

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 Mittelpunkt  $M$  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  $\lambda$  der Erhebung des Steines gegenüber der Senkung der Koppel folgen. Mit den in Fig. 38 eingetragenen Bezeichnungen ergibt es sich sofort zu:

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

$\varphi$  und  $\psi$  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  $\psi$  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  $\varphi$  abhängigen Glieder unter

der Wurzel mit wachsendem  $\varphi$  beide zu, da sie aber entgegengesetztes Vorzeichen haben, so kann sich der Wert der ganzen Wurzel mit  $\varphi$  nicht stark ändern. Setzt man, wie es den Ausführungen angenähert entspricht,  $l = l_0$ , so fällt  $\varphi$  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  $\lambda$  mit wachsendem  $\varphi$  abnehmen, wie es schon vorhin nachgewiesen wurde. Wirklich bleibt nun  $\varphi$  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  $\lambda$  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  $30^\circ$  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  $30^\circ$  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  $\alpha$  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  $\pm 0$  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  $\lambda$ , 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  $K_{v_4}$ ,  $\pm 0$  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<sup>mm</sup> 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  $\pm 0$  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  $\pm 0$ .

### § 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  $90^\circ$  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