

v. Waldegg nicht mehr der Fall. Der obere Punkt *J* der Koppel ist zwar unveränderlich an ihr befestigt, und er wird auch auf gleiche Weise durch ein Exzenter und einen zwischengeschalteten Gleitrahmen geführt. Dagegen wird das untere Ende der Koppel anders in Bewegung gesetzt. Am Kreuzkopfe ist nämlich eine Öse angebracht, die sich um eine zum Kreuzkopfpapfen parallele Achse drehen kann. Durch diese Öse geht die Koppel hindurch und wird so mitgenommen, wobei sie sich aber in ihrer Längenrichtung, wie bei einem Prismenpaare, in der Öse hin und her verschiebt. Dadurch ändert sich das Längenverhältnis der Koppelabschnitte ununterbrochen, und zwar so, dass der untere Abschnitt in den beiden Totpunktlagen am grössten, in der Nähe der Mitte des Kolbenhubes am kleinsten wird. Diese Veränderung ist so beschaffen, dass sie den Einfluss der endlichen Länge der Kurbelstange auf die Bewegung des Schiebers vergrössert. Ob dieser Einfluss die auf die Kolbenstellung bezogene Dampfverteilung verbessert oder verschlechtert, hängt von den besonderen Verhältnissen ab. Es lässt sich also nicht allgemein entscheiden, ob in dieser Richtung Walschaert oder Heusinger v. Waldegg den Vorzug verdient. Dagegen schaltet Heusinger zur Führung des tiefsten Punktes der Koppel gleitende Reibung ein, während bei Walschaert dort nur Zapfenreibung auftritt. Daher ist es erklärlich, dass sich die Steuerung von Heusinger v. Waldegg gegenüber der von Walschaert nicht eingebürgert hat.

2. Kapitel.

Die Umsteuerung von Hackworth.

§ 43. Beschreibung der Steuerung.

Die gewöhnlich nach Hackworth benannte Steuerung ist schon zwischen 1840 und 1850 in Frankreich einem Anderen patentiert gewesen, aber ohne weitere Beachtung zu finden. Ausgeführt wurde sie zuerst von John Wesley Hackworth, der von 1849 an in England verschiedene Patente auf seine Steuerungsanordnungen genommen hat.* Hier soll zunächst seine älteste Anordnung untersucht

* Engineering 1886, I, 61. Dingler 1876, 219, 3. Geschichtliche Angaben über diese und andere Steuerungen von Smith in Engineering 1889, II, 613 u. ff.

werden, deren Gerippe in Fig. 49, Taf. VII, durch die voll ausgezogenen Linien dargestellt ist.

Bei den Steuerungen von Hackworth kommt, wie bei denen von Walschaert, der Schieber auf den Cylinder zu liegen, und man macht daher gewöhnlich auch die Schubrichtung des Schiebers parallel zur Cylinderachse. Diese Anordnung soll zunächst allein untersucht werden. Die Bewegung des Schiebers wird von nur einem einzigen Exzenter, E , abgeleitet, das bei der ursprünglichen Hackworth'schen Ausführung der Kurbel genau gegenübersteht. Von diesem Exzenter geht eine Exzenterstange EB aus, aber, abweichend von allen bisher untersuchten Steuerungen, im Mittel in einer zur Schubrichtung des Schiebers senkrechten Richtung. Der Endpunkt B der Exzenterstange wird durch einen Stein in dem geradlinigen Gleitrahmen CC geführt, der hier unmittelbar auf der festgelagerten Steuerwelle D aufgekeilt ist. Zur Änderung der Dampfverteilung wird die Neigung des Gleitrahmens dadurch geändert, dass die Steuerwelle in einer anderen Winkellage eingestellt wird. Von dem zwischen E und B gelegenen Punkte F der Exzenterstange geht endlich die Schieberschubstange FG im Mittel in horizontaler Richtung, oder allgemeiner parallel zur Schubrichtung des Schiebers aus, fasst in dem Zapfen G die geradlinig geführte Schieberstange GS und bewegt so diese und den Schieber.

Die Längen OE , OD und EB , sowie die sonstige Lage von D gegenüber O werden stets so bemessen, dass der Endpunkt B der Exzenterstange für die beiden toten Punkte der Kurbel genau in den Drehpunkt D des Gleitrahmens fällt. Da sich der Mittelpunkt des Exzenters für diese beiden Kurbelstellungen in E' oder E'' befindet, also in der Horizontalen durch O , so muss die Verbindungslinie OD vertikal stehen und die Länge der Exzenterstange $EB = E'D = E''D$ gemacht werden. Dreht man dann für die toten Punkte der Kurbel die Steuerwelle mit dem Gleitrahmen, so ändert das die Lage des Punktes B nicht, und daher bleibt auch der Schieber je unverändert an seiner Stelle. Die Steuerung von Hackworth besitzt also unveränderliches Voröffnen, wodurch gleichzeitig die Unveränderlichkeit der Mittellage des Schiebers gesichert ist.

Um das Wesen der Wirkungsweise dieses Getriebes anschaulicher machen zu können, und um die Ähnlichkeit dieser Steuerung mit anderen Umsteuerungen leichter erkennen zu lassen, hat Smith in der eben erwähnten Veröffentlichung ergänzende Teile hinzugefügt, wie sie in Fig. 49 mit gestrichelten Linien angegeben sind. Dabei ist die Anordnung so getroffen, dass sich die drei Punkte H , G und J

in genau den gleichen gegenseitigen Abständen befinden, wie E , F und B , und dass $EH = BJ = FG$ ist. Lässt man jetzt die ursprüngliche Schieberschubstange FG weg, so ist HGJ eine Koppel, deren unterster Punkt H unmittelbar und unveränderlich durch die Exzenterstange EH geführt wird, während ihr oberster Punkt J seine Bewegung in veränderlicher Weise über den Stein B durch die Schubstange BJ erhält. Der dritte Punkt G der Koppel führt endlich den Schieber. Dadurch, dass gegenüber dieser Anordnung die drei Stangen EH , BJ und HJ durch die einzige Stange FG ersetzt werden, während die auch sonst nötige Exzenterstange EFB gleichzeitig die Rolle der wegfallenden Koppel übernimmt, erhält die Steuerung von Hackworth ihre so einfache Gestalt.

§ 44. Herleitung des Diagrammes.

Der Herleitung des Diagrammes soll eine allgemeinere Anordnung zu Grunde gelegt werden, bei der das Exzenter OE der Kurbel nicht genau gegenübersteht, sondern, s. Fig. 50, Taf. VII, im linken toten Punkte der Kurbel um den kleinen Winkel β nach rechts oben zu geneigt ist.

Der unterste Punkt E der Koppel fällt mit dem Mittelpunkt des Exzenters zusammen. Seine Auslenkungen in der Richtung der Schieberbewegung sind daher gleich den horizontal gemessenen Abständen des Exzentermittelpunktes vom vertikalen Durchmesser des Exzenterkreises, und zwar vollkommen genau. Den Ausgangspunkt bildet die Lage E des Exzentermittelpunktes für den linken toten Punkt der Kurbel. Diese Bewegung des untersten Punktes der Koppel bleibt für alle Einstellungen der Steuerung ungeändert.

Die Bestimmung der Horizontalauslenkung des zweiten geführten Punktes B der Koppel erfolgt wesentlich nach § 15 und Fig. 21, Taf. III. Dabei soll aber in Abweichung von der Anordnung der Fig. 49 angenommen werden, der Punkt B falle nicht für die toten Punkte der Kurbel, sondern bei horizontaler Lage der Exzenterhalbmesser in den Drehpunkt D des Gleitrahmens. Dann bleibt also OD nach wie vor senkrecht zur Schubrichtung des Schiebers. Ausserdem muss man, wie immer, die Exzenterstange genügend lang voraussetzen, um den Einfluss der Veränderlichkeit ihrer Neigung vernachlässigen zu dürfen. Nun kann man zunächst die Bewegung von B in der Richtung CC des Gleitrahmens bestimmen. Dabei hat man es mit einer geschränkten Schubkurbel zu thun, und die gesuchten Auslenkungen sind daher gleich den parallel zu CC gemessenen Abständen der Punkte

des Exzenterkreises von seinem senkrecht auf OD stehenden, also horizontalen Durchmesser; Ausgangspunkt ist E . Diese Auslenkungen kann man auch durch ein gewöhnliches Müller'sches Diagramm darstellen, wenn man die horizontale Mittellinie um den Schränkungs-
winkel α bis in die zur Schubrichtung CC senkrechte Lage mm dreht, das Exzenter um den gleichen Winkel im gleichen Sinne mitnimmt und den Exzentermittelpunkt auf der gedrehten Richtung ON durch $EN \perp OE$ einschneidet. Dann sind die Auslenkungen DB auch gleich den senkrecht zu mm gemessenen Abständen der Punkte des Kreises durch N von mm , mit N als Ausgangspunkt.

Die gesuchten Horizontalauslenkungen des Punktes D werden schliesslich gleich den Horizontalprojektionen der Strecken DB , und man erhält sie, indem man die DB im Verhältnisse von $1 : \sin \alpha$ verkleinert. Macht man daher

$$\angle ONP = \angle EON = \angle \alpha \text{ und } OP \perp NP, \text{ also } OP \parallel EN, \quad (74)$$

so ist $OP = ON \cdot \sin \alpha$. Zeichnet man den Kreis durch P , so sind die senkrechten Abstände seiner Punkte von mm gleich den Horizontalauslenkungen von B . Der Ausgangspunkt liegt auf ON in Q . Um diese Auslenkungen im Diagramme auch in horizontaler Lage zu erhalten, muss man noch den ganzen Kreis so drehen, dass die geneigte Mittellinie mm in die vertikale Richtung kommt. Das erfordert eine Drehung um $90^\circ - \alpha$ in dem dem Uhrzeiger entgegengesetzten Sinne. Aus Gleichg. (74) folgt aber, dass auch $\angle NOP = 90^\circ - \alpha$ ist. Daher kommt bei dieser Drehung OQ nach OP , und man erhält P als Anfangspunkt der Kolbenweglinie des Müller'schen Diagrammes für die Horizontalauslenkung von B .

Der Punkt P lässt sich aber noch einfacher bestimmen. Da $OENP$ ein Rechteck ist, so ist auch

$$\angle OEP = \angle EON = \angle \alpha.$$

Man hat also nur nötig $OP \perp OE$ und EP unter $\angle \alpha$ gegen OE zu ziehen und zwar EP nach der Seite, nach der man OE um O drehen müsste, um es auf dem kürzesten Wege in die Richtung ON zu bringen. Der Schnittpunkt P dieser beiden Geraden ist das gesuchte Diagrammexzenter für die Horizontalauslenkung des Punktes B .

Aus den Horizontalauslenkungen der beiden Endpunkte E und B der Koppel lässt sich jetzt nach § 14 die dazu parallele Auslenkung des Punktes F bestimmen. Man muss die gerade Verbindungslinie der Punkte E und P durch K im gleichen Verhältnisse teilen, in welchem auf der Koppel F die Strecke EB teilt. Dann ist K das Diagrammexzenter für die Horizontalauslenkung des Punktes F . Dass sich die

Koppel gleichzeitig auch in vertikaler Richtung bewegt, übt auf diese Entwicklung keinerlei Einfluss aus.

Schliesslich wird die Bewegung noch von F auf G und den Schieber übertragen. Dabei muss man nun, und darf auch stets mit genügender Genauigkeit annehmen, dass die Schieberschubstange verhältnismässig sehr lang sei. Dann bewegen sich die Schieberstange und F in horizontaler Richtung angenähert übereinstimmend, und daher ist K auch das Diagrammexzenter für die Bewegung des Schiebers.

Mit einer Änderung der Einstellung der Steuerung durch Drehung des Gleitrahmens ändert sich der Winkel α , also auch die Neigung der Geraden EP . P bleibt aber auf OP und rückt, wenn α sein Vorzeichen ändert, auf die untere Seite von O . Da sich die Abschnitte der Koppel dabei nicht ändern, so muss K die Strecke EP für alle Einstellungen im gleichen Verhältnisse teilen. Daraus folgt aber, dass der Mittelpunktsort einer Steuerung von Hackworth eine zu OP parallele Gerade wird, die also auch senkrecht auf den Totpunktlagen des Exzenterhalbmessers steht. Für den toten Punkt der Steuerung müsste daher α einen kleinen negativen Wert annehmen.

Macht man dagegen, wie es noch allgemein geschieht, $\beta = 0$, stellt man also das Exzenter der Kurbel gerade gegenüber, so wird der Mittelpunktsort eine vertikale Gerade, und der tote Punkt der Steuerung tritt für $\alpha = 0$ auf.

Die Steuerung von Hackworth ergibt hiernach die gleiche Dampfverteilung, wie die Steuerungen von Gooch und von Walschaert und deren Abarten. Doch beeinflusst das Spiel der Tragfedern bei Lokomotiven die Stellung des Schiebers stärker als bei den früheren Steuerungen, weil dadurch die Stellung des Steines im Gleitrahmen verschoben wird.

§ 45. Entwerfen einer neuen Steuerung.

Dabei muss man, wie bei Walschaert, auch die gegenseitige Lage des Wellmittelpunktes O , der Achse s der Schieberstange und des Cylinders als bekannt voraussetzen, s. Fig. 51, Taf. VII. Dann bestimmt man, wie bei allen übrigen Steuerungen das Diagrammexzenter für die grösste Füllung. Es sei im Maßstabe des Gerippes K . Nimmt man nun zunächst einen vertikalen Mittelpunktsort an, so liegt sein unterer Endpunkt gegenüber der Horizontalen durch O symmetrisch zu K , während der Mittelpunkt des wirklichen Exzenters für die toten Punkte der Kurbel in diese Horizontale fallen muss. Jetzt wählt man den grössten Neigungswinkel, max. α , des

Gleitrahmens. Er darf nicht zu gross werden, weil sich der Stein sonst im Schlitze klemmen könnte, aber auch nicht zu klein, damit der Halbmesser des Exzenters nicht zu gross ausfällt. Den Ausführungen entspricht etwa

$$\max. \alpha \approx 25^{\circ} \text{ bis } 30^{\circ}.$$

Zieht man dann durch K eine Gerade nach rechts unten zu, die gegenüber der Horizontalen unter diesem Winkel geneigt ist, so schneidet sie auf der Horizontalen durch O in E den Mittelpunkt des wirklichen Exzenters ein.

Die Länge der Koppel wählt man zweckmässig so, dass ihr den Schieber führender Punkt F gegenüber s symmetrische Gesamtausschläge macht, damit auch die Schieberschubstange auf beiden Seiten von s gleiche grösste Neigungen annimmt. Um das zu erreichen, muss das Stück der Koppel zwischen E und F genau gleich dem Abstände des Punktes O von der Geraden s gemacht werden, also $EF = OF_0$.

Im linken toten Punkte der Kurbel ist die Auslenkung des Schiebers aus seiner Mittellage gleich dem Abstände des Punktes K von der vertikalen Achse des Diagrammes. Bei genügender Länge der Schieberschubstange muss ihr Angriffspunkt F an der Koppel gleichzeitig ebensoweit ausgelenkt sein, also in der Vertikalen f durch K liegen. Die zugehörige Lage von F findet sich daher im Schnittpunkte von f mit einem Kreisbogen um E vom Halbmesser $EF = OF_0$. Zieht man dann noch die Verbindungsgerade EF und verlängert sie bis zum Schnittpunkte D mit OF_0 , so erhält man in D den Drehpunkt des Gleitrahmens, also die Lage der Steuerwelle, und in ED die ganze Länge der Koppel.

Die jetzt noch fehlende Länge der Schieberschubstange lässt sich an einer Zeichnung der ganzen Maschine leicht feststellen, und damit ist dann das ganze Steuerungsgetriebe bestimmt, so genau, wie es mit einem solchen Diagramme überhaupt möglich ist.

Verlangt man veränderliches Voröffnen, so wird der Mittelpunktort eine geneigte Gerade, und der Punkt E kommt auf den zu ihr senkrechten Durchmesser zu liegen. Je nachdem man gleichzeitig den untersten Punkt des Mittelpunktortes wählt, können die grössten Neigungswinkel des Gleitrahmens nach beiden Seiten hin verschieden ausfallen; die Lage von E ist dann so zu bestimmen, dass der grössere Winkel den Grenzwert von $\approx 25^{\circ}$ bis 30° nicht überschreitet. Die Länge EF muss auch gleich OF_0 genommen werden. D bestimmt sich dagegen am besten für den toten Punkt der Steuerung, ausgehend vom Schnittpunkte des Exzenterkreises

mit seinem horizontalen Durchmesser. Der Schieber ist bei diesen Kurbelstellungen für alle Füllungsgrade gleich weit ausgelenkt.

Im Jahre 1876 hat Hackworth ein Patent auf eine andere Form seiner Steuerung genommen, bei der der Angriffspunkt F der Schieberschubstange ausserhalb EB liegt, und zwar auf der Seite von B . Es ist aus einer Zeichnung leicht ersichtlich, dass dabei das Exzenter mit der Kurbel gleich gerichtet und der Gleitrahmen im entgegengesetzten Sinne geneigt sein muss, s. Fig. 51 a, Taf. VII. Beim Entwerfen einer neuen Steuerung dieser Art ist KE nach links unten zu geneigt, und es fällt der Drehpunkt D des Gleitrahmens zwischen O und s .

Das Verhältnis zwischen den Längen $EB_0 = ED \equiv l$ der Exzenterstange und $OE \equiv r$ des Exzenterhalbmessers wird bei beiden Anordnungen übereinstimmend:

$$\frac{l}{r} = \frac{ED}{OE} = \frac{EF}{EK_0} = \frac{OF_0}{KK_0 \cotg \alpha_m} = \frac{OF_0}{KK_0} \tan \alpha_m. \quad (75)$$

Da OF_0 aus der Anordnung der Maschine, KK_0 aus den Annahmen über die Dampfverteilung bei stärkster Füllung bestimmt sind, so ergibt sich das Verhältnis l/r proportional mit $\tan \alpha_m$. Der grösste noch zweckmässige Wert von $\tan \alpha_m$ bleibt unter 0,5, also ziemlich klein. Ist nun auch OF_0 klein gegenüber KK_0 , so wird das Verhältnis l/r ungünstig klein, was eine ungleichmässige Dampfverteilung zur Folge hat. Die Steuerung von Hackworth in dieser einfachen Gestalt ist daher nur für Maschinen geeignet, die einen gegenüber dem Kolbenhube grossen Cylinderdurchmesser besitzen, also namentlich für Schiffsmaschinen. Sie findet sich auch in der That fast nur bei solchen Maschinen ausgeführt.

Die beiden Arten, F zwischen oder ausserhalb EB , ergeben im übrigen nach Gleichung (75) genau gleich gute oder ungünstige Dampfverteilung. In anderer Richtung unterscheiden sie sich aber. Die erste Anordnung, Fig. 51, braucht in der Höhe etwas mehr Platz. Gleichzeitig erhält sie einen grösseren Exzenterhalbmesser, so dass auch der Stein im Gleitrahmen einen grösseren Weg zurücklegen muss. Dagegen verteilt sich der Widerstand der Schieberbewegung an der Koppel von F nach beiden Seiten hin auf E und B , ist also an B kleiner als an F , während bei der zweiten Anordnung der Druck an B grösser wird, als der an F . Diese Vor- und Nachteile gleichen sich also gegenseitig teilweise aus, so dass keine der beiden Anordnungen vor der anderen einen unbedingten Vorzug verdient.

Die beiden Figuren 51 gelten nur für einen Schieber mit äusserer Einströmung. Arbeitet die Maschine mit einem Kolbenschieber mit

innerer Einströmung, so würde K das Diagrammexzenter für die rechte Cylinderseite sein. Man kann dann die Figuren, soweit sie sich auf die eigentliche Steuerung beziehen, ungeändert beibehalten, nur geben sie die Stellung des Getriebes für den rechten toten Punkt der Kurbel. Für den linken toten Punkt rücken K auf OK und E auf dem horizontalen Durchmesser auf die andere Seite von O , während die Neigung des Gleitrahmens für den gleichen Drehungssinn ungeändert bleibt.

§ 46. Abarten der Umsteuerung von Hackworth.

Die Steuerung von Hackworth ist in verschiedenen Richtungen abgeändert worden, und es giebt fast in jeder Richtung wieder verschiedene Anordnungen, die sich von dem hier festgehaltenen geometrischen Standpunkte aus je vollkommen gleichen, die aber doch unter verschiedenen Namen aufgeführt werden.

Eine nur in der Bauart abweichende Steuerung ist die von **Radovanovic**.* Sonst unterscheidet sie sich in nichts von der Hackworth-Steuerung mit ausserhalb angreifender Schieberschubstange. Anwendung hat sie bei einigen Fördermaschinen mit Ventilsteuerung gefunden.

Die übrigen Abarten suchen die ursprüngliche Anordnung in verschiedenen Richtungen zu verbessern.

Um die gleitende Reibung im Gleitrahmen durch Zapfenreibung zu ersetzen, gehen Lenker anzuwenden. So schlägt **Angström**** einen Watt'schen Lenker vor, während **Brown**** seit 1878 mehrfach einen Conchoïden-Lenker angewendet hat, s. Fig. 52, Taf. V, wo der Punkt B die angenähert geradlinige Führung übernimmt. Die hier bei P auftretende gleitende Reibung ist nur noch auf einem bedeutend kleineren Wege zu überwinden. D bezeichnet die Steuerwelle.

Bei der geradlinigen Gestalt des Hackworth'schen ursprünglichen Gleitrahmens fällt die Dampfverteilung wegen der endlichen Länge der verschiedenen übertragenden Stangen ungleichmässig aus. Dem geht durch Krümmung des Gleitrahmens zu begegnen. Der erste, der einen solchen gekrümmten Gleitrahmen angewendet hat,

* D. R.-P. Kl. 14, Nr. 51247 und Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1890, 560.

** Engineering 1886, II, 360, Angström Fig. 7, Brown Fig. 10, und 1889, II, 613 u. ff.

war 1867 **Brown**.* Von 1879 an hat dann **Joy**** seine später noch genauer zu besprechende Steuerung mit einem nach der Schieber Schubstange gekrümmten Gleitrahmen häufig ausgeführt. Durch die letzte Anordnung wird nur die endliche Länge dieser Stange ausgeglichen. Will man dabei auch die übrigen Stangen berücksichtigen, so geht man am besten so vor, dass man für die am meisten benutzte Einstellung der Steuerung die Lagen des Steines in den Hauptpunkten der wirklich verlangten Dampfverteilung zeichnet und möglichst durch diese Punkte und natürlich auch genau durch den Drehpunkt der Steuerwelle eine stetig gekrümmte Linie legt. Sollen verschiedene Einstellungen möglichst gleich gute Dampfverteilung ergeben, so muss man mehrere solcher Punktreihen bestimmen und dann eine mittlere gekrümmte Linie auswählen. Diese kehrt gewöhnlich einem Flachschieber mit äusserer Einströmung die hohle Seite zu, einem Kolbenschieber mit innerer Einströmung die volle.

Wegen der leichteren Herstellung wird eine solche Krümmung gewöhnlich durch einen Kreisbogen ersetzt. Und da liegt der Gedanke nahe, zur gleichzeitigen Vermeidung der gleitenden Reibung den Stein von einem festeingestellten Punkte aus durch eine Schwinge zu führen. In der That hat schon Hackworth selbst 1859 (S.) ein Patent auf eine solche Anordnung genommen, s. Fig. 53, Taf. V. Auf der Steuerwelle D wird dabei ein Arm DH aufgekeilt, dessen Endpunkt H den Drehpunkt für die Schwinge HB bildet, die ihrerseits die Exzenterstange in B fasst. Zur Sicherung der Unveränderlichkeit des Voröffnens und der Mittellage des Schiebers muss $HB = HD$ gemacht werden, damit der Punkt B bei allen Einstellungen genau durch die Achse der Steuerwelle hindurchgeht. Sollten HB und HD eine zu grosse Länge erhalten, so könnte die Annäherung auch mit einem Conchoïdenlenker, wie in Fig. 52, Taf. V, gemacht werden, nur müsste die Koppel z. B. in B' angreifen und D nach D' verlegt werden.

Die Anordnung mit Schwinge ist später auch unter den Namen von **Klug** und von **Marshall** patentiert† und häufig ausgeführt worden. Klug lässt die Schieberschubstange stets ausserhalb

* Engineering 1886, I, 61.

** Smith in Engineering 1889, II, 613 u. ff. Auf diese Veröffentlichung habe ich mich weiterhin mehrfach zu beziehen und thue das einfach durch ein Hinzufügen von «(S.)».

† Klug, D. R.-P. Kl. 14, Nr. 6648, von 1878, englisches Patent vom 12. August 1879. Marshall, englisches Patent vom 14. Okt. 1880. Nach Angaben von Hrn. Ing. Klug.

angreifen, so dass man solche Steuerungen auch als Hackworth-Klug'sche benennt. Die mit innerhalb liegendem Angriffspunkte heissen dann Hackworth-Marshall-Steuerungen; Marshall legt aber den Angriffspunkt auch oft aussen hin. Für die Klug'sche Anordnung giebt Ebbs an*, die Firma Janssen & Schmilinsky in Hamburg habe folgende Verhältnisse als günstig ausprobiert, vgl. Fig. 53, aber mit F ausserhalb B :

$$\begin{aligned} \text{für Füllungen } \leq 50\%: & \quad OD = 6 \cdot OE, & \quad EF = 1,6 \cdot EB \\ \text{für Füllungen } \geq 50\%: & \quad OD = 6,8 \cdot OE, & \quad EF = 1,5 \cdot EB, \\ \text{dabei } BH = DH = & \quad (8 \text{ bis } 9) OE. \end{aligned}$$

Bremme hat 1879 in England eine wesentlich gleiche Anordnung patentiert erhalten (S.), die auch von Anderen gelegentlich nach ihm benannt wird. Die Schwinge ist auf der dem Schieber abgewendeten Seite gelagert, so dass Kolbenschieber voraussetzen wären. Es werden aber auch Steuerungen mit gekrümmtem Gleitrahmen unter seinem Namen aufgeführt**. Eine Anordnung dagegen, die mit der von Klug vollkommen übereinstimmt, ist auch von **Jack** (S.) angegeben worden.

Woolf und **Williamson***** wollen die Stangenlängen dadurch ausgleichen, dass sie den Gleitrahmen zwar geradlinig ausführen, seinen Drehpunkt aber neben die Mittellinie legen. Das hätte eine Veränderlichkeit des Voröffnens und namentlich auch der Mittellage des Schiebers zur Folge, so dass diese Anordnung nicht gut wäre.

Andere Abarten der ursprünglichen Steuerung von Hackworth suchen das Exzenter zu umgehen.

Schon 1878 hat **Brown** als erster die Koppel von einem Punkte der Kurbelstange aus bewegt (S.), s. Fig. 54, Taf. VII. Dabei geht der Punkt B noch beliebig entweder in einem Gleitrahmen oder von einem Lenker oder auch durch eine Schwinge zu führen. Mit einer Schwinge, deren Drehpunkt in einer Bogenschleife verstellt wird, ist diese Steuerung auch der Firma **Gebr. Sachsenberg**† patentiert, ebenso in England **Lamplough** und **Bauer**††. Gelegentlich ist es auch möglich, die Koppel unmittelbar von der Triebkurbel, oder bei Lokomotiven von einem Punkte einer Kuppelstange ausgehen zu lassen.

* Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1885, 969.

** Engineering 1889, II, 444.

*** In England 1889 auf den Namen **Redfern** patentiert. Engineering 1889, I, 743.

† D. R.-P. Kl. 14, Nr. 62118. Englisches Patent auf den Namen **Boult**. Engineering 1892, I, 123.

†† Engineering 1893, II, 469.

Alle diese Anordnungen gestatten aber nicht, das Voröffnen veränderlich zu machen.

Um bei Ableitung der Bewegung von einem Punkte der Kurbelstange den Einfluss der veränderlichen Neigung der Koppel einigermaßen auszugleichen, schaltet **Brown***, s. Fig. 55, Taf. VII, noch einen Zwischenhebel QR ein, dessen Endpunkt R um den festen Punkt P drehbar ist. Verglichen mit den Totpunktstellungen steht der Stein B bei senkrechter Kurbelstellung zu hoch, und zwar angenähert um den Überschuss der Länge der Koppel EB über ihre Vertikalprojektion bei stärkster Neigung. Senkt man daher für die senkrechte Kurbelstellung den Punkt E um diesen Überschuss, den Punkt R also um entsprechend mehr, so wird die endliche Länge der Koppel möglichst ausgeglichen. P bestimmt sich dann als Mittelpunkt des Kreises, der durch die drei Lagen von R geht. Zum gleichen Zwecke wendet **Sisson** (S.) eine Hebelanordnung an, wie Kirk, Fig. 29, Taf. IV. Beide Anordnungen stimmen übrigens wesentlich überein, nur die Reihenfolge der Punkte auf dem Zwischenhebel ist eine andere und der feste Drehpunkt liegt auf verschiedenen Seiten der Cylinderachse. Verschiebt man diesen Punkt seitlich, so kann man bei den Anordnungen mit einem solchen Zwischenhebel veränderliches Voröffnen erreichen.

Ebenfalls eine gewisse Ausgleichung der endlichen Länge der Exzenterstange wird durch eine Anordnung bezweckt, die zuerst von **Morton**** ausgeführt worden zu sein scheint, allerdings bei einer anderen, später noch zu behandelnden Steuerung; die Anordnung kommt aber auch bei Hackworth-Steuerungen vor. An der Hauptkurbel OA , s. Fig. 56, Taf. VI, ist noch eine Gegenkurbel genau nach einwärts angebracht; natürlich könnte aber auch ein Exzenter mit N als Mittelpunkt angewendet werden. Von N geht eine Exzenterstange NE im Mittel in horizontaler Richtung aus. Ihr Endpunkt E wird von einer Schwinde PE gefasst, deren Drehpunkt P an einem seitlichen Ansatz der Kolbenstange, ungefähr in der Mitte ihrer Länge, angebracht ist. Durch diese Anordnung wird der Punkt E in einer birnenförmigen Bahn geführt, die aber nach allen Richtungen kleiner bleibt als der Kurbelwarzenkreis. Je nach der Grösse von ON gegenüber OA und der Lage des Punktes P auf der Länge der Kurbelstange nimmt diese Bahn verschiedene Verhältnisse an. E ist wieder der unterste Punkt der Koppel. Das Verhalten des Voröffnens hängt,

* Engineering 1886, I, 61.

** D. R.-P. Kl. 14, Nr. 24127. Englisches Patent 1882 (S.).

wie bei der vorigen Anordnung, davon ab, ob der Punkt E für die beiden toten Punkte der Kurbel in gleiche oder verschiedene Höhen gebracht wird, und das hat man durch die Wahl der Länge von NE gegenüber AP in der Gewalt. Es scheint zweckmässig, der Schwinge PE gegenüber der Kurbelstange einen Gesamtausschlagswinkel von etwa 90° zu geben.

In einer anders beschaffenen Bahn will **Holst*** den Punkt E führen. Von einem kleinen Exzenter ON , Fig. 57, Taf. V, erstreckt sich die Exzenterstange nach beiden Seiten hin. Auf der E entgegengesetzten Seite ist sie gezwungen, durch den am Maschinenrahmen fest angebrachten Punkt P zu gehen. So beschreibt aber E eine gegenüber ihrer vertikalen Mittellinie unsymmetrische Bahn, und daher kann diese Anordnung keine gute Dampfverteilung ergeben. Für kleinere Füllungen wird allerdings der Einfluss der Kürze der Kurbelstange etwas ausgeglichen, für grössere aber verstärkt. Auch an Reibungsarbeit am Exzenter wird nichts gewonnen, denn der Reibungsweg wird zwar kleiner, dafür aber der Reibungsdruck um so grösser; ausserdem kommt die Reibung bei P noch besonders hinzu. Holst schlägt auch vor, statt dieser Führung bei P , einen Punkt der Exzenterstange in einem Kreisbogen zu bewegen. Bei beiden Anordnungen folgen sich die Punkte auf der Koppel in der Reihenfolge E, B, F , und B wird durch eine Schwinge geführt. Eine wesentlich gleiche Steuerung ist auch **Bendermann**** patentiert, nur dass bei ihr auf der Koppel E zwischen B und F liegt und B in einem gekrümmten Gleitrahmen geführt wird. Der zweiten Anordnung von Holst gleicht äusserlich eine Steuerung von **Otto**†, sie ändert aber auch die Neigung des Kreisbogens, in dem der unterstützte Punkt der Exzenterstange geführt wird. Eigentlich besteht sie also aus einer Aneinanderreihung von zwei Hackworth-Steuerungen mit Schwingen; der Punkt F der ersten Koppel ist gleichzeitig der Punkt E für die zweite. Zum Umsteuern werden beide Schwingen von derselben Steuerwelle aus im entgegengesetzten Sinne verstellt.

Eine eigentümliche Anordnung zur Vermeidung eines Exzenters auf der Kurbelwelle hat **Bremme** vorgeschlagen (S.). Er will von einem Punkte der Kurbelstange aus durch eine Prismenführung eine besondere, zwischen der Kurbelwelle und dem Cylinder gelagerte Welle drehen und auf diese das Exzenter aufkeilen.

* D. R.-P. Kl. 14, Nr. 31568. Zeitschr. d. Vereines deutscher Ing. 1888, 994.

** D. R.-P. Kl. 14, Nr. 57899. Dasselbst 1891, 1276.

† D. R.-P. Kl. 14, Nr. 98293. Dasselbst 1898, 1121.

Die ursprüngliche Anordnung von Hackworth gestattet nur bei Schiffsmaschinen, der Exzenterstange eine genügende Länge zu geben. Bei anderen Maschinen muss man diese Stange durch besondere Anordnungen zu verlängern suchen. Das ist auch schon verschiedenartig geschehen.

Am einfachsten geht es dadurch zu erreichen, dass man den Schieberspiegel gegenüber der Achse des Cylinders stark neigt. Diese Anordnung findet sich angewendet bei den **Abt'schen** Zahnradlokomotiven für Lehesten-Oertelsbruch, gebaut von der Schweizerischen Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur.

Die gleiche Fabrik ordnet an kleinen Bau-Lokomotiven die Steuerung so an, dass sie die Exzenterstange verhältnismässig lang macht und dann zwischen die Schubstange und die Schieberstange einen zweiarmigen Hebel einschaltet.*

Ein ähnliches Mittel ist von **Brown**** an einer Schiffsmaschine auf dem Genfersee angewendet und auch von **Henderson** (S.) vorgeschlagen worden. Beide führen die Exzenterstange wesentlich in der Richtung der Kurbelstange ab und übertragen dann die Bewegung durch einen Winkelhebel auf die Richtung der Schieberstange. Wesentlich gleich ist eine Anordnung von **Wyllie** (S.) für Schiffsmaschinen, nur dass die Exzenterstange im Mittel gegenüber der Achsrichtung des Cylinders geneigt steht.

Auf eine andere Anordnung zur Verlängerung der Exzenterstange haben 1877 **Brown** in Deutschland und England und 1879 **Joy** in England Patente genommen.† Diese Anordnung wird jetzt allgemein als Steuerung von Joy benannt; sie findet sich sehr häufig auf Schiffen und Lokomotiven ausgeführt. Zunächst soll aber nicht diese Steuerung selbst erläutert, sondern eine etwas abweichende Anordnung untersucht werden.

In Fig. 58, Taf. V, sei vorausgesetzt, dass von der Triebkurbel A neben der Kurbelstange und in derselben Richtung eine gleich lange Stange AN ausgeht, deren Endpunkt N durch die bei P festgelagerte Stange PN in einem Kreisbogen so geführt wird, dass er für die beiden toten Punkte der Kurbel mit dem Kreuzkopfpapfen zusammenfällt. Auf der Stange AN ist ein Drehzapfen Q angeordnet und durch Hinzufügung zweier weiterer Stangen PR und QR ein Watt'sches

* Die beiden letzten Anordnungen nach dem Album der Fabrik.

** Engineering 1881, I, 35.

† Daselbst 1886, I, 61.

Parallelogramm $PNQR$ hergestellt. Daher beschreibt der Schnittpunkt E von QR mit PA einen Kreis um O_1 , dessen Halbmesser kleiner ist als der Kurbelarm und der tiefer liegt, so dass die Exzenterstange EB eine verhältnismässig grössere Länge erhält.

In Wirklichkeit wird nun keine besondere Stange AN hinzugefügt, sondern der Punkt Q auf die Kurbelstange selbst gelegt und gleichzeitig natürlich auch die Schwinge PN weggelassen. Dadurch steht aber Q , ausser in den beiden toten Punkten der Kurbel, zu tief, und dieser Fehler überträgt sich auch durch die Stange QR auf den Punkt E . Am grössten wird die Abweichung bei vertikaler Stellung der Kurbel. Da der Stein aber dann infolge der endlichen Länge der Koppel verhältnismässig zu hoch steht, so ist diese Verschiebung von E nur günstig. Bei gewissen Längenverhältnissen kann es sogar wünschbar werden, E noch mehr zu senken. Das geht auch durch eine Verlängerung der Stange PR , d. h. durch eine Verschiebung von P nach rechts hin zu erreichen, wenn es auch nicht gerade viel nützt. Die günstigste Lage von P muss man ausprobieren, indem man mit den übrigen vorher gewählten Längen für die eigentlich gewollte Dampfverteilung die Bahn des Punktes R bestimmt und diese schliesslich durch einen Kreisbogen ersetzt. Das giebt dann die eigentliche Steuerung von **Joy**, richtiger von **Brown**, die übrigens den Punkt B der Koppel mit einem Steine in einem nach der Schieberstange gekrümmten Gleitrahmen führt. Es kommen aber auch geradlinige Gleitrahmen und Schwingen vor. Bei Anwendung einer Schwinge will **Fox*** ihren Drehpunkt in einem kreisförmig gekrümmten Schlitz verstellen, wie die Gebr. Sachsenberg.

Um einen besonderen festen Drehpunkt P zu vermeiden, wird von **Joy** auch die in Fig. 59, Taf. VII, dargestellte Anordnung angewendet. Der Punkt P ist am Kreuzkopfe angebracht und geht mit ihm hin und her. Wählt man die Verhältnisse so, dass die vier Punkte $QNPE$ ein Parallelogramm bilden, so beschreibt E genau die gleiche Bahn, wie Q , nur um die Strecke NP tiefer. Die übrigen Stücke bewegen sich daher so, wie bei unmittelbarer Ableitung von einem Punkte der Kurbelstange. Wenn bei Schiffsmaschinen die Luftpumpe vom Kreuzkopfe aus durch einen zweiarmigen Hebel angetrieben wird, so legt **Joy** den Punkt P auf diesen Hebel und gleichzeitig den Punkt Q auf die entgegengesetzte Seite neben die Mittellinie der Kurbelstange.**

* Fränzel, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1889, 1045 und Taf. XXXVIII, Fig. 57.

** Z. B. Engineering 1885, I, 344.

Die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik in Winterthur lässt dagegen bei Lokomotiven die Stange QE ganz weg und fasst dafür einen Punkt R der Koppel durch die gestrichelt eingezeichnete Stange QR . * Damit geht der nachtheilige Einfluss der Veränderlichkeit der Neigung der Koppel teilweise auszugleichen.

Obwohl es aus gelegentlichen Bemerkungen schon hervorgeht, möge doch ausdrücklich noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die verschiedenartigen Abänderungen der ursprünglichen Hackworth'schen Anordnung im allgemeinen beliebig mit einander vereinigt werden können.

Ausser den bisher besprochenen Abarten der Steuerung von Hackworth sind noch einige zu erwähnen, die in anderen Richtungen von ihr abweichen.

Bagnall** hat kleine Lokomotiven mit einer Steuerung ausgerüstet, wie sie in Fig. 60, Taf. VI, dargestellt ist. Von der Kurbel A geht eine besondere Exzenterstange AE aus, die den untersten Punkt E der Koppel unmittelbar und unveränderlich führt. Der andere Punkt B wird von dem an AE angeordneten Punkte Q aus über R veränderlich bewegt und R selbst nach Hackworth durch die um D einstellbare Schwinge HR geführt. Eine ähnliche Anordnung rührt auch von **Brown***** her, bestimmt für Lokomotiven, welche die Bewegung vom Kolben auf die Kurbel durch einen zweiarmigen Hebel übertragen. Der Punkt E der Koppel wird hier von einem Punkte dieses Hebels mitgenommen, während der Punkt Q an der Kurbelstange angebracht ist.

Auch von **Douglas**† ist eine hierher gehörige Steuerung angegeben worden. Der unterste Punkt der Koppel wird vom Kreuzkopfe durch eine kurze Zugstange mitgenommen, der andere von einem senkrecht zur Kurbel stehenden Exzenter, dessen Stange nach Hackworth veränderlich geführt wird und die ihre Bewegung durch einen zweiarmigen Hebel auf die Koppel überträgt.

Ähnlich wie Belpaire gegenüber Walschaert will **Carriek**†† die Bewegung der Koppel in der Richtung der Schieberbewegung vom gleichseitigen, die dazu senkrechte vom entgegengesetzten Kreuzkopfe aus ableiten.

* Album der Fabrik und daraus z. B. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1898, 173, 295.

** Engineering 1895, I, 741.

*** Daselbst 1886, I, 61.

† Dingler 1887, 265, 113.

†† Engineering 1893, I, 759.

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.