

Die Bogenweiche, Bogenkreuzung und Bogenkreuzungsweiche im Übergangsbogen.

Von Reichsbahnrat Leisner, Nürnberg.

Im Bereiche der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft dürfen seit einiger Zeit, sofern gewisse Bedingungen erfüllt sind, Weichen, Kreuzungen und Kreuzungsweichen in Kreisbogen und Übergangsbögen verlegt werden. Es sollen damit die vielfältigen Schwierigkeiten behoben werden, die sich seither beim Übergreifen von Spurplänen in den Bereich der freien Gleisstrecken oder bei der Anpassung von Bahnhofsköpfen an höhere Fahrgeschwindigkeiten ergaben. Die von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft getroffene Regelung betrifft indes, obwohl allgemein als Erleichterung empfunden, doch nur die wirtschaftliche Seite der beabsichtigten Vereinfachungen. Die Berechnung und Absteckung von Spurplänen mit Bogenweichen*) oder gar die Berechnung und der Zusammenbau von Bogenweichen für solche Zwecke gestalten sich nicht leichter, sondern erheblich schwieriger, als das bisher der Fall war. Allein die Abhängigkeit der Spurplänenentwicklungen von den in Gleisbogen durchzuführenden Überhöhungen verwickelt die Berechnungen schon beträchtlich.

Im nachfolgenden soll versucht werden, die Lösung der Aufgaben auch von der Seite der Berechnung her zu vereinfachen, jedoch nur soweit, als der schwierigere Fall, nämlich die Einlegung von Weichen in Übergangsbogen in Frage kommt.

Als Ausgangspunkt werden die vom Reichsbahnzentralamt in Berlin herausgegebenen „Zusammenstellungen der geometrischen Maße“ für Bogenweichen, Bogenkreuzungen und Bogenkreuzungsweichen gewählt.

I. Die Bogenweiche.

1. Näherungsmethode.

Fall a). Gabelung der Bogenweiche gegen das Ende eines Übergangsbogens.

Nach Abb. 1 kann eine einfache Weiche zu einer Innenbogenweiche e a b' oder zu einer Außenbogenweiche e a b verkrümmt werden. Ob dabei der gerade oder krumme Strang in die Übergangsbogenform gebracht wird, ist gleichgültig. Immer bilden die in den Punkten e und b oder b' an die beiden Weichenbogen gelegten Tangenten Sperrdreiecke e S b oder e S b', die unveränderlich den Sperrdreiecken der unverbogenen Weichen mit den Weichenwinkeln α und den Weichen tangentialen t gleich sind.

Es ergeben sich die Konstruktionsfiguren in Abb. 2 und 3.

Das Gerippe einer Weiche im Übergangsbogen ist damit schon bestimmt. Es bedarf nur der Berechnung der Längen der Tangenten a T und e T sowie ihres Schnittwinkels ε_1 .

Aus den Konstruktionsfiguren folgt aber noch eine zweckmäßigere Lösung für den Aufbau des Weichenengerippes. Es ist möglich, die beiden verbogenen Weichenstränge durch Tangenten und Winkel auf die im Anfangspunkt a der Weiche gelegte Tangente a T zu beziehen.

Es gehört bei der

a) Außenbogenweiche (Abb. 2)

die Tangente e T zum Winkel ε_1

„ „ b T₂ „ „ $\varepsilon_2 = \alpha - \varepsilon_1$

*) Unter Weichen sind in der Folge sinngemäß allgemein auch Kreuzungen und Kreuzungsweichen verstanden.

und bei der

b) Innenbogenweiche (Abb. 3)

die Tangente e T zum Winkel $\varepsilon_1' = \varepsilon_1$

„ „ b' T₂' „ „ $\varepsilon_2' = \alpha + \varepsilon_1$.

Die Tangenten unter a) und b) und die Tangenten a T und a T₂ oder a T₂' summieren sich außerdem näherungsweise jeweils zum Betrage $2t \sim a e$, also zur Weichenlänge.

Für die Tangenten a T und e T an den Übergangsbogen ergibt sich:

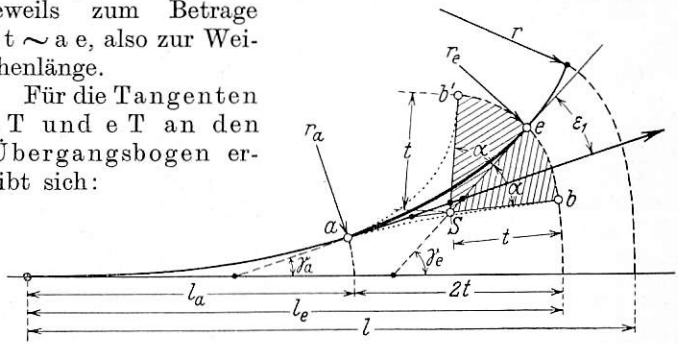


Abb. 1.

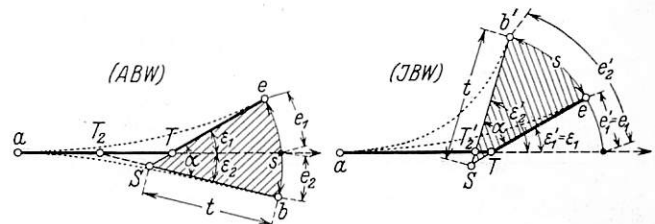


Abb. 2.

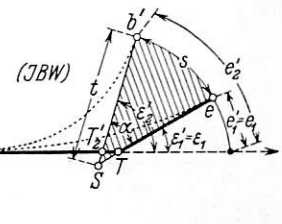


Abb. 3.

$$l_e - 2t = l_a$$

$$r_a = \frac{l_r}{l_a}$$

$$r_e = \frac{l_r}{l_e}$$

$$\gamma_e = 28,65 \frac{l_e}{r_e} = \frac{l_e^2}{l_r} \quad \gamma_a = 28,65 \frac{l_a}{r_a} = \frac{l_a^2}{l_r}$$

$$1) \dots \dots \dots \varepsilon_1 = \gamma_e - \gamma_a = \frac{28,65}{l_r} (l_e^2 - l_a^2).$$

Betrachtet man die zum Winkel ε_1 gehörende Evolvente e₁ oder e₁' = e₁ als Kreisbogen und die Tangente e T als Halbmesser dieses Kreisbogens, so ist

$$2) \dots \dots \dots \overline{eT} = \frac{57,3 e_1}{\varepsilon_1}$$

$$3) \dots \dots \dots \overline{aT} = 2t - \overline{eT}.$$

Hierin ist

$$e_1 = \frac{(2t)^2}{2r_a} + \frac{(2t)^3}{6(2t)} \cdot \frac{r_a - r_e}{r_a r_e}$$

(siehe Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1929, H. 24, S. 516).

Für die Tangenten an die Weichenbogen, die nicht im Übergangsbogen liegen, ergibt sich mit dem konstanten Sperrmaß einer Weiche

$$s = \frac{\alpha t}{57,3}$$

nach dem gleichen Näherungsverfahren wie bei Formel 2) für die Außenbogenweichen (Abb. 2)

4) $\overline{bT_2} = \frac{57,3 e_2}{\epsilon_2} = \frac{57,3 (s - e_1)}{\alpha - \epsilon_1}$

5) $\overline{aT_2} = 2t - \overline{bT_2}$
 $e_2 = s - e_1$

für die Innenbogenweichen (Abb. 3)

6) $\overline{b'T_2'} = \frac{57,3 e_2'}{\epsilon_2'} = \frac{57,3 (s + e_1)}{\alpha + \epsilon_1}$

7) $\overline{aT_2'} = 2t - \overline{b'T_2'}$
 $e_2' = s + e_1$

Fall b). Gabelung der Bogenweiche gegen den Anfang eines Übergangsbogens.

Mit Bezug auf Abb. 4 ergeben sich ähnlich, wie beim Fall a), die Konstruktionsfiguren in Abb. 5 und 6.

Die Weichen haben in diesem Fall ihre Spitze in Punkt e des Übergangsbogens.

Die Werte ϵ_1, eT und \overline{aT} berechnen sich wie beim Fall a).

Für die übrigen Tangenten gilt dagegen mit Bezug auf die Tan-

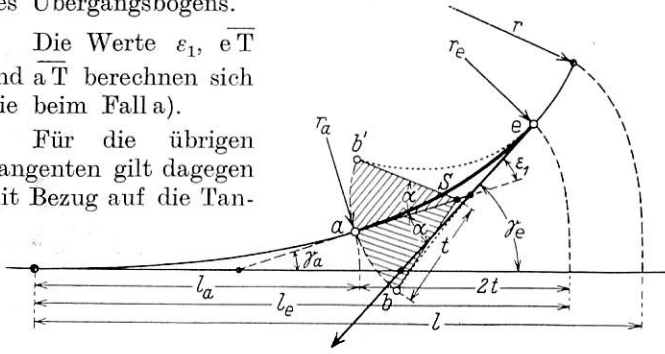


Abb. 4.

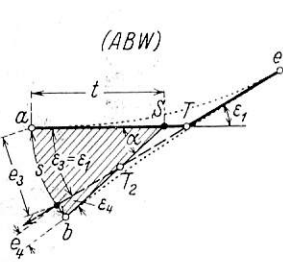


Abb. 5.

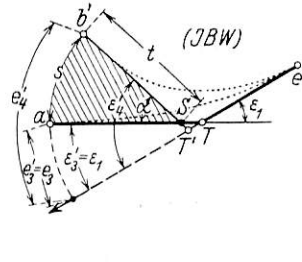


Abb. 6.

gente in Punkt e des Übergangsbogens für die Außenbogenweiche (Abb. 5)

8) $\overline{bT_2} = \frac{57,3 e_4}{\epsilon_4} = \frac{57,3 (s - e_3)}{\alpha - \epsilon_1}$

9) $\overline{eT_2} = 2t - \overline{bT_2}$
 $e_3 = s - e_3$

worin

$$e_3 = \frac{(2t)^2}{2r_e} - \frac{(2t)^3}{6(2t)} \cdot \frac{r_a - r_e}{r_a r_e}$$

ist; für die Innenbogenweiche (Abb. 6)

10) $\overline{b'T_2'} = \frac{57,3 e_4'}{\epsilon_4'} = \frac{57,3 (s + e_3)}{\alpha + \epsilon_1}$

11) $\overline{eT_2'} = 2t - \overline{b'T_2'}$
 $e_4' = s + e_3$

Die Berechnungsmaße unter 1) bis 11) sind in Abb. 7 für die Fälle a) und b) dargestellt.

Beim Abstecken einer Weiche bilden die Tangenten in den Punkten a und e an den Hauptbogen wichtige Ausgangslinien. Man findet sie, indem man die Punkte a oder e durch Pfeilhöhenmessung in den in der Natur gewöhnlich vorher abgesteckten Übergangsbogen einschaltet und die Ordinaten an der Stelle e nach Gleichung für e_1 bei Formel 3) und an der Stelle a nach Gleichung für e_3 bei Formel 9) berechnet. Zweckmäßiger ist es, die Richtung

aus weiter als 2t voneinander entfernten Punkten zu bestimmen: in den Formeln bei 3) und 9) ist dann zu der Strecke länger als 2t ein neuer Halbmesser r_e oder r_a zu berechnen.

Als Darstellungsform für einfache Bogenweichen in Spurplänen 1:500 oder 1:250 wird die Art nach Abb. 2 und 3 oder nach Abb. 5 oder 6 vorgeschlagen, da die Scheitelpunkte S und S' stets einfach aufgezeichnet werden können. Die Darstellungsform nach Abb. 7 ist dagegen nicht immer möglich, da bei Außenbogenweichen die Tangentenschnittpunkte T_2 auch außerhalb des Bereiches der Weichen fallen können. Die Skizzen in Abb. 7 sind angefügt, um zu zeigen, daß die unter den Formeln 1) bis 11) ermittelten Größen bei der Berechnung der Spurpläne oder bei deren Absteckung ebenso verwendet werden können, wie die Winkel, Tangentenzlängen und Sperrmaße bei einfachen Weichen, auch wenn die Tangentenschnittpunkte T_2 nicht mehr auf die Tangenten aT oder eT fallen.

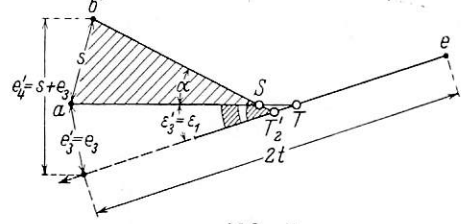
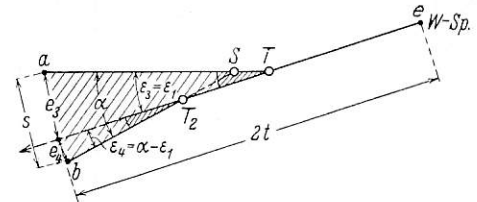
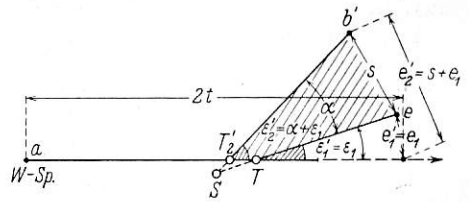
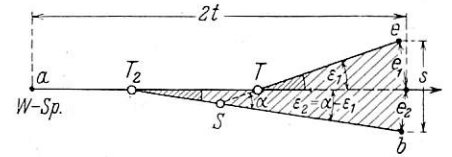


Abb. 7.

Von Nutzen ist es, sich über die Änderung der Krümmungsverhältnisse einer Weiche je nach deren Lage im Übergangsbogen rasch und sicher ein Bild zu machen. Man erreicht das zeichnerisch nach Abb. 8. Die Senkrechte $1/r$ ist die Krümmung am Ende des Übergangsbogens, die Senkrechten zwischen den Linien A E und A E' ergeben die Krümmungen an beliebiger Stelle x des Übergangsbogens A E. Legt man die Weiche an die Stelle a e des Übergangsbogens und trägt von A E' aus, nach oben und nach unten, die Krümmung des Weichenbogens $1/R$ auf, so stellen die Senkrechten zwischen A E und den Parallelen in Abstand $1/R$ die Krümmungen der Weichenbogen dar, die nicht im Übergangsbogen liegen. Nach oben wird die Krümmung $1/R$ aufgetragen, wenn der ablenkende Strang der Weiche nicht auf der Seite der Krümmungsmittelpunkte des Übergangsbogens liegt, nach unten, wenn dieser Strang auf der andern Seite des Übergangsbogens verläuft. Ein Weichenbogen, der nicht im Übergangsbogen liegt, ist gleichgerichtet mit dem Übergangsbogen, wenn von der Linie A E ausgehend, die Meßrichtung für die Krüm-

mungsmaße $1/r$ für den Übergangsbogen und $1/R \pm 1/r$ für den anderen Weichenbogen die gleiche ist (Innenbogenweiche); er ist entgegengesetzt gerichtet, wenn die Meßrichtung entgegengesetzt verläuft (Außenbogenweiche). Abb. 8 läßt daher erkennen, daß bei der Außenbogenweiche die entgegengesetzte Richtung dann noch auftritt, wenn an der Stelle e $r \geq R$ ist.

In Abb. 8 ist nur der Fall der Gabelung der Weiche gegen das Ende eines Übergangsbogens aufgezeichnet. Für die Krümmungsverhältnisse im Weichenbogen, der nicht im Übergangsbogen liegt, gilt aber das gleiche Bild, wenn die Weiche ihre Spitze im Punkt e des Übergangsbogens hat. Die zeichnerische Untersuchung der Krümmungsverhältnisse ermöglicht daher bei Außenbogenweichen sehr rasch zu entscheiden, welche Lagen eine Weiche im Übergangsbogen mit Rücksicht auf Krümmungen noch haben darf.

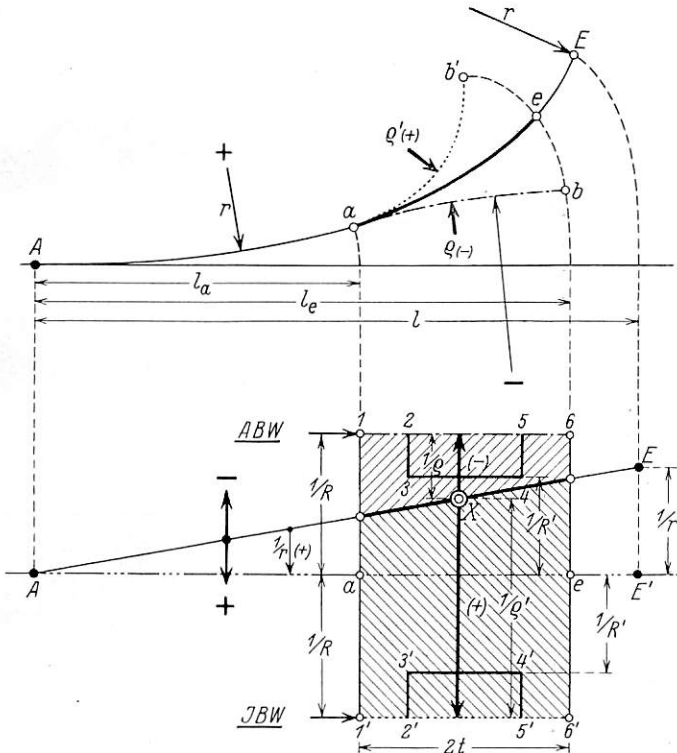


Abb. 8.

Für den Zusammenbau der Weichen in den Weichenbauwerkstätten oder an der Einbaustelle eignen sich für den Bezug des nach der Übergangsbogenform gekrümmten Gleisstranges folgende Formeln für die Ordinaten:

Gemäß der allgemeinen Gleichung

$$y = \left(\frac{4x}{l_0}\right)^2 a + \left(\frac{4x}{l_0}\right)^3 b$$

(siehe Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1929, H. 24, S. 516) für die Viertelpunkte der Weichenlänge, gilt für die im Anfangspunkt a der Weiche gezogene Tangente (Abb. 1) für die Achtelpunkte der Weichenlänge:

$$\begin{aligned} y_0 &= 0 \\ y_1 &= 0,25 a + 0,125 b \\ y_2 &= 1,00 a + 1,00 b \\ y_3 &= 2,25 a + 3,375 b \\ y_4 &= 4,00 a + 8,00 b \\ y_5 &= 6,25 a + 15,625 b \\ y_6 &= 9,00 a + 27,00 b \\ y_7 &= 12,25 a + 42,875 b \\ y_8 &= 16,00 a + 64,00 b \end{aligned}$$

worin

$$a = \frac{(2t)^2}{32r_a} \quad \text{und} \quad b = \frac{1}{16} \cdot \frac{(2t)^2}{24} \cdot \frac{r_a - r_e}{r_a r_e}$$

ist.

Für die Tangente in Punkt e als Anfang der Weiche nach Abb. 4 ist entsprechend

$$\begin{aligned} y_0 &= 0 \\ y_1 &= 0,25 a - 0,125 b \\ y_2 &= 1,00 a - 1,00 b \\ y_3 &= 2,25 a - 3,375 b \\ y_4 &= 4,00 a - 8,00 b \\ y_5 &= 6,25 a - 15,625 b \\ y_6 &= 9,00 a - 27,00 b \\ y_7 &= 12,25 a - 42,875 b \\ y_8 &= 16,00 a - 64,00 b \end{aligned}$$

worin

$$a = \frac{(2t)^2}{32r_e} \quad \text{und} \quad b = \frac{1}{16} \cdot \frac{(2t)^2}{24} \cdot \frac{r_a - r_e}{r_a r_e}$$

ist.

Für beliebige Ordinaten y_a und y_e gelten die Formeln:

$$\begin{aligned} y_a &= x^2 \frac{1}{2r_a} + x^3 \frac{1}{12t} \cdot \frac{r_a - r_e}{r_a r_e} \\ y_e &= x^2 \frac{1}{2r_e} - x^3 \frac{1}{12t} \cdot \frac{r_a - r_e}{r_a r_e} \end{aligned}$$

2. Genaue Methode.

Die folgenden Berechnungen sind hauptsächlich für den Weichenkonstrukteur wichtig; ihnen liegt die Abb. 9 zugrunde. Wenn aT und eT , wie vor, die Tangenten an den Übergangsbogen bedeuten, so bilden die Strecken $b'S$, $b'S'$, bS und bS' mit diesen Tangenten die Sperrdreiecke der vier möglichen Fälle für den Einbau einer einfachen Weiche in einen Übergangsbogen.

Die Sperrdreiecke haben die in Abb. 9 dargestellte geometrische Lage zueinander, wenn ähnlich, wie bei der einfachen Kreisbogenweiche eine geometrische Bedingung aufgestellt wird, nämlich die, daß sich die Summe der Tangentenlängen

$$12) \dots \dots \dots a\overline{T} + e\overline{T} = 2t$$

bei der Verbiegung der einfachen Weiche in die Übergangsbogenform nicht ändert.

Bei dieser Annahme ist die Verbindungslinie SS' der Scheitelpunkte der Sperrdreiecke sowohl gegen die Tangente aT , wie gegen die Tangente eT unter dem Winkel $90 - \frac{\epsilon_1}{2}$ geneigt.

Somit wird $\overline{ST} = \overline{S'T}$, woraus sich eine verhältnismäßig einfache Berechnung aller Tangenten an die Weichenbogen ergibt:

Aus Gl. 12) folgt, daß die Haupttangente aT und eT aus der Strecke ST und der Tangente t und ebenso die vier in b oder b' angelegten Tangenten aus t und je einer Seite der Dreiecke $US S'$ oder $VS S'$ berechnet werden können.

Es ist

$$13) \dots \dots \dots \overline{ST} = t - e\overline{T}$$

worin

$$e\overline{T} = \frac{57,3 \epsilon_1}{\epsilon_1}$$

ist, wenn, wie bei I, 1. die Evolvente e_1 als Kreisbogen aufgefaßt wird; ferner ist

$$14) \dots \dots \dots SS' = 2\overline{ST} \sin \frac{\epsilon_1}{2}.$$

Setzt man nach dem Sinussatz

$$15) \dots \frac{\overline{SS'}}{\sin(\alpha - \epsilon_1)} = M = \frac{\overline{SU}}{\sin\left(90 + \frac{\epsilon_1}{2}\right)} = \frac{\overline{S'U}}{\sin\left(90 + \frac{\epsilon_1}{2} - \alpha\right)}$$

und

$$16) \dots \frac{S S'}{\sin(\alpha + \varepsilon_1)} = N = \frac{\overline{S V}}{\sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2}\right)} = \frac{S' V}{\sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right)}$$

so erhält man für die einzelnen Tangentenlängen nach Abb. 9 folgende Werte [die Ziffern entsprechen den Formeln 2) bis 11)]:

$$17) \dots \left. \begin{array}{l} \overline{2} = \frac{57,3 e_1}{\varepsilon_1} \\ \overline{3} = t + \overline{S T} = 2t - \overline{2} \end{array} \right\} \text{Haupttangente} \\ \left. \begin{array}{l} \overline{4} = t + \overline{S U} = t + M \sin\left(90 + \frac{\varepsilon_1}{2}\right) \\ \overline{5} = t - \overline{S' U} = t - M \sin\left(90 + \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right) \\ \overline{6} = t - \overline{S V} = t - N \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2}\right) \end{array} \right\} \text{Fall a} \\ \left. \begin{array}{l} \overline{7} = t + \overline{S' V} = t + N \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right) \\ \overline{8} = t - \overline{S U} = t - M \sin\left(90 + \frac{\varepsilon_1}{2}\right) \\ \overline{9} = t + \overline{S' U} = t + M \sin\left(90 + \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right) \\ \overline{10} = t + \overline{S V} = t + N \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2}\right) \\ \overline{11} = t - \overline{S' V} = t - N \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right) \end{array} \right\} \text{Fall b}$$

Die Werte für M und N betragen nach Einsetzen der einzelnen Unterwerte

$$M = \frac{2 \overline{S T} \sin \frac{\varepsilon_1}{2}}{\sin(\alpha - \varepsilon_1)} = \frac{2 \sin \frac{\varepsilon_1}{2}}{\sin(\alpha - \varepsilon_1)} \left[t - \frac{57,3}{\varepsilon_1} \left(\frac{(2t)^2}{2 r_a} + \frac{(2t)^2}{6} \frac{r_a - r_e}{r_a r_e} \right) \right]$$

$$N = \frac{2 \overline{S T} \sin \frac{\varepsilon_1}{2}}{\sin(\alpha + \varepsilon_1)} = \frac{2 \sin \frac{\varepsilon_1}{2}}{\sin(\alpha + \varepsilon_1)} \left[t - \frac{57,3}{\varepsilon_1} \left(\frac{(2t)^2}{2 r_a} + \frac{(2t)^2}{6} \frac{r_a - r_e}{r_a r_e} \right) \right]$$

Es sei noch bemerkt, daß die Evolvente e_1 stets um einen geringfügigen Betrag kleiner sein muß, als der Kreisbogen, den sie in der Formel bei 13, darstellt. Sie kann aber in höherem Grade den Kreisbogen ersetzen, als das Lot durch Punkt e auf die Tangente a T, das bei sonstigen Rechnungen gewöhnlich an ihre Stelle tritt. Es erscheint daher zulässig, die mathematische Berechnung durch die getroffene Annahme zu vereinfachen, klar und übersichtlich zu gestalten, um so mehr, als die dadurch bedingten geringfügigen Fehler bei der Größe des Objektes bei der Absteckung und Spuranberechnung völlig belanglos sind.

II. Die Bogenkreuzung und doppelte Bogenkreuzungsweiche.

Die Berechnung der Verbiegung dieser Gleisbaukörper in die Übergangsbogenform ist grundsätzlich die gleiche, wie die der einfachen Bogenweichen.

In Abb. 9 sind die vier möglichen Fälle für die Einlegung einer einfachen Bogenweiche in den Übergangsbogen a e aufgezeichnet. Die Haupttangente a T und e T ergeben jedoch je mit den Tangentenzügen b'S-S'b oder b'S'-S b auch das geometrische Bild für die beiden Bogenkreuzungen oder doppelten Bogenkreuzungsweichen b'e a b und a b'e. Bei den letzteren sind lediglich zwischen b' und e einerseits und a und b andererseits oder zwischen a und b' einerseits und zwischen b und e andererseits die Gleisbogen für die Abzweigungen zu führen. Nach der Verkrümmung in die Form a e entstehen entweder die Sperrdreiecke a S b' und e S' b oder a S b und b'S'e. In Abb. 11 sind die verbogenen Stränge nach diesen beiden möglichen Lösungen durch die Bogen a O e und b O b' sowie durch b'O b und a O e dargestellt.

Bemerkenswert ist, daß die den Übergangsbogen a O e kreuzenden Bogen einander in der Form nicht gleich sind,

weil zu verschiedenen Längen die gleichen Tangentenwinkel ε_1 gehören. Während nämlich bei der Verbiegung einfacher Weichen in die Kreisbogenform sowohl beim durchgehenden wie beim ablenkenden Strang die Tangenten t erhalten bleiben, ist das bei der Verbiegung in die Übergangsformbogen nicht mehr der Fall. Es kann nur die in der Rechnung vorweggenommene Bedingung nach Gl. 12) aufgestellt werden, wonach die Summe der Haupttangente an den Übergangsbogen gleich 2 t, d. h. gleich der Länge der nicht verbogenen Weiche, stets erhalten bleibt. Die Summen der Tangente an die den Übergangsbogen kreuzenden durchgehenden Stränge werden bei dieser Annahme kleiner oder größer als 2 t, je nach dem der Übergangsbogen von rechts nach links oder von links nach rechts gekreuzt wird. Ähnlich ist es, wie aus Abb. 9 hervorgeht, bei einfachen Weichen, da diese stets als Teil einer doppelten Kreuzungsweiche aufgefaßt werden können. Diese Feststellung, zusammen mit der Bedingung nach Gl. 12) ist bei der Aufstellung von geometrischen Massen für Weichen usw. im Übergangsbogen zu beachten.

Es interessiert nun die Längen der Tangentenzüge a T e und b W b' oder a T e und b'W'b zu ermitteln, da sie für die Längen der Gleisstränge maßgebend sind.

Sie ergeben sich gemäß Abb. 10, ähnlich den Beziehungen in Abb. 9, aus den Tangente i + h, die nach den „Zusammenstellungen“ an die Stelle der Tangente t treten, und aus den Seiten der Dreiecke S W S' und S W'S'.

Es ist

$$18) \dots \dots \dots \overline{S T} = (i + h) - \frac{57,3 e_1}{\varepsilon_1} \left(\begin{array}{l} \varepsilon_1 \text{ siehe Formel 1) } \\ \varepsilon_1 \text{ siehe Formel 3) } \end{array} \right)$$

$$19) \dots \dots \dots \overline{S S'} = 2 \overline{S T} \sin \frac{\varepsilon_1}{2}$$

$$20) \dots \dots \frac{\overline{S S'}}{\sin \varepsilon_1} = P = \frac{\overline{S' W}}{\sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} + \alpha\right)} = \frac{\overline{S W}}{\sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right)}$$

damit wird (Abb. 10)

$$21) \dots \dots \left. \begin{array}{l} \overline{e T} = (i + h) - \overline{S T} \\ \overline{a T} = (i + h) + \overline{S T} \\ \overline{b W} = (i + h) + P \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right) \\ \overline{W b'} = (i + h) - P \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} + \alpha\right) \\ \overline{b' W'} = (i + h) + P \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} + \alpha\right) \\ \overline{W' b} = (i + h) - P \sin\left(90 - \frac{\varepsilon_1}{2} - \alpha\right) \end{array} \right.$$

Bei der Darstellung von Kreuzungen und doppelten Kreuzungsweichen in Plänen 1:500 oder 1:250 zeichnet man am besten die Haupttangente an den Übergangsbogen auf und trägt an diese die entsprechende Sperrdreiecke an (siehe die quadratischen Sperrdreiecke in Abb. 10 für die Kreuzung des Übergangsbogens von rechts nach links).

Die Verbiegung der ablenkenden Bogen in doppelten Kreuzungsweichen.

Bei den doppelten Kreuzungsweichen können die Mittelschienen der ablenkenden Bogen in Weichenmitte höchstens Kopf an Kopf gelegt werden. Aus diesem Grunde und wegen der konstruktiven Durchbildung der Herzstücke ist die Führung einheitlicher Bogen von Weichenanfang nach Weichenende nicht möglich. In den Regelzeichnungen sind daher symmetrische, dreimittige Bogen angeordnet, deren mittlere Teile größere Halbmesser haben, als die seitlichen, in denen die Weichenzungen liegen. Bei der Verbiegung der geraden Stränge in die Übergangsbogenform verhalten sich aber diese dreimittigen Bogen ebenso, wie die einheitlich

gekrümmten Bogen der einfachen Weichen. Bezeichnet man die Halbmesser der mittleren Bogen mit R' und die der äußeren mit R , so ergibt Abb. 8 mit Verwendung der Linien 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 1', 2', 3', 4', 5', 6', auch das Krümmungsbild für eine doppelte Kreuzungsweiche. Man beachte, daß mit Bezug auf Abb. 10 der ablenkende Bogen von a nach b' mit dem Übergangsbogen $a e$ eine Innenbogenweiche und der Bogen von b nach e mit dem Übergangsbogen $a e$ eine Außenbogenweiche ergibt.

Wie weit man bei der Verbiegung einer doppelten Kreuzungsweiche gehen kann, hängt natürlich nicht allein von dem Ergebnis einer Untersuchung nach Abb. 8 ab, sondern auch von der Art der Konstruktion der Weichenbauteile, insbesondere der Herzstücke. Dies zu bestimmen muß den Weichenkonstruktoren vorbehalten bleiben.

III. Die einfache Bogenkreuzungsweiche.

Diese Weichen haben auf jener Seite, wo keine ablenkenden Gleisstränge zu führen sind, kürzere Schenkel. Sie reichen mit Bezug auf Abb. 10 bei der Innenbogenkreuzungsweiche etwa bis zu den Punkten x und y , bei der Außenbogenkreuzungsweiche etwa bis zu den Punkten x' und y' .

Die Gleichstrangstücke $x b$ und $y e$ oder $x'a$ und $y'b'$ ergänzen also die einfachen doppelten Kreuzungsweichen derart, daß an ihre Stelle eine doppelte Kreuzungsweiche treten könnte. Wenn in einem Spurplan hierfür Platz ist, wird man aus Gründen der Einfachheit die Berechnung und Absteckung einfacher Kreuzungsweichen in diesem Sinne, wie in Abschnitt II durchführen.

Bei Raumbeschränkung müssen aber die Endpunkte der kurzen Schenkel näher ermittelt werden. Soweit die Spurplanberechnung in Frage kommt, ist es wichtig, außerdem die Tangentrichtung in diesen Punkten festzulegen und ferner, wegen Bestimmung der Längen der Gleisstränge die Berechnung der Längen der Tangenten vorzunehmen.

In Abb. 10 sind an die Punkte x' , y' , x und y Tangenten gelegt. Sie schneiden die Linie $S S'$ in den Punkten $S_{x'y}$ und $S_{x'y'}$ der Abb. 11 und bilden paarweise Sperrdreiecke mit den Kreuzungswinkeln α und den Schenkellängen $i + h_1$ (siehe die „Zusammenstellungen der geometrischen Maße“). Die Haupttangente an den Übergangsbogen $a e$ in den Punkten x' und y schneiden sich in $T_{x'y}$ und sind unter dem Winkel $\epsilon_{1x'y}$ gegeneinander geneigt. Die Bezeichnungen finden sich in Abb. 11, einem vergrößerten Ausschnitt aus Abb. 10.

Auf der Linie $S S'$ in Abb. 11 liegen die vier Scheitelpunkte S , S' , $S_{x'y}$ und $S_{x'y'}$ der vier Sperrdreiecke, deren Schenkel $i + h$ und $i + h_1$ Dreiecke einschließen, die sich leicht berechnen lassen. Die Dreiecksseiten ergeben zusammen

mit $i + h$ und $i + h_1$, die Tangentenzüge für die Innenbogenkreuzungsweiche von x bis b' und von y bis a und für die Außenbogenkreuzungsweiche von x' bis e und von y' bis b .

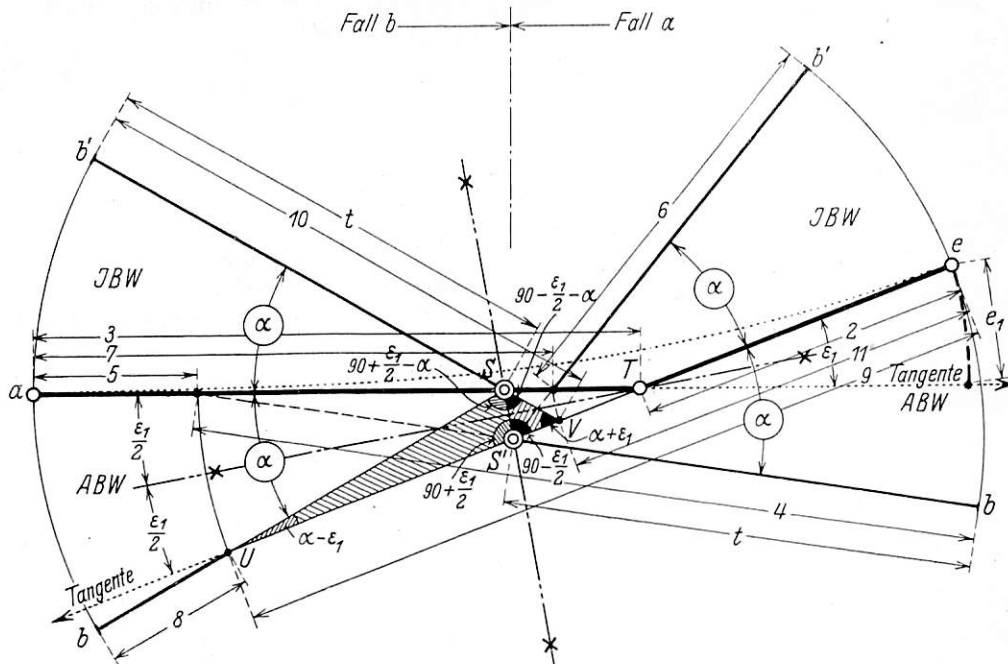


Abb. 9.

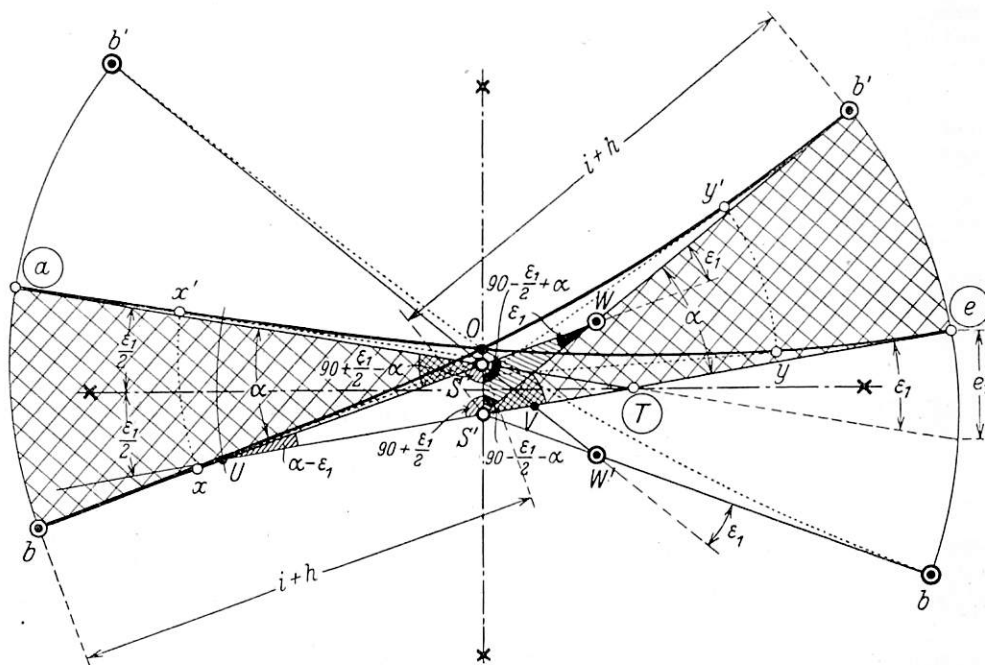


Abb. 10.

Gemäß Abb. 11 wird

für die Innenbogenkreuzungsweiche

$$\begin{cases}
 \overline{x'F} + \overline{Fb'} = ((i + h_1) + \overline{S_{x'y}F}) + ((i + h) - \overline{S'F}) \\
 \overline{yD} + \overline{Da} = ((i + h_1) - \overline{S_{x'y}D}) + ((i + h) + \overline{SD}) \\
 \text{für die Außenbogenkreuzungsweiche} \\
 \overline{x'B} + \overline{Be} = ((i + h_1) + \overline{S_{x'y}B}) + ((i + h) - \overline{S'B}) \\
 \overline{y'C} + \overline{Cb} = ((i + h_1) - \overline{S_{x'y}C}) + ((i + h) + \overline{SC})
 \end{cases}$$

Die entsprechenden Formeln für die Kreuzung des Übergangsbogens von links nach rechts lassen sich einfach aufstellen.

Die in vorstehenden Formeln vorkommenden Seiten der Dreiecke, welche nach dem Sinussatz wie bei Abschnitt II aus

$$\frac{\overline{SS'_{xy}}}{\sin \frac{1}{2}(\epsilon_{1xy} + \epsilon_1)} = Q \text{ und } \frac{\overline{S'S_{xy}}}{\sin \frac{1}{2}(\epsilon_{1xy} + \epsilon_1)} = Z$$

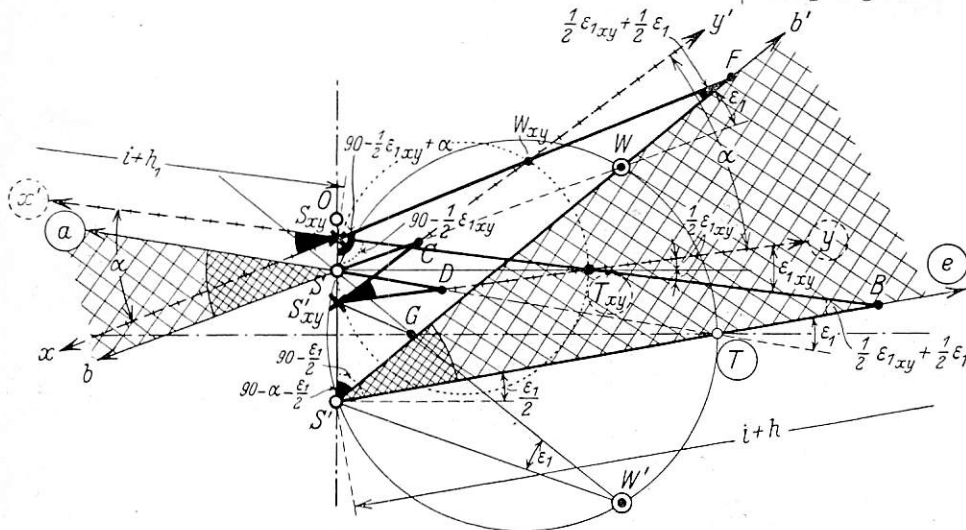


Abb. 11.

zu berechnen sind, sind in Abb. 11 stark ausgezogen. Die Winkel können aus der Abbildung abgelesen werden.

Zur Berechnung sind noch benötigt, die Grundlinien $\overline{SS'_{xy}}$ und $\overline{S'_{xy}S}$ der hervorgehobenen Dreiecke. Sie werden berechnet aus der Lage der Endpunkte der Grundlinien zum wirklichen Kreuzungspunkt O der durchgehenden Stränge, indem man einerseits berechnet

$\overline{SS'}$ nach Formel 18) und 19) für $i+h$, ϵ_1 , ϵ_1 und α , ebenso

$$\overline{S_{xy}S'_{xy}} \text{ „ } i+h_1, \epsilon_{1xy}, \epsilon_{1xy} \text{ „ } \alpha$$

und andererseits die Differenz $\overline{OS} - \overline{OS'_{xy}}$.

\overline{OS} und $\overline{OS'_{xy}}$ berechnet man schließlich als Ordinaten des Übergangsbogens a e

für die Tangente in a für die Abszisse $i+h$

und

für die Tangente in x' für die Abszisse $i+h_1$.

IV. Die Berechnung der Gleisstranglängen und der „geometrischen Maße“ für die Weichen.

Kreuzungen und Kreuzungsweichen.

In den vorausgehenden Abschnitten ist im wesentlichen beschrieben, was für die Berechnung von Spurplänen und für deren Absteckung notwendig ist, wenn die fertigen Weichen vorliegen.

Nachstehend soll entwickelt werden, wie die Weichen hinsichtlich einiger Hauptmaße, gemäß den durchgeführten Berechnungen, beschaffen sein müssen und wie die „Zusammenstellungen der geometrischen Maße“ aufgestellt werden können.

a) Die Ermittlung der Tangentenlängen an den Hauptbogen (Ausgangsübergangsbogen) und an die Nebenbogen der Weichen.

Die Tangenten an den Hauptbogen.

Wie schon erwähnt, ist es zweckmäßig, als Grundlage der Berechnungen die Bedingung nach Gl. 12), die Bedingung der Beibehaltung der Summe der Tangentenlängen $aT + eT = 2t$, für den Hauptbogen aufzustellen, weil sich daraus alle Vorteile der Erhaltung der Grundmaße der Weichen ergeben. Wollte man etwa die Stranglängen im

Hauptbogen konstant halten, so würden sich mit jeder Übergangsbogenform und für jede andere Lage der Weiche diese Grundmaße ändern, also unendlich vielfach werden.

Die mathematisch genaue Gleichung für den Hauptbogen, welche sowohl die geometrische Form des Übergangsbogens, als auch die Grundform der Weichen sowie deren Lage auf einmal, entsprechend den Konstruktionsfiguren in Abb. 2 und 3 oder 5 und 6 beschreibt, lautet:

$$23) \dots \epsilon_1 = \frac{s}{lr} 114,59164 (l_a + s) = \frac{s}{lr} 114,59164 (l_e - s).$$

Hierin ist s die halbe Stranglänge

$s = \frac{ae}{2}$ und $l_a + s$ oder $l_e - s$ die Entfernung der Weichenmitte vom Ausgangspunkt A eines Übergangsbogens.

Setzt man bei Annahme einer bestimmten Weichengrundform 2s zunächst gleich der Weichenlänge 2t, so ergibt sich nach Abb. 12:

Setzt man bei Annahme einer bestimmten Weichengrundform 2s zunächst gleich der Weichenlänge 2t, so ergibt sich nach Abb. 12:

$$T_e = \frac{y}{\sin \epsilon_1}$$

$$T_a = x - \frac{y}{\tan \epsilon_1}$$

y und x aus:

$$y = r_a - \overline{BD} - \overline{DE}$$

$$x = \sin \epsilon_1 \cdot \overline{De} = \sin \epsilon_1 (\overline{DC} + r_e)$$

$$\frac{\overline{DC}}{\sin \delta} = \frac{\overline{BC}}{\sin \epsilon_1} = \frac{\overline{BD}}{\sin (\epsilon_1 - \delta)}$$

$$\overline{BC} = r_a - r_e - \frac{(2t)^2}{24} \cdot \frac{r_a - r_e}{r_a r_e}$$

$$\delta = \frac{57,29582}{r_a} \cdot t$$

$$\overline{DE} = \cos \epsilon_1 \overline{De}$$

$$\overline{BD} = \frac{\sin (\epsilon_1 - \delta)}{\sin \epsilon_1} \cdot (\overline{BC})$$

$$\overline{DC} = \frac{\sin \delta}{\sin \epsilon_1} \cdot (\overline{BC})$$

Die Tangentensumme $T_e + T_a$ ist größer als 2t. Führt man sie auf das Maß 2t zurück, so berechnen sich die Tangenten für $t_a + t_e = 2t$ zu

$$25) \dots t_a = T_a \cdot \frac{2t}{T_a + T_e} \text{ und } t_e = T_e \cdot \frac{2t}{T_a + T_e}$$

Die Tangenten an die Nebenbogen.

Diese können nach Gl. 17), 21) und 22) berechnet werden. Bei mathematisch genauer Berechnung ist jedoch abweichend vom Wert für $\overline{SS'}$ aus Gl. 13) und 14)

$$\overline{SS'} = 2(t_a - t_e) \sin \frac{\epsilon_1}{2}$$

mit t_a und t_e nach Gl. 25) zu setzen.

In Abb. 13 ist zusammenfassend für die einfachen Weichen, Kreuzungen und doppelten Kreuzungsweichen dargestellt, wie die einzelnen Tangenten t_{ax} und t_{ex} aus der Tangente t oder $i+h$ und einer innerhalb der Kreise liegenden Strecken durch Subtraktion oder Addition gebildet werden können. Die fraglichen Strecken laufen von den

mit Kr, IBW und ABE bezeichneten Punkten nach den Punkten S und S'. Die zusammengehörigen Strecken sind durch gleiche Strichelung hervorgehoben. Ihre Berechnung erfolgt nach dem Sinussatz mit den eingeschriebenen Winkeln; sie kann bei genügend großem Maß allenfalls auch zeichnerisch durchgeführt werden.

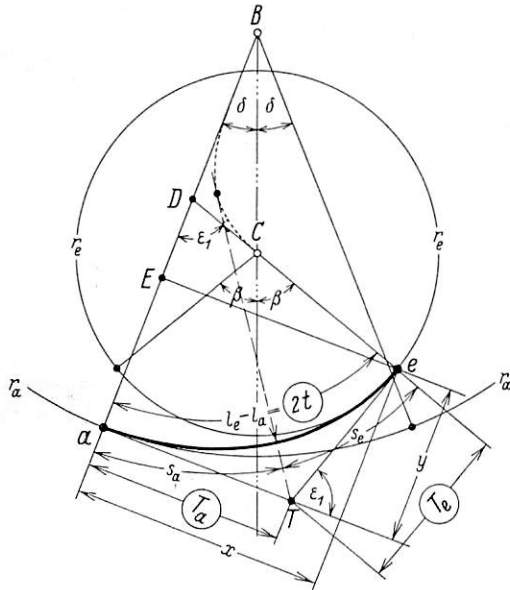


Abb. 12.

b) Die Ermittlung der Gleisstranglängen.
Der Hauptbogen.

In der Berechnung nach den Gl. 24) wurde $2s$ mit $2t$ angenommen. Für den Fall $t_a + t_e = 2t$ wird daher

$$2s = 2t \frac{2t}{T_a + T_e}$$

die Stranglänge $2s$ ist damit mathematisch genau berechnet für den Übergangsbogen $1r \frac{2t}{T_a + T_e}$ und für die Lage der Weichenmitte in

$$l_a \frac{2t}{T_a + T_e} + s.$$

Die berührenden und kreuzenden
Nebenbogen.

Aus den Gl. 17), 21) und 22) ergeben sich mit Gl. 25) die Tangentenlängen t_{a_x} und t_{e_x} an die Nebenbogen (Abb. 13). Als Tangentenwinkel kommen außer ϵ_1 , noch die Winkel $\epsilon_1 - \alpha$ und $\epsilon_1 + \alpha$ in Betracht.

Es ist daher jeweils zu diesen Größen der Übergangsbogen zu suchen, ähnlich, wie zu den Tangenten t beim Kreisbogen und bei bestimmtem Winkel φ der Halbmesser und zu diesem die Bogenlänge.

Man könnte glauben, daß das Produkt $1r \frac{2t}{T_a + T_e}$ für alle Übergangsbogen, die bei der Verbiegung von Weichen entstehen, gleich ist. Das ist jedoch nicht der Fall. Die Gl. 23) ergibt für die gleiche Übergangsbogenform bei Beachtung der Krümmungsänderungen in den Nebenbogen, gemäß Abb. 8 und bei Beibehaltung des Sperrwinkels α , stets die Stranglänge $2s$. Es ist so, wie bei der

Verbiegung der einfachen Weichen in die Kreisbogenform, wo ebenfalls bei Beibehaltung der Sperrwinkel α und bei Änderung der Bogenhalbmesser nach dem Gesetz

$$y = \frac{x^2}{2R_1} \mp \frac{x^2}{2R_2} = \frac{x^2}{2} \frac{R_2 \mp R_1}{R_1 R_2}$$

eine Verkürzung der Stranglängen nicht einträte und wo nur die Bedingung $t + t = 2t$ zur Verkürzung der Gleisstränge führt.

Es ist daher nötig, die Gleichstranglängen unter Zugrundelegung der geometrischen Beziehungen nach Abb. 13 aus den Tangenten und ihren Schnittwinkeln zu ermitteln, also vorher die Form $1r$ des Übergangsbogens zu bestimmen.

Aus Abb. 12 folgt $\delta + \beta = \varphi$, wenn φ ein dem Sperrwinkel α einer Weiche und der Lage der Weiche im Übergangsbogen angepaßt, also entweder gleich ϵ_1 , $\epsilon_1 - \alpha$ oder $\epsilon_1 + \alpha$ ist.

Nimmt man, wie bei den Gl. 24), die Stranglänge, die zu den bekannten Tangenten t_{a_x} und t_{e_x} gehört, vorerst mit $2s = t_{a_x} + t_{e_x}$ an, dann ist mit φ als Tangentenwinkel

$$26) \dots \dots \frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_e} = \frac{\varphi}{57,29582 \cdot s}$$

und ferner

$$27) \dots \frac{t_{a_x}}{t_{e_x}} = A \sim \frac{r_e + 2r_a}{r_a + 2r_e} = \frac{3l_e - 2s}{3l_e - 4s} = \frac{3l_a + 4s}{3l_a + 2s}$$

Gl. 27) leitet sich daraus ab, daß die Normale im Teilpunkt $\frac{s_a}{s_e} \sim \frac{t_{a_x}}{t_{e_x}}$ der Stranglänge $2s$ durch den Schnittpunkt der Tangenten t_{a_x} und t_{e_x} geht. A hat die Werte zwischen 2 und 1.

Die Gl. 26) und 27) ergeben bei Auflösung nach r_a und r_e

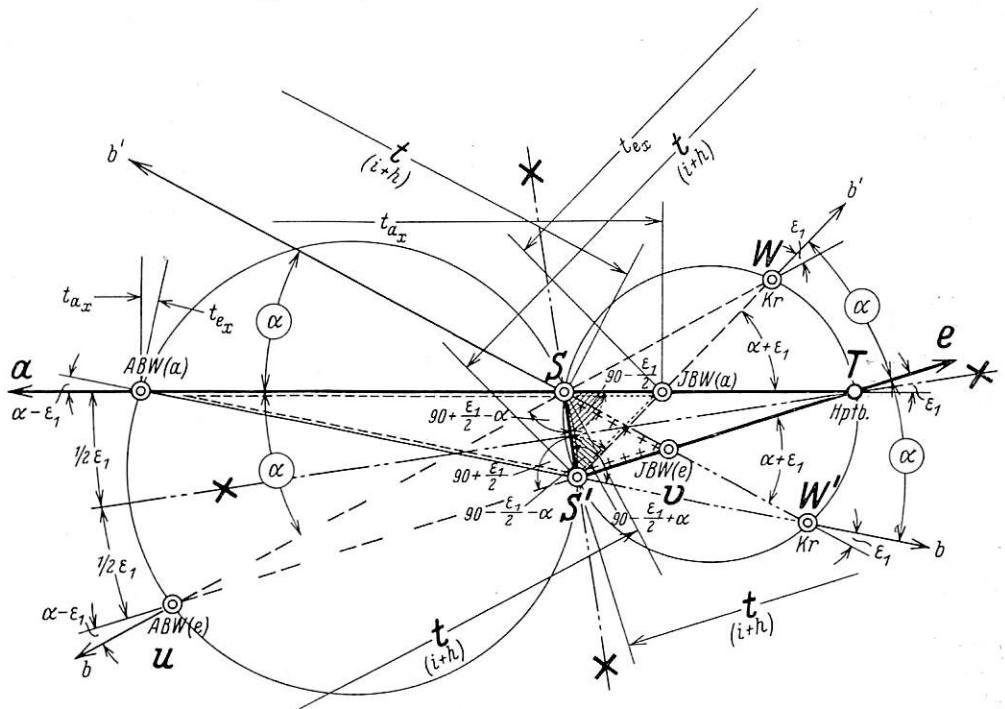


Abb. 13.

$$28) \dots \begin{cases} r_a = \frac{57,29582 \cdot s}{\varphi} \left(\frac{2-A}{2A-1} + 1 \right) \\ r_e = \frac{57,20582 \cdot s}{\varphi} \left(\frac{2-1/A}{2 \cdot \frac{1}{A} - 1} + 1 \right) \end{cases}$$

Mit diesen Werten für r_a und r_e kann die Berechnung der Stranglänge $2s$ nach den Gl. 24) durchgeführt werden. An die Stelle $2t$ tritt lediglich die Summe $t_{a_x} + t_{e_x}$; man erhält die Tangenten T_{a_x} und T_{e_x} und hieraus die Stranglängen $2s_x$ zu

$$29) \dots \dots \dots 2s_x = t_{a_x} + t_{e_x} \frac{t_{a_x} + t_{e_x}}{T_{a_x} + T_{e_x}}$$

c) Die Berechnung der Schienenlängen.

Die im Abstand der halben Spurweite zu den Gleisstrangmitten parallel laufenden äußeren und inneren Schienen der Gleisbogen sind länger oder kürzer als die Gleisstränge. Bezeichnet man die Längen der Schienen mit $2s'$ und die Halbmesser der gebogenen Schienen mit r' , so ergeben sich die Schienenlängen nach Gl. 26) aus

$$30) \dots \dots \dots 2s' = \frac{\varphi}{28,64791} \cdot \frac{r_e' r_a'}{r_e' + r_a'}$$

Hierin ist $r_e' = r_e \pm 0,75$ und $r_a' = r_a \pm 0,75$ Meter; r_e und r_a bedeuten die mathematisch genauen Endhalbmesser der Übergangsbogen in den Gleisstrangmitten.

d) Die Aufstellung der geometrischen Maße für Weichen, Kreuzungen und Kreuzungsweichen.

Alle Übergangsbogen sind sich ähnlich, wie die Kreisbogen unter sich. Wie beim Kreisbogen die Größenverhältnisse durch den Halbmesser r ausgedrückt werden, werden sie beim Übergangsbogen gemäß der Gleichung

$$l = \frac{8v^2}{r} \frac{10v}{1000} \text{ Meter für } n = 10v$$

durch das Produkt

$$31) \dots \dots \dots lr = \frac{8v^3}{100} = \text{konst}$$

gekennzeichnet.

Gleistechnisch betrachtet hat das Produkt lr , mit nach Zehnern abgestuften Geschwindigkeitszahlen von 30 bis 160 km/h, die Größen

v=km/h	30	40	50	60	70	80	90
lr	2160	5120	10000	17280	27440	40960	58320
v=km/h	100	110	120	130	140	150	160
lr	80000	106480	138240	175760	219520	270000	327680

Unabhängig von der Geschwindigkeit bestimmt jedoch jedes Produkt lr die geometrische Form eines Übergangsbogens für sich, ohne weitere Aussage darüber, wie lang dieser ist oder welchen Endhalbmesser er hat.

Die wahren Mängel des kubischen Übergangsbogens und ihre Beseitigung.

Von Heinrich Zangl, Oberrat am Eisenbahnzentralamt München.

I. In Aufsätzen, die in neuerer Zeit über den Übergangsbogen erschienen sind, ist davon die Rede, daß die kubische Parabel $y = \frac{x^3}{6rl}$, die bei der Deutschen Reichsbahn als Übergangsbogen angewendet wird, Fehler in der Gleislage zur Folge habe. Man bekommt beim Lesen dieser Aufsätze den Eindruck, als ob die Fehlerquelle der kubischen Parabel gewissermaßen angeboren und eine unvermeidliche Begleiterscheinung dieser Bogenform sei.

Eine solche Auffassung wäre aber unzutreffend. An den Fehlern, deren Auftreten man festgestellt hat, ist nicht die kubische Parabel an sich schuld, sondern die fehlerhafte Art, in der man sie absteckt.

Die Fehler verschwinden, sobald man, wie es sich gehört, den Anfang des Hauptbogens (Punkt III, Abb. 1) um

Es ist daher möglich, wie bei den Kreisbogenweichen, nur geometrische Verhältnisse bei der Aufstellung der geometrischen Maße in Betracht zu ziehen.

Der Verfasser hält es für wichtig, „Zusammenstellungen der geometrischen Maße“ auch für Weichen im Übergangsbogen herauszugeben: einerseits, um zu vermeiden, daß jede Weiche nach Maß hergestellt werden muß, andererseits, um feststellen zu können, in welchen Grenzen eine Weiche einmal in verschiedene Übergangsbogen, zum andernmal in verschiedener Lage, im gleichen Übergangsbogen, verwendet werden kann. Die Zusammenstellungen werden also der vereinfachten Herstellung in den Weichenbauanstalten nach Norm, der vereinfachten Bestellung nach Nummer und nicht zuletzt zur Beurteilung der Frage der Anders- und Wiederverwendung einer Weiche dienen.

Bis zur Herausgabe der Zusammenstellungen werden bei Bestellungen die Weichen zweckmäßig durch die Gleichung

$$\varepsilon_1 = \frac{t}{lr} 114,59164 (l_a + t)$$

beschrieben, mit Angaben darüber, ob eine Innenbogenweiche oder eine Außenbogenweiche, mit Anfang in Punkt a oder e (z. B. IBW/a, ABW/a, IBW/e, ABW/e) oder, ob die Kreuzung des Hauptbogens von rechts nach links oder umgekehrt, von Punkt a aus gesehen, in Frage kommt.

Die Gleichung für den Hauptbogen liefert daher auch das Programm für die Aufstellung der geometrischen Maße.

Man wird für Übergangsbogen, die von Punkt a aus gesehen, nach links gekrümmt sind, das Produkt lr etwa nach den oben angegebenen Zahlenwerten und die Lage $(l_a + t)$ der Weichen etwa von fünf zu fünf Meter abstufen und für jede Weichen-Grundform die geometrischen Maße ermitteln und zwar für Außen- und Innenbogenweichen je für die Spitze in Punkt a und e, und für Kreuzungen und Kreuzungsweichen je für den Fall, daß der, von a aus gesehene, nach links gekrümmte Hauptbogen, von rechts nach links, oder von links nach rechts, gekreuzt wird (z. B. KrW/rl oder KrW/lr). Für einen Übergangsbogen der von Punkt a aus gesehen nach links gekrümmt ist, ergeben sich spiegelbildliche Weichenkonstruktionen.

Bemerkt sei noch, daß die Aufstellung des Tabellenwerkes durch Herstellung von Schaukurven außerordentlich vereinfacht und zielsicher gestaltet werden kann und daß sich hierbei die Berücksichtigung der Änderung des gewählten Ausgangswertes lr in $lr \frac{2t}{T_a + T_e}$, bei den Berechnungen nach Gl. 24), von selbst ergibt.

$$1) \dots \dots \dots D = + \left\{ \frac{1}{2} - r \sin \alpha \right\}$$

oder angenähert um

$$2) \dots \dots D = + \frac{1}{4} \left\{ 1 - \frac{3}{4} \text{tg}^2 \alpha \right\} \text{tg}^2 \alpha \cong \frac{1}{4} \text{tg}^2 \alpha$$

von der durch das Maß $\frac{1}{2}$ gekennzeichneten „Mitte“ des Übergangsbogens gegen das Ende des Übergangsbogens und um

$$3) \dots \dots \dots F = 4f - r \{ 1 - \cos \alpha \}$$

oder angenähert um

$$4) \dots \dots \dots F = f \left\{ 1 + \frac{9}{4} \text{tg}^2 \alpha \right\}$$

von der Anfangsgeraden O I abbrückt.

Der Winkel α ist aus

5) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{2r}$

und f , wie bekannt, aus

6) $f = \frac{l^2}{24r}$

zu bestimmen. Die Berechnung der Absteckmaße mittels der Winkelfunktionen nach Gl. 1), 3) und 5) bietet keinerlei Schwierigkeiten. Die Absteckung des Übergangsbogenendes und des Hauptbogens erfolgt auf dem Wege O I, I III, II III IV V nach Abb. 1.

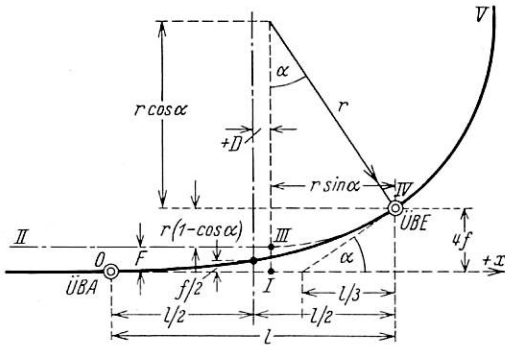


Abb. 1.

II. Wenn man die Gleichung der kubischen Parabel auf ein Achsenkreuz $\eta \xi$ bezieht, dessen Ursprung im Gegensatz zur sonst üblichen Darstellung nicht mit dem Anfangspunkt O des Übergangsbogens, sondern mit einem beliebigen anderen Bogenpunkt (Punkt II in Abb. 2) zusammenfällt, so nimmt sie die Form

7) $\eta = \frac{\xi^2}{2R} \mp \frac{\xi^3}{6rl} = \eta_0 \mp \eta_1$

an.

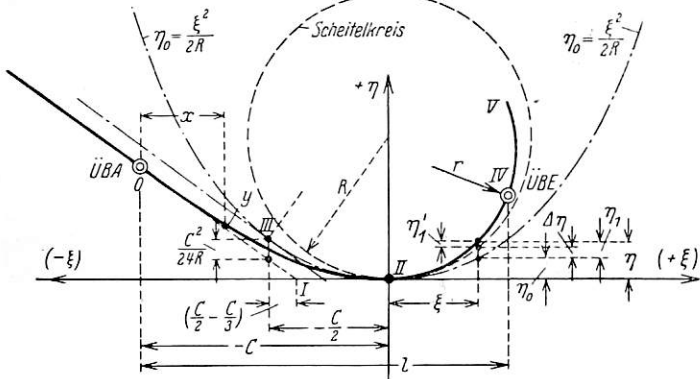


Abb. 2.

Diese Gleichung sagt aus, daß sich der Übergangsbogen in jedem beliebigen, um das Maß $(-\xi)$ vor und um das Maß $(+\xi)$ hinter dem Achsenkreuzursprung liegenden Bogenpunkte auf einer Parabel $\eta_0 = \frac{\xi^2}{2R}$ aufbaut. Der Scheitelkreis dieser Parabel ist identisch mit dem Krümmungskreis des Übergangsbogens im Ursprung des Achsenkreuzes. Beide Kreise haben den Halbmesser $R = \frac{rl}{C}$. Der in der Richtung der negativen ξ -Achse laufende Ast des Übergangsbogens verflacht sich und kommt unter die Parabel zu liegen. Der andere, in der Richtung der positiven ξ -Achse laufende Ast nimmt an Krümmung zu und verläuft über ihr. Das Maß der Verschiebung des Übergangsbogens gegen die Parabel ($\eta_1 = \mp \frac{\xi^3}{6rl}$) ist bei gleichen

Abständen beiderseits gleich und zahlenmäßig ebenso groß wie die auf den Übergangsbogen-Anfangspunkt O bezogene Ordinate der kubischen Parabel $y = \frac{x^3}{6rl}$ für $x = \xi$. Die Aufbau-
linie hat bei $\xi = -\frac{C}{2}$, also in der Mitte des Übergangsbogen-
stücks O II (Punkt III), eine zur Anfangsgeraden O I parallele
Tangente $\frac{d\eta_0}{d\xi} = -\frac{C}{2R}$ und steht dort, in der Richtung der
 η -Achse, gemessen, um $\left\{ \frac{(C/2)^2}{2R} - \left(\frac{C}{2} - \frac{C}{3} \right) \frac{C}{2R} \right\} = \frac{C^2}{24R}$ von
der Anfangsgeraden ab. Für $C=l$ wird $R=r$ und $\frac{C^2}{24R} = f$.

Aus diesen teilweise bekannten Betrachtungen läßt sich nun leicht erkennen, was in Wirklichkeit daran schuld ist, wenn man mit der althergebrachten geometrischen Darstellung der kubischen Parabel unbefriedigende Ergebnisse erzielt. Der Längenunterschied zwischen der Bogenbahn O IV und ihrer projektiven Länge hat damit nichts zu tun. Der wahre Grund liegt vielmehr ausschließlich darin, daß man die nur in gewissem Sinne kreisähnliche Parabel η_0 wie einen echten Kreis behandelt und mit dem Krümmungskreis R verwechselt hat. Denkt man sich den Ursprung des Achsenkreuzes bis an das Übergangsbogenende verschoben, so geht der Krümmungskreis in den anschließenden Hauptbogenkreis IV V über. Die Verwechslung von Parabel und Krümmungskreis führte also dazu, die in den Übergangsbogen übergreifende rückwärtige Verlängerung des Hauptbogens fälschlicherweise als Aufbau-
linie für den Übergangsbogen anzusehen. In Wirklichkeit stünde aber diese Rolle nur einer Parabel zu, die im Übergangsbogen-Endpunkt tangential an den Hauptbogen anschließt und den Hauptkreishalbmesser zum Scheitelhalbmesser hat. Der Ausgleich des Fehlers, der dadurch entstand, daß man einen Kreis an die Stelle der Parabel setzte, blieb unbeachtet. Die Folge mußte sein, daß der Übergangsbogen gegen den Hauptbogen je nach der Art der Absteckung längsverschoben, querverschoben und verdreht erscheint. Dieselben Verhältnisse treten auch im Zwischenübergangsbogen eines Korb bogens auf, nur mit dem Unterschied, daß sie dort weniger auffallen.

III. Die richtige Absteckung der Hauptmaße des kubischen Übergangsbogens ist durch die Gl. 1) bis 6) und jene seiner Zwischenpunkte durch Abszissen- und Ordinatenmessung von der Anfangsgeraden aus sichergestellt.

Die Abszissen- und Ordinatenmessung bereitet in der ersten Hälfte des Übergangsbogens keine Schwierigkeiten. In der zweiten Bogenhälfte dagegen beginnt sie umständlich zu werden, weil die Meßbasis außerhalb des Bahnkörpers und in der Regel in abschüssiges Damm- und Einschnittgelände zu liegen kommt. Es ist daher in diesem Bereich bequemer, den Übergangsbogen entweder auf der Verlängerung des Hauptkreises aufzubauen oder ihn mittels Pfeilhöhenmessung nach der Viertelsmethode herzustellen.

Die Ordinatengleichung für den Aufbau auf dem Hauptkreisbogen ist

8) $\eta_1' = \mp \frac{\xi^3}{6rl} - \Delta \eta$

worin $\Delta \eta$ das Fehlerglied darstellt, das dem Werte von η_1 nach Gl. 7) infolge Vertauschung der wirklichen Aufbau-
linie η_0 mit dem Hauptkreisbogen zugefügt werden muß.

Die Kreisgleichung lautet in unentwickelter Form $y = \frac{y^2}{2r} + \frac{\xi^2}{2r}$. Das zweite Glied rechts ist die Parabelpfeilhöhe η_0 und folglich das erste Glied rechts jenes Maß, das sie zur Kreis-
pfeilhöhe y ergänzt (Abb. 3). Da bei flachen Bogen Parabel- und Kreis-
pfeilhöhen sich nur geringfügig unter-

scheiden ($y \approx \frac{\xi^2}{2r}$) ist das Fehlerglied $\Delta \eta$ somit genau genug aus

$$9) \dots \dots \dots \Delta \eta = \frac{\eta_0^2}{2r} \quad \left(\text{für } \eta_0 = \frac{\xi^2}{2r} \right)$$

zu berechnen.

Die Anwendung der von flachen Kreisbogenstücken her bekannten Viertelmethode auf den Übergangsbogen ist in Heft 39 der Zeitschrift „Der Bahnbau“ vom Jahre 1932 („Die Schnurmessung im Übergangsbogen“) beschrieben.

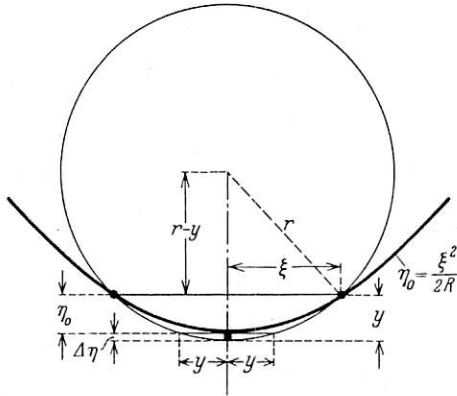


Abb. 3.

IV. Der kubischen Parabel haftet der Nachteil an, daß bei sehr langen Übergangsbogen der Längenunterschied zwischen der Bogenbahn und ihrer in der Rechnung erscheinenden projektiven Länge dann zur Geltung kommt, wenn, wie beim Ausrichten und Nachprüfen des schon bestehenden Gleises oder bei der Bogenberichtigung nach dem Verfahren von Nalenz-Höfer-Schramm nachträglich und fälschlich mit der im Gleise aufgemessenen wahren Bogenlänge gerechnet wird.

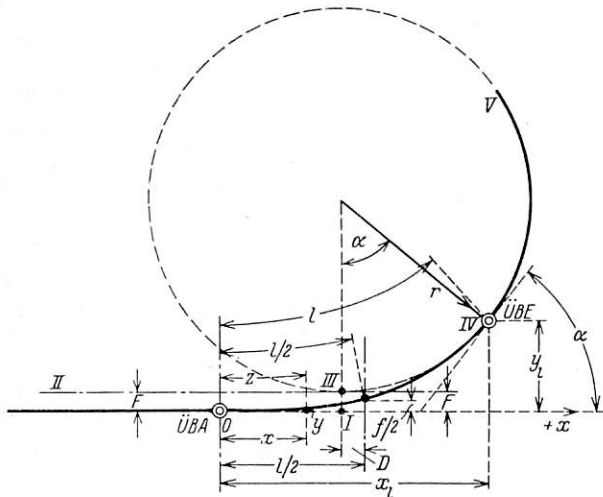


Abb. 4.

Die Gleichungen eines Bogens, der mit den Ergebnissen der beim Ausrichten, Nachprüfen und bei der Bogenberichtigung angewandten Verfahren besser im Einklang steht und den der kubischen Parabel zugrunde liegenden Gedanken einer überall gleichmäßigen Krümmungszunahme vollkommen verwirklicht (Abb. 4), lauten:

$$10) \dots x = Z \left\{ 1 - \frac{1}{40} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^2 + \frac{1}{3456} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^4 - \frac{1}{599040} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^6 + \dots \right\} \approx Z \left\{ 1 - \frac{1}{40} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^2 \right\}$$

$$11) \dots x_1 = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{640} \left(\frac{l}{r} \right)^2 + \dots \right\} \approx \frac{l}{2}$$

$$12) \dots x_1 = 1 \left\{ 1 - \frac{1}{40} \left(\frac{l}{r} \right)^2 + \frac{1}{3456} \left(\frac{l}{r} \right)^4 - \frac{1}{599040} \left(\frac{l}{r} \right)^6 + \dots \right\} \approx 1 \left\{ 1 - \frac{1}{40} \left(\frac{l}{r} \right)^2 \right\}$$

$$13) \dots y = \frac{Z^3}{6 r l} \left\{ 1 - \frac{1}{56} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^2 + \frac{1}{7040} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^4 - \frac{1}{1612800} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^6 - \dots \right\} \approx \frac{Z^3}{6 r l} \left\{ 1 - \frac{1}{56} \left(\frac{Z^2}{r l} \right)^2 \right\} \approx \frac{Z^3}{6 r l} \quad \text{zwischen den Grenzen } Z = 0 \text{ und } Z = \frac{l}{2}$$

$$14) \dots y_1 = \frac{l^2}{6 r} \left\{ 1 - \frac{1}{56} \left(\frac{l}{r} \right)^2 + \frac{1}{7040} \left(\frac{l}{r} \right)^4 - \dots \right\} \approx \frac{l^2}{6 r} \left\{ 1 - \frac{1}{56} \left(\frac{l}{r} \right)^2 \right\}$$

$$15) \dots y_1 = \frac{l^2}{48 r} \left\{ 1 - \frac{1}{876} \left(\frac{l}{r} \right)^2 + \frac{1}{1802240} \left(\frac{l}{r} \right)^4 - \frac{1}{6600000000} \left(\frac{l}{r} \right)^6 + \dots \right\} \approx \frac{l^2}{48 r} = \frac{1}{2} f$$

$$16) \dots F = \frac{l^2}{24 r} \left\{ 1 - \frac{1}{112} \left(\frac{l}{r} \right)^2 + \frac{1}{21120} \left(\frac{l}{r} \right)^4 - \frac{1}{645120} \left(\frac{l}{r} \right)^6 + \dots \right\} \approx \frac{l^2}{24 r}$$

$$17) \dots D = -\frac{1}{2} \left\{ \frac{13}{1920} \left(\frac{l}{r} \right)^2 - \frac{1}{17500} \left(\frac{l}{r} \right)^4 + \frac{1}{5970000} \left(\frac{l}{r} \right)^6 - \dots \right\} \approx -\frac{13}{1920} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{l}{r} \right)^2$$

$$18) \dots \eta_1' \approx \mp \frac{\xi^3}{6 r l} - \frac{2}{5} \cdot \left(\frac{\xi}{l} \right) \cdot \Delta \eta$$

(Buchstabenbedeutung wie in 9)

$$19) \dots p = \frac{s^2}{8 r l} C \left\{ 1 - \frac{1}{48} \left(\frac{s C}{r l} \right)^2 \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{s}{C} \right)^2 \right] + \frac{1}{5760} \left(\frac{s C}{r l} \right)^4 \left[1 + \frac{15}{32} \left(\frac{s}{C} \right)^2 + \frac{3}{256} \left(\frac{s}{C} \right)^4 \right] - \dots \right\} \approx \left(\frac{s^2}{8 r l} \right) \cdot C$$

(Pfeilhöhe im Abstand C vom Übergangsbogenanfang, gemessen über der Mitte der Sehne eines Bogenstücks von der Länge s)

$$20) \dots \alpha = \frac{1}{2r}$$

Die Gleichungen des vollkommen krümmungsgleichen Übergangsbogens führen, wie man sieht, auf die kubische Parabel zurück. Die Ausdrücke für die hauptsächlich in Betracht kommenden Absteckmaße dieses Bogens sind fett gedruckt. Sie unterscheiden sich von jenen des kubischen Bogens, von unwesentlichen Änderungen der Zahlenwerte D und η_1 abgesehen, nur dadurch, daß der Hauptkreisbogen über die Mitte des Übergangsbogens nach hinten überhängt [D = (-)] und daß ihnen nunmehr die wirkliche Bogenlänge zugrunde liegt. Die Oberbauvorschriften der Deutschen Reichsbahn werden von diesen Abweichungen nicht berührt.

Die Absteckung dieses Bogens vollzieht sich wie bei der kubischen Parabel. Man schlägt die Bogenmitte von der

Anfangstangente O I aus für $x = \frac{1}{2}$ nach Formel 15 (Abb. 4). Die Absteckung des Übergangsbogenendes und des Haupt-

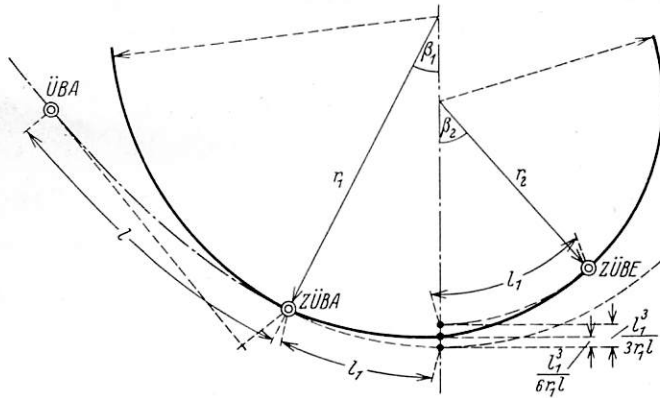


Abb. 5.

bogens erfolgt auf dem Wege O I, I III, II III IV V. Die Einschaltung von Zwischenpunkten zwischen dem Anfang und dem Ende des Übergangsbogens und der Übergangsbogenmitte geschieht entweder durch Aufbau auf der rückwärtigen Verlängerung des Hauptbogens (Formel 18) oder mittels der Viertelsmethode (Formel 19). Die Absteckung muß sehr genau vorgenommen werden. Ältere Theodolite sind hierzu untauglich, da ihre Teilkreise nicht fein genug eingeteilt sind.

Beim Aufbau eines Zwischenübergangsbogens auf den rückwärtigen Fortsetzungen der Korbbogenkreise kann das Fehlerglied $\Delta \eta$ bei beiden Bogenarten vernachlässigt werden. Die Vernachlässigung vermag dort die Stetigkeit des Bogenverlaufs nicht zu beeinträchtigen. Wegen der Gleichheit der Längen der in der Mitte des Zwischenübergangsbogens zusammenstoßenden beiderseitigen Aufbaubogen hat man aber zu beachten, daß die zugehörigen Zentriwinkel β_1 und β_2 (Abb. 5) sich umgekehrt wie die Hauptkreishalbmesser des Korbbogens, also $\beta_1 : \beta_2$ wie $r_2 : r_1$ zu verhalten haben.

Die Geometrie des Gleisbogens für hohe Geschwindigkeiten.

Von Reichsbahnrat Leisner, Nürnberg.

Gestützt auf erfolgreiche Versuche mit Schnellfahrzeugen, geht die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft nunmehr dazu über, ihre wichtigen Strecken planmäßig und in größerem Umfange für den Schnellbetrieb herzurichten.

Über die Wertung dieses hochgesteckten Zieles als öffentliches Bedürfnis bestehen kaum Zweifel; alle technischen Voraussetzungen für seine Durchführung scheinen gegeben zu sein.

Noch nicht geklärt sind die Verhältnisse in wirtschaftlicher Beziehung. Die diesbezüglichen Erfahrungen erstrecken sich nur auf wenige, dazu noch günstige Strecken, und auf einen verhältnismäßig kurzen Zeitabschnitt. Es wird aber wohl eines längeren Betriebszeitraumes bedürfen, um außer den der Berechnung immer zugänglichen Anfangsaufwendungen feststellen zu können, wie sich die laufenden Ausgaben für die Betriebsmittel, einschließlich Oberbau, unter den neuen Betriebsverhältnissen gestalten werden. Die für die Schnellfahrten neu hergestellten oder aus dem vorhandenen Park herausgezogenen Fahrzeuge werden künftig mit erheblichem Mehraufwand an Mitteln unterhalten oder jedenfalls früher ausgemustert werden müssen. In ähnlicher Weise wird beim Oberbau zu verfahren sein. Was letzteren betrifft, ist schon jetzt in Aussicht genommen, die dreijährige Wiederkehr der gründlichen Durcharbeitung in eine zweijährige umzuwandeln, ausgehend von dem Gedanken, daß die im dreijährigen Abschnitt mögliche Häufung zulässiger Fehler für hohe Geschwindigkeiten nicht mehr tragbar ist.

Die Einführung des Schnellbetriebes hat also auch rein technisch betrachtet, d. h. in Beziehung auf Materialbeanspruchung, eine starke wirtschaftliche Seite. Ein Hinweis auf diese wirtschaftliche Seite sollen die folgenden Ausführungen über das in der Überschrift umrissene Thema zugleich sein.

Gleisbogen, die nach Vermarkung, Richtung, Überhöhung, Konstruktion und im Unterbau als einwandfrei gelten, bieten dem Auge ein gutes Bild und halten auch der Prüfung durch den Meßwagen unbedingt stand. Gemessen an dem heutigen allgemeinen Zustand der Gleise sind solche Bogen in beachtlicher Zahl vorhanden. Ihnen steht aber immer noch gegenüber, eine Unzahl nur genügender und zum Teil auch ungenügender Bogen, die fast den Schluß zulassen, als seien die nicht zu beanstandenden Bogen Zufallsergebnisse der Absteckung, Verlegung oder Unterhaltung. Diese Meinung ist aber nicht ganz berechtigt, weil sich bei gewissenhafter Arbeit und bei Anwendung richtiger Absteckmethoden immer

eine befriedigende Gleislage und Gleisrichtung erzielen läßt, was allein schon die gegenwärtig rasch vorwärtsschreitende allgemeine Verbesserung des Zustandes der Gleise der Hauptlinien beweist.

Die Einführung des Schnellbetriebes drängt aber doch zur Beantwortung der Frage, ob die bisherigen Methoden für die Herstellung und Unterhaltung von Gleisbogen den erhöhten Geschwindigkeiten entsprechen und ob auch der Meßwagen, wie seither, die Prüfung eines Bogens auf seine Eignung für sehr hohe Geschwindigkeiten zuverlässig gestattet.

Die Gründe für diese Fragen sind:

1. Bisher bestanden keine Vorschriften über zulässige Abweichungen eines Bogens von der fehlerfreien Lage; wie ist daher künftig zu verfahren?

2. Können vorhandene Bogen, auch wenn sie die für Schnellfahrt bereits notwendigen Abmessungen haben, ohne weiteres für hohe Geschwindigkeiten zugelassen werden?

Aller Voraussicht nach werden Absteckfehler im Bogen, die unter dem Betrieb noch vergrößert sind, bei hohen Geschwindigkeiten auf die Betriebssicherheit und auf die Güte des Fahrens von stärkerem ungünstigen Einfluß sein, als bei kleineren Geschwindigkeiten.

Hinsichtlich der Güte der Gleisrichtung und der Güte des Materials für Fahrzeuge besteht hinsichtlich der Beanspruchung bei hohen Geschwindigkeiten eine Parallele. Man wird allgemein bei Bogen, die mit der zahlenmäßig größeren Geschwindigkeit befahren werden, von einer größeren Belastung sprechen können, als bei Bogen für eine zahlenmäßig geringere Geschwindigkeit, auch wenn sie mit der jeweils zulässigen höchsten Geschwindigkeit $v = 4,5 \sqrt{r}$ befahren werden.

Einen Beitrag zur Durchleuchtung dieses Problems zu liefern, sei das Ziel der nachstehenden Untersuchungen.

Ein mit dem Halbmesser R verlegter Bogen kann unter folgenden Bedingungen von der gleichmäßigen Krümmung $1/R$ abweichen:

Die Standsicherheit n muß an der Stelle der stärksten Krümmung $1/r$ (min) gewahrt bleiben;

die Seitenbeschleunigung p darf an der gleichen Stelle einen als zulässig erachteten Wert nicht überschreiten und

der stärksten Krümmung $1/r$ (min) muß eine schwächste Krümmung $1/R$ (max) derart entsprechen, daß die Krümmungen in Form eines als zulässig erachteten Übergangsbogens $1r = K$ ineinander übergehen.

a) Die Standsicherheit n beträgt

$$n = 127,1 \frac{(0,75 - e) r}{H (v^2 - 0,085 h r)}$$

Für $e = 0,11$, $H = 2,008$ und h (in mm) wird

1) $n = 40,5 \frac{r}{v^2 - 0,085 h r}$

n_{\max} beträgt derzeit für $v_{\max} = 4,5 \sqrt{r}$ und $h = \frac{11,8 v^2}{r} - 90$

2) $n_{\max} = 5,35$

Diese noch zulässige Standsicherheit $n = 5,35$ wird an den Stellen eines Bogens \mathfrak{R} unterschritten, wo durch die Ungenauigkeit eines Absteckverfahrens, durch Verlegefehler und durch Verdrückung des Gleises unter dem Betriebe kleinere Halbmesser als \mathfrak{R} entstehen. Setzt man daher für n einen kleineren Wert, als er der Formel $h = \frac{11,80 v^2}{r} - 90$ entspricht, als zulässig fest, so darf nach Gl. 1) r (min) höchstens betragen

3) r (min) = $\frac{v^2 n}{40,5 + 0,085 h n_{\text{zul}}}$

b) Die Seitenbeschleunigung p beträgt

$$p = \frac{v^2}{12,96 r} - \frac{h}{153}$$

Nimmt man im Gegensatz zu Gl. 3) nicht einen zulässigen Wert für n , sondern für die Seitenbeschleunigung p an, so darf r (min) höchstens werden

4) r (min) = $\frac{11,8 v^2}{153 p_{\text{zul}} + h}$

c) Standsicherheit und Seitenbeschleunigung sind voneinander abhängig. Aus Gl. 3) und 4) folgt für die vorgeschriebene Überhöhung $h = h_{\mathfrak{R}}$ bei Auflösung nach n und p

5) $n_{\max} = \frac{477,5}{153 p_{\text{zul}} - 0,003 h} \sim \frac{477,5}{153 p_{\text{zul}}}$

6) $p_{\max} = \frac{477,5}{153 n_{\text{zul}}} + \frac{0,003}{153} h \sim \frac{477,5}{153 n_{\text{zul}}}$

Hieraus ergibt sich mit großer Annäherung die sehr zweckdienliche Beziehung für die Seitenbeschleunigung und für die Standsicherheit einer Lokomotive mit $e = 0,11$ und $H = 2,008$

7) $p \cdot n = 3,125$

d) Der Übergangsbogen $lr = K$.

Wenn $1/r$ (min) die nach Gl. 3) oder 4) zulässige stärkste Krümmung im verfahrenen Gleisbogen \mathfrak{R} ist und $1/R$ (max) die zulässige schwächste, so muß die Gesamtverkrümmung des Bogens \mathfrak{R} die aus der Abb. 1 ersichtliche Form haben.

1. Die Form der Verkrümmung.

In Abb. 1 sind AB und AB' Übergangsbogen, die in A und B oder B' symmetrische Fortsetzungen haben. Für eine bestimmte Sehnenlänge S sind die Pfeilhöhen an der Stelle A größer, an der Stelle B oder B' kleiner, als die für den über A und B oder B' natürlich fortgesetzten Übergangsbogen AB oder AB' von der Form $lr = K$.

Das Produkt $lr = K$ hat für Übergangsbogenlängen $l = \frac{8 v^2}{r 1000} \cdot 10 v$ Meter den Regelwert

8) $K_{\text{Regel}} = \frac{8 v^3}{100} \text{ m}^2$

Die Größe des Produktes bestimmt die Drehbeschleunigung der Fahrzeuge um die lotrechte Achse und ferner die Zeit, in welcher die zulässige Seitenbeschleunigung p_{zul} oder die Standsicherheit n_{zul} erreicht wird.

2. Bestimmung der Länge S des Ausschnittes aus dem Übergangsbogen K_{zul} , der den Kreisbogen \mathfrak{R} zu ersetzen vermag.

Nachstehend ist statt K_{zul} immer K gesetzt. An den Enden des Übergangsbogens K treten die Halbmesser r (min) und R (max) auf.

Im Übergangsbogen K wird die Seitenbeschleunigung $p_{\mathfrak{R}}$ am Ende der Strecke

$$l_{\mathfrak{R}} = \frac{K}{\mathfrak{R}}$$

erreicht, nach dem gleichen Gesetz $p_{r(\text{min})}$ am Ende der Strecke $l_{\mathfrak{R}} + \frac{S}{2}$.

Hieraus folgt mit den Proportionen der schraffierten Dreiecke der Abb. 1 die Länge $\frac{S}{2}$ des Ausschnittes vom Übergangsbogen, von der Stelle mit $p_{\mathfrak{R}}$ bis zur Stelle mit $p_{r(\text{min})}$, zu

9) $\frac{S}{2} = K \left(\frac{\mathfrak{R} - r(\text{min})}{\mathfrak{R} r(\text{min})} \right)$

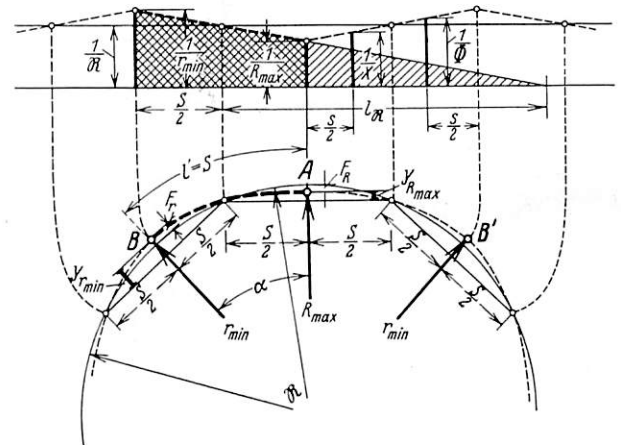


Abb. 1.

Aus Abb. 1 folgt weiter, wenn man die Bogenlänge AB mit l' bezeichnet

$$\alpha = \frac{57,3 l'}{\mathfrak{R}} \quad (\text{für } \mathfrak{R})$$

$$\alpha = \frac{114,6}{K} \frac{l'}{2} \left(\frac{1}{r(\text{min})} - \frac{1}{2} \right) = \frac{57,3}{K} l' \left(\frac{K}{r(\text{min})} - \frac{l'}{2} \right) \quad (\text{für Übg. AB})$$

Hieraus ergibt sich mit Auflösung nach l'

10) $l' = 2 K \left(\frac{\mathfrak{R} - r(\text{min})}{\mathfrak{R} r(\text{min})} \right)$

Mit Gl. 10) ergibt sich daher l' zu

$$l' = AB = \frac{S}{2} + \frac{S}{2} = S,$$

d. h. die Länge von der Stelle mit $p_{\mathfrak{R}}$ bis zur Stelle mit $p_{r(\text{min})}$ ist ebenfalls $\frac{S}{2}$. Der Halbmesser \mathfrak{R} tritt daher in der Mitte der Strecke S auf.

3. Bestimmung des kleinsten und größten zulässigen Halbmessers.

Aus Gl. 9) folgt

11) $r(\text{min}) = \frac{2 K \mathfrak{R}}{2 K + S \mathfrak{R}}$

Da, wie bewiesen, der Halbmesser \mathfrak{R} in der Mitte des Übergangsbogens $AB = AB' = S$ auftritt, wird

12) $R(\text{max}) = \frac{2 K \mathfrak{R}}{2 K - S \mathfrak{R}}$

4. Beziehung der Seitenbeschleunigung $p_{r(\text{min})}$ zur Seitenbeschleunigung $p_{R(\text{max})}$.

Allgemein ist

$$p = \frac{v^2}{12,96 r} - \frac{h}{153}$$

Bei gleichbleibender Überhöhung $h = h_{\mathfrak{R}}$ wächst $p_{r(\min)}$ auf $p_{R(\max)}$ in der Strecke S hyperbolisch an. Demnach ist mit den Beziehungen in Abb. 2 für

$$p_{\mathfrak{R}'} = A = \frac{v^2}{12,96}, \quad p_{r'} = p_{r_{zul}} + \frac{h}{153}$$

und

$$b - \frac{S}{2} = a$$

sowie

$$b + \frac{S}{2} = c$$

$$A b = p_{r'} a = p_{R'} c$$

Hieraus folgt

$$p_{R'} = p_{r'} \frac{A}{2 p_{r'} - A}$$

In Abb. 2 ist der Verlauf der Änderung der Seitenbeschleunigungen etwas verzerrt dargestellt. Man erkennt jedoch ohne weiteres, daß jede Verkürzung der Übergangsbogenlänge S , d. h. die Anwendung von Übergangsbogen mit kleinen Werten K sich im Hinblick auf sanftes Fahren schädlich auswirken muß.

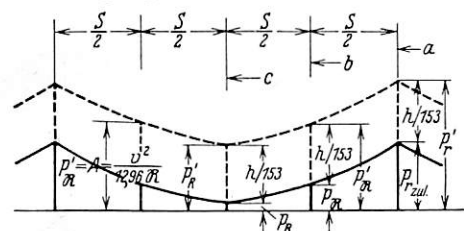


Abb. 2.

An den Stellen $r(\min)$ und $R(\max)$ entstehen Rucke, die an der Stelle $R(\max)$ stärker ausgeprägt sind und als sogenannte Schaukelbewegung in „Gleisecken“ allgemein bekannt sind.

5. Bestimmung der größten Abweichungen F_r und F_R vom fehlerfreien Bogen an den Stellen $r(\min)$ und $R(\max)$.

Mit dem Halbmesser \mathfrak{R} in der Mitte der Strecke S ergeben sich die Abweichungen F aus dem Unterschied der Pfeilhöhen (Sehne S) für den Kreisbogen und für den Übergangsbogen je an den Stellen A und B oder B' . Mit den Pfeilhöhen im Übergangsbogen nach Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1929, Heft 24, Formel 4, Seite 516 wird daher F_r

$$F_r = \frac{S^2}{8 \mathfrak{R}} - \left(\frac{\left(\frac{S^2}{2}\right)}{2 r(\min)} - \frac{\left(\frac{S^2}{2}\right)}{6} \left(\frac{\mathfrak{R} - r(\min)}{\mathfrak{R} r(\min)} \right) \right)$$

daher

$$13) \dots \dots F_r = \frac{S^2}{8 \mathfrak{R}} - \frac{S^2}{24 \mathfrak{R} K} (3 K + S \mathfrak{R})$$

Entsprechend wird

$$14) \dots \dots F_R = \frac{S^2}{8 \mathfrak{R}} - \frac{S^2}{24 \mathfrak{R} K} (3 K - S \mathfrak{R})$$

Wie der Formelbau der Gl. 13) und 14) zeigt, sind die Werte F_r und F_R einander gleich; sie unterscheiden sich nur durch das Vorzeichen. Mit Abb. 1 folgt, daß bei festgelegtem Wert für K die maximale Abweichung vom idealen Bogen \mathfrak{R} betragen kann: $2 F_r = 2 F_R$.

6. Berechnung der zulässigen Abweichungen von den Pfeilhöhen des Bogens \mathfrak{R} für eine beliebige Sehnenlänge s .

Für diesen Fall sind die Halbmesser maßgebend, die im Abstand $\frac{S}{2}$ von den Stellen $r(\min)$ und $R(\max)$ auftreten.

Bezeichnet man diese Halbmesser mit X und Φ , so ergeben sich die Differenzen aus den Pfeilhöhen für den Bogen und den Übergangsbogen K , für die Sehne s zu

$$15) \dots \dots f_r = \frac{s^2}{8 \mathfrak{R}} - \frac{s^2}{24 \Phi K} (3 K + s \Phi),$$

worin entsprechend Gl. 12) ist

$$\Phi = \frac{2 r(\min) K}{2 K - s r(\min)}$$

Ebenso wird

$$16) \dots \dots f_R = \frac{s^2}{8 \mathfrak{R}} - \frac{s^2}{24 X K} (3 K - s X),$$

worin ist

$$X = \frac{2 R(\max) K}{2 K + s R(\max)}$$

e) Beispiele:

In Abb. 3 sind die Werte für verschiedene Beispiele aufgetragen und durch Kurven zusammengezogen.

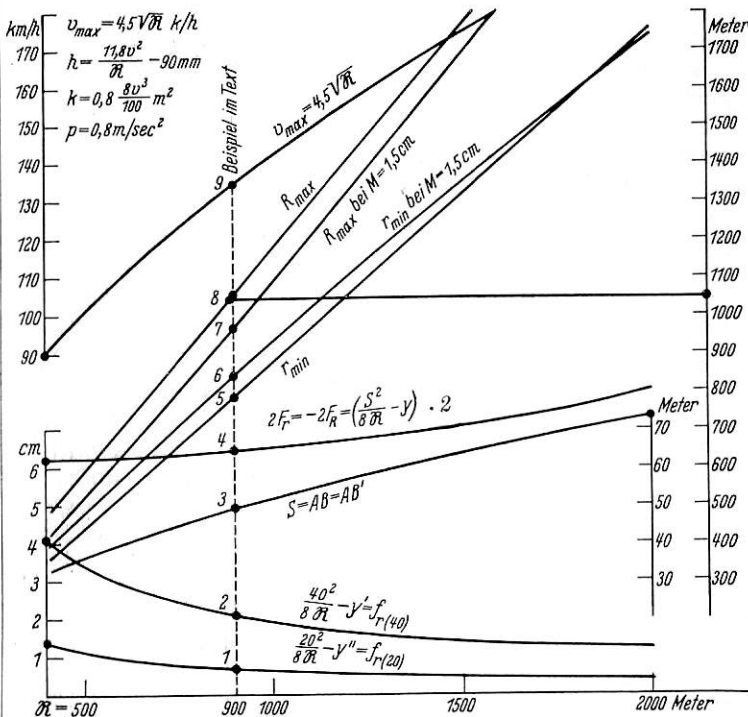


Abb. 3.

In allen Fällen beträgt:

$$v_{\max} = 4,5 \sqrt{\mathfrak{R}} \text{ km/h}$$

$$h = \frac{11,8 v^2}{\mathfrak{R}} - 90 \text{ mm}$$

$$K = 1 r = 0,8 \cdot \frac{8 v^3}{100} \text{ m}^2$$

$$p_{r_{zul}} = 0,8 \text{ m/sec}^2,$$

daher

$$n_{\max} = \frac{3,125}{0,8} = 3,905$$

und

$$v_{zul} = 4,8 \sqrt{r(\min)}$$

Aus dem Schaubild ergeben sich mit diesen Annahmen bei einem Halbmesser $\mathfrak{R} = 900 \text{ m}$ folgende Werte:

v	$= 135 \text{ km/h}$ (Schaukurve 9)
Größte Abweichung vom fehlerfreien Bogen	$2 F_r = 6,4 \text{ cm}$ („ 4)
Ausschnitt aus Übg. K	$S = 49 \text{ m}$ („ 3)
Unterschied der Pfeilhöhen für \mathfrak{R} und Übg. K	$f_r(40) = 2,1 \text{ cm}$ („ 2)
	$f_r(20) = 0,7 \text{ cm}$ („ 1)
	$r(\min) = 785 \text{ m}$ („ 5)
	$R(\max) = 1055 \text{ m}$ („ 8)

Kleinste und größte Halbmesser, berechnet aus den zulässigen Pfeilhöhenfehler $M = 1,5 \text{ cm}$ für die 40 m-Sehne

$r(\min)$	$= 845 \text{ m}$ („ 6)
$r(\max)$	$= 945 \text{ m}$ („ 7)

f) Folgerungen aus den Beispielen.

Folgende Fragen sind wichtig:

1. Welches Meßstreifenbild zeigt ein, mit den Fehlern der Beispiele behafteter Bogen?

Können unzulässige Fehler aus dem Meßstreifen erkannt werden?

Abb. 4 zeigt für die Bogen $R = 1200$ m und $R = 1600$ m ein dem Meßstreifen ähnliches Bild. Es sind für die beiden Halbmesser die im Intervall S aufeinanderfolgenden Minimal- und Maximalhalbmesser nach den Zahlenangaben in Abb. 3 aufgezeichnet. Die aneinandergereihten Übergangsbogen von der Form K , die in Abb. 4 nicht erscheinen, würden die Minimal- und Maximalhalbmesser in ihren Schnittpunkten mit der fehlerfrei verlaufenden Bogengeraden R berühren und ziemlich genau durch die Mitte des Abstandes der Halbmesserwechselpunkte von der Bogengeraden R gehen. Die Wellenlinie der Übergangsbogen K würde, auf den Maßstab des Meßstreifens zurückgeführt, um sehr geringe Beträge, rund $\frac{2}{10}$ mm, von der Bogengeraden R abweichen und beim Halbmesser $R = 1200$ m etwa alle 1 cm und beim Halbmesser $R = 1600$ m etwa alle 0,87 cm die Halbmessergerade schneiden. Die letzteren Maße sind außerdem waagrecht gemessen. Man wird daraus feststellen, daß das Bild des Meßstreifens für die beiden gewählten Beispiele, trotz der zugelassenen Fehler nach den Annahmen in Abb. 3, als gut bezeichnet werden kann.

Diese Feststellung, wonach also ein Bogen R , mit den als zulässig erachteten Abweichungen vom Soll, gute Meßstreifenbilder liefert, deckt sich durchaus mit der Erfahrung. Dies hängt z. T. damit zusammen, daß die Fehler, die bei der Absteckung und als Folge des Betriebes auftreten, etwa den angenommenen zulässigen Größen p und K entsprechen, und daß die Fehler bisher gefühlsmäßig auf ausreichende Länge ausgeglichen wurden.

Schlechte Meßstreifenbilder lassen daher ohne weiteres den Schluß auf schlechte Richtung eines Bogens R zu, nicht aber ohne weiteres auf deren Unzulässigkeit, die ihrerseits nur durch Nalenzufnahmen auf Grund von Berechnungen festgestellt werden kann.

Aus dem Gesagten folgt auch, daß die Meßstreifenbilder auch zuverlässig beurteilen lassen, ob ein Bogen für sehr hohe Geschwindigkeiten geeignet ist.

2. Kann ein Bogen nach den bisherigen Methoden auch für sehr hohe Geschwindigkeiten abgesteckt werden?

Die Frage ist zu bejahen, denn jeder, nach irgendeiner Methode entstandener Fehler kann an sich auf entsprechende Länge ausgeglichen werden. Große Pfeilhöhenfehler bedingen aber bei sehr hohen Geschwindigkeiten auch sehr große Ausgleichlängen. Wenn man daher große Fehler auch bei hohen Geschwindigkeiten zuläßt, wird das Ausgleichen da zur Hauptsache, wo die Genauigkeit von vornherein das erste Hilfsmittel zur Herstellung befriedigender Bogen sein sollte.

In den Beispielen ist vorweggenommen, daß ein Übergangsbogen mit den Ausmaßen $K = 0,8 \frac{8v^3}{100}$ Ausgleichlängen ergibt, die praktischen Erfordernissen entsprechen. Es handelt sich um Übergangsbogen, die von den Geraden in die Kreisbogen mit $h = \frac{8v^2}{R}$ und $8v$ als Rampenmaß überleiten.

Bisher galt ein Bogen dann noch mit genügender Genauigkeit abgesteckt, wenn der größte Pfeilhöhenfehler für die 40 m-Sehne nicht größer war, als $M = 1,5$ cm und auf ausreichende Länge verteilt wurde. Über die Ausgleichlängen bestanden Anweisungen nicht. Nach Schaukurve in Abb. 3 wachsen die Abweichungen von den Sollpfeilhöhen bei den

getroffenen Annahmen bei der gleichen Sehnenlänge von rund 1,2 cm auf 4,1 cm, die dazugehörigen Ausgleichlängen S betragen beim Zusammenhalt der Werte in Schaukurve 2 und 3 das 1000 bis 6200fache dieser Abweichungen. Man erkennt, daß der Ausgleich bei hohen Geschwindigkeiten auf eine verhältnismäßig viel größere Länge durchzuführen ist, als bei geringeren Geschwindigkeiten, woraus sich die Forderung ergibt, daß Bogen für hohe Geschwindigkeiten wegen der immerhin verantwortungsvollen Sache des Ausgleichens der Fehler sorgfältiger und nach den besten verfügbaren Methoden abzustecken sind.

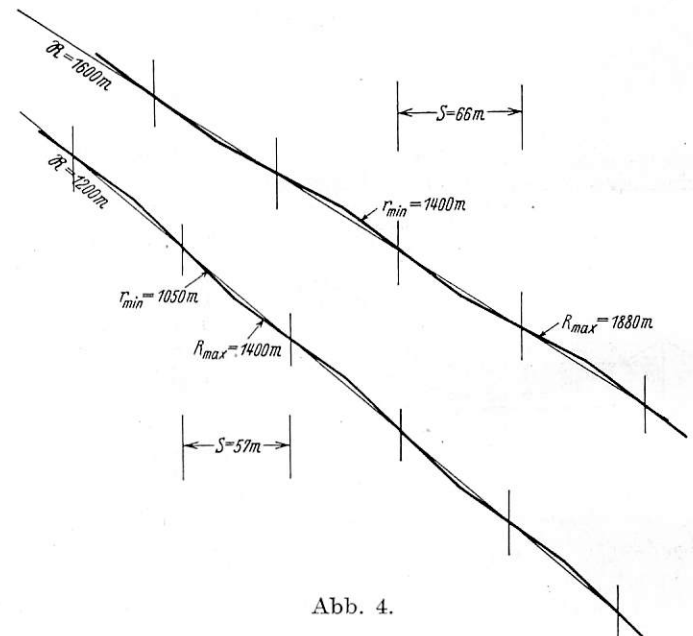


Abb. 4.

Aus den Beispielen ergibt sich für den Ausgleich von Fehlern etwa folgende Regel:

Ein Pfeilhöhenfehler ist mindestens auszugleichen bei

v_{max}	auf das xfache seiner Größe	v_{max}	auf das xfache seiner Größe
90	800	150	3100
100	1000	160	3600
110	1350	170	4200
120	1700	180	4800
130	2100	190	5450
140	2550	200	6200

Je kleiner die Pfeilhöhenfehler, desto kürzer auch die Ausgleichlängen, auch bei hohen Geschwindigkeiten, und desto besser auch das erzielte Absteckungsergebnis. Wie die Erfahrung lehrt, können mit dem optischen Pfeilhöhenmesser die Pfeilhöhenfehler M bei einiger Sorgfalt bis auf 0,3 cm gehalten werden. Es ist daher zweckmäßig, vielleicht ab der Geschwindigkeit $v = 130$ km/h, nur noch den schnurlosen Pfeilhöhenmesser für Bogenaufnahmen zuzulassen. Wenn dies berücksichtigt wird, besteht kein Zweifel darüber, daß bei der Absteckung nach dem bisherigen Verfahren, die Gleisbogen sich ohne weiteres auch für sehr hohe Geschwindigkeiten eignen.

3. Welche Ergebnisse der Untersuchungen sind für die Außendienststellen von Bedeutung?

Die Außendienststellen sind an der Genauigkeit einer Absteckungsmethode oder daran, daß die Gleisbogen auch bei sehr hohen Geschwindigkeiten gewisse Abweichungen von der Bogensollform haben dürfen, wenig interessiert. Wenn mit dem Auge grobe Mängel festgestellt werden, muß nach wie vor in der bisherigen Weise eingegriffen werden, um die Betriebssicherheit eines Gleises zu wahren. Wo die Vermarkung eines Gleises richtig durchgeführt wurde, wird dies auch bei

Bogen, die mit hoher Geschwindigkeit befahren werden, unter Zuhilfenahme der Pfeilhöhenformel $y = \frac{a b}{2 R}$ einwandfrei gelingen.

Um aber das Interesse der Außendienststellen dafür wach zu halten, daß Bogen, die mit hohen Geschwindigkeiten befahren werden, doch mit kritischeren Augen zu betrachten sind (ab 130 km/h) als andere, wird es zweckmäßig sein allgemein bekanntzugeben, bei welchen größten und kleinsten Abweichungen im Halbmesser die Betriebssicherheit in einem Bogen noch gewahrt bleibt.

- Nach den Beispielen in Abb. 3 dürfen die
 - Maximalhalbmesser rund 17%, die
 - Minimalhalbmesser rund 12,5%

vom Soll abweichen. Diese Prozentzahlen können auch in Tabellenform ausgedrückt werden.

4. Welche Aufgaben ergeben sich aus den Untersuchungen für die aufsichtführenden Stellen?

a) Es steht fest, daß man Bogen auch für hohe Geschwindigkeiten mit genügender Genauigkeit abstecken kann und Vergrößerungen der Fehler unter dem Betrieb nicht unbedingt schädlich sein müssen. Je größer indes die Geschwindigkeit ist (absolut betrachtet), desto ungünstiger wirken sich Ab-

weichungen von der fehlerfreien Lage eines Bogens auf die Betriebssicherheit und auf die Güte des Fahrens aus.

Für die aufsichtführenden Stellen erwächst daher die Pflicht, vor Zulassung hoher Geschwindigkeiten zu prüfen, ob die Gleisbogen für diese Geschwindigkeiten auch geeignet sind. Dies geschieht durch Betrachtung der Meßstreifen, oder sofern solche fehlen oder zu weit zurückliegen, durch Auswertung neuer Nalenzufnahmen nach den oben genannten Formeln. Es kann auch nötig werden, für Bogen, die mit sehr hohen Geschwindigkeiten befahren werden, wiederkehrende Untersuchungen anzuordnen, da zwischen den einzelnen Meßwagenfahrten bei den derzeitigen Gepflogenheiten immerhin Jahresfrist verstreichen kann. Es wird bei hohen Geschwindigkeiten nicht angängig sein, mit Untersuchungen erst dann einzusetzen, wenn Meldungen über schlechte Fahrt vorliegen (siehe Abschnitt f, 3).

b) In den Beispielen ist die zulässige Seitenbeschleunigung mit $p_{zul} = 0,8$ und der vermittelnde Übergangsbogen K mit $K = 0,8 \frac{8 v^3}{100}$ angenommen worden. Die Werte entsprechen

ungefähr der Genauigkeit, mit der man Bogen bisher abzustecken, zu verlegen und zu unterhalten pflegte. Es ist nötig, daß die aufsichtführende Stelle zulässige Werte noch ermittelt und sie besonders durch Versuchsfahrten auf bedingungsgemäß verlegten Gleisen bestätigt.

Einheitliche Langträgerberechnung des Eisenbahnoberbaues.

Von Ing. Dr. techn. Robert Hanke, Privatdozent an der Technischen Hochschule in Wien.

Zur Frage der einheitlichen Berechnung des Eisenbahnoberbaues sind in jüngster Zeit von Ing. Nemcsek, Dr. Saller und Dr. Janicsek sehr bedeutsame Beiträge geliefert worden*). Leider ist gerade die angestrebte Einheitlichkeit nicht erzielt worden, da die Verfasser Nemcsek und Janicsek einen grundsätzlich anderen Standpunkt einnehmen und, wie die letzten beiden Aufsätze zeigen, sich von der Beweisführung Sallers nicht überzeugen ließen. Für den weiteren Fortschritt in der Beurteilung des Tragvermögens der verschiedenen Oberbauarten im Zusammenwirken mit den verschiedenen Fahrzeugen ist aber die Einheitlichkeit der Grundanschauungen von größter Wichtigkeit.

Während Saller, wie er sich in Aufsatz (V) ausdrückt, nur mit zwei Baugliedern rechnet (Schiene und gedachte gleichmäßig tragende Unterlage) stützt sich die Rechnung von Janicsek auf drei Bauglieder (Schiene, gedachte Langschwelle und Bettung). Damit, sagt Saller, sei er der Theorie des gleichmäßig aufliegenden Langträgers viel näher und bekomme viel einfachere Beziehungen. Vielleicht ist gerade in diesen Sätzen der Grund zu suchen, warum die Verfasser der Gegenseite auf ihrem Standpunkt verharren und bis jetzt ihren eigenen Weg weiter verfolgten.

Es scheint daher nicht unangebracht, die verschiedenen Wege von dritter Seite scharf zu beleuchten, um Irrwege als

solche zu kennzeichnen und gleichzeitig die am richtigen Weg anzustrebenden Ziele wieder ein Stück weiter zu stecken.

Das Wesentliche aller Vorschläge besteht darin, die Querschelle durch eine gedachte Längsunterstützung zu ersetzen, die in ihrer Wirkung auf die Schienen der Wirkung der tatsächlich vorhandenen Querschwellen gleichkommt und diesen gedachten Langschwellenoberbau nunmehr viel einfacher berechnen zu können.

Saller setzt mit Berufung auf Timoschenko in dem Grundwert des Langschwellenoberbaues

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 E J}{C b}} \dots \dots \dots \text{Gl. 1)}$$

für $C b$ den Ausdruck $\frac{D}{l}$, wobei nach Diehl die Steifigkeitszahl

$$D = 2 C b_1 \ddot{u} \dots \dots \dots \text{Gl. 2)}$$

ist. Dabei bedeuten

- E = die Elastizitätszahl des Schienenbaustoffes,
- J = das Trägheitsmoment der Schiene,
- C = die Bettungsziffer,
- b = die Breite des gedachten Langträgers,
- b_1 = die Breite der Querschelle,
- l = die Querschwellenentfernung,
- \ddot{u} = den Überstand der Querschwellenenden über Schienenmitte.

Saller sagt in dem grundlegenden Aufsatz (II), daß Timoschenko die Einführung

$$C b = \frac{D}{l} \dots \dots \dots \text{Gl. 3)}$$

auf streng wissenschaftlicher Grundlage machte; er sagt aber nicht ausdrücklich, wie Timoschenko den Beweis für die Zulässigkeit dieser Gleichsetzung geführt hat. In folgendem soll der Versuch einer Deutung dieser Gleichung unternommen werden.

Setzt man Gleichung 3) mit Benützung der Gleichung 2) in Gleichung 1) ein, so erhält man

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 E J l}{2 C b_1 \ddot{u}}} = \sqrt[4]{\frac{2 E J l}{C b_1 \ddot{u}}} \dots \dots \dots \text{Gl. 4)}$$

*) I. Nemcsek, Zur Frage der Oberbauberechnung. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1930, Heft 5.
 II. Saller, Einheitliche Berechnung des Eisenbahnoberbaues. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 1.
 III. Janicsek, Zur Frage der einheitlichen Berechnung des Eisenbahnoberbaues. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, Heft 9.
 IV. Saller, Einheitliche Berechnung des Eisenbahnoberbaues. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, Heft 9.
 V. Saller, Zur Frage der einheitlichen Berechnung des Eisenbahnoberbaues. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, Heft 20.
 VI. Nemesdy-Nemcsek, Prüfung von Oberbauberechnungsverfahren an Hand von Spannungsmessungen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Heft 11.
 VII. Jaky-Janicsek, Zur Frage der einheitlichen Berechnung des Eisenbahnoberbaues. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Heft 11.

oder

$$b = b_1 \frac{2 \ddot{u}}{1} \dots \dots \dots \text{Gl. 5)}$$

Das heißt, die Breite des gedachten Langträgers ist gleich der tatsächlichen Querschwellenbreite im Verhältnis $\frac{2 \ddot{u}}{1}$ verbreitert.

Die Wirkung der wirklichen Querschwellen soll mithin die gleiche sein, wie die gemäß Abb. 1 in die Richtung der Schienen gedrehten und auf b verbreiterten Schwellenstücke a_1, a_2, a_3 usw., die genau aneinanderschließen gemäß Gleichung 5)

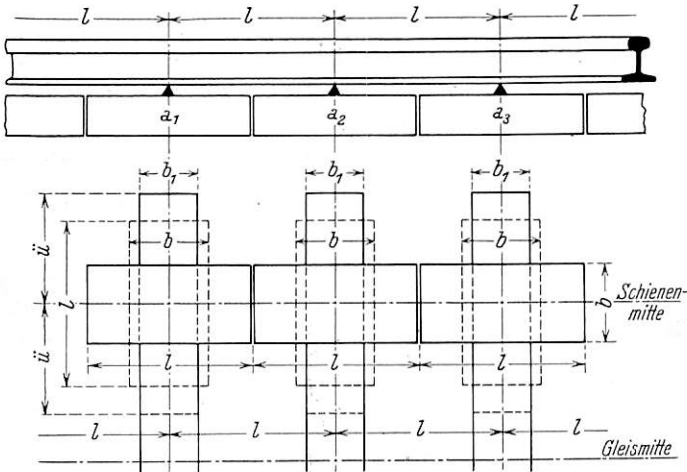


Abb. 1. Punktförmige Stützung der Schiene auf gedreht gedachten Schwellenstücken.

$b \cdot l = b_1 \cdot 2 \ddot{u}$. Auf diesen gedreht gedachten Schwellenstücken liegt nun die Schiene punktförmig gestützt auf. Beachtet man die Trennungsfugen zwischen den Schwellenstücken a_1, a_2, a_3 usw. nicht, so kann die Meinung aufkommen, daß die gedachte Langschwelle mit ihrer Steifigkeit zum Tragvermögen der Schiene einen Beitrag liefert. Zuzufolge der Trennungsfugen können die Langschwellestücke aber nur Druck übertragen, jedoch als Langträger keine Biegemomente aufnehmen. Ihre Wirkung bliebe also die gleiche, wenn sie ganz dünn und starr würden, wie Abb. 2 veranschaulicht, wenn nur die Bedingung erfüllt ist, daß die Senkung am Schienenaufleger in beiden Fällen dieselbe ist.



Abb. 2. Punktförmige Stützung der Schiene auf ganz dünnen und starren Schwellenstücken.

Die Benützung der Gleichung 1) setzt jedoch voraus, daß die Stützung gemäß Abb. 3 erfolge, nämlich nicht Punktlagerung der Schiene sondern gleichmäßige Lagerung auf dem Schotterbett mit einem verbreitert gedachten Schienenfuß von der Breite b . (Die Verbreiterung ist unendlich dünn gedacht, sie liefert zum Trägheitsmoment der Schiene keinen Betrag; $J' = 0$.)

In Wirklichkeit ist die Lagerung der Schiene weder durch Abb. 3 noch durch Abb. 1 vollkommen erfaßt, da die tatsächliche Lagerung ein Mittelding zwischen beiden ist (Abb. 4). Die Schiene liegt auf die Breite der Unterlegplatte b_2 auf den Schwellen auf, es ist also weder Punktlagerung noch gleichmäßig durchlaufende Unterstützung vorhanden.

Ein Vergleich der Abb. 2 und 3 zeigt, daß die Berechnung nach Gleichung 1) etwas zu günstige Beanspruchungswerte

ergeben muß, die sich aber um so mehr den tatsächlichen nähern werden, je kleiner die Schwellenentfernung ist, nämlich in dem Maße, als die Durchbiegung der Schiene zwischen zwei Querschwellen gegenüber der Gesamtdurchbiegung zufolge der Nachgiebigkeit der Bettung zurücktritt. Es ist daher verständlich, daß zuerst die Amerikaner mit ihren Gleisen, in denen kleine Schwellenabstände vorherrschen, auf diese Berechnungsweise gekommen sind.

Ein Vergleich der Abb. 2 und 4 zeigt, daß die gemäß vorigem Absatz zu günstigen Beanspruchungswerte der Rechnung nunmehr zufolge der Einspannung der Schiene auf

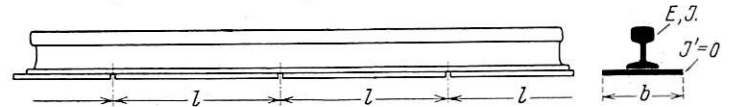


Abb. 3. Gleichförmige Stützung der Schiene auf verbreitert gedachtem Fuße.

der Unterlegplatte in der entgegengesetzten Richtung beeinflußt werden und zwar, wie die Versuchsmessungen zu zeigen scheinen, in ausschlaggebendem Maße, so daß die Meßergebnisse kleinere Spannungen zeigen als die Rechnung ergibt. Saller nennt diesen Einfluß in Aufsatz (V) „einen Steifigkeitszuwachs des ganzen Tragwerks“, er ist rechnerisch natürlich zunächst vollkommen unfaßbar und könnte nur durch versuchsmäßig bestimmte Beiwerte in die Rechnung eingeführt werden. Mit dem Trägheitsmoment des Schwellenquerschnittes hat er unmittelbar nichts zu tun; mittelbar nur insofern, als stärkere Querschwellen ihrer Verdrehung bei der Schienendurchbiegung einen größeren Widerstand entgegensetzen und daher besser einspannend und demzufolge spannungsvermindernd wirken werden.

In vorstehendem wurde versucht zu zeigen, daß bei Ermittlung von L nach Gleichung 4) das Trägheitsmoment der Querschwelle keinen unmittelbaren Einfluß haben kann.

Da nun der erfahrene Oberbaupraktiker aber weiß, daß die Schwellen sehr wohl einen bedeutenden Einfluß auf die Schienenbeanspruchung haben, so mag dies z. T. mit Anlaß gewesen sein, daß zuerst Ing. Nemcsek in Aufsatz (I) zunächst ohne Herleitung eine Formel aufstellte, in der das Trägheitsmoment der Querschwelle berücksichtigt erscheint. Saller hat in seiner Arbeit von 1932 (Aufsatz II) bereits festgestellt,

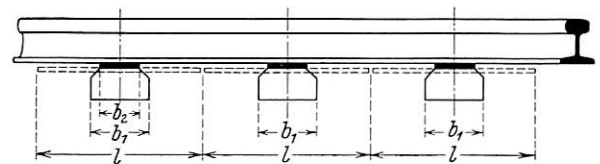


Abb. 4. Stützung der Schiene auf Unterlegplatten und Querschwellen.

daß bei Aufstellung dieser Gleichung ein grundsätzlicher Fehler unterlaufen ist. Dr. Janicsek sucht nun in Aufsatz III eine theoretische Begründung für die Formel

$$L_0 = \sqrt[4]{\frac{4(EJ_1 + E_1 J_1 s_1)}{D}} \dots \dots \text{Gl. 6)}$$

zu geben, welche die Ausmaße der Querschwelle (das Trägheitsmoment J_1 , die Elastizitätszahl des Baustoffes E_1 und s_1 ein mit der Schwellenlänge zusammenhängender Wert) berücksichtigen soll.

Janicsek teilt bei der Herleitung der elastischen Linie des aus zwei Baugliedern bestehenden Trägers das zu übertragende Moment M auf die Schiene (M_1) und die stellvertretende Langschwelle (M_2) auf. Darin liegt nun der Fehler, denn Gleichung (23) des Aufsatzes III (Org. Fortschr. Eisen-

bahnwes. 1933, S. 181) setzt voraus, daß eine Schwelle mit dem Trägheitsmoment J_{01} die Schiene durchlaufend und unbegrenzt unterstützt, was aber nicht der Fall ist, weil die gedreht gedachten Querschwellenstücke für die flüchtige Betrachtung wohl eine durchlaufende Unterstüzung gemäß Abb. 1 bilden, in Wirklichkeit aber nicht zusammenhängen und an den Trennungsfugen ebenso wie die wirklichen Querschwellen keine Biegemomente übertragen können.

Die Betrachtung von Grenzfällen beweist sofort die Richtigkeit dieser Überlegung.

Setzt man nämlich in Gleichung 28) und 29) III, S. 182 die Werte von 27) und 26) ein, so erhält man das auf die Schiene wirkende Biegemoment

$$M_1 = \frac{P}{4} \frac{E J}{E J + \frac{E_1 J_1 s_1}{l}} \sqrt[4]{\frac{4 (E J l + E_1 J_1 s_1)}{D}}$$

Diese Gleichung gibt umgeformt:

$$M_1 = \frac{P E J l}{4 (E J l + E_1 J_1 s_1)} \sqrt[4]{\frac{4 (E J l + E_1 J_1 s_1)}{D}}$$

und schließlich

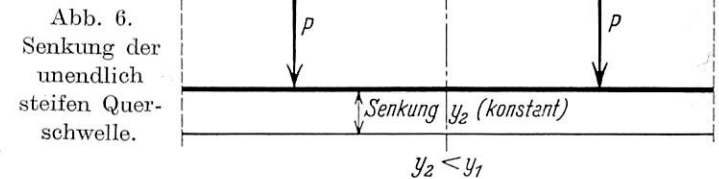
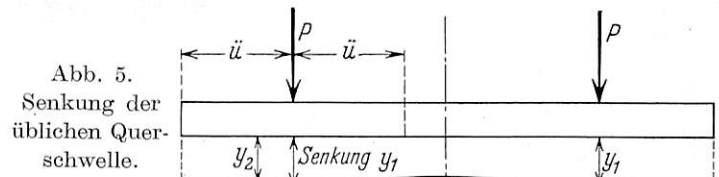
$$M_1 = P E J l \sqrt[4]{\frac{1}{64 D (E J l + E_1 J_1 s_1)^3}}$$

Bringt man nun die Steifigkeit der Querschwelle zum Wachsen, indem man entweder E_1 oder J_1 größer und schließlich unendlich werden läßt, so wird $M_1 = 0$. Das heißt, die Schiene würde bei unendlich steifen Querschwellen überhaupt nicht beansprucht werden. Das wäre nun wohl richtig für eine wirkliche, unendlich steife Langschwelle, denn eine solche würde sich überhaupt nicht durchbiegen und auch nicht senken und daher wäre auch keine Biegebeanspruchung der Schiene möglich. Dieses Ergebnis ist aber offensichtlich unrichtig für die Querschwellenunterstützung, denn eine unendlich steife Querschwelle würde lediglich zur Folge haben, daß die Senkung der Querschwelle am Lastort etwas geringer wird, weil ihre Biegelinie anstatt gemäß Abb. 5 nach Abb. 6 verlaufen würde ($y_2 < y_1$). Tatsächlich würde sich die Vergrößerung der Steifigkeit der Querschwelle also lediglich dahin ausdrücken, daß in dem Ausdruck für D statt $2 \ddot{u}$ etwa s zu setzen wäre, da nunmehr sämtliche Teile der Querschwelle gleichmäßig zur Druckübertragung herangezogen würden. Man sieht, daß bei Schwellenlängen von 2,50 bis 2,70 m selbst eine Steigerung der Steifigkeit auf unendlich die Senkung der Schwelle nur wenig (im Verhältnis von $2 \ddot{u}$ zu s) beeinflußt werden kann, daher dementsprechend auch die Beanspruchung der Schiene.

Auf Grund dieser Überlegung erscheint aber auch klar, daß der von Diehl angegebene einfache Wert für D reichlich genau genug ist, um so mehr als Janicsek in seiner Arbeit die geringen Abweichungen von den strengen Werten für übliche Schwellenlängen 2,50 bis 2,70 m aufgezeigt hat. Daß bei Schwellenlängen von 2,20 m die Abweichungen größer sind, spielt keine ausschlaggebende Rolle, denn so kurze Schwellen werden wegen der Gefahr des „Reitens“ in Schwellenmitte wenig oder gar nicht unterstopft, so daß für diese Schwellen die Zimmermannschen Werte, die gleichmäßige Lagerung voraussetzen, nicht mehr gelten und daher auch hier der Diehlsche Wert der Wirklichkeit am nächsten kommen mag. Und wenn tatsächlich die Diehlsche Berechnung etwas zu große Beanspruchungswerte ergeben würde, so wäre dies in Anbetracht der durch die ungleichmäßige Stopfung bedingte größere Unsicherheit der Rechnung nur gerechtfertigt.

Größere Schwellenlängen als 2,70 m kommen praktisch nicht vor und werden auch kaum jemals in Frage kommen. Für alle Fälle sei aber hier festgestellt, daß dann die Abweichungen der Wirklichkeit von der Diehlschen Formel

schon bedeutend würden, weil von einer gewissen Schwellenlänge an jede Vergrößerung der Schwellenlänge immer nutzloser wird (Abb. 7), während nach Diehl mit wachsendem \ddot{u} immer größere Lagerflächen in die Rechnung einzuführen wären, die in Wirklichkeit nicht wirksam vorhanden sind*).



Was nun die neueren Untersuchungen von Janicsek in Aufsatz VII anlangt, so kann festgestellt werden, daß auch diesen Untersuchungen die Momententeilung zwischen Schiene und stellvertretender Langschwelle zugrunde gelegt worden ist, so daß mit wachsender Steifigkeitszahl k die Schienenbeanspruchung

$$\sigma = \frac{M}{(1 + k) \cdot W}$$

immer kleiner und schließlich bei $k = \infty$ gleich Null wird, also zum gleichen unhaltbaren Ergebnis führt, wie früher abgeleitet wurde.

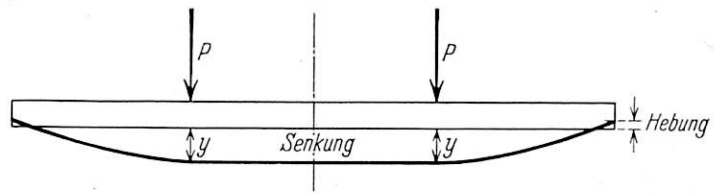


Abb. 7. Senkung der außergewöhnlich langen Querschwelle.

Aus der Steifigkeitszahl k nach Janicsek

$$k = \frac{E_1 J_1 s_1}{E J l}$$

könnte aber auch noch folgender Schluß gezogen werden: da k unverändert bleibt, wenn bei Vergrößerung des Schwellenabstandes l auch gleichzeitig die Steifigkeit der Querschwelle (J_1 oder E_1) erhöht wird, so würde das heißen, daß jeder Vergrößerung des Schwellenabstandes durch Erhöhung der Steifigkeit der Querschwellen entgegengewirkt werden kann; diesem Schluß wird wohl kein Praktiker zustimmen.

Es ist somit nachgewiesen, daß die Art der Einbeziehung des Trägheitsmomentes und der Elastizitätszahl des Baustoffes der Querschwelle in die Formel für L zur Berechnung der Schienenspannung, der Senkung und des Bettungsdruckes nach dem Vorschlag von Nemsek-Janicsek theoretisch nicht gerechtfertigt erscheint und auch der tatsächlich vorhandene unmittelbare Einfluß des Trägheitsmomentes der Querschwelle auf D und somit mittelbar auf L und damit auf die Berechnung der Schienenspannung, die Senkung und den Bettungsdruck nur gering ist, so daß mit Rücksicht auf die übrigen Ungenauigkeiten des Rechnungsverfahrens die Diehl-Saller-Timoschenkosche Fassung der Beanspruchungs-

* Siehe auch Hanker, Über die Länge der Querschwellen von Hauptbahnen. Verkehrstechn. Woche 1925, S. 829.

berechnung zunächst vollauf genügt. Dies um so mehr, als auch hinsichtlich der zu verwendenden Bettungsziffer C noch große Unklarheit besteht.

Bei den geringen Abweichungen der Steifigkeiten der üblichen Querschwellen und der engen Grenzen der Schwellenabstände für schwere Oberbauarten würde natürlich auch die Formel von Nemcsek-Janicssek eine brauchbare Vergleichsebene abgeben, denn tatsächliche Beanspruchungen der Schiene zu errechnen wird weder die eine noch die andere Formel ermöglichen; zur Wahrung der Einheitlichkeit in der Berechnung des Eisenbahnoberbaues wäre es aber wünschenswert, die Formel von Saller überall zu verwenden. Nur zur Förderung der Einheitlichkeit sind vorstehende Zeilen geschrieben worden. Schließlich sei noch daran erinnert, daß selbst die Grundformeln auf nicht zutreffenden Voraussetzungen aufgebaut sind; die Bettung sollte danach auch negative Auflagerdrücke zu leisten imstande sein, was natürlich nicht der Fall ist; der Oberbau ist gewichtslos angenommen und nur die Tatsache, daß er in Wirklichkeit ein

$$M = z \cdot \left[\frac{P_0 L}{4} - \frac{P_1 (3,75 L - a) + P_2 (3,75 L - b) + P_3 (3,75 L - c) + \dots}{42} \right] \dots \dots \dots \text{Gl. I)}$$

wobei

$$L = \sqrt[4]{\frac{2 E J I}{C b_1 \ddot{u}}} \dots \dots \dots \text{Gl. II)}$$

zu setzen ist. Alle Lasten links und rechts von P₀ (P₁, P₂, P₃ usw.), die sich innerhalb eines Abstandes von 3,75 L befinden, verkleinern das Moment M der Last P₀ und sind gemäß Gleichung I) und Abb. 8 in die Rechnung einzuführen. Der runde und leicht zu merkende Wert 3,75 L ist vollkommen genau genug und sollte für alle Fälle beibehalten werden, auch

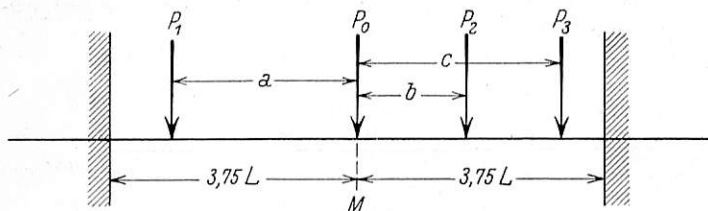


Abb. 8. Maßgebende Lastgruppe für die Momentenbildung bei P₀.

wenn in Sonderfällen, wie Saller ausführt, die Ausgleichgerade der Momentenkurve noch genauer angeschmiegt werden könnte; auch etwa ganz ausnahmsweise vorkommende Fahrzeuge mit kleineren Achsständen, für welche die Formel dann etwas zu kleine Vergleichszahlen ergeben würde, sollte die Einheitlichkeit zunächst nicht stören und unberücksichtigt bleiben.

Der Wert z wird vorerst am besten mit Eins angesetzt werden, obwohl nach den bisher vorliegenden Versuchen zu schließen ist, daß er etwas zu große Spannungswerte ergibt. Für Vergleichszwecke ist es zunächst belanglos, wie groß der absolute Wert der Spannung sich ergibt, wenn durch die Rechnung nur die relative „Wertigkeit“ jeder Achslast richtig erfaßt wird.

Daß die von Nemcsek-Janicssek angegebenen Formeln bessere Übereinstimmung mit den Versuchswerten zeigen, sagt noch nicht, daß sie die Wirklichkeit besser zu erfassen imstande sind. Man brauchte nur den Versuch zu machen, die Schiene statt auf einer Unterlegplatte wirklich punktförmig zu lagern, ihr also eine Lagerung zu geben, die mit der Einführung des Trägheitsmomentes des Schwellenquerschnittes in die Gleichung gar nichts zu tun hat. Man würde dann sofort sehen, wie die Nemcsek-Janicssekschen Formelwerte von den gemessenen sich nach der anderen Richtung entfernen. Ob sich später etwa in den Wert z die Schwellenform (es muß nicht gerade nur das Trägheitsmoment sein) wird einfügen lassen, müßten Versuche erst zeigen.

Gewicht hat, vermag die fehlenden negativen Auflagerdrücke der Bettung wieder teilweise zu ersetzen. Wenn man sich dies alles vor Augen hält, wird man zur Überzeugung kommen, daß nur wirklich einfache Formeln in der Ausübung zu Vergleichsrechnungen herangezogen werden sollten, was natürlich nicht ausschließt, daß von Zeit zu Zeit im Schrifttum immer wieder die Grundlagen erörtert und dabei auch verwickelte Rechnungen angestellt werden, um weiter fortzuschreiten, neue, noch bessere, einfache Formeln zu finden und die Grenzen ihres Verwendungsbereiches neu abzustecken.

Auf Grund vorstehender Überlegungen wird vorgeschlagen, die Formel von Saller gemäß Aufsatz II einheitlich zu übernehmen, und zwar in Hinblick auf die Zahl der Mitarbeiter, die schließlich zu ihr geführt haben, ohne besondere Namensnennung (um für diesen Fall alles Trennende, das in der Persönlichkeit wurzelt, auszuschalten) als:

Langträgerberechnung des Querschwellenoberbaues*). Das von der Schiene zu übernehmende Moment am Lastort P₀ ist

Zusammenfassend kann mithin festgestellt werden, daß bei nicht zu großer Schwellenteilung die Gleichungen I) und II) das Wesentliche der Schienenbeanspruchung in ausgezeichneter einfacher Weise erfassen und damit grundlegend für die Beurteilung der Beanspruchung des Gleises durch ganze Fahrzeuge werden können. Wenn man bis jetzt immer nur von einem Oberbau für einen bestimmten Achsdruck gesprochen hat, wird man künftig die „Wertigkeit“ der einzelnen Achsen,

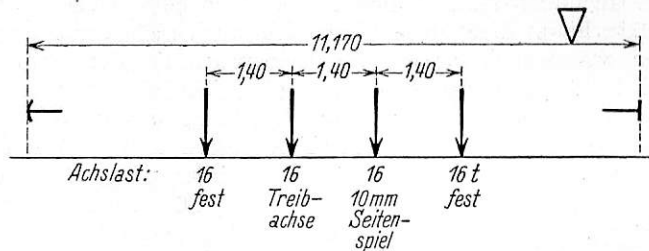


Abb. 9. Lastfolge der Verschiebelokomotive Reihe 478 der Österreichischen Bundesbahnen.

die nicht nur von ihrem lotrechten Gewicht abhängt, besser berücksichtigen können.

Die „Wertigkeit erster Art“, ihre Stellung zu den anderen Achsen, ist durch die Langträgerberechnung nunmehr gelöst und somit der Weg frei gemacht für die Berücksichtigung der „Wertigkeit zweiter Art“: die waagerechten Kräfte, mit denen die Achsen in ganz verschiedenem Ausmaß die Schienen beanspruchen.

Im letzten Jahrzehnt hat eine Reihe von Forschern die zwischen Fahrzeug und Gleis wirkenden waagerechten Führungskräfte zu ergründen gesucht; deren Forschungsergebnisse für die Gleisberechnung nutzbar zu machen, insbesondere im Sinne einer Vereinfachung der Handhabung wird nun die nächste Aufgabe sein. Es wird dann nicht mehr vorkommen, daß sämtliche Achsen einer D- oder E-Lokomotive lediglich mit ihrem lotrechten Gewicht in ihrer Wirkung auf das Gleis in Betracht gezogen werden. Die Erfahrung hat gezeigt, wie zerstörend solche Lokomotiven wie z. B. die Reihe 478 der Österreichischen Bundesbahnen (Abb. 9) mit ihren zu schweren führenden Achsen, die überdies noch

*) Der Vorschlag Nemcsek, die neue Berechnungsart das „Verfahren der Momententeilung“ zu nennen, ist wie gezeigt wurde, theoretisch unhaltbar und der Vorschlag Janicssek sie „Die Berechnung des stellvertretenden Langschwellengleises“ zu nennen, hat zu Mißverständnissen Anlaß gegeben, so daß das einfache Wort „Langträgerberechnung“ wohl am besten scheint.

ungünstig zur Gesamtmasse der Lokomotive liegen, auf das Gleis wirken. Die neue Berechnungsweise wird den Fahrzeugbauern die Möglichkeit geben, die Achslasten besser und zwar so zu verteilen, daß die Gesamtbeanspruchung des Gleises durch sämtliche Achsen möglichst gleichmäßig ist. Nicht auf einige hundert Kilogramm lotrechten Gewichtes kann es bei der Abnahme von Fahrzeugen ankommen, sondern darauf, daß nicht einzelne Achsen das Gleis weit über das Mittelmaß beanspruchen durch Kräftewirkungen, die bei der bisherigen Berechnung vollkommen unberücksichtigt geblieben sind.

Zum Abschluß der vereinfachten, einheitlichen Berechnung des Oberbaues.

Herr Dr. H. Saller schreibt uns wie folgt:

Meine Stellungnahme zu den Aufsätzen von Nemesek und Janicsek im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Heft 11, lag fertig, als mir von der Schriftleitung der Fahnenabzug obiger Ausführungen von Dr. Hanker zugestellt wurde. Wenn zwei sich nicht einigen und verständigen können, dann ist es eine dankbare Aufgabe eines dritten Unbeteiligten, vermittelnd und auch entscheidend einzugreifen.

Meine Ausführungen hätten sich ja in etwas anderen Gedankengängen bewegt als die Hankerschen. Ich hätte den Beweis gegen das Haarmannsche, von Nemesek, Janicsek so eifrig vertretene Verfahren, das Trägheitsmoment der Querschwellen einfach auf die Schiene auszuschlagen und daraus eine Erhöhung des Schienenträgheitsmomentes abzuleiten, durch den einfachen Hinweis auf die Wirklichkeit angetreten. Was geschieht, wenn das Querschwellengleis gewaltsam auf- oder ausgebogen wird? Ohne weiteres leuchtet ein, daß das Gleis dann in irgend einem Schwellenfach lediglich nach Maßgabe des Trägheitsmomentes der Schienen knicken oder brechen wird. Die von Janicsek berechnete, gedachte Langschwelle bleibt im Biegungsfalle ein Scheinbild. Durch die Hankerschen Ausführungen, denen ich mich im großen ganzen anschließen kann, bin ich einer längeren Erwidern entzogen. Aber einiges muß ich doch zum Teil zu meiner Rechtfertigung vortragen.

Hanker vermißt den wissenschaftlichen Beweis des sogenannten Timoshenko-Verfahrens. Auch von anderer Seite bin ich brieflich darnach gefragt worden. In den Hauptwerken Timoshenkos, auch in denen russischer Sprache, ist die Gleichsetzung $cb = \frac{D}{1}$ nirgends vorgetragen oder gar bewiesen. Auch in dem russischen amtlichen Oberbauschrifttum ist das Verfahren nicht weiter ausgeführt und bewiesen, sondern lediglich Timoshenko zugeschrieben. Die Beurteilung des Verfahrens als wissenschaftlich ist also lediglich meine subjektive Anschauung, die ich aus der Unzulänglichkeit des Haarmannschen Verfahrens ergab. Von einer absoluten Wissenschaftlichkeit kann bei einem Annäherungsverfahren, das zum Zweck der Vereinfachung der Berechnung aus einem Querschwellen-einen Langträgeroberbau machen muß, natürlich nicht gesprochen werden. Ob der Gedanke tatsächlich von Timoshenko herrührt und ob nicht etwa Timoshenko nur der war, der das Verfahren in Rußland einführt, darüber sind mir nachträglich Zweifel gekommen. Es ist mir jetzt, als ob mir viel früher in deutschen Oberbauberechnungen schon diese Timoshenko zugeschriebene Gleichsetzung begegnet wäre. Ich habe den verstorbenen Dietz vom Zentralamt Berlin, der sich ja in der Vereinfachung der Zimmermannschen Berechnungsweise behufs deren bequemeren praktischen Verwendbarkeit Verdienste erworben hat, als Urheber in Vermutung. Meine Nachfragen blieben aber erfolglos. Ich wandte mich daher an Prof. Timoshenko selbst, erhielt aber auch keine bündige Antwort. Er erinnere sich nicht, anderes Schrifttum außer Zimmermann benützt zu haben, wisse aber nicht,

Damit in Zusammenhang steht die Forderung nach möglichst einfacher Rechnung, die das Wesentliche erfaßt, ohne sich mit scheinbarer, größerer Genauigkeit aufzuhalten, um den Blick frei zu bekommen für die großen Einflüsse, die bis jetzt noch vernachlässigt werden mußten. Auf diesem Weg fortschreitend müssen sich Theorie und Praxis, die heute oft noch sehr auseinanderklaffen, immer mehr nähern und schließlich im einzig Wahren, in der Wirklichkeit, treffen.

Mit der so einfachen Langträgerberechnung ist der erste Schritt auf diesem Weg getan.

wer die Größe $\frac{D}{1}$ eingeführt habe. Die Sache ist also unsicher und es wird sich empfehlen, Namen auszuschalten.

Wenn Nemesek im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, Heft 11 nur die amerikanischen Formeln, von denen ich ausgegangen sein soll, vorrechnet, so kann ich dagegen nur geltend machen, daß mir die amerikanischen Veröffentlichungen trotz aller Bemühungen bis heute überhaupt nicht zugänglich geworden sind. Ich kenne sie nur aus kurzen Besprechungen. Wie Timoshenko bin ich nur von Zimmermann ausgegangen, rechne aber diese Einfachheit meines Werkzeuges gar nicht als einen Nachteil.

Die Arbeiten, die ich zusammen mit Prof. Thoma von der Karlsruher Hochschule durchgeführt habe, sind vor dem Abschluß abgebrochen worden, namentlich durch die Auflösung der zur Aufstellung einer einheitlichen Formel für die Oberbauberechnung gebildeten Arbeitsgemeinschaft. Die Arbeiten haben, wie ich glaube, grundlegend den bisher verschlossenen Weg zu einwandfreien dynamischen Messungen am Oberbau geöffnet. Es handelt sich nur noch um die Frage gewisser Feinheiten. Ich betrachte die Messungen, in deren Zusammenhang ich meine Langträgerformel aufgestellt habe, als noch nicht abgeschlossen und kann bei ihrem aussichtsreichen Stand nur hoffen, daß sie von anderer Seite festgesetzt werden und daß das bisher Geleistete nicht verloren geht. Vor allem bedarf in der Formel die Frage der Festwerte noch der Lösung. Dazu sind wohl noch weitere Versuche erforderlich.

Zu obigen Ausführungen äußert sich Herr Privatdozent Dr. Jáky-Janicsek folgendermaßen:

Herr Dr. Hanker war so freundlich, in der Aussprache über die Oberbauberechnung Saller-Nemesek-Janicsek die Rolle des unparteiischen Dritten zu übernehmen. Meinerseits stimme ich Herrn Hanker rückhaltlos zu, wenn er die hohe Bedeutung des einheitlichen Vorgehens hervorhebt, es muß aber die Berechnung auch bei möglicher Einfachheit die wichtigsten mitspielenden Größen beachten und es müssen ihre Ergebnisse mit den Meßergebnissen übereinstimmen.

Aus diesem Grunde sehe ich mich veranlaßt, zu den Ausführungen Dr. Hankers in aller Kürze folgende Bemerkungen zu machen:

1. Da die Querschwellen — deren Breite immerhin 25 bis 30% der Schwellenteilung ausmacht — bei positivem Biegemoment durch die Vermittlung der gedrückten Unterlegplatte in ihren Breitenrichtungen der Krümmungslinie der Schiene mehr oder minder genau folgen müssen und daher auch diese beeinflussen, nehmen diese unbedingt einen Teil des Biegemomentes auf. Diese unleugbare Tatsache war der Kern der Nemesekschen Auffassung. Wenn nun Herr Dr. Hanker behauptet, daß infolge der fehlenden Kontinuität (durch die „Trennungsfugen“) der eingeschwenkt gedachten Halbschwellen diese kein Moment aufzunehmen imstande sind, so muß ich auf die Gurtflacheisen hinweisen, die auch nicht durchgehend montiert werden müssen, aber selbst Momente

aufnehmen würden, wenn sie nur aus lauter Stücken von 1 m Länge beständen. Daß bei der an die Bettung gepreßten Schwelle die Schiene sich in ihrer Längsrichtung auch verschieben kann, beeinflußt den Vergleich keineswegs grundsätzlich.

3. Hieraus folgt meine Anwendung der Winklerschen Momententeilung (bei Nemesdy-Nemcsek ist dasselbe implizit vorhanden). Diese ist für $\frac{1}{\rho}$ (ρ = Krümmungshalbmesser) bei $\rho = \infty$ undefiniert. Im übrigen kann eine Extrapolation, namentlich für unendliche Größen, billigerweise nicht ins Treffen geführt werden.

2. Dr. Hanker behauptet ferner, daß kein Praktiker die Möglichkeit, einer Vergrößerung der Schwellenentfernung durch Erhöhung der Steifigkeit der Querschwellen entgegenwirken zu können, anerkennen wird. Ich verweise hier auf „Bulletin of the American Railway Engineers Association“ (Vol. 19, No. 205, 1918 March), wo Spannungsmessungen bei gleicher Belastung (25000 Pf.), gleichem Profil und gleicher Schwellenteilung, aber bei schwächeren und stärkeren Querschwellen beschrieben sind. Die schwächeren Querschwellen (z. B. 6'' × 8'' × 8') ergaben um ungefähr 18% größere Spannungen als die stärkeren (7'' × 9'' × 8'). Solche Beispiele bekräftigen meine Behauptung über die Steifigkeitszahl

$k = \frac{E_1 J_1 s_1}{E J l}$, selbstredend wieder unter Ausschluß unbilliger Extrapolationen. Für „jede“ Vergrößerung der Schwellenentfernung konnte ja „k“ nie gedacht werden.

Dr. Hanker hält die durch Dr. Nemesdy-Nemcsek bewiesene, sehr schöne Übereinstimmung seines Rechenverfahrens mit 21000 Messungen nicht für überzeugend. Wohlan, warten wir dann andere 20000 Messungsergebnisse ab.

Dr. Ing. J. Jáky-Janicsek.

Zum Schluß lassen wir die Äußerungen des Herrn Dr. Ing. J. Nemesdy-Nemcsek folgen.

Dr. Hankers Vorschlag, das Querschwellengleis als einfachen Langträger zu berechnen (wobei die „D“ der Schwellen einfach auf die Schiene ausgeschlagen*) werden: $\frac{D}{l}$) kann vom Gesichtspunkt der Ausübung und der Theorie betrachtet werden.

Den Standpunkt der Ausübung hat der Fachausschuß des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahn-Verwaltungen ausgesprochen: Es ist eine Formel zu wählen, welche — unbekümmert um ihre theoretische Richtigkeit oder Unrichtigkeit — die 21000 Meßergebnisse am besten einkleidet. Ein Blick auf Abb. 1 und 2, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1934, S. 207, 208 zeigt jedem Ingenieur auf den ersten Blick, daß

*) Dies taten unabhängig und als selbstverständlich Timoshenko, der Verfasser und möglicherweise andere mehr.

die einfache Langträgerberechnung nach Dr. Saller keinesfalls der eben angegebenen Forderung der Ausübung genügt, selbst nicht nach Manipulation mit einem Beiwert α . Dagegen entspricht die Berechnung nach der Momententeilung (oder nach dem stellvertretenden Langschwellen-Oberbau) — wie es die erwähnten Abbildungen zeigen — voll den Anforderungen der Ausübung auch ohne willkürliche oder empirische Beiwerte. Daß diese bedeutend genauere Berechnungsart für jede Oberbauart ein für allemal 5 Minuten mehr Rechenarbeit verlangt, wird doch nicht in die Waagschale fallen.

Vom theoretischen Standpunkte aber ist die Langträgerberechnung Saller-Hanker ebenfalls nicht annehmbar.

Das Querschwellengleis ist kein regelrechter Längsträger, es ist ein Mittelding, genauer ein räumlich biegsames, kontinuierliches Rostgebilde. Die Berechnung nach dem Momententeilverfahren trägt aber dem räumlichen Charakter des Problems annähernd Rechnung.

Man erhält das an sich zeitlich spätere Verfahren Saller-Hanker aus dem von mir vorgeschlagenen Verfahren, wenn man in diesem für den Ausdruck von „D“ die Holzschwelle als unzusammendrückbar annimmt, und für J' und W' der Schwelle Null setzt. Den großen Einfluß der Zusammendrückbarkeit der Schwelle auf die Größe „D“ erwähnt jeder angehende Autor, es kennt ihn jeder, der je vergleichende Schwellensenkungsmessungen betrieb. Der große spannungsvermindernde Einfluß der Querschwelle dagegen (dessen Grund ja aber hauptsächlich nur in den Werten J', E' und W' liegen kann), wird in diesem Stadium der Angelegenheit anerkannt und es spricht auch Dr. Hanker von der Möglichkeit, diesen später etwa in den Wert α , dem Beiwert der gesamten Formel (gleichsam dem Universalhilfsmittel), einzufügen. Es scheint dann aber viel richtiger, E', J' und W' — wie ich es tat — organisch in die statisch anklingenden Stellen einzubauen, oder sie wie D, entlang der Schiene, im Sinne der Momententeilung auszuverteilen. Selbstredend sind hier Dr. Sallers Worte von vollster Geltung: „Von einer absoluten Wissenschaftlichkeit kann bei einem Annäherungsverfahren, das zum Zweck der Vereinfachung der Berechnung aus einem Querschwellen-einen Langträgeroberbau machen muß, natürlich nicht gesprochen werden.“

Das „Org. Fortschr. Eisenbahnwes.“ hat in anerkanntem wertem Entgegenkommen die Diskussion allseitig auf breitester Basis ermöglicht. Der Forscher und Leser kann sich nunmehr nach acht Aufsätzen selbst ein Bild schaffen. Ich bin im übrigen davon überzeugt, daß die Herrn Dr. Saller und Dr. Hanker mit mir darin übereinstimmen, daß eine weitere Aussprache nur auf neuen, umfangreichen Tatsachen oder neuen, eingehenden theoretischen Untersuchungen ersprießlich und gemeinnützig aufgebaut werden kann.

Dr. Ing. J. Nemesdy-Nemcsek.

Wir schließen hiermit die Aussprache.

Schriftleitung.

Rundschau.

Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

Französische Versuche mit Schrägschwellen.

Bei einer kleineren französischen Eisenbahngesellschaft (Lyoner Ostbahn) wird z. Z. ein Versuch mit einer vom normalen Querschwellenoberbau abweichenden Anordnung gemacht. Die aus U-Eisen bestehenden Schwellen sind mit einem Winkel von etwa 80° mit abwechselnder Richtung schräg zur Gleisachse gestellt und an den Enden durch aufgenietete Platten so verbunden, daß ein zickzackförmiger Schwellenrost in einer der Schienenlänge entsprechenden Ausdehnung entsteht. Die Befestigung der Schienen auf den Schwellen erfolgt durch Klemmplatten und Hakenschrauben. Die damit gebildete Gleisanlage aus einer Folge

von Dreieckrahmen soll praktisch nicht verformbar sein und daher die Überwachung und Unterhaltung wesentlich vereinfachen und verbilligen. Bi.

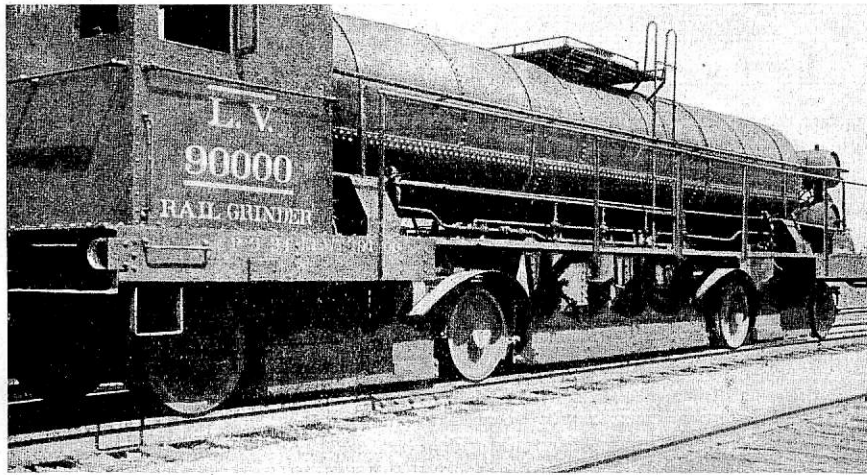
(Gleistechn. 1934, Heft 18.)

Schleifwagen für Schienen.

Die Leigh Valley-Eisenbahn, auf deren Strecken in der letzten Zeit eine starke Riffelbildung auf den Fahrflächen der Schienen aufgetreten ist, die in den Tälern der Riffeln Rostbildung von 50 bis 75 mm Länge und 0,05 bis 0,3 mm Tiefe zur Folge hatte,

hat zur Beseitigung diese Roststellen einen eigenen Schleifwagen eingerichtet. (Siehe Abbildung.)

Hierfür wurde ein Kesselwagen mit zwei zweiachsigen Drehgestellen an beiden Längsseiten mit je acht beweglichen Schleifsteinen versehen, die durch Druckluft gehoben und gesenkt, d. h. auf die Schienen gepreßt werden können. Im Kesselwagen wird das erforderliche Kühlwasser mitgeführt, das durch besondere



Schleifwagen für Schienen.

Leitungen zu den 16 Schleifstellen geleitet wird. Die Kühlwasserleitungen sind mit druckluftgesteuerten Ventilen versehen, die sich selbsttätig je nach der Stellung der Schleifsteine öffnen und schließen.

Der Wagen wird in Sonderfahrt nur mit einem Mannschaftswagen von einer Güterzuglokomotive befördert. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 65 bis 72 km/h. Der Wagen fährt wiederholt über die Roststellen, bis der Rost beseitigt ist. Es mußten 6 bis 30 Fahrten über eine Stelle gemacht werden, im Mittel 13 Fahrten. Die Tagesleistung betrug zwischen 6,5 und 14,5 km Gleis, wofür 160 bis 200 Zugkilometer erforderlich waren. Mf.

Rly. Age 1934, Nr. 9 vom 1. September 1934.

Abnutzungswiderstand von Fußbodensteinbelägen.

Über den Abnutzungswiderstand von Stufen und Böden aus Natursteinen hat kürzlich das Bureau of Standards of the United

States Department of Commerce Versuche angestellt und in einem Bericht für die praktische Verwendung Vergleichszahlen geliefert. Die gewöhnlichen Härtezahlen sind hierfür nicht geeignet. Man hat eine neue Schleifvorrichtung entworfen und einen hohen Grad der Übereinstimmung der damit an 22 in Verwendung befindlichen Baustoffen angestellten Versuche mit der Wirklichkeit festgestellt. Das Verfahren und die damit erhaltenen Maßzahlen lassen sich

für die Auswahl von Natursteinen für Fußbodenbeläge verwenden. Die Vorrichtung besteht aus einer umlaufenden Scheibe, gegen die das Probestück unter ständiger Spülung aus einem Trichter gepreßt wird. Durch fortlaufendes Abwiegen wird in gleichmäßigen Zeitzwischenräumen die Abnutzung festgestellt. In der Stufenreihe ergab sich für Quarz als den widerstandsfähigsten Baustoff die Zahl 180. Für die gewöhnlich für Fußbodenbeläge verwendeten Steine wie Marmor, Kalkstein, Sandstein, Granit, Serpentin und Kalktuff ergaben sich Werte zwischen 15 bis 20 bei großen Schwankungen um gewisse Mittelwerte. 78 Marmorarten wurden geprüft, darunter auch Dolomitmarmor, aber die Ergebnisse bestätigten nicht die Angaben von Mineralogen, wonach die Dolomite härter wären als die Kalkspatmarmore. Jedenfalls stellte sich keine Beziehung des tatsächlichen Abnutzungswiderstandes zu dieser Angabe heraus. Die Wertzahlen bewegten sich zwischen 7 und 42. Kalk- und Sandsteine gingen bis zu 26 hinauf. Alle Granite gaben sehr hohe Werte und mit zunehmender Abnutzungstiefe

nahmen auch die Maßzahlen zu. Sie bewegten sich zwischen 44 und 66. Im Feuer gebildete Steine wie Serpentine und Chlorit-amphibolite zeigten je nach dem Verwitterungsgrad weite Unterschiede im Abnutzungswiderstand. Man ist sich längst darüber klar, daß Bodenbeläge den Verkehrsverhältnissen angepaßt sein sollten, aber es wird nicht immer darauf geachtet. Man kann an Hand dieser Proben sagen, daß Baustoffe für Fußböden und Stufen in Eisenbahnstationen, Hoteleingängen u. ä. mindestens den Wert 15, in manchen Fällen 20 besitzen sollten, daß aber für einen großen Hundertsatz von Fußböden mit weniger angespanntem Verkehr Werte bis zu 6 herunter genügen. Die Aussonderung von Stoffen gleichen Widerstandes kann von Wert werden, wenn es auch auf das Farbmuster ankommt. Bei manchen alten Bauten hat man sehr zum Nachteil des Gesamteindruckes hierauf nicht geachtet.

Dr. S.

Bahnhöfe nebst Ausstattung.

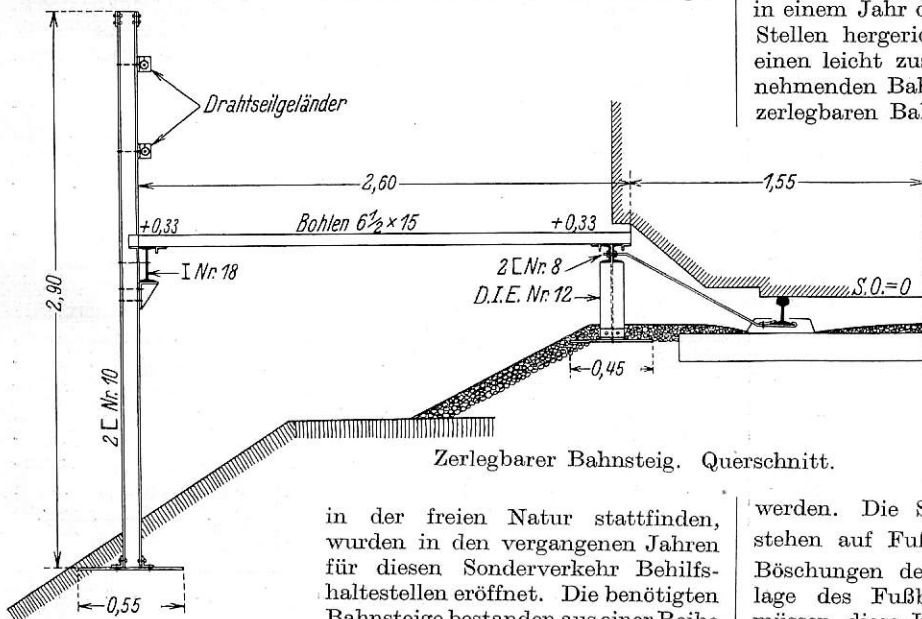
Zerlegbare Bahnsteige bei den niederländischen Bahnen.

Zur Beförderung der Fahrgäste mit Sonderzügen nach nicht in der Nähe eines Bahnhofs liegenden Orten, wo Versammlungen

von Schwellenstapeln, auf welche Schienen aufgelegt wurden, die einen Fußboden von Holzschwellen mit Geländer von Latten trugen.

Diese Konstruktion war sehr teuer. Weil es vorkam, daß in einem Jahr diese Behilfsbahnsteige mehrmals an verschiedenen Stellen hergerichtet werden mußten, wurde es notwendig über einen leicht zusammen zu stellenden und wieder auseinander zu nehmenden Bahnsteig zu verfügen. Von der Konstruktion dieses zerlegbaren Bahnsteigs, der zum erstenmal in diesem Jahre hergerichtet wurde, folgt hier eine kurze Beschreibung (vergl. Abbildung).

Der Bahnsteig ist 2×300 m lang und 2,60 m breit und besteht aus einem Vorder- und Hintertragbalken, worauf ein Fußboden von $6\frac{1}{2}$ cm starken Bohlen gelegt ist. Der Vordertragbalken (2 \square -Profile Nr. 8) ruht mittels Stützen (Breitflanschträger Die Nr. 12) und Fußplatten (45 cm \square) alle $2\frac{1}{2}$ m auf der Bettung. Mittels Anker ist der Vordertragbalken mit der Schiene verbunden. Der Hintertragbalken ist ein Kragträger I Nr. 18 und ruht auf Konsolen. Die Konsolen werden gegen die hinteren Stützen geklemmt, wobei Holzbeilagen zwischengelegt werden. Die Stützen (2 \square Nr. 10 auf Entfernungen von 5 m) stehen auf Fußplatten (55 cm \square) in der Böschung. Weil die Böschungen des Bahnkörpers verschieden sind, und die Höhenlage des Fußbodens über Schienenoberkante immer dieselbe, müssen diese Konsolen und also auch die Geländerringen leicht



Zerlegbarer Bahnsteig. Querschnitt.

in der freien Natur stattfinden, wurden in den vergangenen Jahren für diesen Sonderverkehr Behilfsbahnsteige eröffnet. Die benötigten Bahnsteige bestanden aus einer Reihe

zu verstellen sein. Dadurch, daß diese Teile mittels Schrauben gegen die Hinterstützen zu klemmen sind, wird die ganze Konstruktion des Bahnsteigs von der Form des Bahnkörpers unabhängig.

Die Bohlen des Fußbodens verbinden Vorder- und Hintertragbalken mittels zweier, unten gegen die Bohlen geschraubter L-Eisenstücke. Diese L-Eisen werden abwechselnd zwischen und außerhalb der Tragbalken angeordnet. Das Geländer, zwei verzinkte Drahtseile von 18 mm \varnothing , ist mittels der Geländerringen an

den hinteren Stützen befestigt. Diese Hinterstützen sind mittels Streben verbunden um die Konstruktion in der Längsrichtung stabil zu machen.

Für die Befestigung aller Teile sind nur Schrauben verwendet worden. Das Aufstellen kann sehr schnell und mit Leichtigkeit durch drei Leute geschehen, falls keine größere Zahl zur Verfügung steht.

Ir. H. C. Stal.

Utrecht.

Bücherschau.

Die Technik und Wirtschaft der Hygiene im Tierversand bei der Deutschen Reichsbahn. Von Dr. Ing. Kurt Walter, Regierungsbauführer, mit einem Vorwort von Professor Dr. Ing. C. Pirath, DIN A 5, 226 Seiten, 51 Zusammenstellungen, 35 Abbildungen. 1934.

Das vorliegende Buch, das eine erstmalige wissenschaftliche Untersuchung der Viehwagenentseuchungsanstalten der Deutschen Reichsbahn in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht darstellt, dürfte für die Zukunft eine wesentliche Grundlage für die technische und wirtschaftliche Beurteilung vorhandener und die Ausgestaltung neuer Entseuchungsanlagen bieten. In Anbetracht der Tatsache, daß bei der derzeitigen gesetzlichen Lage und infolge Mangels an allgemeingültigen Beurteilungsgrundlagen für eine zweckmäßige Ausbildung und Bewirtschaftung solcher Entseuchungsanlagen die Selbstkosten für die ordnungsgemäße Reinigung und Entseuchung der Viehwagen bei der Reichsbahn einen jährlichen Zuschuß von etwa 4 Millionen *R.M.* bei einer Million behandelter Wagen erforderten, erscheint die Bearbeitung als ein Bedürfnis und die Ausfüllung einer längst fühlbaren Lücke.

Nach einem ersten Abschnitt des Buches über die Hygiene des Tierversands wird im zweiten Abschnitt die Technik der Reinigung und Entseuchung der Viehwagen kritisch untersucht. Die Standortbedingungen werden festgelegt und ein Maßstab für die Leistungsgröße der Anstalten entwickelt. Besonders eingehend werden dann an Hand ausgezeichneten Bildmaterials und umfangreicher Tabellen die Einflüsse der Einordnung der Entseuchungsanstalten in die Bahnhofsanlage sowie die maschinentechnische Einrichtung der Anlagen besprochen.

Im dritten Abschnitt wird schließlich als wesentlichster Zweck des Buches die Wirtschaft der Entseuchungsanstalten beleuchtet.

Elsners Taschenbuch für den bautechnischen Eisenbahndienst.

Herausgegeben in Verbindung mit den Beamten des gehobenen mittleren, bautechnischen Eisenbahndienstes. Zwölfter Jahrgang 1934. Verlag und Eigentum: Otto Elsner, Verlagsgesellschaft m. b. H., Berlin S 42.

Schriftleitung und Verlag des Taschenbuchs haben sich seit dessen Erscheinen zwei Aufgaben gestellt und, wie in jedem Jahr, auch wieder durch die Herausgabe des 12. Jahrgangs gelöst. Das Taschenbuch will nicht nur den Beamten des bautechnischen Außendienstes der Deutschen Reichsbahn ein guter Freund und treuer Berater sein, sondern ebenfalls ein wertvolles Nachschlagewerk allen Bauingenieuren, die mit Eisenbahnbau, Oberbau, Bahnunterhaltung, Sicherungswesen usw. zu tun haben. Sobald in diesen Fachrichtungen Änderungen feststehen, weil sie aus dem Versuchszustand herausgewachsen sind, werden sie jedesmal in dem nächsten Jahrgang bekanntgegeben. Dadurch schafft die Schriftleitung einerseits einen steten Wechsel in dem Inhalt des Taschenbuchs, andererseits allmählich ein zusammenhängendes, alle Fachgebiete umfassendes, bautechnisches Handbuch, das alljährlich überprüft, ergänzt und berichtigt wird.

So sind im Jahr 1934 bestimmte Abschnitte aus dem Zusammenbau der Reichsbahnweichen wie der Weichen 8a ergänzt, der Abschnitt: Gleisbau neu geordnet und vervollständigt und in dem Teil: Bahnunterhaltung das verbesserte Weichenfüllformverfahren beschrieben worden.

Im Inhaltsverzeichnis des Taschenbuchs — und das verdient hervorgehoben zu werden — wird jedesmal angegeben, welche Abschnitte aus früheren Jahrgängen noch gelten, welche ersetzt oder auszuschalten sind.

Bach.

Larssen-Handbuch. Herausgegeben vom Dortmund-Hörder Hüttenverein A. G. Neuausgabe 1934.

Diese Neuausgabe verfolgt nicht nur den Zweck, die großen Bauverwaltungen und Baugesellschaften, sowie die Bauleiter erneut auf die vielseitige, erfolgreiche Verwendung der Stahlspundbohlen Larssen aufmerksam zu machen, sondern war wohl auch nötig geworden, weil der Dortmund-Hörder Verein auf Grund seiner langjährigen Erfahrungen die Larssenbohlen weiter vervollkommenet, ihr Walzverfahren weiter verbessert hat.

Neu hinzugekommen sind Berechnungen von Baugrubenumschließungen und Uferwänden, Angaben über neue Baumaschinen, z. B. die Demag-Union-Kammhämmer, Hinweise auf wertvolle, bauliche Neuerungen, z. B. bei der Unterwasser-Verankerung und beim Ankeranschluß, besonders Ausführungen über die Entwicklung des bewährten Spundbohlen-Resistastahles, dessen erhöhter Kupfergehalt eine große Widerstandsfähigkeit gegen Rosten schafft und damit die Lebensdauer der Spundbohlen erheblich verlängert.

Bach.

Druckverteilung im Baugrunde mit besonderer Berücksichtigung der plastischen Erscheinungen von Dr.-Ing. O. K. Fröhlich, 's-Gravenhage. Mit 68 Textabbildungen. Wien 1934. Verlag von Julius Springer. Preis geheftet 15,— *R.M.*

Bisher hat sich die Baupraxis die bemerkenswerten Fortschritte der Baugrundforschung in der Beurteilung von Gründungsfragen noch wenig nutzbar gemacht. Es fehlt offenbar eine übersichtliche, die Hauptaufgaben der Erdbaumechanik und die wichtigsten Schlußfolgerungen aus Versuchen und Setzungsbeobachtungen enthaltende Anweisung. Diesem Mangel will die vorliegende Arbeit abhelfen.

Sie bringt zunächst einen umfassenden Überblick über die von zahlreichen Forschern durchgeführten Versuchsmessungen, deren Ergebnisse zu wertvollen Erkenntnissen über die Größe und Verteilung der Normalspannungen in belasteten Erdkörpern geführt haben. Dann werden die von Boussinesq entwickelten Gleichungen für die Spannungen im elastisch-isotropen Halbraum erörtert, die, obwohl sie nicht für die anisotropen erdartigen Stoffe zutreffen, doch als Ausgangspunkt für alle theoretischen Betrachtungen über Druckverteilung im Baugrund dienen. Besonders anregend und lehrreich sind die Abschnitte, in denen der Wert der Plastizitätslehre für die Bestimmung der durch seitliches Ausweichen (Fließen) des Bodens und plastische Senkungen gekennzeichneten kritischen Randbelastung dargelegt und mittels der Fließbedingungen versucht wird, die Form des Fließbereiches und dessen Einfluß auf die Senkungen festzustellen. Der in diesem Zusammenhang von Fröhlich gemachte Vorschlag, bei kohäsionsschwachen Bodenarten die zulässige Bodenpressung von der kritischen Randbelastung abhängig zu machen statt von höchst problematischen Tabellenwerten oder Tragfähigkeitsformeln, erscheint im Hinblick auf die Einfachheit der Lösung sehr beachtlich. Das vom Verlag zweckentsprechend ausgestattete Buch verdient Anerkennung und weiteste Verbreitung. Schönberg.