ , welcher im Getriebe bei axialer Lage des Steuerungsgetriebes die in Fig. 226 angegebene Lage hat, ist bekanntlich im Reuleaux-Diagramm Fig. 227 bei der üblichen

Fig. 226.



Darstellungsweise der Winkel, welchen die Deckungslinien oder eine zu ihnen durch die Diagrammitte gezogene Parallele mit der Kolbenweglinie entgegen dem Drehsinne der Maschine bildet. Die wirkliche Lage (Getriebe Lage) des Exzenters und die Diagrammlage sind also symmetrisch zu der Halbierungslinie des Winkels HMK oder bei axialer Anordnung des Steuerungsgetriebes symmetrisch zu einer im Winkel von 45° zur Kolbenweglinie durch die Diagrammitte gezogenen Linie.

Fig. 227.



2. Diese Symmetrieregeln gilt auch für veränderliche Exzenterstellung und Exzentergrößen und es ist zweckmäßig, sie gerade für die Scheitelkurvenlagen im Diagramm und im Getriebe zu merken, um leicht von der einen Lage zur anderen übergehen zu können.

(Leist gibt in seinem Werke „Die Steuerungen der Dampfmaschinen“, 2. Aufl. S. 708 bis 711, eine andere Merkregel mit gedreht gedachter Kurbel für den Übergang von der Getriebelage zur Diagrammlage und umgekehrt.) In Fig. 228 ist die Getriebelage und Diagrammlage zur Verdeutlichung des Symmetriegesetzes in ein Diagramm zusammengetragen. Bei kreisförmiger Scheitelkurve liegen natürlich auch die Mittelpunkte O und O' der beiden Darstellungen der Scheitelkurve symmetrisch zur 45° -Linie. OO' ist die Symmetriesenkrechte der beiden Mittelpunkte.

Fig. 228.

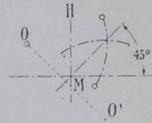


Fig. 229.

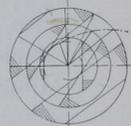


Fig. 230.

Die Exzenter- und Scheitelkurven in ihrer wirklichen Lage (Getriebelage) sind zum Unterschied von der Diagrammlage hier und in den nachfolgenden Entwicklungen stets durch kleine Endkreise gekennzeichnet.

Fig. 229 zeigt das Reuleaux-Diagramm in der üblichen Darstellungsform (die als Sehnenparallel-darstellung bezeichnet werden möge) für eine Reguliersteuerung mit Stellexzenter und Flachregler und gemeinsamem Exzenter für Einlaß und Auslaß. Die Sehnen, welche die Deckungslinien darstellen, sind den nach den einzelnen Punkten der Scheitelkurve in ihrer Diagrammlage gezogenen Exzenterstrahlen parallel.

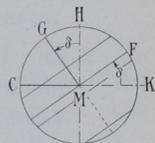


Fig. 231.

3. Errichtet man auf MF (Fig. 230) ein Lot MG , so erscheint der Voreilwinkel auf der linken Seite der Kurbelsenkrechten; denn der Winkel HMF wird sowohl durch den Winkel FMK wie durch den Winkel HMG zu einem Rechten ergänzt. Man kann dann noch die Linie MF und ihre rückwärtige Verlängerung fortlassen und kommt damit (Fig. 231) auf eine Darstellungsform, die als Sehnenlotdarstellung des Reuleauxschen Steuerungsdiagramms oder kürzer als Sehnenlotdiagramm oder noch kürzer als **SL**-Diagramm bezeichnet werde.

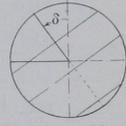
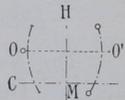


Fig. 232.



Der Unterschied gegenüber der Sehnenparalleldarstellung Fig. 227 scheint zunächst nur nebensächlich. Die Vorzüge des Sehnenlotdiagramms treten aber sofort hervor für Steuerungen mit veränderlicher Füllung, insbesondere für Stellexzentersteuerungen und Kulissensteuerungen. Die Kurbelsenkrechte wird zur Symmetrielinie für den Übergang von der Diagrammlage zur Getriebelage und umgekehrt. Beide Lagen einer Scheitelkurve sind in Fig. 232 symmetrisch zu MH liegend dargestellt.

4. Ich habe, nachdem in der ganzen Literatur die Sehnenparallel-darstellung im Reuleaux-Diagramm üblich war (Leist, Dubbel, Hütte), meines Wissens erstmalig darauf hingewiesen (in einer hauptsächlich für meinen Unterricht bestimmten Druckschrift „Flachregler“ 1905 S. 41 und 61, welche in einigen hundert Exemplaren verbreitet ist), daß das Sehnenlotdiagramm für Steuerungen mit veränderlichem Exzenter erhebliche Vorteile hat. Seitdem ist die von mir empfohlene Darstellungsform auch anderweitig schon vereinzelt benutzt.

Die Vorzüge gegenüber der Sehnenparalleldarstellung sind folgende:

1. Die Scheitellinien liegen genau so wie im Zeuner-Diagramm; dadurch wird sowohl der Übergang von dem einen zum andern Diagramm erleichtert, als auch eine bessere Übersicht über die Eigenschaften der einzelnen Scheitelkurven und ihrer Wirkung auf die Dampfverteilung infolge einheitlicher Gewöhnung gewonnen.
2. Die Darstellung hat mit dem Zeuner-Diagramm den Vorzug eines einfacheren Überganges aus dem Diagramm zur wirklichen Lage: die Symmetrielinie steht senkrecht, während sie bei der Sehnenparalleldarstellung um 45° geneigt ist.
3. Die Aufsuchung des zu einer Füllung gehörigen Scheitelkurvenpunktes ist einfacher (vgl. Art. 14).
4. Die Zusammengehörigkeit der einzelnen Sehnen und Exzenter ist bei veränderlichem Exzenterarm unmittelbar erkennbar und kann durch eine Marke an der Schnittstelle noch hervor-gehoben werden.

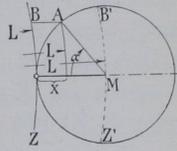
Die Verzeichnung der zu einem bestimmten Exzenterarm gehörigen Deckungslinie ist nicht umständlicher wie in der Sehnenparalleldarstellung. Man muß nur das Zeichendreieck, nachdem man es mit einer rechtwinkligen Seite an den Exzenterarm im Diagramm angelegt hat, mit der schrägen Seite am Führungslinial verschieben, bis die andere rechtwinklige Seite den Deckungskreis berührt.

5. Die Anwendung des Sehnenlotdiagramms soll in nachstehendem für verschiedene Steuerungsarten erläutert werden. Zuvor soll das Diagramm jedoch noch einmal von Grund auf, ausgehend von möglichst allgemeinen Annahmen (geneigtes Steuerungsgetriebe, kurze Exzenterstange), ohne Bezugnahme auf die übliche Sehnenparalleldarstellung entwickelt werden.

Den zu einem beliebigen Kurbelwinkel gehörigen Kolbenweg x findet man entweder durch die bekannte Bogenprojektion Fig. 233, oder auch durch Herübermessen von dem Kurbelpunkte A aus nach dem „Bezugsbogen“ BZ parallel zur Kolbenweglinie.

Das zweite ebenfalls oft angewandte Verfahren, für welches der Bogenschlag nur einmal (oder, wenn man die Kolbenwege von beiden Totlagen aus messen will, nur zweimal) auszuführen ist, eignet sich offenbar nicht für die umgekehrte Aufgabe, den zu einem Kolbenweg gehörigen Winkel aufzusuchen. Es ist üblich, aber nicht gerade notwendig, die Kolbenwege von den Totlagen aus zu messen und daher die Bezugsbogen als „Endbezugsbögen“ zu verzeichnen. Ein Fall, in welchem die Kolbenwege bequemer von der Mittelstellung aus gemessen werden und daher ein einziger durch die Mitte gelegter Bezugsbogen genügt, wurde in Art. 115 Fig. 63 behandelt.

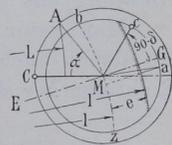
Fig. 233.



6. Auch das Getriebe für den Schieber ist in der Regel ein einfaches Kurbelgetriebe. Es können also die Schieberwege in gleicher Weise gemessen werden wie die Kolbenwege. Da jedoch hier fast nur die Aufgabe vorkommt, zu einem gegebenen Winkel den Schieberweg zu finden, scheidet das für diesen besonderen Zweck nicht so bequeme Verfahren mit der Bogenprojektion aus und es kommt nur das Bezugsbogenverfahren in Betracht.

Schieberwege werden im Gegensatz zu Kolbenwegen niemals von den Endstellungen gemessen, sondern entweder von der Mittelstellung der betrachteten abschneidenden Kante aus, oder von der abschneidenden Gegenkante im Schieber Spiegel aus. Die Benutzung des letzteren Ausgangspunktes liefern unmittelbar die Kanalöffnungen und ist daher am gebräuchlichsten.

Fig. 234.



In Fig. 234 ist für ein Steuerungsgetriebe mit kurzer Exzenterstange, geneigter, aber zentraler Schubrichtung ME (welche gleichzeitig die mittlere Exzenterstangenrichtung ist) zunächst der durch die Mitte des Exzenterkreises gelegte Steuerungsbezugsbogen bz gelegt. Der Mittelpunkt dieses mit der Exzenterstangenlänge geschlagenen Bogens liegt auf der Schubrichtung ME . Der Kurbelkreis und demgemäß auch die Pleuelstangenlänge L ist aus Platzrücksichten in erheblich kleinerem Maßstab dargestellt wie der

Exzenterkreis.¹⁾ Gegen den Bezugsbogen bz um die Überdeckung e verschoben ist dann ein zweiter Bezugsbogen gezeichnet (der in der Figur durch Anschraffierung kenntlich gemacht ist). Man findet die Entfernung der betrachteten Schieberkante von ihrer Mittellage, wenn das Exzenter die Stellung Ma einnimmt, indem man von a nach bz parallel der Richtung ME herüber mißt. Die Kanalöffnung findet man, indem man von der so gefundenen Länge den Abstand der Gegenkante von der Mittellage der Schieberkante, d. h. die Überdeckung e in Abzug bringt, oder einfacher, indem man unmittelbar nach dem um e verschobenen Bezugsbogen herüber mißt. Die Deckungslinie ist also aufzufassen als ein Bezugsbogen im Exzentergetriebe, ganz wie der Bezugsbogen BZ oder $B'Z'$ für das Kurbelgetriebe in Fig. 233.

7. Ist Mc diejenige Stellung, welche das mit der Kurbel fest verbundene zu denkende Exzenter einnimmt, wenn die Kurbel sich in der Totlage befindet, so hat das Exzenter, wenn die Kurbel den dem Kolbenweg x zugehörigen Winkel CMA zurückgelegt hat, einen gleich großen Winkel von Mc aus zurückgelegt. Man muß also, um die dem Kolbenweg x zugehörige Schieberöffnung zu finden, den Winkel CMA von Mc aus abtragen; Ma möge die durch die Abtragung gefundene Exzenterstellung sein.

Wenn für mehrere Kolben- und Kurbelstellungen die zugehörigen Exzenterstellungen und Schieberöffnungen gefunden werden sollen, wird einmal die Abtragung umständlich, dann aber auch das Bild unübersichtlich und die Zusammengehörigkeit der einzelnen Kurbel- und Exzenterstellungen schwer erkennbar. Man denke sich daher die beiden Richtungen MC und Mc , von welchen aus immer die paarweise gleichen Winkel abzutragen sind, zusammengelegt. An der für die Zusammenlegung erforderlichen Drehung lasse man alle Linien und Punkte teilnehmen, auf die man sich von der gedrehten Richtung aus bezieht.

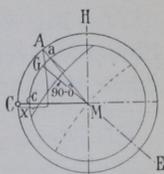
Man kann entweder die Richtung MC mit allen Bezugslinien (zu denen auch das Dampfdiagramm gezählt werden kann) in die Richtung Mc drehen (Müller-Diagramm), oder die Richtung Mc in

¹⁾ Meist wird bekanntlich der Maßstab so verschieden gewählt, daß der Kurbelkreis und der Exzenterkreis zusammenfallen. Davon soll hier der deutlichen Unterscheidung wegen zunächst abgesehen werden, zumal auch die Zusammenlegung nur für Steuerungen mit festem Exzenter Bedeutung hat, und hier das Reuleaux-Diagramm gerade in seiner Verwendbarkeit für Steuerungen mit Stellexzentern oder mit Kulissen erläutert werden soll.

entgegengesetztem Sinne mit der Öffnungssichel in die Richtung M C (Reuleaux-Diagramm). Diese Drehung ist in Fig. 235 vorgenommen. Die mitgedrehten Punkte sind durch gleiche Buchstabenbezeichnung wie in Fig. 234 kenntlich gemacht.

8. In Art. 264 ist der Voreilwinkel allgemein als derjenige Winkel definiert, welchen das Exzenter mit der Senkrechten zur mittleren Exzenterstangenrichtung bildet, während sich die Kurbel in der Totlage befindet. Der Winkel, welchen das Exzenter mit der mittleren Exzenterstangenrichtung selbst bildet, ist also der Komplementwinkel zu dem Voreilwinkel δ . In Fig. 234 ist also $cMG = 90^\circ - \delta$. Dieser Winkel tritt mit der gleichen Buchstabenbezeichnung auch in dem gedrehten Diagramm Fig. 235 wieder auf. Zieht man noch die Senkrechte MH zur Kolbenweglinie, so ist Winkel $HMG = 90^\circ - cMG = 90^\circ - (90^\circ - \delta) = \delta$. Man sieht, der Voreilwinkel liegt im Diagramm genau so wie der Voreilwinkel im Zeuner-Diagramm.

Fig. 235.



9. Bei der Drehung des auf das Exzentergetriebe bezüglichen Teils des Diagramms in die Lage der Fig. 235 ist der Neigungswinkel des Steuerungsgetriebes gegen die Maschinenrichtung ganz herausgefallen; daraus folgt, daß das Diagramm Fig. 235 ganz allgemeine Bedeutung hat und, wenn das Diagramm beim Entwurf zuerst gefunden ist, wie das fast immer der Fall ist, für jede beliebige Schubrichtung verwertet werden kann (Art. 263 und 283, Übergang rückwärts zu der Lage der Fig. 234, Bildung des Exzenterlagenschemas).

Für axialen (nicht geneigten) Steuerungsantrieb liegt der Voreilwinkel im Diagramm zu dem im Getriebe (im Lagenschema) symmetrisch über MH als Symmetrielinie.

10. Für den häufigsten Fall einer verhältnismäßig langen Exzenterstange geht die Deckungslinie (der Bezugsbogen) praktisch in eine Gerade über.¹⁾ Der Fall ist in Fig. 236 für die wahre Getriebelage bei geneigter Schubrichtung des Steuerungsgetriebes dargestellt. Die Linie bz ist fortgelassen, da sie bei Verzeichnung der Deckungslinie gar keine Bedeutung mehr hat, indem die Überdeckung e direkt auf der Linie MG gemessen werden kann. In Fig. 237 ist

Fig. 236.

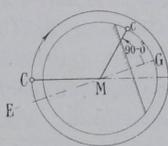
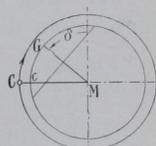


Fig. 237.

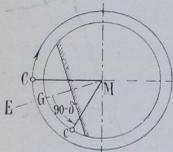


¹⁾ Die Berücksichtigung der endlichen Pleuelstangen wird durch diese Annahme nicht berührt und kann nach wie vor durch Bogenprojektion oder Bezugsbogen erfolgen.

dann das Diagramm mit dem gedrehten Exzentergetriebe dargestellt. Mc fällt wieder in die Richtung von MC und die Übertragung der Winkel wird dadurch unnötig.

11. Fig. 238 zeigt für geneigte Schubrichtung und die gleichen Steuerungsverhältnisse wie in Fig. 236 die wahre Getriebeelage für innen abschneidende Steuerkanten. cMG ist wieder der allgemeinen Definition des Voreilwinkels entsprechend der Komplementwinkel zu δ , also $= 90 - \delta$.

Fig. 238.



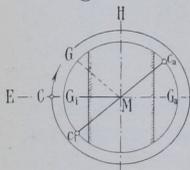
Bringt man jetzt wieder durch gedachte Drehung des ganzen Steuerungsgetriebes Mc mit MC zur Deckung, so kommt man wieder auf das gleiche Diagramm Fig. 237, wie bei Annahme außen abschneidender Kanten. Das Diagramm Fig. 237 hat also eine noch allgemeinere Bedeutung. Es gestattet, nachdem es zuerst entworfen ist, den Übergang nicht nur zu jeder aus konstruktiven Rücksichten gewählten Steuerungsschubrichtung, sondern läßt auch noch freie Verfügung über die Abschlußrichtung (innen oder außen abschneidende Steuerkanten).

Für kurze Exzenterstangen ergibt sich jedoch bei Berücksichtigung der endlichen Exzenterstangenlänge für innen abschneidende Kanten eine umgekehrt gekrümmte Deckungslinie in der Darstellungsform des Diagramms Fig. 235 (vgl. auch Fig. 122 S. 183), wie man leicht erkennt, wenn man sich in Fig. 238 statt der geraden Deckungslinie die gekrümmte mit Mittelpunkt auf ME eingezeichnet denkt und dann die Drehung im Sinne der Kurbeldrehung vornimmt, bis c nach C gelangt.

Die kurze Exzenterstange ohne Schränkung kommt ja aber selten vor und ist für Schränkung in Art. 336 bis 376 auf den Fall der unendlichen Exzenterstangenlänge zurückgeführt.

12. Für axiale Anordnung des Steuerungsgetriebes, d. h. wenn die Richtung ME mit der Richtung MC zusammenfällt, bildet der Exzenterarm in der Getriebeelage mit der Kurbelsenkrechten MH einen Winkel gleich dem Voreilwinkel. Für den Übergang von der Getriebeelage des Exzenters zur Diagrammlage wird für außen abschneidende Einlaßkanten (Fig. 239 rechts) MH zur Symmetrielinie. G ist über MH das Spiegelbild von c_a .

Fig. 239.



Für innen abschneidende Einlaßkanten (Fig. 239 links) wird, wie ohne weiteres aus dem Voraufgehenden hervorgeht, MC

zur Symmetrielinie beim Übergang von der Getriebe-
lage zur Diagrammlage oder bei dem umgekehrten Übergang von der beim
Entwurf einer Steuerung zuerst gefundenen Diagrammlage zur Ge-
triebelage. G ist über MC auch das Spiegelbild von c_1 .

Man merke diese beiden Symmetrieregeln besonders für den
Entwurf von Doppelschiebersteuerungen, bei welchen man ohne
dieselben leicht irrt, wenn der eine Schieber mit innen abschneidenden
Kanten, der andere mit außen abschneidenden Kanten steuert.

Was hier und in dem Voraufgegangenen als Getriebe-
lage bezeichnet ist, ist gleichbedeutend mit der Exzenterlage im Lagen-
schema Art. 263 und 283.

13. Wenn das Exzenter mit dem Mittelpunkt auf irgend einer
Scheitelkurve gegen das System der Kurbel und der Welle beweglich
ist, muß man sich für jede relative Exzenterstellung¹⁾ die Hinein-
drehung des Exzenters aus seiner Grundstellung (d. h. aus derjenigen
wirklichen Stellung, welche es einnimmt, wenn die Kurbel sich in
ihrer Totlage befindet) in die Kurbeltotlage vorgenommen denken.
Der Fall werde unter Voraussetzung axialer Lage des Steuerungs-
getriebes (vgl. den vorigen Artikel) besprochen, obgleich die Behand-
lung mit den bisherigen allgemeinen Voraus-
setzungen auch keinerlei Schwierigkeiten
macht.

Fig. 240 zeigt die beiden Getriebe wieder
zunächst in ihrer wirklichen gegenseitigen
Lage. Um zu der Diagrammlage überzugehen,
hat man sich sämtliche Exzenter nacheinander
mit den zugehörigen Öffnungssicheln in die
Lage MC gedreht zu denken. Da der Winkel
der Drehung für jeden Exzenterarm ein
anderer ist, wird auch die Deckungslinie im
Steuerungsdiagramm für jeden Exzenterarm
eine andere Richtung erhalten, alle Deckungs-
linien aber werden einen mit der Überdeckung e
um M geschlagenen Kreis berühren.

In Fig. 241 ist die Hineindrehung der
Exzenterarme in die Kurbeltotlage nur für
zwei Arme, Mc_1 und Mc_2 , ausgeführt. Man übersieht aber sofort,
daß die neu entstehende Scheitelkurve einfach das Spiegelbild der
ursprünglichen Scheitellinie mit MH als Symmetrielinie ist; wieder

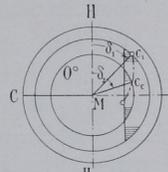


Fig. 240.

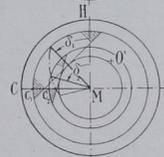


Fig. 241.

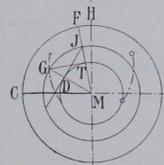


Fig. 242.

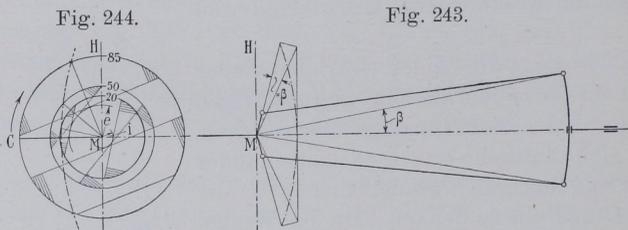
¹⁾ Nämlich relativ zur Kurbel.

ganz wie beim Zeuner-Diagramm; denn die Voreilwinkel, welche bei axialer Schubrichtung von MH aus im Drehsinne der Maschine zu messen sind, erscheinen im Diagramm nach Art. 12 auf der anderen Seite dieser Mittellinie entgegengesetzt liegend.

14. Den zu einem gegebenen Füllungswinkel gehörigen Punkt der Scheitelkurve und damit die zugehörige Exzentrizität und Voreilung findet man nach dem häufig in diesem Werk angewandten Verfahren (Art. 269, 272, 277, 290, 316, 368): Man errichtet auf dem betreffenden Füllungsstrahl MF im Schnittpunkt T mit dem Deckungskreis ein Lot (Fig. 242). Der Beweis ergibt sich mit Hilfe der Kongruenz der Dreiecke MJD und MGT.

15. Die Anwendung des Sehnenlotdiagramms auf einfach abschließende Stellenzentersteuerungen ist in dieser Anleitung häufig genug behandelt. Es sollen daher noch einige andere Steuerungen durch dasselbe zur Darstellung gebracht werden. Zunächst eine Stephenson-Kulissensteuerung mit offenen Stangen.

In Fig. 243 ist zunächst zur Feststellung des Schränkungswinkels β für den Antrieb der Kulissenendpunkte bei mittlerer Kulissenstellung das Getriebeschema aufgezeichnet; dann ist in größerem Maßstabe



die Scheitelkurve in der Getriebelege in bekannter Weise nach Festlegung der drei Hauptpunkte als Kreisbogen oder als Parabel verzeichnet. In Fig. 244 ist dann die Scheitelkurve in der Diagramm-lage symmetrisch über MH zur Getriebelege herausgezeichnet; bisher alles ganz wie für das Zeuner-Diagramm.

Für 85%, 50% und 20% Füllung sind dann die Sehnenlotdiagramme (unter Beiseitelassung der Öffnungs- und Abschlußstrahlen) verzeichnet.¹⁾ Die Aufsuchung der zugehörigen Scheitelkurvenpunkte

¹⁾ Nebenbei sei darauf hingewiesen, daß für die größte Füllung bei der gewählten Überdeckungsgröße das Voreinströmen negativ, also ein Nacheinströmen ist. Das ist bei offenen Stangen mit Rücksicht auf die normalen und kleinen Füllungen nicht zu umgehen (weil diese sonst bei kleinerer Überdeckung zu

wird nach Art. 14 ausgeführt. Die Enden der Scheitelkurve sind als nicht benutzbar wegen Voraussetzung einer nicht bis zu den Exzenterangriffspunkten auslegbaren Kulisse angenommen.

Die rückwärtigen Verlängerungen der Exzentrizitäten nach der Auslaßseite sind nicht gezogen. Wenn man glaubt, dadurch die Übersicht zu verbessern, mag man sie (in anderer Darstellung wie den positiven Richtungen, etwa gestrichelt) ausziehen; erforderlich sind sie für die Verzeichnung der Auslaßdeckungslinien nicht, wenn man das Zeichendreieck so anlegt, wie das in Art. 4 Schluß angegeben ist.

Das Sehnenlotdiagramm ist hiernach auch für die Behandlung von Kulissensteuerungen, für welche das Zeuner-Diagramm ziemlich allgemein als das geeignetste angesehen wird, sehr brauchbar und übersichtlich und steht dem Zeuner-Diagramm in keiner Weise nach.

16. Für Doppelschiebersteuerungen gewährt das Sehnenlotdiagramm ebenfalls eine bessere Übersicht wie das Sehnenparallel-diagramm, besonders wenn die Füllungsverstellung mittels Flachregler und Stellexzenter erfolgt. Bei Füllungsverstellung durch Veränderung der Überdeckung (Rider, Meyer usw.) erweist es sich nicht in dem Maße überlegen, doch wird man es auch hierfür, der einheitlichen Gewöhnung wegen, einführen.

In Fig. 245 bis 249 sind zunächst für den einfacheren Fall des Zweikammersystems, bei welchem Relativexzenter nicht vorkommen, die zusammengehörigen Getriebe- und Diagrammlagen der Exzenter aufgetragen. Das Grundexzenter ist mit r , seine Diagrammlage mit r' , das Expansionsexzenter mit r_e bzw. r_e' bezeichnet; außerdem sind die wirklichen (die Getriebe-) Lagen wieder durch Einkreisungen der Enden kenntlich gemacht.

großes Voreinströmen erhalten würden) und auch für einstufige Lokomotivmaschinen (Zwillingsmaschinen) ohne Nachteil, da die ganz großen Füllungen nur für die ersten Anfahrumdrehungen benutzt werden, für welche ein Voreinströmen wegen der geringen Geschwindigkeit nicht erforderlich ist. Ja, es wird bei ungünstigen Anfahrstellungen durch das fehlende Voreinströmen das Anfahren noch erleichtert, weil die Kurbel mit dem ungünstigen Hebelarm von den Totpunktdampfdrücken befreit ist.

Schon bei 50 % Füllung ist die Voreinströmung durchaus befriedigend; das ist wohl die größte Füllung, die beim weiteren Anfahren und auf Bergfahrten vorkommt.

Für Verbundmaschinen hätte man, da größere Füllungen auch bei höheren Geschwindigkeiten vorkommen und kleine Füllungen selten sind, die Überdeckung anders wählen müssen.

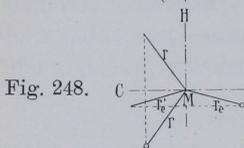
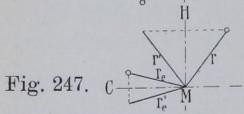
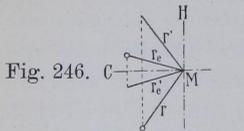
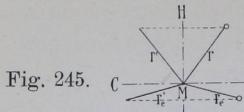


Fig. 245: Grundschieber und Expansionschieber, beide außen abschneidend, Symmetrielinie (Spiegellinie) für den Übergang von der Getriebebelage zur Diagrammlage und umgekehrt MH (vgl. Art. 12).

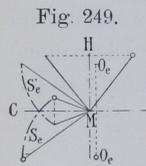
Fig. 246: Grundschieber und Expansionschieber, innen abschneidend, Symmetrielinie MC.

Fig. 247: Grundschieber außen abschneidend, Expansionschieber innen abschneidend, Symmetrielinie für das Grundexzenter MH, für das Expansionsexzenter MC.

Fig. 248: Grundschieber innen abschneidend, Expansionschieber außen abschneidend, Symmetrielinie für den Grundschieber MC, für den Expansionschieber MH.

Die Füllungsverstellung kann man sich in den vorstehenden vier Fällen ähnlich wie bei einer Rider-Steuerung bewirkt denken, gemäß Führer Fig. 1102 und 1104 auf S. 1112 und 1113.

17. Fig. 249 zeigt die Diagrammlage und die Getriebebelage für eine Zweikammerdoppelschiebersteuerung mit Füllungsverstellung mittels Stellexzenter und Flachregler. In der Wahl der Scheitelkurve ist man bei diesen Steuerungen viel freier wie bei den einfach abschließenden (Art. 268 bis 276), weil die Voreinströmung unveränderlich durch den Grundschieber bestimmt ist und die Eröffnung des Expansionschiebers bei jeder beliebigen vor der Eröffnung des Grundschiebers liegenden Kurbelstellung erfolgen darf. Wenn man absolute Nullfüllung erreichen will, wird man die Scheitelkurve in den Deckungskreis des Expansionschiebers etwas vor der Grundschieber-voreinströmungskurbelstellung einmünden lassen.



S_e' ist die Diagrammlage der Scheitelkurve des Expansionschiebers, S_e die Getriebebelage derselben für innen abschneidenden Expansionschieber, symmetrisch über MC zu S_e' liegend. Bei kreisförmiger Scheitellinie liegen natürlich auch die Mittelpunkte O_e und O_e' der Kreisbogen symmetrisch über MC. Bei außen abschneidendem Expansionschieber würde die Getriebebelage der Scheitelkurve symmetrisch über MH zur Diagrammlage sein. Für den Grundschieber sind in Fig. 249 außen abschneidende Einlaßkanten vorausgesetzt.

18. Bei dem Zweikammersystem ist es für die Abschlußgeschwindigkeit gleichgültig, ob man Grundschieber und Expansionsschieber in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne abschneiden läßt, ob man z. B. bei außen abschneidendem Expansionsschieber auch den Grundschieber außen abschneiden läßt oder ob man ihm innere Einströmung gibt. Die Wahl der Abschlußrichtung wird hier nach anderen Rücksichten (Schieberlänge, Kanallänge, Stopfbuchsichtung) zu treffen sein; anders, wie sich noch zeigen wird, bei dem Einkammersystem, bei welchem die entgegengesetzte Abschlußrichtung beider Schieber oft erhebliche Vorteile hinsichtlich der Abschlußgeschwindigkeit bietet.

19. In Fig. 250 ist für eine Doppelschiebersteuerung nach dem Einkammersystem mit außen abschneidenden Einlaßkanten an beiden Schiebern die Getriebebelage und die Diagrammlage im Sehnlotdiagramm für alle drei Exzenter dargestellt. Das Relativexzenter ist mit r_r bezeichnet, der zugehörige Voreilwinkel mit δ_r , die Diagrammlagen sind durch einen ' gekennzeichnet. MH ist für alle drei Exzenter Symmetrielinie. Die Parallelogrammkonstruktion kann sowohl in der Getriebebelage wie in der Diagrammlage erfolgen.

In Fig. 251 ist, um die Figur klarzuhalten, nur das Grundexzenter und das Relativexzenter (beide in der Diagrammlage) übertragen. Bei Veränderung der Überdeckung zwecks Füllungsverstellung kommt man auf stark negative Überdeckungen bei großen Füllungen. Die Deckungslinien T_0, T_1, T_2, T_3 stehen senkrecht auf der Diagrammlage r_r' des Relativexzenter. Man sieht, daß bei den in Fig. 250 und 251 gewählten Verhältnissen der Abschluß für große Füllungen sehr ungünstig und schleichend ist, und daß ferner die Erreichung der absoluten Nullfüllung (Überdeckung = + r_r') eine außerordentlich große Verstellung erfordert. Die gewöhnliche Nullfüllung wird mit der Deckungslinie T_0 und der Überdeckung e_{r_0} erreicht; von da ab ist bis zur Erreichung der absoluten Nullfüllung noch eine Verstellung von $r_r' - e_{r_0}$ erforderlich. Die für Erreichung der absoluten Nullfüllung erforderliche große Verstellung führt zu so großen Schieberlängen und so großen Ansprüchen an das Arbeitsvermögen des Regulators, daß man bei dieser Anordnung (gleichzeitig abschneidende Kanten) auf die Erreichung der absoluten Nullfüllung (Deckungslinie T_{00}) verzichten und sich mit der Erreichung der einfachen Nullfüllung begnügen muß.

Fig. 250.

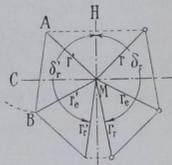
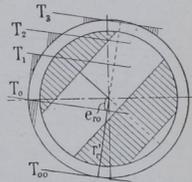


Fig. 251.



Die Abschlußverhältnisse für große Füllungen lassen sich verbessern, wenn man den Voreilwinkel δ_r' des Relativexzenter verkleinert. Man erkennt aber aus Fig. 250 sogleich, daß dadurch das Expansionsexzenter stark wächst, wenn man sich die Seite AB des Parallelogramms um A entsprechend gedreht denkt.

20. Viel günstiger wie diese bei Rider- und Meyer-Steuerungen meist gebräuchliche Anordnung ist die Anordnung mit entgegengesetzt abschneidenden Kanten. In Fig. 252 ist die Exzenteranordnung in der Getriebelage und in der Diagrammlage für innen abschneidenden Expansionsschieber und außen abschneidenden Grund-

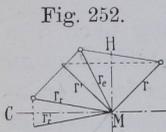


Fig. 252.

schieber dargestellt. r_r symmetrisch zu r_r' über MC (wegen der innen abschneidenden Kanten) ist die Getriebelage des (gedachten) Relativexzenterarmes. r symmetrisch zu r' über MH (wegen der außen abschneidenden Kanten) ist die Getriebelage des Grund-

schiebers. Die Diagonale des aus r_r und r gebildeten Parallelogramms ist das Expansionsexzenter e_e in seiner Getriebelage. Die Parallelogrammkonstruktion ist hier nur in der wirklichen Lage (Getriebelage) durchgeführt, da man in der Diagrammlage wegen der verschiedenen Abschlußrichtung leicht irrt; dementsprechend ist in der Diagramm-

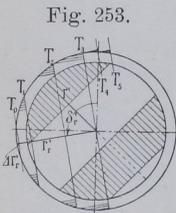


Fig. 253.

lage auch das Expansionsexzenter fortgelassen.¹⁾ Der Voreilwinkel für das Relativexzenter ist in der Diagrammlage = 100° gewählt. Man erkennt aus Fig. 253, daß sich aus der Annahme ungleichseitig abschneidender Kanten zunächst für Reguliersteuerungen mit veränderlicher Überdeckung (Rider-, Meyer-Steuerung und ihre Abarten) sehr günstige Abschlußverhältnisse ergeben (was noch viel zu wenig bekannt ist). Die Überdeckungen werden gerade für die großen Füllungen, bei welchen gerade ein präziser Abschluß am wichtigsten ist, absolut klein. Kleine Überdeckungen ergeben aber schnellen Abschluß, weil der Schieber beim Überfahren seiner Mittellage (hier seiner relativen Mittellage) die größte Geschwindigkeit hat.

Ferner sieht man, daß die absolute Nullfüllung sehr gut erreichbar ist, indem nach Erreichung der gewöhnlichen Nullfüllung mit der Deckungslinie T_0 nur noch eine Deckungsvergrößerung um den kleinen Betrag $\angle r_r'$ erforderlich ist. Das Expansionsexzenter wird dabei, wie man aus Fig. 252 erkennt, durchaus nicht besonders groß.

¹⁾ Man kann das Expansionsexzenter direkt in der Diagrammlage finden, wenn man die rückwärtige Verlängerung von r_r' , d. h. $-r_r'$ mit r_r zusammensetzt.

Den Voreilwinkel δ_r' des Relativexzenterers in der Diagrammlage kann man zweckmäßig wählen: für Hochdruckzylinder von Verbundmaschinen = 100 bis 110°, für Einzylindermaschinen mit Kondensation = 110 bis 120°, für Einzylindermaschinen mit Auspuff = 105 bis 115°.

21. Geometrisch gleich günstige Verhältnisse ergeben sich für außen abscheidenden Expansionsschieber und innen abscheidenden Grundschieber. Das Diagramm bleibt das gleiche wie in Fig. 253, die Getriebelagen werden jedoch andere, indem r symmetrisch zu r' über MC liegt, r_r symmetrisch zu r_r' über der Verlängerung von MH liegt. Das Expansionsexzenter wird ebenso groß wie im vorigen Falle.

Das Wesentliche ist in beiden Fällen die entgegengesetzte Abschlußrichtung. Das Expansionsexzenter eilt bei entgegengesetzter Abschlußrichtung dem Grundschieberexzenter nach.

Die Anordnung mit innen abscheidendem Grundschieber¹⁾ und außen abscheidendem Expansionsschieber ist aus konstruktiven Gründen weniger vorteilhaft wie die umgekehrte, weil sich Abdichtungsschwierigkeiten für den Expansionsschieber nach dem außen liegenden Auslaßraum ergeben.

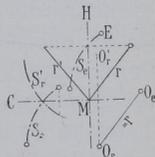
22. Fig. 254 zeigt die Exzenter- und Scheitelkurvenlagen für eine Doppelschiebersteuerung nach dem Einkammersystem mit fester Überdeckung des Expansionsschiebers, Füllungsverstellung mittels Stell'exzenter und Flachregler, bei innen abscheidendem Expansionsschieber und außen abscheidendem Grundschieber.

S_r' ist die Scheitelkurve des Relativexzenterers in der Diagrammlage, S_r zu ihr symmetrisch über MC (wegen der innen abscheidenden Kanten) ihre (gedachte) Getriebelage, O_r' und O_r bei kreisförmiger Form die bezüglichen Mittelpunkte.

Man findet die Scheitelkurve S_e des Expansionsexzenterers (welche durch die Konstruktion zu verwirklichen ist), indem man die relative Scheitelkurve S_r aus ihrer Getriebelage um r in der Richtung der Getriebelage des Grundschieberexzenterers verschiebt; der Mittelpunkt gelangt damit von O_r nach O_e ; O_e ist der Mittelpunkt des festen Exzenterers, auf welchem sich das Drehexzenter mit dem Arm O_eE bei kreisförmiger Scheitelkurve dreht.

¹⁾ Dieser ist hier nur als Kolbenschieber denkbar, während er bei der umgekehrten Abschlußrichtung entweder als Flachschieber oder als Kolbenschieber, je nach den besonderen sonstigen Bedingungen, ausführbar ist.

Fig. 254.



Die Getriebelege des Grundexzenter wird zu r' symmetrisch über MH (wegen der außen abschneidenden Kanten) gefunden.

23. In Fig. 255 ist zu der Exzenteranordnung Fig. 254 das Steuerungsdiagramm gezeichnet, in welches wieder der Deutlichkeit wegen nur die relative Scheitelkurve und das Grundexzenter in ihren Diagrammlagen eingetragen sind. Die Überdeckung ist so gewählt, daß absolute Nullfüllung erreicht wird. Das Diagramm ist nach dem Vorausgehenden ohne weiteres verständlich.

Fig. 255.

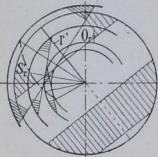
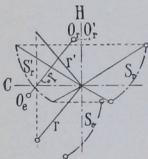


Fig. 256.



24. In Fig. 256 sind im übrigen für die gleichen Verhältnisse die Exzenterlagen für innen abschneidenden Grundschieber und außen abschneidenden Expansionsschieber gezeichnet. Die Getriebelege der Scheitelkurve des Relativexzenter ist über MH symmetrisch zu S_r' , die Getriebelege r des Grundexzenter ist über MC symmetrisch zu r' . O_e ist der Mittelpunkt des festen Exzenter für das Drehexzenter. Das Diagramm ist das gleiche wie für Fig. 254. Es gilt also Fig. 255 sowohl für das Lagenschema Fig. 254 wie für dasjenige Fig. 256. Bezüglich der größeren konstruktiven Schwierigkeiten dieser Anordnung gegenüber der nach Art. 22 gilt das in Art. 21 Gesagte.

Doppelschiebersteuerungen nach dem Einkammersystem mit Stellexzenter und gleichseitig abschneidenden Kanten ergeben ebenso wie die übliche Anordnung der Rider-Steuerung recht ungünstige Verhältnisse für große Füllungen und gestatten kaum die Erreichung absoluter Nullfüllung. In der Ztschr. d. V. d. Ing. 1891 Tafel 34 ist eine Maschine mit einer solchen Steuerung (außen abschneidende Kanten an beiden Schiebern) ohne Diagramm abgebildet.

Anhang VIII.

Neues Verfahren zur Vorausberechnung des Dampfverbrauchs von Kolbendampfmaschinen.

Vorbemerkungen.

1. Die Berechnung des Dampfverbrauchs zerfällt in die Berechnung des verlustlosen Verbrauchs und in die Berechnung der Verluste. Unter den Verlusten hat man zu unterscheiden: 1. solche, welche