Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 19/20 (1892)
Heft: 25

Artikel: Die Reihenfolge der Kurbeln bei zweistufigen Locomotiven
Autor: Fliegner, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-17418

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: 31.07.2025

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

INHALT: Die Reihenfolge der Kurbeln bei zweistufigen Locomotiven. I. — Locomotive mit dreistufiger Expansion. — Miscellanea: Electrischer Strassenbahn-Motor nach dem System Eickemeyer-Field. Eisenbahnwirthschaft in den Vereinigten Staaten. Die Lüftung der Londoner Untergrundbahnen. Deutsche Architektur-Ausstellung in Chicago. Rothhornbahn. Eidg. Polytechnikum. — Concurrenzen: Schul- und Gemeindehaus in Châtelard (Montreux). General-Regulirungsplan für Wien. Bürgerasyl in St. Gallen. Stadterweiterungsplan für München. Weltausstellung in Berlin. — Preisausschreiben: Herstellung und Unterhaltung von Landstrassen. — Vereinsnachrichten: Société vaudoise des ingénieurs et des architectes. Stellenvermittelung.

Die Reihenfolge der Kurbeln bei zweistufigen Locomotiven.

Von Professor *A. Fliegner*.

I.

Als ich vor einiger Zeit den Verlauf der Zugkraft-Curve einer zweistufigen Locomotive aus abgenommenen Indicatordiagrammen construiren wollte, zeigte sich die Reihenfolge der Kurbeln von eigenthümlichem Einfluss. Jenachdem ich nämlich die eine oder die andere Kurbel als die voreilende einführte, fiel der grösste Werth der Zugkraft in die Nähe eines kleinsten oder eines grössten Werthes des Adhäsionsgewichtes der Locomotive. In der Veröffentlichung, der ich die benutzten Diagramme entnommen hatte, war aber die Reihenfolge der Kurbeln nicht angegeben, so dass ich nicht wissen konnte, welche Curve galt. Ebensowenig konnte ich auf dieser Grundlage entscheiden, ob es sich dabei vielleicht um eine wesentliche Eigenschaft der zweistufigen Locomotiven handelt, denn es ist von vornherein wahrscheinlich, dass die Reihenfolge der Kurbeln schon auf die Gestalt der Indicatordiagramme selbst einen gewissen Einfluss ausübt. Doch schien mir die Frage einer genaueren Untersuchung wol werth, da die Ausnutzung des Adhäsionsgewichtes der Locomotive mit im Spiele ist.

Zu einer solchen genaueren Untersuchung stand mir jedoch kein experimentelles Material zur Verfügung. Es blieb mir daher nichts andres übrig, als von ideellen Indicatordiagrammen auszugehen, wenn auch bei ihrer Construction einige Annäherungen unvermeidlich sind. Legt man aber für beide Reihenfolgen der Kurbeln die nämlichen Annäherungen zu Grunde, so kann das Schlussergebniss durch sie nicht wesentlich beeinflusst werden, da es sich hier nur um eine *Vergleichung* der beiden Fälle handelt. Von welchen Annahmen ich ausgegangen bin, kann ich am einfachsten im Verlaufe der folgenden Entwickelungen allmählich auseinandersetzen.

Ich habe mehrere Anordnungen mit verschiedenen Cylinderverhältnissen und verschiedener Dampfvertheilung untersucht, will aber hier nur an einem einfacheren Falle den dabei eingeschlagenen Weg erläutern.

Für die betreffende Maschine habe ich den Zwischenbehälter gleich gross angenommen wie das vom Kolben des Niederdruckcylinders bei einem Hub zurückgelegte Volumen, während der Hochdruckcylinder nur 0,475 mal so gross war. Die Volumina beziehen sich auf die *vorderen* Seiten der beiden Cylinder; auf den *hinteren* habe ich für die einseitig vorausgesetzte Kolbenstange je 3% des vorderen Volumens abgezogen. Die schädlichen Räume betrugen je 10% des vorderen Cylindervolumens.

Die Dampfvertheilung habe ich in beiden Cylindern gleich angenommen, sie zunächst graphisch bestimmt und dann ihre Hauptpunkte auf für die weitere Construction bequeme benachbarte Kurbelstellungen verlegt, nämlich das Ende des Einströmens auf 80° nach dem ersten, das Ende des Ausströmens auf 60° vor dem zweiten todten Punkt. Ein Voröffnen habe ich dagegen weder beim Ein- noch beim Ausströmen berücksichtigt. Um die Dampfvertheilung auf beiden Seiten desselben Cylinders möglichst ungleich zu erhalten, ist die Kurbelstange nur 5 mal so lang angenommen wie der Kurbelradius.

Der Druck beim Einströmen aus dem Hochdruckcylinder ist mit 10, derjenige beim Ausströmen aus dem Niederdruckcylinder mit 1,2 absoluten Atmosphären eingeführt und je constant vorausgesetzt worden.

Will man mit Hülfe dieser Grössen die ideellen Indicatordiagramme construiren, ohne dass man dabei sehr unbequeme Proberechnungen auszuführen hat, so muss man die angenäherte Annahme machen, dass alle Zustandsänderungen des Dampfes in den Cylindern und im Zwischenbehälter nach *gleichseitigen Hyperbeln* vor sich gehen, also nicht nur alle Expansionen, deren wirklicher Verlauf in der That gewöhnlich nicht stark von dieser Curve abweicht, sondern auch die Compressionen. Ebenso muss vorausgesetzt werden, die Mischung zweier Dampfmengen von verschiedenen Pressungen finde nach dem Gesetz

$$p\,\Sigma\,(V) = \Sigma\,(p\,V)$$

statt, eine Annahme die übrigens für eine genau adiabatische Mischung bei constantem Volumen mit sehr grosser Annäherung wirklich erfüllt ist.

Bei der Construction der Indicatordiagramme folge ich im Wesentlichen dem Wege, den Prof. *M. Schröter* angegeben hat (s. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1884, XXVIII, 191).

Dabei muss zunächst ein „Kolbendiagramm“ gezeichnet werden, wie es die oberen Figuren auf nachf. Seiten zeigen. Die Abscisse ist in ihnen vertical gelegt und als solche der Drehwinkel der Kurbel benutzt, beginnend mit der Stellung der Hochdruck-Kurbel in ihrem vorderen todten Punkt. Als Ordinaten in horizontaler Richtung sind die vom Dampf eingenommenen Volumina im richtigen gegenseitigen Verhältniss aufgetragen: in der Mitte das Volumen des Zwischenbehälters, rechts der schädliche Raum des Niederdruckcylinders und daran anschliessend der vom grossen Kolben für die Aufnahme des Dampfes frei gemachte Raum, links dieselben Grössen für den Hochdruckcylinder. In Folge der endlichen Länge der Kurbelstangen erhält man dadurch für die Begrenzung der vom Dampf in den Cylindern eingenommenen Volumina verzogene Cosinuslinien. Die voll ausgezogenen Curven gelten dabei für die vorderen Seiten der Cylinder, die gestrichelten für die hinteren. Diese haben wegen des dort kleineren Volumens niedrigere Wellen,

Die Zahlen an einzelnen Punkten der Cosinuslinien und weiterhin auch der Diagramme bezeichnen die Hauptpunkte der Dampfvertheilung und zwar:

1. Ende des Einströmens und Anfang der Expansion;
2. Ende der Expansion und Anfang des Ausströmens, wegen Vernachlässigung des Voröffnens beim Kolbenwechsel liegend;
3. Ende des Ausströmens und Anfang der Compression in den schädlichen Raum;
4. Ende der Compression und Anfang des Einströmens, ebenfalls beim Kolbenwechsel liegend.

Die in diesen Punkten herrschenden Pressungen p erhalten weiterhin die gleiche Zahl als Index, ebenso die Volumina V, die stets von der betreffenden Kolbenstellung bis zum Anfang oder Ende des Hubes zu zählen sind. Die vorderen und hinteren Seiten der Cylinder werden dabei durch die Indices v und h unterschieden, während alle für den Hochdruckcylinder geltenden Werthe mit einem Strich oben versehen sind. Weitere Punkte, die bei der Dampfvertheilung hervorgehoben werden müssen, erhalten die höheren Zahlen 5 u. s. w. als Index. Dabei gelten noch folgende Volumenbezeichnungen:

V_o, V'_o die auf beiden Seiten desselben Cylinders je gleich angenommenen schädlichen Räume;

V'_v, V'_h die Volumina, welche bei Stellung der Hochdruckkurbel unter 90° während des Ausströmens aus dem Hochdruckcylinder in ihm noch mit Dampf angefüllt sind;

V_v, V_h die Volumina, welche im Niederdruckcylinder schon mit Dampf angefüllt sind in dem Augenblicke, in welchem der Hochdruckcylinder vom Zwischenbehälter abgesperrt wird, d. h. bei Stellung 3′;

V das Volumen des Zwischenbehälters.

Die Indicatordiagramme ordne ich in unwesentlicher Abweichung von *Schröter* stets so an, dass sie senkrecht unter oder über die zugehörigen Kolbendiagramme zu liegen kommen. Bei ihrer Construction musste ich aber hier einen eigenen Weg einschlagen. *Schröter* hat nämlich die Berechnung *neuer* Maschinen im Auge gehabt und bestimmt die Dampfvertheilung nur für „vollkommenen" Gang, d. h. ohne Spannungssprünge. *Mönch* hat später (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1891, XXXIV, 553) Spannungssprünge zu berücksichtigen begonnen, sieht aber doch noch einige Punkte der Dampfvertheilung als unbekannt an. Hier muss ich hingegen ausser dem Admissionsdruck im kleinen und dem Gegendruck im grossen Cylinder auch *die vollständige Dampfvertheilung als gegeben* voraussetzen.

Ich will die Entstehung der Indicatordiagramme nur für den in Fig. 1 dargestellten Fall genauer erläutern. Dabei ist angenommen, *die Hochdruckkurbel eile der Niederdruckkurbel um 90° vor.*

Geht man nun von der Stellung der Hochdruckkurbel in ihrem vorderen todten Punkte aus, so strömt der Dampf zunächst bis zur Stellung $1'_v$ in die vordere Seite des Hochdruckcylinders ein. Das giebt im Diagramm eine Horizontale in der Höhe von $p'_1 = 10$ Atm. absolut. In $1'_v$ beginnt die Expansion des Dampfes nach einer gleichseitigen Hyperbel $p'_1 (V'_{1,v} + V'_o) = \text{const.} \equiv e'_v$, deren Mittelpunkt in der äusseren Begrenzung des schädlichen Raumes, also in A liegt. Die Expansion dauert bis zum Ende des Kolbenhubes, und dort, im Punkte $2'_v$, ist ein Druck $p'_{2,v}$ erreicht, der aus $p'_{2,v} (V'_{2,v} + V'_o) = e'_v$ zu berechnen sein würde.

Beim Kolbenwechsel in $2'_v$ wird durch die Steuerung die Verbindung mit dem Zwischenbehälter hergestellt, in welchem aber im Allgemeinen nicht der Druck $p'_{2,v}$ herrschen wird, da die Maschine bei beliebig angenommener Dampfvertheilung nicht „vollkommen" arbeiten kann. Setzt man Fahrt der Locomotive nach vorwärts voraus, so steht bei $2'_v$ die hier nacheilende Niederdruckkurbel vertical nach unten, und es hat kurz vorher, nämlich bei 1_v, das Einströmen des Dampfes aus dem Zwischenbehälter in die vordere Seite des Niederdruckcylinders aufgehört. Man muss nun allgemein voraussetzen, dass das Ueberströmen zwischen den einzelnen Räumen der Maschine ohne Druckunterschied vor sich gehe, dann kann man annehmen, im Zwischenbehälter herrsche unmittelbar vor der Mischung bei $2'_v$ noch der Druck $p_{1,v}$. Der Druck p_5 nach der Mischung berechnet sich daher aus:

$$e'_v + p_{1,v} V = p_5 (V'_{2,v} + V'_o + V). \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Diese Gleichung geht aber noch nicht unmittelbar zur Berechnung von p_5 zu benutzen, weil $p_{1,v}$ auch unbekannt ist. Es ist daher nöthig, zunächst den ganzen weiteren Vorgang rechnerisch zu verfolgen.

Während der nächsten Vierteldrehung wird der Dampf aus der vorderen Seite des Hochdruckcylinders in den Zwischenbehälter comprimirt, und zwar auf Grund der gemachten Annahmen nach einer gleichseitigen Hyperbel mit B als Mittelpunkt. Auf ihr gilt die Beziehung:

$$p_5 (V'_{2,v} + V'_o + V) = p_6 (V'_v + V'_o + V). \quad . \quad . \quad (2)$$

In diesem Augenblicke steht die Hochdruckkurbel vertical nach oben, die Niederdruckkurbel horizontal nach hinten, und die Steuerung setzt den schädlichen Raum auf der hinteren Seite des Niederdruckcylinders, V_o, mit dem Zwischenbehälter in Verbindung. In V_o befindet sich der vom vorhergegangenen Spiel zurückgebliebene Dampf unter $p_{4,h}$. Dieser Druck berechnet sich nach den gemachten Annahmen aus $p_{4,h} V_o = p_3 (V_{3,h} + V_o) \equiv c_h$. Durch die Mischung gehen p_6 und $p_{4,h}$ über in p_7 nach:

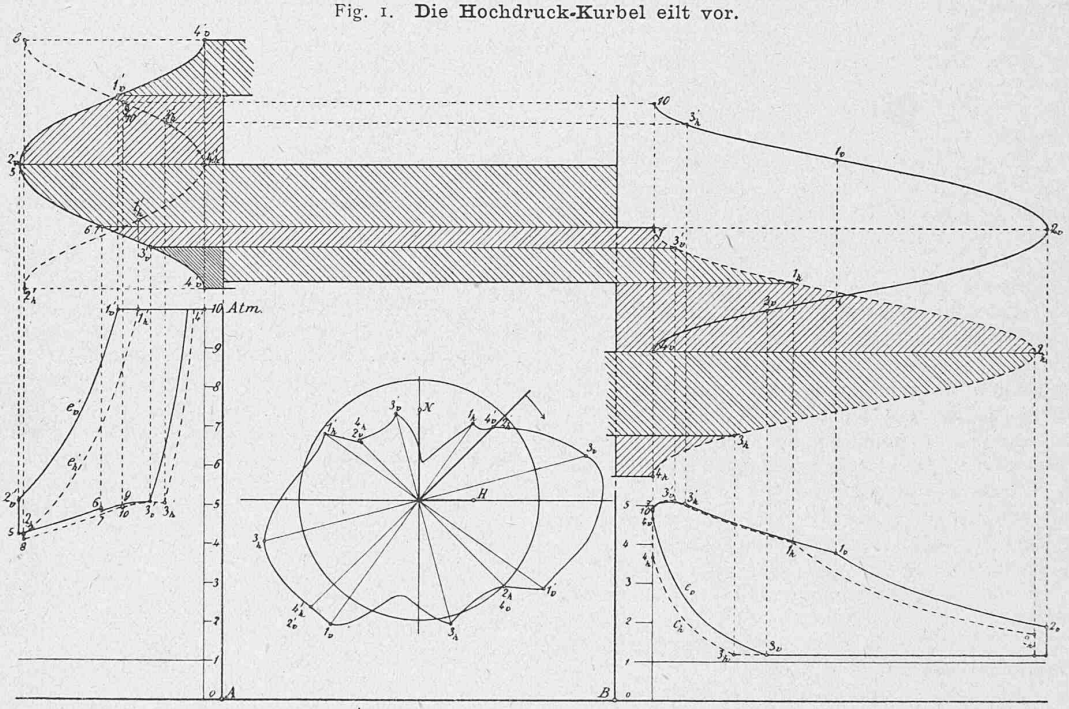
$$p_6 (V'_v + V'_o + V) + c_h = p_7 (V'_v + V'_o + V + V_o). \quad (3)$$

Bei dem jetzt folgenden Ueberströmen des Dampfes aus der vordern Seite des Hochdruck- in die hintere des Niederdruckcylinders ändern sich Druck und Volumen wieder nach einer gleichseitigen Hyperbel. Die in den Indicatordiagrammen auftretenden Ueberströmungscurven sind aber ganz anders gestaltet, weil sich jetzt beide Begrenzungen des Dampfvolumens verschieben. Man kann die Curven leicht Punkt für Punkt berechnen oder mittels einer Hülfshyperbel construiren; um aber die Figur nicht undeutlich zu machen, habe ich die Hülfsconstruction fortgelassen. Hier ist auch zunächst nur der bei $3'_v$ liegende Enddruck $p'_{3,v}$ des Ueberströmens nöthig. Er berechnet sich aus:

$$p_7 (V'_v + V'_o + V + V_o) = p'_{3,v} (V'_{3,v} + V'_o + V + V_o + V_h). \quad (4)$$

Von $3'_v$ aus lässt sich dann die Compressionscurve in den vorderen schädlichen Raum des Hochdruckcylinders als gleichseitige Hyperbel mit dem Mittelpunkt A construiren. Trotzdem dieser schädliche Raum von vorneherein ziemlich gross angenommen worden war, ergab sich am Ende der

Fig. 1. **Die Hochdruck-Kurbel eilt vor.**



Compression eine Schleife. Um aber eine doch ganz willkürliche Annahme über die Höhe dieser Schleife zu umgehen, habe ich die Compressionscurve nur bis zum Admissionsdrucke p'_1 benutzt und weiter ein Abheben des Schiebers unter diesem Drucke vorausgesetzt. Dadurch fällt im Diagramm der letzte Theil der Gegendrucklinie mit der Admissionslinie zusammen.

Nach $3'_v$ strömt der Dampf noch bis 1_h aus dem Zwischenbehälter in die hintere Seite des Niederdruckcylinders. Das ist eine Expansion nach einer gleichseitigen Hyperbel mit dem Mittelpunkt A. Der Enddruck dieses Einströmens folgt daher aus:

$$p'_{3,v}\,(V + V_0 + V_h) = p_{1,h}\,(V + V_0 + V_{1,h}). \quad . \quad (5)$$

Die weitere Expansion auf der hinteren Seite des Niederdruckcylinders geht vor sich nach der gleichseitigen Hyperbel durch 1_h, deren Mittelpunkt in B liegt. Während des dann folgenden Ausströmens bleibt der Gegendruck constant gleich $p_3 = 1{,}2$ Atm., bis im Punkte 3_h die Compression in den schädlichen Raum beginnt.

Hiermit ist die Zustandsänderung derjenigen Dampfmenge erledigt, die bei jedem Hub in die vordere Seite des Hochdruckcylinders einströmt. In den Kolbendiagrammen sind übrigens die Volumina, welche im Verlaufe dieser Vorgänge in Frage kommen, durch Schraffur hervorgehoben.

Auf gleiche Weise lässt sich auch die in die hintere Seite des Hochdruckcylinders eintretende Dampfmenge verfolgen. Für sie gelten mit (1) bis (5) gleichgebaute Gleichungen, nur müssen die Indices v und h miteinander vertauscht und bei den Pressungen die Indices 5 bis 7 durch 8 bis 10 ersetzt werden. Das gibt folgende neue Gleichungen:

Mischung bei $2'_h$:

$$e'_h + p_{1,h}\,V = p_8\,(V'_{2,h} + V'_0 + V). \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Compression aus dem Hochdruckcylinder in den Zwischenbehälter:

$$p_8\,(V'_{2,h} + V'_0 + V) = p_9\,(V'_h + V'_0 + V). \quad . \quad . \quad (7)$$

Mischung mit dem vordern schädlichen Raume des Niederdruckcylinders:

$$p_9\,(V'_h + V'_0 + V) + c_v = p_{10}\,(V'_h + V'_0 + V + V_0). \quad (8)$$

Ueberströmen aus dem Hoch- in den Niederdruckcylinder:

$$p_{10}\,(V'_h + V'_0 + V + V_0) = p'_{3,h}\,(V'_{3,h} + V'_0 + V + V_0 + V_v). \quad (9)$$

Weiteres Einströmen in den Niederdruckcylinder:

$$p'_{3,h}\,(V + V_0 + V_v) = p_{1,v}\,(V + V_0 + V_{1,v}). \quad . \quad (10)$$

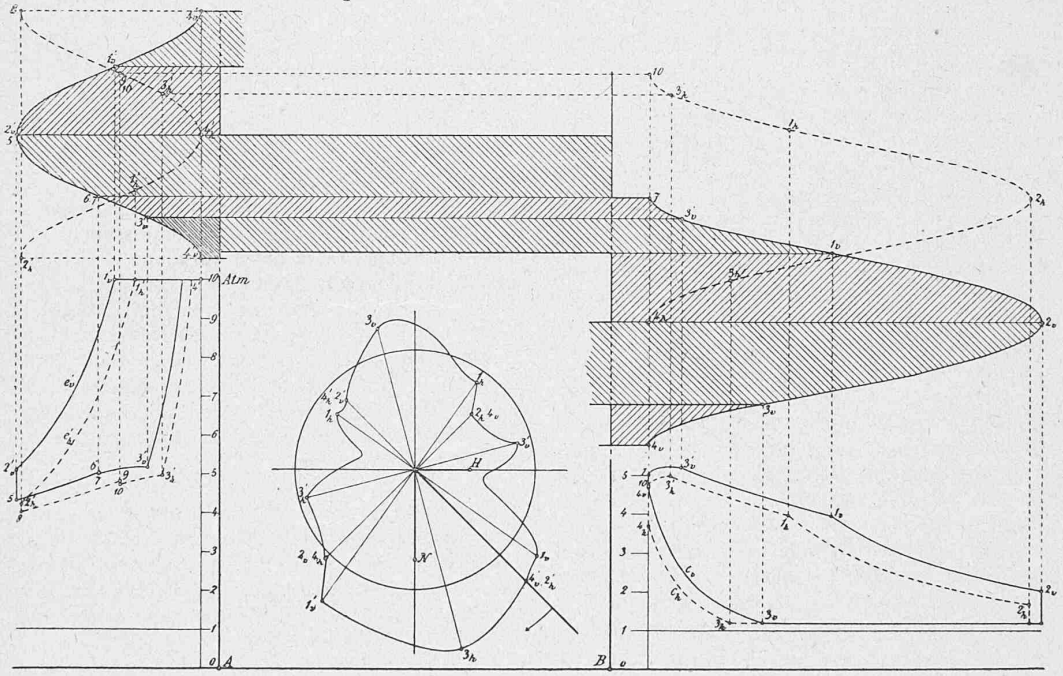
In diesen zehn Gleichungen sind bekannt sämmtliche Volumina und die Constanten e'_v, e'_h, c_v, c_h der Expansionscurven im Hochdruck- und der Compressionscurven im Niederdruckcylinder. Unbekannt sind dagegen die Pressungen $p_{1,v}$, $p_{1,h}$, $p'_{3,v}$, $p'_{3,h}$ und p_5 bis p_{10}. Das sind zehn Unbekannte. Die Aufgabe ist also eindeutig lösbar.

Daher muss es aber auch möglich sein, die unbekannten Pressungen auf rein graphischem Wege mit Zirkel und Lineal allein zu construiren. Und das ist in der That der Fall. Eliminirt man nämlich aus allen zehn Gleichungen sämmtliche Pressungen mit Ausnahme von z. B. $p_{1,v}$, so erhält man einen Ausdruck von der Form:

$$p_{1,v}\,(V_{1,v} + M) = N, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

in welchem M und N kürzere Bezeichnungen für Ausdrücke bedeuten, die nur Volumengrössen und die Constanten e'_v, e'_h, c_v, c_h enhalten. Sieht man in Gleichung (11) vorübergehend $p_{1,v}$ und $V_{1,v}$ als *Veränderliche* an, so zeigt die Formel, dass diese beiden Grössen nach einer *gleichseitigen Hyperbel* zusammenhängen. Von ihren Asymptoten fällt die eine mit der horizontalen Geraden $p = o$ zusammen, wie bei allen übrigen benutzten Hyperbeln auch, die andere, verticale Asymptote ist um M gegenüber der Grenzordinate des Niederdruckcylinders verschoben. Da M aus einem ziemlich umfangreichen Ausdruck berechnet werden müsste, ausserdem auch gelegentlich so grosse numerische Werthe annehmen könnte, dass die verticale Asymptote ganz aus der Zeichnung herausfällt, so bestimmt man sie gar nicht, sondern geht ohne sie rein graphisch vor. Die eine ganz bekannte Asymptote und die bekannte Richtung der andern entsprechen drei Punkten der Hyperbel. Wählt man nun zweimal irgend eine beliebige Pressung als $p_{1,v}$ und construirt damit nach den zehn Gleichungen die ganze Zustandsänderung durch, so erhält man auf den beiden angenommenen Horizontalen $p_{1,v}$ zwei Werthe für $V_{1,v}$ und damit zwei weitere Punkte der Hülfshyperbel. Würde nun zufällig einer der zuletzt bestimmten Punkte in die Verticale fallen, in welcher wegen der Steuerung der richtige Punkt 1_v jedenfalls liegen muss, so wäre der zugehörige Werth von $p_{1,v}$ schon der gesuchte Enddruck des Einströmens in die vordere Seite des Niederdruckcylinders. Ist das dagegen nicht der Fall, so muss man den Schnittpunkt der Hülfshyperbel mit der Verticalen durch 1_v bestimmen, was sich in bekannter Weise

Fig. 2. **Die Niederdruck-Kurbel eilt vor.**



mit dem Lineal allein ausführen lässt. Der so erhaltene Punkt ist der richtige Punkt 1_v.

Die Construction der Hülfshyperbel lässt sich übrigens noch bedeutend vereinfachen, wenn man je die vier ersten Gleichungen einer Gruppe zu einer einzigen Gleichung zusammenfasst. Das gibt aus (1) bis (4):

$$c_v' + p_{1,v} V + c_h = p_{3,v}' (V_{3,v}' + V_0' + V + V_0 + V_h), \quad (12)$$

während aus (6) bis (9) folgt:

$$c_h' + p_{1,h} V + c_v = p_{3,h}' (V_{3,h}' + V_0' + V + V_0 + V_v). \quad (13)$$

Dann braucht man die noch nicht geltenden Werthe von p_5 bis p_{10} gar nicht mit zu bestimmen.

Hat man so den richtigen Werth von $p_{1,v}$ gefunden, so muss man mit ihm die ganze Construction von Anfang an noch einmal endgültig durchführen. Dabei ergibt sich als scharfe Probe, dass schliesslich der Enddruck des Einströmens in den grossen Cylinder beim Volumen $V_{1,v}$ genau gleich $p_{1,v}$ ausfallen muss.

Die ganze letzte Entwickelung ist übrigens unabhängig davon, ob man für die Compressionen in die schädlichen Räume beider Cylinder auch gleichseitige Hyperbeln einführt, oder, wie es häufig geschieht, dafür Zustandsänderungen nach dem Gesetze $p V^{1,2} = \text{const.}$ voraussetzt. Nur sind dann c_v und c_h *nicht* mehr die Constanten dieser Gleichungen, sondern sie bedeuten die Producte aus Druck mal Volumen am Ende der Compressionen.

Beiläufig will ich noch bemerken, dass man mit einer ähnlichen Hülfshyperbel, wie die in Glchg. (11) entwickelte, alle beliebigen Aufgaben über mehrstufige Maschinen lösen kann, sofern es sich um Construction der ideellen Indicatordiagramme bei gegebenen Grenzpressungen und gegebener Dampfvertheilung handelt. In einfacheren Fällen lassen sich allerdings auch kürzere Wege herleiten. Soll die Zeichnung dabei genügend genau ausfallen, so darf sie natürlich nicht in zu kleinem Masstabe ausgeführt werden. Da diese Bedingung für die beifolgenden Figuren nicht erfüllt war, so habe ich es hier vorgezogen, die Pressungen zu berechnen.

In gleicher Weise, wie eben für Fall 1 entwickelt wurde, muss die Untersuchung auch für den in Fig. 2 dargestellten Fall durchgeführt werden, für den ein *Voreilen der Niederdruckkurbel* vorausgesetzt ist. Die Gleichungen gelten hier in wesentlich ungeänderter Form, nur muss man bei den für einen der beiden Cylinder geltenden Grössen die Indices v und h miteinander vertauschen, für welchen, ist natürlich gleichgültig. Es erscheint daher nicht nöthig, die ganze Entwickelung für Fall II hier auch noch durchzuführen.

Die so erhaltenen Indicatordiagramme gestatteten nun zunächst die Bestimmung des Dampfüberdruckes auf die Kolben, wobei darauf Rücksicht zu nehmen war, dass die nutzbaren Kolbenflächen auf beiden Seiten eines Cylinders ungleiche Grösse besitzen. Der Dampfüberdruck am Kolben musste noch mit dem Trägheitswiderstande der hin- und hergehenden Massen vereinigt werden. Dabei habe ich folgende Werthe angenommen: die Masse der hin- und hergehenden Theile bezogen auf das Quadratmeter des Kolbenquerschnittes $m = 160$; den Radius der Kurbel $r = 0{,}3\ m$; die Umdrehungszahl in der Minute $n = 195$, also die Winkelgeschwindigkeit $\omega = 20{,}42$. Damit ergab sich die bei Berechnung des Einflusses der Massen nöthige Grösse $m r \omega^2$ zu rund zwei Atmosphären.

Mit diesen Grössen liess sich jetzt in bekannter Weise der wirkliche Verlauf der Tangentialkraft an der Kurbelwarze construiren oder berechnen. Damit hatte man aber auch schon den Verlauf der Zugkraft der Locomotive, da sich diese beiden Kräfte proportional miteinander ändern. Ohne hier auf die Einzelheiten der Construction weiter einzugehen, muss ich nur noch erläutern, wie die den Verlauf dieser Kräfte veranschaulichenden Figuren entstanden sind. Ich habe sie in dem freien Raume zwischen den Indicatordiagrammen, also in dem Raume für den Zwischenbehälter, eingeschaltet.

Die Figuren sind Polardiagramme. Als Radiusvector ist die *Halbirungslinie des rechten Winkels zwischen den beiden Kurbeln* benutzt und auf ihr je die algebraische Summe der durch die beiden Cylinder erzeugten Tangentialkräfte aufgetragen. Die Kurbeln und die Halbirungslinie sind in der Lage eingezeichnet, von der bei der früheren Untersuchung der Dampfvertheilung ausgegangen worden ist, d. h. die Hochdruckkurbel in ihrem vorderen todten Punkte. Die Ausgangslage der Halbirungslinie ist noch durch einen Pfeil hervorgehoben, der gleichzeitig den Sinn der Drehung angibt. Bei verticaler Stellung der Hochdruckkurbel treten in den Indicatordiagrammen des Hochdruckcylinders Spannungssprünge auf, die auch Sprünge in der Tangentialkraft zur Folge haben. Der Masstab, in dem ich die Polardiagramme zeichnen musste, war aber zu klein, um alle diese Sprünge deutlich darstellen zu können.

Der Halbirungslinie des Kurbelwinkels diametral gegenüber liegt der Schwerpunkt der *Gegengewichte*, an welchem die von ihnen hervorgerufene Centrifugalkraft angreift. Diese Kraft beeinflusst die Aenderung des Adhäsionsgewichtes der Locomotive in hohem Grade und zwar so, dass bei der Stellung der Halbirungslinie vertical nach oben eine grösste Mehrbelastung, bei der Stellung vertical nach unten eine grösste Entlastung der Triebräder eintritt. Steht dagegen die Halbirungslinie horizontal, so wirken auch die Centrifugalkräfte in horizontaler Richtung, ändern also die Belastung der Triebräder vorübergehend nicht.

Die Figuren gestatten nun folgende Schlüsse über die Ausnutzung des Adhäsionsgewichtes bei den verschiedenen Reihenfolgen der Kurbeln:

Wenn die *Hochdruckkurbel voreilt*, Fall 1, so ist die von der Tangentialkraftcurve eingeschlossene Fläche in *horizontaler* Richtung in die Länge gezogen. Die grössten Werthe der Zugkraft treten daher bei angenähert horizontaler Lage der Halbirungslinie auf, d. h. bei Kurbelstellungen, bei denen die Belastung der Triebräder wenig von der Belastung der Ruhe abweicht. Bei den Grenzwerthen der Belastung, namentlich bei ihrem kleinsten Werth, erreicht die Tangentialkraft auch einen relativ kleinen Werth. Die Gefahr eines Schleuderns der Locomotive ist daher hier verhältnissmässig gering.

Eilt die Niederdruckkurbel vor, Fall 2, so verläuft die Tangentialkraftcurve im Wesentlichen umgekehrt. Die Kraft erreicht bei horizontaler Lage der Halbirungslinie ihre angenähert kleinsten Werthe, während ihre grössten Werthe nahe bei der verticalen Lage der Halbirungslinie auftreten. Der eine der grössten Werthe, und zwar hier gerade *das absolute Maximum der Tangentialkraft*, fällt also angenähert mit *der grössten Entlastung der Triebräder* durch die Gegengewichte zusammen. Das hat aber zur Folge, dass die Locomotive bei dieser Reihenfolge der Kurbeln eher schleudern wird.

Das absolute Maximum der Tangentialkraft erreicht in beiden Fällen fast genau den gleichen Zahlenwerth, ebenso der constante Mittelwerth der Tangentialkraft, welcher in den Figuren durch den Halbmesser des eingezeichneten Kreises dargestellt wird. Für die hier zunächst angenommenen Verhältnisse wird also das Adhäsionsgewicht besser ausgenutzt, kann die Locomotive mit andern Worten eine grössere Zugkraft entwickeln, wenn die *Hochdruckkurbel voreilt*.

(Schluss folgt.)

Locomotive mit dreistufiger Expansion

von *John Rickie*, Loc. Superintendent in Quetta, Beludschistan.

In Nr. 5 des laufenden Jahrgangs dieser Zeitschrift findet sich oben bezeichnete Locomotive beschrieben, von deren verschiedenen Eigenthümlichkeiten insbesondere die Angaben über die Anordnung und Ausführung der dreistufigen Expansion befremden mussten. Es sollte nämlich die Locomotive drei Cylinder haben, von denen zwei (der Hoch- und der Mitteldruckcylinder) als doppelt wirkende mit 65 bezw. 135 Liter Inhalt, der dritte dagegen, der Niederdruckcylinder, als einfach wirkender mit 261 Liter Inhalt ausgeführt werden sollte oder sein sollte. Hatte schon bei der ersten Veröffentlichung in Nr. 5 der Bericht-