Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 25/26 (1895)
Heft: 20

Artikel: Lokomotiv-Steuerungen mit unsymmetrischer Centralkurve
Autor: Fliegner, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-19323

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 30.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Lokomotiv-Steuerungen mit unsymmetrischer Centralkurve. — Vorläufiger Bericht über die Brückenversuche in Mumpf. — Mont-Blanc-Bahn. — Der Gabentempel und Empfangspavillon des eidg. Schützenfestes 1895 in Winterthur. — Miscellanea: Achsbrüche an Eisenbahnfahrzeugen. Dampfkesselexplosionen im deutschen Reiche während des Jahres 1894. Stufenbahn in Berlin. Elektrische Heizung im Vaudeville-Theater in London. Trambahnen mit mechanischer Zugkraft in Italien. Verschiebung eines Fabrikgebäudes. Wiederherstellung des Domes in Konstanz. Kabel im Amazonentsrom. Gasleitungen aus Papier. — Nekrologie: † Alfred Aldrophe. — Zur gefälligen Notiznahme.

Hiezu eine Tafel: Eisenbahnbrücke in Mumpf (Kt. Aargau). Vorrichtungen für die Belastungsproben.

Lokomotiv-Steuerungen mit unsymmetrischer Centralkurve.

Von Professor *A. Fliegner.*

Für die Umsteuerungen der Lokomotiven wird seit einigen Jahren von verschiedenen Seiten[1]) die Forderung aufgestellt, dass das Voröffnen für das Einströmen mit zunehmender Geschwindigkeit der Fahrt, also abnehmender Füllung, wachsen soll. Nach *v. Borries* (an der letzten, unten angegebenen Stelle) genügt beim Anfahren unter stärkster Füllung ein Voröffnen von 1 *mm*; ein grösseres hätte zur Folge, dass die Kurbel zu schwer über den toten Punkt kommen würde. Bei normalem Gange dagegen mit Füllungen von 20 bis 30 % sollte ein Kanalschieber 2 bis 3, ein Vollschieber 3 bis 4 *mm* voröffnen, damit der Dampf nach dem Kolbenwechsel einen genügend grossen Eintrittsquerschnitt verfügbar hat. Soll eine Umsteuerung diese Bedingung erfüllen, so muss im Allgemeinen ihre *Centralkurve unsymmetrisch* angeordnet werden. Dann kann allerdings nur der eine Drehungssinn der Maschine diese günstige Dampfverteilung erhalten; die Anordnung ist also nur für Strecken-Lokomotiven brauchbar.

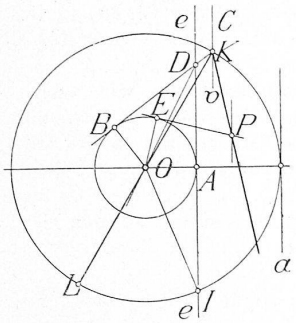
Zweck der folgenden Untersuchung ist, zu zeigen, wie man solche unsymmetrische Steuerungen von vornherein so konstruieren kann, dass sie *bei zwei bestimmten Füllungen vorgeschriebene Voröffnungen* ergeben. Natürlich nur mit der Annäherung, mit der überhaupt Diagramme gelten, die mit Zirkel und Lineal allein gezeichnet werden sollen. Ehe aber diese Entwickelungen durchgeführt werden können, ist es nötig, einige

geometrische Eigenschaften der Müller'schen Schieberdiagramme

nachzuweisen, die bisher noch nicht veröffentlicht worden sind.

Fig. 1 stellt ein solches Diagramm dar; der Kreis durch K und L ist der *Excenterkreis*, KOL die *Kolbenweglinie*, ee die *äussere Deckungslinie*. Der *Füllungswinkel* ε, d. i. der Drehwinkel der Kurbel während des Einströmens des Dampfes, wird gleich $\angle KOI$. Dabei ist es zunächst gleichgültig, ob OK den Radius des wirklichen Excenters bei centrischer Schubrichtung oder den Radius des Diagrammexcenters bei excentrischer Schubrichtung (geschränkter Schubkurbel) bedeuten soll.

Fig. 1.



In einem solchen Diagramme tritt nun der Füllungswinkel ε noch an einigen andern Stellen auf. Beschreibt man nämlich um O einen Kreis mit der äusseren Ueberdeckung e als Halbmesser, der also die äussere Deckungslinie ee in A berührt, und zieht man von K aus die Tangente KB an diesen Kreis, so ist

$$\triangle OBK \cong \triangle OAI,$$

denn beides sind rechtwinkelige Dreiecke, bei denen die Hypotenusen als Radien des Excenterkreises und die kleineren Katheten als Radien des Kreises AB einander gleich sind. Daher ist

$$\angle BOK = \angle AOI.$$

[1]) *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* 1891 S. 227, 1893 S. 9 und 139.

Addiert man zu jedem dieser Winkel den $\angle KOA$, so folgt:

$$\angle AOB = \angle KOI = \angle \varepsilon.$$

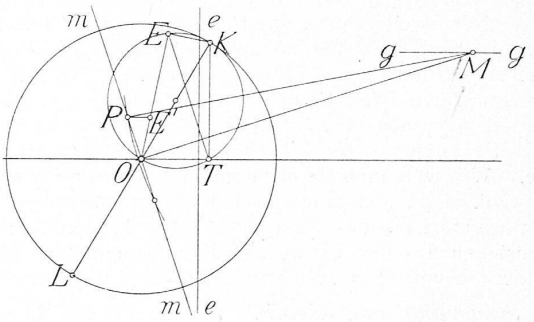
Daher ist dann auch $\angle CKB = \angle \varepsilon$.

Hiernach lässt sich das Diagrammexcenter finden, wenn e, ε und das Voröffnen v vorgeschrieben sind. Man trägt von OA an in dem dem Uhrzeiger entgegengesetzten Sinne $\angle AOB = \angle \varepsilon$ auf und zieht $BK \perp OB$. Wo diese Linie die Vertikale im Abstande $e + v$ rechts von O schneidet, liegt der Anfangspunkt K der Kolbenweglinie.

Die gleiche Beziehung lässt sich auch dazu ausnutzen, das Diagramm aus der angenommenen grössten Eröffnung a des Kanals, der Füllung ε und dem Voröffnen v zu konstruieren. Mit a ist der Abstand der beiden parallelen Vertikalen e und $e + a$ gegeben, mit v der Abstand des Punktes K rechts von e. Die vorgeschriebene Füllung ε gestattet nun, von K ausgehend, die Linie KB einzuzeichnen. Der Mittelpunkt O des Excenterkreises muss jetzt zunächst auf der Halbierungslinie DO des Winkels ADB liegen, so dass also in DO ein geometrischer Ort für O gefunden ist. Ferner muss O gleich weit von K und der Vertikalen $e + a$ entfernt sein. Das giebt als zweiten geometrischen Ort für O die Parabel, die K zum Brennpunkte, $e + a$ zur Direktrix hat. Da aber die Konstruktion des Schnittpunktes der Geraden DO mit der Parabel ziemlich umständlich ist, so wird man die richtige Lage von O auf DO bequemer ausprobieren.

Eine weitere Eigenschaft der Diagramme bezieht sich auf die excentrische Schubrichtung, die geschränkte Schubkurbel, s. Fig. 2. Dabei wird zweckmässig der ganze Mechanismus in verkleinertem Masstabe koncentrisch mit dem Diagramme hingezeichnet. Es sei OE der Radius des wirklichen Excenters in seiner Lage für den vom Cylinder abgewendeten toten Punkt der Kurbel, OE' der gleiche Radius im verkleinerten Masstabe. Dazu seien gg die Schubrichtung, M die Mittellage des Endpunktes der Excenterstange. Die Auslenkungen dieses Endpunktes aus seiner Mittellage sind dann genau gleich den Abständen der Punkte des Excenterkreises von dem sogenannten *Mittelkreise*, dessen

Fig. 2.



Mittelpunkt in M liegt, und dessen Halbmesser gleich der Länge l der Excenterstange ist. In der Figur ist er nur im reduzierten Masstabe eingezeichnet. Wird l verhältnismässig gross, so geht der Mittelkreis zu ersetzen durch einen geneigten Durchmesser mm, der auf der Verbindungslinie OM senkrecht steht. Er geht durch den Punkt P, in welchem die Horizontale durch E' den Mittelkreis schneidet. Hat man nun bei der Konstruktion einer neuen Steuerung die Lage von M passend gewählt und auf dem gleich noch zu entwickelnden Wege E' bestimmt, so kann man hiernach die nötige Länge der Excenterstange aus der Figur abgreifen; sie ist gleich MP.

Die Schieberbewegung geht auch bei der geschränkten Anordnung durch ein gewöhnliches *Müller*'sches Diagramm

darzustellen, indem man sie auf ein Diagrammexcenter OK zurückführt. Dieses Excenter erhält einen Voreilwinkel, der um den Winkel α zwischen OM und gg grösser, liegt gg unterhalb O um ebensoviel kleiner ist, als der Voreilwinkel des wirklichen Excenters OE, während sein Radius im Verhältnis von $\cos \alpha : 1$ grösser genommen werden muss. Man kann also Punkt K bestimmen, indem man $\angle EOK = \alpha$ macht und $EK \perp OE$ zieht.

Durch Umkehrung dieser Konstruktion kann man, wenn K und $\angle \alpha$ gegeben sind, E und E' finden.

K geht aber auch noch auf andere Weise zu bestimmen. Zieht man $KT \perp OT$, so hat man in OEK und OTK zwei rechtwinklige Dreiecke über OK als Hypotenuse. Daraus folgt, dass die vier Punkte O, E, K und T auf der Peripherie des Kreises liegen, dessen Durchmesser OK ist. Als Peripheriewinkel über dem Bogen EK dieses Kreises folgt dann:

$$\angle ETK = \angle EOK = \alpha.$$

ET ist also um den gleichen Winkel α gegenüber der Vertikalen geneigt, den OM mit der Horizontalen einschliesst.[1]) Daher ist auch

$$ET \parallel mm \text{ und } ET \perp OM.$$

Bei Umsteuerungen ist oft T das Diagrammexcenter für den toten Punkt der Steuerung. In manchen Fällen genügt es, diesen allein zu bestimmen. Das kann hiernach unmittelbar durch zeichnen der Linie ET geschehen; die Lage des Diagrammexcenters K braucht dabei gar nicht bekannt zu sein.

Die Konstruktion einer Umsteuerung mit unsymmetrischer Centralkurve muss noch verschiedenartig durchgeführt werden, je nachdem die Centralkurve geradlinig oder gekrümmt ist. Der einfachste Fall ist der der

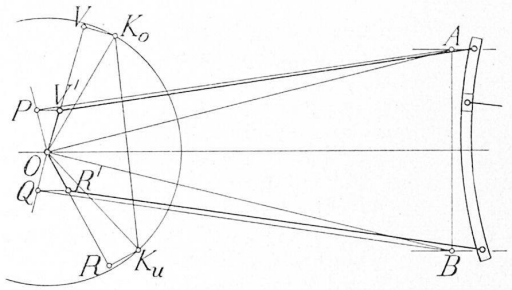
Umsteuerungen mit geradliniger Centralkurve.

Hieher gehören die Steuerungen von *Gooch*, *Walschaert* und *Hackworth* und die von diesen ableitbaren, wie *Fink*, *Klug*, *Marshall*, *Joy* u. s. w.

Bei der Neukonstruktion einer solchen Steuerung muss zunächst die Lage der Centralkurve bestimmt werden, (s. Fig. 1.) Für die grösste Füllung nach vorwärts geht man dabei am besten aus von der Kanalweite oder eigentlich von der grössten verlangten Eröffnung, a, des Kanals und dem Voröffnen für das Einströmen, v. Dann kann man, mit dem höchsten Punkt K der Centralkurve beginnend, den Mittelpunkt O des Diagrammes bestimmen, wie es am Schlusse der vorigen Besprechung derselben, Fig. 1, gezeigt wurde. Der zweite Punkt der Centralkurve findet sich aus der Bedingung, dass für normale Füllung, ε, ein anderes, grösseres Voröffnen v vorhanden sein muss. Die Bestimmung des zugehörigen Diagrammexcenters P aus e, $\varepsilon = \angle AOE$ und v ist auch schon bei Fig 1. erläutert worden. Die gerade Verbindungslinie KP ist dann die gesuchte Centralkurve. Wie weit man sie nach unten hin benutzen will, ist noch willkürlich, und hängt mit den Dimensionen des ganzen Steuerungsmechanismus zusammen. Die Herleitung dieser Dimensionen aus der Centralkurve muss natürlich für die einzelnen Steuerungen getrennt besprochen werden.

Steuerung von Gooch. Bei gegebener Lage der Centralkurve geht diese Steuerung noch mehr oder weniger unsymmetrisch anzuordnen. Hier soll allein *der* Fall behandelt werden, dass die beiden Excenter nur ungleiche Voreilwinkel, dagegen gleiche Radien erhalten. Ferner wird zur Vereinfachung vorausgesetzt, die Kulisse sei in ihrer ganzen Länge ausnutzbar. Endlich soll angenommen werden, die scheinbare Mittellage der Kulissensehne, d. i. der geometrische Ort der Mitten zwischen den Lagen der einzelnen Punkte der Kulissensehne für die beiden toten Punkte der Kurbel, stehe genau symmetrisch gegenüber der Schubrichtung des Schiebers, also senkrecht zu ihr und mit dem Mittelpunkte in ihr. Dann befinden sich auch (s. Fig. 3) die Mittellagen A und B der Endpunkte der Excenterstangen senkrecht übereinander und in gleichen Abständen von der Horizontalen durch O. Diese Abstände wählt man zweckmässig 2,6 bis 2,7 mal so gross, als die halbe Länge der Centralkurve. Die angenommene Symmetrie hat zur Folge, dass die Winkel α für beide Excenter gleich werden. Und da beide Excenter auch gleich gross vorausgesetzt worden sind, so müssen die in Fig. 2 mit EOK bezeichneten Dreiecke

Fig. 3.



kongruent ausfallen. Damit werden endlich auch die beiden Diagrammexcenter für die Bewegung der beiden Endpunkte der Kulisse unter sich gleich gross.

Durch diese Annahmen und Beziehungen ist jetzt die Centralkurve nach unten zu begrenzt; ihr tiefster Punkt, K_u, muss mit dem höchsten, K_o, auf demselben Kreise um O liegen. Aus K_u und K_o kann man dann mit Hülfe des Winkels α die wirklichen Excenter V und R in bekannter Weise bestimmen. Dabei sind in der Figur offene Stangen vorausgesetzt worden; bei gekreuzten wären V und R auf die äussere Seite von K_o und K_u gefallen.

Die Längen der Excenterstangen finden sich aus V' und A einer-, R' und B andererseits, wie es in Fig. 2 gezeigt worden ist. Sie sind AP und BQ. In Folge der ungleichen Voreilwinkel fallen auch die beiden Excenterstangen ungleich lang aus. Der Unterschied bleibt aber in Wirklichkeit stets sehr klein.

Für die Aufhängung der Kulisse gilt das Gleiche, wie bei den ganz symmetrischen Steuerungen von *Gooch*. Der Aufhängepunkt muss senkrecht über der Mittellage des unterstützten Punktes angeordnet werden. Dann steht die Kulisse für die beiden toten Punkte der Kurbel symmetrisch gegenüber ihrer scheinbaren Mittellage, und das beidseitig je gleiche Voröffnen ist gesichert. In der Figur ist dieser Teil des Mechanismus noch für den linken toten Punkt der Kurbel hingezeichnet.

Die Gestalt der Kulisse bestimmt sich, wie sonst. In der scheinbaren Mittellage muss der Schlitz nach einem Kreisbogen gekrümmt sein, dessen Mittelpunkt in der Mittellage des Gelenks zwischen Schieberschubstange und Schieberstange anzunehmen ist.

Die Figur ist übrigens, um in dem hier nötigen kleinen Masstabe hinreichend deutlich zu sein, mit stark verzerrten Verhältnissen gezeichnet.

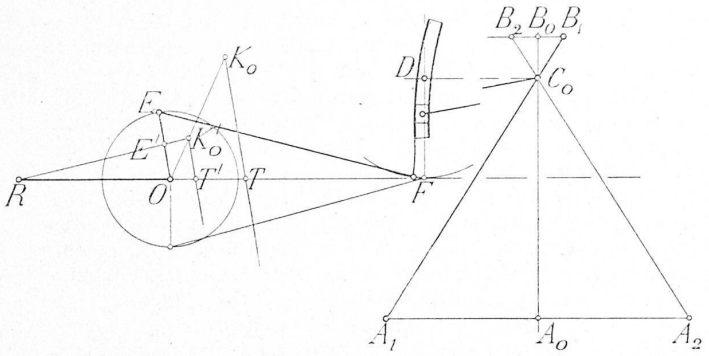
Ordnet man die Steuerung so an, wie es bei der Entwickelung vorausgesetzt wurde, so führt der Mittelpunkt der Kulisse schon vorwärts. Für den toten Punkt der Steuerung muss der Stein näher am Angriffspunkte der Rückwärtsexcenterstange eingestellt werden. Darauf ist bei der Einteilung des Gradbogens für den Steuerhebel Rücksicht zu nehmen. Man könnte die Kulisse aber auch vollständig symmetrisch ausnutzen, so dass ihr Mittelpunkt dem toten Punkte der Steuerung entspricht. Dazu müsste der Mittelpunkt der Centralkurve in die Horizontale durch O gelegt, K_u also eben so weit unter dieser Linie angenommen werden, wie K_o darüber liegt. Dann erhielten aber die beiden wirklichen Excenter nicht nur ungleiche Voreilwinkel, sondern auch ungleiche Radien. Die Länge der Excenterstangen würde sich bestimmen, wie vorhin; sie wäre auch im allgemeinen für beide verschieden.

[1]) Auf diese Beziehung ist zuerst von *John L. Gow* im *Journal of the Franklin Institute*, 1888, Band 126, Seite 255 hingewiesen worden.

Steuerung von Walschaert.[1]) Aus der Herleitung des Diagrammes einer solchen Steuerung folgt, dass die Centralkurve parallel sein muss mit der Richtung, die der Excenterradius für die toten Punkte der Kurbel annimmt. Soll nun die Steuerung eine geneigte Centralkurve besitzen, so folgt hieraus umgekehrt, dass das Excenter mit der Kurbel einen von 90° verschiedenen Winkel einschliessen muss.

Bei der Neukonstruktion kann man verschiedene Wege einschlagen, der kürzeste ist folgender, s. Fig. 4:

Fig. 4.



Zunächst zeichnet man die geneigte Centralkurve aus den gegebenen Bedingungen, wie vorhin in Fig. 1. Damit ist dann auch die Richtung des Excenterradius für die toten Punkte der Kurbel gegeben, in $OE \parallel TK_0$. Die Gegend, in der die Koppel arbeiten soll, ihre Länge und ihren grössten Ausschlagswinkel wählt man, wie sonst. Es sei A_0B_0 die Symmetrieachse für die Bewegung der Koppel. Macht man dann

$$A_0A_1 = A_0A_2 = OR = \text{der Länge des Kurbelradius,}$$

so kommt der untere Endpunkt der Koppel für die beiden toten Punkte der Kurbel nach A_1 und A_2. Der Punkt C der Koppel, der vom Excenter aus durch die Schieberschubstange bewegt wird, muss die ganze Länge AB der Koppel im gleichen Verhältnis teilen, wie im Schieberdiagramm der Punkt O die Strecke RT' teilt. Die Mittellage C_0 von C fällt natürlich auf die Symmetrieachse A_0B_0. Will man sie unmittelbar bestimmen, was für die Konstruktion der Kulisse zweckmässig ist, so muss man die Stellungen der Koppel für die beiden toten Punkte der Kurbel, aber auch beim *toten Punkte der Steuerung* zeichnen. Dazu macht man

$$B_0B_1 = B_0B_2 = OT',$$

dann schneiden sich A_1B_1 und A_2B_2 auf A_0B_0 in C_0.

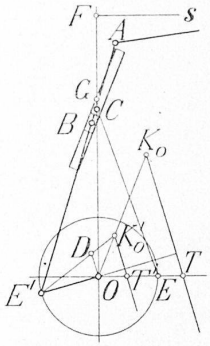
Die weitere Konstruktion erfolgt wesentlich, wie bei vertikaler Centralkurve. Nur muss der Angriffspunkt F der Excenterstange an der Kulisse so angeordnet werden, dass er in die Horizontale durch O fällt, wenn *der Radius des Excenters zu dieser Linie senkrecht* steht.

[1]) Diese Steuerung wird in der deutschen Litteratur ganz allgemein nach *Heusinger von Waldegg* benannt, so dass ich sie in meinem Buche über die Umsteuerungen der Lokomotiven auch so bezeichnet hatte. Bald nach dessen Erscheinen erhielt ich aber von Herrn *M. Urban*, Ober-Ingenieur der Eisenbahn Grand Central Belge in Brüssel die Abschrift eines Briefwechsels zwischen ihm und Herrn *Heusinger von Waldegg* zugeschickt, aus dem folgendes hervorgeht: *Walschaert* hat das belgische Patent auf seine Steuerung am 30. November 1844 erhalten, *Heusinger* seine Steuerung im Jahre 1849 erfunden, allerdings ganz unabhängig von *Walschaert*. Ausgeführt wurde *Heusinger*'s Steuerung 1850 und 1851 an einer kleinen Lokomotive, sonst, wie es scheint, nicht mehr. Die häufigere Anwendung der Steuerung von *Walschaert* beginnt mit dem Jahre 1860; ob frühere Ausführungen vorliegen, ist nicht angegeben. Die zuerst *ausgeführte* Steuerung scheint also allerdings die von *Heusinger* gewesen zu sein. Die *Priorität der Erfindung* gebührt aber entschieden *Walschaert*. Und da ausserdem die heutigen zahlreichen Anwendungen nach der Anordnung von *Walschaert*, aber nicht nach der etwas abweichenden von *Heusinger* ausgeführt sind, so halte ich es für richtiger, diese Steuerung nach *Walschaert* zu benennen.

Soll die Kulisse von ihrem Drehpunkt D aus nach beiden Seiten auf die gleiche Länge ausgenutzt werden, so wird T der Mittelpunkt der Centralkurve; dann ist also $K_uT = K_oT$ zu machen.

Steuerung von Hackworth. (S. Fig. 5). Bei dieser Steuerung steht der Radius des Excenters für die toten Punkte der Kurbel *senkrecht* zur Richtung der Centralkurve; er muss also nach OE' fallen, wenn $OE' \perp K_oT$ gezogen wird. Ob E' für den linken toten Punkt der Kurbel links oder rechts von O angenommen werden muss, hängt davon ab, ob der den Schieber führende Punkt A der Koppel ausserhalb oder zwischen Excentermittelpunkt E' und Stein B liegt.

Fig. 5.



Die Länge OE' des Excenterradius findet man, wesentlich gleich wie bei einer Steuerung mit vertikaler Centralkurve, indem man in der schematischen Figur von dem Diagrammexcenter K_o' für stärkste Füllung eine Gerade $K_o'E'$ so zieht, dass $\angle K_o'E'O$ gleich dem grössten Wert des Neigungswinkels α wird, den die Kulisse mit der Verbindungslinie zwischen ihrem festen Drehpunkte C und dem Wellmittel O einschliessen soll. Dieser Winkel wird auch hier zweckmässig nicht über 25° gewählt. Zieht man noch $OD \parallel K_o'T' \parallel K_oT$ bis zum Schnitt mit $K_o'E'$, so hat man in D das Diagrammexcenter für die Horizontalauslenkung des Steines B.

Die Länge der Excenterstange $E'B$ muss man so gross wählen, dass der Stein B in den Drehpunkt C der Kulisse fällt, wenn der Radius des Excenters horizontal steht; es muss also sein

$$E'B = EC = \sqrt{\overline{OE}^2 + \overline{OC}^2}.$$

So wird am einfachsten die angenäherte Unveränderlichkeit der Mittellage des Schiebers gesichert.

Die Höhenlage des festen Drehpunktes C der Kulisse kann man hier auf folgende Weise bestimmen: Die ganze Länge der Excenterstange, $E'A$, nimmt man auch zweckmässig gleich dem Abstande des Wellmittelpunktes von der Schubrichtung des Schiebers, also gleich OF. Der Stein B muss die Länge $E'A$ im gleichen Verhältnis teilen, wie im verkleinerten Diagramm der Punkt D die Strecke $E'K_o'$ teilt. Bestimmt man nun Punkt G so, dass $GO : GF = DE' : DK_o'$ wird, so ist $OG = E'B$ die Länge zwischen Excenter und Stein. Schneidet man mit dieser Länge von E aus auf der Vertikalen OCF ein, so erhält man in C den gesuchten Drehpunkt der Kulisse.

Andere Steuerungen mit geradliniger Centralkurve lassen sich als Abart von einer der drei eben behandelten auffassen. Soll eine solche Steuerung für veränderliches Voröffnen konstruiert werden, so muss man zuerst die zugehörige von *Gooch, Walschaert* oder *Hackworth* auf die angegebene Weise erledigen und von ihr auf jene übergehen. Es ist also nicht nötig, hier solche abgeleitete Steuerungen noch weiter zu untersuchen.

Wesentlich andere Verhältnisse zeigen die

Umsteuerungen mit gekrümmter Centralkurve.

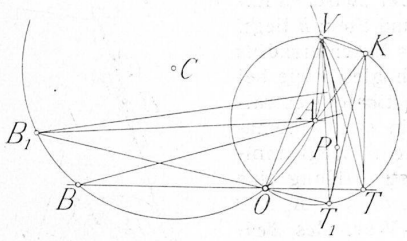
Von solchen Steuerungen sind zwei Arten zu behandeln, die von *Stephenson* und die von *Allan*. Dabei muss zuerst die

Steuerung von Stephenson untersucht werden. Die Centralkurve dieser Steuerung ist, wie sich nachweisen lässt, stets, sowohl bei symmetrischer, als auch bei beliebig unsymmetrischer Anordnung, in erster Annäherung eine Parabel, die durch die beiden Excentermittelpunkte hindurchgeht. Bei symmetrischer Anordnung gilt die Parabel auch auf einem gegenüber ihrem Scheitel symmetrischen Stücke, das in weiterer Annäherung stets mit genügender Genauigkeit durch einen *Kreisbogen* ersetzt werden kann. Das Gleiche gilt auch für verschiedene Voreilwinkel, so lange die Excenterradien unter sich gleich bleiben. Macht man dagegen

auch die Excenterradien verschieden, so wird das benützte Parabelstück unsymmetrisch gegenüber seinem Scheitel und geht nicht mehr so gut durch einen Kreisbogen zu ersetzen. Da diese Anordnung aber eine bedeutend umständlichere Entwickelung erfordern würde und überdies weniger genau wäre, so sollen weiterhin ausdrücklich *gleiche Excenterradien* und nur *verschiedene Voreilwinkel* vorausgesetzt werden. Dann darf die Centralkurve als Kreisbogen angesehen werden, der aber gegenüber der horizontalen Achse des Diagrammes nicht mehr symmetrisch liegt.

Um auf eine Steuerung kommen zu können, die für zwei bestimmte Füllungen vorgeschriebene Voröffnungen ergiebt, braucht man eine Eigenschaft des Diagrammes, die vorher noch nachgewiesen werden muss.

Fig. 6.



In Fig. 6 sei V das wirkliche Vorwärtsexcenter einer *Stephenson*'schen Steuerung mit offenen Stangen und mit ganz ausgenutzter Kulisse. Ferner sei die Steuerung zunächst noch vollständig symmetrisch vorausgesetzt. Ist sie dann auf ihren toten Punkt eingestellt, und sind die Verbindungslinien von O mit den zugehörigen Mittellagen der Endpunkte der Kulissensehne um $\angle\ \alpha = \angle\ VOK$ gegen die Horizontale geneigt, so wird K das Diagrammexcenter für den Endpunkt der Vorwärtsexcenterstange und T der Scheitel der Centralkurve. Nach den bei Fig. 2 durchgeführten Entwickelungen liegen die vier Punkte O, V, K und T auf einem Kreise um A, dem Mittelpunkte der Strecke OK, und es ist

$$\angle\ VTK = \angle\ VOK = \angle\ AVO = \alpha.$$

Der Mittelpunkt der kreisförmigen Centralkurve VT liegt nun im Schnittpunkt B von OT mit der Normalen zu VT auf der Mitte dieser Strecke; und diese Linie muss auch durch A hindurchgehen. Dann ist aber

$$\angle\ ABT = \angle\ VTK = \alpha,$$

weil die Schenkel beider Winkel paarweise senkrecht aufeinander stehen. Die beiden letzten Gleichungen zeigen, dass

$$\angle\ AVO = \angle\ ABO = \alpha$$

wird, und daraus folgt, dass *die vier Punkte V, A, O und B auf einem Kreise liegen*, dessen Mittelpunkt C durch O, V und A bestimmt ist.

Denkt man sich nun das Vorwärtsexcenter V festgehalten und die Kulisse wieder mit ihrem Mittelpunkte in die Schubrichtung des Steines eingestellt, so bleibt K das zugehörige Diagrammexcenter für den höchsten Punkt der Kulisse. Dreht man jetzt das Rückwärtsexcenter, R, aber ohne seinen Radius zu ändern, bis die Verbindungslinie VR parallel z. B. zur Richtung KT_1 geworden ist, so liegt die neue, auch kreisförmige Centralkurve symmetrisch zu VOR, und ihr Scheitel fällt nach T_1, wenn $\angle\ OT_1K = 90^0$ ist. Dann fällt aber T_1 auf den Kreis $OVKT$ um A, und daher ist $\angle\ VT_1K = \alpha$. Die neue Centralkurve hat ihren Mittelpunkt B_1 im Schnittpunkte von T_1O mit der Linie AB_1, die auch im Mittelpunkt der Sehne VT_1 senkrecht auf dieser steht. Daher ist, wie bei der vorigen Centralkurve,

$$\angle\ VT_1K = \angle\ AB_1O = \alpha = \angle\ ABO,$$

der Punkt B_1 liegt folglich auch *auf dem vorigen Kreise um C.*

Mit Hülfe von dieser Beziehung lässt sich eine unsymmetrische *Stephenson*'sche Steuerung aus dem obersten Punkte V und einem weiteren Punkte P der Centralkurve in folgender Weise finden. Man wählt zunächst eine gegenüber der Horizontalen durch O vollkommen symmetrische scheinbare Mittellage der Kulissensehne. Dabei benutzt man die gleichen Dimensionenverhältnisse wie bei einer ganz symmetrischen Steuerung. Dann ist das Diagrammexcenter K für den höchsten Punkt der Kulisse und für diese Einstellung der Steuerung bestimmbar und damit der Mittelpunkt A der Strecke OK bekannt. Darauf geht der Kreis durch die drei Punkte V, A und O um C als Mittelpunkt zu zeichnen. Zieht man jetzt noch die Verbindungslinie VP und die in ihrem Mittelpunkt zu ihr Senkrechte bis zum Schnitt B_1 mit dem Kreise um C, so ist B_1 der Mittelpunkt der hier nötigen, unsymmetrisch liegenden Centralkurve. Da für beide Excenter gleiche Radien vorausgesetzt sind, so liegt der Mittelpunkt R des Rückwärtsexcenters im Schnittpunkte der nach unten verlängerten Centralkurve mit einem Kreise um O vom Halbmesser OV.

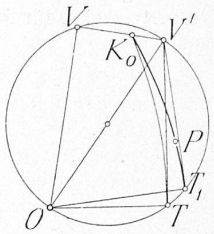
Der so bestimmte Punkt R wird bei offenen Stangen, wie sie in der Figur vorausgesetzt sind, gewöhnlich innerhalb der äusseren Deckungslinie fallen, also negatives Voröffnen ergeben. Die untersten Punkte der Centralkurve werden daher nicht mehr verwendbar sein.

Bei gekreuzten Stangen fallen die Punkte C und B auf die andere Seite von V, und die Centralkurve erhält eine entgegengesetzte Krümmung. Der Mittelpunkt B_1 der Centralkurve muss aber nach wie vor auf der Normalen zu VP durch die Mitte dieser Strecke liegen. Er rückt also ziemlich weit nach rechts hinauf, so dass die Sehne der Centralkurve stärker im Sinne von links oben nach rechts unten geneigt wird. Dann ergeben aber die unteren Punkte der Centralkurve ein übermässig grosses Voröffnen.

Die Steuerung von *Stephenson* erscheint daher ungeeignet für eine Dampfverteilung, wie sie hier vorausgesetzt wurde.

Steuerung von Allan. Es werde auch hier zunächst eine vollkommen symmetrische Anordnung mit offenen Stangen und ganz ausgenutzter Kulissenlänge vorausgesetzt. V sei das Vorwärtsexcenter, und beim toten Punkte der Steuerung falle das Diagrammexcenter für den obersten Punkt der Kulisse nach V', s. Fig. 7. Für den äussersten Grad nach vorwärts erhält man dann ein Diagrammexcenter K_o, das auf VV' und verhältnismässig nahe an V' liegt. Die Centralkurve ist in erster Annäherung eine Parabel, in zweiter wieder ein Kreis durch K_o und T mit OT als Symmetrieachse. Der Kreis erhält aber hier einen so grossen Halbmesser, dass der Mittelpunkt selten auf das Zeichenblatt fällt.

Fig. 7.



Da hier das Dreieck OK_oV' nicht mehr an K_o rechtwinkelig ist, so kann man auch nicht auf dem gleichen Wege wie bei *Stephenson* zu einer unsymmetrischen Steuerung übergehen. Man muss überhaupt eine weitere Annäherung zulassen. Zu dieser kommt man durch folgende Ueberlegung:

Die Centralkurve der Steuerung von *Allan* ist in Wirklichkeit stets sehr schwach gekrümmt, viel schwächer, als es in der Figur gezeichnet ist. Man wird sie daher, um die verlangten Voröffnungen zu erhalten, gegenüber der ganz symmetrischen Lage, K_oT, nur wenig, und zwar stets in dem dem Uhrzeiger entgegengesetzten Sinne, zu drehen brauchen, so dass der Winkel $TV'T_1$ zwischen den Scheiteltangenten sehr klein bleibt. Dann sind aber die Pfeilhöhen der beiden Kurven auch nur sehr wenig verschieden. Nimmt man daher auf beiden Kurven K_oT und K_oT_1 zwei ähnlich liegende Punkte an, so werden diese von den zugehörigen Scheiteltangenten TV' und T_1V' angenähert gleich weit abstehen. Man kann daher durch einen vorgeschriebenen Punkt P eine Centralkurve legen, indem man zunächst von V' aus eine Gerade $V'T_1$ so zieht, dass sie, von Auge eingeschätzt, gleich weit und auf der gleichen Seite neben P vorbeigeht, wie die Tangente $V'T$ neben dem mit P ähnlich liegenden Punkte der ganz symmetrischen Centralkurve K_oT. T_1 ist dann der Scheitel der gesuchten Kurve. Liegt P, wie gewöhnlich, nahe am Scheitel, so wird es auch meistens genügen, wenn man $V'T_1$ einfach durch P selbst zieht. Dann geht die Centralkurve durch K_o und T_1 als Parabel oder Kreis in bekannter Weise zu zeichnen. Das Rückwärtsexcenter liegt unter den gemachten Annahmen gegenüber OT_1 symmetrisch zu V.

So konstruiert, geht die Centralkurve allerdings nicht genau durch den vorgeschriebenen Punkt *P*. Die daher rührende Abweichung in der Dampfverteilung bleibt aber kleiner, als die sonstigen, bei solchen Diagrammen überhaupt unvermeidlichen Abweichungen.

Da die Centralkurve bei Allan im ganzen nur sehr schwach gekrümmt ist, so nimmt sie für die hier vorausgesetzte Dampfverteilung gewöhnlich eine Neigung von links oben nach rechts unten an. Infolge davon bleibt das Voröffnen auch bei den stärksten Füllungen nach rückwärts auch bei offenen Stangen noch positiv. Es wird aber auch bei gekreuzten Stangen nicht zu gross. Mit einer Steuerung von *Allan* geht also eine solche unsymmetrische Centralkurve bedeutend besser herzustellen, als mit der Steuerung von *Stephenson*.

Die Länge der Excenterstangen bestimmt sich aus den wirklichen Excentern und den Mittelstellungen der Endpunkte der Kulissensehne, wie es bei Entwickelung von Fig. 2 gezeigt worden ist. Und zwar benutzt man dazu am einfachsten die zur Horizontalen durch *O* symmetrische Einstellung der Kulisse.

Bei den Untersuchungen über die Steuerungen von *Gooch, Stephenson* und *Allan* wurde vorausgesetzt, dass die Kulisse auf ihre ganze Länge ausgenutzt werden könne. Ist dies nicht der Fall, so konstruiert man doch zunächst unter dieser Annahme. Nachher muss man dann die Kulisse verlängern und die Excenter ändern nach den Beziehungen, die in dieser Richtung für symmetrische Steuerungen entwickelt werden. Der einzige Unterschied ist der, dass an Stelle der horizontalen Symmetrieachse OT die geneigte Linie OT_1 der Figuren 6 und 7 tritt, bei *Gooch* dagegen die Normale durch *O* zur dortigen geradlinigen Centralkurve.

Die Aufhängung der Schieberschubstangen und der Kulissen von der Steuerwelle aus ist in allen Fällen nach den gleichen Grundsätzen anzuordnen, wie bei den ganz symmetrischen Steuerungen. Sie ist daher in den Figuren nicht weiter ausgeführt.

Zürich, September 1895.

Vorläufiger Bericht über die Brückenversuche in Mumpf.

(Mit einer Tafel.)

Die beim aargauischen Dorfe Mumpf, auf der Linie Basel-Brugg gelegene, eiserne Bahnbrücke über den Mühlebach musste zu Anfang dieses Jahres ausgewechselt und durch eine neue ersetzt werden, da sie sich nach den Anforderungen der schweiz. Brückenverordnung vom 19. Aug. 1892 als zu schwach erwies. Die Direktion der Schweiz. Nordostbahn entschloss sich, die ausgeschaltete Eisenkonstruktion für Versuchszwecke zur Verfügung zu stellen. Die aus den Versuchen erwachsenden Kosten wurden teils vom Eisenbahndepartemente, teils von den fünf grossen schweizerischen Bahngesellschaften übernommen. Das Programm, nach dem die Versuche durchgeführt werden sollen, wurde von den Brückeningenieuren des Eisenbahndepartements und der Nordostbahn gemeinsam entworfen.

Die Versuche haben vor etwa zwei Wochen begonnen und werden längere Zeit in Anspruch nehmen. Nachfolgend soll der Zweck und der Gang derselben in Kürze beschrieben werden.

Die Brücke ist im Jahre 1875 erbaut worden. Sie besteht aus zwei Fachwerkträgern von 28,44 *m* Länge, die alle 2,80 *m* durch Querkreuze miteinander verbunden sind. (Fig. 1 u. 5.) Quer- und Längsträger fehlen. Die Schwellen lagen unmittelbar auf den obern Gurtungen. Das Geleise läuft an der Brückenstelle in einer Kurve. Um die nötige Ueberhöhung zu erhalten, wurde die eine Tragwand um 0,1 *m* höher als die andere ausgeführt. (Fig. 3.) Die Streben sind sämtlich schief und in vierfachem Zuge angeordnet. Die gedrückten Streben bestehen aus [, die gezogenen aus Flacheisen. Beide sind einseitig an den T-förmigen Gurtungen befestigt.

Im Laufe des Sommers wurde das eiserne Bauwerk von seiner ursprünglichen Stelle nach der 1 *km* davon entfernten Station Mumpf geschafft und dort auf zwei Betonwiderlager gestellt, so hoch, dass man unter demselben bequem verkehren kann. Auf der einen Seite wurde ein Rollenlager angebracht. (Fig. 1 u. 5.) Anfänglich beabsichtigte man, die Konstruktion dadurch zu belasten, dass man auf die obere Gurtung Schienen legte und darauf Kies schüttete. Doch fürchtete man mit Recht, dass bei einem plötzlichen Bruche des Bauwerkes die mit der Belastung oder mit Messungen beschäftigten Personen in Gefahr geraten könnten, und entschloss sich deshalb, Hänggerüste anzubringen und die Belastung unterhalb der untern Gurtung aufzutragen. Diese Hänggerüste sind in der Fig. 5 rechts und in der Fig. 4 in zwei verschiedenen Formen dargestellt. Die Kiesmasse wird durch Cementsäcke eingefasst. Durch untergeschobene Holzblöcke kann ein grösseres Fallen der Belastung und damit eine Gefahr für die Beteiligten vermieden werden. Ueberdies erfordert das Auftragen des Kieses weniger Arbeit.

Bevor der eigentliche Bruchversuch vorgenommen wird, sollen Untersuchungen darüber angestellt werden, wie sich eine einzelne Last auf die vier Strebenzüge verteilt, eine Frage, die bekanntlich rechnerisch schwer zu lösen ist. Zu diesem Zwecke wurde ein besonderer Hängbock erbaut, der von Knotenpunkt zu Knotenpunkt verschoben und nach Belieben auf die Brücke gestellt und wieder abgehoben werden kann.

Diese von Herrn E. Meister, Brückeningenieur der Nordostbahn, sinnreich entworfene Vorrichtung ist in der Figur 5 links in Ansicht und in der Figur 2 im Querschnitt dargestellt. Quer über den obern Gurtungen befindet sich ein aus zwei I-Eisen gebildeter Balken *Q*. Er stützt sich auf die Gurtungen mittelst zweier Holzklötze, die an ihrer Unterseite eiserne Platten mit nietkopfartigen Vorsprüngen tragen. Dadurch wird eine genau centrische Belastung der Tragwände erzielt.

Die aus Laschen *L* bestehende Belastung ruht auf einer Lage Bretter und Eisenbahnschienen, die von einer alten Blechbalkenbrücke *B* getragen werden. Diese stützt sich auf zwei Längsbalken, die durch schiefe Stäbe an dem Rahmen *R* aufgehängt sind. Der Rahmen übergiebt seine Last dem Querbalken *Q* mittelst zweier Riegel *r*, die in Schlitzen stecken und leicht herausgezogen werden können. Durch vier Bauwinden *W* kann das Ganze rasch gehoben und gesenkt werden.

Soll der Bock verschoben werden, so hebt man ihn mit den Winden an, entfernt die Riegel *r* und hängt den Querbalken *Q* am oberen Querstück des Rahmens mittelst Ketten auf. Dann lässt man den Bock herunter, bis er auf den vier Walzen aufsitzt und rückt ihn mit den jetzt liegend angebrachten Winden um ein Feld weiter.

Die Figuren 1 und 6 geben von der getroffenen Einrichtung einen guten Ueberblick; die Clichés sind nach photographischen Aufnahmen des Herrn Ingenieur Valette angefertigt.

Der Hängebock wiegt im unbelasteten Zustande 8 Tonnen. Durch Auflegen von Laschen kann das Gewicht bis auf 100 Tonnen gesteigert werden. Doch wird bei den Versuchen darauf geachtet, dass in keinem Gliede die Elasticitätsgrenze überschritten wird und dass kein Ausknicken eines Zugbandes eintreten kann.

Zum Messen der in den Streben auftretenden Kräfte stehen neun Fränkel'sche Dehnungszeichner zur Verfügung. Zwei davon wurden von der Generaldirektion der Grossh. Badischen Staatseisenbahnen gütigst zur Verfügung gestellt. Es ist einleuchtend, dass man auf dem eingeschlagenen Wege für die beobachteten Streben Einflusslinien erhält.

Erst nachdem diese erste Versuchsreihe vollendet ist, soll zum eigentlichen Bruchversuch geschritten werden. Man gedenkt vom Auflager aus etwa $^3/_5$ der Brückenlänge mit Kies zu belasten, sodass die Streben des 7. Feldes ihre grösste Beanspruchung erleiden. Die Last wird allmählich vergrössert, bis in diesen Streben ein Bruch eintritt.