

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Gesetze des Lokomotiv-Baues

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1855

V. Die Taschensteuerung

[urn:nbn:de:bsz:31-266507](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-266507)

V.

Die Taschensteuerung.

Zur Steuerung der Lokomotiv-Dampfmaschinen werden gegenwärtig allgemein einfache Schieber gebraucht, die eine schwache innere und eine starke äussere Ueberdeckung haben. Zur Bewegung dieser Schieber bedient man sich der von *R. Stephenson* eingeführten Taschensteuerung, vermittelt welcher eine expandirende Wirkung des Dampfes, so wie auch das Vorwärts- und Rückwärtslaufen der Lokomotive hervorgebracht werden kann. Ich darf annehmen, dass dem Leser die Einrichtung und Wirkungsweise dieser Vorrichtung bekannt ist, wende mich daher sogleich zur Theorie derselben, welche die Aufgabe zu lösen hat, den Zusammenhang zwischen den Constructions-Elementen und den Wirkungen dieses Apparates ausfindig zu machen.

Die Constructions-Elemente des Apparates sind: 1) die äussere Ueberdeckung des Schiebers; 2) die innere Ueberdeckung desselben; 3) die Excentricität der Steuerungsscheiben; 4) der Voreilungswinkel der Steuerungsscheiben; 5) die Länge der Excentrikstangen; 6) die Bogenlänge der Tasche; 7) der Krümmungshalbmesser der Tasche.

Die Wirkungselemente des Apparates sind: 1) der Angriffspunkt der Tasche, d. h. derjenige Punkt der Tasche, welcher auf die Schieberstange einwirkt; 2) das lineare Voreilen des Schiebers beim Beginne des Kolbenschubes; 3) die grösste Einströmungsöffnung, wenn der Schieber am Ende seiner Bewegung angekommen ist; 4) die Dauer der Einströmung; 5) die Dauer der Ausströmung.

Die Constructions-elemente, mit welchen ein solcher Steuerungsapparat construirt sein muss, damit derselbe gewisse Wirkungen hervorzubringen im Stande ist, wurden bisher von den Constructeurs auf empirischem Wege vermittelt eines Versuchsmodelles ausfindig gemacht; sie lassen sich aber, wie zuerst *Phillips* *) gezeigt hat, viel einfacher und sicherer durch Rechnung bestimmen. Diess soll nun auch im Folgenden geschehen; ich werde jedoch den Weg, welchen *Phillips* betreten hat, um zu den Grundgleichungen des Problems zu gelangen, nicht einschlagen, weil dieses Ziel weit einfacher aus der Betrachtung der Figuren, welche den geometrischen Zusammenhang aller Theile des Apparates darstellen, erreicht werden kann.

*) Théorie de la coulisse servant à produire la détente variable dans les machines à vapeur, et particulièrement dans les machines locomotives, par *M. Phillips*. Annales des mines, 1853, tome III.

Krümmungshalbmesser der Tasche.

Wir wollen zunächst den angemessenen Krümmungshalbmesser der Tasche bestimmen. Tab. XVIII, Fig. 89 stellt den Steuerungsapparat in derjenigen Position dar, wenn der Kolben seine Bewegung von Links nach Rechts beginnt, und wenn die Tasche in ihre mittlere Stellung gebracht ist, in welcher der mittlere Punkt B_1 derselben auf die Schieberstange einwirkt. O, A_1 ist die Kurbel der Maschine. D_1, E_1 sind die Mittelpunkte der excentrischen Scheiben. D_1, C_1, F_1, H_1 die Excentrikstangen. C_1, B_1, H_1 die Krümmung der Tasche.

Tab. XVIII., Fig. 90 zeigt die Stellung des Apparates, wenn der Kolben seine Bewegung von Rechts nach Links beginnt.

Fig. 91 ist eine allgemeine Stellung des Apparates, wenn die Kurbel O, A des Kolbens einen Winkel ω zurückgelegt hat, und wenn die Tasche etwas gehoben ist, so dass sie nicht mehr mit dem mittleren Punkt auf die Schieberstange einwirkt.

Die Krümmung der Tasche sollte von der Art sein, dass wenn der Kolben an einem oder am andern Ende des Schubes steht, eine Bewegung des Schiebers nicht eintritt, wenn man die Tasche hebt oder senkt.

Aendert man in Fig. 89 die Stellung der Tasche, ohne die Kurbel O, A_1 zu drehen, so beschreiben die Punkte C_1 und H_1 kleine Kreisbögen, die auf D_1, C_1 und F_1, H_1 senkrecht stehen, die ganze Tasche dreht sich also um den Punkt E_1 , in welchem sich die Verlängerungen der Excentrikstangen begegnen. Der Punkt B_1 wird also bei einer Hebung oder Senkung der Tasche keine Bewegung machen, wenn C_1, B_1, H_1 ein aus E_1 beschriebener Kreisbogen ist, oder $E_1, C_1 = E_1, B_1 = E_1, H_1$ wäre für diese Stellung der Kurbel O, A_1 der zweckmässigste Krümmungshalbmesser der Tasche.

Aendert man in Fig. 90 um unendlich wenig die Stellung der Tasche, so beschreiben die Punkte C_2 und H_2 kleine auf E_2, C_2 und E_2, H_2 senkrecht stehende Kreisbögen. Die Tasche dreht sich demnach um den Punkt E_2 , in welchem sich die Richtungen von D_2, C_2 und F_2, H_2 durchschneiden. Der Punkt B_2 wird also bei einer Hebung oder Senkung der Tasche keine Bewegung machen, wenn C_2, B_2, H_2 ein aus E_2 beschriebener Kreisbogen ist, d. h. für die Stellung Fig. 90 des Apparates wäre $E_2, C_2 = E_2, B_2 = E_2, H_2$ der vortheilhafteste Krümmungshalbmesser der Tasche.

Man sieht hieraus, dass es nicht möglich ist, den Krümmungshalbmesser der Tasche so zu wählen, dass der Schieber weder in Fig. 89, noch in Fig. 90 eine Bewegung macht, wenn man die Tasche hebt oder senkt; man muss sich demnach damit begnügen, den Halbmesser der Tasche so zu nehmen, dass die Bewegungen des Schiebers sowohl für die Stellung Fig. 89, als auch für die Stellung Fig. 90 möglichst klein ausfallen, und dies ist wohl dann der Fall, wenn der Krümmungshalbmesser der Tasche gleich dem arithmetischen Mittel aus E_1, C_1 und E_2, C_2 gemacht wird.

Nennen wir R diesen angemessensten Krümmungshalbmesser, so ist:

$$R = \frac{1}{2} (\overline{E_1 C_1} + \overline{E_2 C_2}) \dots \dots \dots (1)$$

Nennen wir ferner:

- $e = \overline{O, D_1} = \overline{O, F_1} = \overline{O, F_2} = \overline{O, D_2}$ die Excentrizitäten der Scheiben;
- $l = \overline{D_1, C_1} = \overline{F_1, H_1} = \overline{D_2, C_2} = \overline{F_2, H_2}$ die Länge einer Excentrikstange;
- $\widehat{V_1 O, D_1} = \widehat{V_1 O, F_1} = \widehat{V_2 O, F_2} = \widehat{V_2 O, D_2} = \alpha$ den Voreilungswinkel;
- $\overline{C_1, H_1} = \overline{C_2, H_2} = 2c$ die Länge der Sehne, welche dem Bogen der Tasche entspricht, so ist in Fig. 89:

$$\overline{E_1 C_1} : c = 1 : c - \rho \sin. \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right)$$

Demnach:

$$\overline{E_1 C_1} = \frac{c1}{c - \rho \cos. \alpha} \dots \dots \dots (2)$$

Ist dagegen in Fig. 90:

$$\overline{E_2 C_2} : c = 1 : c + \rho \cos. \alpha$$

Demnach:

$$\overline{E_2 C_2} = \frac{c1}{c + \rho \cos. \alpha} \dots \dots \dots (3)$$

Substituirt man diese Werthe von $\overline{E_1 C_1}$ und $\overline{E_2 C_2}$ in (1), so erhält man:

$$R = \frac{c^2 1}{c^2 - \rho^2 \cos.^2 \alpha} \dots \dots \dots (4)$$

Allein $\rho \cos. \alpha$ ist gegen c eine sehr kleine Grösse; $\rho^2 \cos.^2 \alpha$ kann daher gegen c^2 vernachlässigt werden, und dann folgt:

$$R = 1 \dots \dots \dots (5)$$

Der angemessenste Krümmungshalbmesser für die Tasche ist also gleich der Länge der Excentrikstange.

Gleichung der Bewegung des Schiebers.

In Fig. 91 ist J der Mittelpunkt des Schiebers, G der Punkt, in welchem die Sehne CH die Linie OJ durchschneidet. Die Entfernung GJ ist streng genommen nicht constant, sondern ändert sich mit dem Winkel ω , allein diese Aenderung ist nur ganz unmerklich, wenn die Länge der Aufhängstange der Tasche und wenn auch die Länge CH der Tasche im Vergleich zur ganzen Bewegung des Schiebers gross ist; wir können also die Entfernung GJ als eine constante Länge betrachten, die wir gleich b setzen wollen.

Nennen wir:

$$OD = OF = r \quad \overline{DC} = \overline{FH} = 1 \quad \overline{CH} = 2c \quad \overline{OJ} = x \quad \overline{GJ} = b \quad \overline{CG} = y$$

so ist zunächst:

$$x = \overline{OG} + b \dots \dots \dots (6)$$

Vermittelst Fig. 91 findet man leicht folgende Beziehungen:

$$\left. \begin{aligned} y \cos. \psi &= 1 \sin. \varphi + \rho \sin. \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha + \omega) \right] \\ (2c - y) \cos. \psi &= 1 \sin. \varphi_1 + \rho \sin. \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha - \omega) \right] \\ \overline{OG} &= \rho \cos. \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha + \omega) \right] + 1 \cos. \varphi - y \sin. \psi \\ \overline{OG} &= \rho \cos. \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha - \omega) \right] + 1 \cos. \varphi_1 + (2c - y) \sin. \psi \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

Aus den beiden ersteren dieser Gleichungen folgt:

$$\left. \begin{aligned} \sin. \varphi &= \frac{y \cos. \psi - \rho \cos. (\alpha + \omega)}{1} \\ \sin. \varphi_1 &= \frac{(2l - y) \cos. \psi - \rho \cos. (\alpha - \omega)}{1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

Durch Subtraktion der dritten und vierten der Gleichungen (7) ergibt sich eine Gleichung, aus welcher man, mit Berücksichtigung, dass $\sin. (\alpha + \omega) - \sin. (\alpha - \omega) = 2 \cos. \alpha \sin. \omega$ ist, leicht findet:

$$\sin. \psi = \frac{2 \rho \cos. \alpha \sin. \omega + 1 (\cos. \varphi - \cos. \varphi_1)}{2c} \dots \dots \dots (9)^*$$

Setzt man diesen Werth in die dritte der Gleichungen (7) und berücksichtigt (6), so erhält man:

$$x = b + \rho \sin. (\alpha + \omega) - y \frac{\rho}{c} \cos. \alpha \sin. \omega + 1 \left[\cos. \varphi - \frac{y}{2c} (\cos. \varphi - \cos. \varphi_1) \right] \dots (10)$$

Die Gleichungen (8) und (9) sind absolut genau; die Gleichung (10) ist nur in so fern ungenau, als wir annehmen, dass \overline{CG} und \overline{BG} zwei von ω unabhängige Längen sind. Diese Ungenauigkeit ist aber in der That eine verschwindend kleine. Die Gleichung (10) würde also, wenn man aus derselben vermitteltst (8) und (9) die Winkel φ , φ_1 und ψ eliminirte, den Werth von x , d. h. die Position des Schiebers als Funktion von ω beinahe mit absoluter Genauigkeit bestimmen. Diese Elimination ist aber nicht möglich, man muss also, um x zu bestimmen, ein Annäherungsverfahren befolgen.

Die Winkel φ , φ_1 und ψ sind jederzeit so klein, dass man sich erlauben darf, $\sin. \varphi = \varphi$, $\cos. \varphi = 1$, $\sin. \varphi_1 = \varphi_1$, $\cos. \varphi_1 = 1$, $\sin. \psi = \psi$, $\cos. \psi = 1$ zu setzen. Unter dieser Voraussetzung wird die Gleichung (10):

$$x = b + l + \rho \sin. (\alpha + \omega) - \rho \frac{y}{c} \cos. \alpha \sin. \omega \dots \dots \dots (11)$$

*) Vernachlässigt man das jederzeit nur kleine Glied $1(\cos. \varphi - \cos. \varphi_1)$, so erhält man eine Gleichung, die mit derjenigen übereinstimmt, welche Phillips in seinem Aufsatz, Seite 15, erst nach weitläufigen geometrischen Betrachtungen, analytischen Rechnungen und Integrationen von Gleichungen herausbringt.

Man findet diese Gleichung auch ganz leicht und direkt, wenn man unendlich lange Excentrikstangen und eine im Verhältniss zur Schieberbewegung sehr lange Tasche annimmt. Unter dieser Voraussetzung stimmen nämlich die Bewegungen der Punkte C und H mit den Horizontal-Bewegungen von D und F überein. Die Ablenkungen der Punkte C und H von ihrer mittleren Position sind dann, wie Fig. 92 zeigt,

$$\overline{MC} = \rho \cos. \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha + \omega) \right] \text{ und } \overline{NH} = \rho \cos. \left[\frac{\pi}{2} - (\alpha - \omega) \right]$$

Es folgt daher unmittelbar aus dieser Figur:

$$\sin. \psi = \frac{\overline{MC} - \overline{NH}}{\overline{CH}} = \rho \frac{[\sin. (\alpha + \omega) - \sin. (\alpha - \omega)]}{2c} = \frac{\rho}{c} \cos. \alpha \sin. \omega$$

welches die von Phillips auf so weiten Umwegen gefundene Gleichung ist.

Der wahre mittlere Werth von x ist:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} x \, d\omega = b + 1$$

$x - (b + 1)$ ist demnach die Abweichung des Schiebers von seiner mittleren Position, in welcher er gegen die beiden Einströmungsöffnungen symetrisch steht. Setzen wir $x - (b + 1) = \xi$, so wird vermöge (11):

$$\xi = \rho \sin. (\alpha + \omega) - \rho \frac{y}{c} \cos. \alpha \sin. \omega \quad \dots \dots \dots (13)$$

und dieser Ausdruck bestimmt also annähernd das Hin- und Herpendeln des Schiebers um seine mittlere Position.

Nennt man x den Weg, den der Kolben zurücklegt, während die Kurbel den Winkel ω beschreibt, r den Halbmesser der Kurbel, L die Länge der Schubstange, μ den Winkel, den die Schubstange mit der Bewegungsrichtung des Kolbens bildet, so ist ganz streng:

$$X = r(1 - \cos. \omega) + L(1 - \cos. \mu) \quad \dots \dots \dots (14)$$

Allein μ ist stets ein kleiner Winkel, man darf sich also wohl erlauben, das Glied $L(1 - \cos. \mu)$ ganz zu vernachlässigen, und dann erhält man:

$$X = r(1 - \cos. \omega) \quad \dots \dots \dots (15)$$

Vermittelst der Gleichungen (13) und (15), können wir nun die Beziehungen ausfindig machen, die zwischen den Konstruktionselementen und den Wirkungen des Apparates bestehen; dabei werden uns die Fig. 93 bis 97 behülflich sein.

- Fig. 93 zeigt die mittlere Position des Schiebers, i ist die innere, e die äussere Ueberdeckung.
- Fig. 94 zeigt die Stellung des Schiebers, wenn der Kolbenschub beginnt, oder wenn $\omega = 0$ ist, a ist das lineare Voreilen des Schiebers.
- Fig. 95 zeigt die Stellung des Schiebers, wenn die Einströmungsöffnung am grössten ist, a_1 ist das Maas derselben.
- Fig. 96 zeigt die Stellung des Schiebers, wenn die Einströmung aufhört, oder wenn die Expansion des Dampfes beginnt.
- Fig. 97 zeigt die Stellung des Schiebers, wenn die Ausströmung aufhört, wenn also vor dem Kolben die Compression des Dampfes beginnt.

Bezeichnen wir durch $x_1, x_2, x_3, \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ diejenigen Werthe von x und von ω , welche den Schieberstellungen (Fig. 95, 96, 97) entsprechen, so ist:

für $\omega =$	0	Ω_1	Ω_2	Ω_3
$x =$	0	x_1	x_2	x_3
$\xi =$	$e + a$	$e + a_1$	e	$-i$

Wir erhalten demnach vermöge der Gleichungen (13) und (15) die nachstehenden Beziehungen:

$$e + a = \rho \sin. \alpha \dots \dots \dots (16)$$

$$\left. \begin{aligned} e + a_1 &= \rho \sin. (\alpha + \Omega_1) - y \frac{\rho}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_1 \\ X_1 &= r (1 - \cos. \Omega_1) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

$$\left. \begin{aligned} e &= \rho \sin. (\alpha + \Omega_2) - y \frac{\rho}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_2 \\ X_2 &= r (1 - \cos. \Omega_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (18)$$

$$\left. \begin{aligned} -i &= \rho \sin. (\alpha + \Omega_3) - y \frac{\rho}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_3 \\ X_3 &= r (1 - \cos. \Omega_3) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (19)$$

Durch Differenziation der Gleichung (13) findet man

$$\frac{d\xi}{d\omega} = \rho \cos. (\alpha + \omega) - \rho \frac{y}{c} \cos. \alpha \cos. \omega$$

Nun ist aber Ω , derjenige Werth von ω , für welchen ξ am grössten wird, für welchen mithin $\frac{d\xi}{d\omega} = 0$ werden muss, wir erhalten demnach zur Bestimmung von Ω , die Gleichung

$$\rho \cos. (\alpha + \Omega) - \rho \frac{y}{c} \cos. \alpha \cos. \omega = 0$$

aus welcher folgt:

$$\left. \begin{aligned} \text{tang. } \Omega &= \frac{1 - \frac{y}{c}}{\text{tang. } \alpha} \\ \cos. \Omega &= \frac{\text{tang. } \alpha}{\sqrt{\text{tang.}^2 \alpha + \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2}} \\ \sin. \Omega &= \frac{1 - \frac{y}{c}}{\sqrt{\text{tang.}^2 \alpha + \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (20)$$

Setzt man diesen Werth von $\cos. \Omega$, und $\sin. \Omega$ in die erste der Gleichungen (17) so findet man

$$e + a_1 = \rho \sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2} \dots \dots \dots (21)$$

Diese Gleichungen (16) (18) (19) (20) (21) drücken die Beziehungen aus, welche zwischen den Konstruktionselementen und den Wirkungen des Steuerungsapparates bestehen, und wir können nun vermittelst derselben verschiedene Fragen beantworten.

Legen wir uns zunächst die Aufgabe vor, die Wirkungen eines Apparates, dessen Elemente gegeben sind, zu bestimmen.

In diesem Falle sind die gegebenen Grössen

$$e \quad i \quad \rho \quad \alpha \quad c \quad y \quad r$$

Die zu suchenden Grössen dagegen

$$a \quad a_1 \quad \Omega_1 \quad X_1 \quad \Omega_2 \quad X_2 \quad \Omega_3 \quad X_3$$

und wir erhalten nun

wegen Gleichung (16): $a = \rho \sin. \alpha - e$

" " (21): $a_1 = \rho \sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2}$

" " (20): $\text{tang. } \Omega_1 = \frac{1 - \frac{y}{c}}{\text{tang. } \alpha}$

" " (17): $X_1 = r(1 - \cos. \Omega_1)$

" " (18): $e = \rho \sin. (\alpha + \Omega_2) - y \frac{\rho}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_2$

" " (18): $X_2 = r(1 - \cos. \Omega_2)$

" " (19): $+i = -\rho \sin. (\alpha + \Omega_3) + y \frac{\rho}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_3$

" " (19): $X_3 = r(1 - \cos. \Omega_3)$

... (22)

Die Werthe von Ω_2 und Ω_3 müssen aus den trigonometrischen Gleichungen, welche e und i ausdrücken, durch ein Annäherungsverfahren berechnet werden.

Senkt man die Tasche ganz herab, so dass $y = 0$ wird, so wirkt nur allein das Vorwärts-Excentrum auf den Schieber und die Einströmungsöffnung, so wie auch die Dauer der Einströmung wird dann am grössten. Für diesen Fall werden die Gleichungen (22)

$$a = \rho \sin. \alpha - e$$

$$a_1 = \rho$$

$$\Omega_1 = 90^\circ - \alpha$$

$$X_1 = r(1 - \sin. \alpha)$$

$$e = \rho \sin. (\alpha + \Omega_2)$$

$$X_2 = r(1 - \cos. \Omega_2)$$

$$i = -\rho \sin. (\alpha + \Omega_3)$$

$$X_3 = r(1 - \cos. \Omega_3)$$

... (23)

woraus sich die unbekanntenen Grössen sehr leicht berechnen lassen.

Legen wir uns ferner die Aufgaben vor, die Konstruktionselemente des Apparates so zu bestimmen, dass derselbe eine gewisse Wirkung hervorbringt, so sind die gegebenen Grössen

$$a \quad a_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad y \quad e \quad r$$

und die zu suchenden

$$e \quad i \quad \rho \quad \alpha \quad \Omega_1 \quad X_1 \quad \Omega_2 \quad \Omega_3$$

Aus der Gleichung (16) und der ersten der Gleichungen (17) folgt:

$$\left. \begin{aligned} e &= \frac{a_1 \sin. \alpha - a \sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2}}{\sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2} - \sin. \alpha} \\ \rho &= \frac{a_1 - a}{\sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2} - \sin. \alpha} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (24)$$

Durch Division dieser Ausdrücke folgt:

$$\frac{e}{\rho} = \frac{a_1 \sin. \alpha - a \sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2}}{a_1 - a} \dots \dots \dots (25)$$

Vermöge der ersten der Gleichungen (18) ist aber auch:

$$\frac{e}{\rho} = \sin. (\alpha + \Omega_2) - \frac{y}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_2 \dots \dots \dots (26)$$

Man erhält daher, wenn man diese Werthe von $\frac{e}{\rho}$ einander gleich setzt:

$$\sin. (\alpha + \Omega_2) - \frac{y}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_2 = \frac{a_1}{a_1 - a} \sin. \alpha - \frac{a}{a_1 - a} \sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2} \dots \dots (27)$$

Die zu suchenden Grössen lassen sich nun auf folgende Art bestimmen:

Aus der zweiten der Gleichungen (18) folgt zunächst:

$$\cos. \Omega_2 = 1 - \frac{X_2}{r}$$

Zur Bestimmung von α dient die trigonometrische Gleichung (27), nämlich:

$$\sin. (\alpha + \Omega_2) - \frac{y}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_2 = \frac{a_1}{a_1 - a} \sin. \alpha - \frac{a}{a_1 - a} \sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2} \dots \dots (28)$$

Die zweite der Gleichungen (24) gibt:

$$\rho = \frac{a_1 - a}{\sqrt{\sin.^2 \alpha + \cos.^2 \alpha \left(1 - \frac{y}{c}\right)^2} - \sin. \alpha}$$

Aus der Gleichung (16) folgt dann ferner:

$$e = \rho \sin. \alpha - a$$

Redtenbacher, Gesetze des Lokomotivbaues.

Aus der ersten der Gleichungen (20):

$$\operatorname{tang.} \Omega_1 = \frac{1 - \frac{y}{c}}{\operatorname{tang.} \alpha}$$

Aus der zweiten der Gleichungen (17):

$$X_1 = r(1 - \cos. \Omega_1)$$

Aus der zweiten der Gleichungen (19):

$$\cos. \Omega_2 = 1 - \frac{X_2}{r}$$

Endlich aus der ersten der Gleichungen (19):

$$i = -e \sin. (\alpha + \Omega_2) + y \frac{e}{c} \cos. \alpha \sin. \Omega_2$$

Verlangt man, dass der Apparat gewisse Wirkungen hervorbringt, wenn nur allein das Vorwärts-Excentrum auf den Schieber einwirkt, so ist $y = 0$ und dann werden die Gleichungen (28)

$$\left. \begin{aligned} \cos. \Omega_2 &= 1 - \frac{X_2}{r} \\ \sin. (\alpha + \Omega_2) &= \frac{a_1}{a_1 - a} \sin. \alpha - \frac{a}{a_1 - a} \\ e &= \frac{a_1 - a}{1 - \sin. \alpha} \\ e &= e \sin. \alpha - a \\ \Omega_1 &= 90 - \alpha \\ X_1 &= r(1 - \sin. \alpha) \\ \cos. \Omega_1 &= 1 - \frac{X_2}{r} \\ i &= -e \sin. (\alpha + \Omega_2) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (28)$$

Nebst diesen zwei Hauptfragen, die durch die Gleichungen (22) (23) (28) (29) beantwortet werden, kann man noch sehr viele andere stellen, allein ich will diesem Gegenstand keine zu grosse Ausdehnung geben, weil ich der Ansicht bin, dass dieser Apparat nicht als Expansionssteuerung, sondern nur als gewöhnliche Steuerung einen praktischen Werth hat.

Als Expansionssteuerung ist der Apparat sehr unvollkommen, denn schwache Expansionen, die man wohl ganz gut hervorbringen kann, helfen nicht viel, und stärkere Expansionen geschehen sehr mangelhaft, indem die grösste Einströmungsöffnung zu klein und die Dauer der Compression und des Gegendruckes gegen das Ende des Schubes hin zu gross ausfällt.

Als gewöhnlicher Steuerungsapparat ist dagegen diese Vorrichtung eine vortreffliche, das Vor- und Rückwärtsfahren und selbst auch das Abstellen der Maschine kann so leicht

und sicher bewirkt werden; das Voreilen des Schiebers macht, dass der Dampf leicht in den Cylinder gelangen kann, und durch die Aufhebung der Einströmung, bevor noch der Kolben das Ende seines Schubes erreicht hat, bewirkt man, dass der Cylinder nicht nachträglich, wenn sich der Kolben kaum mehr bewegt, mit Dampf gefüllt wird.

Um den Gebrauch der aufgestellten Formeln zu zeigen, wollen wir eine numerische Anwendung machen.

Stellen wir an einen zu konstruierenden Apparat folgende Forderungen.

Wenn nur allein das Vorwärtsexcentrum auf den Schieber einwirkt, wenn also $y = 0$ ist, soll:

1. die Einströmung durch 0.839 des Kolbenschubes stattfinden;
2. die Ausströmung aufhören, nachdem der Kolben 0.964 seines Schubes zurückgelegt hat;
3. das lineare Voreilen 0.007 Meter betragen;
4. die grösste Einströmungsöffnung 0.035 Meter betragen.

Es ist also gegeben:

$$y = 0 \quad \frac{X_2}{2r} = 0.839 \quad \frac{X_1}{2r} = 0.964 \quad a = 0.007 \text{ Meter} \quad a_1 = 0.035 \text{ Meter}$$

Für diese Daten findet man aus den Formeln (29):

$$\begin{aligned} \cos. \Omega_2 &= 1 - 1.678 = -0.678 & \dots & \dots & \Omega_2 &= 132^\circ + 42' \\ \sin. (\alpha + 132^\circ + 42') &= \frac{0.035}{0.035 - 0.007} \sin. \alpha - \frac{0.007}{0.035 - 0.007} & \alpha &= 28^\circ \\ e &= \frac{0.035 - 0.007}{1 - \sin. 28^\circ} & \dots & \dots & e &= 0.0528 \text{ Meter} \\ e &= 0.0528 \sin. 28^\circ - 0.007 & \dots & \dots & e &= 0.024 \text{ Meter} \\ \Omega_1 &= 90 - 28 & \dots & \dots & \Omega_1 &= 62^\circ \\ \frac{X_1}{2r} &= 1 - \sin. 28^\circ & \dots & \dots & \frac{X_1}{2r} &= 0.5306 \\ \cos. \Omega_3 &= 1 - 1.928 = -0.928 & \dots & \dots & \Omega_3 &= 158^\circ 8' \\ i &= -0.0528 \sin. (158^\circ + 8' + 28^\circ) & \dots & \dots & i &= 0.006 \end{aligned}$$