

Je mehr übertragende Teile eine solche Steuerung besitzt, desto eher wird es möglich sein, eine gute Dampfverteilung zu erreichen, desto mehr Mühe muss aber das Ausprobieren günstigster Verhältnisse verursachen. Das Diagramm fällt dagegen für alle diese Anordnungen gleich aus.

Zum Abschlusse dieser Zusammenstellung möge noch die Steuerung von **Walker** und **Patterson** \* erwähnt werden, Fig. 61, Taf. VII. Der unterste Punkt *E* der Koppel wird unmittelbar durch die Exzenterstange *NE* gefasst. Diese Stange ist mit einem Schlitz versehen, in dem der um *P* drehbare Stein *H* durch eine in der Zeichnung fortgelassene Schraube eingestellt wird. Mit der Einstellung ändert sich die Füllung, weil die Vertikalbewegung der Koppel dadurch geändert wird. Der Stein *B* bewegt sich dabei in dem geradlinigen Gleitrahmen, der um *D* drehbar ist, der aber nur zur Änderung des Drehungsinnes in seinen äussersten Lagen verwendet wird. Zum Umsteuern müssen also zwei Handgriffe benutzt werden. Vom Mittelpunktsorte gelten nur zwei begrenzte Stücke für grössere Füllungen. Diese Steuerung giebt eine schlechte Dampfverteilung, weil *E* infolge der Führung von *H* in einem Kreisbogen eine unsymmetrische Bahn beschreibt.

---

### III. Abschnitt.

## Umsteuerungen durch Änderung der Schränkung.

### 1. Kapitel.

## Die Umsteuerung von Morton.\*\*

### § 47. Beschreibung der Steuerung.

Die Steuerung von Morton, s. Fig. 62, Taf. VII, leitet die Bewegung des Schiebers ohne ein besonderes Exzenter ab und zwar durch ein Getriebe, wie es schon bei den Abarten der Steuerung von

\* Zeitschr. d. Vereines deutscher Ing. 1889, 1043 u. Taf. XXXVII, Fig. 46.

\*\* Englisches Patent von 1882 nach Smith, Engineering 1889, II, 641. D. R.-P. Kl. 14, Nr. 24127. Wochenschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1883, 475.

Hackworth unter Fig. 56, Taf. VI, besprochen wurde. Es kommen aber auch andere der dort angegebenen Getriebe vor, auch ginge ein einfaches Exzenter anzuwenden. Nötig ist nur, um weitere zu starke Übersetzungen zu vermeiden, den Punkt *E* eine kreisähnliche, ellipsenartige oder birnenförmige Bahn beschreiben zu lassen, die kleiner bleibt als der Kurbelwarzenkreis.

Von diesem Punkte *E* geht im Mittel in einer zur Schubrchtung des Schiebers senkrechten Richtung die Stange *EA* aus, deren Punkt *A* durch die bei *B* festgelagerte Schwinge *BA* in einem Kreisbogen geführt wird. An einem auf *EA* ausserhalb *A* gelegenen Punkte *C* ist eine Schubstange *CD* gelenkig befestigt, die an *D* einen Stein trägt. Dieser nimmt einen mit der Schieberstange *S* starr verbundenen, gekrümmten Gleitrahmen mit und bewegt so den Schieber.

Zur Änderung der Dampfverteilung muss der Stein im Gleitrahmen in verschiedenen Höhen eingestellt werden können. Dazu ist hier der Stein *D* selbst durch die Hängestange *DF* von dem auf der Steuerwelle *G* aufgekeilten Aufwerfhebel *GF* aus unterstützt. Es könnte aber die Unterstüzung der Schubstange auch in einem Punkte neben *D*, ausserhalb oder innerhalb, vorgenommen werden.

Die Steuerung von Morton scheint hiernach der von Hackworth und den davon abgeleiteten sehr ähnlich zu sein. Das ist aber nur für die äussere Anordnung der Fall, da die Änderung der Dampfverteilung auf wesentlich anderem Wege erreicht wird. Bei Hackworth ist nämlich der Punkt *C* unveränderlich mit der Schieberstange verbunden, und es wird die Bewegung des Punktes *A* geändert. Bei Morton dagegen bewegt sich der Punkt *A* unveränderlich, und es muss dafür die Verbindung zwischen *C* und der Schieberstange geändert werden. Dagegen hat die Steuerung mit der Hackworth'schen gemeinsam, dass der Schieber oben auf den Cylinder zu liegen kommt.

#### § 48. Herleitung des Diagrammes.\*

Es erscheint zweckmässig, zunächst nicht die Steuerung von Morton selbst zu untersuchen, sondern die einfachere, von Deprez\*\* vorgeschlagene Anordnung der Fig. 63, Taf. VII. Diese benutzt ein eigentliches Exzenter, mit *K* bezeichnet, das unter einem Voreilwinkel von  $90^{\circ}$  aufgekeilt ist. Die Exzenterstange geht unmittelbar bis zum Steine, und sie wird unterstützt wie bei Morton. Ebenso ist auch

\*Die Untersuchungen dieses Paragraphen habe ich wesentlich gleich schon in der «Schweiz. Bauzeitung» 1887, Bd. IX, S. 23—26 veröffentlicht.

\*\*Dingler 1876, 219, 7 u. 8.

der Gleitrahmen starr mit der Schieberstange verbunden, nur fällt hier die Schubrichtung des Schiebers mit der Achsrichtung des Cylinders zusammen.

Um ein mit Zirkel und Lineal allein zeichenbares Diagramm zu erhalten, muss man, wie auch sonst immer, die Unterstützung der Exzenterstange so günstig voraussetzen, dass man für alle Einstellungen die Bahn des Steines als eine horizontale Gerade,  $g$ , ansehen darf. Dagegen ginge die endliche Länge der Exzenterstange hier leicht zu berücksichtigen, man müsste nur im Diagramme nicht die angenäherten geraden Deckungslinien, sondern die genauen Deckungsbögen benutzen. Infolge der vorigen Annäherung würde aber das Diagramm doch nicht die wahre Dampfverteilung darstellen. Und da erscheint es gerechtfertigt, die Exzenterstange auch gleich unendlich lang voranzusetzen.

Wird nun die Steuerwelle zunächst so eingestellt, dass sich der Stein in der Horizontalen  $OS$  bewegt, so liegt eine einfache Schubkurbel mit einem Voreilwinkel von  $90^\circ$  vor, und daher entspricht diese Einstellung dem toten Punkte der Steuerung. Der zugehörige Schieberkreis wird in dem Maßstabe des Gerippes durch die Horizontale  $KOL$  als Kolbenweglinie bestimmt; die Deckungslinien  $e_0$  und  $i_0$  stehen vertikal. In der Figur sind noch die Hauptpunkte der Dampfverteilung für die linke Cylinderseite mit  $I_0$  bis  $IV_0$  bezeichnet.

Für eine allgemeine Einstellung des Steines  $D$  in einer Geraden  $g$  hat man es dagegen mit einer geschränkten Schubkurbel zu thun. Da der Mittelpunkt des Exzenters für die toten Punkte der Kurbel dabei in  $OS$  bleibt, so ist der zugehörige Schränkungswinkel  $\alpha = SOD_m = SKD$ . Die jetzige Dampfverteilung könnte man, wie bisher stets, durch ein Diagrammexzenter darstellen, dessen Mittelpunkt senkrecht über  $K$  läge. Deckungslinien blieben dabei  $e_0$  und  $i_0$ . Hieraus folgt, dass der Mittelpunktsort eine vertikale Gerade wird. Für die weiteren Entwicklungen ist es aber zweckmässiger, das ursprüngliche Diagramm der geschränkten Schubkurbel nach Fig. 17, Taf. III, anzuwenden, also den Exzenterkreis mit der Kolbenweglinie beizubehalten und die Deckungslinien zu neigen. Diese müssen senkrecht stehen auf  $OD_m$ , also mit der Vertikalen den Schränkungswinkel  $\alpha$  einschliessen. Und da sie, auf der Horizontalen  $OS$  gemessen, von  $O$  wieder um die Überdeckungen abstehen müssen, so gehen sie durch die Schnittpunkte der vorigen vertikalen Deckungslinien  $e_0$  und  $i_0$  mit  $OS$ . In der Figur sind sie mit  $e$  und  $i$  und die Hauptpunkte der Dampfverteilung mit  $I$  bis  $IV$  bezeichnet. Die Neigung ist so gewählt, dass die Füllung  $25\%$  beträgt.

Je grössere Füllungen erreicht werden sollen, desto mehr müssen die Deckungslinien geneigt werden. Für z. B. 80 %, welche Füllung gelegentlich sogar noch überschritten wird, müsste  $e$  in die mit  $e_4$  bezeichnete Lage kommen. Dadurch würde aber der Abstand  $c$  zwischen  $g$  und  $OS$  auf rund  $c \approx 0,88 l$  wachsen, so dass der Gleitrahmen ungünstig lang ausfallen und die Schieberstange stark auf Biegung beansprucht werden würde. Die Deprez'sche Anordnung wäre daher höchstens für kleine Füllungen brauchbar.

Dagegen lassen sich beliebig grosse Füllungen erreichen, wenn die Bewegung des Schiebers nicht unmittelbar von einem Exzenter abgeleitet wird, sondern von einem Punkte, der eine Bahn von bedeutend grösserer Vertikalausdehnung beschreibt. Eine solche Anordnung ist in Fig. 64, Taf. VII, dargestellt. Von dem Exzenter  $E$ , dessen Voreilwinkel auch  $90^\circ$  beträgt, geht, ähnlich wie bei Hackworth, eine Exzenterstange  $EA$  aus, im Mittel senkrecht zur Schubrichtung des Schiebers. Der Punkt  $A$  wird unveränderlich in stets der gleichen senkrechten Richtung auf einer durch  $O$  gehenden Geraden geführt. Von einem dritten Punkte  $C$  der Exzenterstange, der zunächst zwischen  $E$  und  $A$  angenommen ist, geht die Schubstange  $CD$  im Mittel in der Schubrichtung des Schiebers aus, fasst mit dem Steine  $D$  den Gleitrahmen und bewegt so den Schieber.

Der Punkt  $C$  beschreibt dabei eine eiförmige Bahn, deren horizontale Abstände von  $OA$  jedenfalls genau proportionale Verkleinerungen der gleichzeitigen horizontalen Abstände des Punktes  $E$  von  $OA$  sind. Setzt man die Exzenterstange genügend lang voraus, um den Einfluss der Veränderlichkeit ihrer Neigung vernachlässigen zu können, so werden die vertikalen Bewegungen von  $C$  und  $E$  angenähert gleich und die eiförmige Bahn geht angenähert in eine Ellipse über. Die kleine Achse dieser Ellipse liegt horizontal und ist gleich dem ganzen Schieberhube für den toten Punkt der Steuerung. Eine solche Ellipse soll zunächst der weiteren Untersuchung zu Grunde gelegt werden.

Es sei nun in Fig. 64 a, Taf. VII,  $OE$  der Halbmesser des Exzentrums. Der Punkt  $K$  teile die Länge  $OE$ , verglichen mit Fig. 64, so, dass sich verhält

$$OK:OE = AC:AE.$$

Dann sind die beiden Achsen der elliptischen Bahn von  $C$ : Die vertikale gleich  $OE$ , die horizontale gleich  $OK$ . Um hieraus die zu einer bestimmten Stellung von  $C$  gehörende Auslenkung des Steines, also auch des Schiebers aus seiner Mittellage zu bestimmen, muss man gleich vorgehen wie in § 12 bei der geschränkten Schubkurbel. Trägt



man die Auslenkungen des Punktes  $C$  von der Ellipse aus horizontal nach einwärts zu auf, so bilden diese Strecken und die Auslenkungen in ihrer ursprünglichen Lage auf  $g$  auch hier Parallelogramme. Daraus folgt aber, dass sich die Auslenkungen darstellen lassen als die Abstände der Punkte der Ellipse von einem Mittelkreise, dessen Halbmesser gleich ist der Länge der Schubstange  $CD$ , und dessen Mittelpunkt in die Mittellage von  $D$  auf  $g$  fällt. Nur geht hier, wo die Kolbenweglinie  $KL$  zur Schubrichtung  $g$  parallel liegt, der Mittelkreis durch  $O$ . Ist die Schubstange, wie zur Vereinfachung angenommen werden soll, genügend lang, so geht der Mittelkreis wieder in den unter dem Schränkungswinkel gegen die Vertikale geneigten Durchmesser über. Die Deckungslinien sind mit ihm parallele Geraden, die  $OK$  im Abstände  $e$  und  $i$  von  $O$  schneiden.

Für die weitere Entwicklung ist zu beachten, dass die Ellipse und der Kreis affin sind, mit dem vertikalen Durchmesser  $yy$  als Affinitätsachse. Die Punkte der Ellipse liegen daher für jede Kurbelstellung horizontal neben den zugehörigen Punkten des Kreises.

Sollte nun wie vorhin eine Füllung von 80 % erreicht werden, so müsste das Absperren erfolgen, wenn der Mittelpunkt des Exzenters in  $I'$  steht. Dieser Exzenterstellung entspricht auf der Ellipse der Punkt  $I$ , und die äussere Deckungslinie muss daher durch diesen Punkt gehen. Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass der Schränkungswinkel  $\alpha$  gegenüber  $\alpha'$  für den Kreis bedeutend kleiner geworden ist. Bezeichnet man das Verhältnis  $OK/OE$  mit  $n$ , so folgt aus der Figur  $\tan \alpha = n \tan \alpha'$ , und wenn wieder  $c$  den Abstand zwischen  $g$  und der Achse der Schieberstange,  $l$  die Länge der Schubstange bezeichnen, so wird abgerundet für

$n = 1$ (Kreis)	0,5	0,2	0,1
$\alpha = 61^\circ 20'$	42° 40'	19° 30'	10° 30'
$c/l = 0,88$	0,68	0,33	0,26

Hiernach ist es also stets möglich, durch richtige Wahl des Punktes  $C$  auf der Exzenterstange den Schränkungswinkel und damit die Länge des Gleitrahmens auf brauchbare Werte hinunterzubringen.

In der entwickelten Gestalt benutzt das Diagramm allerdings eine Ellipse, also eine Kurve, die mit Zirkel und Lineal nicht genau gezeichnet werden kann. Doch lassen sich alle nötigen Punkte mit diesen Hilfsmitteln aus der Affinität mit dem Kreise bestimmen. Es giebt aber auch ein Kreisdiagramm, aus dem man die Auslenkungen und Eröffnungen unmittelbar in richtiger Grösse entnehmen kann, nämlich den der Ellipse eingeschriebenen Kreis mit  $KOL$  als Kolbenweglinie. Dieser Kreis ist auch zur Ellipse affin, aber mit

$KL$  als Affinitätsachse, so dass entsprechende Punkte auf derselben Vertikalen liegen. Da er als ähnliche Verkleinerung des Exzenterkreises aufzufassen geht, so sind in ihm die Deckungslinien auch unter  $\alpha'$  geneigt. Seine horizontalen Koordinaten sind denen der Ellipse gleich, und man kann daher aus ihm die wirklichen Auslenkungen entnehmen. Die Länge des Gleitrahmens muss dagegen aus der Neigung der Deckungslinien in der Ellipse bestimmt werden.

Man kann den Punkt  $C$  auch umgekehrt, wie in Fig. 64, außerhalb  $A$  legen, wenn man nur gleichzeitig das Exzenter um  $180^\circ$  dreht. Dann entspricht der linken Hälfte des Kreises die rechte Hälfte der Ellipse, wobei diese im entgegengesetzten Sinne durchlaufen wird, wie der Kreis. Gleichzeitig nehmen die Deckungslinien auch eine entgegengesetzte Neigung an, und der Stein muss im entgegengesetzten Sinne ausgelenkt werden. Denkt man sich aber das neue Diagramm um die horizontale Achse umgeklappt, so erhält man genau das alte wieder.

Will man endlich das Diagramm der Steuerung von Morton selbst haben, so muss man die sonst allgemein benutzten Annäherungen auch zulassen, nämlich, vgl. Fig. 62, Taf. VII: die Bahn von  $E$  ist ein Kreis, die Stangen  $EA$ ,  $AB$  und  $CD$  sind unendlich lang und der Stein bewegt sich in einer zur Schubrichtung des Schiebers parallelen Geraden. Dann giebt das eben in Fig. 64a, Taf. VII, entwickelte Diagramm die Horizontalauslenkungen des Punktes  $C$ . Infolge der letzten Annäherung sind diese Auslenkungen aber denen des Schiebers gleich. Fig. 64a ist daher auch das Diagramm für die Dampfverteilung der Steuerung von Morton, so genau, als man es mit Zirkel und Lineal allein zeichnen kann.

Die zugelassenen Annäherungen gehen hier allerdings teilweise weiter als sonst. Namentlich die Schubstange  $CD$  bleibt gegenüber der grossen Vertikalausdehnung der Bahn des Punktes  $C$  ziemlich kurz. Der daher rührende Fehler wird aber grossenteils dadurch ausgeglichen, dass sich der Punkt  $A$  nicht in einer vertikalen Geraden bewegt, sondern in einem Kreisbogen um  $B$  als Mittelpunkt. Diese Führung hat zur Folge, dass  $C$  eine bohnenförmige Bahn beschreibt. Würde der feste Drehpunkt  $B$  mit der Mittellage des Steines  $D$  für den toten Punkt der Steuerung zusammenfallen, so würde für diese Einstellung die endliche Länge der Schubstange fast ganz ausgeglichen sein, für andere Einstellungen allerdings nicht mehr. Da sich aber der Punkt  $E$  durchaus nicht in einem Kreise bewegt, so kommen noch andere Abweichungen in die Dampfverteilung, und es ist daher nicht möglich, alle Verhältnisse der Steuerung aus dem Diagramme allein zu bestimmen; diese müssen vielmehr an einem Modell ausprobiert werden.

Aus diesem Grunde soll das Entwerfen einer neuen Steuerung nicht genauer behandelt, sondern darüber nur kurz Folgendes bemerkt werden: Man zeichnet zuerst, wie immer, das Diagramm für stärkste Füllung. Dann wählt man das vorhin mit  $n$  bezeichnete Verhältnis, um so kleiner, je grösser die Füllung ist; es dürfte in der Nähe von  $0,1$  zu nehmen sein. Dadurch ist der nötige Ausschlag von  $E$  bestimmt, so dass das Getriebe zur Führung von  $E$  entworfen werden kann. Wählt man dabei  $C$  ausserhalb  $AE$ , so wird ein eigentliches Exzenter entbehrlich. Die Höhenlage der einzelnen Stücke ist aus einer Zeichnung der Maschine bekannt, ebenso die Länge der Schubstange  $CD$  leicht angebar. Der Gleitrahmen muss, wie bei Gooch, nach einem Kreisbogen vom Halbmesser  $CD$  gekrümmt sein. Jetzt geht Punkt für Punkt die Bahn zu zeichnen, die der Punkt  $C$  beschreiben müsste, wenn sich genau die Dampfverteilung des Diagrammes, bezogen auf den Kolbenweg, ergeben sollte. Diese Zeichnung muss für den am meisten benutzten Füllungsgrad allein, oder auch für mehrere durchgeführt werden. Damit ist auch bestimmt, welche Bahn, oder welche verschiedenen Bahnen der Punkt  $A$  beschreiben sollte. Diese muss man nun möglichst gut durch einen Kreis ersetzen und erhält dadurch den Punkt  $B$ . Die Unterstützung des Steines oder der Schubstange wird in der üblichen Weise angeordnet.

Von den so gefundenen Grössen würde man beim Ausprobieren der endgültigen Verhältnisse ausgehen.

Wenn man schliesslich noch die wirkliche Bahn des Punktes  $C$  bestimmt und die Deckungsbögen mit  $CD$  als Halbmesser hinzufügt, so erhält man auch ein Diagramm für die Dampfverteilung, und zwar ein genaueres als das Kreisdiagramm, nur geht es nicht mehr mit Zirkel und Lineal allein zu zeichnen.

### § 49. Abarten der Umsteuerung von Morton.

Steuerungen, die als Abarten der Morton'schen angesehen werden können, sind nur in geringer Zahl vorhanden.

Schon 1859, also vor Morton, hatte Englemann\* zwei Anordnungen angegeben, die den Gleitrahmen durch eine an der Schieberstange drehbar befestigte Schwinge ersetzen. Das Getriebe, das die Bewegung von der Welle auf den Endpunkt dieser Schwinge überträgt, ist bei beiden verschieden, benutzt aber kein Exzenter. Anwendung haben diese Steuerungen nicht gefunden.

\* Engineering 1889, II, 614, 722.

Eine andere Anordnung rührt von **Arrol-Pringle**\* her. Ihr wesentliches Gerippe ist in Fig. 65, Taf. VII, dargestellt. Danach besitzt die Steuerung auch nur ein Exzenter, *E*, das mit einem Voreilwinkel von  $90^\circ$  aufgekeilt ist. Der Mittelpunkt des Exzenters ist als Stein ausgebildet, der unmittelbar in den geradlinigen Gleitrahmen *B* eingreift. Dieser ist mit seinem Mittelpunkte *C* drehbar an der Schieberstange *S* befestigt und wird zur Änderung der Dampfverteilung durch seinen Arm *CD* von der Steuerwelle *G* aus in verschiedenen Neigungen eingestellt.

Wäre die Führung des Gleitrahmens von der Steuerwelle aus so beschaffen, dass sich seine Neigung bei einer bestimmten Einstellung nicht ändern könnte, so wären die Auslenkungen des Schiebers aus seiner Mittellage gleich den horizontal gemessenen Abständen der Punkte des Exzenterkreises von seinem zur augenblicklichen Neigung des Gleitrahmens parallelen Durchmesser. Das ist aber genau das erste in Fig. 63, Taf. VII, bei Morton-Deprez entwickelte Diagramm. Infolge der Veränderlichkeit der Neigung weicht allerdings die wirkliche Dampfverteilung von der so bestimmten ab. Die Neigung ginge aber genau unveränderlich zu erhalten, wenn zwischen die Steuerwelle und den Gleitrahmen zwei Parallelogramme mit einer gemeinschaftlichen zum Arme *CD* parallelen Seite eingeschaltet werden würden.

Um Klemmungen zu vermeiden und um keinen zu langen Gleitrahmen zu erhalten, darf man seine Neigung nicht zu gross nehmen. Damit sind aber grössere Füllungen ausgeschlossen, so dass diese Steuerung höchstens für kleinere Verhältnisse zulässig erscheint. In der That ist sie auch nur bei «Kranen und anderen kleinen Maschinen» angewendet worden, befriedigt aber dort. In der Ausführung ist ein eigentliches, die Welle umgebendes Exzenter angeordnet, der Stein umgiebt dieses Exzenter, der Gleitrahmen ist aussen herum kreisförmig begrenzt und von einem Ringe umgeben, der mit der Schieberstange verbunden ist.

Endlich ist noch die Steuerung von **Towle**\*\* zu erwähnen. Sie unterscheidet sich von der vorigen nur dadurch, dass der Stein nicht unmittelbar am Mittelpunkte des Exzenters angebracht ist, vielmehr findet sich die gleiche Übertragung angewendet, die schon bei Holst, Fig. 57, Taf. V, erwähnt wurde.

\* Engineering 1888, II, 71. — Fränzel nennt in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1893, 735 diese Steuerung nur nach Pringle.

\*\* Engineer 1872, I, 112 und Dingler 1876, 219, 6 u. 7.