

### Besteht die Notwendigkeit eines neuen Bogenabsteckverfahrens?

Von K. Szmodits, Budapest.

#### Inhalt:

##### 1. Einleitung.

2. Nähere Untersuchung des Nalenz-Verfahrens. Das Nalenz-Verfahren wendet eine für analytische Wege unzulässige Annäherung an, indem es die Vektoren der relativen Verschiebungen benachbarter Bogenpunkte algebraisch addiert. Aus diesem Grunde kann in den nach Nalenz berechneten Verschiebungen des Bogens ein Fehler von 30 bis 40% entstehen. Das Nalenz-Verfahren kann als erster Schritt eines Iterationsverfahrens aufgefaßt werden, der oft schon für sich ziemlich genaue Ergebnisse liefert. Bei Benützung der weiteren Glieder der nachstehend entwickelten Iteration können die Nalenzschen Ergebnisse nach und nach verbessert werden.

3. Zusammenhang des Nalenz-Verfahrens mit dem Relativbildverfahren und Klarlegung der einschlägigen Begriffe. Das Nalenz-Verfahren kann durch richtige Summierung der Vektoren der relativen Verschiebungen vervollkommen werden, wodurch man zu einem Verschiebungsplane gelangt, der mit dem Verschiebungsplane des Relativbildverfahrens im engsten Zusammenhange steht. Das so vervollständigte Nalenzsche, ebenso das Relativbild- und auch andere Verfahren, die mit dem vorhergenannten in Zusammenhang gebracht werden können, können unter den Sammelbegriff: „Verfahren mit dem Verschiebungsplan“ gebracht werden. Doch das Relativbildverfahren sollte mit diesem Sammelbegriff zur Vermeidung von Mißverständnissen nicht verwechselt werden. Der Verschiebungsplan des Relativbildverfahrens ist dem Williotischen trotz der gegenläufigen Behauptung Dr. Schramms keineswegs ähnlich, um so mehr aber dem relativen Verschiebungsplane der parallelen Bewegung. Deswegen ist die Betonung des Wortes: „relativ“ schon im Titel des Verfahrens vollkommen am Platze, weil das ganze Verfahren eigentlich nichts anderes ist als die einfache Anwendung des Prinzips der Relativität.

4. Beispiel für das Relativbildverfahren. Entwurf des Absteckungsplanes eines die Achse einer gegebenen Brücke berührenden Bogens.

5. Vorteile des Relativbildverfahrens: Übersichtlicher Arbeitsgang, einfacher Verschiebungsplan, wenig Arbeit bei Feststellung der Bogenhauptpunkte, Ausdruck für die Bedingungen der Bogenberichtigung in einfachen Formeln, Erweiterung des Aufgabenkreises der Bogenberichtigung, Trennung der Frage des Übergangsbogens, Bestimmen der Fixpunkte durch die Winkelabstände.

6. Zusammenfassung. Es besteht die Notwendigkeit eines neuen Verfahrens, da das Nalenzsche die Mängel des trigonometrischen Verfahrens nicht beheben kann. Das sonst sich an das trigonometrische Verfahren gut anschmiegende Relativbildverfahren vormag dagegen diese Mängel voll auszuschalten.

#### 1. Einleitung.

Mit der im Titel aufgeworfenen Frage befaßt sich Dr. Ing. Schramm anlässlich der Veröffentlichung des Relativbildverfahrens\*) in einem Aufsatz\*\*), und kommt auf die Schlussfolgerung, daß neben dem in der Praxis gut bewährten Nalenz-

\*) K. Szmodits: „Absteckung und Berichtigung von Gleisbogen“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 17. Siehe noch die Berichtigungen Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 19 und 1936, Heft 2.

\*\*) Dr. Ing. G. Schramm: „Die Genauigkeit von Gleisbogenabsteckungen und die verschiedenen Absteckverfahren“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 23.

Verfahren kein neues notwendig ist. Eine große Anzahl von Bogen sei bei der Reichsbahn mit diesem Verfahren schon berichtigt worden und die verbesserten Bogen hätten sich mit 3 bis 8 mm Pfeilhöhenfehlern gut bewährt.

Abgesehen davon, daß die beobachteten Pfeilhöhenfehler bei Bogen mit größeren Halbmessern im Krümmungsmaße Schwankungen von 4 bis 5% zur Folge haben können, ist diese Erfahrung zweifellos beachtenswert und bietet einen bedeutenden Beweis zugunsten des Nalenz-Verfahrens, doch ist sie zur Rechtfertigung seiner Genauigkeit nicht genügend. Man muß nämlich von einem allgemeine Geltung beanspruchenden Verfahren fordern, daß es nicht bloß erfahrungsgemäß, sondern auch theoretisch vollkommen gerechtfertigt sei.

Die für das Nalenz-Verfahren vorgebrachten Beweise enthalten eine analytisch unzulässige Vernachlässigung, ohne daß die Größe der daraus entstehenden Fehler nachgewiesen oder wenigstens die Fehlergrenzen auch gesetzmäßig festgelegt wären. Meiner Ansicht nach wären diese Fragen auch im Interesse des Nalenz-Verfahrens aufzuklären.

#### 2. Nähere Untersuchung des Nalenz-Verfahrens.

Gemäß den Grundlagen des Nalenz-Verfahrens erhält man die Querverschiebungen zweier Bogen, wenn man aus den Differenzen der doppelten Pfeilhöhen beider Bogen der Reihe nach Teilsummen bildet und mit diesen ähnliche Summenbildungen durchführt. Die Teilsummen der Pfeilhöhendifferenzen drücken aber beim Übergange von einem Bogen zum anderen die relativen Verschiebungen der benachbarten Teilpunkte der Pfeilhöhenmessung aus, weshalb diese als gerichtete Größen erscheinen. Diese Tatsache habe ich in meiner oben genannten Abhandlung im Zusammenhange mit Abb. 18 [Gl. 57]) bewiesen. Die relativen Verschiebungen der benachbarten Teilungspunkte stehen senkrecht auf der Verbindungsgeraden der Teilpunkte. Ist der Zentriwinkel beider Bogen klein, so können diese relativen Verschiebungen sämtlich als Parallele betrachtet und algebraisch summiert werden, sonst aber dürfen sie nur einer geometrischen Summierung unterworfen werden. Die analytisch unzulässige Vernachlässigung liegt eben darin, daß das Nalenz-Prinzip dort eine algebraische Summierung gebraucht, wo eine geometrische am Platze ist.

Eine dieser Vernachlässigung vollkommen gleichwertige wenden wir an, wenn wir die genaue Differenzialgleichung der Querverschiebungen

$$\frac{d^2 v}{d \tau^2} + v = \delta r \dots \dots \dots 1)$$

vereinfachen, um die das Nalenz-Verfahren bezeichnende Differenzialgleichung

$$\frac{d^2 v}{d \tau^2} = \delta r \dots \dots \dots 2)$$

zu gewinnen\*). Hier bedeutet  $v$  die Verschiebung der parallelen Tangenten beider Bogen, jedoch im Bereiche der parallelen Berührungspunkte — bei Vernachlässigung der sekundären kleinen Verschiebungen — Querverschiebungen jeder Art, wie beispielsweise die Verschiebungen der auf zwei Bogen in gleichem Abstände folgenden, sogenannten isometrischen

\*) Siehe Abhandlung des Verfassers Gl. 51) und 52).

Punkte, oder der auf den Normalen liegenden Bogenpunkte. Diese Behauptung folgt aus jener engen Berührung, die zwischen der Kurve und ihrer Tangente besteht.  $\tau$  ist der Neigungswinkel der parallelen Tangenten mit der Anfangstangente.  $\delta r$  aber bedeutet die Differenz der Krümmungshalbmesser beider Bogen. Diese Gleichungen können für den praktischen Zweck leicht in Differenzgleichungen umgestaltet werden, doch sind sie für theoretische Erörterungen in ihrer ursprünglichen Form oft besser geeignet.

Die vorliegende Vernachlässigung kann an sich nicht verurteilt werden. Ja, sie verdient auch in mathematischer Hinsicht Anerkennung, da man damit den Grund zu einem

Abstecken erforderlichen Querverschiebungen. Aus der den genauen Wert liefernden Gl. 1) ist

$$v = \delta R \cdot (1 - \cos \tau) + u_0 \cdot \sin \tau + v_0 \cdot \cos \tau \dots 3),$$

während nach Nalenz aus Gl. 2)

$$v = \delta R \cdot \frac{1}{2} \tau^2 + u_0 \cdot \tau + v_0 \dots 4)$$

folgt. In diesen Gleichungen sind  $u_0$  und  $v_0$  die Integralfestwerte und drücken die Längs- und Querverschiebungen des Anfangspunktes aus\*). Ein positives  $v$  bedeutet ein Abrücken vom Mittelpunkte des Kreises weg, ein negatives  $v$  aber eine Annäherung an den Mittelpunkt.

Schon auf den ersten Blick ist klar, daß die Gl. 3) und 4) nur bei kleinen Werten von  $\tau$  übereinstimmen. Es sei in dem in Abb. 1a gegebenen Beispiel die Querverschiebung des Anfangs- und des Endpunktes des Bogens A gleich  $-f$ . Dies ist gewöhnlich der Fall, wenn man einen Bogen ohne Übergangsbogen mit einem solchen versehen und gleichzeitig auch den Halbmesser des Bogens ändern will. Ferner sei der Zentriwinkel  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ , dann finden wir den Wert  $u_0$  den Randbedingungen  $v_0 = v_{\frac{\pi}{2}} = -f$

entsprechend, und zwar aus Gl. 3)  $u_0 = -(\delta R + f)$ , aus Gl. 4) aber  $u_0 = -\delta R \cdot \frac{\pi}{4} = -0,785 \cdot \delta R$ . Aus dem

Vergleiche der beiden Werte geht hervor, daß Nalenz schon bei der Feststellung des Anfangspunktes des neuen Bogens einen Fehler begeht. Dieser Fehler kann nach den Werten von  $\delta R$  und  $f$  von 12,5 bis 100% reichen. Auf diese Frage werden wir später noch zurückkommen. Die Werte von  $u_0$  in die entsprechenden Gleichungen eingesetzt, erhalten wir folgende zwei Ausdrücke der Verschiebungen:

$$v = \delta R - (\delta R + f) \cdot (\sin \tau + \cos \tau) \dots 3*),$$

$$v = -\delta R \cdot \frac{\tau}{2} \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \tau \right) - f \dots 4*),$$

Diese Gleichungen können auch aus dem Verschiebungsplan und aus dem Krümmungsbild hergeleitet werden.

den. Gl. 3\*) kann aus den Verschiebungen der in Abb. 1b dargestellten relativen Bilder, Gl. 4\*) aber aus dem den Ausgangspunkt des Nalenz-Verfahrens bildenden und in Abb. 1c dargestellten Krümmungsbilde festgestellt werden.

In Abb. 1b ist der Punkt A' das relative Bild des Kreisbogens A, der Kreisbogen B' dasselbe des Kreisbogens B. Die Verschiebungen der relativen Bilder stimmen mit den Verschiebungen der Punkte mit parallelen Tangenten der ursprünglichen Bogen vollkommen überein. Die Querverschiebungen ( $v$ ) können aus der Abbildung der relativen Bilder nach den dortigen Aufzeichnungen unmittelbar abgelesen werden, und somit kann Gl. 3\*) leicht kontrolliert werden.

Nach Nalenz ist die Querverschiebung im Bogenpunkte vom Abstand  $x = R \cdot \tau$  derart zu berechnen, daß man das statische Moment der von den Differenzen der Krümmungs-

\*) Mit den Längsverschiebungen habe ich mich in meiner Abhandlung ausführlich befaßt. Siehe auch nachstehende Gl. 5).

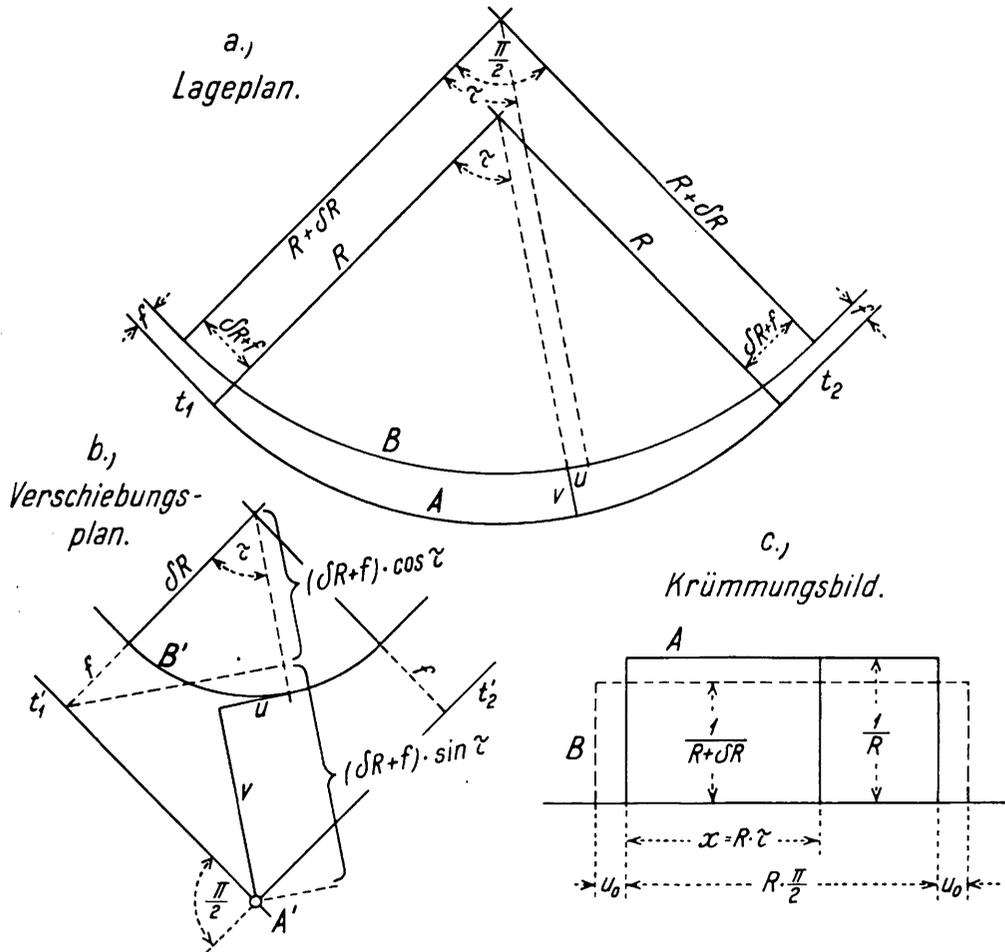


Abb. 1. Absteckung des Kreisbogens B aus dem Kreisbogen A nach dem Relativbild- und dem Nalenz-Verfahren.

rasch konvergierenden Iterationsverfahren legen kann. Ich fasse das Nalenz-Verfahren als das erste Glied einer Iterationsreihe auf, das schon in sich eine mehr oder weniger befriedigende Annäherung liefert. Will man diesem Verfahren in der Mathematik einen würdigen Platz verschaffen, so muß die erwähnte Iterationsreihe entwickelt und den Fachkreisen vorgelegt werden. Dies wäre — um das Werk Nalenz' richtig zu schätzen — selbst dann zu tun, wenn man in der überwiegenden Zahl der Fälle auf die übrigen Glieder der Iteration verzichten könnte. Bevor wir aber zu der Erörterung dieser Iteration übergehen, sehen wir zuerst zu, wie groß in einem gewissen Sonderfalle der Fehler ist, den wir begehen, wenn wir uns mit dem ersten Gliede der Iteration begnügen.

Nehmen wir an, daß von einem Kreisbogen vom Halbmesser  $R$  aus ein Kreisbogen vom Halbmesser  $R + \delta R$  abzustecken ist (Abb. 1a, Bogen A und B). In diesem Falle können unsere Gleichungen durch das Einsetzen  $\delta r = \delta R$  unmittelbar integriert werden und ergeben nach der Integration die zum

bilder bestimmten Fläche auf die in Abb. 1c dargestellten Vertikale vom Abstand  $x = R \cdot \tau$  bildet. Dem so erhaltenen Werte muß noch der Anfangswert  $v_0$  addiert werden. Danach ist also

$$v = -u_0 \cdot \frac{1}{R + \delta R} \cdot \left(x + \frac{u_0}{2}\right) + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R + \delta R}\right) \cdot \frac{x^2}{2} + v_0.$$

Da  $\delta R$  neben  $R$  infolge seiner Kleinheit vernachlässigt werden kann, ferner  $\frac{u_0^2}{2 \cdot R}$  eine kleine Verschiebung zweiter Ordnung ist und somit ebenfalls vernachlässigt werden kann, wird nach dem Einsetzen  $x = R \cdot \tau$

$$v = -u_0 \cdot \tau + \frac{\delta R \cdot \tau^2}{2} + v_0$$

sein. Dieser Ausdruck stimmt aber nach Einsetzen der absoluten Werte  $u_0 = \delta R \cdot \frac{\pi}{4}$  und  $v_0 = -f$  mit Gl. 4\*) überein.

Die Gl. 3\*) und 4\*) geben die vorgeschriebenen Randbedingungen mit dem Werte  $-f$  richtig, doch weisen sie in den Zwischenpunkten schon eine Abweichung auf. Diese Abweichung ist bei  $\tau = \frac{\pi}{4}$  am größten, wo

$$v = \delta R - (\delta R + f) \cdot \sqrt{2} = -0,415 \cdot \delta R - 1,415 \cdot f \dots 3**),$$

$$v = -\delta R \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\pi}{4} - f = -0,308 \cdot \delta R - f \dots 4**),$$

ist. Die Nalenzschen Verschiebungen weisen also bei verschiedenen Werten von  $\delta R$  und  $f$  einen Fehler von 35 bis 41% auf.

Der Anfang des neuen Bogens wird ebenfalls unrichtig bestimmt, denn wie wir schon oben sahen, ist die genaue Verschiebung des Anfanges beider Bogen  $u_0 = -(\delta R + f)$ , während die Nalenzsche Verschiebung den Wert  $u_0 = -\frac{\pi}{4} \cdot \delta R = -0,785 \cdot \delta R$  aufweist. Derselbe Wert wird auch dann gewonnen, wenn man  $u_0$  dem Nalenz-Verfahren entsprechend aus der Flächengleichheit beider Vierecke (Abb. 1c) berechnet. Wird  $\delta R = 0$ , so ergibt sich  $u_0 = 0$ , während es doch richtig  $-f$  sein sollte. Dies ist auch aus Abb. 1a unmittelbar ersichtlich, wenn man diese Abbildung für  $\delta R = 0$  wieder aufzeichnet.

Die Ungenauigkeit der Nalenzschen Verschiebungen hat zur Folge, daß der abzusteckende Bogen genau genommen kein Kreis ist, noch weniger ein durch jenen Halbmesser gebener, den wir eigentlich abstecken wollten. Ist beispielsweise  $\delta R = 0$ , so wird nach Nalenz der Wert sämtlicher Querverschiebungen  $v = -f$ , der Halbmesser des neuen Bogens also  $R - f$  sein, obwohl wir einen Bogen mit dem Halbmesser  $R$  abstecken wollten.

Es ist somit klar, daß das Nalenz-Verfahren ungenau ist und diese Ungenauigkeit nicht immer außer acht gelassen werden kann. Jedoch kann ein Iterationsverfahren derart entwickelt werden, das die Fehler der Nalenzschen Verschiebungen nötigenfalls auszuschalten oder abzumindern ermöglicht. Die Grundlage hierzu bietet die genaue Differenzialgleichung der Querverschiebungen, zu deren Auflösung folgendes Iterationsverfahren eingeführt werden kann.

Die Reihe der Iterationen sei  $v^I, v^{II}, v^{III}, \dots, v^{(n)}, \dots$  und zu ihrer Bestimmung mögen folgende Gleichungen dienen:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 v^I}{d\tau^2} &= \delta r, \\ \frac{d^2 v^{II}}{d\tau^2} + v^I &= \delta r, \\ \frac{d^2 v^{III}}{d\tau^2} + v^{II} &= \delta r, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \dots 5).$$

Mittels den Methoden der Analysis kann festgestellt werden, daß die unendliche Reihe  $v^I, v^{II}, v^{III}, \dots, v^{(n)}, \dots$  konvergent ist und als Grenzwert die Lösung der Gl. 1) gibt. Dies wollen wir weiterhin für den oben erörterten Fall auch rechtfertigen.

Zur ersten Annäherung der Lösung der Gl. 1) dient der Nalenzsche Ausdruck

$$v^I = \iint \delta r \cdot d\tau^2 \dots 6),$$

der durch schrittweise Addierung der Unterschiede  $v^{II} - v^I, v^{III} - v^{II}, \dots$  verbessert werden kann. Diese Unterschiede wieder können aus den durch Subtrahierung der benachbarten Gleichungen entstehenden neueren Gleichungen gerechnet werden:

$$\left. \begin{aligned} v^{II} - v^I &= -\iint v^I \cdot d\tau^2, \\ v^{III} - v^{II} &= -\iint (v^{II} - v^I) \cdot d\tau^2, \\ &\dots \end{aligned} \right\} \dots 7).$$

Dieses Verfahren kann fortgesetzt werden, wodurch man der genauen Lösung der Gl. 1) allmählich näher kommt.

Ist  $\delta r = \delta R$  konstant, so entsteht folgende Reihe:

$$v^I = \delta R \cdot \frac{1}{2!} \cdot \tau^2 + u_0 \cdot \tau + v_0,$$

$$v^{II} - v^I = -\delta R \cdot \frac{1}{4!} \cdot \tau^4 - u_0 \cdot \frac{1}{3!} \cdot \tau^3 - v_0 \cdot \frac{1}{2!} \cdot \tau^2,$$

$$v^{III} - v^{II} = \delta R \cdot \frac{1}{6!} \cdot \tau^6 + u_0 \cdot \frac{1}{5!} \cdot \tau^5 + v_0 \cdot \frac{1}{4!} \cdot \tau^4,$$

Die Addition der bis zu unendlich vielen Gliedern geführten Reihe — mit Rücksicht auf die Reihenentwicklung von  $\sin \tau$  und  $\cos \tau$  — gibt eben die unter Gl. 3) angeführte genaue Lösung der Gl. 1).

Man gestalte die Gl. 1) durch Einführung der Einsetzungen  $d^2 v = \Delta^2 v_x, d\tau^2 = \epsilon_x^2 = \left(\frac{2 h_x}{\sigma}\right)^2$  und  $\delta r = \delta \frac{\sigma}{\epsilon_x}$  in eine Differenzengleichung um. Ändern wir die rechte Seite der Gleichung mittels Differenzierung wie folgt:

$$\delta \frac{\sigma}{\epsilon_x} = -\frac{\sigma}{\epsilon_x^2} \cdot \delta \epsilon_x = -\frac{2}{\epsilon_x^2} \cdot \delta h_x,$$

so geht unsere Gleichung nach Multiplizierung mit  $\epsilon_x^2$  in die nachstehende über:

$$\Delta^2 v_x + \left(\frac{2 h_x}{\sigma}\right)^2 \cdot v_x = 2 \cdot \delta h_x \dots 8).$$

Die obige Iterationsreihe hingegen gestaltet sich folgend:

$$\left. \begin{aligned} v_{Ix} &= \Sigma \Sigma 2 \cdot \delta h_x, \\ v_{IIx} - v_{Ix} &= -\Sigma \Sigma \left(\frac{2 h_x}{\sigma}\right)^2 \cdot v_{Ix}, \\ v_{IIIx} - v_{IIx} &= -\Sigma \Sigma \left(\frac{2 h_x}{\sigma}\right)^2 \cdot (v_{IIx} - v_{Ix}), \\ &\dots \end{aligned} \right\} \dots 9).$$

Mit der so entfalteten Iteration sind wir also imstande, die Nalenzschen Querverschiebungen zu verbessern, was besonders dann nötig ist, wenn die Verschiebungen groß sind und die Summierung sich auf viele Glieder erstrecken muß.

Auch die Vernachlässigung der Längsverschiebungen muß untersucht werden, weil Nalenz, wie vorher festgestellt wurde, auch Anfang und Ende des Bogens fehlerhaft bestimmt, obwohl diese Festlegung ihrer Wichtigkeit wegen mehr Aufmerksamkeit erheischt. Nimmt man die von uns abgeleiteten Gleichungen der Bogenabsteckung als Ausgangspunkt an, ist also

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{d\tau} + v &= \delta r, \\ \frac{dv}{d\tau} - u &= 0 \end{aligned} \right\} \dots 10),$$

dann ergibt die Auflösung der Gleichungen die Längs- und Querverschiebungen genau, so daß jede bisher als unbestimmt behandelte Frage genau beantwortet werden kann.

Selbstredend können wir zur Auflösung unserer Gleichungen nicht allein das Relativbildverfahren, sondern auch andere Methoden verwenden, z. B. eine der hier entfalteteten Iteration ähnliche. Die Mathematik stellt auch andere unmittelbare Näherungsverfahren zur Verfügung, doch wollen wir uns mit deren Anwendung bei der vorliegenden Gelegenheit nicht befassen, bemerken aber, daß in solch einfachen Fällen das unmittelbare Verfahren der Iteration gegenüber bevorzugt wird.

Von den bei der Lösung unserer Gleichungen in Betracht kommenden Verfahren habe ich seinerzeit das Relativbildverfahren deswegen in den Vordergrund gestellt, weil es nicht nur seiner Übersichtlichkeit und Einfachheit, sondern auch seiner Originalität wegen sich auszeichnet. Auch habe ich bewiesen, daß es unter gewissen Verfahren das einfachste ist\*).

### 3. Zusammenhang des Nalenz-Verfahrens mit dem Relativbildverfahren und Klarlegung der einschlägigen Begriffe.

Die Benennung Relativbildverfahren weist auf ein sehr charakteristisches kinematisches Gleichnis, auf die relative Bewegung zweier mit parallelen Tangenten sich bewegenden Punkte, das hiermit schon an und für sich das Wesen des Verfahrens begrifflich macht. Es wäre also nicht richtig, einen Ausdruck viel allgemeineren Sinnes wie „Verfahren mit Verschiebungsplan“ dafür zu gebrauchen.

Zwar erörterte ich das Relativbildverfahren im Rahmen eines Verschiebungsplanes, doch war dort vom Verschiebungsplan auch anderer möglichen Verfahren die Rede. Dortselbst findet man unter anderen auch die — genaue Verschiebungen gebende — Vervollkommnung des Nalenz-Verfahrens. Beginnt man nämlich aus je einem Punkte zweier Bogen mit paralleler Tangente je eine Evolvente, so können die Verschiebungen der parallele Beziehung aufweisenden Punkte der Evolventen aus einem solchen Verschiebungsplan genommen werden, deren Verschiebungslinie eben die Evolvente meines Relativbildes ist\*\*). Diese Evolvente, die eigentlich der Unterschied beider Evolventen vom Bogen ist, gewinnen wir durch Auftragen der Teilsommen der Pfeilhöhenunterschiede nach den schon erwähnten Richtungen, der Pol des Verschiebungsplanes hingegen kann auf bekannte Weise aus den Randbedingungen bestimmt werden. Dieser Verschiebungsplan gibt zwar den genauen Wert der Querverschiebungen beider Bogen, nicht aber jene der Längsverschiebungen.

Diese Vervollkommnung des Nalenz-Verfahrens könnte also ebenfalls als ein „Verfahren mit dem Verschiebungsplan“ bezeichnet werden, doch wäre dadurch das Wesen des Grundprinzips des Verfahrens bei weitem nicht so treffend ausgedrückt, als durch die Bezeichnung „Verfahren der Evolventenunterschiede“. Einst wurde auch das Nalenz-Verfahren so benannt, und zwar sehr richtig, wie dies meine Untersuchungen bezeugen. Die neue Bezeichnung mit dem sogenannten „Winkelbildverfahren“ weist nur auf eine zwischenliegende Abbildung hin, welche aber weniger bezeichnend ist, als die die Querverschiebungen bietenden Evolventenunterschiede. Als zutreffend wäre auch die Benennung „Krümmungsbildverfahren“ zu empfehlen, weil dadurch auf den Anfangspunkt des Verfahrens hingewiesen wird, nämlich darauf, daß wir beim Konstruieren des Absteckplanes mit den Pfeilhöhen beginnen, welche über die Krümmungsverhältnisse unmittelbar Auskunft geben.

\*) Siehe Abschnitt 15 letzter Absatz der genannten Abhandlung.

\*\*\*) Siehe Abb. 17 der genannten Abhandlung und das im Zusammenhange damit Gesagte.

Auch finde ich den Vergleich unseres Verschiebungsplanes mit dem bekannten Williot'schen als nicht zutreffend, weil dieser nicht nur mit unserem Verschiebungsplane nicht übereinstimmt, sondern die Aufmerksamkeit auf eine Erscheinung ganz anderer Natur lenkt. Die Formänderung der Fachwerkkonstruktionen hat nämlich die Richtungsänderung der Stäbe der Konstruktion zur Folge, welchen Umstand der Williot'sche Verschiebungsplan sehr bezeichnend darstellt. Die relative Verschiebung beider Enden je eines Stabes hat einen Längs- und einen Querverschiebungsvektor, die Williot sehr geistvoll in einem gemeinsamen Verschiebungsplane konstruiert. Aber die Endpunkte der im Pol des Planes beginnenden Vektoren bilden keine stetige Linie, sondern erscheinen in der Fläche zerstreut. Demgegenüber trugen wir die Elemente eines Bogens parallel auf die andern, weshalb die relativen Verschiebungen der Endpunkte der Bogenelemente nur Längsverschiebungen sind, die einander angepaßt die die Endpunkte der Verschiebungsvektoren enthaltende Verschiebungslinie bilden. Das Bezeichnende unseres Verschiebungsplanes liegt eben darin, daß die Bogenelemente beim Übergang von einem Bogen zum anderen nur Längsänderung oder nur Drehung erleiden, je nachdem wir das Relativbildverfahren oder das Verfahren der Evolventenunterschiede darstellen wollen.

Das Relativbildverfahren wird durch seine eigenartige Verschiebungslinie gekennzeichnet, und es darf die Ausdrucksfähigkeit dieser Linie nicht durch unzutreffende Vergleiche verdunkelt werden. Wollten wir diese Linie aus unseren mechanischen Kenntnissen ableiten und unseren sonstigen Kenntnissen näher bringen, so brauchten wir nicht weit zu gehen, denn schon auf den ersten Seiten der Kinematik finden wir die uns voll befriedigende Analogie in der Veranschaulichung der relativen Bewegung zweier Punkte. Es kann z. B. gesagt werden, daß wir von einem im Bogen sich bewegenden Zuge aus die Bewegung eines in einem benachbarten Bogen mit uns parallel laufenden Zuges derart sehen, als ob wir aus dem Pol des von uns konstruierten Verschiebungsplanes die Bewegung des in der Verschiebungslinie mit uns parallel sich ebenfalls bewegenden Punktes betrachteten. Unser Verschiebungsplan stimmt also mit dem Verschiebungsplan dieser relativen Bewegung vollkommen überein. Eben deshalb nenne ich unsere Verschiebungslinie das relative Bild und das ganze Verfahren Relativbildverfahren. Diese deutliche und einfache Analogie hilft uns tatsächlich im Bestreben, den Grundgedanken unseres Verfahrens in das umfassende Gebäude des mechanischen Denkens einzufügen. Viele andere mechanische Erscheinungen haben ebenfalls Verschiebungspläne, doch lohnt es sich nicht diese zu erwähnen, weil die unpassend angebrachte Analogie in den meisten Fällen störend wirkt.

Man könnte alles dies als kleinliche Einwendungen bezeichnen, jedoch ohne Grund, weil bei Einführung neuer Dinge Klarheit und richtiger Sinn der Begriffe besondere Sorgfalt erheischen.

Bezüglich der Frage, ob das Relativbildverfahren leicht genug erlernt werden kann, brauche ich mich nur darauf zu berufen, daß das ganze Verfahren auf einem einzigen Satze beruht, daß nämlich die Tangentenabschnitte des relativen Bildes dem Unterschiede der parallelen Tangentenabschnitte beider Bogen gleich sind. Diesen sehr einfachen und anschaulichen Satz kann jeder Fachmann leicht erlernen und danach schon nach einigen Stunden Bogen mit gegebenen Halbmesser abstecken. Auch das Abstecken der an Nebenbedingungen geknüpften Bogen hängt allein von diesem Satze ab, nur müssen — zu einem Versuchsbogen gehörend — anstatt eines zwei relative Bilder konstruiert werden. Nur bei der Berichtigung vorhandener Bogen müssen wir uns noch mit einem heikleren Begriffe, dem Begriffe der durch den Bogen verursachten Streckenverkürzung befrenden, doch findet auch

die zum Begreifen desselben verwendete Mühe reichen Lohn einerseits in der die Beständigkeit der Länge der Strecke ausdrückenden Gleichung, andererseits in dem durch die beabsichtigte Veränderung der Länge der Strecke erweiterten Aufgabenkreise der Bogenberichtigung. Mit dem Nalenz-Verfahren können die hierher gehörigen Aufgaben überhaupt nicht bearbeitet, hingegen mit Hilfe des Begriffes der Streckenverkürzung bequem und sehr genau behandelt werden.

Ich bin der Meinung, daß es überhaupt keine Bogenabsteckungsaufgabe gibt, die mit diesem Verfahren nicht bequem gelöst werden könnte. Betrachten wir nun ein sich auf einen häufig vorkommenden Fall beziehendes Beispiel, dessen Ausarbeitung uns von der bequemen Anwendbarkeit, der großen Übersichtlichkeit und Einfachheit des Verfahrens sicher überzeugen wird. Dieses Beispiel leistet auch dazu gute Dienste, daß wir anstatt der von uns früher in den Vordergrund gestellten Klothoide diesmal hier eine Parabel dritter Ordnung als Übergangsbogen anwenden. Bei der Frage des Übergangsbogens leiste ich bereitwillig der amtlichen Auffassung Folge, daß als Übergangsbogen eine Parabel dritter Ordnung angewendet werden soll, doch muß selbstredend die Anwendung auch fehlerfrei sein.

4. Beispiel für das Relativbildverfahren.

Man verfertige den Absteckplan jenes Bogens, der sich an gegebene Geraden mit Übergangsbogen anschließt und die Achse einer Brücke berührt. Der Zentriwinkel des Bogens sei 72°, der Richtungswinkel der Brückenachse mit der einen Geraden 28°. Die Abszissenlänge der Übergangsbogen sei bei Einhaltung der bezüglichlichen Vorschriften 55 m.

Die Lösung der Aufgabe enthält die nachstehende Zahlentafel I und Abb. 2. Nach diesen haben wir zum Abstecken ein Standvieleck A mit nur vier Eckpunkten aufgenommen, um je eher zu den Hauptpunkten des Bogens gelangen zu können. Die Eckpunkte 1 und 4 nahmen wir auf den abschließenden Geraden (t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>), jene der Eckpunkte 2 und 3 aber in der Brückenachse auf. Die Verschiebung der ersten und letzten Seite des Standvielecks von den Geraden ist also e<sub>1</sub> = e<sub>2</sub> = 0. Die Längen der Seiten und die Größen der Winkel wurden in die Spalte 2 und 3 der Zahlentafel I angeschrieben.

Mit Hilfe dieser Angaben zeichneten wir das Richtungsbüschel und dann das Standvieleck und wählten nachher versuchsweise den Versuchsbogen mit einem Halbmesser von 300 m. Die Berührungspunkte der Seiten des Standvielecks haben wir hier allgemein nicht in die Seitenhalbierungspunkte gesetzt. Den Berührungspunkt 2.5 nahmen wir gleich in der Mitte der Brücke auf, die anderen aber wählten wir so, daß in dem Verschiebungsplan kein negativer Tangentenabschnitt entstand. Selbstredend gelingt dies nicht immer. Die Tangentenabschnitte des Versuchsbogens, des Standvielecks und des relativen Bildes des Standvielecks finden wir in den Spalten 5, 6 und 7 der Zahlentafel I. Den ersten und letzten Tangentenabschnitt des Standvielecks haben wir willkürlich mit den folgenden bzw. vorhergehenden gleich groß angenommen. In der Kopfzeile der Zahlentafel I bezeichneten wir die im Eckpunkte des Standvielecks sich treffende Tangentenabschnitte mit p<sup>A</sup><sub>x</sub> und q<sup>A</sup><sub>x</sub>, die entsprechenden Tangentenabschnitte des Versuchsbogens aber mit p<sup>B</sup><sub>x</sub> und q<sup>B</sup><sub>x</sub>. (Diese Tangentenabschnitte habe ich in meiner Hauptarbeit allgemein mit a<sub>x</sub> und b<sub>x</sub> bezeichnet, doch erwiesen sich diese Bezeichnungen neben den Bezeichnungen A und B des Standvielecks und des Versuchsbogens als unzweckmäßig).

Das Relativbild A' kann mit Hilfe der aus Spalte 7 der Zahlentafel I genommenen Tangentenabschnitte ohne weiteres gezeichnet werden. Zur Bestimmung des Pols B' ist die Verschiebung (f) des Versuchsbogens von den Geraden t<sub>1</sub> und t<sub>2</sub> notwendig. Ferner benötigen wir auch den Abstand (a) des

Zahlentafel I.

x	$\sigma_x + \frac{1}{2}$	$\epsilon_x$	$\text{tg } \frac{\epsilon_x}{2}$	$p^B_x = q^B_x = R \cdot \text{tg } \frac{\epsilon_x}{2}$	$\frac{p^A_x}{q^A_x}$	$\frac{p^A_x - p^B_x}{q^A_x - q^B_x}$
	m			m	m	m
1	2	3	4	5	6	7
0						
1	75.80	16°	0,14054	42,162	43,00 43,00	0,838 0,838
2	87,90	12°	0,10510	31,530	32,80 33,60	1,270 2,070
3	11.810	20°	0,17633	52,899	54,30 53,60	1,401 0,701
4		24°	0,21256	63,768	64,50 64,50	0,732 0,732
5						

Anfangspunktes des Übergangsbogens vom theoretischen Anfangspunkte des Bogens, ebenso wie auch die Ordinate (k) des Endpunktes des Übergangsbogens. Diese Abstände werden aus folgenden Gleichungen berechnet:

$$f = \frac{l^2}{24R} \cdot \left[ 1 + \frac{9}{4} \left( \frac{l}{2R} \right)^2 \right] \dots \dots \dots 11),$$

$$a = \frac{l}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{l}{2R} \right)^2 \right] \dots \dots \dots 12),$$

$$k = \frac{l^2}{6R} \dots \dots \dots 13),$$

wo l die Abszissenlänge des Übergangsbogens und R den Halbmesser des Bogens bedeutet\*).

Für unseren Versuchsbogen wird der Wert f:

$$f^B = \frac{55^2}{24 \cdot 300} \cdot \left[ 1 + \frac{9}{4} \cdot \left( \frac{55}{2 \cdot 300} \right)^2 \right] = 0,420 \cdot 1,0189 = 0,429 \text{ m}$$

sein. Es werden somit die von den äußersten Seiten des Relativbildes A' in diesem Abstände gezogenen Parallelen sich im Pol B' schneiden. Nachher zeichnet man das Relativbild (C') des endgültigen Bogens probeweise derart, daß es das Relativbild der Brückenachse berührt und von dem Relativbilde der Geraden t<sub>1</sub> und t<sub>2</sub> im nachstehend gerechneten Abstände f<sup>C</sup> zurückbleibt. Der Halbmesser des so festgestellten Kreises C' wird δ R = 6.20 m sein. Es ist daher der Halbmesser des endgültigen Bogens R + δ R = 306.20 m, und dessen Abstand von den Geraden t<sub>1</sub> und t<sub>2</sub>

$$f^C = \frac{55^2}{24 \cdot 306.20} \cdot \left[ 1 + \frac{9}{4} \cdot \left( \frac{55}{2 \cdot 306.20} \right)^2 \right] = 0,4115 \cdot 1,0188 = 0,419 \text{ m.}$$

Wir konstruierten auf dem unsere Bedingnisse befriedigenden Kreise C' die Tangentenpunkte des mit dem Standvieleck parallelen Bogenvielecks (0.5: 1.5: 2.5: 3.5: 4.5). Nachher stellten wir die Quer- und Längskomponenten der aus den Tangentenpunkten des Vielecks A' in die entsprechenden Punkte des Kreisbogens C' führenden Verschiebungen fest, und dann trugen diese der Reihe nach — zunächst die Quer-, dann die Längskomponente — auf die Seiten des Standvielecks auf. Ebenso gewinnen wir die einzelnen Punkte des endgültigen Bogens im Felde, und unter diesen auch den theoretischen Anfangs- und den Endpunkt des Bogens (BA, BE). Die Quer- und Längsverschiebungen der letzteren sind: v<sub>0,5</sub> = -f<sup>C</sup> = -0,419 m, u<sub>0,5</sub> = +1,09 m bzw. v<sub>4,5</sub> = -f<sup>C</sup> = -0,419 m, u<sub>4,5</sub> = +0,65 m. Unserer Vorzeichenregel gemäß bezeichneten wir hier die nach

\*) H. Zangl: „Die wahren Mängel des kubischen Übergangsbogens und ihre Beseitigung“. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 5.

dem Inneren des Standvielecks gerichteten Quer- und die mit der Numerierungsrichtung des Standvielecks entgegengesetzten Längsverschiebungen negativ.

Der den Anfangspunkt des Übergangsbogens bestimmende Abstand  $a$  und die Ordinate des Endpunktes des Übergangsbogens werden aus Gl. 12) und 13):

$$a = \frac{55}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{55}{2 \cdot 306,20} \right)^2 \right] = 27,50 \cdot 1,004 = 27,610 \text{ m,}$$

$$k = \frac{55^2}{6 \cdot 306,20} = 1,646 \text{ m}$$

sein. Alle diese Ergebnisse haben wir im Lageplan eingetragen und damit den Absteckplan beendet.

größer, dann müßten die gegenseitige Lage von Brücke und Bogen mittels einiger Abänderung des Halbmessers  $\delta R$  derart verbessert werden, daß der Bogen auf der Brücke Platz habe. Mit der Abänderung des Halbmessers  $\delta R$  kann selbstredend nicht erreicht werden, daß der Bogen die Brückenachse in deren Mitte berühre. Dies könnte man höchstens mit einem Korbbogen oder durch die Änderung der Richtung der Brückenachse erreichen.

Im Falle des Korbbogens würde man das Relativbild  $C'$  aus zwei Kreisbogen herstellen. Der erste würde einen größeren Halbmesser haben, als  $\delta R$ , und das Relativbild  $A'$  in Punkt 2.5 berühren, während der andere mit kleinerem Halbmesser sich

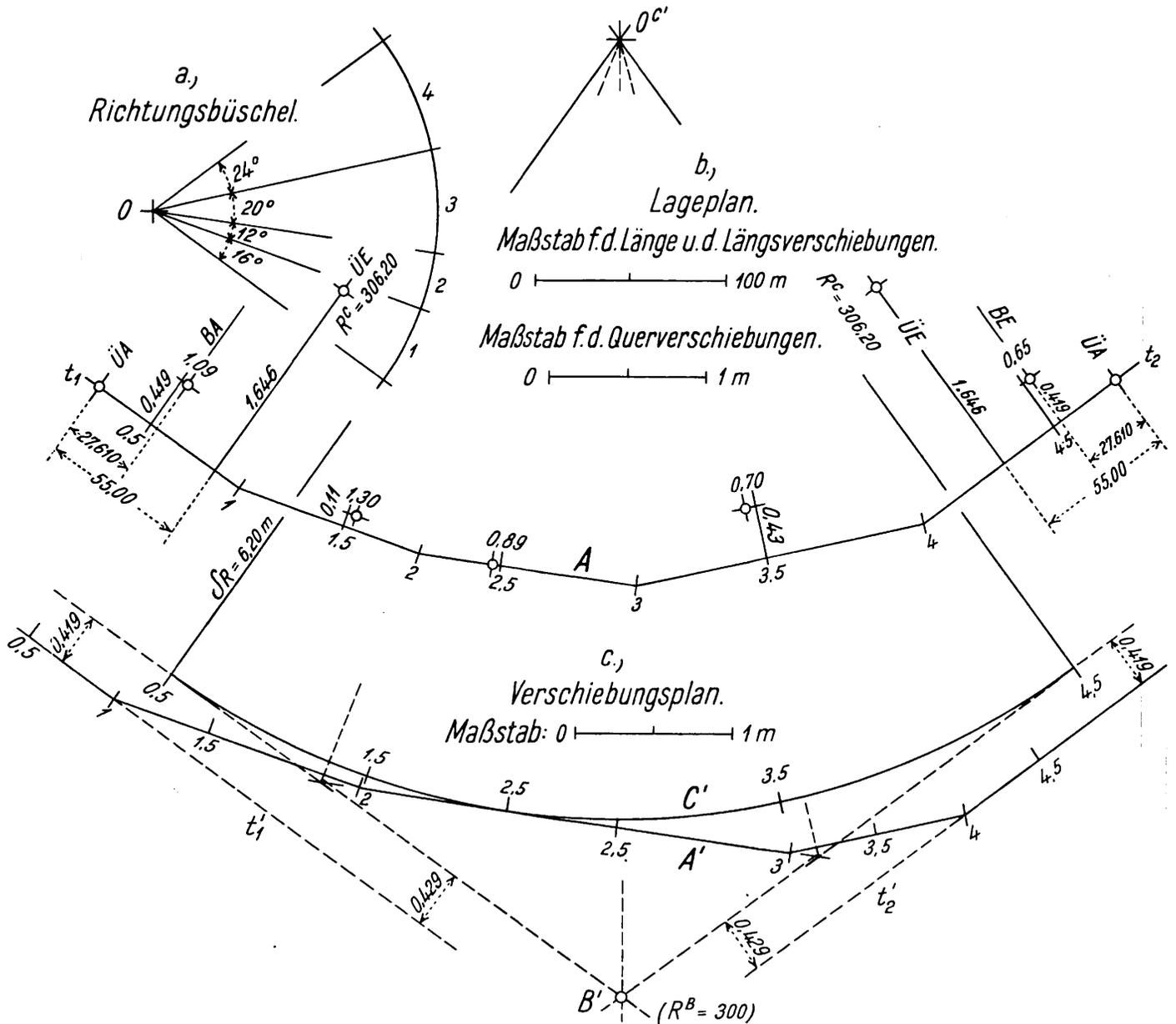


Abb. 2. Absteckplan eines die gegebene Brückenachse berührenden und gegebenen Geraden sich anschließenden Bogens.

Wie aus dem Verschiebungsplane ersichtlich ist, berührt der endgültige Bogen die Brückenachse nicht in der Mitte der Brücke, sondern davon  $u_{2,5} = -0,89 \text{ m}$  entfernt. Eine solche geringe Verschiebung ändert an der gegenseitigen Lage von Bogen und Brücke nicht viel, weshalb der Absteckplan endgültig angenommen werden kann. Die Brückenmitte bleibt vom Bogen in einer Entfernung  $h = \frac{0,89^2}{2 \cdot 306,20} = 0,0013 \text{ m}$  abseits. Wäre aber die Verschiebung des Tangentenpunktes

an den ersten anschließen würde. Der Anschlußpunkt beider Bogen kann in Punkt 2.5 oder rechts davon gesetzt werden. Zum Verschiebungsplan gebrauchten wir hier, um eine größere Abbildung zu vermeiden, einen Maßstab von 1:50. Die Genauigkeit eines Planes von so kleinem Maßstabe ist aber nicht einwandfrei. Doch ist auch ein größerer Maßstab ohne Gefahr der Geräumigkeit möglich, wenn man den Halbmesser des Versuchs bogens und die Tangentenpunkte  $x + \frac{1}{2}$  des Stand-

vielecks A passender wählt. Aus Abb. 2c kann geschlossen werden, daß es zweckmäßiger gewesen wäre, den Halbmesser des Versuchsbogens  $R = 306,20$  m zu wählen und auch die Tangentenpunkte  $x + \frac{1}{2}$  des Standvielecks richtiger mit dem in Abb. 2c gefundenen Werte  $u_x + \frac{1}{2}$  verschoben aufzunehmen. Macht man dies wirklich so, dann wird unser Verschiebungsplan selbst im Maßstabe von 1:10 nicht allzu groß ausfallen.

Das Zeichnen dieses lehrreichen zweiten Verschiebungsplanes sei dem Leser warm empfohlen. Er wird die Überzeugung gewinnen, daß die aus diesem Plane sich ergebenden Verschiebungen mit den in Zahlentafel III enthaltenen, gerechneten Verschiebungen übereinstimmen. Es genügt, diesen zweiten Plan allein vollständig herzustellen, während der erste nach dem Gewinn entsprechender Aufschlüsse entbehrlich wird. Eigentlich kann dieser zweite Verschiebungsplan großen Maßstabes das rechnerische Verfahren vollkommen ersetzen.

Um die in Abb. 2 gewonnenen Verschiebungen überprüfen zu können, mache man nachstehende Berechnungen. Die in Zahlentafel II wiedergegebene Kontrollberechnung beruht auf der Annahme eines mit zeichnerischem Verfahren gefundenen Versuchsbogens vom Halbmesser  $R = 306,20$  m und einer Anfangsverschiebung  $u_{0,5} = +1,09$  m. Die Grundlage zu dieser Berechnung bildeten folgende Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} u_x + \frac{1}{2} &= \delta q_x + (\delta p_x + u_{x-\frac{1}{2}}) \cdot \cos \epsilon_x - v_{x-\frac{1}{2}} \cdot \sin \epsilon_x \\ v_x + \frac{1}{2} &= (\delta p_x + u_{x-\frac{1}{2}}) \cdot \sin \epsilon_x + v_{x-\frac{1}{2}} \cdot \cos \epsilon_x \end{aligned} \right\} 14)$$

wo

$$\left. \begin{aligned} \delta p_x &= p_x^B - p_x^A \\ \delta q_x &= q_x^B - q_x^A \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 15)$$

sind. Die Werte von  $p^A$  und  $q^A$  finden wir in Zahlentafel I, während der Wert  $p^B = q^B = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\epsilon}{2}$  unter Annahme von  $R = 306,20$  m gerechnet wird. Die der Zahlentafel I ähnliche Berechnung der Werte  $p$  und  $q$  wurde hier nicht durchgeführt, doch wurden die Werte selbst in Spalte 3 der Zahlentafel II eingeschrieben. Die Verschiebungen bezeichneten wir in der Zahlentafel II mit  $u'$ ,  $v'$ , da sie noch nicht als endgültige Größen betrachtet werden können.

Zahlentafel II.

x	$\frac{\sin \epsilon_x}{\cos \epsilon_x}$	$\frac{\delta p_x}{\delta q_x}$	$\frac{(\delta p_x + u'_{x-\frac{1}{2}}) \sin \epsilon_x}{\cos \epsilon_x}$	$\frac{v'_{x-\frac{1}{2}} \cos \epsilon_x}{-\sin \epsilon_x}$	$u'_{x+\frac{1}{2}}$	$v'_{x+\frac{1}{2}}$
1	2	3	4	5	6	7
0					+ 1,0900	- 0,4190
1	0,27564 0,96126	+ 0,0333 + 0,0333	+ 0,3096 + 1,0798	- 0,4028 + 0,1155	+ 1,2286	- 0,0932
2	0,20791 0,97815	- 0,6184 - 1,4184	+ 0,1269 + 0,5969	- 0,0912 + 0,0194	- 0,8021	- 0,0357
3	0,34202 0,93969	- 0,3078 + 0,3922	- 0,3796 - 1,0430	+ 0,0335 - 0,0122	- 0,6630	- 0,3461
4	0,40674 0,91355	+ 0,5859 + 0,5859	- 0,0314 - 0,0704	- 0,3162 + 0,1408	+ 0,6563	- 0,3476
5						

Aus Zahlentafel II ist ersichtlich, daß wir von unrichtigen Werten für  $R$  und  $u_{0,5}$  ausgegangen sind, weil  $v'_{2,5}$  nicht Null und  $v'_{4,5}$  nicht  $v_{0,5}$  ergeben. Um den richtigen Halbmesser und die richtige erste Längsverschiebung festzustellen, wende man

sich an die allgemeinen Integrale unserer Gleichungen und betrachte die in Zahlentafel II gerechnete Lösung als eine die Rand- und Berührungsbedingungen nicht befriedigende partikuläre Lösung. Die vollständige Lösung besteht aus zwei Teilen:  $u = u' + u''$ ,  $v = v' + v''$ , wo  $u'$ ,  $v'$  diesmal die in Zahlentafel II enthaltene partikuläre Lösung bedeutet, während  $u''$ ,  $v''$  jene Lösung unserer Gleichungen ist, die sich mit dem Festwert  $\delta R = \delta R$  ergibt. Der Halbmesserszuwachs  $\delta R$  erhöht den als Grundlage der Zahlentafel II dienenden Halbmesser  $R = 306,20$  m auf den richtigen Wert  $R + \delta R$ .

Die Lösung  $u'' = u - u'$ ,  $v'' = v - v'$  ergibt sich als die Lösung der homogenen Gleichungen\*):

$$\left. \begin{aligned} u''_{x+\frac{1}{2}} &= u''_{0,5} \cdot \cos \tau_{x+\frac{1}{2}} - (v''_{0,5} - \delta R) \cdot \sin \tau_{x+\frac{1}{2}} \\ v''_{x+\frac{1}{2}} &= \delta R + u''_{0,5} \cdot \sin \tau_{x+\frac{1}{2}} + (v''_{0,5} - \delta R) \cdot \cos \tau_{x+\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} 16)$$

Da  $\delta R$  voraussichtlich klein ausfallen wird, kann  $v_{0,5} = v'_{0,5} = -0,419$  m angenommen, und somit in den Gl. 16)  $v''_{0,5} = v_{0,5} - v'_{0,5} = 0$  eingesetzt werden. Die letzte Querverschiebung ( $v_{4,5}$ ) muß ebenfalls  $-0,419$  m sein. Zwecks Bestimmung der Werte  $\delta R$  und  $u''_{0,5}$  können aus der Gl. 16) den Werten  $v''_{2,5} = v_{2,5} - v'_{2,5} = 0 - 0,0357 = -0,0357$  m und  $v''_{4,5} = v_{4,5} - v'_{4,5} = -0,4190 + 0,3476 = -0,0714$  m entsprechend zwei neue Bedingungsgleichungen aufgestellt werden:

$$v''_{2,5} = -0,0357 = \delta R \cdot (1 - \cos 28^\circ) + u''_{0,5} \cdot \sin 28^\circ,$$

$$v''_{4,5} = -0,0714 = \delta R \cdot (1 - \cos 72^\circ) + u''_{0,5} \cdot \sin 72^\circ.$$

Aus diesen Gleichungen ergeben sich die zwei Unbekannten  $\delta R = 0,0022$  m und  $u''_{0,5} = -0,0766$  m.

Der Halbmesser des Bogens wurde also mit  $R = 306,20$  m richtig bestimmt, nicht aber der Wert der ersten Längsverschiebung. Der richtige Wert der letzteren ist  $u_{0,5} = 1,0900 - 0,0766 = 1,0134$  m. Wiederholt man nun die in Zahlentafel II gemachte Berechnung mit den Werten  $\delta R = 0$  und  $u_{0,5} = 1,0134$  m, so gewinnt man die in Zahlentafel III aufgeführten Verschiebungen. Diese stimmen mit den zeichnerisch

Zahlentafel III.

x	$u_x + \frac{1}{2}$ m	$v_x + \frac{1}{2}$ m
0		
1	+ 1,0134	- 0,4190
2	+ 1,1559	- 0,1143
3	- 0,8688	- 0,0000
4	- 0,7134	- 0,4024
5	+ 0,6331	- 0,4195

gewonnenen Werten gut überein. Doch sei bemerkt, daß die Übereinstimmung noch vollkommener wäre, wenn wir die Verschiebungen erst nach dem oben erwähnten, zweiten Verschiebungsplane festgestellt hätten.

Das hier angeführte Beispiel zeigt deutlich die großen Vorteile des Relativbildverfahrens, die wir im nächsten Abschnitte auch bezüglich anderer Fälle zusammenfassen werden.

### 5. Vorteile des Relativbildverfahrens.

Neben der Vollkommenheit des Relativbildverfahrens müssen wir auch noch auf andere damit verbundene Vorteile hinweisen, damit nicht — infolge irrtümlicher Beurteilung — als Nachteil aufgefaßt werde, was in der Tat einen Vorteil bedeutet.

\*) Genannte Abh. Gl. 15) und 19).

Vom Relativbildverfahren kann vor allem festgestellt werden, daß es einen gut übersichtlichen Arbeitsgang sichert. Dies geht nicht nur aus den Abb. 1 und 2 durchgeführten Beispielen hervor, sondern kann auch allgemein bewiesen werden. Dem übersichtlichsten Arbeitsgang würden wir offenbar dann folgen, wenn wir die Verschiebungen des Stand- und des Bogenvielecks im Lageplan selbst festzustellen bestrebt wären. Doch diesem unmittelbaren planimetrischen Verfahren kommt das Relativbildverfahren sehr nahe, da die relativen Bilder den ursprünglichen Kurven sehr ähnlich sind. Das relative Bild des endgültigen Bogens ist ebenso ein Kreis, wie der endgültige Bogen selbst, und das relative Bild der Standkurve ist derselben ebenfalls sehr ähnlich. Diese Ähnlichkeit besteht besonders dann, wenn die Bogenelemente gleichen Sinnes sind, d. h. das relative Bild der Standkurve keine zurückkehrenden Abschnitte besitzt. Die Übersichtlichkeit wird durch jene vollkommene Übereinstimmung, die zwischen den Verschiebungen der relativen Bilder und der ursprünglichen Kurven besteht, noch erhöht. Die Übersichtlichkeit des Arbeitsganges des Relativbildverfahrens kann somit offenkundig ernstlich kaum beanstandet werden. Das Nalenz-Verfahren steht dem erwähnten einfachen planimetrischen Verfahren ganz ferne, und es kann auch die Übersichtlichkeit seines Arbeitsganges weder mit jenem, noch mit dem des Relativbildverfahrens nicht verglichen werden.

Schon in meiner Hauptarbeit lenkte ich die Aufmerksamkeit darauf, daß bei der Wahl des Standvielecks die Tangentenabschnitte der Relativbilder nicht allzu groß ausfallen dürfen, da wir sonst gezwungen wären, einen Verschiebungsplan in sehr kleinem Maßstabe zu zeichnen, in dem die Verschiebungen ungenau ausfallen würden. Darauf zu achten ist aber nicht schwer. Nimmt man ein Standvieleck mit gleichen Seiten und Winkeln, also ein regelmäßiges Standvieleck an, dann sind dessen Seite und Winkel so zu wählen, daß das Standvieleck selbst ein umhüllendes Vieleck zu einem solchen Kreise sei, dessen Halbmesser mit dem des Versuchs- und des abzusteckenden Bogens gleich ist. In diesem Falle wird sich das auf den Versuchsbogen bezogene relative Bild des Standvielecks auf einen einzigen Punkt beschränken, wodurch sich alles ungenau einfach gestaltet. Eben deshalb muß man stets nach einem regelmäßigen Standvieleck trachten. Ist dies infolge der Geländebeziehungen nicht möglich, so kann durch zutreffendere Annahme der Berührungspunkte des Standvielecks erreicht werden, daß die Längsverschiebungen geringer ausfallen, und so kann der Verschiebungsplan in einem günstigeren Maßstabe gefertigt werden. Es wird hier auf die, im vorangehenden Beispiel gemachte, diesbezügliche Bemerkung hingewiesen.

In unserem letzten Beispiele haben wir den Verschiebungsplan, der sehr kleinen Umfanges ist, im Maßstabe von 1:50 gefertigt. In solcher Zeichnung können die Verschiebungen mit cm-Genauigkeit festgestellt werden. Hätten wir der größeren Genauigkeit halber im Maßstabe 1:20 gezeichnet, so wäre auch dann der Verschiebungsplan nicht allzu groß. Den Maßstab des Verschiebungsplanes noch größer zu gestalten, wäre aber ganz überflüssig. Mit einem Verschiebungsplan im Maßstabe über 1:10 würde man schon übers Ziel schießen. Zwar wird beim Nalenz-Verfahren auch der Maßstab 1:5 gebraucht, trotzdem können damit die aus dem Wesen des Verfahrens entspringenden Verschiebungsfehler von 30 bis 40% naturgemäß nicht abgeschafft werden. Die Feststellung ist also irrig, daß das Relativbildverfahren in bezug auf die praktische Genauigkeit mit dem Nalenz-Verfahren nur dann gleichwertig sei, „wenn man bei dem neuen Verfahren den Verschiebungsplan in dem gleichen Maßstabe zeichnet, den man beim Winkelbildverfahren für die Ordinaten der Summenlinie benutzt“.

Ein weiterer Vorteil des Relativbildverfahrens ist, daß das Standvieleck auch mit wenigen Seiten aufgenommen werden kann, und man somit rasch zu den Haupt- und einigen Zwischenpunkten des Bogens gelangen kann. Das Nalenz-Verfahren kann nur mit vielseitigen Vielecken arbeiten. Das Vermehren der Seiten aber ist bei weitem nicht so empfehlenswert, wie dies einzelne darzustellen bemüht sind. Dies geht auch aus der Tatsache hervor, daß beim Abstecken eines Bogens mit gegebenem Halbmesser niemand ernstlich daran denkt, das Nalenz-Verfahren anzuwenden, wenn im Gelände der Schnittpunkt der Tangenten (Winkelpunkt) bekannt ist. Vom Winkelpunkte aus können die Hauptpunkte des Bogens mit gegebenem Halbmesser — mit Hilfe des alten trigonometrischen Verfahrens — sehr leicht abgesteckt werden, die nachträgliche Einschaltung der Nebenpunkte aber bereitet keine nennenswerte Mühe. Bei bekanntem Winkelpunkte kann auch die Berichtigung vorhandener Bogen derart erledigt werden, daß man vorher den Halbmesser des geregelten Kreisbogens ausrechnet. Diese Auffassung leitete jene frühere Verfasser, die den Halbmesser des regelmäßigen Bogens unter Anstrengung möglichst geringer Gleisverschiebungswege auf analytisch-geometrischem Wege feststellten\*).

Das nicht zur Genüge begründete Kriterium des Nalenz-Verfahrens der Bogenberichtigung beruht auf der Ausgleichung der positiven und negativen Flächen der Verschiebungen, und führt somit auf Umwegen zum Halbmesser des regelmäßigen Bogens. Das neue Verfahren faßt die Bedingung der Bogenberichtigung durch Einführung des Begriffes der Streckenverkürzung in eine einfache Gleichung, aus welcher der Halbmesser des regelmäßigen Bogens unmittelbar errechnet werden kann. Mit dem so ausgerechneten Halbmesser kann nachher der Bogen vom bekannten Winkelpunkte aus ohne weitere Überlegung in der gewohnten einfachen geometrischen Weise abgesteckt werden. Solcher Art sichert das so sehr unterschätzte trigonometrische Verfahren auch dann noch einen bequemen Arbeitsgang, wenn der unbekannte Winkelpunkt an den Endtangente durch zwei Hilfspunkte ersetzt werden kann. Es kann also bei der Berichtigung vorhandener Bogen anstatt des Nalenz-Verfahrens auch noch das alte trigonometrische Verfahren zweckdienlich gebraucht werden, wenn der Winkelpunkt des Bogens bekannt ist oder durch zwei Hilfspunkte ersetzt werden kann. Das Nalenz-Verfahren verliert seine dem alten Verfahren gegenüber behauptete überlegene Lage infolge der neuen Bedingungsgleichung gerade auf jenem Gebiete, wo man von ihm infolge der kleinen Zentriwinkel eine gute Annäherung erwarten könnte.

Die Bedingungsgleichung der Bogenberichtigung habe ich in meiner Hauptabhandlung (Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 17) unter 39) mitgeteilt. Diese Formel besagt, daß die durch den neuen Bogen verursachte Streckenverkürzung hinsichtlich des durch die Winkelpunkte gehenden Tangentenzuge der durch den alten Bogen verursachte Streckenverkürzung gleich ist\*\*). Beim Aufstellen dieser Formel wurde vorausgesetzt, daß die Übergangsbogen Klothoidenstücke sind. Nimmt man als Übergangsbogen keine Klothoide, sondern eine Parabel dritter Ordnung an, so bekommt die Formel folgende Gestalt:

$$R \cdot \left[ 2 \left( 1 + \frac{f}{R} \right) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \alpha - \frac{1}{10} \left( \frac{1}{2R} \right)^3 \right] = \overline{KT} + \overline{TL} - L_n \cdot 17).$$

\*) Nemcsek: „Analytisches Verfahren für Bogenberichtigung“. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1928, Heft 8. — Dr. Feyl: „Grundlage der Bogenberichtigung“. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932, Heft 22.

\*\*\*) Hierzu sei bemerkt, daß die auf die Relativbilder bezogene Formel 42) falsch ist. Die richtige Formel findet der Leser im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, Heft 2 unter „Berichtigung“.

wo nach Gl. 11)

$$\frac{f}{R} = \frac{1}{6} \left( \frac{1}{2R} \right)^2 \cdot \left[ 1 + \frac{9}{4} \left( \frac{1}{2R} \right)^2 \right] \dots \dots \dots 18)$$

ist.  $\overline{KT}$  und  $\overline{TL}$  sind die beiden Endtangentialabschnitte.  $L_{\text{alt}}$  aber die zwischen den Punkten K und L gemessene Bogenlänge des alten, unregelmäßigen Bogens.

Ein großer Vorteil des neuen Verfahrens ist die Erweiterung des Aufgabenkreises der Bogenberichtigung dadurch, daß es die absichtliche Abänderung der Länge des Gleises in die Bedingungsformel der Bogenberichtigung einführen kann. Eine so erweiterte Aufgabe der Bogenregelung mit dem Nalenz-Verfahren zu lösen ist meines Wissens unmöglich.

Eine Bemerkung sei noch angeschlossen: Wenn man das Standvieleck sehr vielseitig aufnimmt, wozu wir beim Nalenz-Verfahren auch gezwungen sind, so bleibt das neue Verfahren theoretisch auch weiterhin genau, nur praktisch verliert es etwas von seiner Genauigkeit dadurch, daß es die Arbeit sehr zerstückelt. Diese Zerstückelung der Arbeit besteht aber beim Nalenz-Verfahren vielleicht in einem noch gesteigerten Maße. In mathematischem Sinne ist jenes Verfahren als genau zu betrachten, dessen Genauigkeit von der Vernachlässigung der bei sehr kleinen Größen erscheinenden kleinen Größen zweiter und höherer Ordnung abhängig ist. So steht es z. B. bei den aus Pfeilhöhen gemessenen Winkeln des Standvielecks, die, wenn sie klein genug sind, im mathematischen Sinne als genau angenommen werden können, obzwar sie es im absoluten Sinne nicht sind. Also kann auch jene Behauptung nicht bestehen, daß das neue Verfahren in diesem Falle im mathematischen Sinne nicht mehr genau ist („dann ist das Verfahren aber auch nicht mehr im mathematischen Sinne genau“). Ja im Gegenteil, auch von diesem Gesichtspunkte aus ist das neue Verfahren genauer, weil unser Richtungsbüschel auch in diesem Falle streng genau bleibt, während das Nalenzsche Winkelbild nur im mathematischen Sinne als genau angenommen werden kann.

Wir müssen uns noch mit der Frage der nachträglichen Einschaltung der Übergangsbogen befassen, die angeblich „eine bedenkliche Schwäche des neuen Verfahrens“ ist. Nimmt man die Berechtigung des Absteckens von einem Winkelpunkte oder Standvielecke mit wenigen Seiten aus allgemein an, was doch nicht bestritten werden kann, so muß auch jenes Prinzip anerkannt werden, das die Teilaufgaben zu trennen bestrebt ist. Das natürliche Bestreben des menschlichen Denkens wünscht die schwerer lösbaren Teilaufgaben von den leicht zu behandelnden zu trennen. Sind wir schon im Besitze einiger schwer zu bestimmenden Hauptpunkte, so verursacht das Weiterabstecken und die nachträgliche Einschaltung der Übergangsbogen kein Kopfzerbrechen. Diese Arbeit ist sehr einfach, ja schablonenmäßig. Dieser sind auch die im allgemeinen Gebrauche vorkommenden Bogenabsteckungshilfsbücher angepaßt, deren Weisungen eine „bedenkliche Schwäche“ zu nennen noch niemandem eingefallen ist.

Das Abstecken der Übergangsbogen von der Hauptaufgabe abzutrennen ist ein Prinzip, dessen Anwendung auch dem Nalenz-Verfahren zum Vorteil dienen würde. Im Beispiel Abb. 1 wurde dieses Prinzip auch schon angewendet, woselbst wir die Anfangs- und Endquerverschiebungen  $v_0 = v_a = -f$  dem nach Nalenz gerechneten Momentenwerte des Krümmungsbildes des Kreisbogens einfach addierten. Entspricht f der Verschiebung des Übergangsbogens, dann kann dessen Wert aus einer bekannten Formel bequem gerechnet werden. Der Vorteil der in Frage stehenden Trennung tritt besonders dann hervor, wenn wir unsere Aufgabe im Winkelbilde lösen. In

diesem Falle fällt das Zeichnen der dem Übergangsbogen entsprechenden Parabeln zweiter Ordnung, das ungenaue Herummessen an diesen Parabeln und ebenso weiter jene „bedenkliche Schwäche“ des Nalenz-Verfahrens weg, die darin besteht, daß es den Flächenstreifen, der zwischen den Parabeln des Übergangsbogens infolge der Verdrehung des Winkelbildes entsteht, mit einer Annäherung zweifelhaften Wertes bestimmt. Anstatt dessen gehen wir viel einfacher und genauer vor, wenn wir die Ordinate f des theoretischen Anfangspunktes des Bogens rechnerisch bestimmen. Die Genauigkeit des ganzen Verfahrens kann nicht aufs Spiel gesetzt werden nur aus dem einzigen Grunde, daß der Arbeitsgang des Bogenabsteckens einheitlich sei, wenn doch das Prinzip der Trennung der Teilaufgaben jede Ungenauigkeit so leicht abschafft.

Ein bemerkenswerter Vorteil des Relativbildverfahrens ist ferner auch, daß wir die Winkelentfernungen der Fixpunkte durch die Wahl der Winkel des Standvielecks im voraus bestimmen können. Dadurch bekommen wir die Fixpunkte mit strengerer Genauigkeit als beim Nalenz-Verfahren, das die Längsverschiebungen allgemein vernachlässigt. Im Zusammenhange mit dem ersten Beispiel wurde bewiesen, daß die Anfangs- und Endpunkte des Bogens mit dem Nalenz-Verfahren nicht genau abgesteckt werden können. Ebenso steht die Sache auch bezüglich der Bogenmitte oder auch anderswo immer liegenden Bogenpunkte, eben infolge der Unbestimmtheit der Längsverschiebungen im Nalenz-Verfahren.

### 6. Zusammenfassung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Genauigkeit des Nalenz-Verfahrens nicht in jedem Falle befriedigt, weshalb es auch nicht Anspruch erheben kann, allgemein zur Regelung der Bogen gebraucht werden zu können, oder gar vorgeschrieben zu werden. Die bisherige Wertschätzung dieses Verfahrens auf dem Gebiete der Bogenberichtigungen rührt davon her, daß es das erste war, das der, die Beständigkeit der Länge des Gleises sicherstellenden Bedingung der Bogenberichtigung zuerst eine brauchbare Gestalt gab. Heute ist aber dies schon ein überholter Standpunkt, denn es gibt neuere Formeln, die sicher und gerader zum Ziel führen.

Der von mir eingeführte Begriff der Streckenverkürzung sichert nicht nur für die Bogenberichtigung eine einfache Formel, sondern ist auch für die Erweiterung des Aufgabenkreises der Bogenberichtigung geeignet. Die praktische Bedeutung des erweiterten Aufgabenkreises kann nicht bestritten werden.

Also zurück zum alten trigonometrischen Verfahren, das nicht nur zum Abstecken, sondern auch zur Berichtigung der Bogen gebraucht werden sollte, wenn der Winkelpunkt des Bogens bekannt, oder dieser durch zwei Hilfspunkte an den Endtangentialen ersetzt werden kann! Das sonst gutbewährte trigonometrische Verfahren ist nur dann nicht zweckdienlich, wenn der Bogen lang ist und zum Abstecken ein Standvieleck mit mehreren Seiten notwendig wäre, weil die damit verknüpften Rechnungen in diesem Falle sehr langwierig und ermüdend sind und dadurch reichliche Fehlerquellen enthalten. In solchem Falle ist dann ein neues Verfahren nötig.

Als ein solch neues Verfahren kann das Nalenz-Verfahren aber aus den angeführten Gründen nicht einmal in seiner von mir verbesserten Form gelten, wogegen das sich an das trigonometrische Verfahren gut anschmiegende Relativbildverfahren jene Rolle restlos zu erfüllen vermag, die von einem neuen und allgemein anwendbaren Verfahren erwartet werden muß.

## Statische Untersuchung des Eisenbahngleises auf zeichnerischem Wege.

Von G. Halter, ord. Professor der Technischen Hochschule München.

Wenn ein Ingenieur, der nicht bereits auf dem Gebiet des praktischen Eisenbahnbaues einen guten Namen hat, über „Berechnungen am Eisenbahngleis“ schreibt, so kann ein solches Vorgehen dem Ansehen des betreffenden Ingenieurs abträglich sein, denn heute weiß der wirkliche Fachmann, daß die Bemessung des Eisenbahngleises nicht auf Grund theoretischer Berechnungen erfolgt, am allerwenigsten auf Grund rein statischer Untersuchungen. Wenn hier trotzdem ein Versuch unternommen wird, statische Fragen zu behandeln, so geschieht es zunächst ohne Hinblick auf eine praktische Verwertbarkeit. Der Verfasser will lediglich Bilder geben, die sich dem Auge einprägen und dann dem praktischen Gefühl zu Hilfe kommen: eine solche, wenn auch nur geringe Unterstützung des Gefühls ist zuweilen doch wertvoll. Die zeichnerische Methode wurde aus dem schon erwähnten Grunde gewählt und entwickelt, weil ein Bild gebracht werden soll.

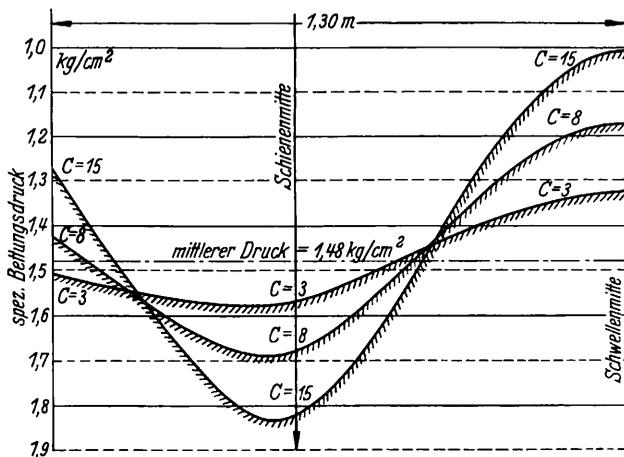


Abb. 1. Druckverteilungslinien bei Holzschwellen und wechselnden Bettungsziffern.

dann aber auch, weil sie auf einfacherem Wege zum Ziel führt als die analytische Methode.

### 1. Untersuchung der Querschwellen.

Die zeichnerische Methode der Untersuchung ist bekannt. Sie soll hier deshalb nur kurz wiederholt werden. Man nimmt zunächst einmal die Druckverteilung der Schwelle auf die Bettung willkürlich, aber vernünftig an, wobei man sich zweckmäßig an gewisse Vorbilder des Schrifttums hält. Mit Hilfe dieser Verteilung ermittelt man auf zeichnerischem Wege die Momentenfläche. Nun faßt man diese Momentenfläche als Belastungsfläche auf und zeichnet hieraus das zweite Seilpolygon mit seinem Horizontalzug

$$H_{II} = \frac{E J}{n H_I}$$

Hierin ist E die Elastizitätszahl des Schwellenbaustoffes, J das Trägheitsmoment des Schwellenquerschnittes, n eine Größe, die auf die Verzerrung des Bildes Einfluß hat und  $H_I$  der Horizontalzug des ersten Seilpolygons. Das zweite Seilpolygon liefert die elastische Linie der Schwelle für die willkürlich angenommene Druckverteilung.

Nun besteht zwischen den Bettungsdrucken und Senkungen, sofern man annimmt, daß die Senkungen elastisch sind, die von Winkler ermittelte Beziehung

$$y = \frac{p}{C}$$

Folglich müßte sich die gefundene elastische Linie mit der Druckverteilungslinie decken, wenn die Druckverteilung

richtig angenommen war. Dies wird meist nicht der Fall sein, darum wird man einen neuen Versuch mit einer verbesserten Druckverteilungsannahme machen müssen; dabei ist natürlich auch darauf zu achten, daß die Verzerrungsmaßstäbe der Druckverteilungslinie und der elastischen Linie der Schwelle zusammenstimmen. Auf diese Weise läßt sich nach einigen Versuchen ein brauchbares Endergebnis erzielen.

In Abb. 1 sind die Druckverteilungslinien von Holzschwellen mit den heutigen Abmessungen  $l = 2,6 \text{ m}$ ,  $b = 0,26 \text{ m}$ ,  $d = 0,16 \text{ m}$  für einen Schienendruck von 5000 kg gezeichnet. Diese 5000 kg erhält man ungefähr bei einer Radlast von 12500 kg und den Verhältnissen des Reichsbahnoberbaues „K“. Man sieht, welchen Einfluß die Bettungsziffer C auf die Verteilung des Druckes hat. Je widerstandsfähiger die Bettung ist, desto ungleichmäßiger ist die Druckverteilung, so gehört die Linie mit der größten Wellen-

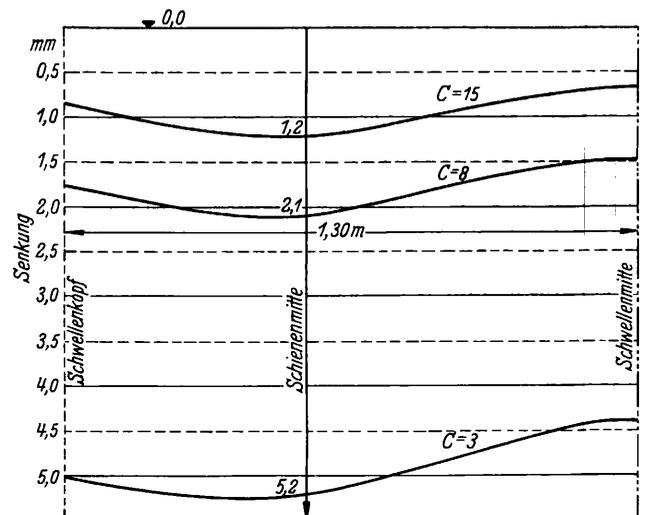


Abb. 2. Elastische Linien und Senkungen der Schwellen für die in Abb. 1 gezeigten Druckverhältnisse.

höhe zu einer Bettung mit  $C = 15 \text{ kg/cm}^3$ , während die flachste Welle zu einer Bettung mit  $C = 3$  gehört. Nun könnte aber aus dieser Abb. 1 ein Irrtum entstehen, nämlich der, daß bei den Bettungen mit höherem C nun auch die elastische Linie der Schwelle die schärferen Krümmungsverhältnisse aufweise. Das ist nicht der Fall, wie in Abb. 2 gezeigt ist, denn von den Drucken kommt man erst durch die Benützung von C auf die Senkungen und dann erkennt man, daß die stärkeren Verbiegungen der Schwellen bei den Bettungen mit kleinerem C auftreten, was ja auch zu erwarten war, wenn man bedenkt, daß eine Druckkonzentration in der Nähe der Schiene natürlich zu kleineren Biegemomenten führen muß.

In Abb. 3 ist gezeigt, wie sehr die Druckverteilung und die elastische Linie der Schwelle von der Schwellenlänge abhängt. Es sind hier Schwellen von 2,6 m Länge (gestrichelt) mit solchen von 2,8 m Länge (ausgezogen) verglichen. Während bei den 2,6 m langen Schwellen die Schwellenmitte höher liegt als die Schwellenköpfe, sind die Verhältnisse bei den 2,8 m langen Schwellen umgekehrt, was schon von Zimmermann hervorgehoben wurde, der dann 2,7 m als günstigste Schwellenlänge empfahl.

Dies sind die Ergebnisse einer Reihe von Schwellenuntersuchungen, die aber bis jetzt nichts Neues brachten. Die Berechnung der Schwellendicke fiel hier gleichsam als Nebenergebnis an, weil man ja die Momentenflächen im Verlauf des Verfahrens ohnehin erhält. Nun war seit langem bekannt, daß im Eisenbahngleis unter der Einwirkung der Betriebs-

lasten nicht nur elastische, sondern auch bleibende Formänderungen entstehen. Hierüber sind sehr wertvolle Angaben in dem ausgezeichneten Buch von Bräuning „Die Grundlagen des Gleisbaues“ zu finden. Dort ist auch der Gedanke ausgeführt, daß unter einer Schwelle die stärker belasteten Schotterteile im Laufe der Zeit ausweichen, und zwar so lange, bis etwa eine gleichmäßige Verteilung des Druckes der Schwelle auf die Bettung sich herausgebildet hat. Dies ist durchaus einleuchtend und dieser Gesichtspunkt hat für die Statik des Eisenbahngleises erhebliche Folgen.

Die erste Folge ist die, daß, wenn man es nur auf die Dimensionierung der Schwelle abgesehen hat, weder das verwickelte analytische Verfahren, das zu einer Differentialgleichung vierter Ordnung führt, noch das mühsame zeichnerische Verfahren durchgeführt zu werden braucht. Man muß nur die Berechnung der Schwelle für gleichmäßig verteilten

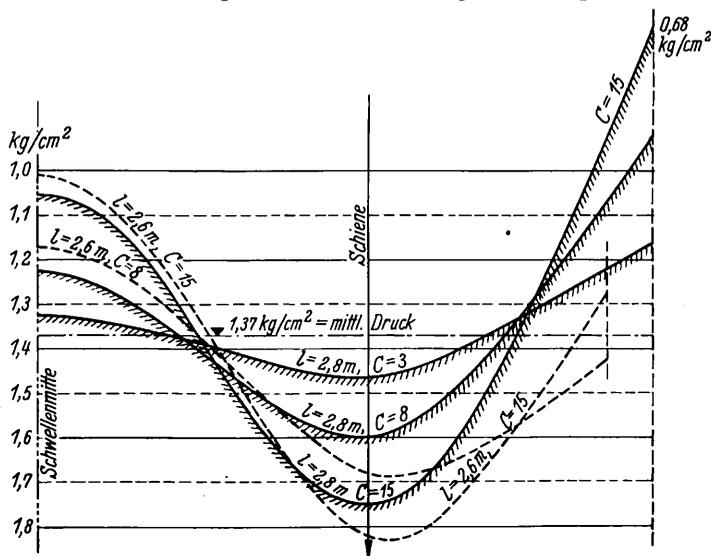


Abb. 3. Druckverteilung für Schwellen von 2,6 bzw. 2,8 m Länge.

Bettungsdruck durchführen, was eine sehr einfache statische Aufgabe ist; dabei ist die vereinfachte Aufgabe viel richtiger, als die bisher als genau angesehene Lösung.

Eine weitere wichtige Folge ist die Verformung des Schwellenlagers auf der Bettung. Der Fachmann weiß, daß zu kurze Schwellen „reiten“, d. h. daß sie im unbelasteten Zustand nur in der Schwellenmitte auf der Bettung aufliegen und dadurch zu einem unruhigen Fahren führen. Leider hat man die Erfahrung machen müssen, daß auch unsere heutigen Normalschwellen zum Reiten neigen, weshalb man die mittleren Teile der Schwelle nicht unterstopft. Dabei verliert man nun freilich wertvolle Auflagerflächen. Daß auch eine 2,6 m lange Schwelle schließlich zu Reiterscheinungen führen muß, erkennt man, wenn man die elastische Linie einer solchen Schwelle für gleichmäßig verteilten Bettungsdruck zeichnet, wie es in Abb. 4 geschehen ist. Hier liegt die Schwellenmitte höher als die Schwellenköpfe. Zum Vergleich ist noch die elastische Linie einer Schwelle von 2,8 m Länge mit gleichmäßig verteiltem Bettungsdruck dargestellt, die sich dagegen ganz anders verhält. Hier liegen die Schwellenköpfe erheblich höher als die Schwellenmitte. Wenn man sich nochmals vergegenwärtigt, daß diese Linie die Verformung des Schwellenlagers angibt, dann müßte man eigentlich zu dem Schlusse kommen, daß die Länge von 2,8 m diejenige ist, von der an die Schwelle keine Neigung zu Reiterscheinungen zeigt und dann wäre allerdings die seinerzeit vorgenommene Verkürzung der Schwellenlänge von 2,7 m auf 2,6 m oder 2,5 m im Hinblick auf die Bahnunterhaltung ein Fehlgriff gewesen. Es darf noch erwähnt werden, daß bei der 2,8 m langen Schwelle

unter der Schiene bei einem Schienendruck von 5000 kg eine statische Biegungsbeanspruchung von rund 67 kg/cm<sup>2</sup> entsteht.

## 2. Untersuchung der Schiene.

Eine rechnerische Untersuchung der Schiene ist, auch wenn man die Zimmermannschen Hilfsmittel benützt, eine etwas umständliche Angelegenheit und der Überblick, den man dabei gewinnt, ist nicht sehr weitreichend. Es liegt daher nahe, einen Versuch zu machen, ob sich nicht auch hier eine zeichnerische Untersuchung finden läßt, die in derselben Weise vor-

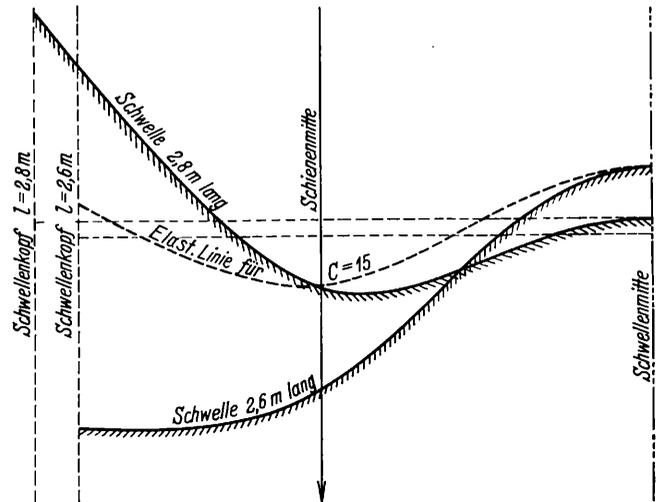


Abb. 4. Elastische Linien von Schwellen, wenn der Bettungsdruck gleichmäßig verteilt ist.

geht, wie die Schwellenuntersuchung. Tatsächlich ist eine solche zeichnerische Lösung möglich, wie in den folgenden Ausführungen gezeigt ist.

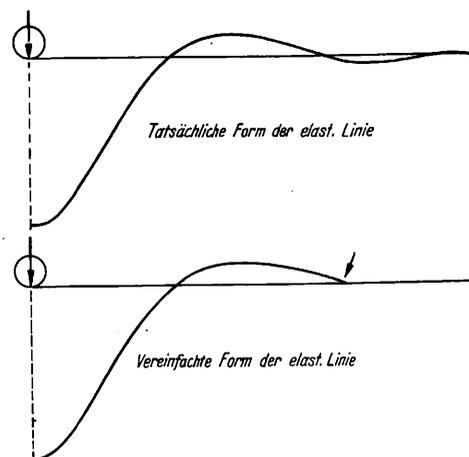


Abb. 5.

Aus einer Schwellenuntersuchung kann man entnehmen, welche Senkung die Schwelle unter dem Schienenfuß bei einem entsprechenden Schienendruck erfährt. Man kann also für jeden Schienendruck aus einer Hilfsfigur die entsprechende Senkung der Schwelle entnehmen. Nun zeichne man für eine Einzellast über der Schienenmitte eine elastische Linie der Schiene hin, wie man glaubt, daß sie ungefähr verlaufen müsse. Aus dieser elastischen Linie kann man dann mittels der Hilfsfigur entnehmen, welche vertikalen Drucke die Schwellen von der Bettung her erfahren. Eine Anzahl von Schwellen wird unter der Radlast in die Bettung eingedrückt werden, während daran anschließend auch einige Schwellen von ihren Lagern abgehoben werden müssen.

Es empfiehlt sich, die Untersuchung nur so weit links und rechts der Einzellast auszudehnen, bis die äußersten angehobenen Schwellen sich ihrem ursprünglichen Lager wieder nähern. Kurz vor diesem Punkt müßte eigentlich die elastische Linie nochmals einen Wendepunkt aufweisen (Abb. 5) und die Momentenfläche einen Nullpunkt. Auf diese Feinheit kann man aber verzichten, weil das Gesamtergebnis dadurch wenig beeinflusst, das Verfahren aber erheblich erschwert wird.

In Abb. 6 wurde eine solche Untersuchung durchgeführt, der folgende Verhältnisse zugrunde liegen: Eine Schiene von

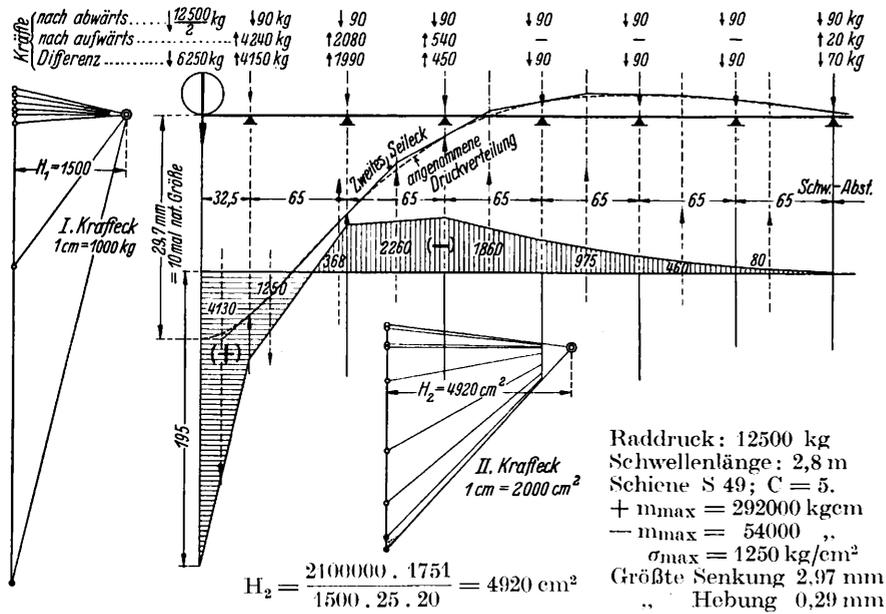


Abb. 6. Statische Untersuchung der Schiene.

540 kg, 0,0,0, und 20 kg betragen müßten. Gerade die letzte Ziffer für die Schwelle 7 könnte wieder den Verdacht aufkommen lassen, als ob hier mit Feinheitengraden gearbeitet würde, die in einer allzu theoretischen Betrachtung ihren Ursprung haben, allein von den Ziffern der äußersten Schwellen hängt die Lage der Schlußlinie in der Momentenfläche ab und damit die Größe und das Verhältnis des positiven zum negativen Teil derselben. Die zu suchende elastische Linie nimmt sofort eine ganz andere Gestalt an, wenn hier auch nur kleine Unrichtigkeiten vorliegen. Im übrigen sind zum Verständnis des Verfahrens kaum weitere Erklärungen nötig, man braucht nur etwas Geduld bei der Durchführung.

In Abb. 7 sind die elastischen Linien der Schienen für eine Einzellast bei den verschiedenen Bettungsziffern dargestellt: man kann aus der Tafel entnehmen, daß die Bettungsdrücke um so kleiner sind, je kleiner die Bettungsziffer ist. Die Biegemomente in der Schiene werden mit wachsender Bettungsziffer kleiner.

Abb. 8 zeigt, welche Form die elastische Linie der Schiene annimmt, wenn eine Einzellast nicht mehr zwischen zwei Schwellen, sondern genau über einer Schwelle steht.

All diesen Untersuchungen haften natürlich jene Mängel an, die mit jeder zeichnerischen Lösung verbunden sind, doch dürfte die Genauigkeit genügen, wenn nur Bilder angestrebt werden. Es läßt sich nun aber nach diesen Vorbereitungen eine analytische Nachrechnung leicht durchführen. Bedauerlich ist, daß man mit diesen Unterlagen nicht zur Ermittlung richtiger Einflußlinien oder durch Übereinanderlagerung zu Bildern mehrachsiger Belastungsfälle kommen kann. Es liegt dies daran, daß das Eigengewicht der angehobenen Schwellen immer das gleiche bleibt, ob nun die Schwelle mehr oder weniger hoch angehoben wird. In einigen Fällen könnte man, jedoch nur für Zwecke eines Überblickes, solche Übereinanderlagerungen vornehmen, z. B. für den Fall, daß man sehen will,

der Form S 49 der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft ruht auf Schwellen von 2,8 m Länge, 0,26 m Breite und 0,16 m Dicke, die in Abständen von 0,65 m verlegt sind. Die Bettungsziffer sei C = 5. In der Mitte zwischen zwei Schwellen greife eine Einzellast von 12500 kg an. Das Eigengewicht des Ober-

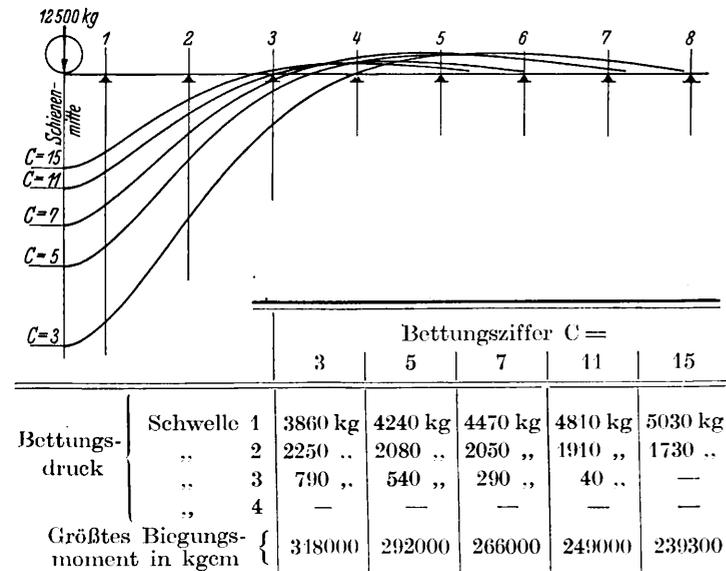


Abb. 7. Elastische Linien der Schiene für verschiedene Bettungsziffern, wenn eine Einzellast von 12500 kg zwischen zwei Schwellen wirkt.

baues, das auf eine halbe Schwelle trifft, wurde zu 90 kg angenommen. Die Zeichnung ist das Ergebnis einiger Vorversuche. Es wurde aus diesen Vorversuchen ermittelt, daß die Bettungsdrücke der Schwellen der Reihe nach 4240 kg, 2080 kg,

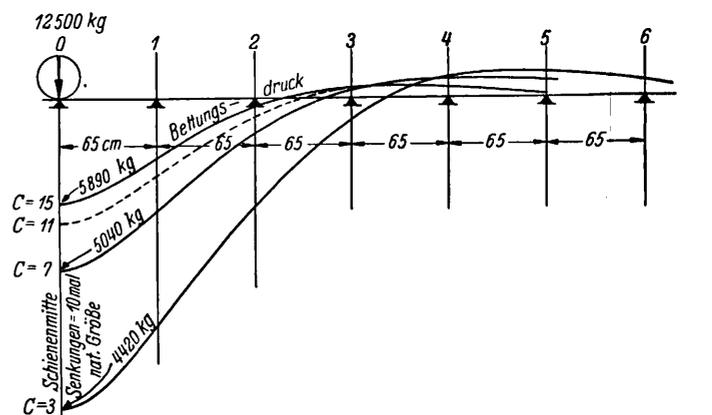


Abb. 8. Elastische Linien der Schiene wenn eine Einzellast von 12500 kg über einer Schwelle wirkt.

bei welchem Belastungsfall die größte Länge der abgehobenen Schienenstrecke eintritt, ein Fall, der für die Entstehung von Gleisverwerfungen von Bedeutung ist. Zunächst erkennt man, daß bei schlechter Bettung eine größere freie Länge entsteht als bei einer wenig nachgiebigen Bettung. In Abb. 9 sind zwei solcher Belastungsfälle gezeichnet. Dieses Bild könnte zur Erklärung der Tatsache dienen, daß Gleisverwerfungen öfter nicht vor oder unter der Lokomotive, sondern unter den folgenden D-Zugwagen eintreten, die ähnliche Belastungsfälle, wie sie in Abb. 9 gezeichnet sind, liefern.

Schließlich kann man mit dieser Methode auch eine Untersuchung der Schiene am Stoß vornehmen. Hierfür ist in Abb. 10 ein Beispiel durchgeführt, wobei eine Schiene S 49,

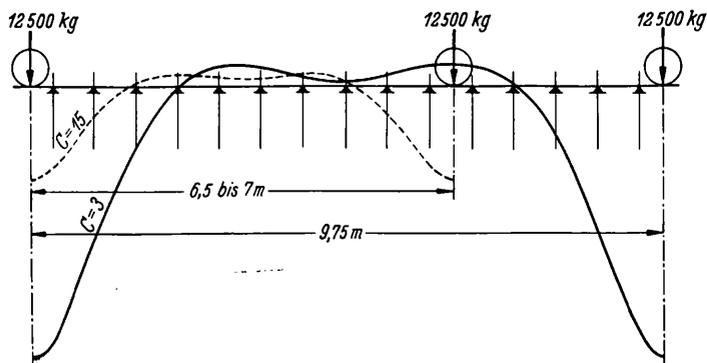
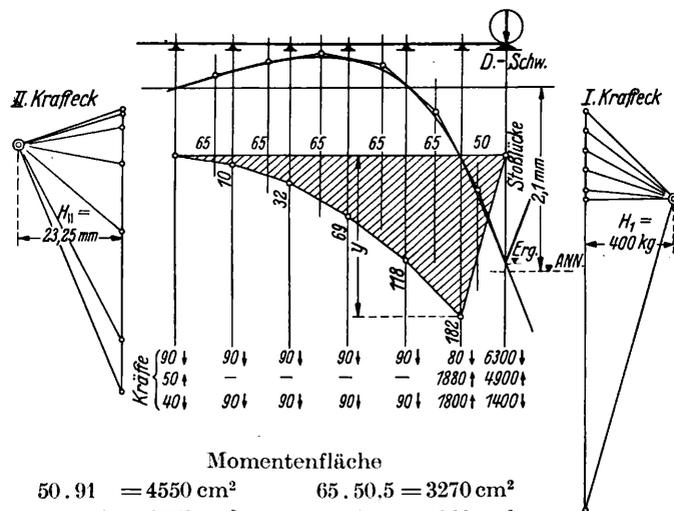


Abb. 9. Elastische Linie der Schiene für ein Lastenpaar, wobei die Lasten so gestellt sind, daß das Gleis auf eine möglichst lange Strecke von der Bettung abgehoben wird.

Schwellen von 2,6 m Länge und am Stoß die übliche Doppelschwelle angenommen wurde, die Bettungsziffer wurde zu  $C = 8$  gewählt. Es zeigt sich dabei, daß die Senkung der Stoßlücke, wenn man von der Wirkung der Laschen absieht, fast genau so groß ist als die Senkung in Schienenmitte bei der gleichen Bettungsziffer. Die Hebung der anschließenden Schwellen ist dagegen etwas größer als in Schienenmitte. Das negative Biegemoment ist, rein statisch genommen, verhältnismäßig klein, ungefähr  $\frac{1}{3}$  des positiven Mittelmomentes. Die Senke am Stoß ist jedoch nur vier Schwellenabstände weit gegenüber fünf in Schienenmitte.

Mit diesen Beispielen mag das Ziel der vorliegenden Arbeit, gewisse Einblicke in die statischen Verhältnisse des Eisenbahn-



Momentenfläche	
50 . 91 = 4550 cm <sup>2</sup>	65 . 50,5 = 3270 cm <sup>2</sup>
65 . 150 = 9750 cm <sup>2</sup>	65 . 21 = 1360 cm <sup>2</sup>
65 . 93,5 = 6080 cm <sup>2</sup>	65 . 5 = 325 cm <sup>2</sup>

$$H_2 = \frac{2100000 \cdot 1775}{400 \cdot 50 \cdot 20} = 9320 \text{ cm}^2 \quad M_{\max} = 182 \cdot 400 = 72800 \text{ kgcm}$$

Abb. 10. Untersuchung der Schiene für eine Belastung von 12500 kg am Stoß. Schiene S 49. Schwellen 2,6 m lang, am Stoß eine Doppelschwelle. Bettungsziffer  $C = 8$ .

oberbaues zu geben und ein neues Verfahren zu zeigen, als vorläufig erfüllt angesehen werden.

## Über eine exakte Methode der Fahrzeitemittlung.

Von Professor Dr. Ing. F. Raab, Karlsruhe.

Hierzu Tafel 28.

Wenn das Problem der Fahrzeitemittlung aus empirisch ermittelten Zugkraftsgeschwindigkeitslinien hier zum Gegenstand einer Erörterung gemacht wird, so geschieht dies, um ein Verfahren bekanntzugeben, welches den für bestimmte Zwecke zu stellenden Genauigkeitsanforderungen in hohem Maße gerecht wird und welches grundlegend ist für eine von Reichsbahnbaumeister Dr. Ing. Rudolf Klein entwickelte erweiterte Methode, durch die insbesondere über den Einfluß des Zuggewichtes auf die Fahrzeit in einfacher Weise tiefere Einblicke gewonnen werden können, als dies mit den bisher veröffentlichten Verfahren möglich ist.

Bekanntlich gewinnt man schon ein angenähertes Bild über die durch die Zugkraft und die Widerstände bedingten Fahrzeiten, wenn man nach dem durch v. Borries entwickelten Verfahren für jeden Streckenabschnitt die sich im Gleichgewichtszustand ergebende Geschwindigkeit bestimmt und annimmt, daß diese Geschwindigkeit in dem betreffenden Streckenabschnitt gleichmäßig eingehalten wird. Wie Prof. Müller-Berlin einmal zutreffend und bildhaft erwähnte, gleicht aber die hierbei zugrunde gelegte Weg-Geschwindigkeitslinie für die gesamte Linie einem schlechtsitzenden Anzug, wenn man sie vergleicht mit der tatsächlich sich einstellenden Weg-Geschwindigkeitslinie, die bei den durch eine Änderung des Widerstandes gekennzeichneten Stellen entweder ursächlich des Beharrungsvermögens oder der sich erst auf dem anschließenden Wegabschnitt in kinetische Energie umsetzenden Beschleunigungskraft immer einen stetigen Verlauf zeigen muß.

Gegenüber dieser Fahrzeitenberechnungsmethode brachten insbesondere die graphischen Verfahren von Müller, Unrein, Strahl, Velte und Cäsar insofern wesentliche Vorteile, als

an den gekennzeichneten Übergangsstellen der allmähliche Geschwindigkeitswechsel Berücksichtigung findet. Bei diesen Verfahren wird vorausgesetzt, daß die Bewegung innerhalb kleiner Zeitintervalle eine gleichförmig beschleunigte sei, und daß die gleichförmige Beschleunigung jener Zugkraft bzw. jenem Widerstand zugeordnet sei, die dem arithmetischen

$$\text{Mittel } V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} \text{ zwischen den Geschwindigkeiten } V_1 \text{ am}$$

Anfang und  $V_2$  am Ende des Zeitintervalls entspricht. Bei dieser näherungsweise richtigen Annahme war es möglich, Verfahren von großer Einfachheit und Anschaulichkeit zu entwickeln, die sich praktisch in den meisten Fällen bewährt haben. Vom theoretischen Standpunkt ist es aber nicht ganz befriedigend, daß gerade das die Einfachheit bedingende Fortschreiten in bestimmten, angenommenen Zeitintervallen zu Extrapolationen zwingt und daß die Annahme einer gleichförmig beschleunigten bzw. verzögerten Bewegung in den einzelnen Zeitintervallen bisweilen zu Fehlern führt, deren Einfluß auf das Gesamtergebnis nicht ohne weiteres abschätzbar ist.

Wegen der durch die üblichen linearen Interpolationen entstehenden Ungenauigkeiten ist eine Untersuchung darüber am Platze, wie die Interpolation durchzuführen ist, damit die Ergebnisse wenigstens der in den einzelnen Zeitintervallen gleichförmig beschleunigt angenommenen Bewegung entsprechen. Zu diesem Zwecke wird die Beziehung zwischen  $V_1$  und  $V_2$  durch die Gleichung:

$$V_2 = V_1 (1 + \alpha)$$

dargestellt, in der der Geschwindigkeitszuwachs  $\Delta V = \alpha \cdot V_1$  gesetzt und  $\alpha$  vollkommen beliebig ist.

Bedeutet  $k$  die konstante Beschleunigung im Untersuchungsintervall, dann ist die im Geschwindigkeitsintervall  $V_2 - V_1$  zurückgelegte Wegstrecke  $s$  nach der Gleichung:

$$s = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2k}$$

zu bestimmen. Ersetzt man hierin  $V_2$  durch  $V_1(1 + \alpha)$ , so hat man die Gleichung:

$$s = \frac{V_1^2 \cdot \alpha}{2k} (\alpha + 2).$$

Für die Interpolation ist es nun von Wichtigkeit, diejenige Teilstrecke  $v \cdot s$  des Weges  $s$  zu bestimmen, die einerseits dem Teilbetrag  $\mu \cdot \Delta t$  des Zeitintervalls  $t_2 - t_1$ , andererseits dem Teilbetrag  $\mu \cdot \Delta V$  des Geschwindigkeitsintervalls  $V_2 - V_1$  entspricht.

Für die gesuchte Teilstrecke  $v \cdot s$  findet man die Gleichung:

$$v \cdot s = \frac{V_1^2 \cdot \alpha \cdot \mu}{2k} (2 + \alpha \cdot \mu),$$

wenn an Stelle von  $\Delta V = \alpha \cdot V_1$  der Teilbetrag  $\mu \cdot \alpha \cdot V_1$  gesetzt wird, also an Stelle von  $\alpha$  der Wert  $\alpha \cdot \mu$ .

Die Verhältniszahl  $v$  ergibt sich nun zu:

$$v = \frac{\mu (\alpha \cdot \mu + 2)}{\alpha + 2}$$

Diese den gesuchten Zusammenhang zwischen den Größen  $v$ ,

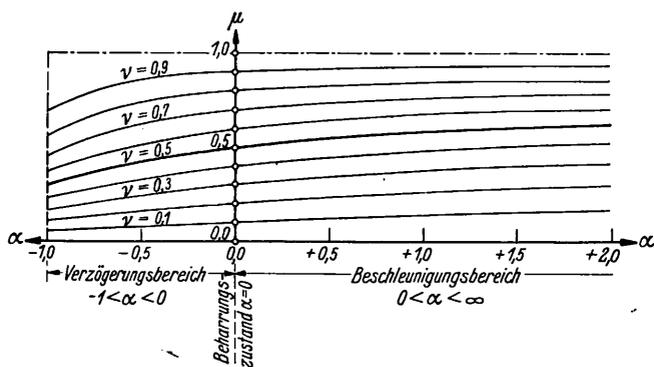


Abb. 1.

$\mu$  und  $\alpha$  wiedergebende Beziehung ist in Abb. 1 dargestellt. Auf der Abszissenachse ist die Größe  $\alpha$  aufgetragen, die im Intervall  $-1 < \alpha < 0$  die gleichförmig verzögerte, für  $\alpha = 0$  die gleichförmige und im Intervall  $0 < \alpha < \infty$  die gleichförmig beschleunigte Bewegung kennzeichnet. Auf der Ordinatenachse sind die  $\mu$ -Werte aufgetragen, den  $v$ -Werten entspricht die  $v$ -kotierte Kurvenschar. Man erkennt, daß  $v$  im Verzögerungsbereich größer als  $\mu$ , für den Beharrungszustand gleich  $\mu$  und im Beschleunigungszustand kleiner als  $\mu$  ist. Ist also beispielsweise der Geschwindigkeitszuwachs nicht  $\Delta V$ , sondern nur  $0,5 \cdot \Delta V$ , so daß für  $\mu = 0,5$  zu setzen ist, so ergeben sich im Verzögerungsbereich  $v$ -Werte zwischen 0,5 und 0,75; im Beschleunigungsbereich liegen sie zwischen 0,5 und 0,25. Hieraus geht hervor, daß in Grenzfällen der dem halben Geschwindigkeitszuwachs entsprechende Weg das 0,25- bis 0,75fache desjenigen Weges betragen kann, der dem gesamten Geschwindigkeitszuwachs  $\Delta V$  entspricht. Bei den praktisch vorkommenden Geschwindigkeitsänderungen liegt  $\alpha$  zwischen  $-0,5$  und  $+0,5$ . Einem  $\mu$ -Wert von 0,5 entsprechen dabei  $v$ -Werte in den Grenzen zwischen 0,58 und 0,44. Demnach entstehen bei linearer Interpolation im Verzögerungsbereich Fehler bis zu 16%, im Beschleunigungsbereich bis zu 12%. Diese Fehler können indessen durch bessere, den vorliegenden Untersuchungsergebnissen angepaßte Interpolationsverfahren ausgeschaltet werden bis auf einen Fehlerrestbetrag, der durch die näherungsweise Annahme gleichförmig beschleunigter oder verzögerter Bewegung bedingt ist.

Wenn demnach die durch die Interpolation bedingte Unvollkommenheit nicht allzu schwer ins Gewicht fällt und durch Verbesserung der Interpolationsverfahren fast behoben werden kann, so sollte doch nicht unerörtert bleiben, welchen Einfluß die in den Verfahren liegende Annahme einer sprunghaften Änderung der beschleunigenden bzw. verzögernden Kraft auf das Ergebnis hat: insbesondere, da die Annahme, daß diese Kraft dem arithmetischen Mittel zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit des Zeitintervalls zugeordnet sei, nicht ganz der Wirklichkeit gerecht wird. Jedenfalls ist diese Zuordnung nur dann hinreichend befriedigend, wenn sich die beschleunigende bzw. verzögernde Kraft in dem Zeitintervall stetig und nur verhältnismäßig wenig ändert. In allen anderen Fällen, insbesondere bei sprunghaften Änderungen der Zugkraft, die bei mehrstufig übersetzten Motoren von Rohlokomotiven auftreten, oder auch bei un stetiger Änderung der Zugkraft, die bei der Übergangsgeschwindigkeit der Dampflokotiven vorliegt, erscheint es lohnend, die in den Verfahren liegenden Ungenauigkeiten zu erörtern.

Zu diesem Zweck wird an Hand eines Geschwindigkeits-Beschleunigungsdiagramms (Abb. 2), das eine un stetige Änderung der Zugkraft aufweist, gezeigt, wie in dem betrachteten

Geschwindigkeitsintervall die Verhältnisse liegen, wenn, ausgehend von der Anfangsgeschwindigkeit  $V_1$ , mittels des Zeitwinkels  $\mu t$  die Endgeschwindigkeit  $V_2$  gefunden werden soll. Dem Verfahren entspricht die Gleichung:

$$p = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{2 \cdot \text{tg} \frac{\mu t}{2}}$$

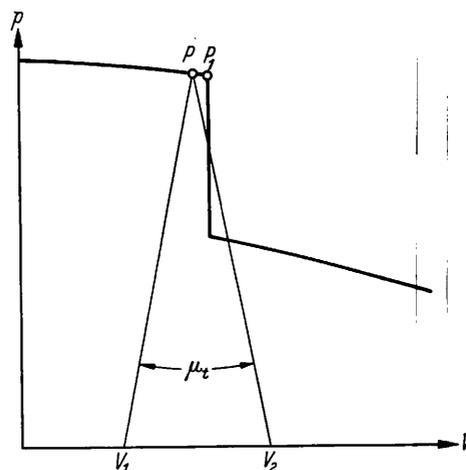


Abb. 2.

aus der sich  $V_2$  für die dem Punkt  $P_1$  zugeordnete Beschleunigung  $p$  so ergibt, als ob  $p$  im Geschwindigkeitsintervall  $\Delta V = V_2 - V_1$  konstant bliebe. Offensichtlich ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, denn die Beschleunigung ist zwar bis zur Übergangsgeschwindigkeit, der der Punkt  $P_1$  zugeordnet ist, nahezu konstant, nimmt aber dann etwa hyperbolisch ab. Es ist auch nicht durchsichtig, wie der Scheitel des Zeitwinkels  $\mu t$  gelegt werden soll, damit die dem wirklichen Beschleunigungsverlauf entsprechende Geschwindigkeit  $V_2$  am Ende des betrachteten Zeitintervalls richtig gefunden wird. Selbstverständlich kann die Größe des Zeitintervalls und damit die Größe des Zeitwinkels der Gestalt der  $p$ - $V$ -Kurve angepaßt werden, um den entstehenden Fehler zu verringern. Hierdurch wird aber die Frage nach der Genauigkeit nicht gelöst, sie kann jedoch für jeden Einzelfall beantwortet werden, wenn man die Ergebnisse der Fahrzeitemittlung mit jenen vergleicht, die ein von systematischen Fehlern freies Verfahren liefert.

Ein solches Verfahren ist das vom Verfasser entwickelte, das die Fahrzeit in Abhängigkeit von beliebig angenommenen Wegstrecken ohne jegliche Interpolation und entsprechend dem wirklichen Verlauf der zugrunde gelegten Geschwindigkeitsbeschleunigungslinie ohne systematische Fehler bis auf Zeichengenauigkeit exakt liefert. Vor der Anwendung des Verfahrens ist allerdings eine etwas größere Vorarbeit zu leisten als bei den bekannten graphischen Verfahren; für die Ermittlung der Fahrzeiten im Einzelfall sind dann aber zeichnerische Arbeiten nicht mehr nötig, da die zu entwickelnde graphische Rechen-

tafel die gesuchten Zeiten in ähnlicher Weise abzulesen gestattet, wie dies bei einer nomographischen Tafel der Fall ist.

Zur Entwicklung der graphischen Tafel geht man von der Geschwindigkeitszugkraftlinie der Zugmaschine aus und trägt in das Diagramm zunächst die für die horizontale gerade Strecke maßgebende Widerstandslinie  $W_{L+Q}$  für den ganzen Zug ein, deren Ordinaten der Summe der für die Lokomotive und den Wagenzug gesondert ermittelbaren Widerstände entsprechen (Abb. 3). Die Wahl der Formeln für diese Widerstände ist von dem Verfahren an sich unabhängig und richtet sich allein danach, wie die größtmögliche Genauigkeit erzielt werden kann. In vorliegendem Fall ist der Widerstand für die Lokomotive und den Tender nach der Formel:

$$1) \dots \dots W_L^{kg} = 2,5 L_2 + c L_1 + 0,6 F \left(\frac{V}{10}\right)^2$$

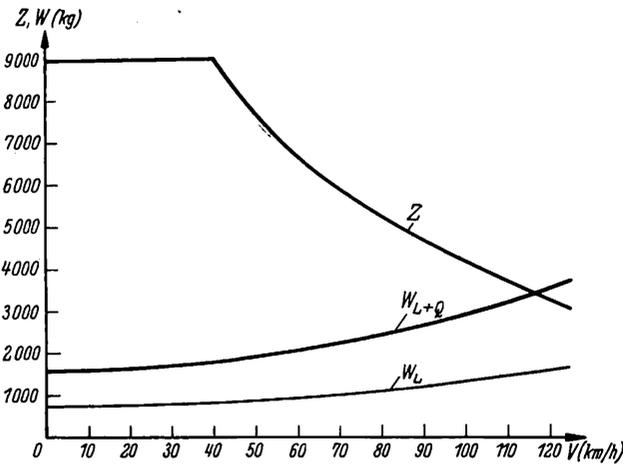


Abb. 3.

und für einen aus acht D-Zugwagen von zusammen  $Q = 400$  t Gewicht zusammengesetzten Wagenzug nach der Formel:

$$2) \dots \dots W_Q^{kg} = Q \left[ 2,1 + 0,02 \left(\frac{V}{10}\right)^2 \right]$$

berechnet worden. In diesen Formeln ist:

$L_2$  = Gewicht auf den Laufachsen der Lokomotive und den Tenderachsen in t (110 t)

$L_1$  = Reibungsgewicht der Lokomotive in t (60 t)

$c$  = Kennziffer der Maschinenreibung (7.3)

$F$  = Querschnittsfläche in  $m^2$  (10  $m^2$ ).

Die in Klammern beige gesetzten Zahlen beziehen sich auf das den Abbildungen zugrunde gelegte Zahlenbeispiel.

Die Ordinatendifferenzen der Zugkrafts- und Widerstandslinie geben zunächst für die horizontale gerade Strecke die bei jeder Geschwindigkeit noch für die Beschleunigung verfügbaren Kräfte an. Diese Kräfte sind in Abb. 4 in Abhängigkeit von V aufgetragen. Für Geschwindigkeiten unter  $V = 116$  km/h hat man positive Kräfte, für größere Geschwindigkeiten werden sie negativ. In geneigten und gekrümmten Strecken sind die auftretenden Widerstände von der in Abb. 4 dargestellten frei verfügbaren Kraft in Abzug zu bringen. Der durch eine Neigung von  $n$  ‰ verursachte Widerstand beträgt  $W_n = G \cdot n$ ; der Widerstand in Krümmungen mit dem Halbmesser R kann nach der Formel  $W_c = \frac{G \cdot 650}{R - 55}$  berechnet werden. G bedeutet dabei das Gewicht des gesamten Zuges. Da diese Widerstände von der Geschwindigkeit nicht abhängig sind, ändern sich die Ordinaten der Kraftlinie in Abb. 4 auf Neigungen und Krümmungen für jede Geschwindigkeit um einen konstanten Betrag. Berücksichtigt man noch, daß der Krümmungswiderstand äquivalent einem zusätzlichen Neigungswiderstand ist, so ist offensichtlich, daß die Krümmungswiderstände dadurch berück-

sichtigt werden können, daß man ideale Neigungen zugrunde legt, die sich um den Betrag des Krümmungswiderstandes von den wirklichen Neigungen unterscheiden.

Um für alle in Betracht kommenden Neigungen die Größe der verfügbaren Beschleunigungskraft übersichtlich darzustellen, kann man in einfacher Weise das Koordinatensystem in Richtung der Ordinatenachse parallel zu sich selbst um den Betrag  $W_n = G \cdot n$  verschieben und die V-Achsen in den verschiedenen Neigungen entsprechenden Lagen durch Beisetzen der Neigung in ‰ kennzeichnen, wie dies in Abb. 4 geschehen ist. Die je nach der Bahnneigung verschieden großen Kräfte (Z—W) können nun dieser Darstellung im ganzen Geschwindigkeitsbereich entnommen werden. Diese Kräfte sind allein maßgebend für die Änderung des Bewegungszustandes. Nach dem dynamischen Grundgesetz: Kraft = Masse  $\times$  Beschleunigung kann nun bei der konstant bleibenden Masse des Zuges für jede

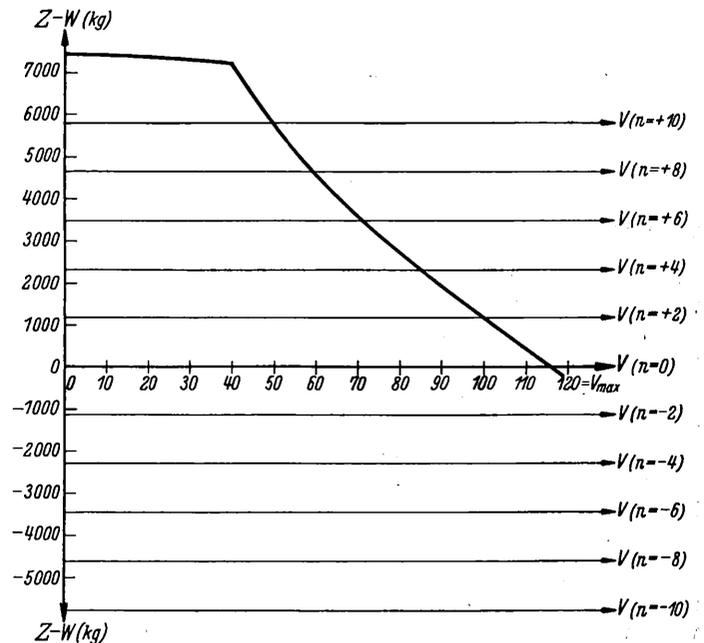


Abb. 4.

Geschwindigkeit auch die Beschleunigung abgelesen werden, wenn man den entsprechenden Maßstab bestimmt hat.

Für jede Streckenneigung n ergibt sich die Beschleunigung  $\frac{dV}{dt}$  nach der Gleichung:

$$3) \dots \dots \frac{dV}{dt} = \frac{Z - W}{m} = F(V).$$

Die Zeit t ergibt sich aus dem Integral:

$$4) \dots \dots t = \int \frac{dV}{F(V)} + C.$$

Dem Resultat der Integration entspricht eine Gleichung von der Form:

$$5) \dots \dots t = \Phi(V) = \Phi\left(\frac{ds}{dt}\right).$$

Die inverse Funktion ist:

$$6) \dots \dots \frac{ds}{dt} = \Psi(t).$$

woraus sich der Zusammenhang zwischen Zeit und Weg findet entsprechend der Gleichung:

$$7) \dots \dots s = \int \Psi(t) dt + C$$

in der Form:

$$8) \dots \dots s = \xi(t).$$

Mit den Gl. 5) und 8) beherrscht man den Bewegungsvorgang vollständig, so daß es offensichtlich nur darauf ankommt, die

durch sie beschriebenen Abhängigkeiten darzustellen, und zwar für jede in Betracht kommende Neigung.

Wie Gl. 4) erkennen läßt, ist zunächst die durch diese angedeutete Integration durchzuführen.

Zu diesem Zweck hat man nach Berechnung des der Abb. 4 entsprechenden Beschleunigungsmaßstabes dieser für jede Neigung im ganzen Geschwindigkeitsbereich die Beschleunigung  $\frac{dV}{dt}$  zu entnehmen und die reziproken Werte  $\frac{dt}{dV} = \frac{1}{F(V)}$  in ein Koordinatensystem gemäß Abb. 1, Taf. 28 einzutragen, in dem die Geschwindigkeiten  $V$  Abszissen und die  $\frac{dt}{dV}$ -Werte

Ordinaten sind. Entsprechend den zweckmäßig in gleichen Intervallen zu wählenden Neigungen entstehen zwei  $n$ -kotierte Kurvenscharen, von denen diejenige mit positiven Werten  $\frac{dt}{dV}$  für den

Beschleunigungs- und diejenige mit negativen Werten  $\frac{dt}{dV}$  für den Verzögerungsbereich gilt. Bei der Geschwindigkeit, bei der  $\frac{dV}{dt} = 0$  wird, bei der also ein Gleichgewichtszustand zwischen der Zugkraft und dem Widerstand vorhanden ist, verlaufen die Kurven wegen  $\frac{dt}{dV} = \infty$  ins Unendliche. Diese Stellen sind gekennzeichnet durch die in Abb. 1, Taf. 28 strichpunktiert eingetragenen Asymptoten.

Gemäß Gl. 4) sind nun die zugehörigen Integralkurven in bekannter Weise auf graphischem Wege entwickelt und in dem  $t$ - $V$ -Koordinatensystem Abb. 2, Taf. 28 dargestellt. Man erhält ein System von zwei  $n$ -kotierte Kurvenscharen. Aus Zweckmäßigkeitsgründen werden die Randbedingungen bei der Integration so gewählt, daß die Zeit  $t = 0$  im Beschleunigungsbereich der Geschwindigkeit  $V = 0$  und im Verzögerungsbereich der Geschwindigkeit  $V = V_{\max}$  zugeordnet ist.

Die graphische Darstellung gestattet nun die Fahrzeit  $t$  anzugeben, die auf einer Strecke mit der Neigung  $n$  benötigt wird, um eine beliebige Geschwindigkeit  $V$  zu erreichen oder auch, um die Geschwindigkeit von  $V_1$  auf  $V_2$  zu steigern. Die Darstellung zeigt ferner die Höchstgeschwindigkeit an, die auf einer bestimmten Neigung erreicht werden kann. Diese Höchstgeschwindigkeit wird theoretisch erst nach unendlich langer Zeit, praktisch also nie erreicht, sofern nicht vorübergehend die Zugkraft etwas über das durch die Zugkraftslinie gegebene Maß hinaus vergrößert wird. Entsprechend wird auch bei verzögerter Bewegung die Beharrungsgeschwindigkeit erst nach unendlich langer Zeit erreicht, wenn die volle Zugkraft wirksam bleibt.

Es ist nun noch der Zusammenhang zwischen Fahrzeit und Weg darzustellen. Die hierzu nötige Umkehrfunktion  $V = \Psi(t)$  für die verschiedenen  $n$ -Werte ist bereits durch die Kurven im  $t$ - $V$ -System der Abb. 2, Taf. 28 gegeben, wenn man die  $t$ -Achse als Skala der unabhängigen, die  $V$ -Achse als Skala der abhängigen Veränderlichen betrachtet. Die Integralkurven  $s = \xi(t)$  werden graphisch für den Beschleunigungs- und Verzögerungsbereich gefunden, wobei als Randbedingung einheitlich  $s = 0$ ;  $t = 0$  gewählt wird. Das ( $s$ - $t$ )-Koordinatensystem wird zweckmäßig so gelegt, daß seine  $t$ -Achse mit derjenigen des ( $V$ - $t$ )-Systems zusammenfällt.

Aus dem so entwickelten Diagramm kann ohne weitere Rechnung diejenige kürzeste Fahrzeit ermittelt werden, die der Zug zum Durchfahren einer Strecke mindestens benötigt, wenn die Zugmaschine eine der jeweiligen Geschwindigkeit entsprechende Zugkraft entfaltet. Die so festgelegte Definition der kürzesten Fahrzeit weicht übrigens von derjenigen etwas ab, die Müller, Unrein, Velte, Strahl und Cäsar gegeben

haben, da hierbei keinerlei Voraussetzung derart gemacht wird, daß die Zugkraft vorübergehend erhöht und der Energievorrat, der beispielsweise durch Anfahren einer Dampflokomotive mit größerer Füllung in Anspruch genommen worden ist, beim nächsten Halt wieder ergänzt wird.

Um die Benützung des Diagramms an einem praktischen Beispiel zu zeigen, wird im folgenden die Fahrzeit ermittelt, die der durch die obigen Angaben gekennzeichnete Zug auf einer durch das Längsprofil (Abb. 3, Taf. 28) dargestellten Bahnlinie benötigt.

Der Zug fahre im Bahnhof A an und bewege sich mit der jeweils der Leistung angepaßten Geschwindigkeit über die einzelnen Streckenabschnitte. Nach einem Gesamtweg von 15 km wird schließlich der auf der Horizontalen liegende Bahnhof B erreicht.

Aus Zweckmäßigkeitsgründen kann man das Längsprofil in demselben Maßstab aufzeichnen, der als Wegmaßstab in Abb. 2, Taf. 28 gewählt wurde. Entsprechend der Länge des ersten 3000 m langen horizontalen Streckenabschnittes, ist die Lösungslinie (1) zu verfolgen, die über die Kurve  $n = 0$  die Fahrzeit  $t = 240$  s zeigt. Dieser Wert ist der Übersichtlichkeit halber unter dem Längsprofil bei km 3,0 eingetragen. Bei Weiterverfolgung dieser Lösungslinie im  $V$ - $t$ -Diagramm wird die Geschwindigkeit am Ende des Streckenabschnittes zu  $V = 77,6$  km/h ermittelt, die ebenfalls unter dem Längsprofil bei km 3,0 eingetragen wird. Für die Bewegung im nächsten 1500 m langen Streckenabschnitt mit  $n = +10^0/00$  Neigung ist von dieser Geschwindigkeit auszugehen. Wie ersichtlich, schneidet die durch den Punkt  $V = 77,6$  gehende Lösungslinie (2) die ( $n = +10$ )-kotierte Kurve im Beschleunigungsbereich nicht mehr. Der Zug verliert also auf der Steigung  $n = 10^0/00$  an Geschwindigkeit. Im Verzögerungsbereich findet man über die Lösungslinie (2) an der ( $n = +10$ )-kotierte Kurve des ( $s$ - $t$ )-Systems denjenigen Punkt, von dem aus die 1500 m lange Strecke anzutragen ist, um zwischen dem Endpunkt der Strecke und dem lotrecht darunter liegenden Kurvenpunkt die zugehörige Fahrzeit 79 s als Ordinaten-differenz im Zeitmaßstab abzulesen. Die Endgeschwindigkeit ergibt sich bei Weiterverfolgung mit der Lösungslinie (3) zu  $V = 67$  km/h. Die gefundenen Werte sind unter dem Längsprofil (Abb. 3, Taf. 28) eingetragen, ebenso auch die Fahrzeiten und Geschwindigkeiten in den folgenden Streckenabschnitten, die in gleicher Art und Weise gefunden wurden. Die unterste Spalte der Abb. 3, Taf. 28 enthält die bis zu den einzelnen Punkten der Bahnlinie durch Addition gefundenen Fahrzeitsummen  $T$ .

Die Geschwindigkeit bei km 14,0 beträgt 92 km/h. Bei einer durch Bremsung auf der letzten 1000 m langen Strecke bis zur Station B bewirkten, gleichmäßigen Verzögerung  $p$  ergibt sich letztere zu:

$$p = \frac{92^2}{3,6^2 \cdot 2 \cdot 1000} = 0,326 \text{ m/s}^2,$$

so daß sich die Fahrzeit  $t_b$  während des Bremsvorgangs aus der Gleichung:

$$t_b = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000}{0,326}}$$

zu

$$t_b = 78 \text{ s}$$

bestimmen läßt.

Die Gesamtfahrzeit ist gleich der Summe der Einzelfahrzeiten und beträgt 787 s = 13' 6". Demnach beträgt die mittlere Geschwindigkeit auf der 15 km langen Linie 68,5 km/h, die der Konstruktion einer ausgeglichenen Zeitweglinie im Abschnitt zwischen A und B zugrunde zu legen wäre.

Durch das Beispiel soll lediglich das Grundsätzliche der Methode dargelegt werden. Selbstverständlich können auf

dieselbe Weise auch die bei freiem Auslauf oder der Einwirkung einer von der Geschwindigkeit abhängigen Bremskraft zustande kommenden Bewegungen zeitlich genau verfolgt werden.

Die beschriebene Methode wird empfohlen, wenn es sich um Feststellung der Fahrzeit handelt, die mit einer bestimmten Lokomotive, sowie bei ein- und demselben Zugsgewicht auf ver-

schiedenen Strecken benötigt wird, oder um möglichst exakt zu ermitteln, welche Lokomotive bei der Beförderung eines Zuges von bestimmtem Gewicht die kürzeste Fahrzeit bringt. Da bei der Methode vereinfachende Annahmen nicht gemacht werden müssen, treten systematische Fehler nicht auf, so daß das Verfahren auch geeignet erscheint, um die Größe der systematischen Fehler anderer Verfahren zu bestimmen.

## Rundschau.

### Besonderheiten beim Bau einer hölzernen Eisenbahnbrücke in Nordamerika.

In der Nähe der Stadt New Orleans ist kürzlich ein neu hergestellter Hochwasserabflußkanal des Mississippi mit seinem Vorgelände von drei Eisenbahnlinien überbrückt worden. Wegen des außerordentlich ungünstigen Baugrundes wurden für die Brückenpfeiler hölzerne Joche gewählt, die wegen Brandgefahr durch auf Pfählen ruhende Betonwände gruppenweise voneinander getrennt sind (Abb. 1). Der Feuergefahr ist auch dadurch begegnet, daß die hölzernen Bahnschwellen in bestimmten Abständen durch Verlegung einer Anzahl eiserner Schwellen unterbrochen sind.

Wenn hölzerne Eisenbahnbrücken in Deutschland heutzutage für den endgültigen Zustand auch nicht mehr in Frage kommen, so könnten doch bei Zerstörung durch Hochwasser, Fliegerangriffe usw. Behelfskonstruktionen aus Holz Anwendung finden. Die vorgenannten amerikanischen Brücken, bei deren Ausführung ungewöhnliche Schwierigkeiten vorlagen, bieten daher auch für den deutschen Fachmann Interesse.

Die Gesamtlänge der auf hölzernen Jochen ruhenden Gleise beträgt 12,5 km. Das zu überbrückende zum großen Teil sumpfige Gelände liegt vielfach nur etwa 50 cm über dem Meeresspiegel und bietet geringen Widerstand gegen Abspülung durch Hochwasser. Probebohrungen bis zu einer Tiefe von 45 m unter der Erdoberfläche ergaben als oberste Schicht einen mit Mutterboden stark durchsetzten schwarzen Sumpfboden, der auf mehreren Tonschichten gelagert war, die so viel Wasser enthielten, daß ihre Tragfähigkeit stark vermindert war. Sandschichten von erheblicher Stärke wurden in einer Tiefe von über 24 m vorgefunden. Die Tragfähigkeit des Baugrundes ist daher außerordentlich gering. Es wurden deshalb für den größten Teil der Brückenlänge imprägnierte hölzerne Joche zur Abstützung gewählt. Ein Teil der Pfähle ist bis zu 31 m lang,

In den den Hochwasserabflußkanal begrenzenden Deichen wurden Öffnungen für die bestehenden Eisenbahnen gelassen. Um diese Öffnungen während des Brückenbaues bei etwa eintretendem Hochwasser des Mississippi schnell und ohne Störung der Brückenbauarbeiten schließen zu können, wurde die neue Linienführung der Bahnen so gewählt, daß sie in genügendem Abstand von den Lücken verliefen, andererseits aber die Baumaterialien auf den bestehenden Bahnen herangeschafft werden konnten.

Bei der gewählten Brückenkonstruktion mit hölzernen Jochen hing bei den drei Eisenbahnen der Fortschritt der Bauarbeiten in erster Linie von einem zweckmäßigen Einrammen der Pfähle ab. Eingehende Untersuchungen führten hierbei zu folgenden Ergebnissen: Zum großen Teil ist die Beschaffenheit des Geländes an der Baustelle derartig, daß es keine genügende Tragfähigkeit zur Aufstellung und Fortbewegung eines Rammgerüsts bietet. Für diese Fälle war es notwendig, das Rammgerüst auf dem bereits gerammten Jochen aufzustellen und mit Fortschritt der Arbeiten vorwärts zu bewegen. Abb. 2 zeigt die Anordnung der Rammvorrichtung. Sie besteht aus einer horizontalen Fläche von 15 m Länge und 6 m Breite mit einem Turmgerüst von etwa 16 m Höhe am vorderen Ende, auf dessen oberen Querbalken der Rammbar nicht nur seitlich bewegt, sondern für schräg zu schlagende Pfähle auch in der Neigung der Pfähle eingestellt werden kann. Auf dem hinteren Ende der horizontalen Fläche waren die Dampfmaschine zur Betätigung des Rammbars und zur seitlichen Bewegung und Schrägstellung desselben sowie zur Handhabung der Pfähle, ferner eine maschinelle Anlage für elektrische Beleuchtung und einige andere Hilfsvorrichtungen

angebracht. Die ganze Rammvorrichtung war größtenteils aus Holz hergestellt. Sie wurde auf hölzernen Walzen bewegt, die auf hölzernen Langschwellen liefen. Letztere ruhten auf Querbalken, die provisorisch auf den eingerammten Pfählen befestigt waren. Zur Arbeitersparnis waren die Querbalken jedoch nur auf den drei äußeren Pfählen beiderseits der Joche befestigt,

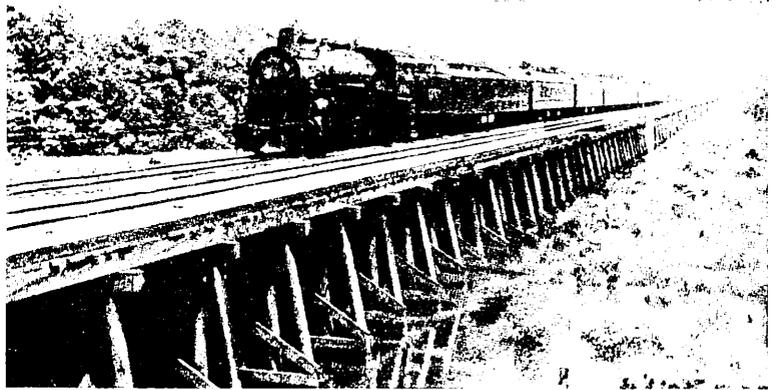


Abb. 1. Anordnung der Brücken-Joche mit zwischenliegenden Betonwänden.

welche über die mittleren Pfähle etwas hinaus ragten. Beim Vorwärtsbewegen der Rammvorrichtung wurden die provisorischen Querbalken und Langschwellen aufgenommen und für das folgende zu ramme Joch neu verlegt.

Bei der teilweise sehr beträchtlichen Länge der Pfähle mußten einige derselben aufgefropft werden. Die unteren Pfähle wurden dann nicht imprägniert. Die Verbindung der beiden Pfähle geschah durch Stahlrohre von 25 cm Länge.

Für die Beschaffenheit des Baugrundes ist es bezeichnend, daß häufig die Pfähle schon durch ihr Eigengewicht 3 m in den Boden einsanken und daß ein weiteres Einsinken um 6 m durch das Gewicht des ruhenden Rammbars bewirkt wurde.

Die weiteren Arbeiten an den Jochen, nämlich das Abschneiden der Pfahlköpfe, das Aufbringen der endgültigen Querbalken und Versteifungshölzer und das Verlegen des Oberbaues einschließlich der Bettung wurden unabhängig von der Rammarbeit durch je besondere Arbeitsrotten ausgeführt.

Bei Abschneiden der Pfähle wurden die Sägen entweder durch Luftdruck betrieben oder mit Hand bewegt. Die abgeschnittenen Pfahlköpfe wurden mit einem Band von starker



Abb. 2. Rammgerüst.

Pappe umgeben, das etwa 4 cm über den Pfahlkopf hinausragte. Die Höhlung wurde mit Creosot ausgefüllt. Nach Ablauf von mindestens drei Tagen wurden dann durch die Arbeitsrotte, welche

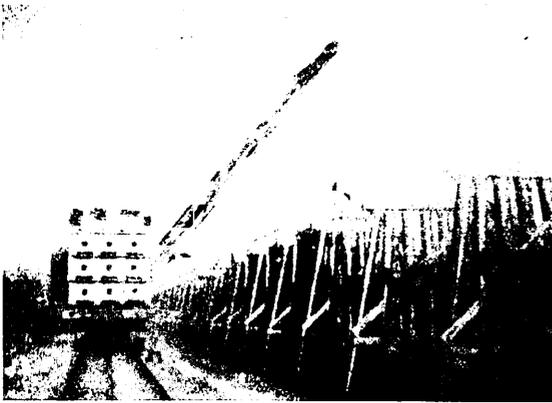


Abb. 3. Aufbringung der Eisenkonstruktion auf die Joche mittels Kran.

die endgültigen Querbalken aufbrachte, die Oberfläche der Pfähle vor Aufbringen der Querbalken mit einer Mischung von Creosot und Asphalt gestrichen.

Für das Aufbringen der endgültigen Querbalken wurde gleichfalls eine besondere bewegliche Vorrichtung geschaffen. Auch hier bewegt sich die Anlage auf den bereits verlegten Querbalken vorwärts. Am hinteren Ende befindet sich ein Luftkompressor, der die erforderliche Kraft zum Bewegen der zu verlegenden Querbalken lieferte. Das am vorderen Ende befindliche schräggestellte Dreiecksgerüst trägt einen Flaschenzug, an dem die Querbalken aufgehängt wurden und der durch den Kompressor betätigt wurde. Der Kompressor liefert außerdem die Kraft für die Bohrmaschinen zur Herstellung der Holzverbindungen.

Das Anbringen der Versteifungshölzer, das Aufbringen der Abdeckung und der Bettung und das Verlegen des Oberbaues bieten keine Besonderheiten.

Wo es die Beschaffenheit des Untergrundes gestattete, wurde eine der vorgeschriebenen ähnliche Rammvorrichtung gewählt, die jedoch auf Schienen lief, welche auf kräftiger Unterlage auf dem Erdboden verlegt waren.

Erwähnt sei schließlich noch, daß auf einen Teil der Brücke Eisenkonstruktionen auf die hölzernen Joche verlegt wurden. Jede Öffnung der Eisenkonstruktionen wurde in der Werkstätte vollständig fertiggestellt, so daß Nietarbeit an der Baustelle nicht erforderlich war. Abb. 3 zeigt die Aufbringung der Eisenkonstruktionen mittels Kran, der auf dem Gleise der bestehenden Eisenbahn bewegt wurde.

Sr.

Rly. Age 1935.

## Bücherschau.

**Zehnteilige Einflußlinien für den durchlaufenden Träger.** Von Dr. Ing. Georg Anger. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn 1936. 88 Seiten, Preis kart. 8,20 *℞.ℳ.*

Auf den ersten 23 Seiten wird an Hand der Clapeyronschen Gleichung die Theorie zur Bestimmung der Stützmomente, Feldmomente, Querkräfte und Auflagerkräfte entwickelt, sodann werden die Maximalbelastungsfälle in Skizzen dargestellt und schließlich die Einflußlinien der Biegemomente und Querkräfte abgeleitet. Auf den folgenden 66 Seiten sind dann die Ordinaten der Einflußlinien und die Maximalwerte für gleichförmig verteilte Lasten für den Balken auf drei, vier und fünf Stützen mit gleichbleibendem Trägheitsmoment und dem praktischen Bedürfnis entsprechenden Stützweitenverhältnissen in ausreichender Abstufung dargestellt. Ein Hinweis, daß diese Tafelwerte mit geringfügigen Umformungen auch für den im Brückenbau wichtigeren Fall der Verhältnisse der Schlankheitsgrade  $\frac{1}{J}$  in den einzelnen Öffnungen gelten, wäre erwünscht gewesen. Die, abweichend von sonstigen Tabellen, gewählte Zehnteilung der einzelnen Öffnungen erleichtert die Bestimmung von Zwischenwerten.

Ganz besonders aber muß dem Satz des Vorworts zugestimmt werden: „Die genaue Kenntnis der Berechnung durchlaufender Träger wird bei den Benutzern dieses Werkes als selbstverständlich vorausgesetzt.“ Diesen Benutzern kann das Werk zur Erleichterung ihrer Arbeit bestens empfohlen werden.

Leider ist aber durch den Aufbau der Tafeln, die die Ordinaten der Einflußlinien von Punkt zu Punkt als Funktionen der Laststellung auffassen und darstellen, die Benutzung auch Unbefugten recht leicht gemacht. Hier sei eine allgemeine Bemerkung über derartige Trägertabellen gestattet, ohne damit die Brauchbarkeit des vorliegenden Werkes für die Praxis mindern zu wollen. Mit weit weniger Tafelwerten würde man auskommen, wenn man die Einflußlinie in ihrer höheren Bedeutung als die durch die Verformung „eins“ verursachte Biegelinie des Trägers der Betrachtung zugrunde legen und insbesondere die in ihrer ursprünglichen Form heute für die Behandlung der vorliegenden Aufgabe als überholt anzusehende Clapeyronsche Dreimomentengleichung durch die entsprechende, weit allgemeinere gültige Dreiwinkelgleichung ersetzen würde. Jede Einflußlinie setzt sich dann zusammen aus:

1. Der als Biegelinie aufgefaßten Einflußlinie des beiderseits eingespannten Balkens, deren Ordinaten in dankenswerter Weise auf der letzten Seite des Werkes angegeben sind.

2. Der Biegelinie des durchlaufenden Trägers, bestimmt durch ihre Stützpunktdrehwinkel, die sich als Funktionen der Einspannmomente des verformten eingespannten Balkens ergeben und als solche leicht in Tafeln darzustellen wären.

Die Erfassung dieser beiden Gebilde durch Tafelwerte würde die Tafeln verallgemeinern, ihren Umfang verringern, den Benutzer zwingen, auf Grund klarer geometrischer Vorstellungen mit Verständnis zu arbeiten und endlich die Tafel für Unbefugte unbrauchbar machen.

Dr. Ing. Krabbe.

## Berichtigung

zum Aufsatz: **Eigenspannungen an Eisenbahnschienen** (Heft 15 vom 1. August 1936).

In dem Kapitel „Eigenspannungen einiger Spezialschienen“ auf S. 326 und 327 sind die Festigkeitswerte des Schienenwerkstoffes in  $\text{kg/cm}^2$  angegeben. Selbstverständlich muß es  $\text{kg/mm}^2$  heißen. Diese Festigkeitswerte wurden bei den Eigenspannungsuntersuchungen nicht eigens gemessen. Wie mir mitgeteilt wird, ist das für die Verbundschienen angegebene Festigkeitsverhältnis überholt und daher unzutreffend. Beide Werke liefern Schienen mit Festigkeiten von 110 bis 130  $\text{kg/mm}^2$  im verschleißfesten Kopf und 45 bis 60  $\text{kg/mm}^2$  im übrigen Querschnitt. Ich sehe mich ferner veranlaßt zur Vermeidung von Irrtümern meinen

kurzen Hinweis auf die Herstellung der Verbundschienen zu korrigieren. Die Herstellung beider Verbundschienen unterscheidet sich im wesentlichen nur durch das Gießverfahren beim Ausgießen der Kokille. Die Klöcknerwerke gießen beide Werkstoffe gleichzeitig in die Kokille unter Einschaltung eines gelochten Trembleches. Bochumer Verein gießt hintereinander (nach Erstarren des einen Teiles). Auch bei der Verbundschiene des Bochumer Vereins ist eine gute Verbindung der beiden Werkstoffes schon vor dem Walzen erreicht. Durch einen Schmiedeprozess und durch das Walzen wird die Verbindung noch weiter gefördert.

Dr. Ing. Meier.

*Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen.*

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.