II. Abschnitt.

Schieberbewegung durch die geschränkte Schubkurbel.

§ 12. Das Schorch'sche Diagramm für die geschränkte Schubkurbel.

In Fig. 16, Taf. III, sei O der Mittelpunkt der Achse, $OK = OL$ die Länge des Halbmessers des Exzenters, K die Lage des Exzentermittelpunktes für den linken, L die für den rechten toten Punkt der Kurbel. Der Endpunkt der Exzenterstange wird bei der geschränkten Schubkurbel in einer neben O vorbeigehenden Geraden gg geführt. Es soll auch hier beidseitig gleiches Voröffnen verlangt und der Schieber ebenso wie der Schieberspiegel symmetrisch vorausgesetzt werden. Die Untersuchung der Dampfverteilung erfolgt wesentlich gleichartig, wie in § 2 für die gewöhnliche Schubkurbel.

Schneidet man im vorliegenden Falle aus den beiden Stellungen K und L des Exzentermittelpunktes für die beiden toten Punkte der Kurbel wieder mit der Länge der Exzenterstange auf der Schubrichtung gg die beiden Punkte T und T' ein, so ist der Mittelpunkt M der Strecke TT' auch hier die Mittellage des Endpunktes der Exzenterstange. Für eine beliebige andere Stellung A des Exzentermittelpunktes befindet sich der Endpunkt der Exzenterstange in B, um MB aus seiner Mittellage ausgelenkt. Trägt man diese Länge von A aus parallel zu gg nach einwärts zu auf, macht man also $AC \parallel$ und $= BM$, so ist, wie früher bei der einfachen Schubkurbel, $ABMC$ ein Parallelogramm, also

$$MC = BA = l.$$

Sämtliche Punkte C liegen daher auch bei der geschränkten Schubkurbel auf einem Kreise um M als Mittelpunkt mit einem Halbmesser gleich der Länge der Exzenterstange, nur ist dieser Mittelkreis hier geneigt. Zieht man durch K und L Parallelen zu gg bis zum Schnitte mit dem Mittelkreise in K'' und L'', so ist

$$K''K = MT = MT' = L''L,$$

und daraus folgt, dass K'' und L'' auf demselben, aber geneigten Kreisdurchmesser liegen, der in der Figur auch eingezeichnet ist.

Die Eröffnung der Kanäle für den Ein- oder Austritt des Dampfes bestimmt sich nun leicht. Es muss von der Auslenkung aus der

Mittellage die äussere oder die innere Überdeckung abgezogen werden. Das geht, wie früher, für alle Lagen gleichzeitig auszuführen, indem man Kreisbögen, die Deckungsbögen, einzeichnet, deren Halbmesser auch gleich l ist, und deren Mittelpunkt sich auf gg in den Abständen

$$ME = ME' = e \text{ und } MJ = MJ' = i$$

von der Mittellage M befinden. Um zu sehen, ob und wann ein Kanal ganz geöffnet wird, müssen noch kongruente Kreisbögen hinzugefügt werden, deren Mittelpunkte von M um die Längen:

$$MF = MF' = e + a \text{ und } MG = MG' = i + a$$

abstehen. Sämtliche Bögen sind in der Figur mit den zugehörigen Buchstaben e, i, $e + a$, $i + a$ bezeichnet, wie früher in Fig. 2, Taf. I. Die Flächen, deren horizontale Breite der jeweiligen Kanaleröffnung gleich ist, sind ebenso schraffiert, wie dort, und die Hauptstellungen der Dampfverteilung sind auch mit den Zahlen I bis IV bezeichnet. In Fig. 16 wurden die Kanalweite, die beiden Überdeckungen, das Voröffnen und die Länge der Exzenterstange gleich gross gewählt, wie in Fig. 2, während Halbmesser und Voreilwinkel des Exzenters so bestimmt wurden, dass die Dampfverteilung der dortigen möglichst gleich wird. Vollständige Übereinstimmung geht nicht zu erreichen.

Wie Fig. 16 erkennen lässt, fallen die Schieberbewegung und die Dampfverteilung bei der geschränkten Schubkurbel auch auf beiden Cylinderseiten verschieden aus, ähnlich, wie bei der einfachen Schubkurbel, wenn auch die Abweichungen andere Zahlenwerte annehmen. Doch kommt hier noch eine neue Ungleichheit hinzu, indem die beiden Stellungen des Exzentermittelpunktes, die den grössten Auslenkungen des Schiebers entsprechen, nicht mehr auf die beiden Endpunkte desselben Durchmessers fallen. Bezieht man die Dampfverteilung auf den Kolbenweg, so werden die Ungleichheiten noch grösser, wie es die bei den einzelnen Punkten in der Figur angegebenen Kolbenstellungen erkennen lassen. Dabei ist die Kurbelstange gleich lang vorausgesetzt, wie in Fig. 2.

Es lässt sich also auch für die geschränkte Schubkurbel mit diesem verallgemeinerten Schorch'schen Diagramme die Dampfverteilung vollkommen genau bestimmen.

§ 13. Das Müller'sche Diagramm für die geschränkte Schubkurbel.

Wo eine geschränkte Schubkurbel angewendet wird, ist zwar die Exzenterstange gegenüber dem Halbmesser des Exzenters gewöhnlich kürzer, als bei der einfachen Schubkurbel, sie bleibt aber doch lang genug, um die verschiedenen kongruenten Kreisbögen der Fig. 16

durch Geraden ersetzen zu dürfen. Diese Geraden müssen so bestimmt werden, dass das beidseitig gleiche Voröffnen gewahrt bleibt, und das geschieht, wenn die den Mittelkreis ersetzende Gerade durch die beiden Punkte K'' und L'' hindurchgeht. Der Mittelkreis muss also durch den geneigten Kreisdurchmesser $K''OL''$ ersetzt werden, die übrigen Bögen durch zu ihm parallele Geraden, die parallel zur Schubrichtung gg gemessen, um je e, i, $e+a$, $i+a$ von ihm abstehen. Dadurch ergiebt sich das in Fig. 17, Taf. III, dargestellte Diagramm. Da dieses aber für beide Dampfkanäle gleich ausfällt, ist es nur für den linken gezeichnet.

In diesem angenäherten Diagramme erscheint das Voröffnen doch in wahrer Grösse. Da die Stellungen I stets nahe an den Horizontalen durch die Endpunkte der Kolbenweglinie liegen, so lassen sie sich auch genügend genau entnehmen. Weiterhin werden die Abweichungen grösser, am grössten für die grössten Auslenkungen des Schiebers. Das ist wesentlich das gleiche Verhalten, wie beim Müller'schen Diagramme für die einfache Schubkurbel. Die hier entwickelte Annäherung ist also ebenso berechtigt, wie die dortige.

Zur Bestimmung der Richtung der geneigten Mittellinie ist zu beachten, dass in Fig. 16, Taf. III, wegen der Kongruenz der Dreiecke OKK'' und OLL'' $OK'' = OL''$ ist und daher $OM \perp K''OL''$ steht. Die Richtung von OM geht nun bei einer vorhandenen Steuerung leicht zu bestimmen, beim Entwerfen einer neuen muss sie gewählt werden. Damit ist dann auch die Richtung der Mittellinie gegeben. Für einzelne Untersuchungen braucht man noch ihren Neigungswinkel α gegenüber der Vertikalen, oder den Winkel zwischen OM und der Horizontalen. Dieser Winkel kann Schränkungswinkel genannt werden. Bezeichnet nun c den Abstand der Schubrichtung gg vom Mittelpunkte O der Welle, l die Länge der Exzenterstange und h die Pfeilhöhe des Bogenstückes $K''L''$ des Mittelkreises, so ist nach Fig. 16 genau

$$\sin\alpha = \frac{c}{l-h}. \tag{10}$$

Wirklich wird h stets verhältnismässig klein gegenüber l, und man darf daher genügend genau annehmen:

$$\sin\alpha = \frac{c}{l}. \tag{11}$$

Gewöhnlich bleibt α sogar so klein, dass man sin durch tang ersetzen kann, und man muss das auch gelegentlich thun, um einfache Ergebnisse zu erhalten. Dann ist also in weiterer Annäherung auch

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{c}{l}. \tag{12}$$

In der eben entwickelten Gestalt geht das angenäherte Diagramm selten weiter zu verwerten. Gewöhnlich müssen die Auslenkungen des Schiebers als horizontale Abstände der Punkte eines Kreises von seinem vertikalen Durchmesser bekannt sein, wie in dem früheren Müller'schen Diagramme. Es muss also versucht werden, eine einfache Schubkurbel zu finden, welche die gleiche Schieberbewegung hervorbringt, wie die wirkliche, geschränkte. Eine solche Schubkurbel giebt es nun, und da sie dann in den weiteren Untersuchungen allein auftritt, so soll ihr Exzenter das Diagrammexzenter genannt werden. Dieses Diagrammexzenter müsste sich natürlich genau kongruent mit dem wirklichen Exzenter drehen.

Es sei in Fig. 18, Taf. III, OK' das wirkliche Exzenter, δ' sein Voreilwinkel gegenüber der Senkrechten OY zur Schubrichtung des Schiebers, mm die unter dem Schränkungswinkel α gegen diese Senkrechte geneigte Mittellinie des vorigen Diagrammes. Soll sich nun der Schieber zunächst in seiner Mittellage befinden, so muss das wirkliche Exzenter in die Mittellinie mm fallen, das Diagrammexzenter dagegen in die Senkrechte OY. Daher muss das Diagrammexzenter dem wirklichen um den Schränkungswinkel α voreilen, es müsste also mit einem Voreilwinkel

$$\delta = \delta' + \alpha$$

aufgekeilt sein. Befindet sich das wirkliche Exzenter in der allgemeinen Lage OA', so müsste das Diagrammexzenter daher um $\angle A'OA = \alpha$ weiter, also in der Richtung OA stehen. Dabei ist die Auslenkung des Schiebers $B'A'$. Zieht man nun $A'C \parallel mm$, $CA \parallel OY$ bis zum Schnitte A mit OA und AB horizontal, so ist $B'A' = OC = BA$. A wäre also ein Punkt des gesuchten Kreises. Nach Konstruktion ist aber auch $\angle A'CA = \alpha = \angle A'OA$. Daraus folgt, dass die vier Punkte $OA'AC$ auf demselben Kreise liegen, und da $\triangle\, OCA$ bei C rechtwinkelig gemacht wurde, so ist OA Durchmesser dieses Kreises. Daher muss aber der Kreis auch durch den Punkt B gehen und ausserdem $\angle OA'A = 90^0$ sein. Der Halbmesser des Diagrammexzenters ergäbe sich hiernach als Hypotenuse eines rechtwinkeligen Dreieckes, in welchem ein Winkel gleich α und die anliegende Kathete gleich dem Halbmesser des wirklichen Exzenters ist. Da diese Bestimmung von der Lage von A' ganz unabhängig ist, so werden alle so gefundenen Längen OA unter sich gleich, und das beweist, dass es in der That ein Diagrammexzenter giebt, welches das wirkliche mit der in Fig. 17 zugelassenen Annäherung ersetzt. Sein Halbmesser wird

$$r = \frac{r'}{\cos\alpha}, \text{ also } > r'. \tag{13}$$

Bei den Anwendungen genügt es nun, den Anfangspunkt K der Kolbenweglinie dieses Diagrammexzenters zu bestimmen. Er findet sich als dritter Eckpunkt K des bei K' rechtwinkeligen Dreieckes $OK'K$, in dem $\angle K'OK = \alpha$ gemacht werden muss. Ist dabei der Winkel α aus der Richtung von OM bekannt, so wird er unmittelbar an OK' angetragen. Wenn dagegen c und l gegeben sind, so muss α bestimmt werden, wie es Fig. 19, Taf. III, zeigt, wobei natürlich c und l in verkleinertem Maßstabe aufzutragen sind. In Wirklichkeit bleibt α gewöhnlich bedeutend kleiner als in der Figur, dann kommt es ungefähr auf das Gleiche hinaus, ob man c als Sehne FH des Halbkreises OHF aufträgt oder als Tangente FG. Man kann K aber auch so finden, wie vorhin A in Fig. 18, indem man $K'D \parallel mm$, also auch $\perp OM$, und dann $DK \parallel OY$ zieht, bis diese Vertikale OK, oder besser $K'K$ schneidet. Bei den Anwendungen ist gelegentlich K gar nicht nötig, sondern nur D, und das bestimmt sich dann einfacher durch $K'D$.*

Bisher wurde angenommen, die Schubrichtung gg liege oberhalb der Welle O. Liegt sie umgekehrt unterhalb, so nehmen OM der Horizontalen und mm gegenüber der Vertikalen entgegengesetzte Neigungen an. Der Schränkungswinkel ändert also sein Vorzeichen, und daher wird der Voreilwinkel des Diagrammexzenters $\delta = \delta' - \alpha$. Alles Übrige bleibt dagegen wesentlich ungeändert.

Um vom wirklichen Exzenter auf das Diagrammexzenter zu kommen, muss man hiernach stets eine Drehung um den Schränkungswinkel in dem Sinne vornehmen, dass OM auf dem kürzesten Wege in die Horizontale gelangt.

---

* Auf diese Beziehung hat zuerst John L. Gow, Assist. Engineer U.S.N. hingewiesen, s. Jrl. of the Franklin Inst. 1888, Bd. 126, S. 255.