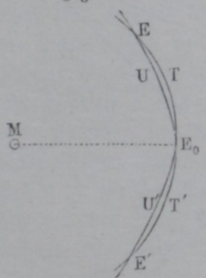
$B$, wie bei dem Evans'schen Lenker. Wählt man $E$ näher an $A$, Fig. 376, so rückt $M$ weiter von $C$ fort, indem dann $c$ negativ wird, während ein größerer Werth von $e$ den Drehpunkt $M$ zwischen $C$ und $B$ fallen läßt. Eine solche Annahme ist nicht zu empfehlen.

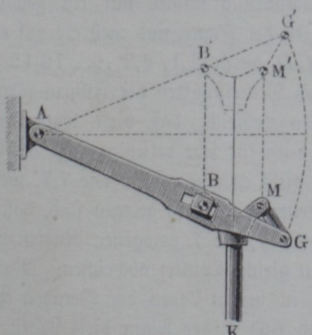
Hinsichtlich der Anordnung des Gegenlenkers lassen sich hier ähnliche Betrachtungen anstellen, wie bei dem angenäherten Ellipsenlenker geschehen. Wenn man nämlich, wie im Vorhergehenden vorausgesetzt, das betreffende Conchoidenstück durch einen Kreisbogen ersetzt, welcher mit jenem den mittleren und die beiden äußersten Punkte gemein hat, Fig. 379, so weicht dieser Kreisbogen sowohl bei $T$ wie bei $T'$ nach derselben Seite von der Conchoide ab. Würde man daher den Kreisbogen etwa durch die Mitten der Abweichungen $UT$ und $U'T'$ legen, so würde derselbe jene Curve in vier Punkten treffen, und die Abweichungen würden nach beiden Seiten in geringerem Betrage stattfinden.

Fig. 379.




Es ist klar, daß man auch die Conchoidenlenker umkehren kann, indem man den Punkt $A$ durch zusätzliche Bewegung um $-s$ in Ruhe setzt, und die zu führende Kolbenstange mit den beiden Lagern für $B$ und $M$ verbindet, in solcher Art erhält man z. B. aus dem Reichenbach'schen Lenker die in Fig. 380 dargestellte Anordnung, bei welcher der Balancier $AG$ doppelt auszuführen ist, um durch seinen Zwischenraum hindurch der Kolbenstange $K$ und deren Querhaupte $BM$ das Spiel zu gestatten.

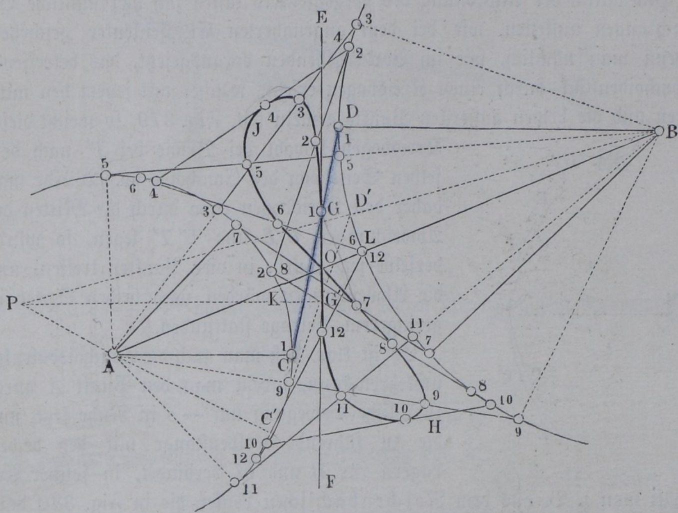
Fig. 380.




**Lemniscatenlenker.** Zu der mit dem Namen Lemniscatenführung oder Lemniscatenlenker bezeichneten angenäherten Geradführung gelangt man ebenfalls, wie zu den vorhergehenden, aus der Betrachtung eines gewissen Bewegungszustandes einer geraden Linie. Denkt man sich nämlich eine gerade Linie oder Stange $CD$, Fig. 381 (a. f. S.), so bewegt, daß zwei Punkte $C$ und $D$ derselben in zwei festen Kreisen zu den Mittelpunkten $A$ und $B$ geführt werden, etwa dadurch, daß man die beiden Punkte $C$ und $D$ an Lenker schließt, die um $A$ resp. $B$ drehbar sind, so beschreibt irgend ein Punkt $G$ dieser Geraden eine eigenthümlich verschlungene Linie §. 102.

*GG'HI*, welche eine gewisse Aehnlichkeit mit der Ziffer 8 hat, und in der Geometrie eine Lemniscate, Schleifenlinie, genannt wird. Diese Curve ist eine Linie vierten Grades, die Entwickelung ihrer Gleichung ist sehr weitläufig

Fig. 381.

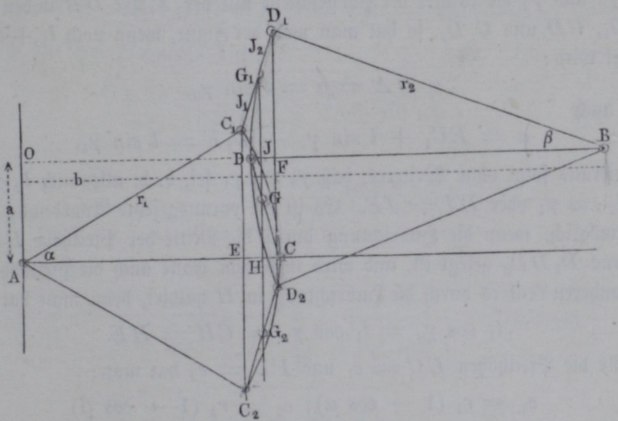


und kann für den vorliegenden Zweck umgangen werden, da bei der Ausführung der hier zu besprechenden Geradführung immer nur ein gewisses Stück der Curve in Betracht kommt. In der Figur sind mehrere auf einander folgende Lagen der Geraden *CD* durch 1,1, 2,2 .... 12,12 bezeichnet. Zieht man zwischen den beiden Mittelpunkten der Führungskreise die Centrallinie *AB*, so erkennt man sogleich, daß diese letztere eine Symmetrieaxe für die Curve sein muß, denn für jede beliebige Lage der Geraden *CD*, z. B. die in 1,1 gezeichnete, giebt es eine andere wie 7,7, welche beide zusammen symmetrisch gegen die Centrale, d. h. so gelegen sind, daß die von *A* und *B* aus an die Stangenpunkte 1 und 7 gezogenen Radien nach beiden Seiten von der Centrale *AB* um gleiche Winkel abweichen. Natürlich ist dann der beschreibende Punkt *G* in beiden Lagen der Geraden ebenfalls symmetrisch gegen *AB* situirt, und sind in der Figur diese Lagen von *G* ebenfalls mit denselben Ziffern (also hier 1 und 7) bezeichnet. Es ist ebenfalls leicht ersichtlich, daß während einer vollständigen Bewegungsperiode der Geraden der beschreibende Punkt *G*, wo derselbe auch zwischen *C* und *D* liegen möge, zweimal durch die Centrale hindurchgehen muß, und zwar müssen diese Durchgänge, so lange *G* zwischen *A* und *B* gelegen ist, stets auf der Strecke $KL$ der Centrale stattfinden, welche zwischen den Kreisumfängen enthalten ist. Diese Annahme, daß $G$ zwischen $C$ und $D$ liegt, soll vorläufig festgehalten werden. Aus der oben erwiesenen symmetrischen Gestalt der Curve in Bezug auf die Centrale folgt dann sogleich weiter, daß die beiden erwähnten Durchgänge des beschreibenden Punktes $G$ durch die Centrale in einen und denselben Punkt $O$ fallen müssen. Es muß also jede von einem Punkte der Geraden beschriebene Lemniscate einen sogenannten Doppelpunkt oder Knoten haben, in welchem die Curve sich selbst durchschneidet, und die Knoten $O$ aller von den verschiedenen Punkten $G$ beschriebenen Lemniscaten liegen auf der Centrale $AB$. Wenn der beschreibende Punkt $G$ mit dem einen oder anderen der geführten Punkte $C$ oder $D$ zusammenfällt, so geht die Schleifenlinie in den betreffenden Kreisbogen über, indem die beiden Zweige der Curve zusammenfallen, und als Doppelpunkte sind jetzt die Durchschnitte $K$ und $L$ der Centrale mit diesen Kreisen zu betrachten, indem diese Punkte $K$ und $L$ von $C$ und $D$ zweimal und zwar unter entsprechend symmetrischen Lagen der Geraden $CD$ durchlaufen werden. Diese Lagen sind z. B. für den Punkt $L$ mit 6,6 und 12,12 bezeichnet. Ferner ergiebt sich aus der Figur, daß die äußersten Punkte dieser von $C$ und $D$ durchlaufenen Kreisbogen in 5, 11, 3 und 9, d. h. durch diejenigen Lagen der Geraden $CD$ erhalten werden, in welchen die letztere mit dem anderseitigen Lenker $B5$, $B11$, resp. $A3$, $A9$ in dieselbe Richtung fällt.

Von besonderem Interesse ist eine solche Lage der geführten Geraden $CD$, in welcher die beiden Lenker $AC$ und $BD$ parallel zu einander stehen. Diese Stellungen sind in der Figur durch 1,1 und 7,7 gegeben. Faßt man die Lage 1,1 ins Auge, so folgt, daß die Gerade $CD$ in diesem Augenblicke eine unendlich kleine Bewegung annimmt, für welche das Momentancentrum in der Richtung der Radien $A1$ und $B1$ in der Unendlichkeit liegt, denn nach dem in der Einleitung §. 7 Gesagten findet man in jedem Augenblicke den Pol oder das Momentancentrum für die Bewegung der Stange in dem Durchschnitte der beiden zugehörigen Lenkerlagen, da die letzteren immer als die Normalen zu den Wegen der geführten Punkte $C$ und $D$ aufzufassen sind. Eine Drehung um den in der Richtung der parallelen Radien unendlich entfernt liegenden Punkt kommt nun aber auf eine geradlinige Bewegung in der zu den Radien senkrechten Richtung $EF$ hinaus, und man schließt daher, daß in dem betrachteten Augenblicke, wo die Lenker parallel gestellt sind, die Bahnen aller Punkte der Stange $CD$ eine und dieselbe Richtung $EF$ haben, welche zu den Lenkern senkrecht steht. Für den Punkt $G$ in seiner mit 1 bezeichneten Stellung ist die Tangente $EF$ gezeichnet. Man kann übrigens bemerken, daß man an die Bahn irgend eines Punktes nach einer bestimmten Richtung, also z. B. nach der Richtung $EF$, stets vier verschiedene parallele Tangenten legen kann, da die Lemniscate vom vierten Grade ist. Man kann auch leicht die Lage dieser Punkte graphisch ermitteln, wenn man die entsprechenden Pollagen zeichnet. So ist z. B. der Punkt $G'$ der gezeichneten Bahn ein zweiter von solcher Eigenschaft, daß seine Tangente parallel zu derjenigen $EF$ ausfällt, wenn dieser Punkt $G'$, welcher der Lage $AC'D'B$ des Systems entspricht, so liegt, daß der Polstrahl $PG'$ senkrecht zu der Richtung $EF$ ausfällt. Den Pol $P$ findet man, wie schon bemerkt, in dem Durchschnittspunkte der beiden Lenkerlagen $AC'$ und $BD'$, und es ist nach dem Früheren deutlich, daß der Punkt $G'$ in dem betreffenden Augenblicke ein auf dem Polstrahle $PG'$ senkrechtes, also zu $EF$ paralleles Bahnelement beschreibt. In gleicher Weise könnte man noch zwei Punkte der Curve (in der Nähe von 5 und 9) aufsuchen, deren Tangenten parallel zu $EF$ sind, wenn diese Punkte ein besonderes Interesse darböten, was in der vorliegenden Frage indessen nicht der Fall ist, da für die Geradführung nur ein in der Nähe des Knotenpunktes $O$ gelegenes Stück der Curve benutzt wird.

Bei näherer Untersuchung der Lemniscate findet man nun, daß ein Stück der Curve zu beiden Seiten des Punktes $G$ von der geraden Tangente dieses Punktes nur wenig abweicht, so lange die Ausschlagswinkel der Lenker $AC$ und $BD$ nach beiden Seiten hin nur mäßige Beträge haben. Betrachtet man daher die Lagen dieser Lenker, in welchen sie parallel sind, als ihre Mittellagen, so kann man mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit die Bahn eines zweckmäßig gewählten Punktes $G$ als geradlinig betrachten, und eine Kolbenstange in diesem Punkte $G$ mit der Stange $CD$ verbinden. Bis jetzt ist der Punkt $G$ noch beliebig auf $CD$ angenommen worden, es leuchtet indessen ein, daß nicht die Bahnen aller Punkte von $CD$ sich gleich innig an eine zu $EF$ parallele Gerade anschmiegen werden, man erkennt vielmehr, daß diese Bahnen sich um so mehr den Kreisbögen um $A$ resp. um $B$ nähern, je mehr man den Punkt $G$ dem geführten Punkte $C$ oder $D$ nähert. Um daher die geeignetste Lage von $G$, d. h. diejenige zu finden, bei welcher die Abweichungen der wirklichen Bahn von der beabsichtigten geradlinigen möglichst gering sind, kann man noch eine Bedingung hinzufügen. Als solche wählt man allgemein diejenige, daß die *geradlinige Bahn, in welcher der Kopf der Kolbenstange geführt wird, nicht nur die mittlere Stellung des Punktes $G$, sondern auch die beiden äußersten Lagen desselben in sich aufnimmt*, dieselbe Bedingung also, welche auch bei den Ellipsen- und Conchoidenlenkern gestellt zu werden pflegt. Unter Zugrundelegung dieser Bedingung ist nunmehr die Wahl des Punktes $G$ zwischen $C$ und $D$ nicht mehr unbestimmt, und es ist auch eine gewisse Lage der Punkte $A$ und $B$ gegen einander, resp. ein gewisses Längenverhältniß der beiden Lenker $AC$ und $BD$ zu einander durch Annahme jener Bedingung festgestellt, wie im Folgenden sich zeigen wird. Sei $B$, Fig. 382, der Drehpunkt des einen Lenkers, und $BD$ dessen mittlere Lage, so daß die äußersten Lagen $BD_1$ und $BD_2$ die gleichen Winkel

Fig. 382.




$D_1BD = D_2BD = \beta$ mit der mittleren Lage $BD$ bilden. Senkrecht zu dieser letzteren sei durch den vorläufig beliebigen Punkt $J$ die Hubrichtung $G_1G_2$ gelegt, und man trage an die drei Punkte $D_1$, $D$ und $D_2$ die Stange oder Hängeschiene $DC$ so an, daß der Punkt $G$ derselben, dessen Abstände von $C$ und $D$ resp. $CG = l_1$ und $DG = l_2$ sein mögen, in die Hubrichtung zu liegen kommt, so daß $D_1G_1$, $DG$ und $D_2G_2 = l_2$ werden. Dadurch sind die drei Lagen $C_1$, $C$ und $C_2$ des anderen Endpunktes der Hängeschiene gegeben, durch welche drei Punkte $C_1$, $C$ und $C_2$ man nun einen Kreis legen kann, dessen Mittelpunkt $A$ den Drehpunkt für den zweiten Lenker oder Gegenlenker $AC$ abgiebt. Von diesem Gegenlenker wird verlangt, daß $AC$ seine mittlere Lage und dieselbe zu $BD$ parallel sein solle. Es ist zunächst klar, daß, wenn dies der Fall ist, die Sehne $C_1C_2$ senkrecht zu $AC$ steht, also mit der Sehne $D_1D_2$ des ersten Lenkers und daher auch mit der Hubrichtung $G_1G_2$ parallel ist. Da ferner wegen $D_1G_1 = D_2G_2 = l_2$ auch die äußersten Lagen $D_1C_1$ und $D_2C_2$ der Hängeschiene unter sich parallel sein müssen, so folgt aus dem Parallelogramm $D_1C_1C_2D_2$ weiter, daß die Sehnen beider Lenkerbogen unter sich und mit dem Kolbenhube $s$ von gleicher Größe sind, d. h. $C_1C_2 = D_1D_2 = G_1G_2 = s$. Bezeichnet daher $\alpha$ den halben Schwingungswinkel $C_1AC = C_2AC$ des Gegenlenkers, und sind die Lenkerlängen $r_1$ und $r_2$, so hat man für die Hubsehnen

$$r_1 \sin \alpha = r_2 \sin \beta = \frac{s}{2}.$$

Bezeichnet man ferner mit $a$ und $b$ die Coordinaten der beiden Drehpunkte $A$ und $B$, bezogen auf den Mittelpunkt $O$ eines rechtwinkeligen Coordinatensystems, dessen Axen durch $A$ und $B$ hindurchgehen, und seien $\gamma_1$, $\gamma_0$ und $\gamma_2$ die Winkel der Hängeschiene mit der $X$-Axe $OB$ in den Lagen $C_1D_1$, $CD$ und $C_2D_2$, so hat man nach der Figur, wenn noch $l_1 + l_2 = l$ gesetzt wird:

$$OA = a = l \sin \gamma_0$$

und auch

$$a = EC_1 + l \sin \gamma_1 - D_1F = l \sin \gamma_1.$$

Hieraus folgt ohne Weiteres, daß $\gamma_0 = \gamma_1$ sei, d. h. also auch $l_2 \cos \gamma_0 = l_2 \cos \gamma_1$ oder $DJ = JF$. Es ist die vorausgesetzte Anordnung daher nur möglich, wenn die Hubrichtung durch die Mitte der Pfeilhöhe $FD$ des Bogens $D_1DD_2$ gelegt ist, und wird in diesem Falle auch die Pfeilhöhe $EC$ des anderen Lenkers durch die Hubrichtung in $H$ halbirt, denn man hat dafür

$$l_1 \cos \gamma_0 = l_1 \cos \gamma_1 = CH = HE.$$

Für die Pfeilhöhen $EC = e_1$ und $FD = e_2$ hat man:

$$e_1 = r_1 (1 - \cos \alpha); \; e_2 = r_2 (1 - \cos \beta)$$

und

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Außer jener gefundenen Bedingung hinsichtlich der Lage der beiden Lenker zu einander müssen aber auch deren Längen $r_1$ und $r_2$ ein ganz bestimmtes Verhältniß zu einander haben. Man hat nach einer bekannten geometrischen Eigenschaft des Kreises:

$$C_1E^2 = EC (2 r_1 - EC)$$

oder da

$$C_1E = \frac{s}{2} = r_1 \sin \alpha = r_2 \sin \beta$$

ist:

$$(r_2 \sin \beta)^2 = e_1 (2 r_1 - e_1).$$

Da ferner

$$e_1 = \frac{l_1}{l_2} e_2 = \frac{l_1}{l_2} r_2 (1 - \cos \beta)$$

ist, so folgt:

$$r_1 = \frac{(r_2 \sin \beta)^2 + e_1^2}{2 e_1} = \frac{r_2^2 (1 - \cos^2 \beta) + \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^2 r_2^2 (1 - \cos \beta)^2}{2 \frac{l_1}{l_2} r_2 (1 - \cos \beta)}$$

$$= r_2 \frac{\frac{l_2}{l_1}(1 + \cos \beta) + \frac{l_1}{l_2}(1 - \cos \beta)}{2} = r_2 \left(\frac{l_2}{l_1} \cos^2 \frac{\beta}{2} + \frac{l_1}{l_2} \sin^2 \frac{\beta}{2}\right).$$

Diese Gleichung ermöglicht immer die Berechnung einer von den vier Größen $r_1$, $r_2$, $\beta$ und $\frac{l_1}{l_2}$, wenn die anderen drei bekannt sind. Ist z. B. neben $r_2$ und $\beta$ noch $r_1$ gegeben, so findet man das Verhältniß $\frac{l_1}{l_2} = n$ der Abstände auf der Hängeschiene aus

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{n} \cos^2 \frac{\beta}{2} + n \sin^2 \frac{\beta}{2}$$

durch

$$n^2 - \frac{n}{\sin^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{r_1}{r_2} + \operatorname{cotang}^2 \frac{\beta}{2} = 0$$

zu

$$n = \frac{l_1}{l_2} = \frac{r_1}{2\, r_2 \sin^2 \frac{\beta}{2}} - \sqrt{\frac{r_1^2}{4\, r_2^2 \sin^4 \frac{\beta}{2}} - \operatorname{cotang}^2 \frac{\beta}{2}}$$

$$= \frac{\frac{r_1}{r_2} - \sqrt{\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 - \sin^2 \beta}}{2 \sin^2 \frac{\beta}{2}}.$$

Wenn, wie gewöhnlich der Fall ist, anstatt des Winkels $\beta$ die Hubhöhe $s$ gegeben ist, so setze man

$$\cos \beta = \frac{\sqrt{r_2^2 - \frac{s^2}{4}}}{r_2} = \sqrt{1 - \frac{s^2}{4 r_2^2}}$$

und erhält:

$$r_1 = \frac{r_2}{2} \left[\frac{l_2}{l_1} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{s^2}{4\, r_2^2}}\right) + \frac{l_1}{l_2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{s^2}{4\, r_2^2}}\right)\right].$$

Ebenso findet man aus $s$, $\beta$ und $\frac{l_1}{l_2}$ den Halbmesser

$$r_2 = \frac{s}{2 \sin \beta}$$

und

$$r_1 = \frac{s}{2 \sin \beta} \left(\frac{l_2}{l_1} \cos^2 \frac{\beta}{2} + \frac{l_1}{l_2} \sin^2 \frac{\beta}{2}\right).$$

Für den Fall, daß $r_1 = r_2$ vorausgesetzt wird, hat man aus $s = 2\, r_1 \sin \alpha = 2\, r_2 \sin \beta$ auch $\alpha = \beta$ und $e_1 = e_2$, daher $l_1 = l_2$. Diese letztere Anordnung ist die brauchbarste, da sie, wie aus den späteren Ermittelungen hervorgeht, die größte Annäherung an die genau geradlinige Bahn gewährt. Man ersieht leicht aus Fig. 381 a. S. 486, daß bei dieser Anordnung die mittlere Lage des Punktes $G$ in die Centrale $AB$ hinein, also mit dem Knotenpunkte $O$ der Lemniscate zusammenfällt, was bei ungleicher Länge der Lenker $r_1$ und $r_2$ niemals möglich ist. Wenn der Schwingungswinkel $\beta$ nur klein ist, so kann man übrigens annähernd $sin^2 \frac{\beta}{2} = 1$ und $cos^2 \frac{\beta}{2} = 0$ setzen, und erhält dann:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

d. h. die Lenkerlängen verhalten sich bei kleinem Schwingungswinkel annähernd umgekehrt wie die entsprechenden Abstände auf der Hängeschiene.

Die Ordinaten endlich der Drehpunkte $A$ und $B$ folgen leicht zu:

$$a = \sqrt{(l_1 + l_2)^2 - \frac{1}{4}(e_1 + e_2)^2} = (1 + n)\sqrt{l_2{}^2 - \frac{1}{4} r_2{}^2 (1 - cos\,\beta)^2},$$

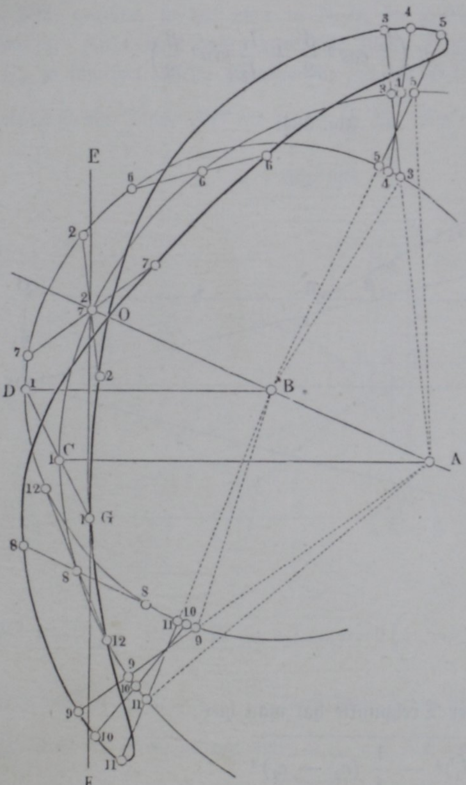
unter $n$ das Verhältniß $\frac{l_1}{l_2}$ verstanden und

$$b = r_1 + r_2 - \frac{1}{2}(e_1 + e_2) = r_1 + r_2 - \frac{1}{2}(1 + n)\, r_2\, (1 - cos\,\beta).$$

Wenn auch, wie schon erwähnt worden, die größte Genauigkeit der Geradführung dann erreicht wird, wenn die beiden Lenker gleiche Längen haben, so ist man doch zuweilen veranlaßt, von dieser Bedingung abzuweichen, ja unter Umständen wird man sogar durch Rücksichten möglichster Raumersparniß veranlaßt, die Drehpunkte beider Lenker auf derselben Seite der gerade zu führenden Kolbenstange anzuordnen, in welchem Falle die gleiche Länge für beide Lenkerarme von vornherein ausgeschlossen ist. Für eine solche Anordnung der Gegenlenker gelten dieselben Betrachtungen, wie für die bis jetzt besprochenen, wie sich aus dem Folgenden ergiebt.

Sind $AC$ und $BD$, Fig. 383, zwei um $A$ und $B$ drehbare Lenker, deren Endpunkte $C$ und $D$ wiederum durch die Hängeschiene $CD$ verbunden sind, so bewegt sich irgend ein Punkt dieser letzteren ebenfalls in einer Lemniscate, und es lassen sich hinsichtlich derselben ganz analoge Betrachtungen anstellen, wie im Vorstehenden in dem Falle der Fig. 381. Zunächst ist wieder die Centrallinie $AB$ eine Symmetrieaxe für die Curve jedes Punktes, deren Knotenpunkt $O$ in sie hineinfällt, und es bewegt sich jeder Punkt in dem Augenblicke der parallelen Lenkerstellung in einer zu den Lenkern senkrechten Richtung. Geht man daher wieder von der Voraussetzung aus, daß die Hubrichtung der Kolbenstange senkrecht zu den Lenkern in ihrer parallelen Stellung sein soll, und stellt wieder die Bedingung, daß die Lage des Punktes $G$ in der mittleren, höchsten und tiefsten Stellung in diese Hubrichtung fallen soll, so kann man, Fig. 384 (a. f. S.), durch eine ganz analoge Construction, wie in Fig. 382 gezeigt, die Lage des Punktes $A$ und die Länge $AC$ finden, wenn $BD$, der Hub $s = D_1 D_2$ und der Abstand $D_1 G_1 = DG = D_2 G_2 = l_2$ des geführten Punktes $G$ von $D$ gegeben sind. Ein Unterschied gegen früher wird hierbei offenbar nur insofern eintreten, als der geführte Punkt $G$ jetzt nicht mehr zwischen die Lenkerangriffe $C$ und $D$ der Hängeschiene fallen kann, sondern außerhalb dieser Strecke gelegen sein muß, weil nur dann der Mittelpunkt $A$ des gesuchten Lenkers mit demjenigen $B$ des gegebenen auf dieselbe Seite der Führungslinie fallen kann.

Fig. 383.




Die weitere Untersuchung ergiebt wie früher auch hier, daß die Sehnen der Lenkerbogen unter sich und mit der Hubhöhe von gleicher Länge sind:

$$D_1 D_2 = C_1 C_2 = 2\, r_1 \sin \alpha = 2\, r_2 \sin \beta = s,$$

und daß die Pfeilhöhen dieser Bogen $CE = e_1$ und $DF = e_2$ durch die Hublinie $G_1 G_2$ in $H$ und $J$ halbirt werden. Setzt man wie früher die Abstände des geführten Punktes $G$ von $C$ und $D$ resp. $GC = l_1$ und $GD = l_2$, so hat man ebenfalls die Beziehung:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

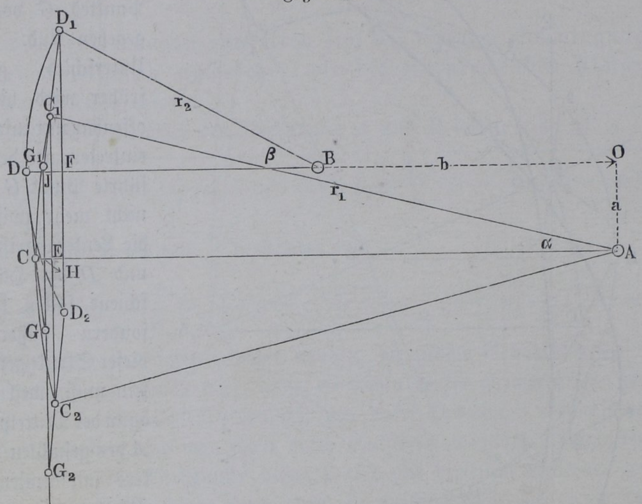
Endlich ergiebt sich auch hier genau wie im früheren Falle aus

$$C_1E^2 = EC\,(2\,r_1 - EC)$$

die Gleichung

$$r_1 = r_2\left(\frac{l_2}{l_1}\cos^2\frac{\beta}{2} + \frac{l_1}{l_2}\sin^2\frac{\beta}{2}\right).$$

Fig. 384.




Für den Abstand der Drehpunkte hat man hier:

$$a = \sqrt{(l_2 - l_1)^2 - \frac{1}{4}(e_2 - e_1)^2}$$

$$= (1 - n)\sqrt{l_2{}^2 - \frac{1}{4}r_2{}^2(1 - \cos\beta)^2}$$

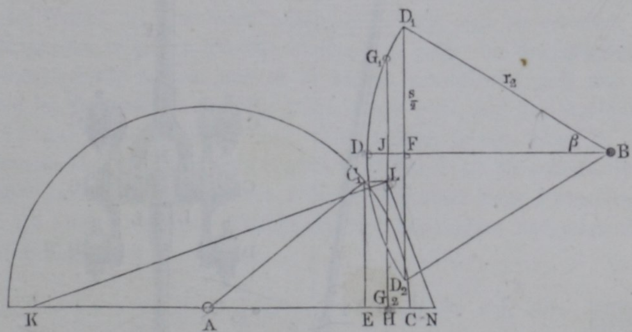
$$b = r_1 - r_2 + \frac{1}{2}(e_2 - e_1) = r_1 - r_2 + \frac{1}{2}(1 - n)\,r_2\,(1 - \cos\beta).$$

Diese Gleichungen geben auch hier, wie oben gezeigt, immer die Möglichkeit, aus dreien der Größen $r_1, r_2, \beta$ und $\frac{l_1}{l_2}$ die vierte zu bestimmen, und macht die Rechnung auch keine Schwierigkeiten, wenn anstatt $r$ oder $\beta$ die

Hubhöhe $s$ gegeben ist. Auch ist bereits aus dem Vorstehenden zu ersehen, wie man den Halbmesser $r_1$ graphisch findet, wenn $r_2, \beta$ und $l_2$ gegeben sind. In gleich einfacher Weise lassen sich die unbekannten Größen finden, wenn irgend drei andere von einander unabhängige Stücke gegeben sind.

Ist z. B. außer $r_2$ und $\beta$ noch die Lage des Drehpunktes $A$ gegen $B$, Fig. 385, gegeben, so hat man in $D_1 D_2$ die Hubhöhe $s$, und in $DF$ die Sehne $e_2$. Zieht man daher durch die Mitte $J$ von $DF$ die Hubrichtung $G_1 G_2$, so schneidet dieselbe offenbar von der mit $BD$ aus $A$ gezogenen Parallele $AC$ ein Stück $AH = r_1 - \frac{e_1}{2}$ ab. Da nun

Fig. 385.



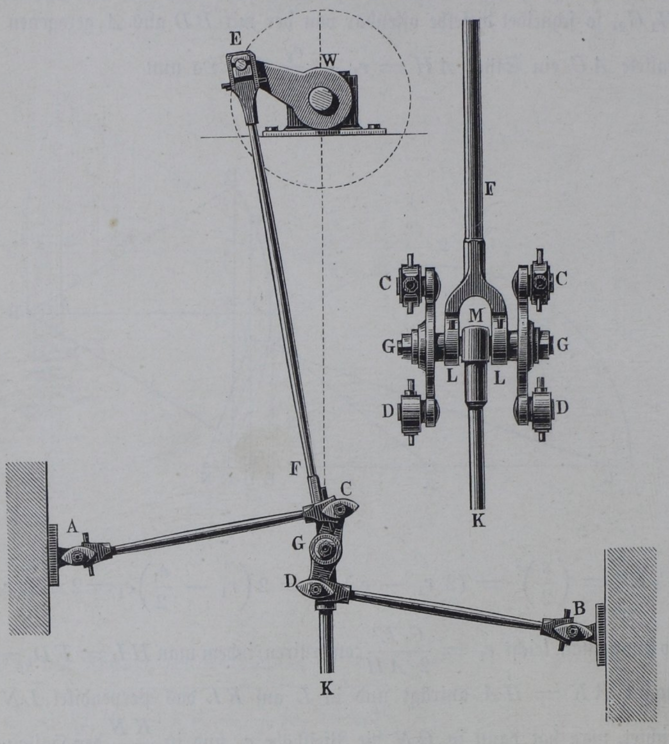

$$C_1 E^2 = \left(\frac{s}{2}\right)^2 = (2\, r_1 - e_1)\, e_1 = 2\left(r_1 - \frac{e_1}{2}\right) e_1 = 2\, AH\,.\, e_1 \text{ ist,}$$

so kann man leicht $e_1 = \frac{C_1 E^2}{2\, AH}$ construiren, indem man $HL = FD_1 = \frac{s}{2}$ macht, $AK = HA$ anträgt und in $L$ auf $KL$ das Perpendikel $LN$ errichtet, man hat dann in $HN$ die Pfeilhöhe $e_1$ und in $\frac{KN}{2}$ den Halbmesser $r_1$ u. s. w. Ebenso ergiebt sich die Construction von selbst, wenn $r_1$, $r_2$ und $\beta$ gegeben sind. Man hat dann sogleich in der Sehne des Kreissectors vom Halbmesser $r_2$ und dem Centriwinkel $2\,\beta$ die Hubhöhe $s$, welche in den Kreis vom Halbmesser $r_1$ eingetragen den Winkel $\alpha$ und die Pfeilhöhe $e_1$ liefert. Ordnet man dann die beiden Sectoren so an, daß ihre mittleren Radien parallel und die Mitten der Pfeilhöhen in dieselbe Normale zu den Radien zu liegen kommen, so sind alle Verhältnisse bestimmt. Der Abstand $a$ der parallelen Lenker wird dabei natürlich durch die Größe $l_2 + l_1$ resp.

$l_2 - l_1$ bestimmt, je nachdem die Lenker auf entgegengesetzten oder auf derselben Seite der Hublinie angebracht werden sollen.

Eine einfache Lemniscatenführung oder einfache Gegenlenkerführung zeigt Fig. 386. Die beiden gleich langen Gegenlenker $AC$ und $BD$ sind durch eine Hängeschiene $CD$ verbunden, an deren Mittelzapfen $GG$ nicht nur die

Fig. 386. Fig. 387.




Kolbenstange $K$, sondern auch die Kurbelstange $EF$ angeschlossen ist, welche dazu dient, die rotirende Bewegung der Kurbel $WE$ in eine alternirende Schiebung der Kolbenstange (s. Kurbelgetriebe) zu verwandeln. Aus Fig. 387 ist die Zusammensetzung des Mechanismus näher zu erkennen, und insbesondere zu ersehen, wie die unten mit einem gabelförmigen Ende $LFL$ versehene Kurbelstange den Querbolzen $G$ umfaßt, in dessen mittlerem Theile die Kolbenstange $MK$ eingekeilt ist. Die Hängeschiene sowohl wie die Lenker sind in doppelter Ausführung zu beiden Seiten angebracht, um einseitige Wirkungen und daraus hervorgehende Seitenschwankungen der Stangen thunlichst zu verhindern.

**Abweichung.** Die Bewegung des durch Gegenlenker geführten Punktes ist keine vollkommen genaue Geradführung, doch sind die statthabenden Abweichungen von einer solchen bei richtiger Wahl der Verhältnisse und unter der Voraussetzung, daß die Schwingungswinkel der Lenker nicht zu groß angenommen werden, so unbedeutend, daß sie für die praktischen Ausführungen vernachlässigt werden dürfen. Letzteres kann um so unbedenklicher geschehen, als in der Regel die unvermeidlichen Unrichtigkeiten bei der Ausführung und besonders bei der Aufstellung der Maschinen viel beträchtlicher zu sein pflegen. Aus der Gestalt der Lemniscate erkennt man leicht, daß die gedachten Abweichungen um so größere Beträge annehmen, je größer die Ausschlagswinkel der Lenker gemacht werden, und es ist daraus gerechtfertigt, daß man den Lenkern im Vergleich zur Hubhöhe solche Längen giebt, daß jene Ausschlagswinkel $\alpha$ und $\beta$ nur geringe bleiben. Eine vielfach befolgte Regel ist z. B. die, wonach man die Länge eines Lenkers nicht kleiner als die anderthalbfache Hubhöhe annehmen solle, und es bestimmt sich unter dieser Voraussetzung $r = 1,5 \,.\, s$ der betreffende Ausschlagswinkel des Lenkers nach jeder Seite der Mittellage durch §. 103.

$$\sin \alpha = \frac{s}{2\,r} = \frac{1}{3} \text{ zu } \alpha = 19^0\, 30' = rot.\ 20^0.$$

Wenn nun auch unter solchen Verhältnissen die Abweichungen des geführten Punktes von der geradlinigen Bahn so klein ausfallen, daß man in der Praxis kaum jemals in die Lage kommt, diese Abweichungen selbst zu bestimmen, so ist eine Untersuchung derselben doch insofern von Interesse, als sie den Einfluß erkennen läßt, welchen die einzelnen Constructionselemente auf die Beträge der Abweichungen ausüben.

Sei der Drehpunkt $A$, Fig. 387 (a. f. S.), zum Anfangspunkt*) rechtwinkeliger Coordinaten gewählt, deren positive $X$-Axe $AX$ in die Mittellage $AC$ des Lenkers hineinfällt, und sei $AY$ die Richtung der positiven $Y$-Axe, so daß die Ordinaten von $B$ durch $a$ und $b$ ausgedrückt sind. Ferner sollen $\alpha$, $\gamma$ und $\beta$ die Winkel der Richtungen $AC$, $CD$ und $DB$ mit der $X$-Axe bedeuten, so zwar, daß diese Winkel positiv oder negativ genommen werden, je nachdem die Endpunkte $C$, $D$ und $B$ von ihren Anfangspunkten $A$, $C$ und $D$ nach der positiven oder negativen Seite der $Y$-Axe abweichen, und sollen diese Winkel in der obersten, mittleren und untersten Lage bezw. mit

*) Bei der nachfolgenden Untersuchung ist ein Artikel von J. Lüders, Zeitschr. deutsch. Ing. Jahrg. 1860, S. 83 benutzt worden.