

Yeuner

Chokomotiven-
steuerung

1856

BTU Dresden

TU Dresden

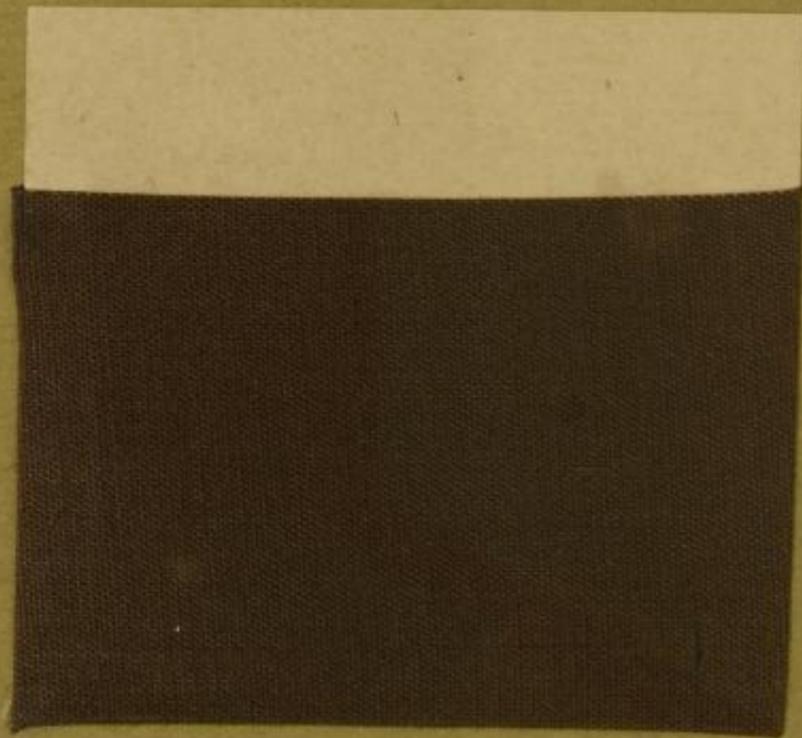
UB/Zweigbibl.

30/KE

1997.4.

001384

1



ohne BK
mit f. d. (L)

51. 01. 78

Ueber

die Lokomotivensteuerung

mittelst

der Stephenson'schen Coulisse.

Von

Dr. Gustav Zeuner,

Professor am schweizerischen Polytechnikum.

Mit einer Tafel.

Aus der Schweizer. polytechnischen Zeitschrift, Bd. I. Heft 3, besonders abgedruckt.

ZÜRICH,

DRUCK VON ZÜRCHER & FURBER.

1856.

1945 2/5



HOCHSCHULE FÜR VERKEHRSWESSEN
„FRIEDRICH LIST“ - DRESDEN
HOCHSCHULBIBLIOTHEK

3040 / 20 5200

24
Technische Universität Dresden
Universitätsbibliothek
Zweigbibliothek 30
24. FEB. 1997

2

VII, 3994

1997 4 001384 001 / KE

Die Stephenson'sche Coulissee, von welcher aus die Bewegung des Dampfschiebers bei Locomotiven erfolgt, ist bekanntlich ein so ausgezeichnetes Mittel zum Vor- und Rückwärtssteuern der Maschinen und zur Regulirung des Dampfeintrittes, dass sie jetzt beinahe an allen Dampfmaschinen in Anwendung ist, bei denen ein Vor- und Rückwärtsgehen nach Belieben stattfinden, sowie eine variable Expansion des Dampfes erreicht werden soll.

In Folge der überaus häufigen Anwendung der Coulissee sollte man nun meinen, dass die Art und Weise der Dampfvertheilung, sowie der Einfluss der einzelnen Theile des Apparates, wie Grösse der Excentricität, Länge der Coulissee und der Excentrikstangen, des Winkels des Voreilens, der äussern und innern Schieberdeckung, auf die Dampfvertheilung allgemein erkannt sei, und doch ist dies nicht der Fall. Hat es doch schon für Manchen Schwierigkeiten, sich über die Art und Weise der Dampfvertheilung und über den Einfluss der einzelnen Theile der Vorrichtung Rechenschaft abzulegen, wenn die Schieberbewegung nur durch ein einziges Excentrik stattfindet. Schon bei dieser einfachen Vorrichtung muss man bei Vorträgen zu besondern Hilfsmitteln seine Zuflucht nehmen, d. h. entweder durch Modelle oder durch Construction sogenannter Schiebercurven die Wirkungsweise der Schiebersteuerung deutlich machen.

In weit höherm Grade gilt aber das Gesagte in Betreff der Coulisseesteuerung. Die Bewegungsverhältnisse eines Schiebers, der durch die Coulissee geführt wird, erscheinen ausserordentlich verwickelt, und wer die hierher gehörigen Rechnungen, wie sie erst in den letzten Jahren, also nachdem die Coulissee Steuerungen lange schon in Anwendung waren, von Philipps, Weisbach, Zech und Redtenbacher gezeigt worden sind, nicht gehörig studirt hat, ist sicher nicht im Stande, sich ein vollständig klares Bild von der durch eine Stephenson'sche Coulissee bewirkten Dampfvertheilung zu verschaffen, ja es ist selbst für den Kenner schwierig, aus den complicirten Formeln der genannten Schriftsteller, den Einfluss der einzelnen Theile des Apparates auf die Schieberbewegung und die Dampfvertheilung herauszulesen. Im praktischen Leben hilft man sich durch Herstellung von Modellen oder durch weitläufige

Constructionen, indem man für verschiedene Kurbelstellungen die Stellung der Coulissee und des Schiebers bestimmt. Diese Verfahrensweisen lassen nun zwar, wenn auch nach unnöthigen Geldkosten, welche die Modelle verursachen oder nach zeitraubenden, langweiligen Constructionen, die Erscheinungen erkennen, wie sie bei einer vorhandenen Steuerung auftreten, sind aber, wie auf der Hand liegt, durchaus ungeeignet, einen tiefen Blick in die Sache zu gestatten und vorzüglich den Einfluss eines jeden einzelnen Theiles des Apparates zu erkennen und darnach die Vortheile oder Nachteile gewisser Annahmen zu beurtheilen.

Der Verfasser hat nun sowohl für die einfache Schiebersteuerung mit einem Excentrik, als für die verschiedenen Anordnungen der Coulissee Steuerungen die Relationen zwischen Schieberweg und Kolbenstellungen ebenfalls entwickelt und daraus ein äusserst einfaches Verfahren abgeleitet, um mittelst Construction, nur mit Hülfe einiger Kreise, alle Fragen zu beantworten, die nur irgend in Betreff der genannten Steuerungen gestellt werden können. Da sich das Verfahren vorzüglich auch dazu eignet, für gewisse Bedingungen hinsichtlich der Dampfvertheilung die Dimensionen der einzelnen Theile einer Steuerung schnell und sicher zu bestimmen, ferner die Vortheile und Nachteile gewisser Annahmen ohne Weiteres aus der einfachen Figur herauszulesen, so wird das Verfahren besonders für die Praxis von Vortheil sein.

Der Verfasser hat die mathematische Begründung des Verfahrens und die Art der Anwendung desselben zur Vergleichung der Wirkungsweise der verschiedenen Coulisseeanordnungen im Civilingenieur Bd. II, S. 202 veröffentlicht und verweist in Betreff der Entwicklung der Grundgleichungen auf jene Abhandlung. Das Folgende bildet nur zum kleinen Theil einen Auszug aus jenem Aufsätze, indem hier die Absicht vorherrscht, die Methode in mehr elementarer Form und durch practische Beispiele erläutert vorzuführen, besonders aber, was in jenem Aufsätze nicht geschehen ist, möglichst genau die Art der Dampfvertheilung bei der ältern Coulisseeanordnung, bei der die Coulissee gehoben und gesenkt werden kann und die Schubstange in der Richtung der Schieberbewegung liegend er-

halten wird, zu untersuchen. Auf die neuere Anordnung, bei welcher die Coulissee festhängt und der Leitblock am Ende der Schubstange in der Coulissee auf- und abgeschoben werden kann, wie sie zuerst von Gooch und dann auch von Engerth an der Sömmeringlocomotive angewendet worden ist, soll hier aber abgesehen werden, weil diese Anordnung Bedingungen voraussetzt, die an gewöhnlichen Locomotiven selten erfüllt werden können; auf eine wichtige Eigenthümlichkeit dieser Anordnung soll aber unten gelegentlich aufmerksam gemacht werden.

Bei den folgenden Untersuchungen unterscheiden wir drei Fälle, indem wir neben der Coulissee-Steuerung zugleich die einfache Steuerung mit einem Excentrik mit in Betrachtung ziehen.

Die Bewegung des Schiebers erfolge also:

1. mit Hilfe eines Excentriks (Fig. 1),
2. mit Hilfe der Stephenson'schen Coulissee mit offenen Excentrikstangen (Fig. 2),
3. mit Hilfe der Stephenson'schen Coulissee mit gekreuzten Excentrikstangen (Fig. 3).

Wir schicken der Untersuchung der Coulissee-Steuerung die der einfachen Steuerung mit einem Excentrik voraus, weil sich die Untersuchung der letztern nach dem neuen Verfahren besonders einfach gestaltet, und die Grundlage für die Betrachtung der Coulissee-Steuerungen bildet.

Denkt man sich in O (Fig. 1) die Axe der Welle, auf welcher das Excentrik und der Krummzapfen sitzt, und nimmt man der Einfachheit wegen an, die Richtung der Schieberstange BB_1 gehe durch den Wellenmittelpunkt O , so lässt sich die Beziehung zwischen Schieberweg und Kurbelstellung durch eine einfache Gleichung ausdrücken. Es sei $OD = OD_0 = r$ die Excentricität und OR der Krummzapfen, der um den Winkel $ROH = 90 + \delta$ von dem Halbmesser der Excentricität abweicht, wenn man mit δ den Winkel des Voreilens bezeichnet.

Beim Beginne des Kolbenhubes liegt der Krummzapfen in der Richtung OH , die Warze befindet sich also in dem einen toden Punkte. Denkt man sich jetzt, der Krummzapfen habe sich um den Winkel $HOR = \omega$ gedreht, so wird der Schieber nach rechts gerückt sein und zwar wird das Schiebermittel um eine gewisse Grösse $BX = \xi$ aus seiner mittleren Stellung abstehen, wenn X die Lage des Schiebermittels bei der mittleren Stellung andeutet. Nimmt man eine sehr lange Schubstange an, so bestimmt sich, wie in jedem Werke über Maschinenlehre angegeben ist, der Weg ξ , für die Praxis vollkommen genau genug, nach der Formel:

$$\xi = r \sin (\delta + \omega),$$

oder wie wir schreiben wollen:

$$\xi = r \sin \delta \cos \omega + r \cos \delta \sin \omega.$$

Kennt man die Excentricität r und den Winkel δ des Voreilens, so lässt sich hiernach für jeden beliebigen Drehungswinkel ω durch Rechnung der Werth ξ bestimmen, d. h. um wie viel der Schieber aus seiner mittlern Stellung nach rechts oder links gerückt erscheint, je nachdem ξ positiv oder negativ ausfällt. So ist bisher verfahren worden; durch Construction ist die Sache aber weit einfacher, und es ist eigenthümlich, dass man das so nahe

Liegende bisher auf so weiten Umwegen suchte, wie besonders die Construction der sogenannten Schiebercurven beweist.

Obige Gleichung für den Schieberweg ist nämlich ganz einfach die Polargleichung zweier sich berührender gleicher Kreise, deren Pol im Berührungspunkte liegt. Denken wir uns zwei auf einander rechtwinklig stehende Axen OX und OY (Fig. 4), ziehen durch O eine Linie P_0Q_0 , die mit der Verticalen OY den Winkel $P_0OY = \delta$ (Winkel des Voreilens) einschliesst, macht man ferner $OP_0 = OQ_0 = r =$ der Excentricität und halbirt beide, so geben die beiden aus C und C_1 beschriebenen Kreise über die ganze Schieberbewegung Aufschluss. Zieht man eine beliebige Sehne OP und nennt man den Winkel $POX = \omega$, so folgt $\angle P_0OP = 90 - (\delta + \omega)$ und weil $OP_0 = r$ angenommen wurde $\angle P_0PO = R$ ist,

$$OP = r \cos (90 - (\delta + \omega)) = r \sin (\delta + \omega) \\ = r \sin \delta \cos \omega + r \cos \delta \sin \omega,$$

d. h. genau derselbe Werth, den wir oben für den Schieberweg angegeben haben. Denken wir uns daher beim Beginne des Kolbenhubes den Krummzapfen OR_0 in der Richtung OX liegend und dann um den Winkel $R_0OR = \omega$ gedreht, so ist der innerhalb des Kreises liegende Theil OP der Krummzapfenrichtung OR ohne Weiteres der Schieberweg ξ , d. h. die Grösse, um wie viel bei der betreffenden Kurbelstellung der Schieber aus seiner mittlern Stellung gerückt ist. Für den Drehungswinkel $XOQ = 180 + \omega$ giebt die Formel für ξ denselben aber einen negativen Werth; das zeigt auch die Figur, denn dann schneidet die Kurbelrichtung den zweiten aus C_1 beschriebenen Kreis in der Art, dass $OQ = OP$ ist; der obere Kreis gilt daher für die Ausweichungen des Schiebers nach rechts, der untere für die Ausweichungen nach links. Für beide Ausweichungen gilt dasselbe, so dass wir meist nur den obern Kreis zu beachten haben. Ehe in den Betrachtungen weiter fortgeschritten wird, mag erst erwähnt werden, dass die einfache Figur Alles in wahrer Grösse zeigt und unter der Voraussetzung gilt, dass die Excentricität $r = 0,050^m$ und der Winkel des Voreilens $YOP_0 = \delta = 30^\circ$ betrage. Will man daher wissen, um wie viel der Schieber bei der betreffenden Kurbelstellung von seiner mittlern Stellung nach rechts absteht, so hat man mittelst des Metermasstabes die Grösse OP zu messen. Steht der Krummzapfen im toden Punkte, nimmt er also die Lage OR_0 ein, so steht der Schieber um OP_1 , von der Mitte seines Laufes ab; für vorliegenden Fall beträgt die Grösse $OP_1 = 0,025^m$, wie man sich durch Nachmessen überzeugen kann.

Hat sich der Krummzapfen so weit gedreht, dass der Abschnitt oder die Sehne OP gleich dem Durchmesser wird, so ist der Schieber am weitesten von dem Hubmittel entfernt; man sieht ohne Weiteres aus der Figur, dass dies der Fall ist, wenn die Kurbel in die Richtung OP_0 gelangt ist, also um den Winkel $P_0OX = 90 - \delta$ vom toden Punkte absteht. Fällt man auf die Linie P_0Q_0 im Punkte O ein Perpendikel OR_1 , so schneidet dieses den Kreis nicht, oder der Abschnitt OP wird = Null sein, d. h. der Schieber ist gerade in der Mitte seines Hubes, wenn der Krummzapfen die Richtung OR_1 einnimmt, d. h.



wenn er um den Winkel $R_1OR_0 = \delta$ vor dem toten Punkte steht. Denkt man sich den Krummzapfen von OR_1 aus in der Richtung des Pfeiles gedreht, so lässt sich aus der Figur ohne Weiteres erkennen, dass die Sehnen von O aus, die die Schieberwege darstellen, sehr schnell wachsen; während sie nur wenig variiren, wenn die Kurbel in der Nähe von OP_0 sich bewegt. In der Mitte seines Hubes bewegt sich also der Dampfschieber sehr schnell, während seine Bewegung bei seiner grössten Ausweichung sehr langsam stattfindet. Diese längst bekannte Thatsache ist sehr wichtig und von grossem Einflusse auf die ganze Art der Dampfvertheilung. Die Figur lässt auch noch deutlich den Einfluss des Winkels des Voreilens und der Grösse der Excentricität auf die gewissen Stellungen entsprechenden Schieberwege erkennen; worauf hier aber nicht weiter eingegangen werden mag. Der Kreis, welcher nach dem Vorstehenden auf so einfache Weise Aufschluss über die ganze Schieberbewegung giebt, spielt in dem Folgenden durchgängig eine sehr wichtige Rolle, weswegen wir ihm den Namen *Schieberkreis* beilegen, um ihn unter den andern noch vorkommenden Kreisen leicht hervorheben zu können.

Bei praktischen Untersuchungen über die Dampfvertheilung fragt man nun aber seltener nach der Grösse des Schieberweges, sondern nach der Art und Weise der Dampfvertheilung für gewisse Kurbelstellungen. Diese Fragen beantworten sich nach dem Vorstehenden nun mit grösster Leichtigkeit.

In Figur 5 ist der Schieber in seiner mittlern Stellung gezeichnet, die äussere Deckung sei $= e$, die innere $= i$, wobei O, O die beiden Dampfkanäle und O_1 den Kanal bezeichnet, der den austretenden Dampf in die freie Luft oder nach dem Condensator führt.

Hat sich der Schieber um den Weg ξ nach rechts bewegt (Fig. 6), und ist die dadurch erlangte Eröffnung des Dampfeintrittskanals $= a_1$, so gilt, wie sich aus der Figur erkennen lässt, die Relation

$$\xi = e + a_1,$$

oder die Eröffnung des Kanals beträgt

$$a_1 = \xi - e,$$

wenn die äussere Deckung e bekannt ist. Gleichzeitig hat aber der Schieber den zweiten Kanal um die Grösse a_2 für den austretenden Dampf geöffnet und es gilt hier, wie ebenfalls die Figur zeigt, die Relation

$$\xi = i + a_2, \text{ oder}$$

die Eröffnung des Dampfaustrittskanals für diesen Moment

$$a_2 = \xi - i.$$

Kennt man also für eine gewisse Kurbelstellung den Schieberweg ξ , so hat man nur die äussere Deckung e zu subtrahiren, um die Eröffnung des Dampfeintrittskanals oder die innere Deckung i zu subtrahiren, um die Eröffnung des Dampfaustrittskanals zu erhalten. Es seien in Fig. 9 OX und OY wieder die beiden Achsen und der aus C mit dem Radius $CO = \frac{r}{2}$ beschriebene Kreis sei unser Schieberkreis, so ergab sich nach Obigem für die Kurbelstellung OR_1 der zugehörige Schieberweg $= OP$.

Beschreibt man nun von O aus mit dem Radius $OV =$

$e =$ der äussern Schieberdeckung den Kreis V_1VV_2 , ferner ebenfalls von O aus mit dem Radius $OW = i =$ der innern Deckung den Kreis W_1WW_2 , so ersieht man sofort, dass

$VP = OP - OV = \xi - e = a_1$ die Eröffnung des Kanals für den Dampfeintritt und

$WP = OP - OW = \xi - i = a_2$ die Eröffnung des Kanals für den Dampfaustritt,

für die betreffende Kurbelstellung OR_1 darstellt. Da die Figur in natürlicher Grösse gezeichnet ist und zwar unter der Voraussetzung, dass die Excentricität $r = 0,06^m$ (OP_0) die äussere Deckung $OV = e = 0,024^m$ die innere Deckung $OW = i = 0,007^m$, und der Winkel des Voreilens $YOP_0 = \delta = 30^\circ$ betrage, so kann man die Grösse OP , PV , PW sofort mittelst des Metermassstabes der Figur entnehmen.

Steht der Krummzapfen im toten Punkte, also in der Richtung OR , so ist für den Beginn des Kolbenhubes, der Schieberweg $= OP_1$ die Eröffnung für den Dampfeintritt $= P_1V_1$ die Eröffnung für den Dampfaustritt $= P_1W_1$. Bekanntlich nennt man die Eröffnung des Dampfeintrittskanals beim Beginn des Kolbenhubes also V_1P_1 das lineare Voreilen, das äussere Voreilen oder das Voreilen auf der Dampfseite. Hingegen die Grösse, um die der zweite Kanal für den Dampfaustritt beim Beginn des Kolbenhubes schon geöffnet ist, also W_1P_1 , das innere Voreilen, oder das Voreilen auf der Luftseite.

Für unsern speziellen Fall ist, wie man sich durch Nachmessen überzeugen kann, das äussere Voreilen $V_1P_1 = 0,006^m$, das innere Voreilen $W_1P_1 = 0,023^m$ sofort gefunden. Die grösste Eröffnung der Dampfkanäle findet statt, wenn der Schieber am weitesten aus seiner mittlern Stellung gerückt ist, d. h. wenn der Krummzapfen in der Richtung OP_0 steht, dann ist also die grösste Eröffnung des Dampfeintrittskanals P_0V_5 ($0,036^m$) und die grösste Eröffnung für den Dampfaustritt P_0W_5 ($0,053^m$). Welche Veränderungen vor sich gehen, wenn man einzelne Elemente z. B. δ , r oder e und i ändert, lässt sich zu leicht aus der Figur herauslesen, als das hier weiter darauf eingegangen werden sollte. Wichtig für die Praxis sind aber besonders folgende Untersuchungen, über die Stellung des Krummzapfens und Dampfkolbens beim Beginn und beim Ende des Dampfeintrittes und Dampfaustrittes.

Die Stellung des Krummzapfens beim Beginn und beim Ende des Dampfeintrittes findet sich, wenn man beachtet, dass in diesem Augenblicke der Schieber die Stellung einnimmt, wie sie Fig. 7 andeutet, also der Schieber gerade um seine äussere Deckung aus der mittlern Stellung gerückt ist, also $\xi = e$ ist. In Fig. 9 schneidet nun der Schieberkreis den mit der äussern Deckung beschriebenen Kreis in V_3 und V_4 , verbindet man diese Punkte mit O durch gerade Linien und verlängert diese bis an den Warzenkreis, d. h. den Kreis, den man von O aus mit dem Kurbelradius beschrieben hat, so geben die Linien OR_3 und OR_4 die Kurbelstellungen an, bei welchen die eine äussere Schieberkante den Dampfeintrittskanal eben öffnet oder eben schliesst, weil ja für diese Stellung $OV_3 = OV_4 = \xi = e$ ist. Steht also die Kurbel in OR_3 so beginnt eben der Dampfeintritt, dieselbe befindet sich also um den Win-

kel R_3OR vor dem toten Punkte wenn der Dampfeintritt auf der Gegenseite schon beginnt.

OR_4 ist die Stellung des Krummzapfens beim Ende des Dampfeintrittes; der Winkel R_3OR_4 giebt also an, um welchen Bogen sich die Kurbel während des Dampfeintrittes dreht.

Die entsprechenden Kolbenstellungen finden sich nun leicht wenn man von R_3 und R_4 Perpendikel auf die Linie HK fällt, die parallel und gleich dem Warzenkreisdurchmesser ist, also den ganzen Kolbenhub repräsentirt. Auf diese Weise ergibt sich in H_3 die Stellung des Kolbens bei seiner Bewegung von links nach rechts, wenn der Dampfeintritt rechts schon beginnt. Ist die Warze über den toten Punkt R hinweg, so geht nun der Kolben von rechts nach links und zwar wird bis zur Stellung H_4 Dampf eintreten. Verlängert man OR_3 und OR_4 rückwärts über O so ergeben sich für dieselbe Momente, d. h. Beginn und Ende des Dampfeintrittes die Kurbelstellungen bei der Bewegung von links nach rechts.

Beim Anfang und Ende des Dampfaustrittes für einen Schub stellt Fig. 8 die Schieberstellung dar, wobei die eine innere Schieberkante den einen Kanal eben öffnet oder eben schliesst. In diesem Falle ist der Schieber um den Weg $\xi = i$ = der innern Deckung aus seiner mittlern Stellung gerückt. Aus Figur 9 ist nun ersichtlich, dass der Schieberkreis von dem mit der innern Deckung OW beschriebene Kreis in W_3 und W_4 geschnitten wird; verbindet man wieder diese Schnittpunkte mit O und verlängert die Verbindungslinie nach beiden Seiten bis an den Warzenkreis, so ergeben sich vier Kurbelstellungen, zwei davon geben die Stellung des Krummzapfens beim Beginn des Dampfaustrittes, die beiden andern für das Ende des Austrittes. So beginnt also bei OR_5 links schon der Dampfaustritt (Bewegung von links nach rechts), wenn also die Kurbel noch um den Winkel R_5OR vor dem toten Punkte oder der Kolben um H_5K vor dem Ende des Hubes steht. Während der Krummzapfen den Winkel R_5OR_6 oder der Kolben den Weg KH_6 zurücklegt, findet Dampfaustritt statt, etc.

Das Verhältniss $KH_4 : KH$ giebt unmittelbar das Expansionsverhältniss, denn bei H_4 beginnt die Expansionswirkung des Dampfes. Das Verhältniss $KH_6 : KH$ ist das Compressionsverhältniss, denn bei H_6 beginnt links die Dampfcompression. Um die weitere Beschreibung der Figur 9 zu umgehen sind alle Vorgänge eingeschrieben, die Angaben ausserhalb des Warzenkreises, beziehen sich auf die Dampfvertheilung auf der rechten Seite, die Angaben innerhalb des Warzenkreises auf die Vertheilung auf der linken Seite des Dampfkolbens.

Alle Aenderungen, die in der Dampfvertheilung stattfinden, wenn man einzelne Elemente wie e , i , δ oder r ändert, lassen sich so leicht bei genauer Betrachtung der Figur 9 erkennen, dass wir hier nicht weiter darauf eingehen. Soviel möchte noch bemerkt werden, dass die gewissen Warzenstellungen entsprechenden Kolbenstellungen bei praktischen Untersuchungen wegen des Einflusses der Länge der Kurbelstange anders bestimmt werden müssen, als wir es wegen Mangel an Raum auf der Tafel thun konnten. Statt also von den Punkten R_3 , R_4 , R_6 , etc. Perpen-

dikel auf die Richtung HK zu fallen und so H_3 , H_4 zu bestimmen, nehme man die Länge der Kurbelstange in den Zirkel, setze in den Punkten R_3 , R_4 , etc. ein und schneide von jedem aus die Richtung OX_1 ; die Schnittpunkte geben dann genau die Kolbenstellungen an.

In unserer Figur 9 giebt der innere Theil nach dem Obigen die Schieberwege und alles damit Zusammenhängende in natürlicher Grösse, hingegen erscheinen die Kolbenwege verjüngt nach einem Masstabe, der ganz beliebig genommen werden kann.

Aus dem Vorstehenden geht zur Genüge hervor, wie für einen bestimmten Fall, also wenn die innere und äussere Deckung i und e , der Winkel des Voreilens δ und die Excentricität r bekannt ist, die Fragen in Hinsicht der Dampfvertheilung ohne alle Rechnung und merkwürdiger Weise nur aus den Durchschnitten dreier leicht zu bestimmender Kreise beantwortet werden können. Es lassen sich aber auch alle andern Aufgaben leicht lösen. Hier mag nur die folgende Platz finden.

Aufgabe. Es soll bei einer einfachen Schiebersteuerung die Excentricität $r = 0,056^m$ und der Winkel des Voreilens 30° betragen. Der Dampfeintritt soll stattfinden, während der Kolben 0,8 seines Hubes zurücklegt und der Dampfaustritt soll beginnen wenn der Kolben noch 0,05 seines Hubes zurückzulegen hat. Es ist zu bestimmen die innere und äussere Deckung, das innere und äussere Voreilen, die grösste Eröffnung der Dampfkanäle, etc.

Auflösung. Man zeichne die beiden senkrecht auf einander stehenden Axen OX und OY Fig. 10; trage an OY den Winkel $YOP_0 = \delta = 30^\circ$ und mache $OP_0 = r = 0,056$; halbire OP_0 in C und beschreibe aus C mit $OC = CP_0$ den Schieberkreis. Ferner beschreibe man von O aus nach einem beliebigen Masstab den Kreis R_4RR_0 , der den Warzenkreis vorstellt. Wir haben $RR_0 = 0,100^m$ gemacht. Denken wir uns jetzt die Drehung des Krummzapfens in der Richtung des Pfeiles stattfindend und den Kolben von links nach rechts gehend, so soll links der Dampfaustritt beginnen, wenn der Kolben noch um den Weg 0,05 vom Ende seines Hubes, also in der Figur um $0,05 \times 0,100 = 0,005^m$ absteht. Machen wir daher $RH_5 = 5^{mm}$, errichten das Perpendikel H_5R_5 bis zum Durchschnitt R_5 mit dem Warzenkreise und ziehen OR_5 so ist diess bekanntlich die Stellung des Krummzapfens vor dem toten Punkte, wenn der Dampfaustritt beginnt. Die Richtung OR_5 schneidet den Schieberkreis in W_3 und OW_3 ist nun sofort die gesuchte innere Deckung.

Während nun der Kolben von rechts nach links geht, soll der Dampfeintritt aufhören, wenn er 0,8 seines Hubes zurückgelegt hat. Macht demnach $RH_4 = 0,8$. $RR_0 = 0,8 \times 0,1 = 0,08^m$, errichtet das Perpendikel H_4R_4 und zieht OR_4 , so gibt letztere Linie die Stellung des Krummzapfens beim Ende des Dampfeintrittes oder beim Beginn der Expansionswirkung; die Richtung OR_4 schneidet den Schieberkreis in V_4 , so dass OV_4 sofort die gesuchte äussere Deckung e ist. Beschreiben wir von O aus mit der innern Deckung $OW_3 = i$ und der äussern Deckung $OV_4 = e$ Kreise, so ist nun die ganze Aufgabe gelöst, denn man hat mit einem

Male alle verlangten Grössen: es ist nämlich, wenn wir zugleich die Abmessungen aus der Figur 10 beifügen:

- Aeussere Deckung $OV_4 = 0,020^m$.
- Innere Deckung $OW_3 = 0,005^m$.
- Aeusseres Voreilen $P_1V_1 = 0,0065^m$.
- Inneres Voreilen $P_1W_1 = 0,028^m$.
- Grösste Eröffnung des Eintrittskanales $P_0V_5 = 0,034^m$.
- Grösste Eröffnung des Austrittskanales $P_0W_5 = 0,051^m$.

Zugleich lassen sich aber auch, nach dem bei Betrachtung des Fig. 9 Erwähnten, alle weiteren Fragen in Betreff der Dampfvertheilung und Kolbenstellungen beantworten, was wir hier nicht wiederholen wollen.

Wir sind auf die Bewegung eines Dampfschiebers mit einem Excentrik ausführlich eingegangen, weil mit der Kenntniss des Vorstehenden die Untersuchung der Coullissensteuerungen nun höchst einfach erscheinen wird. Zuvor sei aber noch bemerkt, dass die Benutzung von Tabellen, die in vielen Werken über Maschinenbau zur Bestimmung der Deckungen und anderer Schieberverhältnisse für gegebene Expansionsverhältnisse berechnet worden sind, ganz unnöthig wird, und besonders die Darstellung der Dampfvertheilung durch Schiebercurven, bekanntlich Ellipsen, deren Construction eine Menge Zeit erfordert, durch obige Darstellung weit übertroffen wird, besonders des praktischen Nutzens wegen.

Stephenson'sche Coullisse.

Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem die Excentrikstangen bei der in Fig. 2 und 3 angegebenen Lage des Krummzapfens OR offen (Fig. 2) oder gekreuzt (Fig. 3) sind. In beiden Figuren bedeuten OD und $OD_1 = r$ die Excentricitäten der beiden nebeneinander sitzenden gleichen Excentriks, OR der Krummzapfen, CD und $C_1D_1 = l$ die Excentrikstangen und CC_1 die Coullisse, die bekanntlich nach einem Bogen gekrümmt ist, dessen Radius gleich der Länge l der Excentrikstangen ist. BM ist die Schubstange, deren Richtung der Einfachheit wegen durch den Wellenmittelpunkt O gehen mag und die durch eine Leitung stets in derselben Richtung erhalten wird. C_1S ist die Hängestange, mittelst welcher man die Coullisse heben und senken kann, so dass irgend ein beliebiger Punkt M der Coullisse die Führung der Schubstange übernimmt, an deren Ende der Leitblock sitzt, der zwischen den Coullissenbacken gleitet. Der in der Mitte der Coullisse liegende Punkt J ist der todte Punkt derselben. Ist die Coullisse CC_1 so weit herabgelassen, dass der Punkt M (Fig. 2) den Schieber führt, so geht die Maschine vorwärts; da hierbei das Excentrik OD vorzüglich auf die Schieberbewegung von Einfluss ist, so nennt man dies das Vorwärtsexcentrik; ist die Coullisse so weit gehoben, dass ein Punkt unterhalb des todten Punktes J die Führung übernimmt, so geht die Maschine rückwärts, weil dann das Rückwärtsexcentrik CD_1 vorzüglich die Führung bewerkstelligt. Wir bezeichnen die halbe Länge $CJ = C_1J$ der Coullisse mit c , also die ganze Coullissenlänge mit $2c$; ferner nehmen wir an, die Coullisse sei so weit herabgelassen, dass der Punkt M , der die Schubstange führt, um $JM = u$ vom todten Punkte abstehe. In der Praxis theilt man die Länge JC und JC_1 in eine ge-

wisse Anzahl gleiche Theile (in 6 bis 10), numerirt dieselben vom todten Punkte aus nach aussen, und sagt: die Coullisse steht am 1., 2., 3. . . . Expansionsgrade. In unserer Figur sind 4 Expansionsgrade für den Vorwärts- und 4 für den Rückwärtsgang angenommen, und die Coullisse ist so weit gesenkt, dass eben der 2. Grad die Schieberbewegung leitet. In dieser Stellung wird nun die Coullisse durch die Hängestange SC_1 so erhalten, dass sie annähernd immer in gleicher Höhe bleibt, der Punkt M sich also in der Richtung OB hin- und herbewegt, wenn eine Drehung der Welle stattfindet. Hierbei ist aber die Coullisse fortwährend in einer schaukelnden Bewegung, und daher die Bewegung des Punktes M und hiernach des Schiebers selbst so ausserordentlich verwickelt, dass sie mathematisch genau mit Hülfe des Calculs kaum verfolgt werden kann. Man muss daher auf Näherungswegen den Schieberweg für gewisse Drehungswinkel des Krummzapfens zu bestimmen suchen, wie es von den im Eingange genannten Schriftstellern und vom Verfasser geschehen ist. Die Messungen von Philipps haben gezeigt, dass die Näherungsrechnungen vollständig befriedigend mit den Erfahrungen übereinstimmen. Sind die beiden Excentriks so auf die Welle gekeilt, dass ihre Excentricitäten mit der Krummzapfenrichtung die gleichen Winkel $ROD = ROD_1 = 90 + \delta$ bilden, wobei also für beide δ der Winkel des Voreilens ist, und steht der Krummzapfen um den Winkel $ROH = \omega$ (Fig. 2 und 3) vom todten Punkte ab, so lässt sich der Schieberweg ξ oder die Grösse, um welche der Schieber aus seiner mittlern Stellung gerückt ist, unter Berücksichtigung der vorhin genannten Bezeichnungen ausdrücken durch die Gleichung

$$\xi = r \left(\sin \delta \pm \frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta \right) \cos \omega \pm \frac{ur}{c} \cos \delta \sin \omega$$

wobei das obere Vorzeichen (+) für die Coullisse mit offen, das untere Vorzeichen (—) für die mit gekreuzten Excentrikstangen gilt.

In Betreff der Ableitung dieser Formel muss hier allerdings auf den Aufsatz vom Verfasser im Civilingenieur B. II. S. 202. verwiesen werden. Obige Formel stimmt übrigens auch mit den Untersuchungen von Zech (Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-Vereins. 1855) überein, aber nicht mit den Untersuchungen von Redtenbacher (Resultate des Lokomotivbaues), der neuesten Arbeit über diesen Gegenstand, worauf wir unten zurückkommen.

Nehmen wir jetzt eine vorhandene Steuerung an, und denken uns, die Coullisse so weit gesenkt, dass der Punkt M in der Entfernung $JM = u$ von J die Führung leitet, so sind r , δ , c , l und u constante Grössen, und dann lässt sich der Einfachheit wegen setzen:

$$r \left(\sin \delta \pm \frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta \right) = A$$

$$\frac{ur}{c} \cos \delta = B$$

und daher ist der Schieberweg:

$$\xi = A \cos \omega \pm B \sin \omega,$$

wobei natürlich A verschieden ausfällt, je nach dem die Excentrikstangen offen oder gekreuzt sind, B ist aber in beiden Fällen gleich. Auf das negative Vorzeichen von

$B \sin \omega$ haben wir keine weitere Rücksicht zu nehmen, weil dies nur sagt, dass bei gekreuzten Stangen und gesenkter Coulisse die Drehung der Welle, entgegengesetzt der bei offenen Stangen und gesenkter Coulisse, stattfindet. Wir schreiben also allgemein:

$$\xi = A \cos \omega + B \sin \omega$$

wobei A und B nach obigen Formeln und Voraussetzungen berechnet wird.

Nehmen wir die Formel wieder zur Hand, die wir für die einfache Schiebersteuerung mit einem Excentrik angaben, nämlich:

$$\xi = r \sin \delta \cos \omega + r \cos \delta \sin \omega$$

so sind auch hier $r \sin \delta$ und $r \cos \delta$ für eine bestimmte vorhandene Steuerung constante Grössen, und setzen wir

$$r \sin \delta = A \quad \text{und} \quad r \cos \delta = B$$

so wird $\xi = A \cos \omega + B \sin \omega$,

und diese Formel mit der für die Coulissensteuerung gegebenen verglichen, gibt das eigenthümliche Resultat, dass bei allen 3 Vorrichtungen das Gesetz der Schieberbewegung ein und dasselbe ist; nur die constanten Grössen sind verschieden.

Wir fanden nun aber bei der einfachen Steuerung, dass vorstehende Gleichung die Polargleichung desjenigen Kreises ist, den wir den Schieberkreis nannten; hiernach folgt, dass auch bei den Coulissensteuerungen für einen bestimmten Expansionsgrad alle Vorkommnisse durch einen Schieberkreis erörtert werden können; der ganze Unterschied besteht einzig und allein darin, dass bei Coulissensteuerungen der Schieberkreis, der einem jeden einzelnen Expansionsgrade zukommt, eine andere Lage und einen andern Durchmesser hat, als bei der einfachen Steuerung.

Wir erinnern unter Bezugnahme auf Fig. 9, dass bei der einfachen Steuerung der Schieberkreis gefunden wurde, indem wir $OP_0 = r =$ der Excentricität und den Winkel $YPO_0 = \delta =$ dem Winkel des Voreilens machten; ferner OP_0 in C halbirten, und aus C mit CO den Schieberkreis schlugen. Man hätte nun den Mittelpunkt C auch auf andere Weise bestimmen können. Füllen wir nämlich vom Endpunkte P_0 des Durchmessers das Perpendikel P_0P_1 gegen OX und ebenso von C das Perpendikel CB , so ist bekanntlich OP_1P_0 ein rechter Winkel, ferner $OB = \frac{1}{2} OP_1$

und $BC = \frac{1}{2} P_0P_1$; nun ist aber

$$OP_1 = OP_0 \sin YOP_0 = r \sin \delta$$

und $P_0P_1 = OP_0 \cos YOP_0 = r \cos \delta$

daher $OB = \frac{1}{2} r \sin \delta$

$$BC = \frac{1}{2} r \cos \delta$$

Oben setzten wir der Einfachheit wegen $r \sin \delta = A$ und $r \cos \delta = B$, daher folgt endlich

$$OB = \frac{1}{2} A$$

und

$$BC = \frac{1}{2} B$$

Wir können daher den Mittelpunkt C des Schieberkreises bei der einfachen Steuerung auch bestimmen, indem wir

den Werth $OB = \frac{1}{2} A = \frac{1}{2} r \sin \delta$ berechnen und von O aus auf OX auftragen und das Perpendikel $BC = \frac{1}{2} B = \frac{1}{2} r \cos \delta$ machen.

Bei der einfachen Schiebersteuerung ist das erstere Verfahren einfacher, weil es keine Rechnungen erfordert, bei der Coulissensteuerung muss man aber die Coordinaten OB und BC des einem gewissen Expansionsgrade entsprechenden Schieberkreises berechnen und zwar hat man hier nur die Werthe A und B durch die oben bei den Coulissensteuerungen gegebenen Werthe A und B auszudrücken, so dass also für einen bestimmten Grad u die Coordinaten des Mittelpunktes C nach den Formeln

$$OB = \frac{1}{2} A = \frac{1}{2} r (\sin \delta \pm \frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta)$$

und $BC = \frac{1}{2} B = \frac{1}{2} \frac{ru}{c} \cos \delta$ zu berechnen sind.

Die Bestimmung der Coordinaten CB und BC erfordert also eine kleine Rechnung, die aber nur darin besteht, die gegebenen Grössen in die beiden Formeln, auf deren Herleitung man gar keine weitere Rücksicht zu nehmen braucht, einzusetzen; alle andern Bestimmungen aber geschehen dann ohne weitere Rechnung genau, wie bei der einfachen Steuerung.

Es wird zweckmässig sein, das Verfahren sogleich durch ein Beispiel zu erläutern.

Aufgabe. Bei einer Coulissensteuerung mit gekreuzten Excentrikstangen ist die Excentricität beider Excentriks $r = 0,06^m$; der Winkel des Voreilens $\delta = 30^\circ$; die Länge der Excentrikstangen $l = 1,400^m$; die halbe Länge der Coulisse $c = 0,0150^m$; die äussere Deckung $e = 0,020$; die innere Deckung $i = 0,006^m$.

Die Coulisse besitzt 8 Expansionsgrade für den Vorwärtsgang und 8 für den Rückwärtsgang. Die Coulisse ist bis an den 5. Grad gesenkt, wie gross ist für diesen Grad das äussere und innere Voreilen; die grösste Eröffnung der Dampfkanäle; und wie ist überhaupt die ganze Dampfvertheilung beschaffen?

Auflösung. Zuvörderst ist der Mittelpunkt des Schieberkreises durch seine Coordinaten zu bestimmen, und zwar ist für gekreuzte Stangen nach obigen Formeln:

$$OB = \frac{1}{2} r (\sin \delta - \frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta)$$

$$BC = \frac{1}{2} \frac{ru}{c} \cos \delta$$

In diesen Gleichungen ist r , δ , c und l nach Obigem gegeben und der Werth u bestimmt sich durch folgende Betrachtung: da die halbe Länge $c = 0,150$ in 8 Theile getheilt ist, so beträgt jeder Theil $\frac{1}{8} c$, und da der Leitblock beim 5. Expansionsgrad stehen soll, so ist $u = \frac{5}{8} c = \frac{5}{8} \times 0,150$; setzt man nun diesen und die andern gegebenen Werthe in die Gleichungen, so folgt nach einer leichten Rechnung: $OB = 0,0133^m$ und $BC = 0,0162$.

Man zeichne nun wieder (Fig. 11) die beiden Axen OX und OY , mache $OB = 0,0133^m$ und das Perpendikel $BC = 0,0162^m$, so ist C der Mittelpunkt unseres Schieberkreises, den wir mit CO beschreiben. Schlagen wir von O aus

auch noch mit der gegebenen äussern Deckung $OV_1 = e = 0,020^m$ einen Kreis und ebenso von O aus mit der innern Deckung $OW_1 = i = 0,006^m$, so giebt nun die einfache Figur über alle Verhältnisse nach dem nun Bekannten Aufschluss. Es ist bei dieser Coulisse für den 5. Expansionsgrad:

das äussere Voreilen $V_1P_1 = 0,006^m$
 das innere Voreilen $W_1P_1 = 0,020^m$
 der grösste Schieberweg $OP_0 = 0,0415^m$
 die grösste Eröffnung für den Dampfeintritt $P_0V_5 = 0,0215^m$
 die grösste Eröffnung für den Dampfaustritt $P_0W_5 = 0,035^m$.
 Wie man ferner aus den Durchschnitten der 3 Kreise alle Fragen in Betreff der Hauptkurbel- und Hauptkolbenstellungen für den gegebenen Expansionsgrad aus der Figur ableitet, ist bei Betrachtung von Fig. 9 schon vollständig erörtert worden.

Um nun noch auf einige Eigenthümlichkeiten der Coulissensteuerung aufmerksam zu machen, soll noch folgendes Beispiel Platz finden.

Aufgabe. Bei einer Coulissensteuerung mit offenen Excentrikstangen beträgt die Excentricität beider Excentriks $r = 0,060^m$, der Winkel des Voreilens $\delta = 30^\circ$, Länge der Excentrikstangen $l = 1,400^m$, halbe Länge der Coulisse $0,150^m$. Die Coulisse besitzt 4 Expansionsgrade für den Vorwärtsgang und 4 für den Rückwärtsgang, die äussere Deckung ist $e = 0,024^m$, die innere Deckung ist $i = 0,007^m$.

Es sind für alle Expansionsgrade sowohl, als für den todten Punkt alle nur irgend vorkommenden Fragen zu beantworten.

Nach der vorhergehenden Aufgabe hat man hier zuvörderst für die 4 Expansionsgrade die Schieberkreise zu bestimmen und zwar berechnen sich die Coordinaten der Mittelpunkte derselben für offene Excentrikstangen nach Früherem nach den Formeln:

$$OB = \frac{1}{2} r \left(\sin \delta + \frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta \right) \text{ und}$$

$$BC = \frac{1}{2} \frac{ru}{c} \cos \delta$$

Für den vierten Expansionsgrad ist $u = c$ (Fig. 2) und dann ist nach vorstehenden Formeln

$$OB = \frac{1}{2} r \sin \delta \text{ und } BC = \frac{1}{2} r \cos \delta$$

d. h. die Schieberbewegung geschieht genau so, als wäre die Coulisse gar nicht vorhanden und wirkte nur das Vorwärtsexcentrik auf den Schieber; denn die erhaltenen Coordinaten sind dieselben, wie wir sie bei der einfachen Schiebersteuerung fanden.

In Figur 12 finden wir also den Mittelpunkt C_4 des Schieberkreises für den 4. Expansionsgrad, wenn wir

$$OB_4 = \frac{1}{2} r \sin \delta = \frac{1}{2} \cdot 0,06 \cdot \sin 30^\circ = 0,015^m \text{ und}$$

$$B_4C_4 = \frac{1}{2} r \cos \delta = \frac{1}{2} \cdot 0,06 \cdot \cos 30^\circ = 0,026^m \text{ auftragen,}$$

oder auch, indem wir $\angle YOC_4 = 30^\circ$ und $OC_4 = \frac{1}{2} r = 0,03$ machen. Der zugehörige Schieberkreis ist mit IV bezeichnet.

Für den 3. Expansionsgrad ist $u = \frac{3}{4} c$ und diesen Werth, so wie die übrigen bekannten Werthe in obige Gleichungen gesetzt, giebt die Coordinaten des Schieberkreismittelpunktes C_3 :

$$OB_3 = 0,0162^m \text{ und } B_3C_3 = 0,0195^m$$

Für den zweiten Expansionsgrad ist $u = \frac{2}{4} c$, daher sind die Coordinaten des Schieberkreismittelpunktes C_2 :

$$OB_2 = 0,0171^m \text{ und } B_2C_2 = 0,013^m$$

Für den ersten Grad ist $u = \frac{1}{4} c$, daher sind die betreffenden Coordinaten nach den Formeln

$$OB_1 = 0,0176^m \text{ und } B_1C_1 = 0,0065^m$$

Für den todten Punkt endlich ist $u = 0$, also:

$$OB_0 = \frac{1}{2} r \left(\sin \delta + \frac{c \cos \delta}{l} \right) = 0,0178^m \text{ und } B_0C_0 = 0$$

d. h. der Mittelpunkt des Schieberkreises für den todten Punkt liegt in B_0 oder in der Axe OX selbst. Aus den gefundenen Mittelpunkten B_0, C_1, C_2, C_3, C_4 sind nun mit den Radien $B_0O, C_1O, C_2O, C_3O, C_4O$ die Schieberkreise gezeichnet, und in der Figur für die betreffenden Expansionsgrade mit 0, I, II, III, IV bezeichnet worden. Zieht man nun von O aus mit dem Radius $OV_1 = e = 0,024^m =$ der äussern Deckung einen Kreis, und ebenso mit der innern Deckung $OW_1 = i = 0,007$, so beantworten sich nun durch die Figur alle möglichen Fragen mit merkwürdiger Leichtigkeit.

Es befinde sich zuerst der Krummzapfen im todten Punkte, also in der Lage OR und werde nun in der Richtung des Pfeiles um einen beliebigen Winkel $ROP_4 = \omega$ gedreht, so folgt nach den bekannten Sätzen folgende Zusammenstellung: (Fig. 12)

	Todter Punkt.	Expansionsgrad			
		1.	2.	3.	4.
Schieberweg . . .	OP_0	OP_1	OP_2	OP_3	OP_4
Eröffnung des Dampfeintrittskanals .	VP_0	VP_1	VP_2	VP_3	VP_4
Eröffnung des Dampfaustrittskanals .	WP_0	WP_1	WP_2	WP_3	WP_4

Man erhält also die verlangten Grössen für alle Expansionsgrade auf einmal, und zwar alle in natürlicher Grösse. Aus der Figur lassen sich aber auch nach dem Vorgetragenen noch die folgenden Grössen bestimmen, bei denen wir jedesmal die der Figur entnommenen Abmessungen für vorliegenden speziellen Fall beifügen: weil die Figur alle die Schieberbewegung betreffenden Werthe in natürlicher Grösse giebt.

Tabelle I.

	Totter Punkt.	Nummer des Expansionsgrades			
		1.	2.	3.	4.
Äusseres Voreilen	$V_1p_0 = 0,0115$	$V_1p_1 = 0,0110$	$V_1p_2 = 0,0100$	$V_1p_3 = 0,0085$	$V_1p_4 = 0,0055$
Inneres Voreilen	$W_1p_0 = 0,0285$	$W_1p_1 = 0,0280$	$W_1p_2 = 0,0270$	$W_1p_3 = 0,0255$	$W_1p_4 = 0,0220$
Grösster Schieberweg	$Op_0 = 0,0355$	$Oc_1 = 0,0375$	$Oc_2 = 0,0430$	$Oc_3 = 0,0510$	$Oc_4 = 0,0595$
Grösste Eröffnung des Eintrittskanales	$V_1p_0 = 0,0115$	$b_1c_1 = 0,0135$	$b_2c_2 = 0,0190$	$b_3c_3 = 0,0270$	$b_4c_4 = 0,0355$
Grösste Eröffnung des Austrittskanales	W_1p_0	a_1c_1	a_2c_2	a_3c_3	a_4c_4

In der letzten Reihe sind die Abmessungen nicht angegeben, weil diese gewöhnlich grösser als die Canalbreite und daher von keinem weitem Interesse sind.

Wer je in dem Fall gewesen ist, sei es durch Rechnung oder durch Construction nur eine einzige der in der Tabelle gegebenen Grössen zu bestimmen, wird die grossen Vortheile unserer Methode zugeben.

Aber auch über die Hauptkurbelstellungen für jeden Expansionsgrad giebt die Figur Aufschluss, wenn man die Durchschnitte eines jeden Schieberkreises mit den Deckungskreisen aufsucht und so verfährt, wie wir es bei der einfachen Steuerung in Fig. 9 auseinander setzten. Auf diese Weise ist der obere Theil der Figur entstanden. Die verticalen Striche geben für alle Expansionsgrade die Hauptkolbenstellungen. Der Kolben gehe von rechts nach links, so hört bei *a* der Dampfeintritt rechts auf, es beginnt die Expansionswirkung, bei *b* hört der Dampfaustritt links auf, es beginnt die Compressionswirkung; bei *c* beginnt rechts schon der Dampfaustritt und bei *d* links schon der Dampfeintritt. Man sieht aus der Figur ohne Weiteres, dass die Compression und der Dampfaustritt, sowie der Dampfeintritt auf der Gegenseite um so früher beginnt, je stärker man expandirt, d. h. je näher der Leitblock dem todtten Punkte der Coulisse liegt. Hieraus ist ersichtlich, dass die Coulisse als Expansionsvorrichtung ganz unzweckmässig ist, was auch längst bekannt ist. Die schlechteste Dampfvertheilung findet im todtten Punkte statt, denn hier beginnt die Compression schon, ehe der Kolben sich im halben Hub befindet, und kurz nachher beginnt auch schon rechts der Dampfaustritt, wenn überhaupt die Maschine in Bewegung ist. Der todtte Punkt der Coulisse bewirkt also eine so unzweckmässige Dampfvertheilung, dass er nicht im Stande ist, eine Bewegung der Maschine zu erzeugen. Weitere Eigenthümlichkeiten des todtten Punktes lassen sich leicht aus der Figur erkennen, wenn man seinen Schieberkreis *O* verfolgt.

Aus dem obern Theile der Figur 12 lässt sich auch noch für jeden Expansionsgrad das Expansions- und Compressionsverhältniss bestimmen. Nehmen wir an die Kolbenstellungen *a*, *b*, etc. seien in früher angegebener Weise mit Rücksicht auf die Länge der Kurbelstange bestimmt worden, also nicht, wie wir es wegen Mangel an Raum auf der Tafel gethan haben, indem Perpendikel von den Hauptwarzenstellungen gegen *HK* gefällt wurden, so bestimmen sich die verlangten Verhältnisse sehr leicht. Bei *a* hört der Dampfeintritt auf, daher ist *Ha : HK* das Expansionsverhältniss; bei *b* beginnt die Dampfcompression, weil

hier der Dampfaustritt links aufhört, daher ist *Hb : HK* das Compressionsverhältniss. In der Figur ist der Kolbenhub *HK = 1* Decimeter, daher geben die Grössen *Ha* und *Hb* in Decimeter ausgedrückt, ohne Weiteres die verlangten Verhältnisse; die Abmessungen aus der Figur geben für vorliegenden speziellen Fall

Tabelle 2.

	Nummer des Expansionsgrades.			
	1.	2.	3.	4.
Expansionsverhältniss:	0,335	0,535	0,690	0,800
Compressionsverhältniss:	0,580	0,730	0,845	0,905

Unter Berücksichtigung der Kurbelstangenlänge fallen diese Verhältnisse für den Hin- und Rückgang des Kolbens etwas verschieden aus.

Die Grössen V_1p_4 , V_1p_3 etc. geben nach dem Obigen das Voreilen für den 4., 3. etc. Expansionsgrad; man erkennt nun, sowol aus obiger Tabelle I, als auch aus der Figur 12, dass das Voreilen wächst, je stärker man expandirt. Diese Eigenschaft, welche nur der Stephenson'schen Coulisse mit offenen Excentrikstangen (Fig. 2) zukommt, ist auch durch die Erfahrung bestätigt und ist ein grosser Nachtheil dieser Anordnung. Im vorliegenden Falle ist das äussere Voreilen beim 2. Grade (V_1p_2 , Fig. 12) schon doppelt so gross wie das des 4. Grades (V_1p_4). Das Voreilen für den todtten Punkt ist am grössten (V_1p_0) und zwar zeigt dieses zugleich die grösste Eröffnung für den Dampfeintritt an (Tab. I).

Setzt man in vorstehender Aufgabe gekreuzte Excentrikstangen voraus, so fallen die Schieberkreismittelpunkte für die untern Expansionsgrade in derselben Reihenfolge auf die linke Seite der Ordinate B_4C_4 , wie Fig. 13 zeigt, die unter Voraussetzung derselben Dimensionen gezeichnet worden ist, und bei welcher die Coordinaten der Schieberkreismittelpunkte nach den Formeln:

$$OB = \frac{1}{2} r (\sin \delta - \frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta)$$

$$BC = \frac{1}{2} \frac{ru}{c} \cos \delta \quad \text{berechnet wurden.}$$

Die Anordnung hat, wie man sofort aus Fig. 13 erkennt, den entgegengesetzten Fehler, das Voreilen (inneres wie äusseres) nimmt ab, je stärker man expandirt; in Fig. 13. ist für den

- 4. Grad das Voreilen $V_{1p_4} = 0,0055$
- 3. " " " $V_{1p_3} = 0,0025$
- 2. " " " $V_{1p_2} = 0,001$
- 1. " " " $V_{1p_1} = 0$

Todter Punkt = - 0,0005

d. h. beim todten Punkte findet hier gar keine Eröffnung der Canäle mehr statt. Diese Abnahme des Voreilens kann so gross werden, dass bald gar kein äusseres Voreilen mehr stattfindet (wie diess in Figur 13 beim 1. Grade der Fall ist), wenn die äussere Deckung OV_1 zu gross genommen wurde. Am besten wäre die Vorrichtung, wenn das Voreilen constant wäre, d. h. wenn alle Schieberkreise die Axe OX rechts von O in demselben Punkte schneiden würden. Das würde der Fall sein, wenn man eine Anordnung erfände, bei der die Schieberkreismittelpunkte C_1, C_2, C_3, C_4 alle in dieselbe Verticale B_4, C_4 zu liegen kämen. Dies ist nun aber bei der neuern Anordnung von Gooch der Fall, wie es der Verfasser a. a. O. nachgewiesen hat. Da aber die Coulissenanordnung von Gooch voraussetzt, dass die Triebwelle wenigstens doppelt so weit vom Schiebermittel entfernt liegt, als bei der gewöhnlichen Coulissenanordnung, so wird wohl die letztere bei Locomotiven nicht verdrängt werden. Da man aber bei derselben eher eine Abnahme des Voreilens, als eine bedeutende Zunahme desselben wünschen muss, so sind gekreuzte Excentrikstangen besser als offene. Bei liegenden stationären Maschinen, wie sie beim Bergbau vorzüglich in Anwendung kommen, sollte man aber immer die gewöhnliche Coulissensteuerung durch die Gooch'sche Anordnung ersetzen.

Dass bei der gewöhnlichen Coulissensteuerung das Voreilen variabel ist, hat in dem Gliede $\frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta$ in der

$$\text{Formel } \xi = r \left(\sin \delta \pm \frac{c^2 - u^2}{cl} \cos \delta \right) \cos \omega \pm \frac{ru}{c} \cos \delta \sin \omega$$

für den Schieberweg seinen Grund. Herr Redtenbacher lässt das Glied ganz weg; und wenn man dann dessen Formel genau untersucht, ergiebt sich auch für die gewöhnliche Stephenson'sche Coulisse ein constantes Voreilen, was doch in den gewöhnlichen Fällen nicht entfernt der Fall ist. Vielmehr muss man bei practischen Untersuchungen auf das Glied besonders Rücksicht nehmen, weil sonst leicht die äussere Deckung ganz unzuweckmässig für die innern Expansionsgrade gewählt werden könnte; und weil, wie Fig. 12 und 13 deutlich zeigt, das Voreilen besonders für die äussern Expansionsgrade stark veränderlich ist.

Wie man aus gegebenen Bedingungen hinsichtlich der Dampfvertheilung auch bei der Coulissensteuerung einzelne Dimensionen bestimmen kann, soll hier nicht weiter untersucht werden, da nach dem Vorstehenden die Sache keine Schwierigkeiten mehr hat. Die Länge l der Excentrikstangen ist nur stets möglichst gross und die Coulissenlänge klein anzunehmen; beide Dimensionen sind gewöhnlich durch die ganze Anordnung der Maschine ziemlich bestimmt gegeben.

Geschieht die Bewegung der Schieberstange nicht direct von der Coulisse aus, sondern durch einen zwischenliegenden Hebel, wie dies schon bei der Coulisse mit gekreuzten Excentrikstangen in Fig. 3 der Fall sein muss, so bleibt die ganze Untersuchung dieselbe, man hat nur alle auf die Schieberbewegung bezüglichen Dimensionen mit dem Hebelarmverhältniss zu multipliciren oder man zeichnet sogleich die ganze Figur, welche die Schieberbewegung darstellt, im Verhältniss der Hebelarme grösser oder kleiner.



Faint, illegible text on the left page, possibly bleed-through from the reverse side.

Faint, illegible text on the right page, possibly bleed-through from the reverse side.

40 | 0367 | | | KE

SLUB

8

Universitätsbibliothek Dresden



1 0037247