

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 unterstützten 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 *Scheitelkurve* Mittelpunktsort* der Steuerung

*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 Mittelpunktort 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 Exzentern 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 Drehsinn 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 Zwillingsmaschinen 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 Schieber-schubstange 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.