

soll, wo sie nötig ist, auch stets horizontal vorausgesetzt werden; daher fällt sie gelegentlich in den Figuren mit der Schubrichtung des Schiebers zusammen. Vom Schieber selbst sind nur die beiden Überdeckungen nötig, gewöhnlich genügt sogar die äussere allein. Daher darf stets ein einfacher Vollschieber angenommen werden. Die Anwendung der Diagramme auf andere Schieber bietet nach den bisherigen Entwicklungen keine Schwierigkeiten. Von den beiden Drehungsrichtungen wird die im Sinne des Uhrzeigers erfolgende stets als Vorwärts-, die entgegengesetzte als Rückwärtsdrehung bezeichnet werden.

Die Steuerungsanordnungen selbst sind in den Figuren nur als Gerippe in kräftigen Linien dargestellt, gewöhnlich für den linken toten Punkt der Kurbel voll ausgezogen, für den rechten gestrichelt. Die Gelenke sind durch kleine Kreischen bezeichnet. Feste Drehpunkte werden mit einem kleinen Lager umgeben, das an der Grundplatte eine schmale Schraffur erhält. Bei festen Prismenführungen sind auf beiden Seiten der geradlinig geführten Stange zwei parallele Linien gezogen und diese ausserhalb auch schraffiert. Das Schieberdiagramm ist gewöhnlich an der Welle selbst als Mittelpunkt gezeichnet, nur in grösserem Maßstabe. Wo sich die Darstellung der Steuerung und das Diagramm schneiden würden, sind die Linien des Steuerungsgerippes unterbrochen.

I. Abschnitt.

Umsteuerungen mit veränderlicher Koppel.

1. Kapitel.

Die Umsteuerung von Gooch.

§ 17. Beschreibung der Steuerung.

Die Umsteuerung von Gooch besitzt, s. Fig. 22 u. 23, Taf. IV, zwei Exzenter, E_v und E_r , die so aufgekeilt sind, dass jedes die Maschine bei Übertragung durch eine gewöhnliche Schubkurbel in einem anderen Sinne drehen würde, E_v nach vorwärts, E_r nach rückwärts. Daher werden die beiden Exzenter als Vorwärts-Exzenter, E_v , und Rückwärts-Exzenter, E_r , unterschieden.

Sie erhalten gewöhnlich gleiche Halbmesser und gleiche Voreilwinkel. Befindet sich die Kurbel in einem ihrer toten Punkte, so stehen die beiden Exzenter daher symmetrisch gegenüber der Schubrichtung OS des Schiebers, für den linken toten Punkt in E'_v, E'_r , für den rechten in E''_v, E''_r .

Von den beiden Exzenter führen zwei gewöhnlich unter sich gleich lange Exzenterstangen, die Vorwärtsexzenterstange l_v und die Rückwärtsexzenterstange l_r , nach den beiden Endpunkten V und R der Koppel. Greift dabei für den linken, vom Cylinder abgewendeten toten Punkte der Kurbel l_v am oberen, l_r am unteren Endpunkte der Koppel an, wie es in Fig. 22 voll ausgezogen ist, so bilden die Halbmesser der beiden Exzenter, die beiden Exzenterstangen und die Koppel ein offenes Fünfeck $OE'_vV'R'E'_r$, und die Steuerung heisst eine mit offenen Stangen. Wenn dagegen, wie es in Fig. 23 voll ausgezogen ist, für die gleiche Stellung der Kurbel l_v am unteren, l_r am oberen Endpunkte der Koppel angreift, so bilden die fünf Stücke ein überschlagenes Fünfeck, und das giebt eine Steuerung mit gekreuzten Stangen. Im rechten toten Punkte der Kurbel ist dann das Fünfeck $OE''_vV''R''E''_r$ umgekehrt bei offenen Stangen ein überschlagenes, bei gekreuzten ein offenes.

Die Koppel wird stets so angeordnet, dass sie für die beiden toten Punkte der Kurbel, also je in den beiden in den Figuren gezeichneten Lagen, genau symmetrisch zur Schubrichtung OS des Schiebers steht, d. h. mit ihrem Mittelpunkt M' und M'' in OS und mit der geraden Verbindungslinie ihrer Endpunkte, der «Koppelsehne» $V'R'$ und $V''R''$ senkrecht zu OS . Der Mittelpunkt M wird manchmal durch eine feste Prismenführung ununterbrochen genau in OS erhalten. Gewöhnlich begnügt man sich aber in dieser Richtung mit einer Annäherung und führt entweder den Mittelpunkt oder einen der Endpunkte der Koppel in einem durch $M'M'', V'V''$ oder $R'R''$ gehenden Kreisbogen, indem man den geführten Punkt durch eine Stange von einem festen Punkte A aus unterstützt. Damit die Koppel dabei für die toten Punkte der Kurbel wirklich in die gleiche symmetrische Lage gegenüber OS kommt, muss der Punkt A in der Senkrechten durch die Mitte M, V oder R der Strecke $M'M'', V'V''$ oder $R'R''$ angenommen werden. Da diese Aufhängung keinerlei Veränderung gestattet, so muss sich die Koppel für alle Einstellungen der Steuerung gleich bewegen.

Zur weiteren Übertragung der Bewegung ist die Koppel ihrer Länge nach mit einem passend gekrümmten Schlitz versehen, sie ist also als «Gleitrahmen» oder «Steuertasche» ausgebildet.

Im Schlitze befindet sich ein «Stein» B mit einem Zapfen, der durch die «Schieberschubstange» BC mit dem Zapfen C an der geradlinig geführten Schieberstange CS verbunden ist. Eine Änderung der Dampfverteilung und des Drehungssinnes der Maschine wird dadurch ermöglicht, dass der Stein B im Schlitze der Koppel in verschiedenen Höhen eingestellt werden kann. Zu diesem Zwecke wird die Schieberschubstange im Punkte D durch eine «Hängestange» DF aufgehängt oder unterstützt, die am Endpunkte F des «Aufwerfhebels» GF gelenkig befestigt ist. G ist die fest gelagerte «Steuerwelle»; diese trägt noch einen zweiten Hebel GH , von dessen Endpunkt H aus die «Steuerstange» HJ nach dem Standorte des Maschinenwärters führt, wo sie an einem «Steuerhebel», einer «Steuerschraube» oder bei grösseren Maschinen an einer Dampf-Umsteuerungsvorrichtung befestigt ist. Von dort aus wird der Stein B im Schlitze der Koppel in der erforderlichen Höhe eingestellt.

Wenn der unterstützte Punkt D der Schieberschubstange zwischen B und C angenommen wird, so muss er möglichst nahe an den Stein B gelegt werden, damit das freie Ende BD der Stange weniger leicht in zitternde Bewegung gerät. Manchmal liegt D aber auch ausserhalb von B , doch gleichfalls möglichst nahe daran, da sonst die Stange unnötig lang ausfallen würde.

Bei horizontalen Maschinen ist an der Steuerwelle noch ein Gewicht angebracht, das die Gewichte des Aufwerfhebels GF , der Hängestange FD und der Schieberschubstange, soviel davon auf den Punkt D entfällt, ausgleichen soll. Sonst würde das Heben des Steines zu viel Kraft erfordern. Oft wird auch das Gewicht durch eine Feder ersetzt. Senkrechte Maschinen bedürfen einer solchen Ausglei- chung nicht.

§ 18. Gestalt der Koppel und Aufhängung der Schieberschubstange.

Für eine gute Dampfverteilung muss der Schieber, wie früher entwickelt wurde, auf beiden Seiten des Cylinders je gleich weit voröffnen. Die Mitte zwischen den beiden zugehörigen Stellungen des Schiebers war als seine Mittellage bezeichnet worden. Diese Mittellage ist aber durch die Lage des Schieberspiegels ganz bestimmt vorgeschrieben. Daher geht das Voröffnen nur dadurch auf beiden Seiten je gleich zu machen, dass die Mittellage des Schiebers für alle Einstellungen der Steuerung unveränderlich an derselben Stelle erhalten wird. Vollkommene Unveränderlichkeit ist allerdings nicht bei allen Umsteuerungen erreichbar.

Bei der Steuerung von Gooch wird die Mittellage des Schiebers durch eine geeignete Krümmung des Koppelschlitzes unveränderlich erhalten. Um diese zu bestimmen muss zunächst angenommen werden, der Stein bewege sich bei jeder Einstellung je in einer Parallelen g zu OS , s. Fig. 22 u. 23. Für die beiden toten Punkte der Kurbel befände er sich dann in den Schnittpunkten dieser Geraden mit den Mittellinien des Schlitzes, also in B' und B'' , und der Mittelpunkt B der Strecke $B'B''$ wäre seine Mittellage. Der geometrische Ort aller dieser Mittellagen B deckt sich daher mit der in § 14 eingeführten scheinbaren Mittellage VR des Schlitzes in der Koppel. Da ferner $B'C' \parallel BC \parallel B''C''$ bleibt, so folgt C dem Steine kongruent, C ist also die Mittellage dieses Zapfens für die augenblickliche Einstellung der Steuerung. Da nun C mit dem Schieber durch die Schieberstange starr verbunden ist, so muss, wenn sich die Mittellage des Schiebers nicht ändern darf, auch die Mittellage des Zapfens C bei einer Hebung oder Senkung des Steines ungeändert an ihrer Stelle bleiben. Das wird aber nur dann geschehen, wenn der Schlitz der Koppel in seiner scheinbaren Mittellage nach einem Kreisbogen gekrümmt wird, dessen Halbmesser gleich der Länge der Schieberschubstange ist und dessen Mittelpunkt sich auf der Seite des Schiebers in C befindet. Dieser Kreis ist in den Figuren strichpunktirt. Für die beiden toten Punkte der Kurbel rückt der Kreismittelpunkt dann nach C' und C'' , während sich der Schlitz um gleich viel in kongruente Lagen mit verschiebt. Bei einer Änderung der Einstellung der Steuerung werden daher auch C' und C'' je ungeändert an ihrer Stelle bleiben. Die Steuerung von Gooch in der jetzt untersuchten symmetrischen Anordnung arbeitet daher mit vollständig unveränderlichem Voröffnen, und dieses muss nur ein für allemal auf beiden Seiten gleich eingestellt werden.

Die Annahme, der Stein bewege sich stets in einer Parallelen zu OS , wurde im Anschlusse an die Annäherungen des § 14 gemacht. Es hätte aber auch angenommen werden können, der Stein behalte jedesmal seine Lage gegenüber der Koppel unverändert bei. An der letzten Untersuchung hätte das nichts geändert, da die Punkte B' und B'' für beide Annahmen an der gleichen Stelle bleiben. Der Wirklichkeit entspricht jedoch keine. Der Stein bewegt sich vielmehr in einer krummen Bahn und verschiebt sich im Schlitz hin und her, er «springt». Man muss aber die Anordnung so zu treffen suchen, dass sich der Schieber trotz dieses Springens möglichst regelmässig bewegt. Nun kommen die Exzentermittelpunkte nach einer Drehung der Welle um 180° jedesmal wieder in die gleichen Abstände vom

vertikalen Durchmesser des Exzenterkreises, nur auf entgegengesetzte Seiten. Das Nämliche gilt, wenigstens wenn die Exzenterstangen hinreichend lang sind, von den beiden Endpunkten der Koppel gegenüber ihren Mittellagen. Die Koppel selbst kommt daher bei zwei solchen Kurbelstellungen auch in angenähert symmetrische Lagen gegenüber ihrer scheinbaren Mittellage. Soll dann das Springen des Steines die Regelmässigkeit der Schieberbewegung möglichst wenig beeinträchtigen, so muss die Schieberschubstange so unterstützt werden, dass sich der Stein ebenfalls möglichst symmetrisch gegenüber seiner Mittellage bewegt. Diese befindet sich aber stets auf dem strich-punktierten Kreise VMR um C , Fig. 22 u. 23, und daher fallen die Mittellagen aller übrigen Punkte der Schieberschubstange, namentlich auch die ihres unterstützten Punktes D , auf Kreise um den gleichen Mittelpunkt C . Um nun eine möglichst symmetrische Bewegung des Steines und der ganzen Schieberschubstange zu erhalten, müsste man den unterstützenden Punkt F am Ende des Aufwerfhebels für alle Einstellungen der Steuerung senkrecht unter oder über die Mittellage des unterstützten Punktes D der Schieberschubstange legen. Das ginge aber nur dadurch zu erreichen, dass die Steuerwelle in der Vertikalen durch C , z. B. in G_0 , Fig. 23, gelagert und der Aufwerfhebel G_0F_0 gleich lang gemacht werden würde, wie das Stück CD der Schieberschubstange.

So lang wird jedoch der Aufwerfhebel niemals ausgeführt. Er wird vielmehr so bemessen, dass sein gesamter Ausschlagswinkel 60° bis 90° beträgt, wie in Fig. 22. Je nach dem verfügbaren Platze liegt auch sein Drehpunkt G gar nicht einmal immer auf der Seite des Schiebers, sondern oft auf der Seite der Welle. Um die daher rührenden Abweichungen möglichst wenig nachteilig werden zu lassen, erscheint es zweckmässig, die Steuerwelle so anzuordnen, dass bei einer Änderung der Einstellung der Steuerung zwischen den äussersten Grenzen der Endpunkt F des Aufwerfhebels und die Mittellage des unterstützten Punktes D der Schieberschubstange Kreisbögen beschreiben, die eine gemeinschaftliche vertikale Mittellinie zwischen Sehne und Tangente besitzen. Das kann man in folgender Weise erreichen, s. Fig. 22: Zunächst wählt man die Horizontale aa in der die Steuerwelle gelagert werden soll. aa sollte möglichst entfernt von der Schubrichtung OS angenommen werden, damit die Hängestange FD möglichst lang ausfällt; manchmal ist aber die Lage von aa durch die Verhältnisse der Maschine bestimmt. Zu beiden Seiten von aa fügt man die beiden Horizontalen bb und cc hinzu, je in dem gleichen Abstände, in den die äussersten Lagen des unterstützten

Punktes der Schieberstange, D_{+4} und D_{-4} , von OS fallen. Hierauf zieht man $mm \perp OS$ und in der Mitte zwischen D_0 und $D_{+4} D_{-4}$. Jetzt bestimmt man auf mm den Mittelpunkt P der Strecke zwischen aa und cc , zieht PG so, dass $\angle PGF_0$ gleich ist dem vierten Teil des ganzen gewählten Ausschlagswinkels der Steuerwelle, und schneidet endlich mit $F_0PF_{-4} \perp PG$ auf aa und cc die Punkte F_0 und F_{-4} ein. Dann wird, wie aus der Figur leicht ersichtlich ist, G der Drehpunkt der Steuerwelle, $GF_0 = GF_{-4}$ die Länge des Aufwerfhebels und mm auch, wie es sein sollte, Mittellinie zwischen Sehne und Tangente des Bogens $F_{+4}F_0F_{-4}$.

Würde man dabei die Länge der Hängestange gleich $F_0D_0 = F_{+4}D_{+4}$ machen, so würde der Stein, weil diese Stange im allgemeinen um eine geneigte Mittellage schwingt, für den einen toten Punkt der Kurbel etwas zu tief, für den anderen dagegen viel zu hoch stehen. Um die Abweichungen gleichmässiger zu verteilen, muss man die Hängestange länger nehmen. Diese günstigere Länge bestimmt man so, dass man $UD_0T \perp D_0F_0$ zieht, bis zu den beiden Totpunktstellungen U und T von D_0 . Dann giebt eine der beiden nur sehr wenig verschiedenen Strecken F_0U oder F_0T die Länge der Hängestange. Bei einer so bestimmten Unterstützung der Schieberstange verteilt sich der durch sie verursachte Fehler möglichst gleich über alle Einstellungen der Steuerung.

Wenn dagegen die Steuerung nur in einer beschränkten Anzahl von Einstellungen häufiger gebraucht werden soll, so geht die Unterstützung auch so anzuordnen, dass der Endpunkt F des Aufwerfhebels in der Senkrechten durch die Mitte der am meisten benutzten Lagen von D angenommen wird. Die Länge der Hängestange müsste dann gleich sein dem Abstände des Punktes F von den der mittleren Einstellung zugehörenden Lagen von D für die beiden toten Punkte der Kurbel.

§ 19. Herleitung des Diagrammes.

Eine genaue Bestimmung der Dampfverteilung ginge nur so durchzuführen, dass man das ganze Steuerungsgetriebe für verschiedene Einstellungen je in einer genügend grossen Anzahl von Lagen zeichnet. Will man dagegen ein einfaches Diagramm erhalten, so muss man einige Annäherungen zulassen.

Was zunächst die Koppel anbetrifft, so wird, wie schon angegeben, ihr Mittelpunkt gelegentlich durch ein Prismenpaar genau geradlinig in OS geführt. Gewöhnlich bewegt sich aber dieser

Punkt oder einer ihrer Endpunkte infolge der Unterstützung durch die Schwinge AM , AV oder AR in einem Kreisbogen. Der Winkel ausschlag dieser Schwinge bleibt jedoch stets sehr klein, so dass der kleine Kreisbogen genügend genau durch eine Gerade ersetzt werden darf. Da die Stellung der Steuerung namentlich beim Voröffnen wichtig ist, so wird man diese Gerade durch die zugehörigen Lagen des unterstützten Punktes der Koppel gehen lassen müssen, um dort die Stellung des Schiebers genau zu erhalten. Wendet man die schon in § 17 beschriebene Unterstützung an, so fallen diese beiden Lagen in gleiche Höhe, und die angenäherte Gerade wird daher parallel zu OS .

Ausser der hin und hergehenden Bewegung macht die Koppel noch Schwingungen, da ihre beiden Endpunkte im allgemeinen je verschieden weit ausgelenkt sind. Daher beschreibt jeder nicht unmittelbar unterstützte Endpunkt eine krumme, lemniskoidenartige Bahn, die sich leicht Punkt für Punkt zeichnen liesse. Ihre besondere Gestalt hängt ab von der Art der Aufhängung der Koppel und von dem gegenseitigen Verhältnisse zwischen dem Halbmesser und Voreilwinkel der Exzenter und den Längen der Exzenterstangen und der Koppelsehne.

In dieser Hinsicht ist nun die Koppel gegenüber dem Abstände der beiden Exzentermittelpunkte stets ziemlich kurz, selten mehr als viermal so lang. Daher muss sie beträchtlichere Seitenschwankungen ausführen, so dass die von ihren Endpunkten beschriebenen Bahnen eine verhältnismässig grosse Vertikalausdehnung erhalten. Soll diese die Horizontalauslenkung nicht zu stark beeinflussen, so dürfen die Exzenterstangen ihre Neigung dabei nicht zu bedeutend ändern, und dazu müssen sie selbst möglichst lang sein. In der That sind sie auch gewöhnlich so lang, dass man die Änderung ihrer Neigung vernachlässigen darf. Dann erfolgen aber die Horizontalauslenkungen der unmittelbar geführten Punkte der Koppel, angenähert unabhängig von den Seitenschwankungen, so, als wenn die Endpunkte der Exzenterstangen in Geraden geführt würden, die parallel sind mit der Bewegungsrichtung des unterstützten Punktes der Koppel, also auch mit der Schubrichtung des Schiebers.

Eine weitere Annäherung muss wegen der gekrümmten Gestalt des Schlitzes in der Koppel gemacht werden. Diese Krümmung hat zur Folge, dass die einzelnen Punkte des Schlitzes bei den Seitenschwankungen andere Horizontalauslenkungen annehmen, als die in gleicher Höhe liegenden Punkte der Sehne der Koppel. Um ein einfaches Diagramm zu erhalten, muss man nun die daher rührenden

Abweichungen ganz vernachlässigen. Diese Annäherung wird um so zulässiger sein, je weniger sich der Schlitz von der Sehne entfernt. Dabei kommt es aber nur auf den Teil der Länge des Schlitzes an, den der Mittelpunkt des Steines wirklich bestreicht; der Schlitz selbst muss wegen der Wanddicke des Steines länger sein. Hiernach wäre die günstigste Anordnung die, bei der die Sehne der Koppel in der Mitte zwischen Sehne und Tangente des benutzten Stückes des Schlitzes liegt, wie in Fig. 24 a, Taf. IV. Der Abstand des Schlitzes von der Sehne geht auch noch dadurch zu verkleinern, dass der Kreisbogen mit der Schieberschubstange als Halbmesser, nach dem der Schlitz gekrümmt werden muss, überhaupt sehr flach genommen wird. Daraus folgt aber die weitere Regel, dass auch die Schieberschubstange möglichst lang gemacht werden soll. Sind diese Forderungen genügend erfüllt, so braucht man bei der Untersuchung der Schieberbewegung auf die Krümmung des Schlitzes keine weitere Rücksicht zu nehmen; es genügt die Betrachtung der Sehne der Koppel.

Wird der Stein unmittelbar von der Hängestange unterstützt, so beschreibt er einen Kreisbogen. Liegt der unterstützte Punkt der Schieberschubstange dagegen neben dem Steine, so bleibt er doch immer sehr nahe daran, und die jetzt verwickeltere Bahn des Steines kann auf dem kurzen benutzten Stücke in erster Annäherung auch als Kreisbogen angesehen werden. Ist die Hängestange aber gegenüber dem Ausschlage des Schiebers genügend lang, so kann dieser Bogen in weiterer Annäherung noch durch eine Gerade ersetzt werden. Diese Gerade würde allerdings wegen der stets zu geringen Länge des Aufwerfhebels bei den verschiedenen Einstellungen der Steuerung verschieden geneigt sein. Damit würde man aber zu keinem einfachen Diagramme kommen. Man muss also der Untersuchung einen so langen Aufwerfhebel zu Grunde legen, dass man genügend genau annehmen darf, der Stein bewege sich bei allen Einstellungen der Steuerung ebenfalls in einer zur Schubrchtung des Schiebers parallelen Geraden.

Auf diese Art ist die Bewegungsübertragung von den Exzentern zum Schieber angenähert auf den schon in § 14 allgemein untersuchten Fall zurückgeführt: Zwei Punkte einer Koppel werden durch Schubkurbeln mit unendlich langen Exzenterstangen in zwei parallelen Geraden geführt. Ein dritter Punkt der Koppel ist gezwungen, sich auf einer dritten, zu den beiden vorigen auch parallelen Geraden zu bewegen. Dieser führt den Schieber, und zwar unter den gemachten Annäherungen so, dass der Schieber genau die Bewegung dieses dritten Punktes mitmacht.

Mit diesen Annäherungen lässt sich jetzt das Diagramm der Umsteuerung von Gooch zeichnen, gestützt auf die Entwicklungen der §§ 13 und 14.

Zunächst müssen die Diagrammexzenter für die Bewegung der Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel bestimmt werden. Dabei hat man es mit zwei geschränkten Schubkurbeln zu thun, die gegenüber OS , Fig. 22 u. 23, Taf. IV, symmetrisch liegen, so dass auch die Schränkungswinkel α bei beiden gleich werden, nur mit entgegengesetztem Vorzeichen. Da, unabhängig von den übrigen Annäherungen, V und R jedenfalls die Mittellagen der Endpunkte der Exzenterstangen sind, so wird $\alpha = \angle VOS = \angle ROS$. Die wirklichen Exzenter liegen auf OE'_v und OE'_r , nur weiter ausserhalb in K'_v und K'_r . Trägt man nun an die Richtungen OK'_v und OK'_r der Halbmesser der Exzenter den Schränkungswinkel α an, beidseitig in dem Sinne der Drehung von OV und OR nach OS zu, und zieht man noch $K'_v K_v \perp OK'_v$ und $K'_r K_r \perp OK'_r$ bis zum Schnitte mit dem anderen Schenkel der Winkel α , so ist K_v das Diagrammexzenter für den Endpunkt V , K_r dasjenige für den Endpunkt R der Koppel. Beide Diagrammexzenter liegen symmetrisch gegenüber OS ; verglichen mit den wirklichen Exzentern rücken sie bei offenen Stangen, Fig. 22, weiter von der Welle O weg, nähern sich ihr dagegen bei gekreuzten Stangen, Fig. 23. Die Figuren sind übrigens beide mit den gleichen wirklichen Exzentern gezeichnet, ebenso mit gleich langen Exzenterstangen und gleich langer Koppel.

Da sich die Koppel für alle Einstellungen der Steuerung genau gleich bewegt, so bleiben auch diese beiden Diagrammexzenter für alle Einstellungen die gleichen.

Jetzt muss noch das Diagrammexzenter für die Auslenkung des Steines bestimmt werden. Das ist dann auch das Diagrammexzenter für die Bewegung des Schiebers. Es liegt auf der geraden Verbindungslinie $K_v K_r$ und teilt diese Strecke im gleichen Verhältnisse, wie die angenähert horizontale Bahn des Steines den Abstand der beiden auch angenähert horizontalen Bahnen der beiden Endpunkte der Koppel, oder wie der Stein die Sehne der Koppel. Alle diese Diagrammexzenter fallen hiernach auf die Gerade $K_v K_r$. Man kann nun den geometrischen Ort der Mittelpunkte der Diagrammexzenter für den linken toten Punkt der Kurbel den Mittelpunktsort* der Steuerung

Scheitelkurve

*Früher «Zentralkurve» genannt. Es kommt dafür auch der Name «Ortslinie» vor (Fränzel, Zeitschr. des Vereines deutscher Ingenieure 1889, Seite 990); er erscheint aber nicht glücklich gewählt, da «Ort» und «Linie» wesentlich gleichbedeutend sind.

nennen. Bei einer symmetrischen Umsteuerung von Gooch ergibt er sich hiernach als die vertikale Gerade $K_v K_r$. Einige andere Umsteuerungen haben dagegen einen gekrümmten Mittelpunktsort.

Soll sich nun die Maschine im Sinne des Uhrzeigers, also vorwärts drehen, so muss der Mittelpunkt des Diagrammexzenter rechts oben von O liegen, näher an K_v als an K_r . Der Stein muss daher in der Koppel auch näher am Angriffspunkte der Vorwärtsexzenterstange eingestellt werden. Das erfordert bei offenen Stangen, bei denen die Vorwärtsexzenterstange am oberen Endpunkte der Koppel angreift, eine Hebung, bei gekreuzten dagegen eine Senkung des Steines und der Schieberschubstange. Für Drehung nach rückwärts gilt das Umgekehrte.

Während des Ganges der Maschine treten durch Reibungswiderstände u. s. w. im Steuerungsgetriebe Kraftwirkungen auf, die das Bestreben haben, die Einstellung der Steuerung zu ändern. Wo nun die Maschine, wie das gewöhnlich der Fall ist, anhaltend mit gleicher Dampfverteilung arbeiten soll, muss eine solche Änderung in der Einstellung unmöglich gemacht werden. Das geschieht stets durch zahnartige Einklinkevorrichtungen, die eine Bewegung nach beiden Seiten hin verhindern. Diese Anordnung macht es aber unmöglich, die Dampfverteilung zwischen den beiden äussersten Grenzen stetig zu ändern. Man muss sich vielmehr mit einer beschränkten Anzahl von Einstellungen, den «Graden» oder «Zähnen» der Steuerung, begnügen. Die Anzahl selbst wird je nach den Verhältnissen der Maschine sehr verschieden gewählt. In den folgenden Untersuchungen werden im allgemeinen nur je vier Grade für jeden Drehungssinn angenommen werden, und zwar so, dass die Mittelpunkte der Diagrammexzenter die Höhe des Mittelpunktortes in unter sich gleiche Teile teilen. Dann entspricht in den Figuren 22 u. 23 der auf OS liegende Mittelpunkt ± 0 der Strecke $K_v K_r$ dem toten Punkte der Steuerung, $+1$ bis $+4$ sind die Diagrammexzenter für Drehung vorwärts, -1 bis -4 die für die Drehung rückwärts. Dabei ist in beiden Figuren angenommen, dass der Stein im Schlitz der Koppel bis zu den Angriffspunkten der Exzenterstangen geboben und gesenkt werden kann. Wäre das nicht der Fall, so würde $+4$ unterhalb K_v , -4 oberhalb K_r liegen.

§ 20. Die Dampfverteilung.

Jeder Einstellung der Steuerung auf einen bestimmten Grad entspricht nach den vorhergehenden Entwicklungen ein ganz bestimmtes Diagrammexzenter mit besonderem Exzenterkreise und be-

sonders geneigter Kolbenweglinie. Es ergibt sich durch die Zeichnung in seiner Lage für den linken toten Punkt der Kurbel. Der Erfolg einer Verstellung des Steines in der Koppel ist daher der nämliche, als wenn jedesmal ein neues Exzenter von anderem Halbmesser und anderem Voreilwinkel aufgekeilt würde. Die Überdeckungen des Schiebers ändern sich dagegen nicht, folglich bleiben auch die beiden Deckungslinien e und i , Fig. 22 u. 23, Taf. IV, je unverändert.

Als Ausgangspunkt für die Untersuchung der Änderung der Dampfverteilung dient am besten die Einstellung des Steines in der Mitte der Koppel. Das zugehörige Diagrammexzenter liegt im Mittelpunkte der Strecke $K_v K_r$, also auf OS , in dem mit ± 0 bezeichneten Punkte. Daher beträgt sein Voreilwinkel 90° , und man hat es mit einer schon in § 4 besprochenen Dampfverteilung zu thun, bei der die Maschine nicht in Bewegung erhalten, noch weniger in Bewegung versetzt werden kann. Es war das der tote Punkt der Steuerung. Der Dampfkanal wird dabei für das Einströmen nur wenig geöffnet.

Wird der Stein in der Koppel gehoben oder gesenkt, so verschiebt sich der Mittelpunkt des Diagrammexzentrums auf seinem Orte von ± 0 an nach auswärts. Damit wächst der Halbmesser des Diagrammexzentrums, während sein Voreilwinkel abnimmt. Das hat zur Folge, dass beim Fortschreiten zu höheren Graden die Füllung zu-, die Kompression dagegen abnimmt, während die Voröffnungswinkel für Ein- und Ausströmen beide abnehmen. Wegen der Zunahme des Schieberhubes wächst auch die grösste Eröffnung des Dampfkanals. Trotzdem wird der Kanal auch beim letzten Grade für das Einströmen oft nicht ganz geöffnet. Die Ausströmung wird dagegen wegen der kleineren inneren Überdeckung für die höheren Grade gewöhnlich überöffnet. In den Figuren 22 u. 23 sind die Hauptpunkte der Dampfverteilung auf den Exzenterkreisen und den zugehörigen Kolbenweglinien angeringelt, soweit die Kreischen Platz hatten. Da aber das Diagramm für Vorwärts- und Rückwärtsdrehung genau symmetrische Dampfverteilung ergibt, so wurde dabei nur die Vorwärtsdrehung berücksichtigt.

Die beiden Figuren sind für genau gleiche Exzenter gezeichnet. Daher fällt der Mittelpunktsort in Fig. 22 wegen der offenen Stangen weiter vom Mittelpunkte O des Diagrammes weg, als in Fig. 23 bei gekreuzten Stangen. Infolgedessen entspricht gleichen Graden in beiden Fällen eine verschiedene Dampfverteilung. Die namentlich wichtige Füllung wird dabei in Prozenten des Kolbenhubes für den

Grad	0	1	2	3	4
bei offenen Stangen	4,9	16,4	33,3	51,9	64,2
bei gekreuzten Stangen	8,6	40,6	69,2	81,7	88,8

Je näher also der Mittelpunktsort an den Mittelpunkt des Diagrammes heranrückt, desto grösser werden die Füllungen, desto ungleichförmiger verteilen sie sich aber auch, indem sie mit zunehmender Entfernung vom toten Punkte immer langsamer wachsen.

Da als Mittelpunktsort eine zur Schubrichtung *OS* senkrechte, also mit den Deckungslinien parallele Gerade gefunden war, so wird das frühere Ergebnis bestätigt, dass das Voröffnen für alle Einstellungen ungeändert bleibt. Diese Eigenschaft wird häufig als ein Vorzug der Steuerung von Gooch erklärt. Für langsame Maschinen ist das auch richtig. Für Lokomotiven wird dagegen neuerdings* gefordert, dass das Voröffnen beim Anfahren, wo grosse Füllungen benutzt werden, klein bleiben soll, bis 1^{mm} hinunter, damit die Kurbel nicht zu schwer über den toten Punkt geht; es sind sogar infolge zu starken Gegendruckes Kolbenstangenbrüche möglich. Auf der Strecke dagegen, wo die Maschine mit kleineren Füllungen und grossen Umdrehungszahlen arbeitet, sollte das Voröffnen grösser sein, bei einem Vollschieber 3—4^{mm}, bei einem Kanalschieber 2—3^{mm}, damit der Dampf beim Einströmen am Anfange des Kolbenhubes nicht zu stark gedrosselt wird. Danach wäre die symmetrische Umsteuerung von Gooch für Lokomotiven weniger geeignet.

Was die Gleichförmigkeit der Dampfverteilung auf beiden Seiten des Cylinders anbetrifft, so wird sie um so grösser, je mehr sich die wirkliche Bewegung des Schiebers der im Diagramme dargestellten anschliesst. Dazu ist aber zunächst nötig, dass alle Stangen möglichst lang genommen werden, namentlich auch die Exzenterstangen und die Schieberschubstange. Diese Steuerung braucht also, um gut zu sein, in der Länge viel Platz. Sie findet sich daher nur bei feststehenden Maschinen und bei Lokomotiven angewendet, ausnahmsweise auch auf Räderschiffen. Bei Schiffs-Hammermaschinen ist sie dagegen ausgeschlossen.

Die Gleichförmigkeit der Dampfverteilung wird noch durch das schon erwähnte Springen des Steines beeinflusst. Dieses sollte, um möglichst wenig nachteilig zu sein, möglichst klein bleiben, und dazu müssen die Bahnen des Steines und des führenden Punktes der Koppel möglichst zusammenfallen. Nun benutzen die mit einer Steuerung von Gooch ausgerüsteten Maschinen, wenn sie anhaltender arbeiten, gewöhnlich nur ziemlich kleine Füllungen, also Einstellungen nahe am toten Punkte der Steuerung. Die führenden Punkte der Koppel

* Nach v. Borries, Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens 1893, S. 139; auch 1896, S. 167.

bewegen sich dann in Bahnen, die mit der ihres Mittelpunktes ziemlich übereinstimmen. Man muss also suchen, die Unterstützungen so anzuordnen, dass der Stein sich möglichst gleich bewegt, wie der Mittelpunkt der Koppel. Das geht dadurch zu erreichen, dass man den Stein, oder einen möglichst nahe daran liegenden Punkt der Schieberstange, und den Mittelpunkt der Koppel durch Stangen unterstützt, deren Drehpunkte, der eine am Ende des Aufwerfhebels, der andere am Maschinengestelle fest gelagert, auf derselben Seite der Schubrichtung *OS* und angenähert in gleicher Höhe liegen. Bei feststehenden Maschinen geht das stets vom Boden aus leicht zu erreichen. Bei Lokomotiven ist man dagegen manchmal durch Platzverhältnisse gezwungen, Stein und Koppel von entgegengesetzten Seiten aus zu unterstützen. Dann wird der Stein stark springen. Dieses Springen hat ausserdem zur Folge, dass sich die reibenden Flächen rascher abnutzen und dass der Stein im Schlitz Spiel bekommt, was die Dampfverteilung noch mehr verschlechtert.

Auf die Güte von Steuerungen für Lokomotiven ist auch das Spiel der Tragfedern von Einfluss. Es hat zur Folge, dass die ganze Steuerung gegenüber den an der Achse befestigten Exzenter Schwingungen in vertikaler Richtung ausführt. Für das Diagramm kommt das darauf hinaus, dass sich der Mittelpunkt *O* bei horizontaler Lage von *OS* senkrecht dazu, bei geneigter in einer um den Neigungswinkel von der senkrechten abweichenden Richtung gegenüber den übrigen Teilen der Steuerung verschiebt. Dadurch werden die Schränkungswinkel α für die beiden Exzenter im entgegengesetzten Sinne geändert, aber nicht im gleichen Betrage. Die Steuerung geht also in eine wechselnd unsymmetrische über, und der Mittelpunkt sort schwingt hin und her und ändert auch seine Entfernung von *O* in engen Grenzen. Dabei steht die Schwingungszeit der Federn in keiner bestimmten Beziehung zur Umdrehungszeit der Welle. Und das muss alles die Regelmässigkeit der Schieberbewegung und Dampfverteilung ungünstig beeinflussen.

Aus diesen Ursachen hat sich die Steuerung von Gooch bei Lokomotiven nicht einbürgern können, wenn sie sich auch gelegentlich vorfindet. Verhältnismässig häufig wird sie nur bei Fördermaschinen angewendet.

§ 21. Entwerfen einer neuen Steuerung.

Beim Entwerfen einer neuen Umsteuerung muss mit der inneren Steuerung begonnen werden. Der dabei einzuschlagende Weg ist schon

in § 6 entwickelt und dort zugleich angegeben worden, dass man von der grössten Füllung, hier mit ε_4 bezeichnet, ausgeht und diese gewöhnlich zwischen 70 und 80 % des Kolbenweges wählt. Will man nun die gebräuchlichen Füllungen möglichst sicher einstellen können, so muss man dafür sorgen, dass sie sich in der am meisten benutzten Gegend mit einer Verstellung des Steines nur langsam ändern. Auf Grund der letzten Entwicklungen wird man daher ε_4 kleiner wählen, wenn die Maschine namentlich mit kleineren Füllungen oder auch mit allen Füllungen angenähert gleich häufig arbeiten soll. Kommen dagegen mehr die grösseren Füllungen zur Verwendung, so muss auch ε_4 grösser genommen werden. Mit dieser Annahme geht dann die innere Steuerung zu entwerfen, und damit bestimmen sich die Diagrammexzenter $+4$ und -4 in Fig. 22 u. 23.

Die äussere Steuerung beeinflusst den Wert von ε_4 gar nicht. Sie lässt sich vielmehr stets so anordnen, dass jeder beliebige Abstand des Mittelpunktsortes wirklich erreicht wird.

Am wenigsten frei ist man dabei in der Wahl der Längen der Exzenterstangen und der Schieberstange. Aus den vorigen Untersuchungen folgt, dass alle diese Stangen möglichst lang sein sollten. Nun ist der zwischen Achse und Schieberkasten verfügbare Platz durch die Anordnung der ganzen Maschine gegeben. Soll er so zwischen die beiden Arten von Stangen verteilt werden, dass beide möglichst lang ausfallen, so muss man sie alle unter sich gleich lang machen, und das wird man erreichen, wenn man die scheinbare Mittellage der Koppelsehne in der Mitte zwischen der Achse und der Mittellage C des Zapfens an der Schieberstange annimmt. Die Lage hängt aber auch von dem Platze ab, der am Maschinenrahmen für das Spiel der Koppel zur Verfügung steht, so dass diese Forderung nicht immer genau erfüllt werden kann, namentlich nicht bei Lokomotiven. Hiernach ist jetzt die Lage der Vertikalen VR in Fig. 22 u. 23 als bekannt anzusehen.

Ferner muss eine Entscheidung darüber getroffen werden, ob offene oder gekreuzte Exzenterstangen angewendet werden sollen. Davon hängt nur das Vorzeichen des Schräkungswinkels ab, während die Dampfverteilung dadurch gar nicht beeinflusst wird. Dieses Verhalten bildet keinen Widerspruch mit einem früheren Ergebnisse, der Zusammenstellung der Füllungsgrade in § 20, denn dort handelte es sich um eine Änderung der Anordnung der Stangen bei ungeänderten Exzentern, während hier die gleiche Dampfverteilung durch verschiedene Exzenter erreicht wird. Die Wahl der Stangenanordnung hängt daher von anderen Umständen ab. Maßgebend ist dabei zunächst die

Rücksicht darauf, dass die Auslenkung des Steuerhebels oder der Mutter der Schraubenschraube in einem anschaulichen Zusammenhange mit dem Drehungssinne der Maschine steht, damit verhängnisvolle Irrtümer bei der Handhabung der Steuerung leichter vermieden werden können. So wird z. B. bei Lokomotiven ein Steuerhebel stets im Sinne der Fahrriichtung aus seiner Mittelstellung ausgelenkt. Ausserdem muss bei der Auswahl der Stangenanordnung noch Rücksicht darauf genommen werden, welcher Platz zur Unterbringung des Steuerhebels, der Steuerstange und der Steuerwelle zur Verfügung steht.

Jetzt müssen noch einige Annahmen über die Koppel gemacht werden. Zunächst über ihre äussere Anordnung, weil es von dieser abhängt, der wievielte Teil von der ganzen Länge der Koppel ausgenutzt werden kann. Nach § 19 sollte man eigentlich die Koppelsehne entweder in die Mitte zwischen Sehne und Tangente des ganzen benutzten Stückes des Schlitzes legen, oder sie durch den am meisten benutzten Punkt der Mittellinie des Schlitzes gehen lassen. Gebräuchlich sind diese Anordnungen aber nicht, obwohl sie ganz leicht ausführbar wären. Man lässt vielmehr die Exzenterstangen in zwei Punkten der Mittellinie des Schlitzes angreifen, wie in Fig. 24 b, oder man legt die Koppelsehne in, oft sogar noch links neben die Tangente dieses Kreises, wie in Fig. 24 c. Stellt man die Koppel aus zwei seitlichen Schilden her, zwischen denen der Stein gleitet, oder zwar aus einem Stücke, aber mit einem seitlichen Schlitze, in den der Stein schwalbenschwanzförmig eingreift, so nutzt man bei jeder gegenseitigen Lage von Koppelsehne und Schlitz die Länge der Koppel ganz aus; man könnte sogar den Schlitz länger machen als die Sehne. Besteht dagegen die Koppel aus einem einzigen Stücke, aber mit einem durch dessen ganze Dicke hindurchgehenden Schlitze, so muss bei den Anordnungen Fig. 24 a, b ein Teil der Koppel ungenutzt bleiben. Dasselbe gilt von einer stangenförmigen Koppel, welche vom Steine hülsenförmig umschlossen wird. Ausgeführt finden sich alle diese Arten von Koppeln, die mit einseitigem Schlitze und die stangenförmigen allerdings nur bei kleineren Maschinen. Vom hier eingenommenen Standpunkte aus sind sie alle gleichwertig, insofern Sehne und Schlitz gleiche gegenseitige Lage besitzen.

Je nach der Wahl der Anordnung der Koppel ist dann ihre halbe Sehne, c , s. Fig. 24 a, b, gleich der halben Sehne c' des ausgenutzten Teiles des Schlitzes, oder grösser. Im letzten Falle muss c so viel grösser sein als c' , dass der Stein im Schlitze genügend Platz für sein Springen vorfindet und dass zwischen dem Schlitze und den Zapfenlöchern für den Angriff der Exzenterstangen noch eine aus-

reichende Wandstärke übrig bleibt. Den Ausführungen entspricht

$$\frac{c}{c'} = 1 \text{ oder } 1,3 \text{ bis } 1,5. \quad (14)$$

Mit diesem Verhältnisse lassen sich jetzt im Diagramme die Diagrammexzenter K_v und K_r für die beiden Endpunkte der Koppelsehne einzeichnen. Sie liegen auf dem Mittelpunktorte so, dass sich verhält mit Gleichung (14):

$$\frac{+0 K_v}{+0 +4} = \frac{+0 K_r}{+0 -4} = \frac{c}{c'} = 1 \text{ oder } 1,3 \text{ bis } 1,5. \quad (15)$$

K_v und K_r fallen also für $c = c'$ mit $+4$ und -4 zusammen, liegen dagegen für $c > c'$ weiter aussen.

Endlich muss noch die wirkliche Länge der Koppel gewählt werden. Diese sollte verschiedenen Bedingungen genügen, die sich aber gegenseitig widersprechen. Mit Rücksicht auf die Gleichmässigkeit der Schieberbewegung sollten zunächst ihre Seitenschwankungen möglichst klein bleiben, damit sich die Bahnen aller ihrer Punkte möglichst gut an horizontale gerade Linien anschliessen. Dazu müsste sie gegenüber dem Abstände der beiden Exzentermittelpunkte möglichst lang sein. Ausserdem sollten sich aber auch ihre beiden Endpunkte zu beiden Seiten der Mittellage möglichst symmetrisch bewegen. Nun folgt aus Fig. 16, Taf. III, dass durch eine Vergrösserung des Schränkungswinkels α unter sonst gleichen Verhältnissen der Schnittpunkt des Mittelkreises mit der Horizontalen durch O weiter nach links verschoben wird. Das Gleiche geschieht daher auch mit den Schnittpunkten der übrigen Kreisbögen, und daraus folgt, dass die Schieberbewegung dabei ungleichmässiger wird. Der Schränkungswinkel sollte also möglichst klein gehalten werden, dazu müsste aber die Koppel möglichst kurz sein. Unterstützt wird diese Forderung auch durch die Bedingung, dass sich der Schlitz möglichst wenig von der Sehne entfernen soll. Die Länge der Koppel wird aber noch durch einen anderen Umstand begrenzt. Macht man sie zu gross, so wird auch der Hub des Steines zu gross, und dadurch wächst die Zeit für eine Änderung der Einstellung der Steuerung und die damit für den Maschinenführer verbundene Anstrengung. Das ist namentlich bei Maschinen zu berücksichtigen, die oft oder rasch umgesteuert werden müssen. Da sich also im ganzen mehr Gründe gegen als für eine grössere Länge angeben lassen, so erscheint es zweckmässiger, die Koppel verhältnismässig kurz zu wählen. Gewöhnlich wird die ganze Länge $2c$ ihrer Sehne gegenüber dem Abstände der beiden Exzentermittelpunkte E_v und E_r

$$2c = (2,3 \text{ bis } 3,0) E_v E_r \quad (16)$$

gemacht, doch finden sich auch Überschreitungen beider Grenzen.

Nun sind aber beim Entwerfen einer neuen Steuerung von Gooch die Exzenter selbst noch gar nicht bekannt, sondern nur die Diagrammexzenter K_v und K_r für die Endpunkte der Koppelsehne. Es bleibt also nichts anderes übrig, als die Länge der Koppel

$$2c = (2,5 \text{ bis } 3,0) K_v K_r \quad (17)$$

anzunehmen, und das ist um so zulässiger, je kleiner der Schränkungs-
winkel ist. Da aber bei offenen Stangen schliesslich der Abstand
der Mittelpunkte der wirklichen Exzenter $K'_v K'_r > K_v K_r$ wird, so
erscheint es zweckmässig, näher an der oberen Grenze zu bleiben,
oder diese sogar noch etwas zu überschreiten. Für gekreuzte Stangen
gilt das Umgekehrte.

Trägt man die Hälfte dieser Länge, also c , im Maßstabe des
Gerippes der Steuerung von der Schubrichtung OS aus nach beiden
Seiten hin auf der angenommenen scheinbaren Mittellage VR der
Koppelsehne auf, so erhält man in V und R die Mittellagen der
Endpunkte der Koppel. Die Verbindungslinien VQ und RO schliessen
dann mit der Schubrichtung OS je den Schränkungs-
winkel α ein. Mit diesem bestimmen sich jetzt, durch Umkehrung des in § 13 und
Fig. 19, Taf. III, entwickelten Verfahrens, die wirklichen Exzenter
 K'_v und K'_r im Schieberdiagramme; ihre Verkleinerung auf den Maß-
stab des Gerippes giebt endlich die dortigen Exzenter E'_v und E'_r .

Um die Länge der Exzenterstangen zu finden, stützt man sich
auf die in § 12 und Fig. 16, Taf. III, durchgeführten Entwicklungen.
Zieht man danach in Fig. 22 u. 23 $ON \perp OV$ und $E'_v N \parallel OS$, so
giebt der Abstand NV die Länge der Exzenterstangen. Damit gehen
jetzt die Lagen der Koppelsehne für die beiden toten Punkte der
Kurbel hinzuzeichnen. Fügt man noch den Schlitz in seiner richtigen
Lage gegenüber der Sehne hinzu, so kann man, da die Lagen des
Punktes C schon anderweitig bekannt sind, aus der Figur auch die
Länge der Schieberschubstange entnehmen.

Die Unterstützungen der Koppel und der Schieberschubstange
sind schon in den §§ 17 u. 18 besprochen worden.

Die so gefundenen Grössenverhältnisse der Steuerung dürfen aber
nicht vollkommen ungeändert ausgeführt werden. Wenn man nämlich
ein mit Zirkel und Lineal allein zeichenbares Diagramm erhalten will,
so muss man stets so weitgehende Annäherungen zulassen, dass die
dargestellte Schieberbewegung stellenweise nicht unbedeutend von der
wirklichen abweicht. Man muss daher noch die endgiltigen Verhält-
nisse an einem Modell, womöglich in natürlicher Grösse, ausprobieren.
Regeln, wie man dabei am besten vorgeht, finden sich zusammen-
gestellt z. B. in Brosius und Koch, Die Schule des Lokomotiv-

führers, II. Abtlg. Das gilt nicht nur für die Steuerung von Gooch, sondern für alle Umsteuerungen, worauf hier ein für allemal hingewiesen sein möge.

§ 22. Unsymmetrische Steuerungen.

Bisher war ausdrücklich angenommen worden, die Halbmesser und Voreilwinkel der Exzenter und die Längen der Exzenterstangen seien je unter sich gleich, und der Mittelpunkt der Koppel werde wenigstens angenähert in der durch die Drehachse gehenden Schubrichtung des Schiebers geführt. Ist eine, oder sind mehrere dieser Bedingungen nicht erfüllt, so fällt die Steuerung unsymmetrisch aus.

Damit sie doch brauchbar bleibt, darf sich die Mittellage des Schiebers bei einer Änderung der Einstellung hier ebenso wenig verschieben, wie früher. In der scheinbaren Mittellage der Koppel muss daher die Mittellinie ihres Schlitzes nach wie vor ein Kreisbogen sein, dessen Mittelpunkt mit der Mittellage des Endpunktes der Schieberstange zusammenfällt und der die Länge dieser Stange zum Halbmesser hat. Dieser Kreisbogen schneidet die Schubrichtung des Schiebers auch hier senkrecht. Es erscheint daher zweckmässig, obwohl es durchaus nicht nötig wäre, die scheinbare Mittellage der ganzen Koppel überhaupt symmetrisch zur Schubrichtung des Schiebers anzunehmen, wie bei der symmetrischen Steuerung.

Sofern die Schubrichtung des Schiebers, wie bisher, durch den Mittelpunkt der Welle hindurchgeht, wird daher eine Unsymmetrie nur dadurch entstehen können, dass die Exzenter und die Exzenterstangen unsymmetrisch angeordnet werden. Dann muss aber der Mittelpunktsort in eine geneigte gerade Linie übergehen, und daher wird das Voröffnen veränderlich. Man kann dabei die Verhältnisse so wählen, dass, allerdings nur für den einen Drehungssinn der Maschine, für zwei bestimmte Füllungen vorgeschriebene Voröffnungen erreicht werden. Daher würde diese Anordnung namentlich bei Lokomotiven für den Streckendienst angezeigt sein, bei denen für das Anfahren mit grösster Füllung ein kleineres Voröffnen nötig ist, als für die Fahrt auf der Strecke mit kleinerer Füllung.

Beim Entwerfen einer solchen Steuerung bestimmt man auch zuerst den Punkt +4 des Mittelpunktortes für die dort geltenden Werte der Füllung und des Voröffnens. Um ihren zweiten Punkt zu erhalten, benutzt man eine in § 6 und Fig. 8, Taf. I, nachgewiesene Eigenschaft des Schieberdiagrammes. Danach zeichnet man um O , Fig. 25, Taf. IV, einen Kreis mit $OA = e$ als Halbmesser, macht AB

gegenüber dem Durchmesser dieses Kreises gleich dem vorgeschriebenen kleineren Füllungsverhältnisse und zieht $BC \perp OA$; dann ist die Tangente CD an den Kreis in C der geometrische Ort für alle Diagrammexzenter, die bei der schon bekannten äusseren Überdeckung e die vorgeschriebene Füllung ergeben. Auf dieser Tangente hat man nur noch den Punkt D zu bestimmen, der um das verlangte grössere Voröffnen ausserhalb der äusseren Deckungslinie liegt. Die Verbindungslinie $+4 D$ ist dann der gesuchte Mittelpunktort. Doch muss noch sein unterer Endpunkt bestimmt werden.

Bei unsymmetrischen Umsteuerungen giebt man gewöhnlich den beiden Exzenter gleiche Halbmesser und macht nur ihre Voreilwinkel verschieden. Da ausserdem die scheinbare Mittellage der Koppelsehne zur horizontalen Achse symmetrisch angenommen war, so fallen die Schränkungswinkel für beide Exzenter gleich aus. Das hat dann zur Folge, dass die beiden Dreiecke zur Bestimmung der Diagrammexzenter aus den wirklichen, oder umgekehrt, unter sich kongruent werden. Daher erhalten auch die beiden Diagrammexzenter für die äussersten Einstellungen unter sich gleiche Halbmesser. Hiernach findet sich der untere Endpunkt -4 des Mittelpunktortes als sein Schnittpunkt mit dem Kreise durch $+4$ um O . Wird die Koppel, wie in der Figur angenommen ist, in ihrer ganzen Länge ausgenutzt, so sind $+4$ und -4 schon die früher mit K_v und K_r bezeichneten Diagrammexzenter für die beiden Endpunkte der Koppel. Die Bestimmung der wirklichen Exzenter K'_v und K'_r aus diesen erfolgt in bekannter Weise. Bei gekreuzten Stangen fallen K'_v und K'_r ausserhalb von K_v und K_r . Da -4 näher an OS liegt, als $+4$, so führt der Mittelpunkt der Koppel schon vorwärts. Für den toten Punkt der Steuerung muss man daher den Stein näher am Angriffspunkte der Rückwärtsexzenterstange einstellen.

Man kann die Koppel aber auch symmetrisch ausnutzen, so dass ihr Mittelpunkt dem toten Punkte der Steuerung entspricht. Dazu müssen nur die beiden Endpunkte $+4$ und -4 gleich weit von der Schubrichtung OS entfernt angenommen werden. In diesem Falle erhalten aber die beiden wirklichen Exzenter nicht nur ungleiche Voreilwinkel, sondern auch ungleiche Halbmesser.

Die genaue Länge der Exzenterstangen bestimmt sich wie früher. Sie fällt für beide Stangen verschieden aus, wenn auch nur sehr wenig.

Es ist noch eine andere unsymmetrische Anordnung der Umsteuerung von Gooch denkbar.

Viele Erbauer von Lokomotiven legen Wert darauf, bei Zwillingmaschinen die beiden Cylinder kongruent herzustellen und

gleichzeitig die Schieber oben auf die Cylinder zu legen. Beides gleichzeitig ist aber nur zu erreichen, wenn man den Schieberspiegel zur Cylinderachse parallel anordnet, so dass also die Bewegungsrichtung der Schieberstange neben der Welle vorbeigeht. Man könnte dann den Endpunkt der Schieberschubstange, wie bisher angenommen wurde, in der Höhe der Achse des Cylinders führen und die Bewegung auf die Schieberstange durch einen zwischengeschalteten doppelarmigen Hebel übertragen, nur müssten dabei die Exzenter um 180° versetzt aufgekeilt werden; dann bliebe die Steuerung symmetrisch. Man könnte aber auch die Schieberschubstange unmittelbar an der Schieberstange angreifen lassen und erhielte dadurch eine Anordnung, die man als geschränkte Steuerung bezeichnen müsste. Gut ist diese Anordnung aber nicht. Die Schieberschubstange ist dabei gegenüber der Schieberstange ununterbrochen im gleichen Sinne geneigt, im Mittel also unter einem grösseren Winkel als sonst, und das muss stärkere Abnutzungen zur Folge haben. Aus diesem Grunde gehe ich auf die geschränkte Anordnung nicht weiter ein, sondern erwähne nur, dass sie dem hier benutzten Diagramme ebenso leicht und mit den gleichen Annäherungen zugänglich ist, wie die symmetrische.*

§ 23. Abarten der Umsteuerung von Gooch.

Die Bewegung der Koppel einer Steuerung von Gooch lässt sich als aus zwei Teilbewegungen zusammengesetzt ansehen, einer genau oder angenähert geradlinig hin- und hergehenden Bewegung ihres Mittelpunktes und einer schwingenden Bewegung um diesen Punkt. Beide Bewegungen gehen auch auf andere Weise zu erreichen, als bei Gooch; das giebt Abarten dieser Steuerung, die aber nur dann berechtigt sein werden, wenn sie entweder einfacher ausfallen oder dann eine bessere Dampfverteilung ergeben.

Man kann nun zunächst die hin- und hergehende Bewegung des Mittelpunktes der Koppel dadurch erzeugen, dass man ihn unmittelbar durch eine einfache Schubkurbel führt. Da er sich gleich bewegt, wie der Schieber für den toten Punkt der Steuerung, wenigstens bei einer symmetrischen Anordnung, so muss das dazu nötige Exzenter gleich sein dem Diagrammexzenter für den toten Punkt der Steuerung. Ist also in Fig. 26, Taf. IV, $+4 - 4$ der Mittelpunktsort, so müsste der Halbmesser dieses Exzenters die Länge $O \pm 0$ erhalten und sein

*Das Diagramm habe ich in der «Schweizerischen Bauzeitung» 1883, Bd. I, S. 75–77 entwickelt.

Voreilwinkel 90° betragen, so dass sein Mittelpunkt im Maßstabe des Gerippes der Steuerung für den linken toten Punkt der Kurbel in E' liegen würde. Dieses Exzenter wird also verhältnismässig klein. Die Länge der Exzenterstange wäre OM , wenn VMR die scheinbare Mittellage der Koppelsehne darstellt. Dabei könnte man die schwingende Bewegung der Koppel zunächst noch durch eines der alten, z. B. das Vorwärtsexzenter E_v hervorbringen.

Um den Winkel β bestimmen zu können, den die Koppelsehne dann in allgemeiner Lage mit der Vertikalen einschliesst, muss man wissen, um wie viel ihr oberer Endpunkt weiter aus seiner Mittellage V ausgelenkt ist, als ihr Mittelpunkt. Dabei soll aber zur Vereinfachung angenommen werden, die erste Exzenterstange greife im Mittelpunkte der Koppelsehne an. Hat sich die Kurbel von ihrem toten Punkte aus um den Winkel φ gedreht, so sind die Exzentermittelpunkte nach E und E_v , die beiden geführten Punkte der Koppel nach A und B gelangt. Im Maßstabe des Diagrammes ist dabei ± 0 nach C gekommen, und die Auslenkung des Punktes M der Koppel wird daher gleich DC . Dreht man gleichzeitig das Diagrammexzenter $O + 4 = OK_v$ für den obersten Punkt der Koppel um $\angle \varphi$ in die Lage OF , so ist GF die Auslenkung dieses Punktes. Daher wird die Mehrauslenkung von B gegenüber der von A , abgesehen von der endlichen Länge der Exzenterstangen, gleich der Horizontalprojektion der Verbindungslinie CF . Verschiebt man CF parallel sich selbst, bis C nach O , F nach H kommt, so ist der gesuchte Unterschied der Auslenkungen auch gleich JH . Führt man diese Bestimmung für verschiedene Drehwinkel φ durch, so bleibt dabei der Abstand CF ungeändert, alle Punkte H liegen daher in einem Kreise um O mit dem Abstände der beiden Diagrammexzenter $\pm 0 + 4$ als Halbmesser. Den Ausgangspunkt, von dem die Drehwinkel φ zu zählen sind, bildet seine zu $\pm 0 + 4$ parallele, also vertikale Lage, und die Mehr-Auslenkungen von B sind gleich den horizontalen Abständen der Punkte dieses Kreises von seinem vertikalen Durchmesser.* Wird der Halbmesser dieses Kreises mit ρ bezeichnet, so ist der Unterschied der Auslenkungen in allgemeiner Lage auch $JH = \rho \sin \varphi$. An der Koppel ist diese Länge gleich $AN = c \sin \beta$, und daher folgt aus der Gleichsetzung beider Werte:

$$\sin \beta = \frac{\rho}{c} \sin \varphi. \quad (18)$$

* Dieser Kreis ist der gleiche, der bei Doppel-Schiebersteuerungen «relativer Exzenterkreis» benannt wird. Vgl. Seemann, Die Müller'schen Schieberdiagramme, Seite 44–46.

In dieser Anordnung würde die Steuerung nur den Vorteil zeigen, dass ein Exzenter kleiner geworden ist. Dagegen hätten die Exzenterhalbmesser und die Exzenterstangen je verschiedene Längen, so dass eine solche Anordnung doch nicht gerechtfertigt erscheint.

Es sind aber einige Vorschläge gemacht worden, eine Vereinfachung dadurch zu erreichen, dass die beiden Teilbewegungen der Koppel von einem einzigen Exzenter abgeleitet werden.

So will **Tentschert*** nur das Vorwärtsexzenter beibehalten, unter Benutzung einer gekreuzten Vorwärtsexzenterstange. Vom gleichen Exzenter aus wird dem Mittelpunkte der Koppel seine hin- und hergehende Bewegung wesentlich durch einen eingeschalteten Winkelhebel erteilt. Die diesen Winkelhebel führende Exzenterstange fällt aber ungünstig kurz aus.

Ähnlich ist eine der von **Swan**** vorgeschlagenen Anordnungen beschaffen, nur benutzt sie das Rückwärtsexzenter für offene Stangen und bewegt den Winkelhebel von einem Punkte der Rückwärtsexzenterstange aus, wodurch die Verbindungsstange eine etwas grössere Länge erhält.

Eine bedeutende Vereinfachung erreicht **Fink** mit seiner 1857 patentierten, bekannten Steuerung, s. Fig. 27, Taf. IV. Er wendet auch nur ein Exzenter an, das aber den Mittelpunkt der Koppel führt und daher einen kleineren Halbmesser erhält. Gleichzeitig stellt er die Exzenterstange und die Koppel aus einem Stücke her, so dass die Schwingungen der Koppel unmittelbar durch die Änderung der Neigung der Exzenterstange erzeugt werden. Der Neigungswinkel dieser Stange gegenüber der Schubrichtung OS muss daher gleich dem Winkel β sein, den die Sehne oder Tangente der Koppel mit der zu OS senkrechten Richtung bildet. Damit beide Winkel auch den richtigen gegenseitigen Sinn erhalten, muss von gekreuzten Stangen ausgegangen werden. Nach der Figur ist nun $l \sin \beta = r \sin \varphi$, und daraus folgt mit der Gleichung (18):

$$\sin \beta = \frac{r}{l} \sin \varphi = \frac{\rho}{c} \sin \varphi \quad \text{oder} \quad \frac{l}{r} = \frac{c}{\rho}.$$

c/ρ ist aber das gleiche Verhältnis, das in Gleichung (16), Seite 74, zu 2,5 bis 3,0 angegeben wurde. Wenn man es hier auch etwas grösser annimmt, so erhält man doch eine unverhältnismässig kurze Exzenterstange und daher eine ungleichförmige Schieberbewegung und

* Dingler 1881, 241, 241 und D.R.-P., Kl. 14, Nr. 12818.

** Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1887, 236 und D.R.-P., Kl. 14, Nr. 37755.

Dampfverteilung, während die Koppel ungünstig lang ausfällt, namentlich, wenn grosse Füllungen erreicht werden sollen. Diese Steuerung wäre daher höchstens bei Schiffsmaschinen mit Kolbenschieber, wenn nur kleinere Füllungen nötig sind, brauchbar, weil dann Exzenter und Triebkurbel gleich gerichtet sind und sich daher die schädlichen Einflüsse der Kürze der Exzenterstange und der Kurbelstange teilweise gegenseitig aufheben. Für Lokomotiven ist sie dagegen ganz ungeeignet, auch deswegen, weil das Federspiel unmittelbar eine Änderung der Neigung der Koppel erzeugt. Aus der neueren Zeit habe ich auch keine Ausführungen der Umsteuerung von Fink finden können, ausser bei einem amerikanischen Bagger, dort aber nur zur Änderung der Füllung, nicht zur Umsteuerung.

Bei mehrcylindrigen Schiffsmaschinen ist es gelegentlich wünschenswert, die Cylinder möglichst nahe aneinander zu rücken. Dann gehen die Schieber nicht mehr zwischen die Cylinder zu legen, man muss sie vielmehr daneben anordnen. Auch bei Lokomotiven mit äusseren Cylindern legt man die Schieber gern oben darauf, damit sie leichter zugänglich sind. Gleichzeitig ist es in beiden Fällen oft schwierig, auf der Welle Exzenter unterzubringen. Man hat daher Umsteuerungen gesucht, deren Bewegung von der Triebkurbel oder der Kurbelstange abgeleitet wird, so dass sich das ganze Steuerungsgetriebe wesentlich in der Ebene der Kurbelstange bewegt.

Die einfachste dieser Anordnungen ist die von **Baguley***, s. Fig. 28, Taf. IV. Sie leitet die Bewegung der Koppel von der Hauptkurbel ab. Von dieser geht neben der Kurbelstange eine als Exzenterstange aufzufassende Stange AB aus, die den um den festen Punkt C drehbaren zweiarmigen Hebel BCD in schwingende und dadurch die mit ihrem Mittelpunkt an D befestigte Koppel in die hin- und hergehende Bewegung versetzt. An der Koppel ist senkrecht zu ihrer Sehne oder Tangente der Arm DE befestigt, dessen Endpunkt E durch die Stange EF mit dem Punkte F der Exzenterstange verbunden ist, wodurch die Koppel ihre schwingende Bewegung erhält. Wählt man die Längen so, dass die vier Punkte $BDEF$ ein Parallelogramm bilden, so bleibt stets $DE \parallel AB$. Daher ist aber diese Steuerung mit Rücksicht auf die Dampfverteilung wesentlich gleich der von Fink. Macht man dagegen, um grössere Ausschläge der Koppel zu erhalten, den Arm DE kürzer, so fallen ihre Schwingungen ungleichmässiger aus.

* Engineering 1894, I, 775, angewendet an einer Lokomotive.

Eine ähnliche Anordnung hat die **Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik** in Winterthur an den ersten Lokomotiven der Berner-Oberland-Bahnen ausgeführt. Nur erhält die Koppel ihre hin- und hergehende Bewegung von einem unterhalb des Kreuzkopfes befindlichen Punkte aus, während ihre Schwingung von einem Punkte der Kurbelstange durch einen zwischengeschalteten, fest gelagerten Winkelhebel hervorgebracht wird, durch welche Anordnung der nachteilige Einfluss der Kürze der übertragenden Stangen teilweise ausgeglichen werden soll.* In die gleiche Gruppe scheint auch die Steuerung von **Thom**** zu gehören. Die der Quelle beigegebene Figur kann aber nicht richtig sein.

Um weitere Grenzen der Füllung zu ermöglichen, als mit der Steuerung von **Baguley** erreichbar sind, schlägt **Swan**† noch eine andere Anordnung vor, die allerdings wieder ein besonderes Exzenter von 90° Voreilwinkel nötig macht. Ein Punkt der Exzenterstange wird nach der Art der **Evans'schen** «Grashopper»-Maschinen von einer fest gelagerten Schwinge geführt, während ein anderer ihrer Punkte unmittelbar die wie bei **Fink** gestaltete und unterstützte Koppel bewegt. Diese Anordnung gestattet durch Verkürzung des Armes an der Koppel deren Schwingungen beliebig zu vergrößern, dagegen erfordert sie einen weiteren festen Punkt am Maschinengestelle und muss auch eine ungleichförmige Schieberbewegung ergeben. Die Quellen enthalten noch weitere Anordnungen von **Swan**, die eine ist wesentlich gleich der von **Baguley**, nur mit besonderem Exzenter, bei der anderen wird die Bewegung von einem Punkte der Kurbelstange abgeleitet in einer später bei der Steuerung von **Joy** zu besprechenden Art.

Während alle bisher behandelten Abarten der Steuerung von **Gooch** die beiden Teilbewegungen der Koppel von einer Stelle ableiteten, einem Exzenter oder einem Punkte der Kurbelstange, benutzt **Kirk**‡ dazu zwei verschiedene Punkte der Kurbelstange, s. Fig. 29, Taf. IV, wo die Anordnung für einen Kolbenschieber mit

* Die Maschine ist von **Brückmann** in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1898, Seite 294, abgebildet. Die Steuerung war in der Photographie der Fabrik nicht ganz deutlich und ist durch einige Striche ergänzt, die aber nicht richtig eingezeichnet sind. Ebensovienig ist die Benennung dieser Steuerung nach **Belpaire** richtig.

** **Dingler** 1887, 265, 115.

† **Engineering** 1889, II, 642. In England 1885 patentiert.

‡ Patentiert in England 1882, angewendet an Schiffsmaschinen. **Engineering** 1885, I, 111 und 1890, II, 366.

innerer Einströmung gezeichnet ist. Die hin- und hergehende Bewegung des Mittelpunktes der Koppel wird vom Kreuzkopfe *B* aus erzeugt, indem eine Stange *BC* den Endpunkt *C* eines bei *D* gelagerten Hebels fasst, an dessen Punkt *E* der Mittelpunkt der Koppel drehbar befestigt ist. Bei Hammermaschinen wird von der Verlängerung dieses Hebels über *D* hinaus die Luftpumpe angetrieben. Damit sich hierbei der Punkt *E* möglichst genau proportional mit dem Kolben bewegt, muss die Stange *BC* möglichst lang gemacht werden. Dadurch rückt die Koppel weit vom Cylinder weg, so dass auch die Schieberstange lang ausfällt. Um die Koppel in Schwingungen zu versetzen, ist an ihr ein Arm *EF* angebracht, der von einem Punkte der Kurbelstange aus bewegt wird. Da aber eine einfache Verbindungsstange ihre Neigung zu stark ändern würde, schaltet Kirk einen um den Punkt *G* der Kurbelstange drehbaren Hebel *HGJ* ein, führt dessen einen Endpunkt *J* in einem Kreise um den festen Punkt *K* und bewegt die Koppel von seinem anderen Endpunkte *H* aus. Die günstigsten Längenverhältnisse der Stangen müssen ausprobiert werden. Man erhält aber keine besonders gleichförmige Schieberbewegung.

Noch verwickelter sind die Steuerungen von **Douglas*** und von **Payton****, bei denen die günstigsten Verhältnisse auch nur ausprobiert werden können.

Alle diese Abarten der Umsteuerung von Gooch haben bisher theils gar keine, theils nur eine sehr beschränkte Anwendung gefunden.

2. Kapitel.

Die Umsteuerung von Stephenson.†

§ 24. Beschreibung der Steuerung.

Die Steuerung von Stephenson ist die älteste der jetzt benutzten Umsteuerungen, zugleich die erste, die eine Änderung nicht nur des Drehungssinnes, sondern auch der Füllungsverhältnisse ge-

* Patentiert 1884. Engineering 1886, II, 104, an einer Lokomotive; Engineering 1889, II, 316 u. Forts.

** Engineering 1888, II, 172.

† Nach Clark, Railway Machinery, ist diese Steuerung von **Howe** erfunden und nur von Stephenson zuerst bei seinen Lokomotiven angewendet worden.

stattete. Sie ist in den Fig. 30 u. 31 auf Taf. V im Gerippe dargestellt. Dabei zeigen die kräftig ausgezogenen Linien wieder die Lage des Steuerungsgetriebes für den linken, die gestrichelten seine Lage für den rechten toten Punkt der Kurbel. In beiden Lagen steht auch die Steuerung selbst in ihrem toten Punkte.

Aus diesen Zeichnungen ist ersichtlich, dass die Steuerung von Stephenson, wie die von Gooch, auch zwei Exzenter besitzt, die ebenfalls als Vorwärts-Exzenter E'_v und Rückwärts-Exzenter E'_r unterschieden werden. Beide haben stets gleiche Halbmesser und meistens auch gleiche Voreilwinkel, wie sie in den Figuren zunächst angenommen sind. Von den Exzentern gehen wieder zwei gleich lange Exzenterstangen nach den beiden Endpunkten einer Koppel, die hier auch einen passend gekrümmten Gleitrahmen bildet. Die Stangen können ebenfalls offene, Fig. 30, oder gekreuzte, Fig. 31, sein, je nachdem die Vorwärts-exzenterstange am oberen, die Rückwärtsexzenterstange am unteren Endpunkte der Koppel angreift, oder umgekehrt. Die Koppel fasst einen Stein, A , der am äusseren Endpunkte der geradlinig geführten Schieberstange AS befestigt ist und überträgt so die Bewegung auf den Schieber. Bei der zunächst vorausgesetzten symmetrischen Anordnung steht die Koppelsehne für die beiden toten Punkte der Kurbel und für den toten Punkt der Steuerung senkrecht und symmetrisch zur Schubrichtung OS des Schiebers. In den Figuren sind diese beiden Stellungen mit $V'R'$ und $V''R''$ bezeichnet.

So weit wäre die Steuerung von Stephenson ganz ähnlich angeordnet, wie die von Gooch. Der Unterschied beider beruht nun darin, dass zur Änderung der Dampfverteilung bei Gooch die Schieberschubstange mit dem Steine in der Koppel verstellt wurde, während bei Stephenson, wo diese Stange ganz fehlt, die Koppel über dem in der Schubrichtung verbleibenden Steine senkrecht zu OS verschoben wird. Es ist selbstverständlich, dass dabei für Vorwärtsfahren der Endpunkt der Vorwärtsexzenterstange dem Steine genähert werden muss und umgekehrt. Die Koppel muss also nach der entgegengesetzten Seite verstellt werden, wie bei Gooch die Schieberschubstange.

Um die Koppel so verstellen zu können, ist sie an einer Hängestange BR' aufgehängt, oder durch eine solche unterstützt. Die Hängestange selbst ist an dem Aufwerfhebel CB der Steuerwelle C befestigt, welche durch die an einem zweiten Hebel CD angreifende Steuerstange vom Stande des Maschinenwärters aus eingestellt wird. Die Koppel wird von der Hängestange entweder in ihrer Mitte gefasst, und zwar gewöhnlich in der Mittellinie des Schlitzes, oder in dem

Angriffspunkte von einer der Exzenterstangen, wie in den Figuren. Infolge dieser Verstellung der Koppel braucht die Steuerung von Stephenson senkrecht zur Schubrichtung mehr Platz als die von Gooch.

An der Steuerwelle ist noch bei horizontalen Maschinen ein Gegengewicht oder eine Gegenfeder angebracht, die das Gewicht der Koppel, der Hängestange und die Hälfte des Gewichtes der Exzenterstangen bei der Änderung der Einstellung ausgleichen soll. Vertikale Maschinen brauchen natürlich keine solche Ausgleichung.

Da die Schieberstange, der Schieber und der Stein für die Bewegung in der Schubrichtung ein starres Ganzes bilden, so stimmt die Bewegung des Schiebers vollständig mit der des Steines überein. Der Mittelpunkt des Steines bleibt aber selbst ununterbrochen in der Mittellinie des Koppelschlitzes. Zur Untersuchung der Dampfverteilung genügt es daher, die Bewegung desjenigen Punktes des Koppelschlitzes zu bestimmen, der sich gerade in der Schubrichtung OS befindet.

§ 25. Gestalt und Aufhängung der Koppel.

Die Gestalt des Schlitzes in der Koppel bestimmt sich hier, wie bei Gooch, aus der Bedingung, dass die Mittellage des Schiebers für alle Einstellungen der Steuerung ungeändert bleiben sollte. Bei Stephenson lässt sich diese Forderung allerdings nicht ganz genau erfüllen, aber doch mit einer für alle Anwendungen durchaus genügenden Annäherung.

Den Ausgangspunkt für die Untersuchung müssen die beiden Totpunktlagen der Kurbel bilden, weil unter der Mittellage des Schiebers stets die Mitte zwischen seinen beiden zugehörigen Lagen verstanden wird. Ändert man nun die Einstellung der Steuerung für diese Totpunktlagen, so verschieben sich, s. Fig. 32, Taf. V, die Endpunkte der Exzenterstangen, das sind auch die der Koppelsehne, in Kreisbögen v', v'', r', r'' mit den Mittelpunkten E'_v, E''_v, E'_r, E''_r und von einem Halbmesser gleich der Länge l der Exzenterstangen.

Weiterhin müssen nun die Längen der Exzenterhalbmesser, der Exzenterstangen und der Koppelsehne gegenseitig so günstig vorausgesetzt werden, dass der Winkelausschlag der Koppelsehne genügend klein bleibt, um ihre Vertikalprojektion stets ihrer wirklichen Länge gleich setzen zu dürfen. Ferner muss eine Aufhängung der Koppel angenommen werden, bei welcher sie, und also namentlich auch ihre beiden Endpunkte, für die beiden Totpunktlagen der Kurbel je in die gleiche Höhe gelangen. Gleichzeitig liegen diese Punkte aber auch je auf einem der vorhin genannten Kreise.

Für eine bestimmte Einstellung der Steuerung befindet sich dann die Mittellage eines Endpunktes der Koppel auf der zugehörigen Horizontalen in der Mitte zwischen den beiden Kreisen v oder r . In Fig. 32 sind diese Mittellagen für einige Höhen angegeben. Dabei wurde beidseitig als Grenze eine Einstellung angenommen, bei welcher je der eine Endpunkt der Koppel in die Schubrichtung OS des Schiebers fällt. Die äussersten benutzten Punkte der Kreise v und r befinden sich daher in einem Abstände von OS , der gleich ist der ganzen Länge der Koppelsehne. Die zu jeder Einstellung gehörenden Mittellagen gehen am raschesten mit dem Zirkel auszuprobieren. Sie sind, so weit sie überhaupt angegeben werden konnten, mit V oder R und dem Grade der Steuerung als Zeiger bezeichnet.

Will man aber Aufschluss über den Verlauf des geometrischen Ortes der Mittellage erhalten, so muss man sie auf einem Umwege bestimmen. Das ist in Fig. 32 für V_{-2} geschehen. Die zugehörigen Totpunktstellungen des oberen Endpunktes der Koppelsehne befinden sich dabei in den Schnittpunkten der Horizontalen durch V_{-2} mit den Kreisen v' und v'' , also in A und B . Zeichnet man nun um O mit der Länge der Exzenterstange als Halbmesser den mit v' und v'' kongruenten Kreis c , der AB in C schneidet, zieht $E'_v D \parallel E''_v F \parallel OC$ bis zu den Kreisen v' und v'' und ferner CD und CF , so erhält man die Parallelogramme $OCDE'_v$ und $OCFE''_v$. Zieht man noch $OG \parallel E'_v A$ und $OH \parallel E''_v B$ bis zum Kreise c , so werden $OGAE'_v$ und $OHBE''_v$ ebenfalls Parallelogramme. Hieraus folgt nun, dass die Strecken AG, CF, BH und CD sämtlich unter sich und mit OE'_v und OE''_v parallel und gleich sind und dass DCF eine Gerade wird. Daher sind aber auch $AGFC$ und $BHDC$ Parallelogramme, so dass $GF \parallel ACB \parallel DH$ ist und sich diese drei Geraden in gleichen Abständen folgen. Zieht man endlich noch GJ und $HN \perp AB$, so ist $\triangle BHN \cong \triangle AGJ$ und daher $BN = AJ$. Hieraus folgt nun, dass der gesuchte Mittelpunkt der Strecke AB zusammenfällt mit dem Mittelpunkte der Strecke JN . Dieser liegt aber auch im Schnittpunkte der Geraden GH und AB und ist gleichzeitig Mittelpunkt der Sehne GH des Kreises c . Die Sehne GH selbst bestimmt sich dabei auf Grund der letzten Entwicklung so, dass ihre Vertikalprojektion gleich ist der Vertikalprojektion der Strecke $E'_v E''_v$. Sind die Stangen gekreuzt, so ändert sich an dieser Entwicklung nichts Wesentliches, nur wird eine Zeichnung weniger deutlich, weil sich die Gerade DCF und der Kreis c viel schleifender schneiden und gleichzeitig die Strecke AB kürzer ist.

Der geometrische Ort der Mittellagen zunächst des oberen Endpunktes der Koppel fällt hiernach zusammen mit dem geometrischen

Orte der Mittelpunkte derjenigen Sehnen des Kreises c , die mit der Strecke $E'_v E''_v$ gleiche Vertikalprojektion besitzen. Die Sehne selbst ändert ihre Länge. Sie ist am kürzesten, wenn sie vertikal, also symmetrisch zu OS steht, wobei ihr Mittelpunkt nach M auf OS fällt. Dieser Punkt könnte unter den gemachten Annahmen auch als V_{+4} oder R_{-4} bezeichnet werden. Er ist gleichzeitig die Mittellage des Endpunktes der Exzenterstange einer einfachen Schubkurbel und bestimmt sich nach § 2 und Fig. 2, Taf. I, unmittelbar über P . Entfernt man sich von dieser symmetrischen Lage, so neigt sich die Sehne immer stärker, sie selbst und der zugehörige Kreisbogen werden immer länger und die Pfeilhöhe immer grösser. Der gesuchte Ort der Mittellagen entfernt sich daher immer mehr vom Kreise c . Bei allen Anwendungen bleibt aber die Neigung der Sehne GH auch in ihren äussersten Lagen stets so gering, dass man die Änderung der Pfeilhöhe auf dem benutzten Gebiete vernachlässigen und als geometrischen Ort einen Kreis auch um O als Mittelpunkt mit OM als Halbmesser einführen darf. In der Figur ist dieser Kreis strichpunktiert und mit m bezeichnet, und es zeigt sich, trotz der ungünstigen Längenverhältnisse, dass die wirklichen Mittellagen, wenigstens zwischen V_0 und R_0 so genau als man überhaupt zeichnen kann, auf den Kreis m fallen. Weiter aussen geschieht das allerdings nicht mehr; so stark geneigte Teile dieses Kreises kommen aber bei den Anwendungen gar nicht mehr in Frage.

Wollte man bei der Bestimmung der Mittellagen die wirkliche Aufhängung der Koppel und ihre Schwingungen berücksichtigen, so müsste man die Punkte A und B in Fig. 32 verschieden hoch annehmen. Als Mittellage des betrachteten Endpunktes der Koppel würde man dann am besten den Mittelpunkt der jetzt geneigten Strecke AB einführen. Seine Bestimmung wäre genau die alte, die Figur würde sich nur so verschieben, als wenn OS gedreht worden wäre. Allerdings würde diese Drehung eine Änderung der Länge OM zur Folge haben, und zwar für jeden Grad der Steuerung um einen anderen Betrag. Fallen aber A und B nie in stark verschiedene Höhen, so bleiben diese Änderungen klein, und als geometrischer Ort der Mittellagen kann doch mit genügender Genauigkeit der vorige Kreis m beibehalten werden.

Für die Rückwärtsexzenterstange würde bei einer symmetrischen Steuerung eine genau symmetrische Untersuchung gelten. Daher fallen die beiden Kreise, in welchen die Mittellagen der Endpunkte der beiden Exzenterstangen, oder der Koppel angenommen werden dürfen, in einen zusammen. Verbindet man die zwei zusammengehörenden

Mittellagen der beiden Endpunkte der Koppel durch eine Gerade, so enthält diese auch die Mittellagen aller übrigen Punkte der Koppelsehne. Diese Gerade ist daher derjenige geometrische Ort, der schon in § 14 als die scheinbare Mittellage der Koppelsehne bezeichnet wurde. Sie bleibt, wie aus den letzten Entwicklungen folgt, bei einer Änderung der Einstellung der Steuerung Sehne des Kreises m , wobei es, so wie die Längenverhältnisse wirklich ausgeführt werden, gleichgültig ist, ob man die Länge der Sehne selbst, oder die Länge ihrer Vertikalprojektion als unveränderlich einführt. Nimmt man daher, um einfachere Ergebnisse zu erhalten, die Länge selbst unveränderlich an, so entspricht einer Änderung der Einstellung der Steuerung eine Drehung der scheinbaren Mittellage der Koppelsehne um den Mittelpunkt O der Welle.

Soll sich nun bei einer solchen Drehung die Mittellage des Schiebers, also auch die des Steines nicht ändern, so muss die Mittellinie des Schlitzes in der Koppel die Schubrichtung OS stets in dem nämlichen Punkte schneiden. Das kann aber nur dann geschehen, wenn der Schlitz in seiner scheinbaren Mittellage nach einem Kreisbogen mit O als Mittelpunkt gekrümmt wird. Welchen von diesen Kreisbögen man wählt, ist für die Unveränderlichkeit der Mittellage des Schiebers gleichgültig. Die Regelmässigkeit der weiteren Dampfverteilung erfordert aber, dass sich der Schlitz nur möglichst wenig von der Sehne entfernt. Daher würde es am besten sein, die Koppelsehne in die Mitte zwischen Sehne und Tangente des benutzten Bogens des Schlitzes zu legen. Eine solche Anordnung kommt aber bei Stephenson kaum vor. Man wählt vielmehr entweder den Kreis m selbst durch die Angriffspunkte der Exzenterstangen, wobei unter Umständen nicht die ganze Länge der Koppel ausgenutzt werden kann, oder man nimmt einen ausserhalb liegenden Kreis, der dann auch bei einteiliger Koppel ihre ganze Länge auszunutzen gestattet.

Die weitere Gestalt der Koppel bleibt wesentlich die gleiche, wie sie in den Fig. 24a bis 24c, Taf. IV, für die Steuerung von Gooch dargestellt ist. Nur kehrt die Koppel hier der Welle ihre hohle Seite zu, und daher müssen bei der Anordnung 24c die Augen für den Angriff der Exzenterstangen auch auf der hohlen Seite angebracht werden.

Je nach der Lage des Schlitzes gegenüber der Sehne muss also der Krümmungshalbmesser seiner Mittellinie bald etwas kürzer, bald etwas länger genommen werden als die Exzenterstange. Der hier eingeschlagene zeichnerische Weg gestattet daher eine genauere Be-

stimmung der Krümmung der Koppel als der gebräuchliche analytische, der für alle beliebigen Anordnungen auf einen Krümmungshalbmesser von genau der Länge der Exzenterstangen führt. Nur Hoefler* giebt einen abweichenden Wert an. Seine Formel ist aber recht unbequem und gilt auch nicht allgemein, sie setzt vielmehr ausdrücklich voraus, dass die Mittellinie des Schlitzes durch die Angriffspunkte der Exzenterstangen geht. Mit dem zeichnerisch gefundenen Werte stimmt seiner nicht genau überein, weil beide unter verschiedenartigen Annäherungen hergeleitet sind. Infolge solcher unvermeidlicher Annäherungen kann die Mittellage des Schiebers nie vollkommen unveränderlich erhalten werden. Doch bleiben die Abweichungen hinreichend klein, so dass die Dampfverteilung durchaus brauchbar ausfällt.

Die Einstellung der Steuerung von Stephenson auf eine bestimmte Dampfverteilung wird, wie schon angegeben wurde, durch ein Heben oder Senken der Koppel erreicht. Dazu ist die Koppel an einer Hängestange aufgehängt, oder durch eine solche unterstützt. Diese Stange lässt man am besten in der Mitte der Koppelsehne angreifen, weil so die Bewegung der Koppel für beide Seiten am gleichartigsten ausfällt. Gleichzeitig sollte die Hängestange aber auch möglichst lang sein, damit sich die Bahn ihres Angriffspunktes an der Koppel möglichst wenig von einer horizontalen Geraden entfernt. Daher lässt man die Hängestange auch oft an einem Endpunkte der Koppelsehne angreifen, und zwar womöglich am gleichen, wie die Exzenterstange für den am meisten benutzten Drehungssinn, um für diesen eine möglichst gute Bewegung zu erhalten.

Damit der Schieber wirklich auf beiden Seiten je gleich weit voröffnet, müsste der unterstützte Punkt der Koppel, in Fig. 31 auf Taf. V ihr oberer Endpunkt, für die beiden toten Punkte der Kurbel bei jeder Einstellung der Steuerung je in die gleiche Höhe gelangen. Dazu müsste aber der Endpunkt des Aufwerfhebels, an dem der andere Endpunkt der Hängestange angreift, je senkrecht über oder unter der Mittellage des unterstützten Punktes der Koppel stehen. Er müsste also einen Kreisbogen beschreiben, der gleichen Halbmesser besitzt und kongruent liegt wie der Bogen, in dem sich die Mittellage des unterstützten Punktes der Koppel selbst verschiebt. Dieser Bogen ist nun, wenn die Koppel in einem ihrer Endpunkte gefasst wird, ein Stück des Kreises m der Fig. 32, sonst ein konzentrischer. Jedenfalls liegt aber der Mittelpunkt dieses Kreises im Mittelpunkte O der Welle. Die Steuerwelle müsste also in der Senkrechten durch

* Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1891, 476.

das Wellenmittel gelagert werden und der Aufwerfhebel eine Länge erhalten, angenähert so gross wie die der Exzenterstangen. Es ist das eine ähnliche Forderung, wie für die Aufhängung der Schieber Schubstange bei der Steuerung von Gooch.

Aber auch bei Stephenson wird der Aufwerfhebel niemals so lang gemacht. Wenn es der Platz nicht anders gestattet, so wird die Steuerwelle auch nicht auf der Seite der Welle gelagert, sondern auf der des Cylinders. Man nimmt die daher rührende Unregelmässigkeit der Dampfverteilung und Ungleichheit des beidseitigen Voröffnens mit in Kauf, um eine bequemere Anordnung des ganzen Steuerungstriebes zu erhalten. Die weitere Bestimmung der Aufhängung erfolgt wesentlich wie bei der Schieber Schubstange von Gooch, nur dass der dort in Fig. 22, Taf. IV, stets symmetrisch zur Schubrichtung liegende Bogen der D hier dann unsymmetrisch ausfällt, wenn die Koppel in einem ihrer Endpunkte unterstützt wird.

§ 26. Herleitung des Diagrammes.

Bei der Steuerung von Stephenson lässt sich, gleich wie bei der von Gooch, ein mit Zirkel und Lineal allein zeichenbares Diagramm nur dann herleiten, wenn man wesentlich ähnliche Annäherungen zulässt wie dort. Man muss also auch hier alle Längenverhältnisse so günstig voraussetzen, dass man annehmen darf, für alle Einstellungen der Steuerung bewegten sich die beiden Endpunkte der Koppelsehne stets in zwei unter sich und mit der Schubrichtung des Schiebers parallelen Geraden, deren gegenseitiger Abstand ununterbrochen gleich der Länge der Koppelsehne bleibt. Durch eine Änderung der Einstellung der Steuerung ändern diese beiden Geraden ihre gemeinschaftliche Höhenlage gegenüber der unveränderlichen Schubrichtung des Schiebers. Man hat es also wieder mit der Zusammensetzung zweier geschränkter Schubkurbelbewegungen zu thun, deren Schränkungswinkel sich aber mit der Einstellung der Steuerung ändern. Die ganze Dampfverteilung ist nach früheren Untersuchungen leicht bestimmbar, sobald der Mittelpunktsort bekannt ist; es kommt also namentlich darauf an, diesen aufzusuchen. Zwei seiner Punkte lassen sich nun sofort besonders einfach angeben. Denkt man sich nämlich in Fig. 30, Taf. IV, die Koppel so weit gesenkt oder gehoben, dass der Endpunkt einer der beiden Exzenterstangen in die Schubrichtung OS des Steines gelangt, so übernimmt das zugehörige Exzenter allein die Führung des Schiebers und zwar wie durch eine einfache Schubkurbel, während das andere Exzenter und die Koppel vorübergehend ganz ausser Wirksamkeit treten. Das zugehörige Diagrammexzenter muss daher mit dem

einen, arbeitenden wirklichen Exzenter K'_v oder K'_r zusammenfallen. Daraus folgt aber, dass K'_v und K'_r zwei Punkte des gesuchten Mittelpunktsortes sind, die unter den der Figur zu Grunde liegenden Annahmen, als die beiden äussersten, mit $+4$ und -4 bezeichnet werden müssen. In Fig. 31, Taf. V, geht die Koppel allerdings nicht so weit auszulenken. Denkt man sie sich aber durch eine solche mit zwei Schilden ersetzt, oder legt man die Angriffspunkte der Exzenterstangen neben den Schlitz, so wird es doch möglich, V oder R nach OS zu bringen. Daher muss der Mittelpunktsort auch hier durch die wirklichen Exzenter K'_v und K'_r hindurchgehen, nur entsprechen diese Punkte keiner erreichbaren Dampfverteilung mehr.

Eine weitere wichtige und auch stets mögliche Einstellung der Koppel ist die zur Schubrichtung OS symmetrische, wie sie in den Figuren 30 u. 31 vorausgesetzt wurde. Dabei bewegt sich nach den zugelassenen Annäherungen der Mittelpunkt der Koppel in der Schubrichtung OS , also gerade so, wie sich der gleiche Punkt bei Gooch immer bewegt. Daher bestimmt sich das zugehörige Diagrammexzenter ± 0 wie dort, entweder über K_v (Fig. 30), indem man $K_v \pm 0 \perp OS$ zieht, oder man kann auch von der am Schlusse von § 13 und in Fig. 18, Taf. III, nachgewiesenen Beziehung Gebrauch machen, wonach $K'_v \pm 0$ um den Schränkungswinkel α gegenüber der Vertikalen geneigt ist, und kurz $K'_v \pm 0 \perp OV$ ziehen. Da dieses Diagrammexzenter einen Voreilwinkel von 90° erhält, so entspricht es dem toten Punkte der Steuerung. Der Punkt ± 0 fällt bei offenen Stangen, bei denen $\alpha > 0$ ist, ausserhalb der Verbindungslinie $K'_v K'_r$, s. Fig. 30, bei gekreuzten Stangen dagegen wegen $\alpha < 0$ innerhalb, s. Fig. 31.

Wird nun die Koppel in allgemeiner Höhenlage eingestellt, so dass z. B. wie in Fig. 33, Taf. V, ihr oberer Endpunkt, offene Stangen vorausgesetzt, um c_v über, der untere um c_r unter der Schubrichtung liegt, so muss das zugehörige Diagrammexzenter auf dem in § 14 allgemein entwickelten Wege bestimmt werden. Trägt man danach an die wirklichen Exzenter die zugehörigen, hier ungleichen Schränkungswinkel $K'_v OK_v = \alpha_v$ und $K'_r OK_r = \alpha_r$ an und zieht $K'_v K_v \perp OK'_v$ und $K'_r K_r \perp OK'_r$, so werden K_v und K_r die Diagrammexzenter zunächst für die beiden Endpunkte der Koppel. Teilt man jetzt noch die Verbindungslinie $K_v K_r$ durch den Punkt P im gleichen Verhältnisse, wie der Stein die Koppel, macht man also

$$PK_v : PK_r = c_v : c_r,$$

so wird P das Diagrammexzenter für die untersuchte Einstellung der Steuerung, also ein weiterer Punkt des Mittelpunktsortes.

Auf diese Art liesse sich der ganze Ort Punkt für Punkt bestimmen, ausgehend von immer anderen zusammengehörigen Wertepaaren von c_v und c_r . Die Zeichnung würde aber undeutlich ausfallen, weil die verschiedenen Geraden $K_v K_r$ sehr nahe zusammenrücken. Auch ginge so das Gesetz der Krümmung des Mittelpunktes nicht zu erkennen. Dieses muss aber aufgesucht werden, damit man den ganzen Ort aus einer möglichst kleinen Anzahl unmittelbar bestimmter Punkte genügend genau zeichnen kann. Das wahre Gesetz ist allerdings sehr verwickelt. Dagegen kommt man auf eine ganz einfache Linie, wenn man von der stets zulässigen Annahme ausgeht, dass der Schränkungswinkel für alle Einstellungen der Steuerung genügend klein bleibt, um $\sin \alpha = \tan \alpha$ setzen zu dürfen. Dann lässt sich, wie in § 13, Gleichung (12) und nach Fig. 33 setzen:

$$\tan \alpha_v = \frac{c_v}{l} = \frac{K'_v K_v}{OK'_v} \quad \text{und} \quad \tan \alpha_r = \frac{c_r}{l} = \frac{K'_r K_r}{OK'_r}. \quad (19)$$

Hieraus folgt, da $OK'_v = OK'_r = r$ ist:

$$\frac{K'_v K_v}{c_v} = \frac{K'_r K_r}{c_r} = \frac{r}{l}. \quad (20)$$

Für den toten Punkt der Steuerung wird $c_v = c_r = c$, gleich der halben Länge der Koppelsehne, und gleichzeitig $K'_v K_{v_0} = K'_r K_{r_0}$; daher ist auch:

$$\frac{K'_v K_{v_0}}{c} = \frac{K'_r K_{r_0}}{c} = \frac{r}{l}. \quad (21)$$

Da ferner nach den der ganzen Entwicklung zu Grunde gelegten Annahmen $c_v + c_r = 2c$ bleibt, also $c_r - c = c - c_v$ ist, so folgt mit Gleichung (20) und (21) auch, da sich r/l weghebt:

$$K'_r K_r - K'_r K_{r_0} = K_{r_0} K_r = K'_v K_{v_0} - K'_v K_v = K_{v_0} K_v. \quad (22)$$

Zwei zusammengehörige Diagrammexzenter für die beiden Endpunkte der Koppel sind also von K_{v_0} und K_{r_0} je gleich weit entfernt, liegen aber auf verschiedenen Seiten der Vertikalen $K_{v_0} K_{r_0}$.

Um nun das Diagrammexzenter der Schieberbewegung für die allgemeine Einstellung zu erhalten, muss man noch die Strecke $K_v K_r$ im Punkte P so teilen, dass sich nach Gleichung (20) verhält:

$$PK_v : PK_r = c_v : c_r = K'_v K_v : K'_r K_r. \quad (23)$$

Diese Teilung geht unter anderen auf folgendem Wege vorzunehmen: Man zieht durch K'_v und K'_r zwei Horizontalen und fällt auf sie Senkrechten aus den Punkten K_v und K_r , deren Fusspunkte A und B sind. Dann ist wegen ähnlicher Dreiecke und nach Gleichung (21) u. (23):

$$\frac{K'_v K_v}{K'_r K_r} = \frac{AK_v}{BK_r} = \frac{c_v}{c_r} = \frac{PK_v}{PK_r} = \frac{PA}{PB}. \quad (24)$$

Die Gerade AB teilt also $K_v K_r$ in dem verlangten Verhältnisse. Auf diesem Wege würde sich der gesuchte Punkt P allerdings nur durch einen unbrauchbar schleifenden Schnitt finden lassen. Die letzte Beziehung der Gleichung (24) zeigt aber, dass der Punkt P auch die Gerade AB in dem verlangten Verhältnisse teilt. Diese Gerade hat nun eine besonders einfache Lage. Da nämlich nach Gleichung (22) $K_v K_{r_0} = K_r K_{v_0}$ ist, und da wegen der Symmetrie der ganzen Steuerung beide Strecken auch gleich gegenüber OS geneigt sind, so müssen ihre horizontalen Projektionen ebenfalls unter sich gleich sein. Die beiden Punkte A und B befinden sich daher in beidseitig gleichen Abständen von der Vertikalen $A_0 K_{v_0} M K_{r_0} B_0$. Sie sind aber auch, weil sie in gleicher Höhe mit K'_v und K'_r liegen, von der Horizontalen OMS gleich weit entfernt. Und daraus folgt, dass die Gerade AB durch den Mittelpunkt M der Strecke $A_0 B_0$ gehen muss. Diese bequemer liegende Gerade AB kann man nun mit einem fast senkrechten Schnitte teilen, indem man zunächst die Verbindungslinie $K'_v K'_r$ durch den Punkt D im verlangten Verhältnisse

$$DK'_v : DK'_r = c_v : c_r \quad (25)$$

teilt und durch D eine Horizontale zieht, die dann AB in dem gesuchten Punkte P schneidet. Der Punkt D selbst lässt sich bestimmen, indem man $AD \parallel A_0 D_0$ zieht.

Für die verschiedenen Einstellungen der Steuerung erhält man dabei auf der Horizontalen durch K'_v eine Punktreihe der A , deren Abstände von K'_v proportional sind mit den c_v , auf der Vertikalen durch K'_r eine Punktreihe der D , deren Abstände von K'_r ebenfalls mit den c_r proportional sind, wenn auch in anderem Verhältnisse. Daher sind aber auch die beiden Punktreihen der A und der D unter sich proportional. Die Punkte des Mittelpunktsortes ergeben sich nun, indem Strahlen aus M nach den Punkten A zum Schnitte gebracht werden mit Horizontalen durch die entsprechenden Punkte D . Dadurch erhält man aber bekanntlich eine Parabel im Rechtecke $MA_0 K'_v D_0$. Der Mittelpunktsort der Steuerung von Stephenson wird also unter den zugelassenen Annäherungen eine Parabel durch die drei Punkte K'_v , K'_r und M oder ± 0 . Da OM die Achse der Parabel ist, M ihr Scheitel, so ist sie dadurch vollständig bestimmt.

Die Parabel ist aber nur auf einem verhältnismässig sehr kleinen Stücke zu beiden Seiten ihres Scheitels nötig. Daher kann man in der Annäherung noch weiter gehen und sie durch einen Kreisbogen ersetzen, der am einfachsten auch durch die gleichen drei Punkte K'_v , ± 0 und K'_r gelegt wird. Sein Mittelpunkt befindet sich, wegen der symmetrischen Lage von K'_v und K'_r , auf der Schubrichtung OS des

Schiebers, und zwar bei offenen Stangen auf der Seite der Welle, wie in Fig. 30, bei gekreuzten auf der Seite des Cylinders, wie in Fig. 31. Da die beiden Punkte K'_v und K'_r als die Mittelpunkte der wirklichen Exzenter unmittelbar gegeben sind, so braucht also nur noch der Punkt M , am einfachsten auf dem in Fig. 31 benutzten Wege, bestimmt zu werden, um dann sofort den ganzen Mittelpunktsort einzeichnen zu können. Die den einzelnen Graden der Steuerung entsprechenden Punkte auf diesem Orte teilen den Abstand der beiden Horizontalen durch K'_v und K'_r im gleichen Verhältnisse, wie gleichzeitig der Stein die Länge der Koppelsehne. Geht dabei die Koppel auf ihrer ganzen Länge auszunutzen, s. Fig. 30, so fallen die Diagrammexzenter für die äussersten Grade $+4$ und -4 mit den wirklichen Exzentern zusammen. Ist das nicht der Fall, s. Fig. 31, so liegen $+4$ und -4 innerhalb K'_v und K'_r .

Mit Rücksicht auf spätere Anwendungen soll hier noch eine wichtige, wenn auch nur angenähert geltende Eigenschaft des Mittelpunktsortes der Stephenson'schen Steuerung nachgewiesen werden. Man kann nämlich eine vorgeschriebene Bewegung der Koppel genügend übereinstimmend durch verschiedene Exzenter hervorbringen, wenn man diese richtig wählt und gleichzeitig die Länge der Koppelsehne in bestimmtem Verhältnisse mit ändert.

Soll bei einer Steuerung von Stephenson durch verschiedene Exzenter stets die gleiche Dampfverteilung erzeugt werden, so müssen alle diese Exzenter den gleichen Mittelpunktsort ergeben. Und da bei Stephenson der Mittelpunktsort durch die wirklichen Exzenter hindurchgeht, so müssen umgekehrt alle neuen Exzenter auf dem alten Mittelpunktsorte liegen. Es seien nun in Fig. 34, Taf. III, E und E' zwei solche gleichwertige Exzenter auf derselben Parabel $EE'PM$, x, y und x', y' ihre auf den Parabelscheitel bezogenen Koordinaten. Aus der am Schlusse von § 13 und in Fig. 18, Taf. III, nachgewiesenen Beziehung und aus der Gleichung der Parabel $y^2 = px$ folgt nun

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{x}{y} = \frac{y}{p}, \quad \operatorname{tang} \alpha' = \frac{x'}{y'} = \frac{y'}{p}. \quad (26)$$

Es bezeichne ferner c und c' die den beiden Exzentern entsprechende halbe Länge der Koppelsehne, l_0 den Halbmesser des Kreises mm der Fig. 32, Taf. V, auf dem sich die Mittellage der Endpunkte der Koppelsehne befindet, so wird:

$$\sin \alpha = \frac{c}{l_0}, \quad \sin \alpha' = \frac{c'}{l_0}. \quad (27)$$

Bleiben nun α und α' genügend klein, um $\sin = \operatorname{tang}$ setzen zu dürfen,

so folgt aus (26) u. (27) zunächst $y/p = c/l_0$ und $y'/p = c'/l_0$ und daraus

$$\frac{y}{c} = \frac{y'}{c'} = \frac{p}{l_0} = \text{const.} \quad (28)$$

Man kann hiernach bei einer Steuerung von Stephenson einen bestimmten Mittelpunktsort mit verschiedenen Exzentern erreichen, wenn diese Exzenter auf dem ursprünglichen Mittelpunktsorte liegen und die Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel proportional zur vertikalen Koordinate des Exzentermittelpunktes mit verschoben werden. Mit der Annäherung, mit der man $\sin \alpha = \text{tang } \alpha$ setzen und den Mittelpunktsort als Parabel ansehen darf, wird sich der gerade in die Schubrichtung des Schiebers fallende Punkt der Koppel bei allen solchen Exzentern stets gleich bewegen.

Für andere Punkte der Koppel ergibt sich allerdings eine weniger gute Übereinstimmung. Um das nachzuweisen, soll untersucht werden, wie sich bei einer allgemeinen Einstellung der Steuerung, bei der, wie in Fig. 34, Taf. III, rechts, die Koppel um u aus ihrer symmetrischen Lage gesenkt ist, der im Abstände c' über dem Mittelpunkte der Koppel befindliche Punkt bewegt, einmal, wenn zwei symmetrische Exzenter E vorhanden sind mit einer Länge der Koppelsehne gleich $2c$, das andere mal, bei zwei Exzentern E' mit einer Koppelsehne von der Länge $2c'$, entsprechend Gleichung (28).

Zunächst werde die Koppel durch die Exzenter E geführt vorausgesetzt. Dann bewegt sich der Endpunkt der Vorwärtsexzenterstange in e , im Abstände $c-u$ über OS . Das Diagrammexzenter für diese Bewegung findet sich nach Fig. 33, Taf. V, wenn man

$$EA = \alpha c \text{ und} \quad (29)$$

$$EB = \alpha(c-u) \quad (30)$$

macht, senkrecht unter B in C auf $EC \perp OE$. α bedeutet dabei eine von den Grössenverhältnissen der Steuerung und des Diagrammes abhängige Zahl. Nach der Figur und nach Gleichung (30) ist ferner:

$$CB = EB \cdot \text{tang } \delta = \alpha(c-u) \text{ tang } \delta. \quad (31)$$

Auf der Geraden BM erhält man das Diagrammexzenter für den in OS bewegten Punkt der Koppel in P , wenn P die Strecke BM im gleichen Verhältnisse teilt, wie OS den Abstand zwischen e und m . Zeichnet man dann noch die Vertikale DF so ein, dass sich verhält

$$PD:PC = DF:CB = (c'-u):(c-u),$$

so wird der Punkt D auf PC das Diagrammexzenter für denjenigen Punkt der Koppel, der sich auf e' bewegt. Hieraus und mit (31) folgt

$$DF = \alpha(c'-u) \text{ tang } \delta. \quad (32)$$

Der Schnittpunkt von CDP mit AM wäre das Diagrammexzenter für den Mittelpunkt der Koppel, und daher sind auch auf BM die gegenseitigen Abstände der vier Punkte B, F, P und M proportional mit den gegenseitigen Abständen der vier Horizontalen e, e', OS und m , und es verhält sich, auch mit (28), und auf der Geraden $ME'G$:

$$MF:MB = c':c = y':y = ME':MG = E'F:GB. \quad (33)$$

Hieraus folgt aber zunächst, dass F auf die Horizontale durch E' fällt.

Da E' auch auf der Parabel $MPE'E$ liegt, so ergibt sich aus der Zeichnung der Parabel im Rechtecke und nach Gleichung (28), dass sich verhalten muss:

$$EG:EA = (y - y'):y = (c - c'):c, \quad (34)$$

und daher ist, wenn EA aus Gleichung (29) eingesetzt wird:

$$EG = \alpha(c - c'). \quad (35)$$

Damit und mit Gleichung (30) wird ferner:

$$BG = EB - EG = \alpha(c' - u). \quad (36)$$

Endlich giebt Gleichung (33) und (36) noch:

$$E'F = \frac{c'}{c} GB = \alpha(c' - u) \frac{c'}{c}. \quad (37)$$

Es soll jetzt angenommen werden, dass die Koppel durch Exzenter E' geführt werde, und dass sich also bei der allgemeinen Einstellung der Steuerung der Endpunkt der Vorwärtsexzenterstange in der Horizontalen e' bewege. Dann liegt das Diagrammexzenter für diesen Punkt auf $E'H \perp OE'$ senkrecht unter dem Punkte, der die Strecke $E'J$ im Verhältnisse $(c' - u):c'$ teilt. Nun ist mit Gleichung (29) u. (35) und nach der Figur $GA = EA - EG = \alpha c'$, und hiermit und mit (36) $\frac{E'F}{E'J} = \frac{GB}{GA} = \frac{c' - u}{c'}$.

Daher ist aber F auch der gesuchte Punkt auf $E'J$, und das Diagrammexzenter für die Bewegung des Endpunktes der Vorwärtsexzenterstange in e' liegt senkrecht unter F auf FD in H . Aus der Figur und aus Gleichung (37) folgt dabei:

$$FH = E'F \cdot \tan \delta' = \alpha(c' - u) \frac{c'}{c} \tan \delta'. \quad (38)$$

Je nachdem man die Koppel durch Exzenter E oder E' bewegt, erhält man also für den in e' geführten Punkt nach Gleichung (38) und (32) verschiedene Diagrammexzenter D und H . Beide liegen auf derselben Vertikalen, und das Verhältnis ihrer Abstände von F wird:

$$\frac{HF}{DF} = \frac{c' \tan \delta'}{c \tan \delta}. \quad (39)$$

Da nach der Figur $\tan \delta = (s-x)/y$ und $\tan \delta' = (s-x')/y'$ ist, so schreibt sich dieses Verhältnis auch, wenn man es noch nach Gleichung (28) vereinfacht:

$$\frac{HF}{DF} = \frac{c'}{c} \frac{s-x'}{y'} \frac{y}{s-x} = \frac{s-x'}{s-x}. \quad (40)$$

Nun musste aber Fig. 34, um deutlich zu sein, in stark verzerrten Verhältnissen gezeichnet werden. In Wirklichkeit bleibt die Pfeilhöhe des benutzten Parabelbogens stets bedeutend kleiner. Daher bleiben auch die Koordinaten x und x' sehr klein gegenüber s und dürfen in Gleichung (40) neben s vernachlässigt werden, woraus

$$HF = DF \quad (40a)$$

folgt, so dass also diese beiden Diagrammexzenter in weiterer Annäherung zusammenfallen.

Was hier von den beiden Exzentern E und E' nachgewiesen wurde, gilt auch für je zwei ganz beliebige andere zwei Exzenter. Und das vorhin nach Gleichung (28) für die Dampfverteilung einer Stephenson'schen Steuerung gefundene Ergebnis lässt sich folglich dahin verallgemeinern, dass die ganze Bewegung der Koppel angenähert ungeändert bleibt, wenn man die Exzenter auf dem Mittelpunktsorte verschiebt und gleichzeitig die Länge der Koppelsehne proportional zur Vertikalprojektion dieser Verschiebung mit ändert. Allerdings geht diese Annäherung weiter als die frühere, man muss sie aber trotzdem bei einer späteren Anwendung zulassen, um dort einfache Beziehungen zu erhalten. Wenn übrigens die ganze Bewegung der Koppel für die verschiedenen Exzenter genügend genau als gleich angesehen werden darf, so folgt daraus als selbstverständlich, dass man auch jedes Exzenter einzeln und unabhängig vom anderen ändern kann.

§ 27. Die Dampfverteilung.

Die Dampfverteilung ändert sich bei der Steuerung von Stephenson wesentlich gleichartig, wie bei der von Gooch: Mit der Entfernung vom toten Punkte wächst der Halbmesser des Diagrammexzenters, während der Voreilwinkel abnimmt, so dass auch die Füllung immer grösser wird. Der besondere Verlauf dieser Änderungen weicht aber von dem bei Gooch ab, weil bei Stephenson der Mittelpunktsort gekrümmt ist. Das hat namentlich zur Folge, dass das Voröffnen veränderlich wird, und zwar ist es bei offenen Stangen für die grösste Füllung, bei gekreuzten Stangen für den toten Punkt am kleinsten. Setzt man die beiden Figuren 30 u. 31, Taf. V, in halber natürlicher Grösse gezeichnet voraus, so ergibt sich aus ihnen:

Grad der Steuerung:	0	1	2	3	4
offene Stangen, Füllung:	12,7	28,1	47,4	64,0	76,8 ⁰ / ₁₀₀
» » Voröffnen:	8,2	8,0	6,9	4,8	2,0 mm
gekreuzte Stangen, Füllung:	5,3	20,7	41,0	57,4	69,0 ⁰ / ₁₀₀
» » Voröffnen:	2,8	3,0	4,6	5,8	8,2 mm

In beiden Figuren sind gleiche Überdeckungen angenommen und gleiche Halbmesser der Diagrammexzenter für den 4. Grad. Dabei werden durch eine Kreuzung der Stangen alle Füllungsgrade verkleinert, im Mittel um rund 7 ⁰/₁₀₀. Die Raschheit der Änderung der Füllung wird also hier durch die Anordnung der Stangen nicht wesentlich beeinflusst. Das Voröffnen ändert sich sehr stark, trotzdem die Schränkungswinkel und auch die übrigen Grössen durchaus innerhalb der Grenzen der Ausführungen liegen. Dass diese Änderungen in beiden Figuren verschieden ausgefallen sind, rührt aber nicht von der Anordnung der Stangen, sondern daher, dass in beiden verschiedene Schränkungswinkel für den toten Punkt der Steuerung angenommen wurden.

Die starke Veränderlichkeit des Voröffnens ist ein Nachteil der Steuerung von Stephenson. Bei offenen Stangen verläuft zwar das Voröffnen so, wie es in § 20 als für Lokomotiven günstig angegeben wurde, es ändert sich aber doch zu stark. Gekreuzte Stangen sind dafür sogar ganz unzweckmässig. Bei Maschinen dagegen, die nur selten umgesteuert werden müssen, namentlich wenn sie noch wie die grossen Schiffsmaschinen eine besondere Vorrichtung zum Drehen der Kurbeln in eine gute Anfahrstellung besitzen, geht die Steuerung so anzuordnen, dass sie für die gebräuchlichen Füllungen ein günstiges Voröffnen ergibt. Wenn dieses dann auch bei den selten benutzten Füllungen ungünstig wird, so schadet das nicht viel.

Damit sonst die Dampfverteilung auf beiden Seiten des Cylinders möglichst gleichartig verläuft, sollten zunächst die Exzenterstangen möglichst lang sein. In dieser Richtung scheint nun die Steuerung von Stephenson der von Gooch weit überlegen, weil sie nicht auch noch eine lange Schieberschubstange nötig hat. Doch werden bei beiden Steuerungen die Exzenterstangen in Wirklichkeit verhältnismässig etwa gleich lang ausgeführt. Bei Lokomotiven machen es oft die Verbindungen des Rahmens mit den Führungslinealen unmöglich, die Koppel näher an den Cylinder zu legen. Ausserdem werden bei ihnen und auch bei den feststehenden Maschinen die Exzenterstangen so wie so genügend lang. Für Schiffsmaschinen ist dagegen die Steuerung von Stephenson ganz besonders geeignet und wird dort auch bevorzugt, weil diese wegen der verhältnismässig kurzen Kurbel-

stange für eine Schieberschubstange keinen Platz mehr bieten. Die Exzenterstangen werden aber auch hier nicht länger als bei Gooch.

Da der Stein gewöhnlich genau geradlinig geführt wird, während sich der unterstützte Punkt der Koppel in einem Kreisbogen bewegt, so muss die Steuerung von Stephenson ein mittelgrosses Springen zeigen, verglichen mit den Unterstützungen bei Gooch von der gleichen oder von verschiedenen Seiten der Schubrichtung des Schiebers.

Bei Lokomotiven übt das Spiel der Tragfedern angenähert den gleichen ungünstigen Einfluss aus wie bei Gooch.

Die Steuerung von Stephenson ist als die älteste gute Umsteuerung auch heute noch die am meisten angewendete. Nur bei Lokomotiven wird sie in einigen Ländern, namentlich in Belgien, Deutschland und der Schweiz, immer mehr durch andere Steuerungen verdrängt.

§ 28. Entwerfen einer neuen Steuerung.

Beim Entwerfen einer neuen Steuerung von Stephenson kann man wesentlich den gleichen Weg einschlagen, der oben für Gooch angegeben wurde, doch macht die gekrümmte Gestalt des Mittelpunktsortes einige Abweichungen nötig. Da nämlich die Krümmung für offene und gekreuzte Stangen entgegengesetzt verläuft, so muss von vornherein eine Entscheidung über die Anordnung der Stangen getroffen werden. Auf die Dampfverteilung übt die Art der Stangen, wie aus der Zusammenstellung in § 27, Seite 98 folgt, keinen wesentlichen Einfluss aus. Man wird daher bei der Wahl mehr äusserliche Umstände berücksichtigen müssen: den Sinn des Ausschlages des Steuerhebels und Platzverhältnisse, wie das schon bei der Steuerung von Gooch in § 21 besprochen wurde.

Zunächst kann nun wieder das Steuerungsdiagramm für den äussersten Grad der Steuerung gezeichnet werden wie früher. Bei offenen Stangen geht man dabei von den gleichen Zahlenwerten aus wie in den §§ 6 u. 21. Höchstens könnte es geraten erscheinen, weil der Mittelpunktsort der äusseren Deckungslinie die hohle Seite zukehrt, das Voröffnen oder den Voröffnungswinkel für die stärkste Füllung kleiner zu wählen als dort angegeben wurde, damit beide Grössen bei den am meisten benutzten schwächeren Füllungen nicht zu gross ausfallen. Bei gekreuzten Stangen wird man dagegen die stärkste Füllung eher etwas kleiner wählen, um kein zu grosses Exzenter zu erhalten. Das Voröffnen muss dagegen grösser genommen werden als früher, weil es sonst für die gebräuchlichen kleineren

Füllungen nicht genügen würde. So erhält man im Diagramme die beiden Punkte $+4$ und -4 .

Wird nun zunächst eine Anordnung der Koppel vorausgesetzt, die ihre ganze Länge auszunutzen gestattet, wie in Fig. 30, Taf. V, so sind diese beiden Diagrammexzenter auch schon die wirklichen Exzenter K_v' und K_r' . Damit sind im Maßstabe des Gerippes der Steuerung auch die beiden Exzentermittelpunkte E_v' und E_r' gegeben.

Weiterhin muss die Länge der Koppelsehne, $2c$, gewählt werden, in gleicher Weise wie früher. Bei horizontalen Maschinen ist also

$$2c = (2,5 \text{ bis } 3,0) E_v' E_r', \quad (41)$$

während bei vertikalen, wo die Koppel beim Umsteuern im Mittel senkrecht zur Richtung der Schwerkraft bewegt wird, $2c$ oft grösser vorkommt, nämlich:

$$2c \text{ bis über } 4 E_v' E_r'. \quad (41a)$$

Es fehlt jetzt nur noch die Länge der Exzenterstangen. Diese sollte möglichst gross sein. Man muss daher suchen, die Koppel so nahe an den Cylinder zu legen als es der Platz nur irgend gestattet. Ist danach die scheinbare Mittellage der Koppel in einer Zeichnung der Maschine festgelegt, so geht daraus die Länge der Exzenterstangen in der schon mehrfach benutzten Art zu bestimmen. Sie wird gleich dem Abstände der beiden Punkte P und V .

Sind diese Stücke bekannt, so geht der Mittelpunktort zu zeichnen, und es muss mit seiner Hülfe noch untersucht werden, ob die übrige Dampfverteilung günstig ausfällt und ob sie überhaupt brauchbar ist. Sonst müssen die Annahmen in geeigneter Weise abgeändert werden. Namentlich bei gekreuzten Stangen kann der Mittelpunktort in der Nähe seines Scheitels die äussere Deckungslinie schneiden. Einer solchen unbrauchbaren Dampfverteilung hilft man am einfachsten durch eine Verkleinerung der äusseren Überdeckung ab. Die dadurch bewirkte Vergrösserung der stärksten Füllung schadet nichts. Eine Wiederholung der ganzen Zeichnung mit geeigneteren Annahmen erscheint daher unnötig.

Soll die Koppel nicht in ihrer ganzen Länge ausgenutzt werden, so geht man auf Grund der Entwicklungen am Schlusse von § 26 zunächst so vor, als wenn ihre Länge nur gleich dem ausgenutzten Teile $2c'$ wäre und macht diesen, s. Fig. 31,

$$2c' = (2,5 \text{ bis } 3) (+4 - 4). \quad (42)$$

Nun verschiebt man die Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel nach auswärts, gleich weit wie bei Gooch, und nimmt gleichzeitig die wirklichen Exzenter K_v' und K_r' auf dem verlängerten Mittelpunktorte im gleichen Verhältnisse mit, macht also:

$$\frac{2c}{2c'} = \frac{K'_v K'_r}{+4 - 4} = 1,3 \text{ bis } 1,5. \quad (43)$$

Fallen bei einer grossen Maschine die Halbmesser der Exzenter zu gross aus, so kann man schliesslich die Exzentermittelpunkte auf dem Mittelpunktsorte und die Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel proportional näher zusammenrücken, dann wird $c' > c$, und die Endpunkte der Koppelsehne müssen für die äussersten Grade der Steuerung auf je die entgegengesetzte Seite der Schubrichtung verstellt werden.

§ 29. Unsymmetrische Steuerungen.

Bei der allgemeinsten Art der Unsymmetrie würden die Exzenter ungleiche Halbmesser und Voreilwinkel und die Exzenterstangen ungleiche Länge erhalten. Unabhängig von der Symmetrie befindet sich nun, wie in § 25 und Fig. 32, Taf. V, nachgewiesen wurde, die Mittellage des Endpunktes jeder Exzenterstange genügend genau in einem Kreisbogen m um O als Mittelpunkt. Im allgemeinsten Falle erhält man zwar für die beiden Endpunkte zwei verschiedene Kreisbögen, mit einer Änderung der Einstellung der Steuerung dreht sich aber die scheinbare Mittellage der Koppelsehne doch auch um O . Damit die Mittellage des Schiebers dabei ungeändert bleibt, muss also auch hier die Mittellinie des Koppelschlitzes in dieser scheinbaren Mittellage nach einem Kreisbogen um O gekrümmt sein. Dadurch erhalten aber die Angriffspunkte der Exzenterstangen verschiedene Abstände vom Koppelschlitz. Solche unsymmetrische Koppeln werden jedoch nicht ausgeführt, und es soll daher ausdrücklich weiterhin eine Koppel gewöhnlicher Anordnung vorausgesetzt werden. Dann müssen die beiden Kreisbögen m in einen zusammenfallen, der die Schubrichtung des Schiebers in M_0 schneidet, s. Fig. 35, Taf. III. Dagegen müssen die beiden Exzenterstangen verschieden lang genommen werden, nämlich $l_v = M_0 N_v$, $l_r = M_0 N_r$.

Um den Mittelpunktsort für eine solche unsymmetrische Steuerung zu finden, zieht man zunächst $K'_v K'_r$ und dann $K'_v A^*$ und $K'_r B$, beide senkrecht zu $K'_v K'_r$. Bei allgemeiner Einstellung mit den Koppelabschnitten c_v und c_r ist dann, wenn der Halbmesser des Kreises m wieder mit l_0 bezeichnet wird, genügend genau:

$$\text{tang } \alpha_v = \frac{c_v}{l_0}, \quad \text{tang } \alpha_r = \frac{c_r}{l_0}. \quad (44)$$

* In Fig. 35 ist aus Versehen der Punkt rechts neben K'_v mit K bezeichnet, anstatt mit A .

Die Diagrammexzenter K_v und K_r für die beiden Endpunkte der Koppel liegen dabei auf $K'_v K_v \perp OK'_v$ und $K'_r K_r \perp OK'_r$ in den Abständen, mit Gleichung (44):

$$K'_v K_v = r_v \tan \alpha_v = c_v \frac{r_v}{l_0}, \quad K'_r K_r = r_r \tan \alpha_r = c_r \frac{r_r}{l_0}. \quad (45)$$

Jetzt muss die Strecke $K_v K_r$ durch P im Verhältnisse von $c_v : c_r$ geteilt werden. Dazu zieht man, ähnlich wie bei den symmetrischen Steuerungen, $K_v A \parallel K_r B \parallel K'_v K'_r$, dann wird mit den Winkelbezeichnungen φ und ψ der Figur:

$$K_v A = K'_v K_v \sin \varphi \quad \text{und} \quad K_r B = K'_r K_r \sin \psi, \quad (46)$$

also mit Gleichung (45) und durch Division, wobei sich l_0 weghebt:

$$K_v A : K_r B = c_v r_v \sin \varphi : c_r r_r \sin \psi. \quad (47)$$

Nun ist $\angle OK'_v K'_r = \varphi$ und $\angle OK'_r K'_v = \psi$, weil die Schenkel bezüglich senkrecht aufeinander stehen. Zieht man noch $OC \perp K'_v K'_r$, so wird daher $OC = r_v \sin \varphi = r_r \sin \psi$, und damit vereinfacht sich Gleichung (47) in:

$$K_v A : K_r B = c_v : c_r \quad \text{und auch} \quad = AP : BP. \quad (48)$$

Das wäre also die gleiche Teilung, wie bei einer symmetrischen Steuerung, nur dass die ganze Figur geneigt steht. Doch zeigt sich auch noch in anderer Richtung eine Abweichung. Bezeichnet man nämlich die Punkte für die Einstellung des Mittelpunktes der Koppel in die Schubrichtung, also für $c_v = c_r = c$, mit dem Zeiger o , so liegt das zugehörige Diagrammexzenter zunächst im Mittelpunkte M der Strecke $K_{v_0} K_{r_0}$. Wegen $c_v = c_r$ folgt aber aus Gleichung (48) $K_{v_0} A_0 = K_{r_0} B_0$, und daher ist M auch Mittelpunkt der Strecke $A_0 B_0$. Ausserdem muss, da $K'_v A_0$ und $K'_r B_0$ beide $\perp K'_v K'_r$ gezogen waren, auch die Gerade durch M gehen, die im Mittelpunkte D_0 der Strecke $K'_v K'_r$ senkrecht auf dieser steht. Ferner folgt aus der Figur mit Gleichung (45):

$$K'_v A = K'_v K_v \cos \varphi = c_v \frac{r_v}{l_0} \cos \varphi, \quad K'_r B = K'_r K_r \cos \psi = c_r \frac{r_r}{l_0} \cos \psi,$$

$$K'_v A_0 = K'_v K_{v_0} \cos \varphi = c \frac{r_v}{l_0} \cos \varphi, \quad K'_r B_0 = K'_r K_{r_0} \cos \psi = c \frac{r_r}{l_0} \cos \psi.$$

Die Subtraktion dieser Gleichungen ergibt:

$$\left. \begin{aligned} K'_v A_0 - K'_v A &= AA_0 = (c - c_v) \frac{r_v}{l_0} \cos \varphi, \\ K'_r B - K'_r B_0 &= BB_0 = (c_r - c) \frac{r_r}{l_0} \cos \psi. \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

Da aber $c - c_v = c_r - c$ ist, so folgt durch Division das Verhältnis:

$$AA_0 : BB_0 = r_v \cos \varphi : r_r \cos \psi \quad \text{auch} \quad = CK'_v : CK'_r = \text{const.} \quad (50)$$

Das beweist aber, dass alle Geraden AB durch einen und denselben Punkt F auf A_0B_0 gehen müssen, der gleichzeitig auch auf der Verlängerung von OC liegt. Die Diagrammexzenter ergeben sich also als die Schnittpunkte des Strahlenbüschels aus F nach der Punktreihe der A oder B und eines Parallelenbüschels durch die proportionale Punktreihe der D auf $K'_vK'_r$, so dass der Mittelpunktsort auch hier angenähert eine Parabel wird. Die Achsrichtung dieser Parabel ist $MD_0 \parallel OCF$, und da die beiden Punkte K'_v und K'_r symmetrisch gegenüber MD_0 liegen, so ist MD_0 selbst die Achse, M der Scheitel. In weiterer Annäherung geht aber die Parabel auch wieder durch einen Kreisbogen zu ersetzen, der durch die drei Punkte K'_v , K'_r und M bestimmt ist.

Giebt man wie gewöhnlich den Exzenter gleiche Halbmesser, so fallen die beiden Punkte C und D_0 zusammen; die Achse des Mittelpunktsortes geht dann durch den Mittelpunkt der Welle, und die Punkte A_0 , K_{v_0} , M , K_{r_0} und B_0 kommen auf eine Gerade zu liegen, die gleichzeitig Scheiteltangente in M wird.

Unsymmetrische Steuerungen von Stephenson werden gelegentlich angewendet, um die Veränderlichkeit des Voröffnens für den häufiger benutzten Drehungssinn zu verkleinern. Man kann dann, wie z. B. bei Lokomotiven, das Voröffnen für zwei verschiedene Füllungen, die grösste und die gebräuchlichste, vorschreiben. Die Bestimmung der Verhältnisse des Steuerungsgetriebes lässt sich aber nur dann einfach durchführen, wenn gleiche Exzenter und ein kreisförmiger Mittelpunktsort vorausgesetzt werden. Die Koppel soll dabei zunächst auf ihrer ganzen Länge ausnutzbar sein. Dann werden die beiden Diagrammexzenter, K'_v in Fig. 36, Taf. III, für die stärkste und A für die gebräuchliche Füllung, in bekannter Weise bestimmt. Ausserdem wählt man die Länge der Koppelsehne und ihre scheinbare Mittellage wie gewöhnlich. Damit finden sich: der Schränkungswinkel α für die Einstellung des Mittelpunktes der Koppel in die Schubrichtung und das zugehörige Diagrammexzenter K_{v_0} für den oberen Endpunkt der Koppel.

Wenn jetzt B der richtige Mittelpunkt des kreisförmigen Mittelpunktsortes K'_vAM wäre, so würden folgende Beziehungen bestehen: Da $\angle OK'_vK_{v_0} = \angle OK_{v_0}M = 90^\circ$ ist, so liegen die vier Punkte O , K'_v , K_{v_0} und M auf demselben Kreise vom Durchmesser OK_{v_0} und mit C als Mittelpunkt. Dieser Kreis wurde übrigens schon in Fig. 18, Taf. III, eingeführt. Ferner sind als Peripheriewinkel über dem Bogen $K'_vK_{v_0}$ und als Winkel an der Grundlinie des gleichschenkeligen Dreieckes OCK'_v

$$\angle K'_vOK_{v_0} = \angle K'_vMK_{v_0} = \angle OK'_vC = \alpha. \quad (51)$$

Zieht man BCD , so schneidet diese Linie die Sehne MK'_v in deren Mitte senkrecht, und es ist, weil die Schenkel senkrecht aufeinander stehen

$$\angle MBD = \angle K'_v MK_{v_0} = \alpha. \quad (52)$$

Da nach Gleichung (51) und (52) auch $\angle OBC = \angle MBD = \angle OK'_v C = \alpha$ ist, so müssen die vier Punkte K'_v , C , O und B ebenfalls auf einem Kreise liegen, dessen Mittelpunkt sich in E befindet. Dieser Kreis ist durch die nur von dem Exzenter K'_v und dem Schränkungswinkel abhängigen drei Punkte O , K'_v und C vollständig bestimmt. Bei einer unsymmetrischen Steuerung von Stephenson mit Exzentern von gleichem Halbmesser liegt also der Mittelpunkt des kreisförmigen Mittelpunktsortes jedenfalls auf diesem Kreise um E .*

Hiernach findet sich B einfach in folgender Weise: Man zeichnet den Kreis durch O , K'_v und C um E und errichtet im Mittelpunkte F der Sehne $K'_v A$ $FB \perp K'_v A$. Der Schnittpunkt B dieser Senkrechten mit dem Kreise um E ist dann der gesuchte Mittelpunkt. Verlängert man noch den Mittelpunktsort $K'_v A M$ über M hinaus und bringt ihn zum Schnitte mit dem Kreise um O durch K'_v , so giebt der Schnittpunkt die Lage des Rückwärtsexzenters K'_r .

Die ganze Entwicklung ist zunächst für offene Stangen durchgeführt worden. Dabei rückt das Rückwärtsexzenter K'_r gegenüber einer symmetrischen Anordnung nach links, vielleicht sogar auf die innere Seite der äusseren Deckungslinie. Dann gingen aber die äussersten Grade rückwärts nicht mehr zu brauchen, denn es könnte das Anfahren in dieser Richtung vielleicht unmöglich werden.

Für gekreuzte Stangen gilt die vorige Entwicklung wesentlich ungeändert, nur dass dabei der Mittelpunkt E des Hilfskreises rechts unten von OK'_v zu liegen kommt. Soll dann eine ähnliche Dampfverteilung nach vorwärts erreicht werden, wie sie eben für offene Stangen angenommen wurde, so muss der Mittelpunktsort von links oben nach rechts unten geneigt sein. Dadurch rückt das Rückwärtsexzenter weiter von der äusseren Deckungslinie weg, so dass alle Grade nach rückwärts möglich werden. Dagegen wird das Voröffnen für die äussersten Grade sehr gross, wodurch das Anfahren in dieser Richtung jedenfalls erschwert, vielleicht sogar auch verunmöglicht wird. Im letzten Falle muss man einige der gemachten Annahmen ändern, oder auch auf die ursprünglich gewollte Dampfverteilung verzichten.

Will man bei einer unsymmetrischen Steuerung die Koppel nicht auf ihrer ganzen Länge ausnutzen, so geht man zunächst so vor, als

* Vgl. «Schweiz. Bauzeitung» 1895, Bd. 26, S. 132.

ob das doch der Fall wäre. Dann verlängert man die Koppel und verschiebt die Exzenter auf dem Mittelpunktsorte wie bei der symmetrischen Anordnung. Denn die Beziehungen, die dort zwischen einer solchen Verschiebung der Exzenter und der Verlegung der Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel nachgewiesen wurden, gelten auch unverändert bei unsymmetrischer Anordnung, wenn die Abstände der Exzentermittelpunkte von der jetzt geneigten Achse des als Parabel anzusehenden Mittelpunktsortes gezählt werden.

Auch die Steuerung von Stephenson geht wie die von Gooch im ganzen zu schränken, so dass der Mittelpunkt der Welle nicht auf der Schubrichtung des Schiebers liegt. Da aber diese Anordnung kaum je ausgeführt werden wird, so begnüge ich mich auch hier wie bei Gooch damit, auf die «Schweizerische Bauzeitung» 1883, I, Seite 75, hinzuweisen, wo ich sie genauer untersucht habe.

§ 30. Abarten der Umsteuerung von Stephenson.

Trotzdem die Steuerung von Stephenson die älteste und auch heute noch die am meisten benutzte Umsteuerung ist, sind nur ganz vereinzelt Abarten von ihr vorgeschlagen worden.

Nicht als eigentliche Abart ist die Anordnung anzusehen, bei der die Schieberstange in der Nähe des Steines statt mit einer Prismenführung mit einer fest gelagerten Hängestange unterstützt ist, wobei sie in der Nähe des Schieberkastens ein Gelenk erhalten muss. Legt man den Drehpunkt der Hängestange auf die Seite der Steuerwelle, so wird das Springen des Steines etwas verkleinert. Hauptvorteil ist aber der Ersatz der gleitenden Reibung durch Zapfenreibung und die sicherere Führung durch das Drehkörperpaar.

Eher geht die bei den amerikanischen Lokomotiven gebräuchliche Anordnung als Abart anzusehen. Dort sitzt nämlich der Stein am unteren Endpunkte eines um eine vertikale Mittellage schwingenden zweiarmigen Hebels, an dessen oberem Endpunkte die Schieberstange befestigt ist, die übrigens gewöhnlich, wenn auch nicht immer, ohne Einschaltung eines Gelenkes durch das Stopfzeug bis zum Schieber reicht. Durch diese Anordnung erhält man bei Zwillingsmaschinen kongruente Cylinder.

Als eigentliche Abart könnte man, ähnlich wie bei Fink, nur ein Exzenter mit 90° Voreilwinkel anwenden, die Exzenterstange mit der Koppel aus einem Stücke herstellen und zur Änderung der Dampfverteilung die Koppel heben und senken. Dadurch erhielte man eine im ganzen sehr kurze Steuerung, aber auch wegen der geringen

Länge der Exzenterstange, eine ungleichförmige Dampfverteilung. Von anderer Seite ist diese Anordnung meines Wissens noch nicht vorgeschlagen worden.

Lobnitz* vermeidet bei einer Maschine mit drei unter je 120° versetzten Kurbeln die Exzenter ganz, indem er jeden Schieber unter Einschaltung einer Stephenson'schen Koppel je von den beiden anderen Kreuzköpfen aus bewegt. Das würde symmetrischen Exzentern mit 30° Voreilwinkel entsprechen. Natürlich muss der Hub der Kreuzköpfe durch Hebelvorrichtungen zuerst stark verkleinert werden. Diese Hebelübersetzung fällt ziemlich verwickelt aus und beeinträchtigt die Gleichförmigkeit der Schieberbewegung.

Um unveränderliches Voröffnen zu erhalten will **Miksche**** die Bewegung von den Exzenter durch einen senkrechten Schlitz abnehmen. An der Koppel hat er auch überall Prismenführungen. Die Anordnung erscheint kaum empfehlenswert.

Ferner hat noch **Mc Culloch**† eine Abart vorgeschlagen. Er benutzt nur ein einziges Exzenter mit 90° Voreilwinkel. Ein Punkt des Exzentertringes auf der vom Cylinder abgewendeten Seite wird durch eine Schwinge angenähert in der Schubrichtung des Schiebers geführt. Von zwei anderen symmetrisch zur Schubrichtung liegenden Punkten des Ringes gehen die beiden Exzenterstangen aus, die dann eine Stephenson'sche Koppel bewegen. Die beiden führenden Punkte des Exzentertringes beschreiben ellipsenartige Bahnen. Der einzige Vorteil dieser Anordnung wäre die Vermeidung zweier Exzenter.

Ausführungen von diesen eigentlichen Abarten der Steuerung von Stephenson sind mir nicht bekannt.

Dagegen ist eine andere Abart bei einigen Lokomotiven der Bahn Paris-Orléans ausgeführt worden††, um das Voröffnen unveränderlich zu erhalten. Zu diesem Zwecke sind beide Exzenter und Exzenterstangen als einfache, nicht geschränkte Schubkurbeln angeordnet. Die Endpunkte der Exzenterstangen bewegen zunächst zwei um die nämliche Achse drehbare Hebel. Von je einem anderen Punkte dieser Hebel gehen zwei Schubstangen nach den beiden Endpunkten der Koppel. Die Längenverhältnisse sind so gewählt, dass sich die beiden Hebel für die beiden toten Punkte der Kurbel genau decken. In diesen Lagen wird die Koppel nach einem Kreisbogen

* Engineering 1888, I, Seite 51. Patent vom 9. Dez. 1887.

** Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1881, 102 und daraus Dingler 1881, 242, 314.

† Engineering 1888, II, Seite 369. Patent vom 6. Juli 1888.

†† Rev. gén. des chemins de fer 1890, 13¹, Seite 242.

gekrümmt, dessen Mittelpunkt in den jetzt zusammenfallenden Anfangspunkten der Schubstangen liegt. Die Anordnung braucht in der Länge gleich viel Platz, wie die Steuerung von Gooch, dagegen hat sie mehr Teile nötig, so dass die Unveränderlichkeit des Voröffnens doch zu teuer erkauft erscheint.

3. Kapitel.

Die Umsteuerung von Allan.

§ 31. Beschreibung der Steuerung.

Die Steuerung von Allan bildet, verglichen mit den bisher untersuchten Steuerungen von Gooch und von Stephenson, eine allgemeinere Anordnung der Umsteuerungen mit veränderlicher Koppel. Während nämlich zur Hervorbringung einer Änderung der Dampfverteilung bei Gooch nur der Stein, bei Stephenson nur die Koppel gehoben oder gesenkt wurde, werden bei Allan beide Stücke gleichzeitig verstellt. Aus den folgenden Untersuchungen geht zu ersehen, dass man der Koppel im allgemeinsten Falle innerhalb gewisser Grenzen jede beliebige Krümmung geben könnte, nur müsste der gegenseitige Betrag beider Verstellungen richtig danach bemessen werden, und umgekehrt. Allan hat nun die denkbar einfachste Gestalt der Koppel gewählt und sie geradlinig gemacht. Das ergibt eine Anordnung der Steuerung wie sie in Fig. 37, Taf. VI, dargestellt ist.

Auf der Welle O befinden sich wieder zwei Exzenter symmetrisch aufgekeilt, das Vorwärtsexzenter E_v und das Rückwärtsexzenter E_r . Von ihnen gehen zwei Exzenterstangen aus, die die Koppel in den beiden Punkten V und R fassen. Dabei liegt bei offenen Stangen, wie in der Figur, V über, R unter der Schubrichtung des Schiebers, bei gekreuzten Stangen V unter, R oberhalb.

Die Koppel wird, wie schon erwähnt, geradlinig ausgeführt. In der Figur ist sie in ihrer ganzen Länge ausnutzbar vorausgesetzt. Sie fasst den Stein A und bewegt so die Schieberschubstange AB , die im Punkte B gelenkig mit der geradlinig geführten Schieberstange BS verbunden ist.

Um die zur Änderung der Dampfverteilung nötige Verstellung der Koppel und der Schieberschubstange hervorbringen zu können,

sind diese Stücke beide aufgehängt. Die Koppel wird gewöhnlich in ihrem Mittelpunkte M gefasst, die Schieberschubstange in einem Punkte C nahe am Steine, der meistens auf der Seite des Cylinders liegt. In diesem Falle erhalten die beiden Hängestangen MD und CF gleiche Länge. Sie sind an den beiden Endpunkten D und F eines auf der Steuerwelle G aufgekeilten doppelten, aber ungleicharmigen Aufwerfhebels befestigt. Die Steuerwelle selbst wird in der gleichen Weise, wie bei den übrigen Umsteuerungen durch eine Steuerstange vom Stande des Maschinenwärters aus eingestellt. Soll sich die Maschine vorwärts drehen, so muss der Stein A dem Angriffspunkte V der Vorwärtsexzenterstange genähert werden. Das erfordert bei offenen Stangen, wie in der Figur, eine Hebung des Steines und eine Senkung der Koppel, also eine Drehung der Steuerwelle aus ihrer mittleren Lage in dem dem Uhrzeiger entgegengesetzten Sinne. Für gekreuzte Stangen gilt das Umgekehrte. In der Figur ist die Steuerung in einer allgemeinen Einstellung gezeichnet, aber für den linken toten Punkt der Kurbel.

Ein Gegengewicht an der Steuerwelle ist bei Allan entbehrlich. Das grössere Gewicht der Koppel und der Hälfte der Exzenterstangen greift an dem kürzeren Aufwerfhebel an, das kleinere Gewicht von reichlich der Hälfte der Schieberschubstange am längeren, und da zeigt es sich, dass sich die beiden Drehmomente genügend von selbst ausgleichen.

§ 32. Aufhängung von Koppel und Schieberschubstange.

Der Forderung, dass die Mittellage des Schiebers für alle Einstellungen der Steuerung ungeändert bleiben soll, wird bei Allan dadurch genügt, dass die Auslenkungen der Koppel und des Steines aus der Schubrichtung in bestimmte gegenseitige Abhängigkeit gebracht werden.

Was in dieser Richtung zunächst die Koppel anbetrifft, so gelten für sie hier dieselben Entwicklungen, die in § 25 mit Fig. 32, Taf. V, für die Koppel einer Steuerung von Stephenson durchgeführt wurden. Bei einer Verstellung der Koppel verschieben sich die Mittellagen V_0 und R_0 ihrer Endpunkte angenähert in einem Kreisbogen m , dessen Mittelpunkt sich in O befindet. Zur Untersuchung der Steuerung von Allan ist dieser Kreisbogen in der stark verzerrt gezeichneten Fig. 38, Taf. VI, auch mit m bezeichnet. Die scheinbare Mittellage der Koppel bleibt bei einer Änderung der Einstellung Sehne dieses Kreises m , oder auch Tangente des um den gleichen

Mittelpunkt O beschriebenen Kreises p , der die Koppel in ihrem Mittelpunkte M berührt. Bei einer allgemeinen Einstellung schneidet daher die scheinbare Mittellage der Koppel die Schubrichtung des Schiebers neben M_0 , und zwar immer auf der Seite des Cylinders.

Soll trotzdem die Mittellage des Schiebers, also auch die Mittellage B_m des Endpunktes der Schieberschubstange ungeändert bleiben, so muss der Stein so weit mit ausgelenkt werden, bis er wieder in die neue scheinbare Mittellage der Koppel hineinfällt. Bei dieser Auslenkung bewegt sich aber der Stein in einem Kreisbogen um B_m als Mittelpunkt, also in dem mit n bezeichneten Kreise, der ebenfalls durch M_0 geht, da der Stein für den toten Punkt der Steuerung mit dem Mittelpunkte der Koppel in OS zusammenfällt. Es ist hiernach leicht, für jede angenommene Verstellung der Koppel die zugehörige Auslenkung des Steines zu bestimmen. Man könnte aber auch für eine angenommene Erhebung des Steines die zugehörige Senkung der Koppel suchen. Endlich wäre es auch möglich, davon auszugehen, dass ein bestimmter, gewählter Punkt der Koppel die Führung des Steines und des Schiebers übernehmen soll. Je nachdem muss man dabei entweder den Schnittpunkt einer Geraden, der Koppel in ihrer scheinbaren Mittellage, z. B. M_4A_4 in Fig. 38, mit dem Kreise n bestimmen, oder von einem Punkte A_4 des Kreises n eine Tangente an den Kreis p ziehen, oder endlich den Schnittpunkt zweier Kreise suchen, nämlich von n und einem Kreise um O . In allen diesen Fällen erhält man aber zwei Lösungen, die beide den vorgeschriebenen Bedingungen genügen. Die eine entspricht Auslenkungen der beiden zu bewegenden Stücke nach entgegengesetzten Seiten, die andere nach der gleichen Seite von OS . Für die Dampfverteilung kommt es aber wesentlich nur auf die Verschiebung des Steines gegenüber der Koppel an. Und da lässt sich die gleiche Verschiebung mit kleinerer Gesamtauslenkung und kleineren Schräkungswinkeln erreichen, wenn man beide Stücke im entgegengesetzten Sinne bewegt. Die Steuerung von Allan wird daher stets in dieser Art ausgeführt.

Sind auf einem der angegebenen Wege einige zusammengehörige Stellungen der Koppel und des Steines bestimmt, so kommt es jetzt darauf an, die Aufhängung beider Stücke so anzuordnen, dass diese gegenseitige Bewegung wirklich erreicht wird. Dabei zeigt sich aber noch eine Schwierigkeit. Denkt man sich nämlich den Punkt M der Koppel, Fig. 38, auf dem Kreise p um je gleiche senkrechte Beträge von M_0 aus nach abwärts verschoben, so ist aus der Figur ohne weiteres ersichtlich, dass der Schnittpunkt A der Mittellinie des Koppelschlitzes

mit dem Kreise n anfangs rascher, später immer langsamer auf diesem Kreise aufsteigt, weil MA Tangente des Kreises p bleibt und daher immer flachere Stellen des Kreises n trifft. Daher muss das Verhältnis der Erhebung des Steines zur Senkung der Koppel mit zunehmender Auslenkung stetig abnehmen. Mit einem geradlinigen Aufwerfhebel, wie ihn Allan benutzt, wird dieses Verhältnis aber unveränderlich erhalten. Und da scheint der Gedanke nahe zu liegen, die Aufhängung so anzuordnen, dass Koppel und Stein bei einer mittleren Einstellung der Steuerung gerade in die richtige gegenseitige Höhenlage kommen. Das wäre aber doch nicht zweckmässig.

Geht man nämlich, wie es in Fig. 38 geschehen ist, davon aus, dass bestimmte Punkte der Koppel die Führung übernehmen sollen, so findet man die zugehörigen Stellungen A des Steines, indem man Kreise um O durch die angenommenen Punkte auf der Koppelsehne mit dem Kreise n zum Schnitte bringt. Diese Schnitte fallen nun um so schleifender aus, je näher am toten Punkte der Steuerung die Einstellung gewählt worden ist. Daher wird dort die Bestimmung der Auslenkungen unsicherer, namentlich, wenn man der Figur richtige Grössenverhältnisse zu Grunde legt. Ein sehr schleifender Schnitt beweist aber umgekehrt, dass ein strenges Einhalten der genauen Beträge der Auslenkungen gar nicht unumgänglich nötig ist. Die Mittellage des Schiebers verschiebt sich trotzdem nur so wenig, dass die Dampfverteilung durchaus brauchbar bleibt. Bei der Bestimmung der Aufhängung wird man daher am besten von der Füllung ausgehen, bei welcher der Schnitt des Kreises um O mit dem Kreise n am schärfsten ausfällt, also von der stärksten Füllung.

Da bei richtigen Grössenverhältnissen der Figur dieser Schnitt aber doch ziemlich schleifend bleibt, so möge noch eine Berechnung des Verhältnisses λ der Erhebung des Steines gegenüber der Senkung der Koppel folgen. Mit den in Fig. 38 eingetragenen Bezeichnungen ergibt es sich sofort zu:

$$\lambda = \frac{l \sin(\varphi + \psi)}{l_0 \sin \varphi} = \frac{l}{l_0} (\cos \psi + \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} \sin \psi). \quad (53)$$

φ und ψ hängen dabei, wie aus der Figur folgt, zusammen nach:

$$B_m N = l \cos \psi = (l + l_0) \cos \varphi - l_0 = l \cos \varphi - l_0 (1 - \cos \varphi). \quad (54)$$

Setzt man hieraus ψ in Gleichung (53) ein und nimmt dabei $\sin \varphi$ unter die von $\sin \psi$ herrührende Quadratwurzel, so erhält man nach leichter Umformung:

$$\lambda = \frac{l}{l_0} \left[\left(1 + \frac{l_0}{l}\right) \cos \varphi - \frac{l_0}{l} + \cos \varphi \sqrt{1 + \frac{2}{1 + \cos \varphi} \frac{l_0}{l} - \frac{1 - \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} \left(\frac{l_0}{l}\right)^2} \right]. \quad (55)$$

In diesem Ausdrucke nehmen die von φ abhängigen Glieder unter

der Wurzel mit wachsendem φ beide zu, da sie aber entgegengesetztes Vorzeichen haben, so kann sich der Wert der ganzen Wurzel mit φ nicht stark ändern. Setzt man, wie es den Ausführungen angenähert entspricht, $l = l_0$, so fällt φ unter der Wurzel sogar ganz weg. Die Wurzel hat aber noch den Faktor $+\cos \varphi$, ebenso wie das erste Glied in der eckigen Klammer, und daher muss λ mit wachsendem φ abnehmen, wie es schon vorhin nachgewiesen wurde. Wirklich bleibt nun φ stets sehr klein, so dass man auch für die grösste Auslenkung mit genügender Genauigkeit $\cos \varphi = 1$ setzen darf. Das giebt als angenähert unveränderlichen Wert für λ aus Gleichung (55)

$$\lambda = \frac{l}{l_0} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{l_0}{l}} \right). \quad (56)$$

Einen gleichartigen Ausdruck für dieses Verhältnis hat schon Zeuner auf anderem Wege entwickelt, nur tritt dort statt des Halbmessers l_0 des Kreises p die Länge der Exzenterstangen auf. Aus dieser Formel folgt übrigens auch, worauf bei der Beschreibung der Steuerung schon hingewiesen wurde, dass stets $\lambda > 1$ wird, und dass daher der Stein bedeutend weiter ausgelenkt werden muss als die Koppel.

Werden die gegenseitigen Auslenkungen von Koppel und Stein aber auch so bemessen, wie sie sich aus der Zeichnung oder der Rechnung ergeben, so würde die Mittellage des Schiebers doch nur dann fast ganz unverändert bleiben, wenn die Aufhängepunkte der Koppel und der Schieberschubstange bei allen Graden der Steuerung für die beiden toten Punkte der Kurbel je gleich hoch lägen. Auf dem gleichen Wege wie bei Gooch und Stephenson lässt sich nun nachweisen, dass dazu die Koppel an einem Hebel aufgehängt sein müsste, dessen Drehpunkt in der Senkrechten durch O , die Schieberschubstange an einem anderen Hebel, dessen Drehpunkt in der Senkrechten durch B_m liegt. Die Hängestangen am Aufwerfhebel müssten diese Zwischenhebel bewegen, und erst noch ein weiteres Hängestangenpaar die Koppel und die Schieberschubstange. In Wirklichkeit lässt man dagegen stets die Hängestangen des Aufwerfhebels unmittelbar an Koppel und Schieberschubstange angreifen, was eine geringe Veränderlichkeit der Mittellage und auch noch andere Ungleichförmigkeiten der Dampfverteilung zur Folge hat. Diese Fehler werden um so geringer ausfallen, je länger die Hängestangen genommen werden, weil dann die geführten Punkte von Koppel und Schieberschubstange Bahnen von geringerer Vertikalausdehnung beschreiben, und je grössere Länge die Exzenterstangen und die Schieberschubstange erhalten, weil dadurch die Veränderlichkeit ihrer Neigungen durch unrichtige Führung einen geringeren nachteiligen Einfluss ausübt.

Die Anordnung des Aufwerfhebels selbst geht wesentlich gleichartig zu bestimmen, wie es schon bei Gooch entwickelt wurde. Will man alle Grade der Steuerung möglichst gleich günstig stellen, so erscheint es zweckmässig, den Kreisen, in denen sich die Endpunkte des Aufwerfhebels und die Mittellagen der unterstützten Punkte von Koppel und Schieberschubstange verstellen, je gleiche Mittellinie zwischen Sehne und Tangente zu geben. Dabei soll nur der Fall behandelt werden, dass die Koppel in ihrem Mittelpunkt M unterstützt wird. Der Punkt C , an dem die Schieberschubstange aufgehängt ist, darf nicht ganz beliebig gewählt werden. Er sollte möglichst nahe am Steine liegen, damit das äussere Ende der Schieberschubstange weniger leicht in zitternde Bewegung gerät, er darf aber auch nicht zu nahe daranrücken, weil der Aufwerfhebel aus seiner Mittellage nach beiden Seiten um nicht mehr als etwa 30° gedreht werden sollte. Sind nun die Hängestangen hinreichend lang, so wird die Verbindungslinie der beiden Punkte M und C in der Mittellage des Schiebers angenähert parallel sein müssen mit dem Aufwerfhebel. Für die in Fig. 38 gezeichnete grösste gegenseitige Auslenkung dürfte daher die Gerade M_4C_4 unter höchstens 30° gegen die Schubrichtung geneigt sein, wirklich sogar etwas weniger, weil der Aufwerfhebel gleichzeitig doch etwas steiler steht. Da nun der Punkt M_4 und die äusserste Lage der Schieberschubstange schon anderweitig bestimmt sind, so hat man nur von M_4 eine Gerade von der angegebenen Richtung zu ziehen; ihr Schnittpunkt mit A_4B_m giebt den Punkt C_4 , in dem die Schieberschubstange unterstützt werden muss. Natürlich ist eine nachträgliche geringe Verschiebung dieses Punktes, namentlich im Sinne einer Entfernung vom Steine, zulässig, wenn sie aus Gründen der Ausführung wünschenswert erscheinen sollte. In der Figur musste übrigens der grösseren Deutlichkeit wegen M_4C_4 unverhältnismässig steil angenommen werden.

Die beiden Punkte M und C bewegen sich nun bei einer Änderung der Einstellung in den Bögen M_0M_4 und C_0C_4 , und für den anderen Drehungssinn in ihren symmetrischen Fortsetzungen. Danach gehen die vertikalen Mittellinien a und b zwischen Sehne und Tangente beider Kreisbögen zu zeichnen. Dann zieht man in der Höhe über oder unter OS in der die Steuerwelle gelagert werden soll die Horizontale c und ferner die Horizontalen d in dem Abstände der Vertikalprojektion von M_0M_4 darunter und e um die Projektion von C_0C_4 darüber. Fügt man nun noch die Verbindungslinie der Schnittpunkte D von a mit d und F von b mit e hinzu, so schneidet diese die Horizontale c im Mittelpunkte G der Steuerwelle. Halbiert man ferner die Strecke zwischen

c und e auf b durch P , zieht GP und endlich $QPT \perp GP$, so ist $GQ = GT$ der eine Arm des Aufwerfhebels und GQ seine äusserste Lage. Verlängert man noch GQ über G hinaus bis zum Schnitte U mit d , so wird U der Endpunkt des anderen Armes.

Die Hängestangen sind in der Figur einfach nach den Mittelagen der unterstützten Punkte gezeichnet; richtiger wäre es, wie es bei Gooch gezeigt wurde, ihre Länge so zu bemessen, dass der unterstützte Punkt für die beiden toten Punkte der Kurbel je gleich weit über und unter die durch seine Mittellage gehende Horizontale gelangt.

Man könnte den Aufwerfhebel auch so anordnen, dass die Hängestangen bei der gebräuchlichsten Einstellung der Steuerung in der Mittellage genau vertikal stehen, damit die Dampfverteilung für diesen Grad möglichst gleichförmig ausfällt: Dazu müsste man zunächst die zugehörigen Lagen von M und C aufsuchen. Die Endpunkte des Aufwerfhebels befinden sich dann senkrecht über M und C , und ihre Verbindungslinie ist parallel mit MC .

§ 33. Herleitung des Diagrammes.

Auch für die Steuerung von Allan lässt sich ein einfaches Diagramm nur unter denselben Annäherungen herleiten, wie bei den beiden bisher behandelten Umsteuerungen. Man muss also ebenfalls annehmen, dass sich die beiden Endpunkte der Koppel und der Stein in mit der Schubrichtung des Schiebers parallelen Geraden bewegen, dass die beiden ersten Geraden für alle Einstellungen der Steuerung gleichen gegenseitigen Abstand behalten und dass der Schränkungswinkel α stets genügend klein bleibt, um $\sin \alpha = \tan \alpha$ setzen zu dürfen.

Zunächst soll auch wieder eine symmetrische Anordnung untersucht werden. Dann liegen die Mittelpunkte K'_v und K'_r der beiden wirklichen Exzenter symmetrisch zur Schubrichtung OS , s. Fig. 39, Taf. VI. Nun lässt sich zunächst das Diagrammexzenter für den toten Punkt der Steuerung bestimmen wie früher. Man zeichnet dazu zuerst die Diagrammexzenter K_{v_0} und K_{r_0} für die beiden Endpunkte der Koppel, die auch symmetrisch zu OS liegen. Dabei ist, wenn c die halbe Länge der Koppel, l die Länge der Exzenterstangen bezeichnet:

$$K'_v K_{v_0} = K'_r K_{r_0} = r \tan \alpha \approx r \sin \alpha = r \frac{c}{l} \equiv \kappa c. \quad (57)$$

Das gesuchte Diagrammexzenter ± 0 liegt dann im Schnittpunkte der Geraden $K_{v_0} K_{r_0}$ mit OS , und es ist gleichzeitig Scheitel des Mittelpunktsortes.

Für eine allgemeine Einstellung der Steuerung stehen die Erhebung s des Steines und die Senkung u der Koppel in dem unveränderlichen Verhältnisse λ , es ist also

$$s = \lambda u, \quad (58)$$

und damit lässt sich schreiben:

$$u + s = (1 + \lambda) u. \quad (59)$$

Geometrisch ist es nun immer möglich, den Stein und die Koppel gegenseitig so weit auszulenken, dass der Stein mit dem Angriffspunkte von einer der Exzenterstangen zusammenfällt. Weiter geht man gewöhnlich nicht, und es sollen daher die zugehörigen Auslenkungen, als die grössten vorkommenden, mit s_m und u_m bezeichnet werden. Ihre Summe ist gleich der halben Länge c der Koppel, und für diese Einstellung wird Gleichung (59):

$$u_m + s_m = c = (1 + \lambda) u_m. \quad (60)$$

Ist dabei der Stein gehoben und die Koppel gesenkt, so bewegen sich, offene Stangen vorausgesetzt, der Stein und der Angriffspunkt der Vorwärtsexzenterstange im Abstände $s_m = c - u_m$ über der Schubrichtung OS . Daher ergiebt sich das zugehörige Diagrammexzenter K_{v_4} , wenn man, entsprechend Gleichung (57),

$$K'_v K_{v_4} = \alpha (c - u_m) \quad (61)$$

macht. Wird umgekehrt der Stein um s_m gesenkt, die Koppel um u_m gehoben, so erhält man als Diagrammexzenter den symmetrisch liegenden Punkt K_{r_4} ebenfalls nach:

$$K'_r K_{r_4} = \alpha (c - u_m). \quad (62)$$

K_{v_4} und K_{r_4} sind zwei weitere Punkte des Mittelpunktsortes. Geht die Koppel nicht auf ihrer ganzen Länge auszunutzen, so haben sie allerdings für die Dampfverteilung keine Bedeutung.

Bei einer allgemeinen Einstellung der Steuerung sind die beiden Auslenkungen s und u . Die Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel bewegen sich dann in den Abständen a_v über und a_r unter OS , und es ist nach Fig. 39:

$$a_v = c - u, \quad a_r = c + u. \quad (63)$$

Für die Endpunkte der Koppel werden jetzt K_v und K_r die Diagrammexzenter, wenn nach Gleichung (57) und mit Gleichung (63)

$$K'_v K_v = \alpha a_v = \alpha (c - u), \quad K'_r K_r = \alpha a_r = \alpha (c + u) \quad (64)$$

gemacht wird. Um das Gesetz des Mittelpunktsortes erkennen zu können, ist es aber besser, die Abstände nicht von K'_v und K'_r , sondern von K_{v_4} und K_{r_4} zu zählen. Diese folgen aus der Figur und mit den Gleichungen (64), (61) und (62) zu:

$$K_{v_4} K_v = K'_v K_v - K'_v K_{v_4} = \alpha (u_m - u), \quad (65)$$

$$K_{r_4} K_r = K'_r K_r - K'_r K_{r_4} = \alpha (u_m + u). \quad (66)$$

Ebenfalls aus der Figur und mit Gleichung (57) und (64) folgt ferner:

$$K_{v_0} K_v = K'_v K_{v_0} - K'_v K_v = \alpha u, \quad (67)$$

$$K_{r_0} K_r = K'_r K_r - K'_r K_{r_0} = \alpha u. \quad (68)$$

Die beiden letzten Gleichungen zeigen, dass

$$K_{v_0} K_v = K_{r_0} K_r = \alpha u \quad (69)$$

ist, d. h. dass K_v und K_r gleich weit von K_{v_0} und K_{r_0} abstehen, nur auf entgegengesetzten Seiten von $K_{v_0} K_{r_0}$. Das Gleiche hatte sich auch bei der Steuerung von Stephenson ergeben.

Um bei Allan das Diagrammexzenter für die allgemeine Einstellung zu erhalten, muss man noch die Strecke $K_v K_r$ in demselben Verhältnisse teilen, in welchem der Stein die ganze Länge $2c$ der Koppel teilt. Aus der Figur und mit Gleichung (60) und (59) ergeben sich nun die beiden Abschnitte der Koppel zu:

$$c_v = c - (u + s) = (1 + \lambda)(u_m - u) \quad \text{und} \quad (70)$$

$$c_r = c + (u + s) = (1 + \lambda)(u_m + u). \quad (71)$$

Diese beiden Gleichungen, zusammengenommen mit den Gleichungen (65) u. (66) zeigen endlich, dass die Strecke $K_v K_r$ in dem Verhältnisse:

$$\frac{c_v}{c_r} = \frac{u_m - u}{u_m + u} = \frac{K_{v_4} K_v}{K_{r_4} K_r} \quad (72)$$

geteilt werden muss. Das ist aber wesentlich die gleiche Teilung wie bei Stephenson, nur treten hier die Punkte K_{v_4} und K_{r_4} an die Stelle der dortigen Punkte K'_v und K'_r . Hiernach wird der Mittelpunktsort einer Steuerung von Allan auch eine Parabel, die durch die drei Punkte K_{v_4} , ± 0 und K_{r_4} geht. Da aber die Koppel in Wirklichkeit nur sehr wenig ausgelenkt wird, rücken K_{v_4} und K_{r_4} sehr nahe an K_{v_0} und K_{r_0} heran, so dass die Parabel hier viel schwächer gekrümmt ist. Man könnte sie, und zwar mit noch besserer Übereinstimmung wie dort, auch durch einen Kreisbogen durch die drei bestimmenden Punkte ersetzen, doch erhält dieser einen so grossen Halbmesser, dass sein Mittelpunkt selten mehr auf das Zeichenblatt fällt. Man muss daher einige Zwischenpunkte wie bei einer Parabel im Rechtecke bestimmen und den Mittelpunktsort mit dem Schwunglineal einzeichnen. Dabei würde die Horizontale der A , vgl. Fig. 39, Taf. VI, durch K_{v_4} gehen und die Punktreihe der D müsste auf $K_{v_4} K_{r_4}$ aufgetragen werden.

Bei gekreuzten Stangen fallen, wie bei Stephenson auch, alle Punkte innerhalb von $K'_v K'_r$. Der Mittelpunktsort wird wieder eine Parabel oder ein Kreis, nur mit entgegengesetzter Krümmung.

§ 34. Die Dampfverteilung.

Die gekrümmte Gestalt des Mittelpunktsortes hat zur Folge, dass sich das Voröffnen mit der Einstellung der Steuerung ändert. Da aber die Krümmung stets sehr schwach bleibt, so ist das auch mit dieser Änderung der Fall. In der That giebt es Allan'sche Steuerungen, bei denen sie kaum 1^{mm} beträgt.

Bei offenen Stangen verläuft das Voröffnen so, wie es sich neuerdings als für Lokomotiven zweckmässig ergeben hat, und man kann auch die Verhältnisse so wählen, dass es sich in dem nötigen Betrage ändert. Daher wird die Steuerung von Allan jetzt von einigen Bahnen für Lokomotiven bevorzugt. Mit gekreuzten Stangen ist sie dagegen für diesen Zweck nicht geeignet.

Sonst erfordert sie, um gleichförmige Schieberbewegung zu ergeben, eine grosse verfügbare Länge, da sie wie die von Gooch nicht nur möglichst lange Exzenterstangen, sondern auch eine möglichst lange Schieberschubstange erhalten sollte. Damit ist sie aber für Schiffsmaschinen ausgeschlossen. Dagegen ist sie bei feststehenden Maschinen anwendbar und kommt bei solchen auch vor.

Das Springen des Steines kann bei Allan nie besonders gross ausfallen, weil es die ganze Anordnung mit sich bringt, dass die Koppel und die Schieberschubstange stets von der gleichen Seite der Schubrichtung aus unterstützt werden. In dieser Richtung stellt sich Allan günstiger als Stephenson, aber ungefähr wie Gooch bei auch gleichseitiger Unterstützung.

Mit der geradlinigen Gestalt der Koppel kann man es stets erreichen, dass die beiden Angriffspunkte der Exzenterstangen und der Stein genau in einer geraden Linie liegen. Daher fällt bei Allan der Fehler weg, der bei den beiden anderen Steuerungen durch die Krümmung des Koppelschlitzes in die Dampfverteilung kommt.

Bei Lokomotiven übt das Spiel der Federn auf die Dampfverteilung bei allen drei Steuerungen ungefähr den gleichen Einfluss aus.

In Bezug auf die Ausführung endlich stellt sich die Steuerung von Allan günstiger als die von Gooch und Stephenson. Zunächst geht die geradlinige Koppel doch etwas leichter anzufertigen als eine gekrümmte. Namentlich aber braucht Allan am Maschinengestelle nur einen einzigen festen Punkt, die Lagerung der Steuerwelle. Stephenson scheint allerdings auch nur diesen einen Punkt nötig zu haben, doch muss die Schieberstange meistens so lang gemacht werden, dass für sie in der Nähe der Koppel noch eine Prismenführung oder eine Unterstützung durch eine fest gelagerte Schwinge

unentbehrlich wird. Endlich ist schon darauf hingewiesen worden, dass Allan an der Steuerwelle kein besonderes Gegengewicht nötig hat.

Hiernach erscheint die Anwendung der Steuerung von Allan in den Fällen, in denen sie wegen des Platzes überhaupt in Frage kommen kann, durchaus gerechtfertigt.

§ 35. Entwerfen einer neuen Steuerung.

Zunächst bestimmt man, wie bei Gooch, und auch von denselben Annahmen ausgehend, die Diagrammexzenter für die stärksten Füllungen. Wegen der schwachen Krümmung des Mittelpunktsortes erscheint es auch nicht gerade nötig, dabei auf die Art der Stangen besondere Rücksicht zu nehmen. Höchstens wird man das Voröffnen bei offenen Stangen näher an der unteren, bei gekreuzten näher an der oberen Grenze wählen, die Grenzen aber nicht überschreiten. Ergiebt sich schliesslich eine ungünstige weitere Dampfverteilung, so geht sie nachträglich leicht durch eine geringe Verschiebung der äusseren Deckungslinie zu verbessern. Die Auswahl der Stangen selbst hängt, wie früher, von Platzverhältnissen u. s. w. ab. So erhält man die beiden Punkte $+4$ und -4 des Mittelpunktsortes, s. Fig. 37, Taf. VI.

Dann wählt man die Längen der Koppel, der Exzenterstangen und der Schieberschubstange nach den gleichen Grundsätzen, die schon in § 21 für eine Steuerung von Gooch aufgestellt wurden. Die Koppel muss dabei zunächst in ihrer ganzen Länge ausnutzbar vorausgesetzt werden. Hierauf nimmt man ihre scheinbare Mittellage $V_0M_0R_0$ für den linken toten Punkt der Kurbel, oder auch den Kreisbogen m an, beide Stücke möglichst in der Mitte zwischen O und B_m . Zeichnet man jetzt durch M_0 den Kreisbogen n um B_m , so giebt sein Schnittpunkt mit m den Punkt V_4 als Mittellage des Endpunktes der Vorwärtsexzenterstange und des Steines für die stärkste Füllung. Damit ist auch der zugehörige Schränkungswinkel M_0OV_4 bekannt, und mit diesem geht rückwärts aus $+4$ das wirkliche Vorwärtsexzenter K'_v zu bestimmen. Von ihm aus ergiebt sich endlich mit dem Schränkungswinkel M_0OV_0 für den toten Punkt der Steuerung der Scheitel ± 0 des Mittelpunktsortes, entweder über K_{r_0} , oder kürzer durch $K'_v \pm 0 \perp OV_0$.

Für Drehung im entgegengesetzten Sinne fällt die Figur bei einer symmetrischen Steuerung auch vollkommen symmetrisch aus. Dann geht der Mittelpunktsort einzuzeichnen und die Dampfverteilung auf ihre Brauchbarkeit zu prüfen.

Soll die Koppel nicht in ihrer ganzen Länge ausgenutzt werden, so geht man doch zunächst in der eben angegebenen Weise vor.

Nachher verschiebt man die Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel um den früher angegebenen Betrag nach auswärts und gleichzeitig, wie es am Schlusse von § 26 gezeigt wurde, die Exzenter auf dem Stephenson'schen Mittelpunktsorte $K'_v \pm 0 K'_r$ im gleichen Verhältnisse auch mit nach auswärts. Der Stephenson'sche Mittelpunktsort $K'_v \pm 0 K'_r$ berührt den Allan'schen $+4 \pm 0 -4$ im gemeinschaftlichen Scheitel ± 0 .

§ 36. Unsymmetrische Steuerungen.

Der allgemeinste Fall der Unsymmetrie soll gar nicht untersucht werden, sondern nur der allein vorkommende mit ungleichen Voreilwinkeln, dagegen mit gleichen Halbmessern der Exzenter und einer gewöhnlichen Koppel, bei der die Angriffspunkte der Exzenterstangen und der Stein in einer Geraden liegen. Ordnet man dabei die Verhältnisse so an, dass die scheinbare Mittellage der Koppel ununterbrochen Tangente eines bestimmten Kreises p um O bleibt, s. Fig. 38 oder 39, Taf. VI, so bleibt die Mittellage des Schiebers mit der gleichen Annäherung unveränderlich, wie bei den symmetrischen Steuerungen. Dagegen fallen die beiden Kreise m_r und m_v , in denen sich die Mittellagen der Endpunkte der beiden Exzenterstangen verschieben, nicht mehr in einen einzigen zusammen. Auch erhalten die beiden Exzenterstangen verschiedene Längen, die sich auf dem schon mehrfach benutzten Wege bestimmen lassen.

Unter den gemachten Annahmen bleibt der Mittelpunktsort einer unsymmetrischen Steuerung von Allan, wesentlich wie bei Stephenson, auch eine Parabel oder ein Kreis, und seine Achse ist gegenüber der Schubrichtung ebenfalls geneigt.

Soll ein solcher unsymmetrischer Mittelpunktsort aus zweien seiner Punkte, z. B. wie früher dem äussersten und einem für kleinere Füllung, gezeichnet werden, so geht das nicht mehr mit der gleichen Genauigkeit auszuführen, wie bei Stephenson. Wollte man einen ähnlichen Weg einschlagen, wie dort, so müsste man die weitere Annäherung zulassen, dass der Punkt K_{v_4} der Fig. 39, Taf. VI, nicht auf der Geraden $K'_v K_{v_0}$ liegt, sondern auf dem Kreise $K_{v_0} MO$ um C der Fig. 36, Taf. III. Dieses K_{v_4} träte an die Stelle des dortigen Punktes K'_v . Der Mittelpunkt B des auch kreisförmig anzusehenden Mittelpunktsortes läge dann auf dem Kreise OCK_{v_4} . Da aber K_{v_4} sehr nahe an K_{v_0} fällt, so erhielte dieser Kreis einen so grossen Halbmesser, dass er nicht mit genügender Genauigkeit zu benutzen ginge.

Mit einer anderen Annäherung lässt sich dagegen der geneigte Mittelpunktsort doch zeichnen. Der zweite vorgeschriebene Punkt, P Fig. 40, Taf. VI, entspricht nämlich gewöhnlich einer kleineren Füllung, er liegt also nahe am Scheitel des Ortes. Dort fällt aber der Ort bei seiner schwachen Krümmung so nahe mit seiner Scheiteltangente zusammen, dass man angenähert annehmen darf, P liege auf der Scheiteltangente MK_{v_0} selbst. Hieraus ergibt sich jetzt folgendes Vorgehen: Man bestimmt die Punkte K_{v_4} , d. i. $+4$, K'_v und K_{v_0} wie vorhin, s. auch Fig. 37, Taf. VI. Ist nun P der zweite vorgeschriebene Punkt, der in bekannter Weise bestimmt werden kann, so zieht man $K_{v_0}P$ und senkrecht dazu OM , dann ist M der Scheitel, OM die Achse des gesuchten Mittelpunktortes. Das Rückwärts-exzenter liegt gegenüber OM symmetrisch zu K'_v . Die Parabel selbst lässt sich dann leicht zeichnen. So bestimmt geht der Mittelpunktsort allerdings etwas innerhalb des Punktes P vorbei, man kann das aber von Anfang an berücksichtigen, indem man die Scheiteltangente $K_{v_0}M$ $0,5$ bis $1,0$ mm ausserhalb von P vorbeigehen lässt, Zeichnung des Diagrammes in natürlicher Grösse vorausgesetzt.*

Soll die Koppel nicht in ihrer ganzen Länge ausgenutzt werden, so muss man zunächst gleich vorgehen, wie es eben gezeigt wurde, und nachträglich wieder die Angriffspunkte der Exzenterstangen an der Koppel und die Exzentermittelpunkte auf einem Stephenson'schen Mittelpunktsorte verschieben, aber symmetrisch gegenüber dessen jetzt geneigter Achse.

Die Steuerung von Allan ginge ebenso wie die beiden bisher behandelten im ganzen zu schränken. Ich verweise aber in dieser Richtung auch hier nur auf meine Veröffentlichung in der «Schweizerischen Bauzeitung» 1883, I, Seite 75.

§ 37. Abarten der Umsteuerung von Allan.

Unabhängig von Allan ist eine wesentlich gleiche Steuerungsanordnung auch von **Trick** erfunden worden, der nur die beiden Aufwerfhebel an der Steuerwelle nicht in dieselbe Gerade fallen lässt, sondern sie als Winkelhebel ausführt. Mit dieser Anordnung gehen für den bevorzugten Drehungssinn der Maschine die Auslenkungen von Koppel und Stein in ein richtigeres gegenseitiges Verhältnis zu bringen; für den anderen Drehungssinn wird dieses Verhältnis dafür allerdings

* Ähnlich von mir schon behandelt in der «Schweiz. Bauzeitung» 1895, Bd. 26, S. 132.

um so unrichtiger. Da die Erhebung des Steines gegenüber der Senkung der Koppel mit wachsender Auslenkung immer kleiner werden sollte, so müssten die beiden Aufwerfhebel den stumpfen Winkel auf der Seite einschliessen, auf welcher die Exzenterstange des bevorzugten Drehungssinnes an der Koppel angreift. Die günstigsten Verhältnisse müssen ausprobiert werden. Neuere Ausführungen dieses Trick'schen Hebels sind mir nicht bekannt.

Eine andere Abart der Steuerung von Allan, die von Hunaeus*, scheint auch nur Vorschlag geblieben zu sein. Hunaeus und Allan stehen sich gleich gegenüber, wie Fink und Gooch. Hunaeus will auch nur ein Exzenter mit 90° Voreilwinkel anwenden. Die sehr kurze Exzenterstange besteht aus einem Stücke mit der geradlinigen Koppel. Diese und der Stein an der Schieberschubstange werden durch einen Allan'schen Aufwerfhebel in richtiger gegenseitiger Höhenlage eingestellt. Durch die Kürze der Exzenterstange wird aber die Gleichförmigkeit der Schieberbewegung beeinträchtigt, wie bei Fink.

II. Abschnitt.

Umsteuerungen mit unveränderlicher Koppel.

1. Kapitel.

Die Umsteuerung von Walschaert.**

§ 38. Beschreibung der Steuerung.

Das Gerippe der Steuerung von Walschaert ist in Fig. 41, Taf. VI, in kräftigen Linien dargestellt. In ihr beziehen sich alle einfachen Buchstaben auf eine allgemeine Stellung der Kurbel, während die mit einem Striche oben für den linken, die mit zwei Strichen für den rechten toten Punkt der Kurbel gelten.

* Civilingenieur 1873, Bd. XIX, S. 221.

** Diese Steuerung habe ich in der ersten Auflage, wie es in Deutschland auch jetzt noch allgemein üblich ist, nach Heusinger v. Waldegg benannt. Inzwischen habe ich aber von Herrn M. Urban, Ober-Ingenieur der Eisenbahn Grand Central Belge in Brüssel, die Abschrift eines