DIPL.-ING. E. AMBERGER
Augsburg

DK 625.151.2.001.24 : 625.113

Vereinfachung der Berechnung von Bogenweichenverbindungen mit Hilfe des Sinus-Winkelbildes

Für die Berechnung von Bogenweichenverbindungen wurde bisher im allgemeinen das trigonometrische Verfahren angewendet. Es soll im folgenden eine Berechnungsart in Verbindung mit dem Winkelbildverfahren gezeigt werden, die in den meisten Fällen bei nur kleinen Abweichungen in verhältnismäßig kurzer Zeit das Ergebnis liefert. Bei großen Halbmessern ist dieses Verfahren oft genauer als die trig. Berechnung mit sechsstelligen Funktionswerten. Auch für Bogenweichenverbindungen in Übergangsbogen ergibt sich hier die Möglichkeit rechnerisch zu einer Lösung zu kommen, die als Absteckunterlage genügend genau sein dürfte.

VERBINDUNGEN IN GLEICHMITTIGEN STAMMGLEISBOGEN

Die Berechnung wird zurückgeführt auf die einfache Formel der gleichmittigen Verbindung mit Zwischenbogen. Für diese Verbindungsart ist die Länge z der Zwischentangenten unabhängig vom Stammgleishalbmesser. Dabei ist:

$$2z = \frac{e}{\sin \alpha} - 2t.$$

Löst man die Gleichung nach e auf, erhält man:

$$e = 2z \sin \alpha + 2 \left(\frac{2t \sin \alpha}{2} \right).$$

Als Fläche ausgedrückt ist dies der Inhalt des Trapezes (Abb. 1a) einer geraden Weichenverbindung oder des Trapezes (Abb. 1b) einer gleichmittigen Bogenweichenverbindung.

Die Darstellung ist die des Winkelbildes einer Gleisverbindung, worin jedoch statt der Bogenlänge die doppelte Tangentenlänge und statt des Winkels der Sinus des Winkels gesetzt wurde. Diese Darstellung soll daher

Abb. 1a

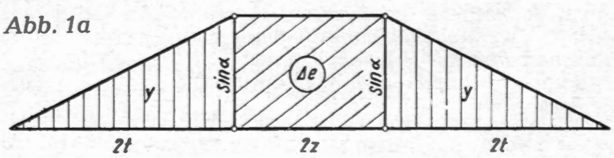
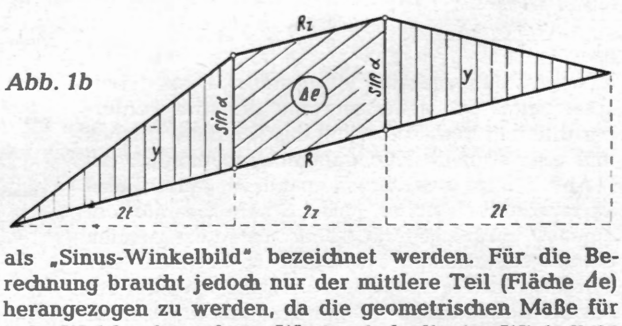


Abb. 1b



als „Sinus-Winkelbild" bezeichnet werden. Für die Berechnung braucht jedoch nur der mittlere Teil (Fläche Δe) herangezogen zu werden, da die geometrischen Maße für jede Weichenform feste Werte sind, die im Winkelbild eine Dreiecksfläche für den radialen Abstand (y) von WE im Zweiggleis zum Stammgleis darstellen (Tabelle 1, Abb. 1 und 2). Zieht man die beiden y-Maße vom Gleisabstand e ab, so erhält man den Abstand Δe, der nach Abb. 2 auch berechnet werden kann zu

$$\Delta e = 2z \cdot \sin \alpha \quad .$$

Dieser Wert ist durch die Fläche des Parallelogramms (mittlerer Teil des Trapezes in Abb. 1b) ausgedrückt. Die Länge der Zwischenbogentangente ist somit:

$$\boxed{z = \frac{\Delta e}{2 \sin \alpha}} \quad . \qquad (1)$$

Sie ist, wie eingangs festgestellt, unabhängig von der Größe des Stammgleishalbmessers.

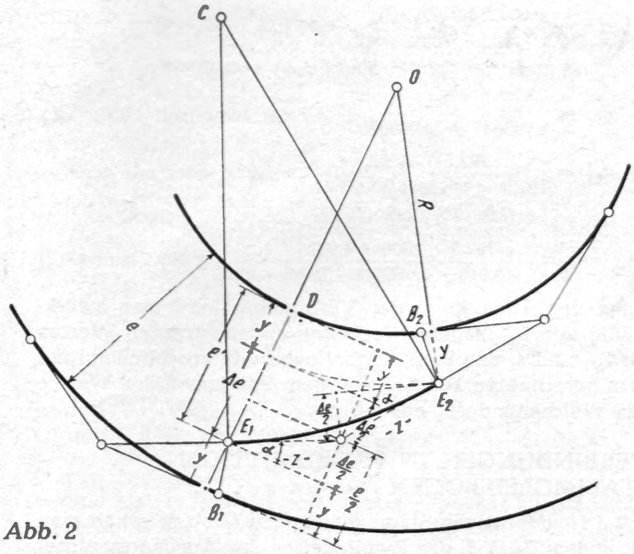


Abb. 2

Verbindungen mit Weichen verschiedener Neigung

Neben Verbindungen mit Bogenweichen der gleichen Grundform können aus wirtschaftlichen Gründen auch Weichen mit verschiedenen Neigungen für eine Verbindung vorgesehen werden. Diese Verbindungsform mit einem Zwischenbogen von WE zu WE wird man jedoch im allgemeinen, mit Rücksicht auf die fahrdynamischen Verhältnisse, nur in Gleisen vorsehen, in denen die Geschwindigkeit von geringerer Bedeutung ist.

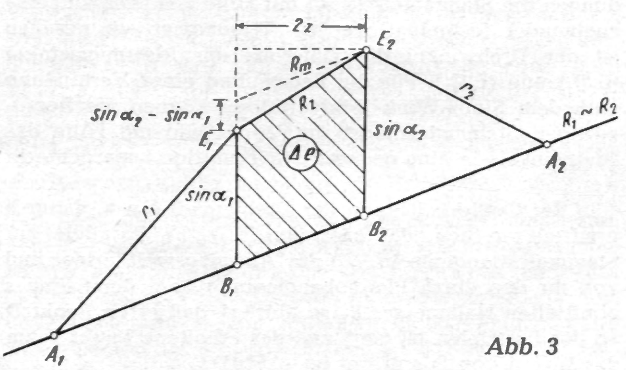


Abb. 3

Im Winkelbild (Abb. 3) ergibt sich für den mittleren Teil der Verbindung ein Trapez. Die Fläche Δe des Trapezes ist in diesem Fall:

$$\Delta e = \frac{2z\,(\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2)}{2}.$$

Als Zwischenbogentangente folgt daraus:

$$\boxed{z = \frac{\Delta e}{\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2}}. \qquad (2)$$

Der Zwischenbogenhalbmesser R_z wird im Gegensatz zu Verbindungen mit Weichen gleicher Neigung wesentlich von den Stammgleishalbmessern abweichen. Er kann genähert über die Winkelgleichung

$$\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1 = \frac{2z}{R_z} - \frac{2z}{R_m} \quad \text{zu}$$

$$\boxed{R_z = \frac{R_m \cdot 2z}{R_m\,(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1) + 2z}} \qquad (3)$$

ermittelt werden (R_m = Mittel der beiden Stammgleishalbmesser R_1 und R_2).

Der Zwischenbogenhalbmesser wird nach obiger Formel nur um wenige Meter von dem Sollwert abweichen (s. folgendes Rechenbeispiel) und dürfte meist ausreichend genau sein. Will man für R_z ein genaueres Ergebnis erzielen, so ergibt sich durch Verbesserung mit $\cos\alpha$ und

$w = \frac{t}{\cos\alpha} - t$ (Abb. 4 und Tabelle 1) die Gleichung:

$$\frac{(2z - w_1 - w_2)\cos\alpha}{R_m} = \frac{2z}{R_z} - \sin\alpha_2 - \sin\alpha_1$$

und nach R_z aufgelöst:

$$\boxed{R_z = \frac{R_m \cdot 2z}{R_m\,(\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1) + (2z - w_1 - w_2)\cos\alpha_1}}. \qquad (4)$$

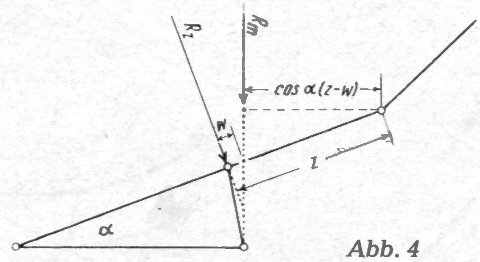


Abb. 4

Tabelle 1: Zusammenstellung der Werte für y (radialer Abstand von WE der Ablenkung zum Stammgleis) und $w = \frac{t}{\cos\alpha} - t$ nach Abb. 2 und 4

Weiche	y	w
300 - 1:9	1,835	0,102
500 - 1:12	1,727	0,072
760 - 1:14	1,931	0,069
1200 - 1:18,5	1,749	0,047
KW 500 - 1:9	3,058	0,170

Beispiel:

Setzt man für die Fahrt durch eine Verbindung nach Abb. 3 eine Geschwindigkeit von V = 40 km/h als ausreichend voraus, so kann die Verbindung zweckmäßig mit der Form 500 - 1:12 für die IBW und der Form 300 - 1:9 für die ABW hergestellt werden. Die Weichenform 300 - 1:9 für die IBW kann in dem vorliegenden Stammgleishalbmesser von 400 m wegen Unterschreitung des Mindestzweiggleishalbmessers von 200 m nicht vorgesehen werden.

Gegeben sind: R_1 = 400 m, R_2 = 395 m, $\sin\alpha_1 = 0{,}083045$, $\sin\alpha_2 = 0{,}110432$, Δe = 1,438 m. Mit den Formeln (2) und (3) erhält man für z = 7,432 (soll 7,436) und R_z = 229,5. Mit der verbesserten Formel (4) wird R_z = 231,5 (soll 231,2).

Fahrdynamische Gestaltung der Verbindungen

Die Verhältnisse in Hinblick auf den Ruck können für eine Verbindung oft verbessert werden, wenn anstelle des Zwischenbogens von WE zu WE eine fahrdynamisch günstigere Lösung gewählt wird. Der folgende Fall nach Abb. 5 stellt eine Verbindung mit zwei Zwischenbogen für das Zwischenstück dar, deren Halbmesser mit R_{z1} und R_{z2} bezeichnet werden sollen. Der für die Geschwindigkeit im Zwischenstück maßgebliche Ruck ist hier von zwei Punkten (E_1 und E_2) auf drei Punkte verteilt und infolge der damit gestreckteren Knickwinkel in diesen Punkten (s. Winkelbild in Abb. 5) günstiger gestaltet worden. Voraussetzung dabei ist, daß die Mindestlänge = V/10 für die einzelnen Zwischenbogen erreicht wird. Legt man die Werte für den Halbmesser und die Länge eines Zwischenbogens fest, so kann der andere Zwischenbogen berechnet werden.

Wird das Mittel der beiden Stammgleishalbmesser mit R_m bezeichnet, so erhält man zunächst den Winkel ε genähert über:

$$\sin\varepsilon = \frac{2z_1}{R_m} - \frac{2z_1}{R_{z1}} \quad \text{oder} \quad \sin\varepsilon = \frac{2z_1\,(R_{z1} - R_m)}{R_{z1} \cdot R_m}.$$

Die Fläche Δe ergibt sich jetzt zu

$$\Delta e = (2z_1 + 2z_2)\frac{\sin\alpha + \sin(\alpha + \varepsilon)}{2}.$$

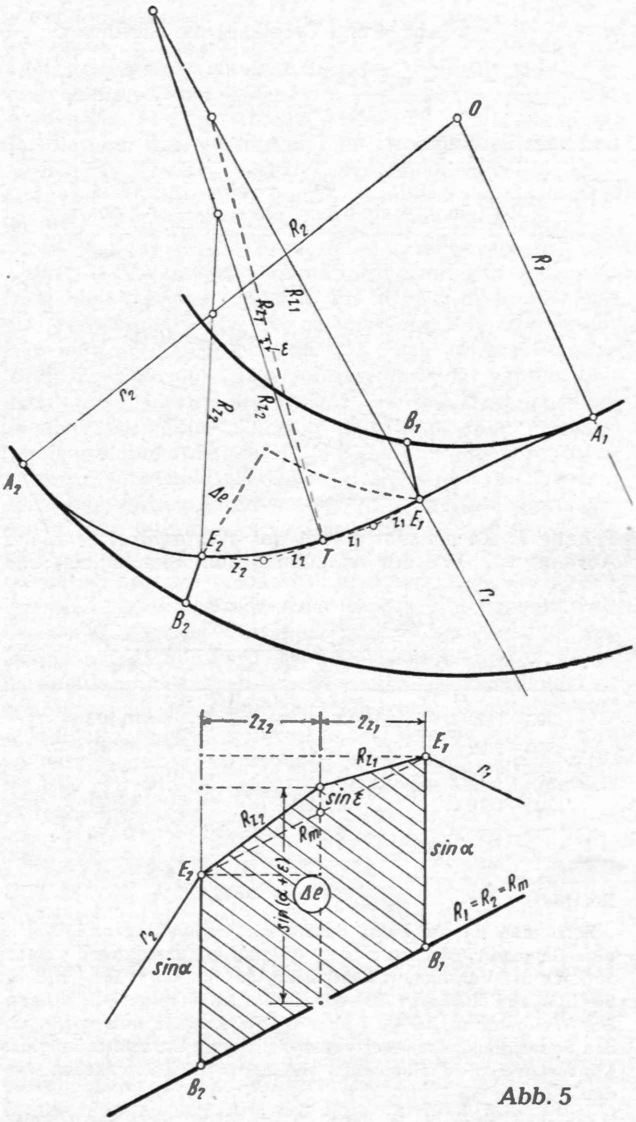


Abb. 5

Daraus folgt:

$$\boxed{z_2 = \frac{\Delta e}{\sin\alpha + \sin(\alpha + \varepsilon)} - z_1} \quad . \qquad (5)$$

Den Halbmesser R_{z2} kann man genähert berechnen aus der Winkelgleichung $\sin\varepsilon = \frac{2z_2}{R_{z2}} - \frac{2z_2}{R_m}$ die nach R_{z2} aufgelöst wird:

$$\boxed{R_{z2} = \frac{R_m \cdot 2z_2}{R_m \sin\varepsilon + 2z_2}} \quad . \qquad (6)$$

Genauer ist die Berechnung durch Verbesserung mit $\cos\alpha$ und w aus der Winkelgleichung

$$\frac{2z_1}{R_{z1}} + \frac{2z_2}{R_{z2}} = \frac{2\,(z_1 + z_2 - w)\cos\alpha}{R_m} \quad \text{zu:}$$

$$\boxed{R_{z2} = \frac{R_m \cdot R_{z1} \cdot z_2}{R_{z1}\,(z_1 + z_2 - w)\cos\alpha - R_m z_1}} \quad . \qquad (7)$$

Beispiel:

Nach Abb. 5 sollen in einer gegenwendigen Verbindung mit zwei Weichen der Grundform 500 – 1:12 die Werte für den Zwischenbogen mit dem Halbmesser R_{z1} und der Länge $2z_1$ angenommen und die Werte R_{z2} sowie z_2 für den anderen Zwischenbogen berechnet werden.

Gegeben sind: $R_1 = 700$, $R_2 = 705$, $R_{z1} = 1500$, $z_1 = 4{,}00$, $\alpha = 5{,}2929^g$, $\sin\alpha = 0{,}083045$, $\cos\alpha = 0{,}996546$, $\Delta e = 5{,}00 - 2 \cdot 1{,}727 = 1{,}546$.

Daraus erhält man nach den obigen Formeln für:

$$\sin\varepsilon = \frac{8{,}00\,(1500 - 702{,}5)}{1500 \cdot 702{,}5} = 0{,}006055, \quad \varepsilon = 0{,}3855^g,$$

$$\alpha + \varepsilon = 5{,}6784^g, \quad \sin(\alpha + \varepsilon) = 0{,}089078$$

$$z_2 = \frac{1{,}546}{0{,}083045 + 0{,}089078} - 4{,}00 = 4{,}982 \text{ (soll } 4{,}986)$$

$$R_{z2} = \frac{702{,}5 \cdot 9{,}964}{702{,}5 \cdot 0{,}006055 + 9{,}964} = 492{,}3 \text{ oder mit der verbesserten Formel (7)}$$

$$R_{z2} = \frac{702{,}5 \cdot 1500 \cdot 4{,}982}{1500 \cdot 8{,}910 \cdot 0{,}996546 - 702{,}5 \cdot 4{,}00} = 499{,}6 \text{ (soll } 499{,}7).$$

Bei der Absteckung der Verbindung wird man zweckmäßig von E_1 ausgehend mit den angenommenen Werten für R_{z1} und z_1 den Punkt T festlegen und anschließend mit dem gerechneten Wert z_2 und dem Spreizmaß der Weiche das Weichenende E_2 abstecken.

VERBINDUNGEN IN FREMDMITTIGEN STAMMGLEISBOGEN

Bei fremdmittigen Stammgleisbogen (Abb. 6) erhält man Δe, indem E_1 (WE des Zweiggleises der Ausgangsweiche) radial auf das Stammgleis der Endweiche aufgemessen und von dem Abstand $\overline{E_1D} = e'$ der Wert für y abgezogen wird. Es ist also: $\Delta e = e' - y$.

Sind die Koordinatenwerte von O_1 und O_2 sowie die des Punktes E_1 der Ausgangsweiche berechnet, so kann e' auch aus den vorhandenen Koordinaten abgeleitet werden. Nach Ermittlung der Entfernung $\overline{E_1O_2}$ erhält man e' aus der Differenz von $\overline{E_1O_2}$ und R_2.

Neben der Ermittlung des Gleisabstandes bei WE der Ausgangsweiche müssen bei fremdmittigen Gleisverbindungen die Stammgleise noch mit Hilfe des Drehwinkels δ zueinander festgelegt werden. Trigonometrisch gesehen ist der Drehwinkel die Differenz der Richtungswinkel (E_1O_1) und (E_1O_2). Für die Berechnung einer Verbindung nach dem Sinus-Winkelbildverfahren können die fremdmittigen Stammgleisbogen im Winkelbild mit Hilfe des Drehwinkels in eine gedachte gleichmittige Lage gebracht werden.

In der Örtlichkeit kann der Drehwinkel δ u. a. dadurch ermittelt werden, daß man durch D die Parallele zur Stammgleistangente in WE der Ausgangsweiche legt und von ihr den durch Pfeilhöhenmessung über der Sehne s ermittelten Halbmesser R_2 so abträgt, daß er im Punkt D an der Parallelen tangiert und der erhaltene Punkt P um das Maß s von D entfernt ist (Abb. 7).

Es ist dann: $\sin\frac{\delta}{2} = \frac{m}{2s}$ oder direkt: $\sin\delta = \frac{h}{s}$.

Abb. 6

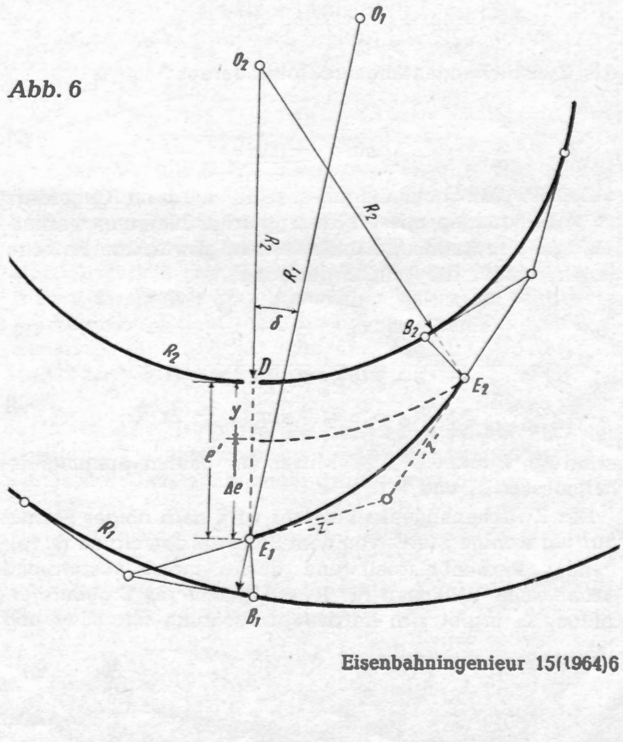
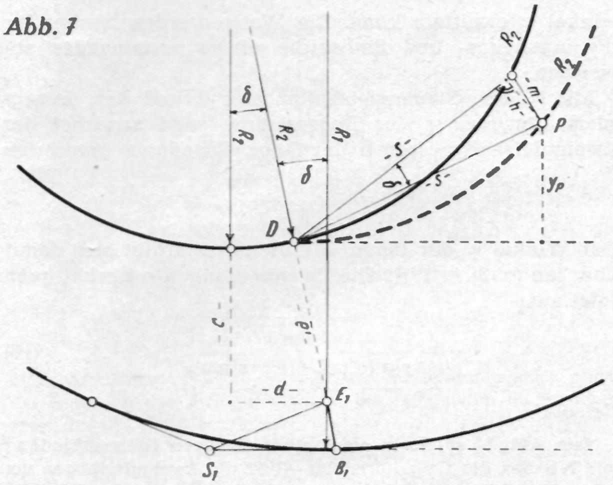


Abb. 7



Eine andere Möglichkeit, den Drehwinkel zu ermitteln, besteht darin, eine Tangente parallel zur Stammgleistangente in WE der Ausgangsweiche (S_1B_1) an den R_2-Stammgleisbogen zu legen und die Maße c und d zu messen. Aus d und R_2 in Verbindung mit c kann dann δ gerechnet werden.

Im Winkelbild werden außerdem auch durch die Lage von d zu E_1 die Halbmesser R_1 und R_2 zueinander festgelegt.

Verbindungen mit einem Zwischenbogen von WE zu WE

Setzt man z als bekannt voraus, so kann das Sinus-Winkelbild einer Gleisverbindung gezeichnet werden. Von dem Weichenende B_1 auf dem Stammgleis R_1 ausgehend, trägt man $\sin\delta$ für einen Linksbogen nach $\left\{\begin{matrix}\text{oben}\\ \text{unten}\end{matrix}\right\}$ und für einen Rechtsbogen nach $\left\{\begin{matrix}\text{unten}\\ \text{oben}\end{matrix}\right\}$ ab, wenn der Fußpunkt von O_2 bezogen auf die Tangente in WE der Ausgangsweiche im Sinne der Kilometrierung $\left.\begin{matrix}\text{vor}\\ \text{nach}\end{matrix}\right\}$ WE liegt. Der Eintrag von $\sin\alpha$ nach oben oder unten vom Stammgleis aus ergibt sich am WE der Ausgangsweiche zwangsläufig aus der gegenwendigen Lage des Stamm- und Zweiggleisbogens bei ABW bzw. aus dem Größenunterschied der gleichwendigen Stamm- und Zweiggleisbogen bei IBW. Damit ist der Punkt E_1 festgelegt. In der Entfernung 2z findet man auf R_2 den Punkt B_2 und bestimmt mit $\sin\alpha$ den Punkt E_2 (WE der Endweiche).

Die schraffierte Fläche (Abb. 8a, b) drückt dann den Abstand Δe aus. Wird die Verbindung auf gleichmittige Kreise (R_2 als Bezugsgleis) zurückgeführt, so stellt die Fläche des Parallelogramms B'_1 E'_1 E_2 B_2 den Abstand Δe der gleichmittigen Form dar, die durch addieren (Abb. 8a) oder subtrahieren (Abb. 8b) des durch den Drehwinkel δ sich ergebenden Dreieckes E_1 E'_1 E_2 in das Trapez B'_1 E_1 E_2 B_2 der fremdmittigen Form umgewandelt wird. Damit ergibt sich: $\Delta e = z \cdot \sin\alpha + \sin(\alpha \pm \delta)$, und nach z aufgelöst:

$$\boxed{z = \frac{\Delta e}{\sin\alpha + \sin(\alpha \pm \delta)}} \quad . \tag{8}$$

Der Zwischenhalbmesser R_z kann genähert gerechnet werden aus der Gleichung: $\mp\frac{2z}{R_z} \pm \frac{2z}{R_2} = \sin\delta$. Nach R_z aufgelöst ergibt:

$$\boxed{Rz = \frac{2z \cdot R_2}{2z \mp R_2 \sin\delta}} \tag{9}$$

(obere Vorzeichen für Abb. 8a, untere Vorzeichen für Abb. 8b).

Oft genügt es, die Weichenenden mit z und dem Spreizmaß der Weiche in der Örtlichkeit festzulegen und den

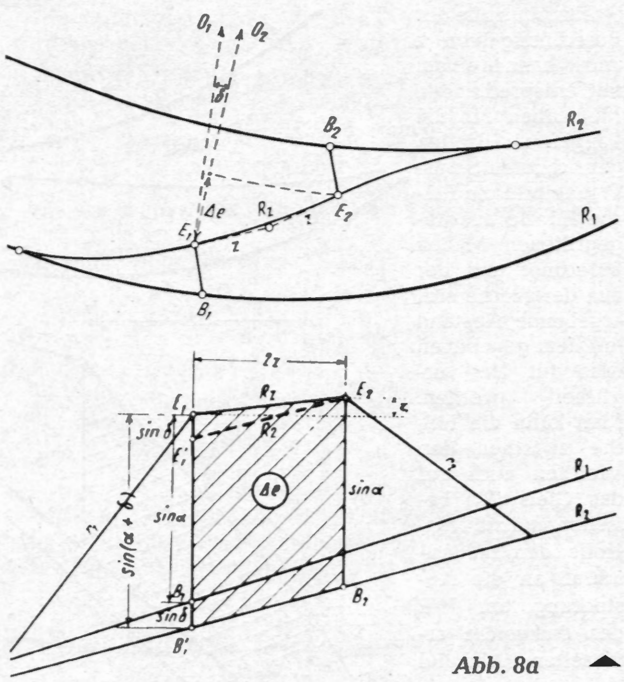


Abb. 8a

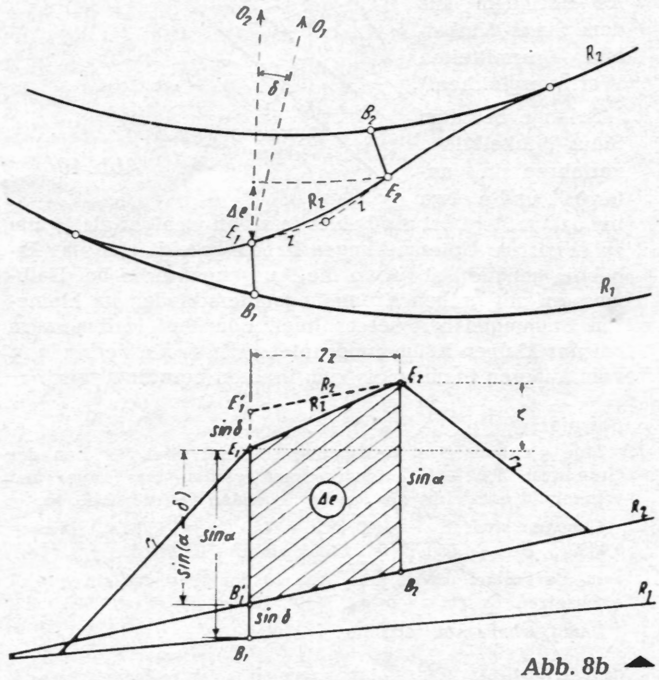


Abb. 8b

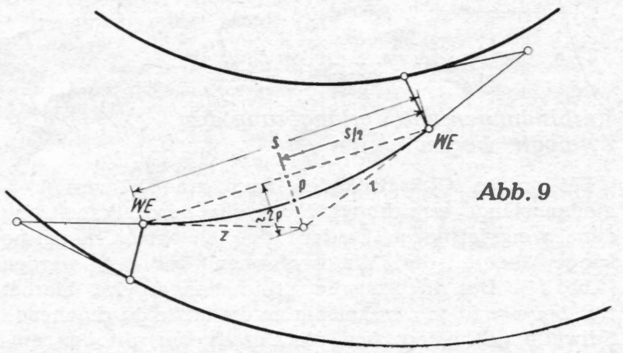


Abb. 9

Zwischenhalbmesser R_z durch Messung zu ermitteln (Abb. 9). Bringt man die Ablenkungstangenten der Weichen zum Schnitt, und wird der rechtwinklige Abstand des Schnittpunktes zur Sehne $\approx$ 2p gemessen, so erhält man nach Abb. 9:

$$p = \frac{(s/2)^2}{2R_z} \text{ und daraus: } R_z = \frac{(s/2)^2}{2p}.$$

Zur Kontrolle der Berechnung von z und R_z kann in einem mit entsprechenden Maßstäben für die Längen und Breiten gezeichneten Sinus-Winkelbild die Fläche für Δe aus abgegriffenen Maßen berechnet und der aus der Fläche sich ergebende Abstand mit dem gegebenen Maß für Δe verglichen werden. Man kann die Fläche zwischen den Weichen auch auf das Gleis (R_1) beziehen und zur Kontrolle den im Anschluß an die Absteckung am WE der Endweiche ermittelten Abstand Δe mit dem aus dem Sinus-Winkelbild ermittelten Wert vergleichen.

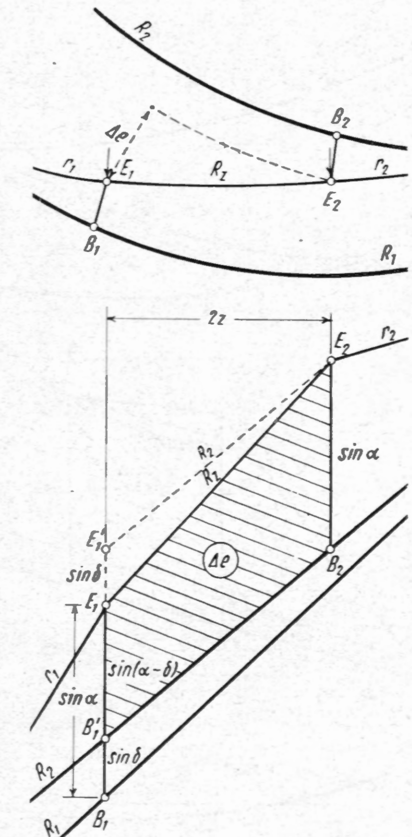


Abb. 10

Solange bei dem Sinus-Winkelbildverfahren sin δ unter 0,02 und e etwa bei 5,00 m liegt, ist ein Fehler in z von weniger als 10 mm zu erwarten. Untersuchungen haben gezeigt, daß das Ergebnis genauer ist, wenn die Ausgangsweiche bei Halbmessern mit großen Krümmungsunterschieden im kleineren Stammgleishalbmesser liegt, oder bei Halbmessern mit nur kleinen Krümmungsunterschieden die Verbindung vom äußeren Stammgleis zum inneren berechnet wird.

Beispiel:

Eine gleichwendige Verbindung soll mit zwei Weichen der Grundform 500 – 1:12 eingerechnet werden. Das Lage- und Winkelbild entspricht für den vorliegenden Fall der Abb. 10.

Gegeben sind: $R_1 = 400$, $R_2 = 450$, $\alpha = 5{,}2929^g$, $\sin\alpha = 0{,}083045$, $\Delta e = 1{,}658$, $\delta = 1{,}5410^g$, $\sin\delta = 0{,}024204$.

In die Formel (8) ist nach Abb. 10 der Wert für $\sin(\alpha - \delta)$ einzusetzen. Es ist: $\alpha - \delta = 3{,}7519^g$, $\sin(\alpha - \delta) = 0{,}058900$.

Damit erhält man jetzt für:

$$z = \frac{1{,}658}{0{,}083045 + 0{,}058900} = 11{,}681 \text{ (soll 11,683)}.$$

$$R_z = \frac{23{,}362 \cdot 450}{23{,}362 + 450 \cdot 0{,}024204} = 306{,}9.$$

Verbindungen mit Verlängerung der Zweiggleisbogen

Bei großen Gleisabständen kann eine kürzere Verbindungslänge erreicht werden, wenn durch Fortsetzung der Zweiggleisbogen beider Weichen um die gleiche Länge theoretische Weichenformen gebildet werden (Abb. 11). Das theoretische Weichenende wird hierbei z. B. bei $e \approx 6{,}0$ m zweckmäßig an die letzte durchgehende Schwelle (lS) gelegt und die Berechnung mit den entsprechenden Werten ausgeführt.

Man wird für diesen Fall aus dem Zweiggleishalbmesser r der Bogenweiche, der nicht verändert werden soll, mit der theor. Weichentangente $t' = t + \frac{d}{2}$, wobei t die Weichentangente der Grundform und d das Maß von WE bis lS ist, eine theor. Grundform bilden, aus der man dann die für die Berechnung notwendigen Weichenwinkel α' ermitteln kann. Die Werte werden hierbei für die Ausgangs- und Endweiche etwas voneinander abweichen.

Mit t', dem Stammgleishalbmesser R und dem Zweiggleishalbmesser r der Bogenweiche wird zunächst der Zweiggleishalbmesser $\mathfrak{R}$ der theor. Grundform gerechnet:

$$\mathfrak{R}' = \frac{R \cdot r + t'^2}{R - r}.$$

Der Winkel α' der theor. Weichenform ergibt sich damit über $\tan(\alpha'/2) = t'/\mathfrak{R}'$. Die Zwischentangente z erhält man jetzt aus:

$$\boxed{z = \frac{\Delta e}{\sin(\alpha'_1 \pm \delta) + \sin\alpha'_2}.} \qquad (10)$$

Beispiel:

Nach Abb. 11 sollen in einer gleichwendigen Gleisverbindung mit Weichen der Grundform 500 – 1:12 die Zweiggleisbogen um 6,5 m über WE hinaus bis zur letzten durchgehenden Schwelle verlängert werden.

Gegeben sind: $R_1 = 400$ m, $R_2 = 450$ m, $\Delta e = 1{,}825$ m, $\delta = 1{,}4163^g$, $\sin\delta = 0{,}022245$.

Die zu den Stammgleisen gehörigen Zweiggleishalbmesser r der Bogenweichen ergeben sich zu: $r_1 = 221{,}742$ m und $r_2 = 4508{,}634$ m.

Die theor. Weichentangenten t' werden ermittelt aus:

$$t' = 20{,}797 + \frac{6{,}5}{2} = 24{,}047.$$

Man erhält jetzt die Zweiggleishalbmesser und die Weichenwinkel der theor. Grundform, die für beide Weichen etwas voneinander abweichen werden, mit obigen Formeln zu:

$$\mathfrak{R}'_1 = \frac{400 \cdot 221{,}742 + 24{,}047^2}{178{,}258} = 500{,}819,$$

$$\mathfrak{R}'_2 = \frac{450 \cdot 4508{,}634 + 24{,}047^2}{4058{,}634} = 500{,}036,$$

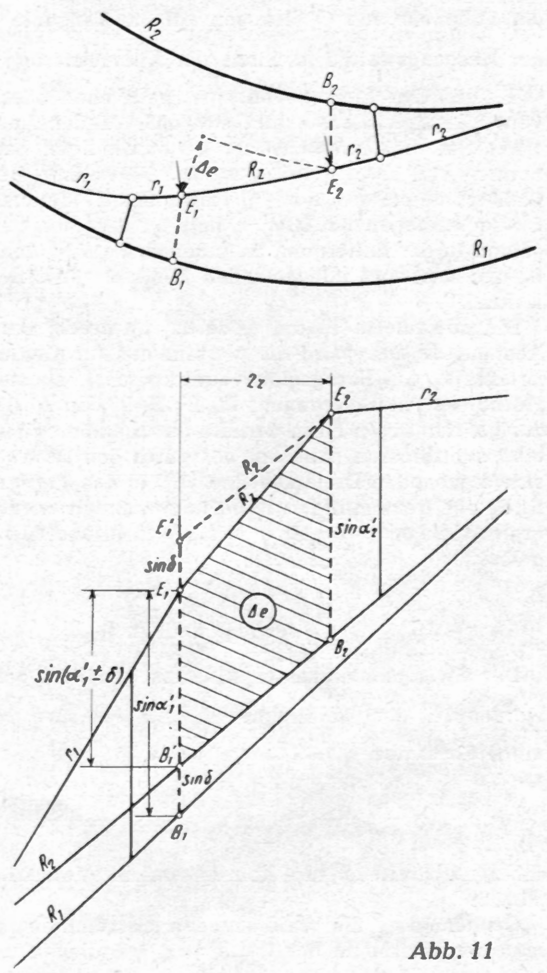


Abb. 11

$\tan \frac{\alpha'_1}{2} = 0{,}048015$, $\frac{\alpha'_1}{2} = 3{,}0544^g$, $\alpha'_1 = 6{,}1088^g$

$\tan \frac{\alpha'_2}{2} = 0{,}048091$, $\frac{\alpha'_2}{2} = 3{,}0592^g$, $\alpha'_2 = 6{,}1184^g$.

Die Werte für Δe, $\sin(\alpha'_1 - \delta)$ und $\sin \alpha'_2$ in Formel (10) eingesetzt, ergeben:

$$z = \frac{1{,}825}{0{,}073643 + 0{,}095959} = 10{,}760 \text{ (soll } 10{,}759).$$

Der Halbmesser R_z wird dann nach Formel (9):

$$R_z = \frac{21{,}52 \cdot 450}{21{,}52 + 450 \cdot 0{,}022245} = 307{,}1.$$

Im vorstehenden Beispiel wird die Verbindungslänge durch Verlängerung der Zweiggleisbogen bis zur letzten durchgehenden Schwelle um 5,4 m kürzer.

Bei Verbindungen mit ungleichen Weichenneigungen können die Weichenwinkel beider Weichen durch Verlängerung des Zweiggleisbogens der Weiche mit der flacheren Neigung gleich groß gemacht werden. Man hat damit wieder die übliche Verbindungsform mit gleichen Weichenwinkeln erreicht.

Verbindungsformen unter Berücksichtigung der Fahrdynamik

Eine Gleisverbindung mit einem Zwischenbogen von WE zu WE ist fahrdynamisch gesehen oft keine gute Lösung, wie dies auch bei „Verbindungen in gleichmittigen Stammgleisbogen" bereits erwähnt wurde. Man wird sie deshalb nach Möglichkeit in eine günstigere Verbindungsform umwandeln. Nachfolgend sollen daher noch für zwei weitere Gleisverbindungen die Berechnungsformeln abgeleitet werden, die den Forderungen der Fahrdynamik entsprechen. Für eine ausreichende Genauigkeit ist hierbei Voraussetzung, daß, wie es bei den meisten Gleisverbindungen der Fall ist, die Flächenform des Parallelogramms $= 2z \cdot \sin \alpha$ durch eine andere Gestaltung des Zwischenstückes nicht wesentlich verändert wird, d. h. die Ausgleichsflächen zwischen der gebrochenen Verbindungslinie der Punkte E_1E_2 und der geraden Verbindungslinie der Punkte E'_1E_2 dürfen nicht zu groß werden (Abb. 12).

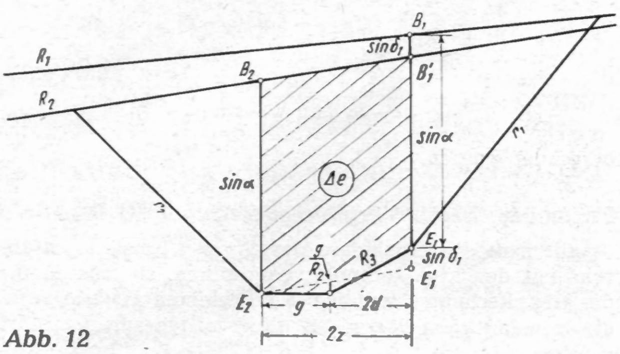


Abb. 12

Außerdem muß auch der Flächeninhalt Δe bei der Umwandlung in eine andere Verbindungsform unverändert bleiben und die Mindestlänge = V/10 für den Zwischenbogen erreicht werden.

1. Fortsetzung des Weichenbogens (r_1) der Ausgangsweiche oder ggf. Einschaltung eines Zwischenbogens (R_z) anstelle von r_1 und Anschluß des Stammgleisbogens (R_2) an WE der Endweiche

Ist der Halbmesser des äußeren Stammgleisbogens einer Verbindung größer als der innere, so wird man die fahrdynamisch vorteilhafte Verbindungsform nach Abb. 13 anwenden.

Die schraffierte Fläche, die den Abstand Δe ausdrückt, wird hier gebildet aus: $\Delta e = 2z' \sin \alpha - d \cdot \sin \delta$.

Daraus erhält man:

$$\boxed{z' = \frac{\Delta e + d \cdot \sin \delta}{2 \sin \alpha}}. \tag{11}$$

Die Tangente d des Differenzbogens erhält man aus der Winkelgleichung: $\sin \delta = \frac{2d}{r_1} - \frac{2d}{R_2}$. Damit wird:

$$\boxed{d = \frac{\sin \delta \; R_2 r_1}{2(R_2 - r_1)}}. \tag{12}$$

Die Zwischentangente z ergibt sich jetzt aus:

$$\boxed{z = z' - d}. \tag{13}$$

Wird im Anschluß an die Ausgangsweiche ein Zwischenbogen (R_z) eingeschaltet, so ist in den Formeln (11) bis (13) r_1 durch R_z zu ersetzen.

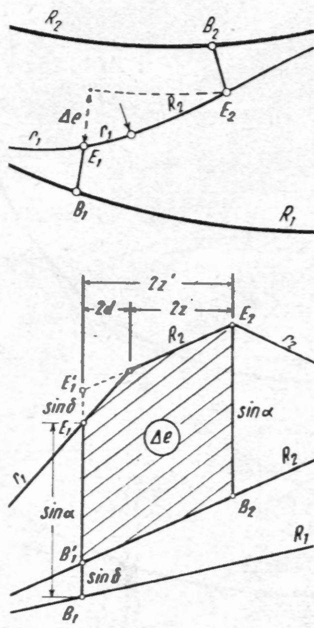


Abb. 13

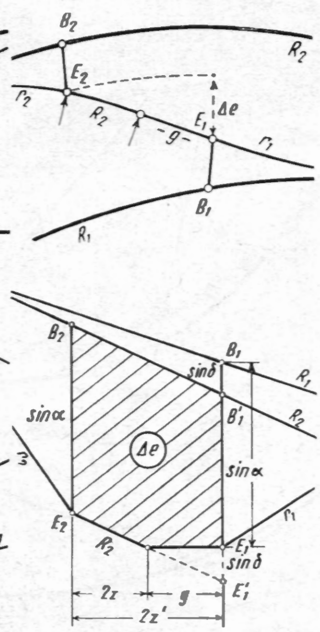


Abb. 14

Beispiel:

Für eine gegenwendige Verbindung mit zwei Weichen der Grundform 500 – 1:12 sollen nach Abb. 13 die Maße für d und z eingerechnet werden.

Gegeben sind: $R_1 = 700$, $R_2 = 600$, $\Delta e = 1{,}445$, $\delta = 0{,}3605^g$, $\sin \delta = 0{,}005663$, $\alpha = 5{,}2929^g$, $\sin \alpha = 0{,}083045$.

Der Zweiggleishalbmesser der Ausgangsweiche ergibt sich zu: $r_1 = 291{,}306$.

Man erhält jetzt nach den obigen Formeln für d und z':

$$d = \frac{0{,}005663 \cdot 600 \cdot 291{,}306}{2\,(600 - 291{,}306)} = 1{,}603 \text{ (soll } 1{,}594)$$

$$z' = \frac{1{,}445 + 1{,}603 \cdot 0{,}005663}{2 \cdot 0{,}083045} = 8{,}755 \text{ (soll } 8{,}763)$$

und die Zwischentangente z zu:

$$z = 8{,}755 - 1{,}603 = 7{,}152 \text{ (soll } 7{,}169).$$

2. An die Ablenkung der Ausgangsweiche (ABW) schließt eine Gerade und an die der Endweiche (IBW) der Stammgleishalbmesser R_2 an

Diese Verbindungsform nach Abb. 14 wird man zweckmäßig dann wählen, wenn der Stammgleisbogen mit dem kleineren Halbmesser außen liegt und nicht kleiner als der der Weichengrundform ist.

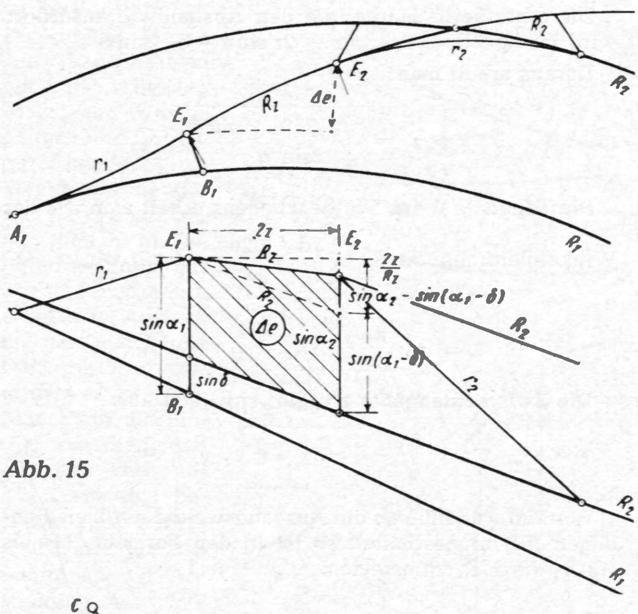


Abb. 15

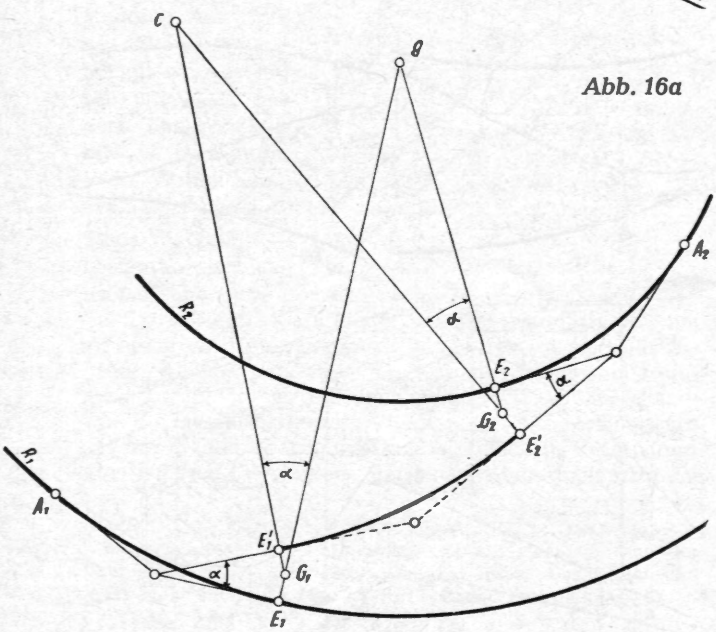


Abb. 16a

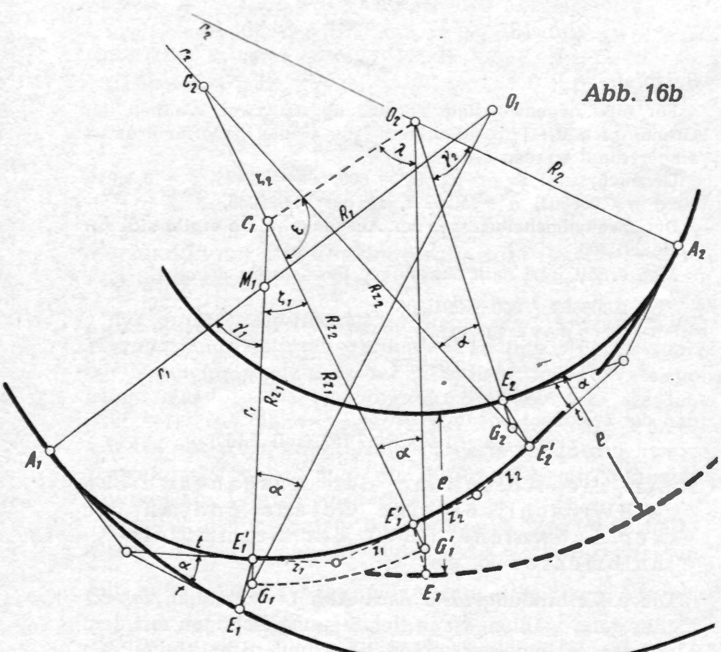


Abb. 16b

Im Winkelbild (Abb. 14) wird g und z' berechnet zu:

$$\boxed{g = R_2 \cdot \sin \delta} \quad \text{und} \tag{14}$$

$$\boxed{z' = \frac{\Delta e + g/2 \cdot \sin \delta}{2 \sin \alpha}} \ . \tag{15}$$

Die Zwischenbogentangente z erhält man jetzt aus:

$$\boxed{z = z' - g/2} \ . \tag{16}$$

Beispiel:

Die gegenwendige Verbindung nach Abb. 14 soll mit zwei Weichen der Grundform 500 – 1:12 hergestellt werden. Zu berechnen sind die Maße für g und z nach den Formeln (14) bis (16).

Gegeben sind: $R_1 = 1100$, R_2 1000, $\Delta e = 1{,}777$, $\delta = 0{,}5180^g$, $\sin \delta = 0{,}008137$, $\alpha = 5{,}2929^g$, $\sin \alpha = 0{,}083045$.

Mit den gegebenen Werten erhält man für g, z' und z:

$g = 1000 \cdot 0{,}008137 = 8{,}137$ (soll 8,129)

$$z' = \frac{1{,}777 + 4{,}0685 \cdot 0{,}008137}{2 \cdot 0{,}083045} = 10{,}898$$

$z = 10{,}898 - 4{,}068 = 6{,}830$ (soll 6,836).

Verbindungen mit Kreuzungen und Kreuzungsweichen

Die Berechnung ist die gleiche wie bei Verbindungen mit einfachen Bogenweichen. In Abb. 15 ist eine Verbindung mit einer Bogenweiche und einer einfachen Bogenkreuzungsweiche sowie einem durchgehenden Zwischenbogen dargestellt. Die Berechnung der Zwischenbogentangente über die Gleichung:

$\Delta e = [\sin \alpha_2 + \sin (\alpha_1 - \delta)]\ z$ ergibt wieder für:

$$\boxed{z = \frac{\Delta e}{\sin \alpha_2 + \sin (\alpha_1 - \delta)}} \ . \tag{17}$$

Der Halbmesser des Zwischenbogens kann näherungsweise aus der Beziehung

$$\frac{2z}{R_2} - \frac{2z}{R_z} = \sin \alpha_2 - \sin (\alpha_1 - \delta) \qquad \text{mit}$$

$$\boxed{R_z = \frac{2z \cdot R_2}{2z - R_2 \, [\sin \alpha_2 - \sin (\alpha_1 - \delta)]}} \tag{18}$$

berechnet werden.

Trigonometrische Vergleichsberechnung

Will man die Ergebnisse des Sinus-Winkelbildverfahrens mit der trig. Rechnung vergleichen, so müssen für die trig. Rechnung, zumindest bei kleinen Halbmessern, die fremdmittigen Bogen auf gleichmittige zurückgeführt werden (Abb. 16).

Der Berechnung liegt die Tatsache zu Grunde, daß man bei gleichmittigen Gleisverbindungen von den Weichenpunkten G_1 und G_2 die Punkte C und O unter dem Weichenwinkel α sieht (Abb. 16a). Soll z. B. an WE des Ablenkungsbogens der Ausgangsweiche ein Halbmesser Rz_1 anschließen (Abb. 16b), so ist der Zwischenbogen mit diesem Halbmesser bis G'_1 fortzuführen, von wo aus C_1 und O_2 unter dem Weichenwinkel α zu sehen ist. Der Gang der trig. Berechnung ist dabei folgender:

Aus den zwei bekannten Seiten $\overline{G'_1C_1} = R_{z1} + t \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$ und $\overline{C_1O_2}$ (aus Koordinaten), sowie dem Winkel α kann die Entfernung G'_1O_2 gerechnet werden. Der parallele Abstand e, mit dem man nach den eingangs aufgeführten einfachen Formeln den Wert für z erhält, ergibt sich schließlich zu: $\overline{G'_1O_2} + \overline{G'_1E_1} - R_2$. (Schluß folgt)