XI. Berechnung der Geleiseanlagen.

Allgemeines.

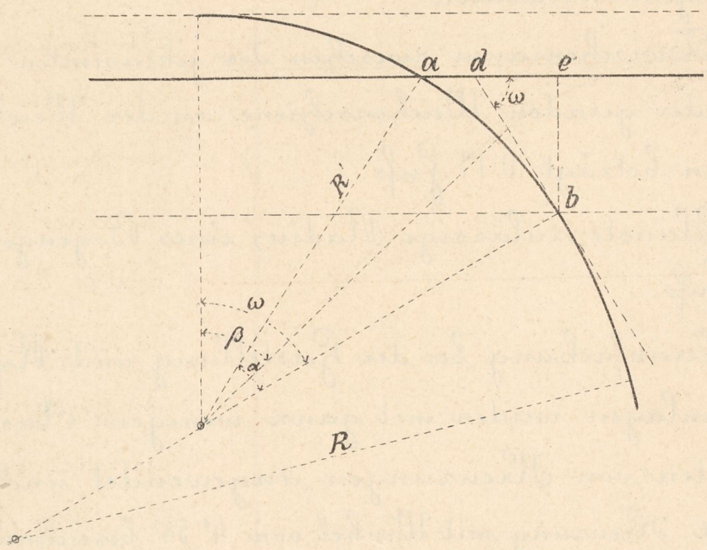
Den Berechnungen der Geleiseanlagen sind gewisse Annahmen zu Grunde gelegt, welche in folgenden 7 Punkten zusammengestellt sind:

1. Dem Prinzipe nach, besteht nur eine Gattung Weichen, welche aber, je nachdem der Weichenbogen nach links oder rechts (gegen die Weichenspitze gesehen) abgeht, linke oder rechte Weichen genannt werden.
2. Der Zwischenraum zwischen der gekrümmten Weichenschiene und der geraden Weichenschiene an der Weichenwurzel gemessen beträgt 0·17 Fuſs.
3. Der kleinste zulässige Radius eines Bogengeleises beträgt 500 Fuſs.
4. Zur Vereinfachung bei der Herstellung und Reparatur der Weichenanlagen werden mit ganz wenigen Ausnahmen nur 3 Sorten von Kreuzungen angewendet und zwar:
   a. Kreuzung mit Winkel von 4° 54' bezeichnet mit Form *A*
   b. „ „ „ „ 5° 25' „ „ „ *B*
   c. „ „ „ „ 6° 14' „ „ „ *C*.
5. Vor und hinter jeder Kreuzungsspitze sollen die Geleise auf circa 15 Fuſs Länge von der theoretischen Kreuzungsspitze gemessen eine Gerade bilden. Diese theoretische Kreuzungsspitze, das heiſst der reine Schnittpunkt zweier Schienenkanten existirt aber in der Wirklichkeit nicht, weil die kleinste Breite der Kreuzungsspitze aus Rücksicht für deren Haltbarkeit 0·05 Fuſs sein muſs. Die Meſsungen geschehen aber von der theoretischen Spitze aus, welche sich leicht durch Ziehen von Schnüren darstellen läſst.
6. Die Geleise-Entfernung auf Bahnhöfen ist normal 15 Fuſs, überhaupt im minim. 11·4 Fuſs.
7. Contracurven sind zu vermeiden. Wo dieſs nicht möglich ist, sind dieselben durch möglichst lange Geraden mit einander zu verbinden.

In den folgenden Berechnungen sind diese Annahmen von Fall zu Fall berücksichtigt, und ist diefs an den betreffenden Stellen jedesmal besonders bemerkt.

Aufgabe 1. Berechnung einer einfachen Ausweiche bei gegebenem Radius des Ausweichbogens, gegebenem Kreuzungswinkel und eingeschalteter Kreuzungsgeraden.

Fig. 136.



Da in allen Fällen die Ausweiche derart anzulegen ist, dafs sich der Ausweichbogen R an den Bogen der Weichenzunge R' tangential anschliefst, so ist in Fig. 136 bd eine gemeinschaftliche Tangente an diese zwei Bögen, welche mit der Stockschiene ae den Winkel ω einschliefst.

Zur Berechnung des Winkels ω dienen folgende Gleichungen:

$\angle \omega = \beta + \frac{\alpha}{2}$, und da bei den sehr kleinen Winkeln und grofsen Radien angenommen werden kann, dafs Sehne und Bogen zusammenfallen

$$\sin \beta = \frac{be}{ab} \quad \text{und} \quad \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{ab}{2R'}$$

Substituirt man in diese Gleichungen die aus der Berechnung der Weichen gefundenen Werthe, nämlich:

$be = 0'37 = p$

$ab = 16' = l$ und

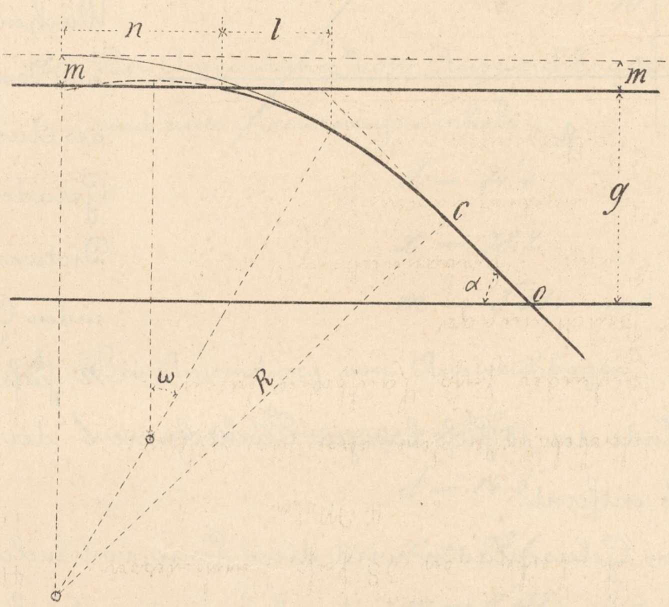
$R' = 556'$ so erhält man den Winkel $\omega = 2^\circ 9'$ welcher Winkel constant bleibt, da er von der, für alle Fälle gleichbleibenden Construktion der Weiche abhängig ist.

Betrachtet man den Kreisbogen vom Radius R, welcher sich tangential an die Weiche anschliefst, so sieht man, dafs derselbe die innere Stockschienenkante durchschneidet, wenn man sich denselben gehörig über den Drehungspunkt der Weiche gegen die Weichenspitze zu verlängert denkt. Bei einem gewissen Werth von R kann er aber die Stockschiene tangiren, oder endlich sie gar nicht erreichen.

Denkt man sich jedoch eine zur Stockschiene parallele Gerade, welche den Bogen vom Radius R tangirt, so läfst sich die Entfernung dieser Geraden von der inneren Stockschienenkante aus folgender Formel und **Fig. 137** berechnen.

$$m = R \sin. \text{vers.}\, \omega - p.$$

Fig. 137.



Die in der Richtung der Stockschiene gemessene Distanz des Tangirungspunktes der gedachten Geraden und des Bogens von der Spitze der Weichenzunge (diese gleich $l = 16'$ lang gedacht) gemessen, ergibt sich aus der Formel:

$$n = R. \sin \omega - l$$

An den Ausweichbogen schliefst sich, weil die Kreuzung durch den Schnitt von Geraden gebildet werden soll, eine Gerade tangential an, welche gehörig verlängert die innere Kante des zweiten Schienenstranges in einem Punkte o durchschneidet, wodurch die schon erwähnte theoretische Kreuzungsspitze gebildet wird.

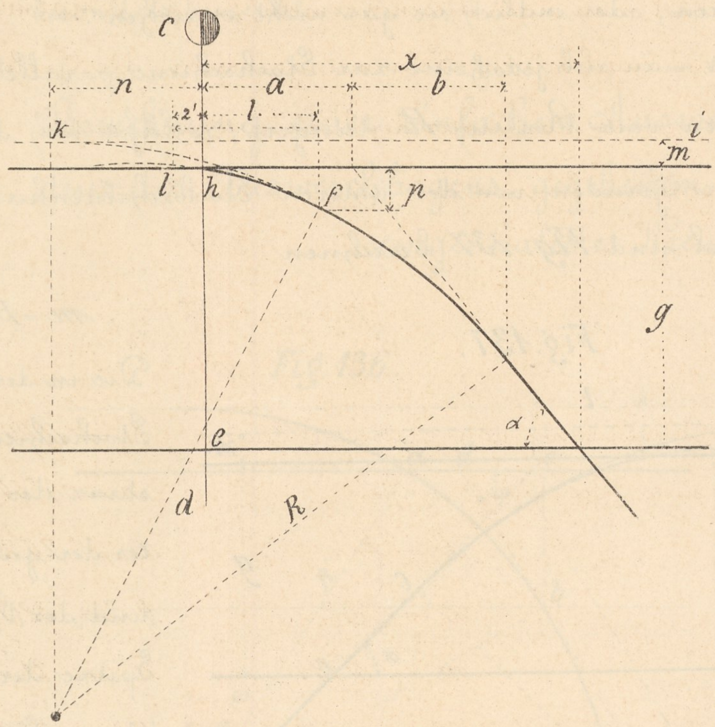
Die Länge der Geraden co **Fig. 137**, welche man die Kreuzungsgerade nennt, und welche man im Allgemeinen mit d bezeichnet, wird vom Tangirungspunkte c aus bis an die theoretische Kreuzungsspitze o gemessen.

Den Winkel α den die Kreuzungsgerade mit dem zweiten Schienenstrange einschliefst, nennt man den Kreuzungswinkel.

Die zur Herstellung der Ausweiche erforderlichen Dimensionen sind in **Fig. 138** mit x, a b und d bezeichnet.

Die Dimensionen x und a werden von einer Geraden cd gemessen, welche durch die Spitze der geraden Weichenzunge geht

Fig. 138.



und senkrecht auf der Geleise-achse steht.

Diese Linie cd geht demnach durch denjenigen Punkt h, in welchem der Weichenbogen die innere Kante der anliegenden Stockschiene durchschneidet, ist von der Weichenwurzel f, l (= 16) Fuss und vom Tangirungspunkte k des Ausweichbogens mit der Geraden ki, welche in der Distanz m parallel zum geraden Geleise gezogen wird, n Fusse entfernt.

Vom Ende der 18 Fuss langen Stockschiene l der Weiche ist diese Linie 2 Fuss entfernt.

In den Geleiseplänen wird diese Linie, von welcher ab die Abmessungen gerechnet werden, dadurch besonders deutlich gemacht, dass man auf dieselbe den, die Signalscheibe symbolisch darstellenden Kreis zeichnet, ohne jedoch dadurch andeuten zu wollen, dass in diese Gerade der Mittelpunkt der Signalscheibe fällt.

Bezeichnet in Fig. 138.

R den Krümmungshalbmesser des äusseren Schienenstranges des Ausweichbogens,

d die Länge der Kreuzungsgeraden,

g die Spurweite

α den Kreuzungswinkel,

m, n, a und b aus Fig. 138, ersichtliche Grössen.

So erhält man, R, g und α als bekannt vorausgesetzt:

$$d = \frac{g + m - R.\ \sin.\ vers.\ \alpha}{\sin \alpha}$$

$$x = R. \sin \alpha + d. \cos \alpha - n$$

$$a = x - \frac{g}{tg. \alpha}$$

$$b = R. \sin \alpha - (n + a)$$

$m = R \sin vers\, \omega - p$

$n = R \sin \omega - l$

Berechnet man nach diesen Formeln für die 3 **normalen** Kreuzungswinkel und zugehörigen Krümmungsradien, die Größen d, x, a, b, m und n, so erhält man unter der Voraussetzung, daß:

die normale Spurweite $g = 4'542$

$\angle \omega = 2^\circ 9'$

$p = 0'37$

$l = 16'$

a. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 1000$ Fuß und eines Kreuzungswinkels .... $\alpha = 4^\circ 54'$ wird

$d = 14'4$ $a = 25'2$

$x = 78'2$ $b = 38'7$

$m = 3'334$ und $n = 21'516$

b. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 750$ Fuß und eines Kreuzungswinkels .... $\alpha = 5^\circ 25'$ wird

$d = 14'5$ $a = 25'0$

$x = 73'1$ $b = 33'7$

$m = 0'158$ und $n = 12'137$

c. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 500$ Fuß und eines Kreuzungswinkels .... $\alpha = 6^\circ 14'$ wird

$d = 14'6$ $a = 24'3$

$x = 66'0$ $b = 27'2$

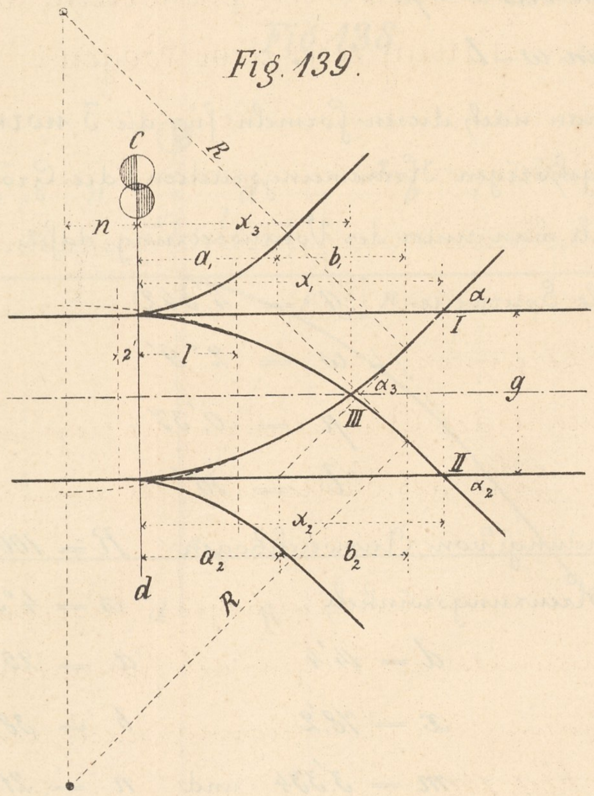
$m = -0'018$ und $n = 2'758$

Aufgabe 2. Berechnung einer doppelten Ausweiche bei gegebenen Krümmungsradien der Ausweichbögen.

Die Lage der Kreuzungsspitzen I und II in Fig. 139, die Entfernungen $a_1 b_1$ und $a_2 b_2$ findet man mittelst der Formeln der vorigen Aufgabe.

Die Kreuzung III entsteht durch den Durchschnitt der Ausweichbögen und unter der Voraussetzung, daß diese gleiche Krümmungsradien haben, findet man den Winkel α_3 der

Fig. 139.



Kreuzung III, welche im Bogen liegt, aus folgender Formel:

$$\sin vers \frac{\alpha_3}{2} = \sin vers.\,\omega + \frac{\frac{g}{2} - p}{R}$$

Die Lage der Kreuzungsspitze der Kreuzung III erhält man aus der Formel:

$$x_3 = \sqrt{\left[2R - \left(m + \frac{g}{2}\right)\right]\left(m + \frac{g}{2}\right)} - n$$

Die Größen m, n, p und ω haben die aus den früheren Aufgaben bekannten Werthe.

Für die 3 **normalen** Kreuzungswinkel und zugehörigen Krümmungsradien erhält man unter der gleichen Voraussetzung, wie in der vorigen Aufgabe, die Größen α_3 und x_3 folgendermaßen:

a. Bei Anwendung von Ausweichbogen und eines Kreuzungswinkels .... $R = 1000$ Fuß, $\alpha_1 = \alpha_2 = 4^\circ 54'$

$\alpha_3 = 8^\circ 16'$

$x_3 = 50.'62$

b. Bei Anwendung von Ausweichbogen und eines Kreuzungswinkels .... $R = 750$ Fuß, $\alpha_1 = \alpha_2 = 5^\circ 25'$

$\alpha_3 = 9^\circ 12'$

$x_3 = 48.'17$

c. Bei Anwendung von Ausweichbogen und eines Kreuzungswinkels .... $R = 500$ Fuß, $\alpha_1 = \alpha = 6^\circ 14'$

$\alpha_3 = 10^\circ 0'$

$x_3 = 47.'10$

Die Abweichung bei Kreuzung III von der Regel, daß die Kreuzungen nur durch den Schnitt gerader Linien gebildet werden sollen, ist aus Rücksichten der weniger complicirten Behandlung dieses ausnahmsweise vorkommenden Falles gewählt worden.

Aufgabe 3. Berechnung einer einfachen Ausweiche bei Abzweigung aus dem Bogen.

Liegt das Geleise, aus welchem mittelst einer Weiche abgezweigt werden soll, nicht wie bisher angenommen wurde, in einer Geraden, sondern im Bogen, so sind im Allgemeinen zwei Fälle zu berechnen.

a. Der Mittelpunkt des Ausweichbogens liegt auf der entgegengesetzten Seite des Mittelpunktes des Bogens des Hauptgeleises.

b. Der Mittelpunkt des Ausweichbogens liegt auf derselben Seite des Mittelpunktes des Bogens des Hauptgeleises.

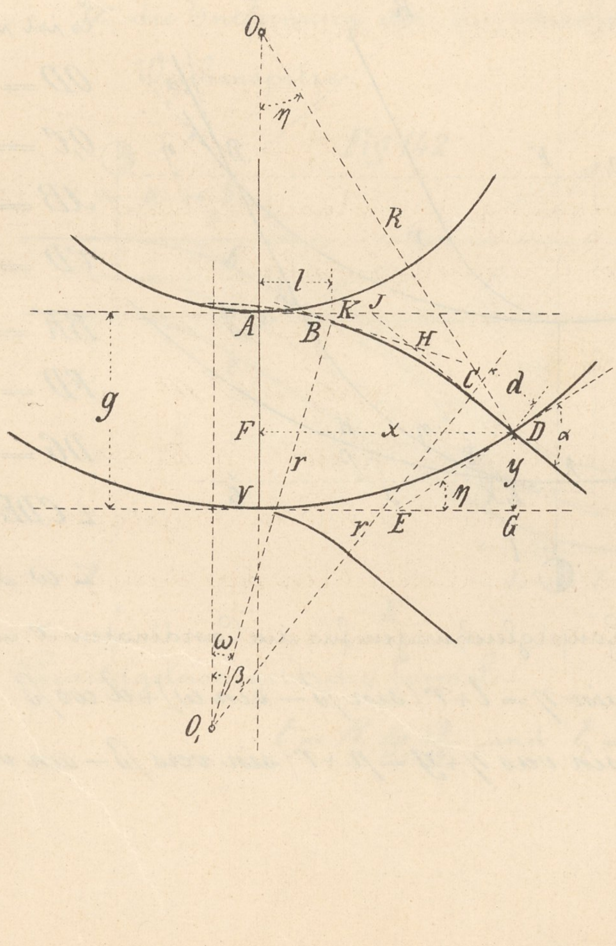
Zur Berechnung der Abzweigung nach dem Falle *a* bezeichnet in **Fig. 140**:

R den Radius des äußern Schienenstranges des Bogengeleises,

r den Radius des Ausweichbogens,

OV eine Linie, welche durch die Spitze der geraden Weichenzunge und durch den Mittelpunkt des Kreises vom Radius R geht.

Fig. 140.



Es sei $AB = l$ gleich der geraden Weichenzunge,

$CD = d$ gleich der Kreuzungsgeraden,

$BK = p$

$FD = x$

$DG = y$

$\angle CDE = \alpha$ gleich dem Kreuzungswinkel,

ω der constante Winkel bei dem Drehungspunkte der Weichenzunge.

Um nun die Größen d, x, y und $\angle\beta$ zu finden, hat man:

$$x = R \sin \eta = l + r(\sin\beta - \sin\omega) + d\cos\beta \ldots\ldots (1)$$

$$y = R \sin \text{vers}\, \eta = g - p - r(\sin\text{vers}\,\beta - \sin\text{vers}\,\omega) - d \sin\beta \ldots (2)$$

Aus der Gleichung (2) erhält man:

$$d = \frac{g - y - p + r(\cos\beta - \cos\omega)}{\sin\beta} \ldots\ldots (3)$$

Diesen Werth für d in die Gleichung (1) für x substituirt, gibt:

$$R\cos\alpha + r = [(R-g+p)\sin\alpha + r\sin(\alpha-\omega) + l\cos\alpha]\sin\eta + [(R-g+p)\cos\alpha + r\cos(\alpha-\omega) - l\sin\alpha]\cos\eta$$

Setzt man der Kürze halber:

$$(R-g+p)\sin\alpha + r\sin(\alpha-\omega) + l\cos\alpha = A$$

$$(R-g+p)\cos\alpha + r\cos(\alpha-\omega) - l\sin\alpha = B$$

$$R\cos\alpha + r = C$$

so stellt sich die obige Gleichung folgendermaßen dar:

$$C = A\sin\eta + B\cos\eta \quad \text{oder}$$

$$\frac{C}{B} = \frac{A}{B}\sin\eta + \cos\eta$$

Setzt man ferner $\frac{A}{B} = tg\,\varphi$, so ist:

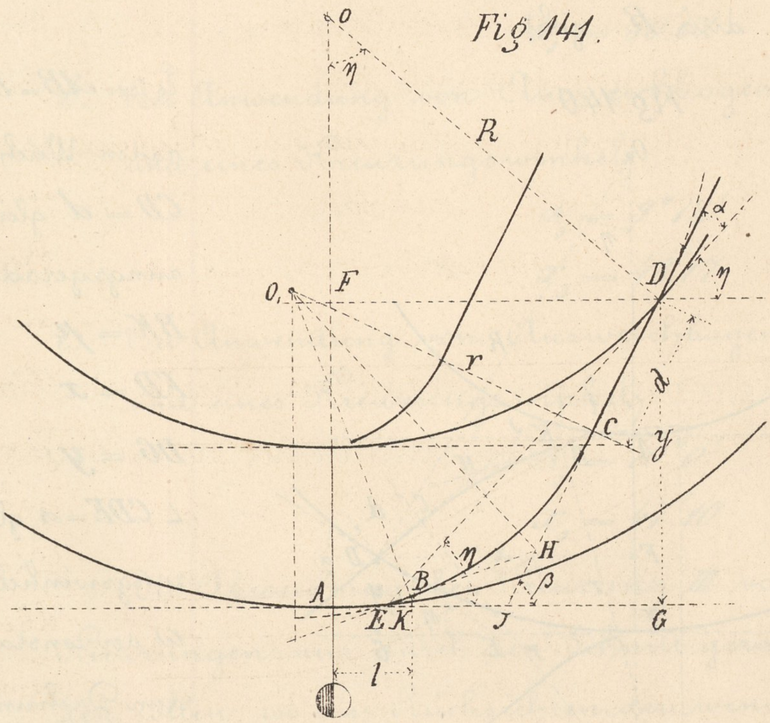
$$\frac{C}{B}\cos\varphi = \sin\eta\sin\varphi + \cos\eta\cos\varphi$$

$$= \cos(\varphi + \eta)$$

woraus man den $\angle\eta$, und da $\angle\beta = \alpha - \eta$ ist, auch die Größen d, x und y aus den obigen Gleichungen (1), (2) und (3) erhält.

In ähnlicher Weise erhält man die Formeln zur Berechnung der Abzweigung nach dem Falle b aus Fig. 141.

Fig. 141.



Es ist wie früher:

$OD = R$ 500'

$O_1C = r$

$AB = l$ 16'

$CD = d$

$BK = p$ 0'37 I

$FD = x$?

$DG = y$?

$\angle CDE = \alpha$ und 7°30'

$\angle\omega$ der constante Winkel. 2°9

Die beiden Hauptgleichungen für die Coordinaten x und y sind folgende:

$$x = R\sin\eta = l + r(\sin\beta - \sin\omega) + d\cos\beta \ldots\ldots (1)$$

$$y = R\sin\text{vers}\,\eta + g = p + r(\sin\text{vers}\,\beta - \sin\text{vers}\,\omega) + d\sin\beta \ldots (2)$$

und hieraus $d = \dfrac{y - p - r(\cos\omega - \cos\beta)}{\sin\beta}$ .... (3)

Durch Substitution erhält man:

$$R\cos\alpha - r = [(R+g-p)\cos\alpha - r\cos(\alpha-\omega) + l\sin\alpha]\cos\eta - [(R+g-p)\sin\alpha - r\sin(\alpha-\omega) - l\cos\alpha]\sin\eta$$

Setzt man wie früher:

$$(R+g-p)\sin\alpha - r\sin(\alpha-\omega) - l\cos\alpha = A$$

$$(R+g-p)\cos\alpha - r\cos(\alpha-\omega) + l\sin\alpha = B$$

$$R\cos\alpha - r = C$$

so erhält die obige Gleichung folgende Gestalt:

$$C = B\cos\eta - A\sin\eta \quad \text{oder}$$

$$\frac{C}{B} = \cos\eta - \frac{A}{B}\sin\eta$$

Setzt man $\dfrac{A}{B} = tg\,\varphi$, so ist

$$\frac{C}{B}\cos\varphi = \cos(\varphi + \eta)$$

Hieraus erhält man $\angle\eta$ und da $\angle\beta = \alpha + \eta$ ist, aus obigen Gleichungen (1)(2)(3) die Größen x, y und d.

Aufgabe 4. Verbindung zweier geraden parallelen Geleise durch eine einfache Ausweiche.

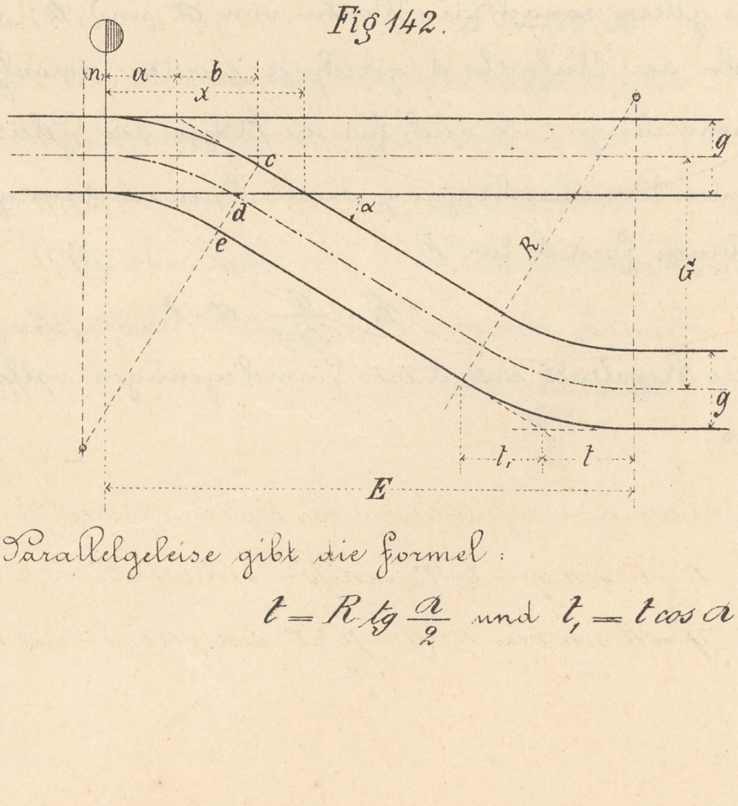
In Fig. 142 bezeichnet:

R den Radius des Ausweichbogens,

α den Kreuzungswinkels und

x die Entfernung der theoretischen Kreuzungsspitze von der Weichenspitze.

Fig 142.



Berechnet werden die Größen d, x, a und b nach den Formeln der Aufgabe 1.

Die Tangente des Übergangbogens vom Weichengeleise auf das zweite Parallelgeleise gibt die Formel:

$$t = R\,tg\frac{\alpha}{2} \quad \text{und} \quad t_{,} = t\cos\alpha$$

Die ganze Länge der Verbindung von der Spitze der geraden Weichenzunge, bis an das Ende des Übergangsbogens auf das zweite Parallelgeleise erhält man aus der Formel:

$$E = \frac{G+g}{tg\alpha} - \frac{g}{\sin\alpha} + a + t$$

wobei G die Entfernung der beiden Parallelgeleise bezeichnet.

Berechnet man für die 3 **normalen** Radien und zugehörigen Kreuzungswinkel die Gröſsen t und E so erhält man, $G = 15$ Fuſs angenommen:

a. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 1000$ Fuſs
und eines Kreuzungswinkels von .... $\alpha = 4°54'$

$t = 42'8$

$E = 242'77$

b. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 750$ Fuſs
und eines Kreuzungswinkels von ...... $\alpha = 5°25'$

$t = 35'5$

$E = 218'48$

c. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 500$ Fuſs
und eines Kreuzungswinkels von ...... $\alpha = 6°14'$

$t = 27'2$

$E = 188'87$

In der Praxis macht man den Krümmungshalbmesser des äuſseren Ausweichbogens gleich dem Radius des inneren Schienenstranges.

Es gelten sonach die Werthe von a und b, wie sie aus den Formeln der Aufgabe 1 gerechnet werden, sowohl für die beiden Schienenstränge, als auch für die Achse der Geleise.

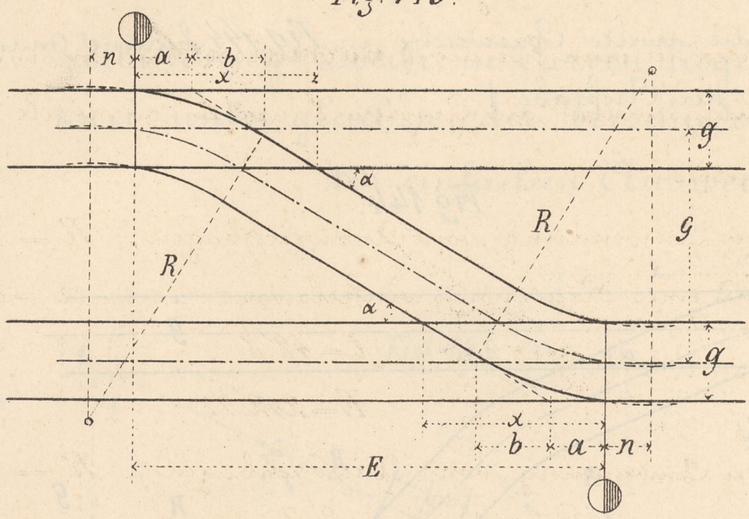
Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzung erhält man statt der obigen Formel für E:

$$E = \frac{G}{tg\alpha} + a + t$$

Die Resultate aus dieser Formel genügen vollständig für die Praxis.

Aufgabe 5. Verbindung zweier geraden, parallelen Geleise durch zwei, unter gleichen Winkeln geneigten einfachen Ausweichen.

Fig. 143.



Die Gröſsen x, a, und b in nebenstehender Fig. 143 werden nach den Formeln der Aufgabe 1 berechnet. Die Länge E der ganzen Verbindung, von Weichenspitze zu Weichenspitze gemeſsen, gibt die Formel:

$$E = \frac{6+g}{tg\alpha} - \frac{g}{\sin\alpha} \quad 2a$$

Berechnet man die Gröſse E für die **3 normalen** Radien und zugehörigen Kreuzungswinkel, $6 = 15$ Fuſs angenommen, so erhält man:

a. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 1000$ Fuſs
und eines Kreuzungswinkels von .... $\alpha = 4°54'$

$$E = 225'17$$

b. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 750$ Fuſs
und eines Kreuzungswinkels von .... $\alpha = 5°25'$

$$E = 207'98$$

c. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 500$ Fuſs
und eines Kreuzungswinkels von ...... $\alpha = 6°14'$

$$E = 185'97$$

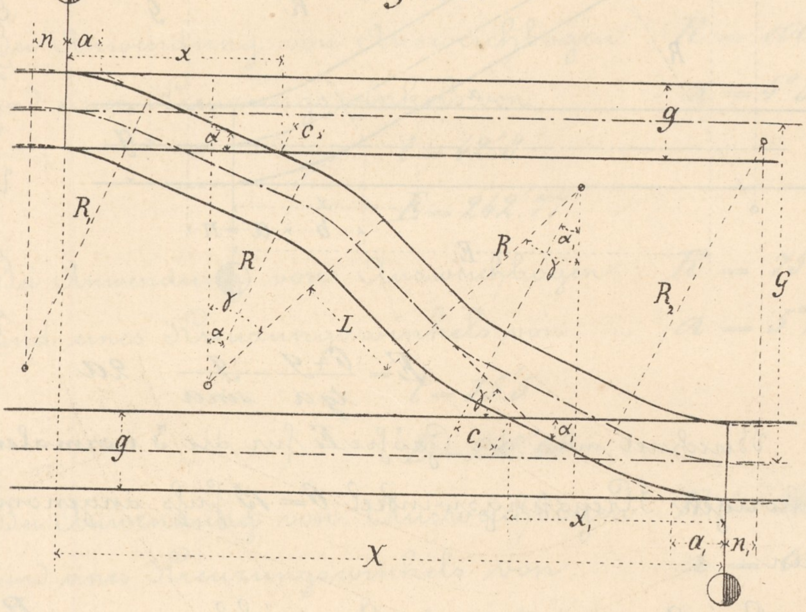
Mit Rücksicht auf die Schluſsbemerkung der vorigen Aufgabe erhält man für E folgende Formel:

$$E = \frac{6}{tg\alpha} + 2a$$

Aufgabe 6. Verbindung zweier geraden, parallelen Geleise durch zwei unter gleichen, oder verschiedenen Winkeln geneigten einfachen Ausweichen.

Zur Berechnung der Größe a und x für die eine, a_1 und x_1 für die zweite Ausweiche in **Fig. 144** bediene man sich der Formeln der Aufgabe 1.

Fig. 144.



Bezeichnet man die Länge der über die Kreuzungsspitzen nach rückwärts verlängerten Kreuzungsgeraden von der theoretischen Kreuzungsspitze an gerechnet mit C, und die für die zweite Ausweiche mit C_1, so erhält man zunächst folgende zwei Hauptgleichungen:

$$X = x + x_1 + C\cos\alpha + C_1\cos\alpha_1 + (2R - g)\sin\gamma - R(\sin\alpha + \sin\alpha_1) + L\cos\gamma \quad \ldots (1)$$

$$G = g - C\sin\alpha + C_1\sin\alpha_1 - (2R - g)\cos\gamma + R(\cos\alpha + \cos\alpha_1) + L\sin\gamma \quad \ldots (2)$$

Berechnet man aus der Gleichung (2) die Größe L, so erhält man:

$$L = \frac{G - g + (2R - g)\cos\gamma - R(\cos\alpha + \cos\alpha_1) - C\sin\alpha - C_1\sin\alpha_1}{\sin\gamma} \quad \ldots\ldots (3)$$

Substituirt man diesen Werth für L in die Gleichung (1) und setzt ferner der Kürze halber:

$$X - (x + x_1) - C\cos\alpha - C_1\cos\alpha_1 + R(\sin\alpha + \sin\alpha_1) = A$$

$$g - G + C\sin\alpha + C_1\sin\alpha_1 + R(\cos\alpha + \cos\alpha_1) = B$$

$$2R - g = C$$

so erhält man:

$$C = A\sin\gamma + B\cos\gamma$$

oder

$$\frac{C}{B} = \frac{A}{B}\sin\gamma + \cos\gamma;$$

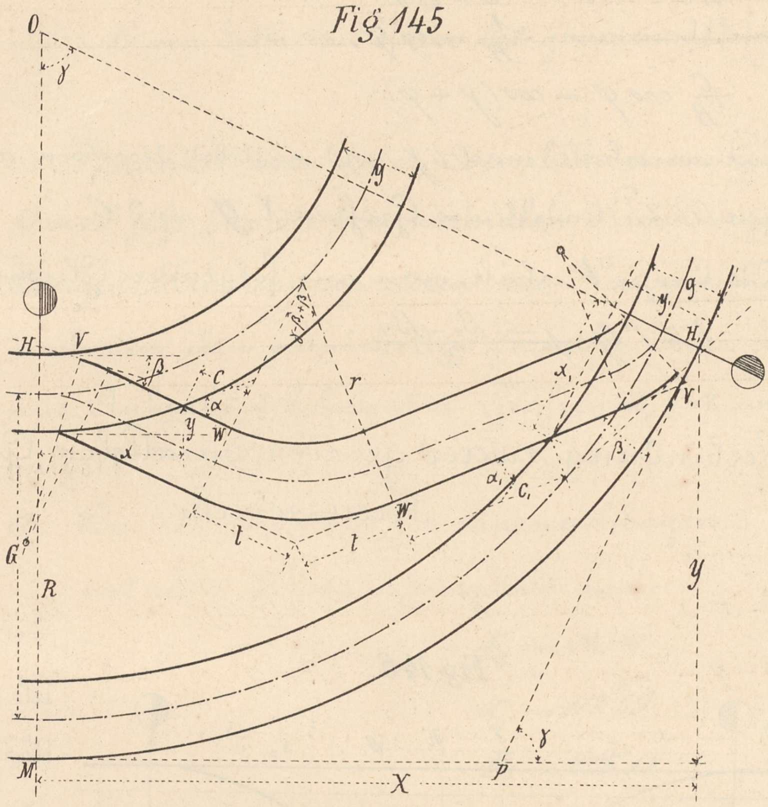
setzt man ferner $\frac{A}{B} = tg\,\varphi$, so erhält man:

$$\frac{C}{B}\cos\varphi = \cos(\varphi - \gamma)$$

Mittelst der letzten zwei Formeln erhält man den $\angle\,\gamma$, und mittelst desselben aus Gleichung (3) die Größe L.

Aufgabe 7. Verbindung zweier in Curven liegenden Geleise durch zwei, unter gleichen oder verschiedenen Winkeln geneigten einfachen Ausweichen.

Fig. 145.



Bezeichnet in Fig. 145: R den Radius des äußeren Schienenstranges der in Curven liegenden Geleise (Bogengeleise), r den Radius des Verbindungsbogens der beiden Ausweichen, G die radiale Entfernung der beiden Bogengeleise von einander, g die Spurweite, C und C_1 die Längen der über die Kreuzungsspitze nach rückwärts verlängerten Kreuzungsgeraden, x, y und $\angle\,\beta$ sowie x_1, y_1 und $\angle\,\beta_1$ Größen der beiden Weichen, welche mittelst den Formeln der Aufgabe 3 berechnet werden, so erhält man nach obiger Figur für X und Y folgende zwei Hauptgleichungen:

$$X = R\sin\gamma = x + C\cos\beta - g\sin\beta + r[\sin\beta - \sin(\beta_1 - \gamma)] + C_1\cos(\beta_1 - \gamma) + x_1\cos\gamma + y_1\sin\gamma \quad \ldots\ldots (1)$$

$$Y = R\sin\operatorname{vers}\gamma = G + y - C\sin\beta - g\cos\beta - r[\sin\operatorname{vers}\beta - \sin\operatorname{vers}(\beta_1 - \gamma)] - C_1\sin(\beta_1 - \gamma) + x_1\sin\gamma - y_1\cos\gamma \quad \ldots\ldots (2)$$

Sucht man nun aus der Gleichung (2) den Werth für C

$$C = \frac{(R-y_1)\cos\gamma + (r-g)\cos\beta + x_1\sin\gamma + C_1\sin(\gamma-\beta_1) - r\cos(\gamma-\beta_1) - (R-G-y)}{\sin\beta} \quad \ldots (3)$$

und setzt diesen Werth in die Hauptgleichung (1) und der Kürze halber:

$$[(R-y_1)\sin\beta + r\sin(\beta_1-\beta) - C_1\cos(\beta_1-\beta) - x_1\cos\beta] = A$$

$$[(R-y_1)\cos\beta - r\cos(\beta_1-\beta) - C_1\sin(\beta_1-\beta) + x_1\sin\beta] = B$$

$$(R-G-y)\cos\beta - (r-g) - x\sin\beta = C$$

so erhält man:

$$C = B\cos\gamma - A\sin\gamma \text{ oder}$$

$$\frac{C}{B} = \cos\gamma - \frac{A}{B}\sin\gamma.$$

Setzt man nun $\frac{A}{B} = tg\,\varphi$, so ist

$$\frac{C}{B}\cos\varphi = \cos(\gamma+\varphi)$$

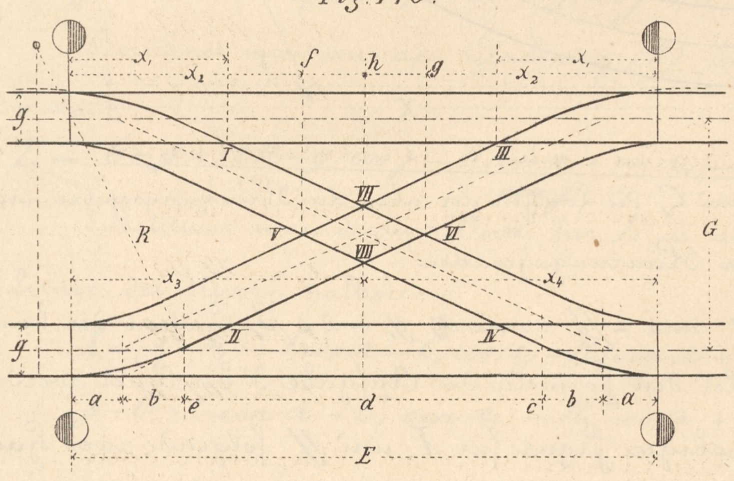
Hieraus erhält man $\angle\gamma$ und mittelst desselben aus obigen Gleichungen (1)(2) und (3) die Grössen X, Y und C.

Die Grösse t erhält man aus folgender Gleichung:

$$t = r\,tg\,\frac{\gamma-(\beta_1-\beta)}{2}$$

Aufgabe 8. Verbindung zweier geraden, parallelen Geleise durch eine Kreuzweiche.

Fig. 146.



Sind zwei gerade parallele Geleise durch zwei Weichen so miteinander zu verbinden, dass die Achsen der Weichengeleise sich in einem Punkte innerhalb der beiden Parallelgeleise durchschneiden, so entstehen Kreuzweichen.

Fig. 146 stellt eine solche Kreuzweiche vor, wobei angenommen ist, dass der Durchschnittspunkt der Achsen der Weichengeleise in die halbe Geleise-Entfernung fällt.

Unter der Voraussetzung, dass alle 4 Ausweichen gleiche Krümmungsradien und gleiche Kreuzungswinkel haben, erhält man die Grössen x_1, a und b aus den Formeln der Aufgabe 1.

Da ferner die Winkel der zwei einfachen Kreuzungen V und VI, ebenso die Winkel der zwei Doppelkreuzungen VII und VIII gleich sind 2α, so erhält man, da

$$ed = cd = \frac{G+g}{2\,tg\alpha} - \frac{g}{2\sin\alpha} - b \text{ und}$$

$$fh = hg = \frac{g}{2\sin\alpha} \text{ ist;}$$

$$x_2 = a + b + ed - fh = a + \frac{G+g}{2\,tg\alpha} - \frac{g}{\sin\alpha}$$

$$x_3 = x_2 + fh = a + \frac{G+g}{2\,tg\alpha} - \frac{g}{2\sin\alpha}$$

$$E = 2x_3 = 2a + \frac{G+g}{tg\alpha} - \frac{g}{\sin\alpha};$$

wobei E von Spitze zu Spitze der geraden Weichenzunge gemessen ist.

Berechnet man unter Annahme einer Geleisentfernung von $G = 15$ Fuss, für die drei normalen Kreuzungswinkel und zugehörigen Krümmungsradien, die Kreuzweichen, so erhält man nach den eben entwickelten Formeln unter Voraussetzung der aus Aufgabe 1 bekannten Grössen x_1, a und b folgende Resultate:

a. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 1000$ Fuss
und eines Kreuzungswinkels von .... $\alpha = 4°54'$

$x_2 = 86'.00$

$x_3 = 112'.59$

$E = 225'.17$

b. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 750$ Fuss
und eines Kreuzungswinkels von .... $\alpha = 5°25'$

$x_2 = 79'.93$

$x_3 = 103'.99$

$E = 207'.98$

c. Bei Anwendung von Ausweichbogen $R = 500$ Fuss
und eines Kreuzungswinkels von .... $\alpha = 6°14'$

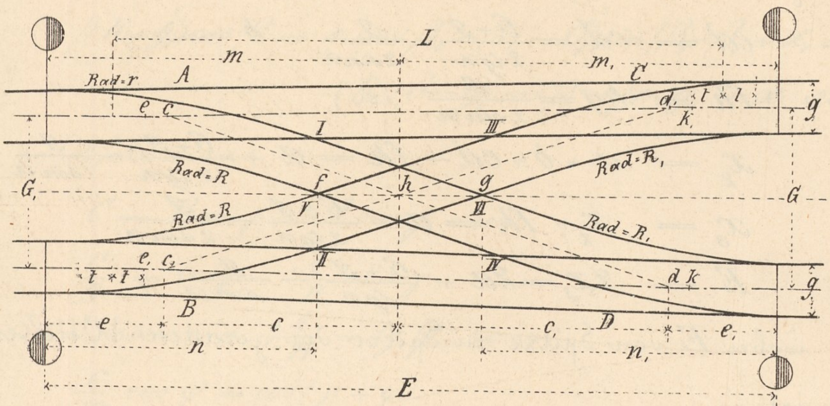
$x_2 = 72'.22$

$x_3 = 92'.99$

$E = 185'.97$

Aufgabe 9. Verbindung zweier Hauptgeleise bei deren Übergang von der Geleiseentfernung G auf G_1 durch eine Kreuzweiche.

Fig. 147.



Bezeichnet man in Fig. 147 die Winkel der Kreuzungen I und II mit β und die Winkel der Kreuzungen III und IV mit α, so wird zur Vermeidung von Contracurven der Divergenzwinkel der beiden durch eine Kreuzweiche zu verbindenden Geleise $\beta - \alpha$ gemacht.

Die Tangentenlänge der Übergangsbögen vom Radius r erhält man aus der Formel:

$$t = r \, tg \frac{\beta - \alpha}{2}$$

Die in Fig. 147 mit L bezeichnete Dimension gibt die Formel:

$$L = \frac{G - G_1}{2 tg \frac{\beta - \alpha}{2}}$$

Die Winkel der zwei einfachen Kreuzungen V und VI, sowie die Winkel der zwei Doppelkreuzungen VII und $VIII$ sind gleich $\alpha + \beta$. Ferner ist in Fig. 147:

$$fh = hg = \frac{g}{2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$$

Nimmt man an, daſs die Achsen cd und $c_1 d_1$ der Kreuzungsgeleise in die Mitte des convergirenden Stückes der beiden Hauptgeleise zu liegen kommen, also die Distanzen ce, $c_1 e_1$, dk und $d_1 k_1$ einander gleich sind, so findet man die Entfernung der Punkte c, c_1, d, d_1 von den Endpunkten der Tangenten t durch folgende Berechnung:

Setzt man $ce = c_1 e_1 = dk = d_1 k_1 = s$ so ist

$$(2t + 2s + cd_1) \sin \frac{\beta - \alpha}{2} = \frac{G - G_1}{2} \text{ oder}$$

$$2s = \frac{G - G_1}{2 \sin \frac{\beta - \alpha}{2}} - cd_1 - 2t \quad \text{und}$$

$$s = \frac{G \sin\alpha - G_1 \sin\beta}{2\cos\frac{\beta-\alpha}{2}(\cos\alpha - \cos\beta)} - t$$

Die Dimensionen der Ausweichen A und B in Fig. 147, ergeben sich aus Folgendem:

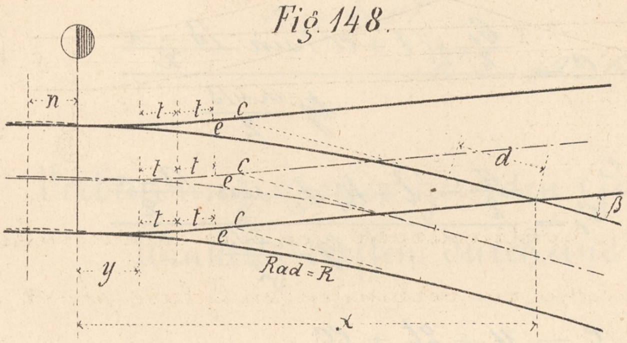
Setzt man $g_1 - R \sin vers \frac{\alpha+\beta}{2} = p$

$$\left(s + t + \frac{g}{tg\beta}\right) \sin\frac{\beta-\alpha}{2} = q$$

so erhält man mit Hilfe der Fig. 148,

$$d = \frac{p-q}{\sin\frac{\beta+\alpha}{2}}$$

Fig. 148.



$$x = R \sin\frac{\alpha+\beta}{2} + \frac{p-q}{tg\frac{\alpha+\beta}{2}} - n \text{ und}$$

$$y = x - \frac{q}{tg\frac{\beta-\alpha}{2}} - t$$

In diesen Formeln sind:

g gleich der Spurweite,

$g_1 = g + m$ ferner m und n aus der Aufgabe 2, bekannte Größen.

Die Dimensionen der Ausweiche C und D in Fig. 147 werden aus nachstehenden Formeln und mit Hilfe der Fig. 149 berechnet.

Setzt man wie früher:

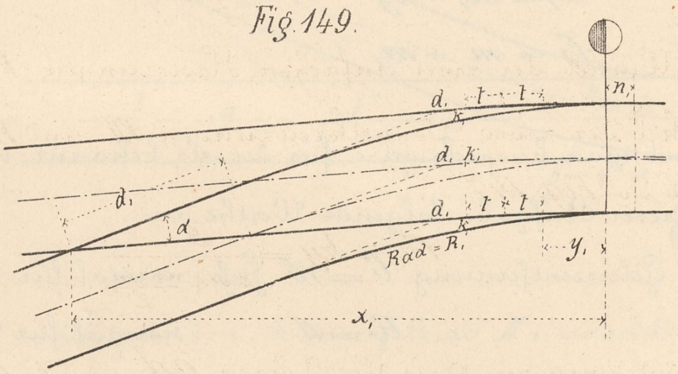
$$g_1 - R_1 \sin vers \frac{\alpha+\beta}{2} = p_1$$

$$\left(s + t + \frac{g}{tg\alpha}\right) \sin\frac{\beta-\alpha}{2} = q_1$$

so erhält man:

$$d_1 = \frac{p_1 + q_1}{\sin\frac{\alpha+\beta}{2}}$$

Fig. 149.



$$x_1 = R_1 \sin\frac{\alpha+\beta}{2} + \frac{p_1 + q_1}{tg\frac{\alpha+\beta}{2}} - n \text{ und}$$

$$y_1 = x_1 - \frac{q_1}{tg\frac{\beta-\alpha}{2}} - t$$

wobei wie früher, g die Spurweite bezeichnet, $g_1 = g + m$ sowie m und n aus der Aufgabe 2 bekannte Größen sind.

Die Entfernungen x und x_1 sind von der Weichenspitze bis zur theoretischen Kreuzungsspitze gemessen.

Die Dimensionen d_1k_1 in Fig. 149, ee in Fig. 148 und t sind in den vorstehenden Berechnungen für den inneren und äußeren Schienenstrang und für die Geleiseachse als einander gleich angenommen, da die Unterschiede dieser 3 Größen in den genannten Linien bei den immer nur sehr kleinen Winkeln und großen Radien als verschwindend klein vernachlässiget werden können.

Die übrigen Dimensionen der Kreuzweiche erhält man aus folgenden Formeln:

$$c = \frac{\frac{G_1}{2} + (t + ee)\sin\frac{\beta - \alpha}{2}}{tg\frac{\alpha + \beta}{2}}$$

$$c_1 = \frac{\frac{G}{2} - (t + k_1 d_1)\sin\frac{\beta - \alpha}{2}}{tg\frac{\alpha + \beta}{2}}$$

$$e = y + 2t + ee$$

$$e_1 = y_1 + 2t + k_1 d_1$$

$$m = e + c$$

$$m_1 = e_1 + c_1$$

$$n = m - fh$$

$$n_1 = m_1 - hg$$

$$E = m + m_1$$

Nimmt man beispielsweise für die als bekannt vorauszusetzenden Größen dieser Aufgabe folgende Werthe an:

Geleiseentfernung $G = 15$ Fuß (normal für Bahnhofgeleise)

" $G_1 = 11.4$ " (normal für Doppelspur)

Winkel $\alpha = 4°54'$, $\beta = 6°14'$

Radius $R = 750$, $R_1 = 1000$ und $r = 1000$ Fuß,

so erhält man nach den früher aufgestellten Formeln für die übrigen Größen folgende Werthe:

$$t = 5.'82$$

$$L = 154.'69$$

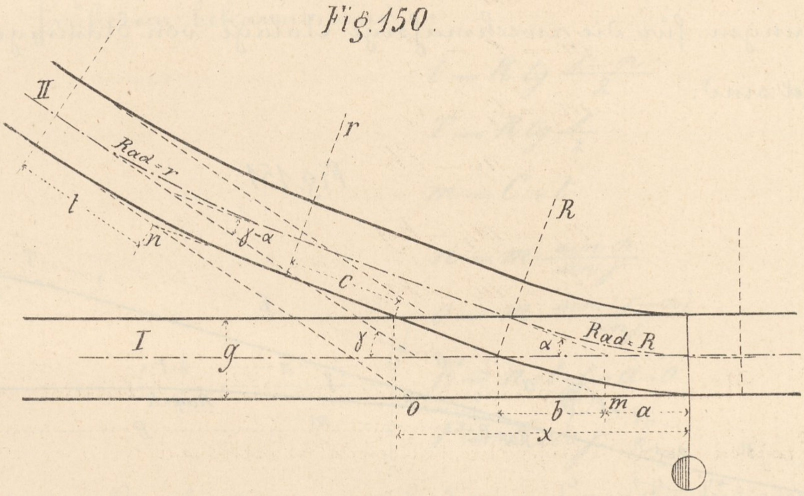
$$fh = hg = 23.'41$$

$$s = 3.'82$$

$$p = 1.163 \qquad p_1 = 0.160$$
$$q = 0.596 \qquad q_1 = 0.718$$
$$d = 5.845 \qquad d_1 = 9.05$$
$$x = 66.43 \qquad x_1 = 84.50$$
$$y = 9.39 \qquad y_1 = 16.96$$
$$c = 59.03 \qquad c_1 = 75.80$$
$$e = 24.84 \qquad e_1 = 32.41$$
$$m = 84.48 \qquad m_1 = 108.22$$
$$n = 61.07 \qquad n_1 = 84.80$$
$$E = 192.69$$

Aufgabe 10. Verbindung zweier geraden Geleise, die sich unter einen Winkel γ treffen, durch eine einfache Ausweiche.

Fig. 150.



Bezeichnet in Fig. 150 R den Radius des Ausweichbogens, r den Radius des Übergangsbogens vom Weichengeleise auf das Geleise II und α den Kreuzungswinkel, so ist der Winkel, den das Ausweichgeleise mit dem Geleise II einschliesst, gleich $\gamma - \alpha$ und die Tangente des Übergangsbogens

$$t = r \operatorname{tg} \frac{\gamma - \alpha}{2}$$

Die Grössen x, a und b werden nach den Formeln der Aufgabe 1 berechnet.

Bezeichnet C die Länge der hinter die Kreuzungsspitze verlängerten Kreuzungsgeraden, so erhält man aus dem Dreiecke mno

$$mn = \frac{g}{\sin \alpha} + C + t$$

$$mn : mo : on = \sin \gamma : \sin(\gamma - \alpha) : \sin \alpha \quad \text{oder}$$

$$mo = mn \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin \gamma}$$

$$no = mn \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$

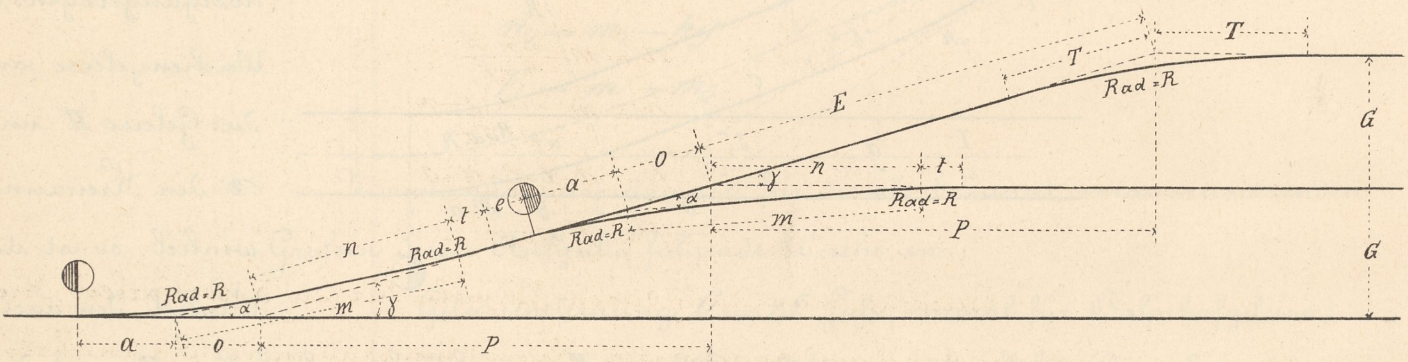
In der Praxis läßt man die für den äußeren Schienenstrang der Geleise gerechneten Dimensionen auch für die Geleiseachsen gelten und begeht dadurch einen Fehler, der aber bei den stets nur sehr kleinen Winkeln und großen Radien der Bögen, wie sie in der Praxis vorkommen, als verschwindend klein, vernachläßigt werden kann.

Die oben entwickelten Formeln kommen in der Praxis bei der Anlage der sogenannten Stammgeleise, das heißt: derjenigen Geleise, welche bestimmt sind, mehrere parallele Geleise durch Weichen mit einander zu verbinden, in Anwendung.

Da es sich bei diesen Anlagen darum handelt, die Parallelgeleise möglichst wenig zu verkürzen, so können in den wenigsten Fällen die kleinen Winkel der normalen Kreuzungen A, B und C zugleich die Winkel sein, unter welchen die Stammgeleise gegen die Parallelgeleise geneigt sind.

Im Nachstehenden wird eine Formel entwickelt, in welcher alle Bedingungen für die zweckmäßige Anlage von Stammgeleisen berücksichtiget sind.

Fig. 151.



Bezeichnet in *Fig. 151*:

γ den Winkel, unter welchem das Stammgeleise gegen die Parallelgeleise geneigt ist,

α den Kreuzungswinkel,

R den Radius der Ausweich- und Übergangsbögen,

t und T die Tangentenlängen dieser Bögen,

G die Achsenentfernung der Parallelgeleise,

x, a und b Größen, welche nach den Formeln der Aufgabe 1 gefunden werden.

g die Spurweite,

c die Länge der hinter der Kreuzungsspitze verlängerten Kreuzungsgeraden, und

e die Entfernung der zweiten Weiche von dem Ende des Übergangsbogens der ersten Weiche

so erhält man zur Berechnung des Stammgeleisewinkels γ folgende Formel:

$$\frac{R(1+\cos\alpha)+C\sin\alpha-G}{R(1+\cos\alpha)+C\sin\alpha}\cdot\cos\varphi=\cos(\varphi+\gamma) \quad \text{wobei}$$

$$tg\,\varphi=\frac{C\cos\alpha+(e+a)-R\sin\alpha}{R(1+\cos\alpha)+C\sin\alpha} \quad \text{und}$$

$$C=\frac{g}{\sin\alpha}+c$$

Hat man nach dieser Formel den Winkel γ gefunden, so berechnet man die übrigen zur Construction der ganzen Verbindung nothwendigen Größen aus folgenden Gleichungen, welche schon zum Theil aus Früherem bekannt sind:

$$t=R\,tg\frac{\gamma-\alpha}{2}$$

$$T=R\,tg\frac{\gamma}{2}$$

$$m=C+t$$

$$n=m\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$$

$$o=m\frac{\sin(\gamma-\alpha)}{\sin\gamma}$$

$$E=n+t+e+a+o$$

$$P=E\cos\gamma$$

Berechnet man nach diesen Formeln für die 3 **normalen** Kreuzungswinkel und zugehörigen Krümmungsradien der Ausweichsbogen, Stammgeleise und nimmt man für alle 3 Fälle folgende Größen als constant an:

$G=15$ Fuß, $\quad e=11$ Fuß, $\quad c=15$ Fuß, so erhält man:

a. Bei Anwendung eines Ausweichbogens $R=1000$ Fuß
und eines Kreuzungswinkels .... $\alpha=4°54'$

$\gamma=6°30'$	$m=82.15$ Fuß
$t=13.96$ Fuß	$n=62.00$ „
$x=78.20$ „	$o=20.27$ „
$a=25.20$ „	$E=132.43$ „
$b=38.70$ „	$P=131.52$ „
	$T=56.78$ „

b. Bei Anwendung eines Ausweichbogens $R = 750$ Fuss und eines Kreuzungswinkels .... $\alpha = 5°25'$

$\gamma = 7°6'$	$m = 74.21$ Fuss
$t = 11.02$ Fuss	$n = 56.68$ "
$x = 73.10$ "	$o = 17.64$ "
$a = 25.00$ "	$E = 121.34$ "
$b = 33.70$ "	$P = 120.42$ "
	$T = 46.53$ "

c. Bei Anwendung eines Ausweichbogens $R = 500$ Fuss und eines Kreuzungswinkels .... $\alpha = 6°14'$

$\gamma = 8°0'$	$m = 64.60$ Fuss
$t = 7.71$ Fuss	$n = 50.44$ "
$x = 66.00$ "	$o = 14.32$ "
$a = 24.30$ "	$E = 107.77$ "
$b = 27.20$ "	$P = 106.73$ "
	$T = 34.96$ "

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass falls mehr als zwei Geleise mit einem dritten durch ein Stammgeleise zu verbinden sind, bei jedem derselben, mit alleiniger Ausnahme des letzten, falls dieses nicht ein durchlaufendes Geleise ist, das berechnete Kreuzungsdreieck, d. i. die Werthe für m, n und o in Anwendung kommen.

Der grösste Neigungswinkel des Stammgeleises für eine gewisse Geleiseentfernung wird gefunden, wenn man in der vorher entwickelten Formel für $\angle\gamma$ die Grösse c gleich 2 Fuss setzt, und in der Formel für C die Grösse c gleich macht der Länge der Kreuzung (d. i. von der theoretischen Kreuzungsspitze bis an das Ende des Kreuzungsstückes).

Aufgabe 11.

Anlage von Drehscheibengeleisen.

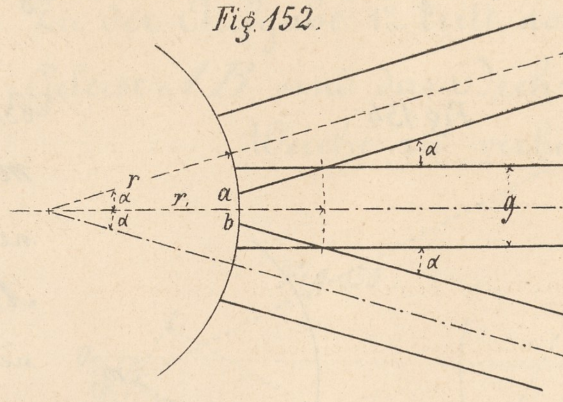
Entstehen durch die Anlage der Geleise, an dem Umfange einer Drehscheibe Kreuzungen, so berechnet man die Winkel derselben aus Fig. 152 mittelst der folgenden Proportion:

$$2r\pi : \frac{g+ab}{2} = 360^\circ : \alpha \text{ oder}$$

$$\alpha = \frac{90^\circ}{\pi} \cdot \frac{g+ab}{r}$$

In dieser Formel für den Kreuzungswinkel α der Geleise bezeichnet:

Fig. 152.



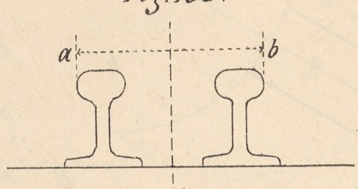
g die Spurweite,

r den Halbmesser der Drehscheibe,

$\pi = 3{\cdot}14159$ und

ab die Entfernung der inneren Schienenkanten des ersten und dritten Geleises am Umfange der Drehscheibe gemessen (Siehe Fig. 153).

Fig. 153.



In obiger Formel für α gibt das Product $\frac{90}{\pi} \cdot \frac{g+ab}{r}$ die Bogenlänge des Winkels α für den Radius $= 1$.

Werden die Geleise an dem Umfange der Drehscheibe so nahe zusammengerückt, dass ab gleich einer Schienenkopfbreite wird, so gibt der hiernach berechnete Kreuzungswinkel α die Minimalgröße dieses Winkels für die vorliegende Aufgabe an.

Die Entfernung der theoretischen Kreuzungsspitze vom Drehscheiben-Centrum, gibt die Formel:

$$r_1 = \frac{g}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Bei Anlage von Drehscheiben-Geleisen am Umfange der Drehscheiben von 38 Fuss Durchmesser wird im Allgemeinen der Winkel $\alpha = 7^\circ 46'$ als normal angenommen.

Bei Anwendung dieses Winkels wird für $R = 19$ Fuss

$$ab = 0.4 \text{ Fuss},$$

welche Dimension der doppelten Kopfbreite der Schienen entspricht.

Ferner wird bei dieser Annahme:

$$r_1 = 33.52 \text{ Fuss}.$$

Aufgabe 12. Verbindung eines Drehscheibengeleises mit einem geraden Geleise AB unter der Annahme, dass zwischen dem Verbindungsbogen und der Drehscheiben-Peripherie eine Gerade eingeschaltet werden muss.

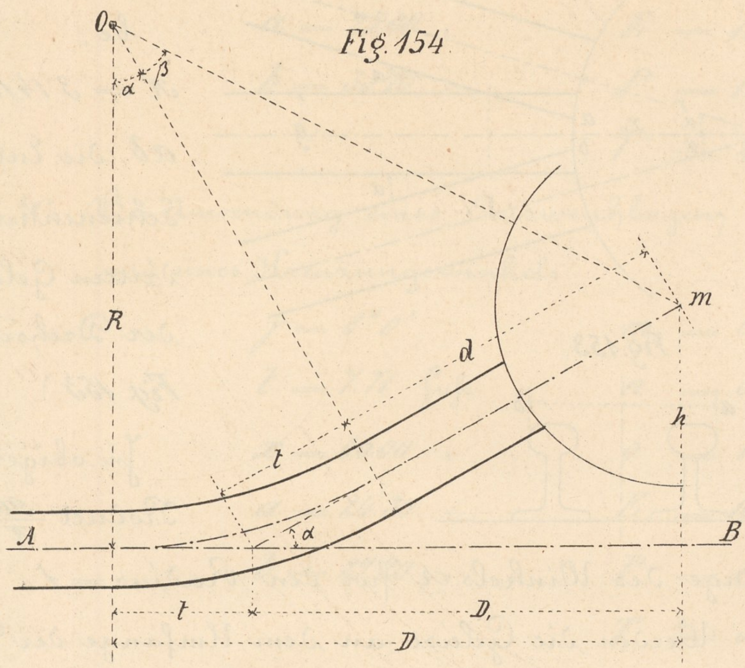


Fig. 154

Bezeichnet in Fig. 154 m den Mittelpunkt einer Drehscheibe, und AB die Richtung eines Geleises, in welches man von der Drehscheibe aus gelangen soll, so berechnet man die zur Construction eines solchen Geleises nothwendigen Grössen aus folgenden Formeln:

1. Den Winkel α:

$$\sin\alpha = \frac{h}{t+d}$$

$$\cos\alpha = \frac{D-t}{t+d}$$

$$tg\,\alpha = \frac{h}{D-d}$$

$$\cos(\alpha+\beta) = \frac{R-h}{\sqrt{R^2+d^2}}$$

$$tg(\alpha+\beta) = \frac{D}{R-h}\text{, wobei } tg\,\beta = \frac{d}{R}$$

2. Die Tangente t:

$$t = R\,tg\frac{\alpha}{2} = \frac{h^2}{2(D+d)} + \frac{D-d}{2} = \frac{h}{\sin\alpha} - d$$

3. Die Gerade d:

$$d = \sqrt{D^2+h^2-2Rh}$$

4. Die Grösse D_1:

$$D_1 = \frac{h}{tg\alpha} = (t+d)\cos\alpha$$

5. Die Grösse D:

$$D = D_1 + t = (R^2+d^2)\sin(\alpha+\beta)$$

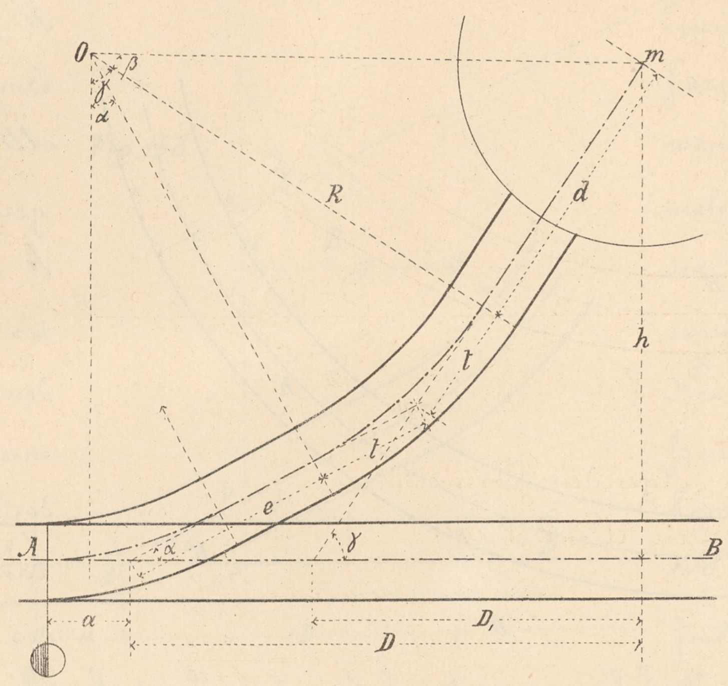
In der Praxis nimmt man den localen Verhältnissen entsprechend gewisse Grössen als bekannt an.

Die vorstehenden Formeln sind für die Geleiseachse berechnet und gelten, ohne für die Praxis einen merklichen Fehler zu begehen, sowohl für den inneren als äußeren Schienenstrang.

Diese Bemerkung gilt bei allen folgenden Aufgaben.

Aufgabe 13. Zu der Aufgabe 12 tritt noch die Bedingung, daß das Geleise AB und das Drehscheibengeleise durch eine Weiche zu verbinden sind.

Fig. 155.



Bezeichnet in Fig. 155 m den Mittelpunkt der Drehscheibe, a und α die bekannten Größen der Weiche und berechnet man die Größe e aus der Formel:

$$e = \frac{g}{2\,tg\,\frac{\alpha}{2}} + C$$

wobei C die Länge der hinter die Kreuzungsspitze verlängerten Kreuzungsgeraden bedeutet, so gelten zur Berechnung der einzelnen Größen folgende Formeln:

1. Für den Winkel γ

$$\sin\gamma = \frac{h-(t-e)\sin\alpha}{t+d}$$

$$\cos\gamma = \frac{D-(t+e)\cos\alpha}{t+d}$$

$$\cos(\gamma+\beta) = \frac{H-h}{\sqrt{R^2+d^2}} = \frac{e\sin\alpha + R\cos\alpha - h}{\sqrt{R^2+d^2}} \quad \text{wobei} \quad tg\,\beta = \frac{d}{R}$$

2. Die Tangentenlänge t

$$t = R\,tg\,\frac{\gamma-\alpha}{2} = \frac{D^2+h^2+e^2-d^2-2(D\cos\alpha+h\sin\alpha)}{2(D\cos\alpha+h\sin\alpha)-2(e-d)}$$

3. Die Gerade d

$$d = \sqrt{D^2+h^2+e^2+2(hR-De)\cos\alpha+2(DR-h.e)\sin\alpha}$$

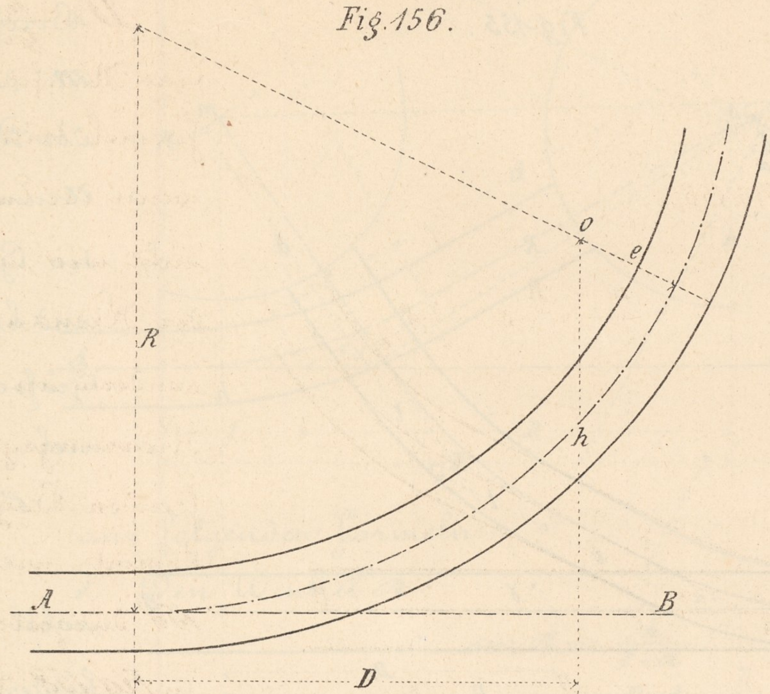
4. Die Größe D_1 und D

$$D_1 = \frac{h}{tg\,\gamma}$$

$$D = (e + t)\cos\alpha + (t + d)\cos\gamma$$

Aufgabe 14. Ein Bogengeleise, das in ein gerades Geleise ohne Weiche übergeht an einem Punkte O in der Entfernung e vorbeizuführen.

Fig. 156.



Bezeichnet in Fig. 156 R den Radius des Bogengeleises, AB die Richtung des geraden Geleises, h die Höhe des Punktes O über dem geraden Geleise, so findet man die Entfernung des Punktes O vom Tangirungspunkte des Bogens mit dem geraden Geleise aus der folgenden Formel:

$$D = \sqrt{(h - e)(2R - h - e)}$$

oder wenn D bekannt und h unbekannt ist

$$h = R - \sqrt{(R - e)^2 - D^2}$$

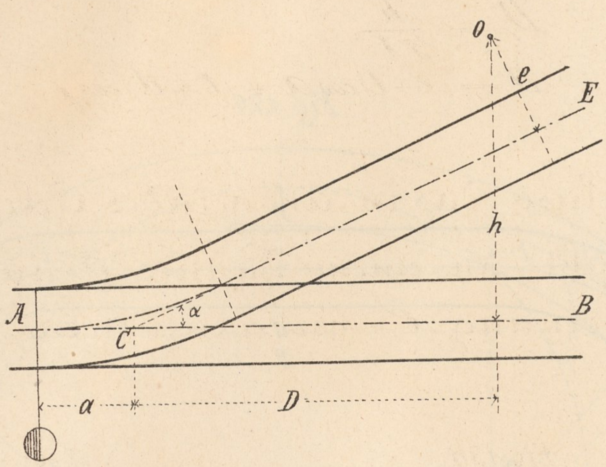
oder wenn R zu suchen wäre

$$R = \frac{D^2}{2(h - e)} + \frac{h + e}{2}$$

Aufgabe 15. Ein gerades Geleise das in ein anderes Geleise AB mittelst einer Weiche einmündet, an einem Punkte O in der Entfernung e vorbei zu führen.

In Fig. 157 bezeichnet h die Höhe des Punktes O

Fig. 157.

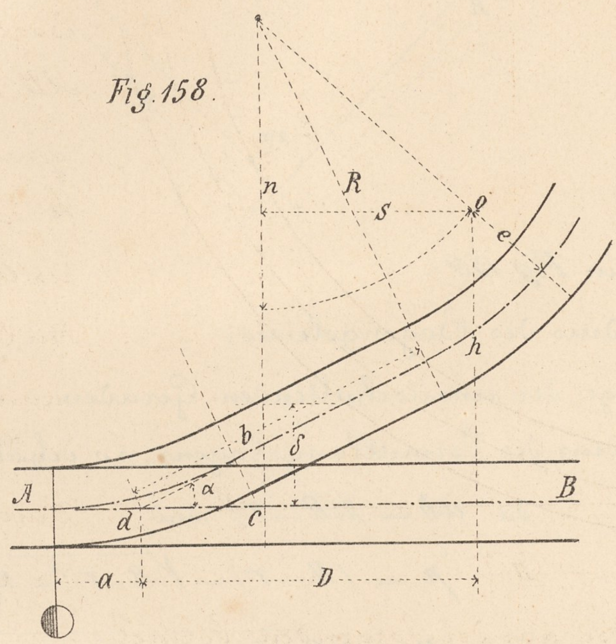


über dem geraden Geleise AB,
C den Schnittpunkt des einmündenden Geleises CE mit dem Geleise AB,
a und α bekannte Größen der Weiche
Dieß vorausgesetzt findet man:

$$D = \frac{h}{tg\,\alpha} - \frac{e}{\sin\alpha}$$

Eine Modification dieser Formel tritt dann ein, wenn die Entfernung e nicht wie in Fig. 157 an der Kreuzungsgeraden, sondern an dem, an die Kreuzungsgerade anschließenden Bogen zu messen kommt, wie dieß in Fig. 158 dargestellt ist.

Fig. 158.



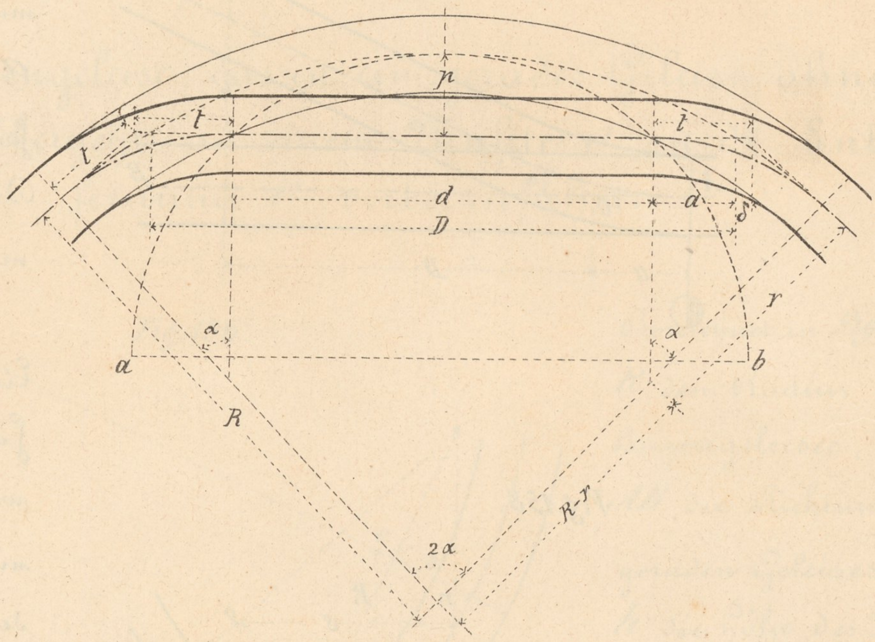
In Fig. 158 bezeichnet
R den Radius des an die Kreuzungsgerade anschließenden Bogens, a und α bekannte Größen der Weiche, und berechnet wird D aus folgender Formel:

$$D = s + cd \quad \text{wobei}$$
$$s = \sqrt{2rp - p^2} \quad \text{und}$$
$$r = R - e$$
$$p = h - (e + \delta)$$
$$\delta = b\sin\alpha - R\,\text{sin vers}\,\alpha$$
$$b = \frac{g}{2\,tg\frac{\alpha}{2}} + C$$
$$cd = b\cos\alpha - R\sin\alpha$$

C bezeichnet die Länge der hinter die Kreuzungsspitze verlängerten Kreuzungsgeraden.

Aufgabe 16. Jn ein Bogengeleise eine Gerade einzuschalten.

Fig. 159.



Bezeichnet in Fig. 159:

R den Radius des Bogengeleises,

d die Länge der einzuschaltenden Geraden,

r den Radius des Vermittlungsbogens, so erhält man,

da $ab = 2(R-r)$ und

$$p = (R-r) - \sqrt{(R-r)^2 - \frac{d^2}{4}} \text{ ist,}$$

$$D = 2\sqrt{2r\left[(R-r) - \sqrt{(R-r)^2 - \frac{d^2}{4}}\right] + \frac{d^2}{4}}$$

$$= 2\sqrt{2rp + \frac{d^2}{4}}, \text{ wobei für } d = 2(R-r)$$

$$\max. D = 2\sqrt{R^2 - r^2}$$

Ferner ist: $\sin\alpha = \frac{d}{2(R-r)}$

$$a = \frac{D-d}{2}$$

$$t = r\,tg\frac{\alpha}{2}$$

$$\delta = t - a$$