

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Dr. Ing. Heinrich Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

92. Jahrgang

1. März 1937

Heft 5

## Die Ermittlung der kürzesten Fahrzeit auf mechanisch-dynamischer Grundlage\*).

Von Reichsbahnbauassessor Rudolf Klein, Karlsruhe.

Hierzu Tafeln 8 bis 10.

### I. Entwicklung des Verfahrens.

Grundlegend für das im folgenden entwickelte Verfahren ist die von Professor Dr.-Ing. Friedrich Raab im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1936, Heft 18, veröffentlichte Abhandlung „Über eine exakte Methode der Fahrzeitemittlung“. Sein System läßt eine Lösung zu, bei der für ein- und dasselbe Zuggewicht die Fahrzeit in Abhängigkeit von beliebig angenommenen Wegstrecken gefunden wird. Die hier beschriebene erweiterte Methode macht darüber hinaus im allgemeinen Falle auch noch den Einfluß des Zuggewichtes auf die Fahrzeit deutlich und liefert somit die Fahrzeit exakt in Abhängigkeit von beliebig angenommenen Wegstrecken, Zuggewichten und Neigungen entsprechend dem Verlauf der zugrundegelegten Geschwindigkeit/Beschleunigungslinien. Es ist besonders geeignet, um den Einfluß verschiedener Zuglasten auf beliebiger Neigung zu erfassen und bildet dadurch eine praktische Handhabe zur Berechnung der reinen\*\*) und kürzesten Fahrzeiten.

Die Ermittlung der Fahrzeiten im Reibungs- und Motorzugkraftbereich erfolgt getrennt. Da es sich hauptsächlich um den Motorzugkraftbereich handelt, soll diese Untersuchung zuerst durchgeführt werden.

Das Wesentliche des neuen Verfahrens besteht darin, daß für die empirisch gefundene Geschwindigkeit/Zugkraftlinie [Textabb. a\*\*\*] eine mathematische Kurve substituiert wird, an welche folgende Bedingungen geknüpft werden:

1. Die Kurve muß sehr genau mit der empirisch ermittelten übereinstimmen,

2. die diese Kurve beschreibende Gleichung muß von einer solchen Form sein, daß unter Berücksichtigung des Widerstandgesetzes die Geschwindigkeit/Zeit-, die Weg/Zeit- und die Weg/Geschwindigkeitslinien nach Einführung dimensionsloser ideeller Weg-, Zeit- und Geschwindigkeitswerte bei beliebigem Zuggewicht benutzt werden können.

Diese Bedingungen werden erfüllt durch die Gleichung:

$$1) \dots \dots \dots Z(V) = A V^\alpha + B V^\beta + C,$$

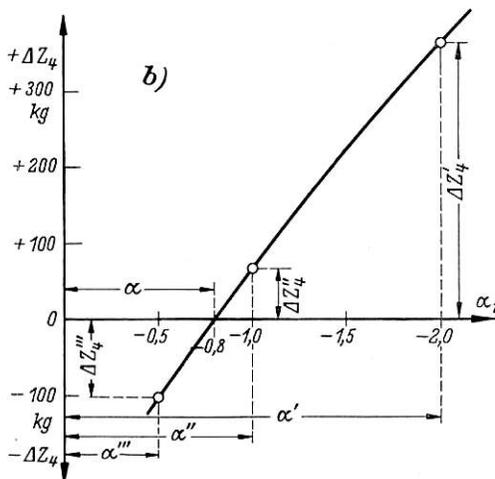
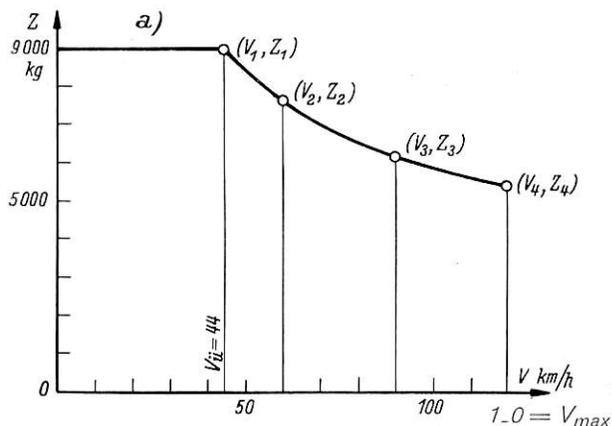
wobei  $Z(V)$  die Zugkraft in kg und  $V$  die Geschwindigkeit in km/h bedeuten und  $A, B, C$  und  $\alpha$  Parameter sind, deren Größe von dem Verlauf der Geschwindigkeit/Zugkraftkurve abhängig ist. Der Parameter  $\beta$  erhält, um das Verfahren in der unten entwickelten Form durchführen zu können, denselben Wert, den der Exponent der Geschwindigkeit  $V$  im Laufwiderstandgesetz hat. Da hierbei überwiegend mit dem quadratischen Gesetz gerechnet wird, ist in den folgenden mathematischen Ausführungen  $\beta = 2$  gesetzt. Diese Annahme ist indessen keine für das Verfahren notwendige Voraussetzung.

\*) Diese Abhandlung ist ein Teil der der Technischen Hochschule Karlsruhe vorgelegten und im Januar 1936 genehmigten Dissertation „Die Ermittlung der kürzesten Fahrzeit auf mechanisch-dynamischer Grundlage“.

\*\*) Im Bereich der Deutschen Reichsbahn wird unter reiner Fahrzeit diejenige Fahrzeit verstanden, welche für ein bestimmtes Zuggewicht aus der Rechnung ohne Zuschlag ermittelt wird, und unter kürzester Fahrzeit die reine Fahrzeit für ein Zuggewicht von 100 t bzw. für das niedrigste im Betrieb vorkommende Zuggewicht, wenn es weniger als 100 t beträgt.

\*\*\*) Diese wie die folgenden Abbildungen beziehen sich auf das Anwendungsbeispiel im Abschnitt II.

Die zunächst willkürlich erscheinende Wahl des Ansatzes 1) — es läge nahe, als Näherungsfunktionen Polynome zu verwenden — ist darin begründet, daß mit Rücksicht auf den Aufbau des Verfahrens Gl. 1) nur aus höchstens drei additiven Gliedern, von denen nur zwei  $V$  enthalten, bestehen darf, und daß durch ein derartiges Trinom die Geschwindigkeit/Zugkraftkurve nur bei Einführung des oben gekennzeichneten Exponenten  $\alpha$  in ihrem typischen Verlauf beschrieben wird. Der  $\alpha$ -Wert wird meist negativ sein, da in überwiegenden Fällen die Geschwindigkeit/Zugkraftlinien mit wachsender



Geschwindigkeit einformig fallend und nach der Zugkraftachse zu konkav sind.

Zur Bestimmung der Parameter dient die Bedingung, daß die nach der Gl. 1) bestimmte Zugkraft  $Z(V)$  für vier Geschwindigkeiten mit den Werten der gegebenen Kurve übereinstimmt. Da die Zugkraft/Geschwindigkeitslinien in der Praxis einen regelmäßigen Verlauf aufweisen, können die Parameter auf verhältnismäßig einfache Weise festgelegt werden. Die Ermittlung der vier Parameter bereitet lediglich insofern gewisse Umstände, als es nicht möglich ist, die vier Bestimmungsgleichungen explizit anzuschreiben. Man nimmt daher zweckmäßig einen beliebigen Wert  $\alpha_1 = \alpha'$  an und bestimmt mit Hilfe der Koordinaten  $(V_1, Z_1)$ ,  $(V_2, Z_2)$  und

( $V_3, Z_3$ ) von drei charakteristischen Punkten der Geschwindigkeit/Zugkraftlinie die Werte  $A', B'$  und  $C'$ , für welche sich für  $\alpha_1 = \alpha'$  folgende Formeln ergeben:

$$2) \dots A' = \frac{(Z_1 - Z_2) - B'(V_1^2 - V_2^2)}{V_1 \alpha' - V_2 \alpha'}$$

$$3) \dots B' = \frac{(Z_2 - Z_3)(V_1 \alpha' - V_2 \alpha') - (Z_1 - Z_2)(V_2 \alpha' - V_3 \alpha')}{(V_2^2 - V_3^2)(V_1 \alpha' - V_2 \alpha') - (V_1^2 - V_2^2)(V_2 \alpha' - V_3 \alpha')}$$

$$4) \dots C' = Z_1 - A' V_1 \alpha' - B' V_1^2$$

Bei Einsetzen von  $A', B', C'$  und  $\alpha'$  in Gl. 1) stimmt der für die Geschwindigkeit  $V_4$  ermittelte Wert  $Z_4'$  mit dem gegebenen Wert  $Z_4$  nicht überein. Es werden deshalb für weitere Werte  $\alpha_1 = \alpha'', \alpha_1 = \alpha'''$  usw. nach Ermittlung der entsprechenden Parameter  $A'', B''$  und  $C''$  bzw.  $A''', B'''$  und  $C'''$  in sinngemäßer Weise die zugeordneten Werte  $Z_4''$  bzw.  $Z_4'''$  berechnet. Jetzt läßt sich dadurch, daß die Differenzen  $\Delta Z_4' = Z_4 - Z_4', \Delta Z_4'' = Z_4 - Z_4''$  usw. in Abhängigkeit von  $\alpha_1$  aufgetragen werden, leicht die Stelle  $\alpha_1 = \alpha$  finden, für welche  $\Delta Z = \text{Null}$  wird (Textabb. b). Mit dem Wert  $\alpha_1 = \alpha$  können die gesuchten Parameter  $A, B$  und  $C$  bei sinngemäßer Anwendung der Gl. 2) bis 4) ermittelt werden. Man ist damit in der Lage, die Gl. 1) zahlenmäßig festzulegen.

Die Frage nach systematischen Ungenauigkeiten, welche der Fahrzeitberechnung durch Abweichungen der mathematischen Kurve von der durch Versuchsfahrten ermittelten Geschwindigkeit/Zugkraftkurve anhaften, bleibt besonderer Untersuchung vorbehalten. Eine derartige Betrachtung, die über den Rahmen der vorliegenden Abhandlung wesentlich hinausgeht, besitzt vom technischen Standpunkt aus Bedeutung, weil sie den Maßstab für die aufzuwendende Genauigkeit bei Durchführung der erwähnten Fahrtversuche liefert und weil sie den Einfluß einer gegenüber der Dauerzugkraft zeitweise vergrößerten oder verkleinerten Zugkraft auf die Fahrzeit deutlich macht.

Weiterhin ist für den Ansatz der den Fahrvorgang erfassenden dynamischen Grundgleichung das Widerstandsgesetz mathematisch zu formulieren. Es wird durch die Gleichung:

$$5) \dots W(V) = L(a_L + b_L V^2 + n_r) + Q(a_Q + b_Q V^2 + n_r)$$

beschrieben\*). Darin bedeuten:

- $W(V)$  Widerstand des gesamten Zuges in kg als Funktion der Geschwindigkeit  $V$  in km/h,
- $L$  Dienstgewicht der Zugmaschine in t,
- $Q$  Dienstgewicht des Wagenzuges in t,
- $a_L$  Koeffizient des reinen Laufwiderstandes der Zugmaschine in kg/t,
- $a_Q$  Koeffizient des reinen Laufwiderstandes des Wagenzuges in kg/t,
- $b_L$  Koeffizient des Luftwiderstandes der Zugmaschine in  $\left[ t \cdot \left( \frac{\text{st}}{\text{km}} \right)^2 \right]^{-1} \cdot \text{kg}$ ,
- $b_Q$  Koeffizient des Luftwiderstandes des Wagenzuges in  $\left[ t \cdot \left( \frac{\text{st}}{\text{km}} \right)^2 \right]^{-1} \cdot \text{kg}$ ,
- $n_r = n + w_r$  die Summe aus dem Neigungs- und Krümmungswiderstand in kg/t.

In Gl. 5) sind zum Zwecke größerer Genauigkeit die Widerstände der Zugmaschine und des Wagenzuges in gesondertem Ansatz beschrieben. Soll an seine Stelle ein einfacherer Ansatz treten, in welchem der Widerstand auf das

\*) Selbstverständlich kann auch das Widerstandsgesetz in der Form  $W(V) = a_{L1} L_1 + a_{L2} L_2 + b_L V^2 + (L_1 + L_2) n_r + Q \left[ a_Q + \left( \frac{b_Q}{Q} + b_{Q2} \right) V^2 + n_r \right]$  verwendet werden, wobei  $L_1$  das Reibungsgewicht der Lokomotive in t,  $L_2$  das Gewicht auf den Laufachsen der Lokomotive und den Tenderachsen in t und  $a_{L1}, a_{L2}, b_L$  sowie  $a_Q, b_{Q1}$  und  $b_{Q2}$  die Koeffizienten bedeuten.

Gesamtgewicht  $L + Q$  bezogen ist, so vereinfacht sich unter bestimmten Voraussetzungen das Verfahren, wie weiter unten erörtert wird.

Bezeichnet man mit  $\varrho$  den Faktor zur Berücksichtigung der rotierenden Massen,  $g$  die Erdbeschleunigung in  $\text{m/sec}^2$ ,  $t$  die Zeit in sec, und setzt die dynamische Grundgleichung an, nach welcher die Kraft gleich dem Produkt aus Masse und Beschleunigung ist, so hat man:

$$6) \dots Z(V) - W(V) = \frac{\varrho(L + Q) 1000}{3,6 g} \frac{dV}{dt}$$

Zur Vereinfachung des Schreibwerks werden die durch die folgenden Gl. 7), 8) und 9) erklärten Symbole  $f_1(Q), f_2(Q)$  und  $g_1(n_r, Q)$  eingeführt.

$$7) \dots \frac{\varrho(L + Q) 1000}{3,6 g A} = f_1(Q)$$

$$8) \dots \frac{B}{A} + \frac{L b_L + Q b_Q}{A} = f_2(Q)$$

$$9) \dots \frac{C - L a_L - Q a_Q - (L + Q) n_r}{A} = g_1(n_r, Q)$$

Mit diesen Abkürzungen und für  $\beta = 2$  erhält man aus Gl. 6)

$$10) \dots \frac{dt}{f_1(Q)} = \frac{dV}{V^a - V^2 f_2(Q) + g_1(n_r, Q)}$$

Nummehr wird für die Geschwindigkeit  $V$  eine ideelle Geschwindigkeit  $u$  eingeführt, welche durch die Gl. 11)

$$11) \dots u = V [f_2(Q)]^{-\frac{1}{-2+a}}$$

definiert ist, in der  $u$  als Funktion der Größen  $V$  und  $Q$  auftritt. Damit ergibt sich aus Gl. 10)

$$12) \dots \frac{[f_2(Q)]^{-\frac{1+a}{-2+a}} dt}{f_1(Q)} = \frac{du}{u^a - u^2 + \frac{g_1(n_r, Q)}{[f_2(Q)]^{-\frac{a}{-2+a}}}}$$

Zur weiteren Vereinfachung führt man eine ideelle Neigung  $g_2(n_r, Q)$  ein, welche durch

$$13) \dots \frac{g_1(n_r, Q)}{f_2(Q)^{-\frac{a}{-2+a}}} = g_2(n_r, Q)$$

bestimmt ist. Setzt man ferner

$$14) \dots \frac{[f_2(Q)]^{-\frac{1+a}{-2+a}}}{f_1(Q)} = f_3(Q)$$

und substituiert für die Zeit  $t$  eine ideelle von  $Q$  abhängige Zeit  $z$ , welche durch die Gleichung

$$15) \dots z = t f_3(Q)$$

erklärt ist, so erhält man aus Gl. 12) unter Berücksichtigung der Gl. 13) und 14)

$$16a) \dots \frac{du}{dz} = u^a - u^2 + g_2(n_r, Q)$$

bzw. den reziproken Ausdruck

$$16b) \dots \frac{dz}{du} = \frac{1}{u^a - u^2 + g_2(n_r, Q)} = \varphi[u, g_2(n_r, Q)]$$

Das Symbol  $\varphi[u, g_2(n_r, Q)]$  soll andeuten, daß der Differentialquotient  $\frac{dz}{du}$  durch die unabhängig Veränderliche  $u$

und die ideelle Neigung  $g_2(n_r, Q)$  allein schon bestimmt ist.

Die ideellen Größen „Zeit“, „Geschwindigkeit“, „Neigung“ und „Weg“ sind, wie man leicht erkennt, dimensionslos, und die Absicht, solche dimensionslosen Größen zu verwenden, führt zwangsläufig auf die in Gl. 7) bis 16) vorgenommenen Umformungen.

Eine Betrachtung der Gl. 16a) bietet einen wichtigen Einblick in die Grundlagen des Verfahrens. Die Größe  $\frac{du}{dz}$ , welche

gemäß den Definitionen für die ideellen Größen  $u$  und  $z$  als ideelle Beschleunigung erklärt wird, ergibt sich nach Gl. 16a) als Summe aus Funktionen von  $u$  und  $g_2(n_r, Q)$ .  $\frac{dz}{du}$  kann deshalb sehr zweckmäßig abhängig von  $u$  dargestellt werden, indem der Einfluß der ideellen Neigung von  $g_2(n_r, Q)$  durch Abszissenverschiebung berücksichtigt wird. In Abb. 2a gibt der als Index der Abszissenachsenbezeichnung zugefügte Wert dementsprechend die Größe von  $g_2(n_r, Q)$  an. Eine derartige Rechentafel ist dadurch interessant, daß sie in ihrer Bedeutung und in ihrer Darstellungsweise dem sogenannten Strahlschen  $n/V$ -Diagramm entspricht. Sie unterscheidet sich indessen von letzterem sehr wesentlich dadurch, daß sie nur eine Kurve enthält, während bei jener eine mit  $Q$  kotierte Kurvenschar vorhanden ist. Dieser Umstand deutet auf die charakteristische Eigenschaft des Verfahrens hin, nämlich darauf, daß die Veränderliche  $Q$  durch Einführung ideeller Größen eliminiert worden ist. Die in der Abb. 1a, Taf. 8 mit  $u_{g_2(n_r, Q)}$  beschriebenen Geschwindigkeiten sind durch  $\frac{du}{dz} = 0$  ausgezeichnet. Der Index  $g$  erklärt

dabei gemäß der bei  $V_g$  angewandten Schreibweise die Größen  $u_g$  als ideelle Beharrungsgeschwindigkeiten und der weiter beigefügte Index  $g_2(n_r, Q)$  den zugeordneten Wert  $g_2(n_r, Q)$ .

Für die Weiterführung des Verfahrens ist die graphische Darstellung der Gl. 16b), der Reziprofunktion der Gl. 16a), notwendig. In Abb. 1b, Taf. 8 ist der Differentialquotient  $\frac{dz}{du}$

bei Kotierung der Kurven mit  $g_2(n_r, Q)$  in einem rechtwinkligen Koordinatensystem, abhängig von  $u$  aufgetragen. Für jeden Wert  $g_2(n_r, Q)$  ergeben sich zwei hyperbelähnliche Kurvenäste, von denen derjenige mit positiven Werten  $\frac{dz}{du}$  für den Beschleunigungsbereich und derjenige mit negativen Werten für den Verzögerungsbereich gilt. Die Asymptote an die beiden Kurvenäste ist durch  $u = u_g$  bestimmt.

Die Bedeutung der Gl. 16b) liegt darin, daß man durch Integration die für die Fahrzeitberechnung wertvolle Beziehung

$$17) \dots z = \int \frac{du}{u^a - u^2 + g_2(n_r, Q)} + K = \Phi[u, g_2(n_r, Q)] = p_1(V, n_r, Q)$$

erhält, in welcher durch das Symbol  $\Phi[u, g_2(n_r, Q)]$  die Abhängigkeit der ideellen Zeit  $z$  von  $u$  und  $g_2(n_r, Q)$  hervorgehoben und durch  $p_1(V, n_r, Q)$  zum Ausdruck gebracht ist, daß sich  $z$  durch die reellen Größen  $V, n_r$  und  $Q$  beschreiben läßt.

Da die durch die Gl. 17) beschriebene Integration der Gl. 16b) ebenso wie die unten erforderlichen Integrationen geschlossen nur in Sonderfällen möglich sind, werden sie zweckmäßig graphisch durchgeführt.

Bei graphischer Integration erhält man mit Hilfe der Abb. 1b, Taf. 8 ein System von  $g_2(n_r, Q)$  — kotierten Kurven, welche auf die rechtwinkligen Koordinaten  $u$  als Abszissen und  $z$  als Ordinaten bezogen sind (Abb. 1c, Taf. 8). Entsprechend der Auftragungsweise der Differentialkurven der Gl. 16b) ergeben sich auch hier für den Beschleunigungs- und den Verzögerungsbereich besondere Rechentafeln, in denen die Kurven ebenfalls Unendlichkeitsstellen für  $u = u_g$  besitzen. Die Randbedingungen sind in Abb. 1c, Taf. 8 so gewählt, daß der Wert  $z = 0$  für den Beschleunigungsbereich dem Wert  $u = u_{\min}$  und für den Verzögerungsbereich dem Wert  $u = u_{\max}$  zugeordnet ist.

Es soll kurz erwähnt werden, daß eine geschlossene Integration der Gl. 16b) nur für wenige Werte  $\alpha$  möglich ist,

unter anderem für  $\alpha = 1$ . In diesem Falle wird die Geschwindigkeit/Zugkraftlinie durch eine quadratische Parabel mit zur Ordinatenachse paralleler Symmetrieachse dargestellt.

Um alle für die Fahrzeitberechnung erforderlichen Abhängigkeiten zu beherrschen, muß außer der durch die Rechentafel Abb. 1c, Taf. 8 festgelegten Beziehung noch diejenige zwischen Weg und Zeit aufgestellt werden. Zu diesem Zweck geht man aus von der bekannten Definition:

$$18a) \dots \dots \dots \frac{ds}{dt} = v,$$

wobei der Weg  $s$  in m, die Zeit  $t$  in sec und die Geschwindigkeit  $v$  in m/sec eingeführt ist. Mißt man die Geschwindigkeit  $V$  in km/h, dann hat man statt Gl. 18a) die Gleichung

$$18b) \dots \dots \dots \frac{ds}{dt} = \frac{V}{3,6}.$$

Außerdem bildet man die Umkehrfunktion der Gl. 17), welche durch die Gleichung

$$19) \dots \dots \dots u = \Psi[z, g_2(n_r, Q)]$$

gekennzeichnet ist. Hiermit und unter Berücksichtigung der Gl. 11), 14) und 15) erhält man aus Gl. 18b)

$$20) \dots \dots \dots \frac{3,6 f_2(Q)}{f_1(Q)} \frac{ds}{dz} = \Psi[z, g_2(n_r, Q)].$$

Zur Vereinfachung des Schreibwerks setzt man:

$$21) \dots \dots \dots \frac{3,6 f_2(Q)}{f_1(Q)} = f_4(Q)$$

$$22) \dots \dots \dots r = s f_4(Q).$$

Demnach ist für den Weg  $s$  ein ideeller Weg  $r$  eingeführt, der in analoger Weise wie die ideelle Neigung, Geschwindigkeit und Zeit von dem Zuggewicht abhängig ist. Statt Gl. 20) hat man nun:

$$23) \dots \dots \dots \frac{dr}{dz} = \Psi[z, g_2(n_r, Q)].$$

Wie sich aus den Gl. 19) und 23) ergibt, ist  $u = \frac{dr}{dz}$ , d. h.

die Definition der Geschwindigkeit als Ableitung des Weges nach der Zeit gilt für die ideellen Größen sinngemäß. Der Differentialquotient  $\frac{dr}{dz}$  ist gemäß Gl. 23) eine Funktion der ideellen

Zeit  $z$  und der ideellen Neigung  $g_2(n_r, Q)$ . Der diesen Zusammenhang kennzeichnende Ausdruck  $\Psi[z, g_2(n_r, Q)]$  ist als Umkehrfunktion der in Abb. 1c, Taf. 8 dargestellten Gl. 17) bekannt und in Abb. 1a, Taf. 9 aufgetragen.

Durch Integration der Gl. 23) erhält man

$$24) \dots \dots \dots r = \Psi[z, g_2(n_r, Q)] = p_2(t, n_r, Q).$$

Mit Gl. 24) beherrscht man den gesuchten Zusammenhang zwischen der ideellen Zeit  $z$ , dem ideellen Weg  $r$  und der ideellen Neigung  $g_2(n_r, Q)$ . In analoger Weise wie bei Gl. 17) ist durch das Symbol  $p_2(t, n_r, Q)$  gekennzeichnet, daß  $r$  durch die wirklichen Größen  $t, n_r$  und  $Q$  festgelegt ist.

Die Integralfunktion ist in Abb. 1b, Taf. 9 dargestellt. Mit dem oben beschriebenen Integrationsverfahren ergeben sich Rechentafeln, die auf die rechtwinkligen Koordinaten  $z$  als Abszisse und  $r$  als Ordinate bezogen sind, und in denen die Kurven, die ideellen Zeit/Weglinien, mit der ideellen Neigung  $g_2(n_r, Q)$  kotiert sind. Ebenso wie die ideellen Geschwindigkeit/Weglinien sind auch die ideellen Zeit/Weglinien in zwei Rechentafeln, je gesondert für den Beschleunigungs- und den Verzögerungsbereich dargestellt. Die Randbedingungen sind für alle Werte  $g_2(n_r, Q)$  so gewählt, daß dem Wert  $z = 0$  der Wert  $r = 0$  entspricht.

Man könnte nun schon die entworfenen Tafeln in analoger Weise wie beim Raabschen Verfahren zur Fahrzeitermittlung benutzen. Indessen gelingt es, die Ableseweise sehr wesentlich zu vereinfachen, wenn noch die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Weg aufgestellt wird. Damit läßt sich nämlich eine Rechentafel entwerfen, in der sämtliche vier

veränderlichen Größen, der ideelle Weg, die ideelle Zeit, die ideelle Geschwindigkeit und die ideelle Neigung enthalten sind, derart, daß bei zwei bekannten Größen die zwei zugeordneten Größen unmittelbar abgelesen werden können.

Für den Entwurf dieser Rechentafel geht man aus von der Gleichung

25a) . . . . . dv/dt = v dv/ds

Bei Einführung von V in km/h erhält man

25b) . . . . . dV/dt = V dV / (3,6 ds)

Damit ergibt sich unter Berücksichtigung der Gl. 10), 11), 13), 21) und 22) die Beziehung

26) . . dr/du = u / (u^a - u^2 + g2(nr, Q)) = chi [u, g2(nr, Q)]

Durch Integration erhält man die gesuchte Abhängigkeit

27) . . . . r = chi [u, g2(nr, Q)] = p3 (V, nr, Q)

der Größe r von u und g2(nr, Q), die durch das Symbol chi [u, g2(nr, Q)] gekennzeichnet ist. In sinngemäßer Weiterführung der bisherigen Symbolik deutet p3(V, nr, Q) an, daß r durch die in der Klammer enthaltenen Größen erklärt ist.

Es ist übrigens u du/dr = du/dz, d. h. es gilt eine Beziehung zwischen den ideellen Größen u, z und r, welche der in Gl. 25a) beschriebenen Abhängigkeit der reellen Größen v, t und s entspricht.

Wie die für das Verfahren bisher beschriebenen Integrationen ist auch die durch die Gl. 27) gekennzeichnete geschlossen nicht möglich. Es kommt deshalb auch hier die graphische Integrationsmethode zur Anwendung. Zu diesem Zweck werden die durch Gl. 26) festgelegten Differentialkurven in einem rechtwinkligen Koordinatensystem, in dem u Abszisse und dr/du Ordinate ist, aufgetragen und durch Kotierung

mit dem zugeordneten Wert g2(nr, Q) unterschieden. Die Darstellung der Gl. 26) ergibt, wie Abb. 2a, Taf. 8 zeigt, für den Beschleunigungs- und den Verzögerungsbereich je eine Kurvenschar. dr/du wird an den Stellen ug unendlich.

Durch Integration erhält man die in der Abb. 2b, Taf. 8 dargestellte Rechentafel für den Beschleunigungs- und den Verzögerungsbereich. Diese Rechentafel enthält den durch Gl. 27) gekennzeichneten Zusammenhang der Größen u, r und g2(nr, Q) und bildet die Grundlage für diejenige Rechentafel, welche als Ergebnis der vorliegenden Entwicklungen die Fahrzeitberechnung in besonders zweckmäßiger Weise ermöglicht. Es ist nämlich, wie oben angedeutet, möglich, mit Hilfe dieser Rechentafel auch die Beziehungen der in der Rechentafel enthaltenen Größen zu der ideellen Zeit z zu beherrschen. Eliminiert man zu diesem Zweck aus den Gl. 19) und 27) die ideelle Neigung g2(nr, Q), indem man den Wert

28) . . . . . g2(nr, Q) = Y-bar(u, z)

aus Gl. 19) in Gl. 27) einsetzt, so erhält man

29) . . . r = chi [u, Y-bar(u, z)] = xi (u, z) = p4 (V, t, Q)

Die Größe r ist also zu u und z, ferner zu den Größen V, t und Q in Bezug gebracht. Wird das (u, r)-Koordinatensystem der Abb. 2b, Taf. 8 als Bezugssystem auch für die graphische Darstellung der Gl. 29) gewählt, so ergibt sich ein System von Kurven, die nach verschiedenen z-Werten kotiert sind (Abb. 2, Taf. 9). Die z-Kurven durchsetzen die g2(nr, Q)-Kurven. Wenn hierbei ungünstige Kurvenschnitte entstehen, können bei Auftragung der g2(nr, Q)-Kurven zweckmäßige Integrationskonstanten zugeordnet werden, wodurch das Kurvenbild weiter auseinandergezogen und schleifende Schnitte vermieden werden. Zum Eintragen der z-Kurven, der ideellen Isochronen, in das

Kurvenbild der Abb. 2b, Taf. 8, wird die Abb. 1b, Taf. 9 zu Hilfe genommen. Der Verlauf je einer z-kotierten Kurve im Koordinatensystem der Abb. 2b, Taf. 8 findet sich leicht in der Weise, daß man zu einem angenommenen z-Wert und den verschiedenen g2(nr, Q)-Werten die zugeordneten r-Werte entnimmt. Durch Verbindung der so für jeden z-Wert ermittelten Punkte erhält man die z-Kurvenschar der Abb. 2, Taf. 9. Eine solche Rechentafel, verdichtet durch Interpolation weiterer Kurven, ist für den praktischen Gebrauch außerordentlich leistungsfähig, da in ihr sämtliche Zusammenhänge der definierten vier ideellen Größen im Bereich der Zugkraft des Motors enthalten sind.

Die Tafel nach Abb. 2, Taf. 9 enthält ausschließlich ideelle Größen, so daß vor und nach Gebrauch der Tafel eine Umwandlung der reellen Größen in ideelle bzw. umgekehrt vorzunehmen ist. Bezeichnet man aber mit j, t, S und nr diejenigen Werte der Größen s, t, v und nr, welche den Größen r, z, u und g2(nr, Q) für ein bestimmtes, der Berechnung der sogenannten kürzesten Fahrzeit zugrunde zu legendes Gewicht Q = Q entsprechen, dann erhält man in der Abb. 3, Taf. 9 eine Rechentafel, welche die Beziehungen zwischen den Größen j, t, S und nr enthält und damit für Q = Q das Rechnen unmittelbar mit den reellen Größen gestattet.

Die Herstellung der Beziehung zwischen den neu eingeführten und den ideellen Größen r, z, u und g2(nr, Q) läuft lediglich auf eine Umkotierung hinaus, welche nach den folgenden Ausdrücken vorzunehmen ist:

11') . . . . . S = u / (f2(Q)^(-2+a) - 1)

15') . . . . . t = z / f3(Q)

22') . . . . . j = r / f4(Q)

13') . . nr = (-A g2(nr, Q) [f2(Q)]^(-2+a) + C - LaL - Q aQ) / (L + Q)

Die Beziehungen zwischen den wirklichen Größen und den zugeordneten ideellen Größen S, t, j bzw. nr sind hiermit durch folgende Gleichungen gegeben:

11'') . . . . . S = V [f2(Q) / f(Q)]^(-2+a)

15'') . . . . . t = t f3(Q) / f3(Q)

22'') . . . . . j = s f4(Q) / f4(Q)

13'') . . nr = (-A g1(nr, Q) [f2(Q) / f2(Q)]^(-2+a) - C + LaL + Q aQ) / (L + Q)

Ist eine Fahrzeitberechnung für ein von Q verschiedenes Zuggewicht durchzuführen, so ist die neukotierte Tafel wieder als Rechentafel zwischen ideellen Größen anzusehen. In diesem Falle gelten also die Größen j, t, S und nr als ideelle Größen, die wieder in reelle umzuwandeln sind.

Die beschriebene Kotierung der Rechentafeln ist sehr zweckmäßig, weil dadurch einmal der Begriff der kürzesten Fahrzeit hervorgehoben ist und weil diese oft gebrauchte Fahrzeit außerordentlich bequem und übersichtlich ermittelt werden kann.

Den bisherigen Berechnungen liegt der gesonderte Ansatz der Widerstände der Zugmaschine und des Wagenzuges nach Gl. 5) zugrunde. Wie schon oben erwähnt, werden wesentliche Vereinfachungen für das Verfahren möglich, wenn der Widerstand auf das Gesamtgewicht L + Q bezogen wird und

wenn in der Formel für die Geschwindigkeitszugkraftlinie das quadratische Glied entfällt. Dann können die Rechentafeln nach Abb. 2 bzw. 3, Taf. 9 unmittelbar für den wirklichen Weg aufgestellt und das Rechnen mit ideellen Weglängen überhaupt vermieden werden. In diesem Falle benützt man zur Berücksichtigung des Laufwiderstandes eine Formel, welche gemeinsame Widerstandskoeffizienten für die Zugmaschine und den Wagenzug enthält, bei welcher also  $a_L = a_Q = a$  und  $b_L = b_Q = b$  wird, und beschreibt die Geschwindigkeitszugkraftlinie durch die Gleichung

$$\hat{1}) \dots \dots \dots \hat{Z}(V) = \hat{A} V^a + \hat{C}.$$

Man erhält so unter Berücksichtigung der Gl. 7) an Stelle der Gl. 8) die Gleichung:

$$\hat{8}) \dots \dots \hat{f}_2(Q) = \frac{(L + Q) b}{\hat{A}} = \frac{f_1(Q) 3,6 g b}{1000 \varrho}$$

und an Stelle der Gl. 21)

$$\hat{21}) \dots \dots \hat{f}_4(Q) = 3,6 c_1 = k_3.$$

Hieraus folgt

$$\hat{22}) \dots \dots \hat{r} = k_3 s,$$

eine Gleichung, welche in dem genannten Falle an Stelle der Gl. 22) zu benützen ist. Man erkennt, daß in diesem Sonderfall tatsächlich  $\hat{r}$  ein unmittelbares Maß für  $s$  ist, so daß die Einführung einer ideellen Größe  $r$  bzw.  $j$  entbehrlich ist und daß die Rechentafel Abb. 2 bzw. 3, Taf. 9 unmittelbar auf  $s$  bezogen werden kann.

Eine große praktische Bedeutung wird dieser Sonderfall nicht besitzen, da durch den überschläglichen Ansatz des Widerstandsgesetzes meist Ungenauigkeiten in die Rechnung getragen werden, bei welchen das vorliegende Fahrzeitermittlungsverfahren nicht mehr Vorteile gegenüber anderen Verfahren bringt.

Um das Verfahren bequem handhaben zu können, wird noch erforderlich, die Beziehungen zwischen den wirklichen Größen Weg, Zeit, Geschwindigkeit und Neigung und den zugeordneten ideellen Größen so deutlich zu zeigen, daß das Umsetzen der wirklichen in die ideellen Größen und umgekehrt bequem durchgeführt werden kann. Am einfachsten erfolgt dies durch die Nomogramme der Abb. 1a bis 1d, Taf. 10. Der Aufbau der Gl. 14), 15) und 22) läßt als zweckmäßige Darstellungen Nomogramme in Z-Form zu (Abb. 1a, b, c, Taf. 10). In den Abbildungen sind jeweils die wirklichen und ideellen Größen der Geschwindigkeit, der Zeit und des Weges auf den parallelen Leitern und das Zuggewicht auf der schrägen Leiter aufgetragen. Zur Darstellung der durch die Gl. 13) gekennzeichneten Abhängigkeit der ideellen Neigung  $g_2(n_r, Q)$  von der Neigung  $n_r$  und dem Zuggewicht  $Q$  sind in einem rechtwinkligen Koordinatensystem, in welchem  $n_r$  als Abszisse und  $g_2(n_r, Q)$  als Ordinate erscheint,  $Q$ -kodierte Linien eingetragen (Abb. 1d, Taf. 10).

Eine Darstellung der Größen  $\mathfrak{B}$ ,  $t$ ,  $j$  und  $n_r$ , die bei Gebrauch der Rechentafeln Abb. 3, Taf. 9 benötigt wird, erhält man auf einfachste Weise durch Umkodierung der Rechentafeln Abb. 1, Taf. 10 gemäß Gl. 11'), 15'), 22') und 13'). Diese Rechentafeln sind in Abb. 2, Taf. 10 dargestellt und durch eingetragene Lösungslinien erläutert.

Durch die erörterte Substitutionsmethode sind alle Beziehungen, die zur Fahrzeitermittlung in dem durch die Zugkraft des Antriebmotors begrenzten Bereich erforderlich sind, durch Rechentafeln darstellbar geworden. Im folgenden wird der Gebrauch der Tafeln an einem allgemeinen Beispiel kurz beschrieben, um die Handhabung des Verfahrens zu zeigen. Der Ablesevorgang wird an Hand der Abbildungen erläutert.

Gegeben ist die Länge eines Streckenabschnittes  $s$  mit der Neigung  $n_r$ , das Zuggewicht  $Q = \varnothing$  und die Geschwindigkeit  $V_1$ , welche der Zug zu Beginn des Streckenabschnittes besitzt. Gesucht ist die zur Überwindung des letzteren benötigte Fahrzeit  $t$  und die Endgeschwindigkeit  $V_2$ .

Zunächst werden  $n_r$ ,  $V_1$  und  $s$  mit Hilfe der Tafeln Abb. 2, Taf. 10 in die ideellen Werte  $n_r$ ,  $\mathfrak{B}_1$  und  $j$  umgesetzt. Aus Abb. 3, Taf. 9 werden nun mit Hilfe von  $\mathfrak{B}_1$  und  $n_r$  entsprechend den eingetragenen Lösungslinien (1) im Schnittpunkt mit der  $t$ -Linie der Wert  $t_1$  und im Schnittpunkt mit der  $j$ -Achse der Wert  $j_1$  abgelesen. Mit einer weiteren Lösungslinie (2), ausgehend von  $j_2 = j_1 + j$  wird im Schnittpunkt mit derselben  $n_r$ -Kurve der Wert  $t_2$  und auf der Abszissenachse der Wert  $\mathfrak{B}_2$  gefunden. Die Fahrzeit  $t$  findet man durch Umsetzen der Differenz  $t_2 - t_1 = t$  sinngemäß wie die Endgeschwindigkeit  $V_2$  durch Umsetzen von  $\mathfrak{B}_2$  mit Hilfe der Rechentafeln Abb. 2, Taf. 10.

Ist die Untersuchung für  $Q = \varnothing$  durchzuführen, entfällt der Gebrauch der Abb. 2, Taf. 10, da Abb. 3, Taf. 9 für  $Q = \varnothing$  auf reelle Größen bezogen ist.

Bei Gebrauch der Rechentafeln Abb. 2, Taf. 9, die entsprechend den eingetragenen Lösungslinien sinngemäß zu benützen sind, bedient man sich bei der Bezugsetzung der ideellen zu den reellen Größen der Rechentafeln Abb. 1, Taf. 10.

Aus dem Beispiel geht die außerordentliche Einfachheit des entwickelten Fahrzeitermittlungsverfahrens klar hervor, eine Tatsache, die besonders beachtlich ist, wenn man sich vergegenwärtigt, daß mit dem System der Rechentafeln fünf Veränderliche beherrscht werden.

Die bisherigen Betrachtungen beziehen sich wesentlich auf denjenigen Geschwindigkeitsbereich, in welchem die Zugkraft durch die Leistung des Antriebmotors begrenzt ist. Es muß nun noch das Geschwindigkeitsintervall zwischen 0 und der Übergangsgeschwindigkeit  $V_{\bar{u}}$  betrachtet werden, in welchem die Zugkraft durch die Adhäsion der Triebäder auf den Schienen begrenzt ist. Da man für vorliegenden Zweck den die Adhäsion kennzeichnenden Zugkraftkoeffizienten  $z$  genau genug konstant annehmen darf, wird die Reibungszugkraft am Triebadumfang, die durch die Formel  $Z_{TR} = z R$  definiert ist, konstant. Dabei bedeutet  $R$  das Reibungsgewicht der Zugmaschine.

Da sich nur beim Anfahren der Bewegungsvorgang im Reibungsbereich abspielt, fallen hier kleine Fehler in der Fahrzeitermittlung gar nicht ins Gewicht. Deshalb empfiehlt es sich die einfachste Lösung zu bevorzugen. Grundlegend ist die Tatsache, daß sich der Laufwiderstand auf horizontaler gerader Bahn im Geschwindigkeitsintervall  $0 < V < V_{\bar{u}}$  kaum ändert und konstant angesetzt werden kann. Dann beträgt der Widerstand gemäß Gl. 5)

$$5a) \dots \dots W = L w_{Lm} + Q w_{Qm} + (L + Q) n_r.$$

$w_{Lm}$  und  $w_{Qm}$  sind Festwerte, die als Mittelwerte der Widerstandskoeffizienten  $w$  für  $V = 0$  bzw.  $V = V_{\bar{u}}$  bestimmt werden. Durch diese Vereinfachung ist die beschleunigende Kraft  $Z_{TR} - W$  konstant, und es gelten demnach für die Berechnung die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung.

Die vorhandene Beschleunigung ist:

$$\frac{dV}{3,6 dt} = \frac{g [Z_{TR} - L w_{Lm} - Q w_{Qm} - (L + Q) n_r]}{\varrho (L + Q) 1000}.$$

Durch Umformung ergibt sich:

$$30) \dots \dots \frac{dV}{3,6 dt} = \frac{g}{\varrho (L + Q) 1000} [Z_{TR} - L w_{Lm} - Q w_{Qm}] - \frac{g n_r}{\varrho 1000} = F_1(Q) + F_2(n_r).$$

Die Gl. 30) mit den Symbolen  $F_1(Q)$  und  $F_2(n_r)$  läßt erkennen, daß die Beschleunigung  $\frac{dV}{3,6 dt} = p$  als Summe

zweier Ausdrücke dargestellt werden kann, von denen der eine abhängig vom Gewicht des Wagenzuges und der andere abhängig von der Neigung  $n_r$  ist. Deshalb wird Gl. 30) zweckmäßig durch eine Fluchtlinientafel mit drei parallelen Leitern

dargestellt, die mit den Größen  $n_r$ ,  $Q$  bzw.  $p$  kotiert sind Abb. 3, Taf. 10. Für ein Ablesebeispiel ist die Lösungslinie eingetragen.

Mit dieser Rechentafel wird eine kollineare Rechentafel mit einer krummen Leiterschar\*) gekoppelt, aus der alle Beziehungen zwischen Beschleunigung, Weg, Geschwindigkeit und Zeit abgelesen werden können.

Die Zeit  $t_{\bar{u}}$  und der Weg  $s_{\bar{u}}$ , Größen, welche der Geschwindigkeitssteigerung von 0 auf  $V_{\bar{u}}$  entsprechen, sind durch die Beschleunigung festgelegt, wie aus den Gleichungen

$$31) \dots \dots \dots p = \frac{V_{\bar{u}}^2}{3,6^2 \cdot 2 s_{\bar{u}}}$$

$$32) \dots \dots \dots p = \frac{V_{\bar{u}}}{3,6 t_{\bar{u}}}$$

hervorgeht. Deshalb können auf der mit  $p$  kotierten Leiter zusätzlich Bezifferungen für die Zeit  $t_{\bar{u}}$  und den Weg  $s_{\bar{u}}$  angebracht werden. Bei der Untersuchung eines Anfahrvorganges, bei dem die Größen  $n_r$ ,  $Q$  und  $s$  gegeben sind, kann man somit in einfachster Weise die Größe des Weges  $s_{\bar{u}}$  ermitteln. Ergibt sich  $s_{\bar{u}} > s$ , so kann auf der Strecke  $s$  die Geschwindigkeit  $V_2$  nur auf  $0 < V_2 < V_{\bar{u}}$  gesteigert werden. In diesem wie in dem allgemeinen Falle  $V_1 > 0$  wird die Endgeschwindigkeit  $V_2$  mit Hilfe der Kurventafel nach den im genannten Schrifttum ausführlich dargelegten Methoden gefunden.

**II. Anwendung für die Fahrzeitberechnung\*\*).**

Gegeben ist eine Lokomotive mit 108,9 t Dienstgewicht und einem Reibungsgewicht von 60 t. Die Geschwindigkeit/Zugkraftlinie ist zahlenmäßig durch Textabb. a festgelegt. Die Übergangsgeschwindigkeit  $V_{\bar{u}}$  beträgt 44 km/h, die Höchstgeschwindigkeit  $V_{max} = 120$  km/h. Der Berechnung des Laufwiderstandes werden die Formeln

$$w_L = 4,5 + 0,225 \left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ (für die Lokomotive)}$$

$$w_Q = 2,5 + 0,03 \left(\frac{V}{10}\right)^2 \text{ (für den Wagenzug)}$$

zugrunde gelegt.

Die vier Parameter A, B, C und  $\alpha$  der Gl. 1) werden nach dem oben entwickelten Verfahren bestimmt (siehe auch Textabb. b). Als Gleichung der Geschwindigkeit/Zugkraftlinie ergibt sich danach

$$Z(V) = 125 \cdot 100 V^{-0,8} - 0,0202 V^2 + 2979.$$

Hiermit sind alle Größen, die zum Aufbau des Fahrzeitermittlungsverfahrens benötigt werden, bekannt.

Die Abbildungen werden durchweg auf die ideellen Größen  $u$ ,  $z$ ,  $r$  und  $g_2(n_r, Q)$  bezogen, um die Anwendung des Verfahrens in seiner allgemeinen Form zu zeigen.

Die grundlegenden Gleichungen 16a) und 16 b) nehmen nach Einsetzen der Zahlenwerte folgende Form an:

$$16a) \dots \dots \frac{du}{dz} = u^{-0,8} - u^2 + g_2(n_r, Q)$$

$$16b) \dots \dots \frac{dz}{du} = \frac{1}{u^{-0,8} - u^2 + g_2(n_r, Q)}$$

Um übersichtliche Abbildungen zu erhalten, muß ein zweckmäßiger Maßstab für die Koordinaten gewählt werden. Zur Darstellung der Gl. 16 a) und 16 b) wird deshalb vor allem nötig, die Grenzen festzustellen, zwischen denen die Werte der ideellen Geschwindigkeit  $u$  liegen. Bei Geschwin-

digkeiten  $44 < V < 120$  und Zuggewichten  $0 < Q < 1000$  schwankt  $u$  zwischen 0,414 und 1,467. In den Rechentafeln sind entsprechend als extreme Werte  $u_{min} = 0,4$  und  $u_{max} = 1,5$  aufgenommen. Wählt man den Maßstab für die  $\frac{dz}{du}$ -Einheit

zu  $m_1$  Millimeter und für die  $u$ -Einheit zu  $m_2$  Millimeter, und wünscht man die Integralfunktion  $z$  als Einheit mit  $m_3$  Millimeter aufzutragen, dann ist der zur Durchführung der graphischen Integration anzunehmende Polabstand in Millimetern

$$a_1 = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_3}$$

Bei Konstruktion der Abb. 1c, Taf. 8 Gl. 17) kann über die Randbedingungen frei verfügt werden, weil die Ablesung in Intervallen vorgenommen wird. Aus Einfachheitsgründen ist vorliegend der Wert  $z = 0$  im Beschleunigungsbereich dem Wert  $u = u_{min} = 0,4$ , im Verzögerungsbereich dem Wert  $u = u_{max} = 1,5$  zugeordnet. Die Differential- und Integralkurven der Abb. 1b bzw. 1c, Taf. 8 sind für runde Werte  $g_2(n_r, Q)$  gezeichnet. Für den Aufbau der Rechentafeln genügt dies vollkommen, da das Kurvennetz der Gebrauchstafel Abb. 2, Taf. 9 ohne Rechnung sehr genau verdichtet werden kann.

In Abb. 1a, Taf. 9 sind die Kurventafeln der Abb. 1c, Taf. 8 in demselben Maßstab, aber mit vertauschten Koordinaten als Darstellung der Gl. 19) bzw. 23) aufgetragen. Wählt man als Maßstab für die  $r$ -Einheit  $m_4$  Millimeter, dann ist der

$$\text{Polabstand in Millimetern für die Integration mit } a_2 = \frac{m_2 \cdot m_3}{m_4}$$

bestimmt. Als Randbedingung wird sowohl für den Beschleunigungs- als auch für den Verzögerungsbereich  $z = 0$  dem Wert  $r = 0$  zugeordnet.

Die Gl. 2b), welche die Beziehung zwischen Weg und Geschwindigkeit gibt, lautet nach Einsetzen der Zahlenwerte:

$$\frac{dr}{du} = \frac{u}{u^{-0,8} - u^2 + g_2(n_r, Q)}$$

Für die Koordinaten  $u$  und  $r$  werden aus Zweckmäßigkeitsgründen die oben bereits verwendeten Maßstäbe angenommen. Zur Auftragung der Gl. 26) in Abb. 2a, Taf. 8, welche für dieselben  $g_2(n_r, Q)$ -Werte wie in den Abb. 1 der Taf. 8 und 9

erfolgt, ergibt sich dann für die  $\frac{dr}{du}$ -Einheit  $m_5$  Millimeter, so-

$$\text{fern die graphische Integration mit dem Polabstand } a_3 = \frac{m_2 \cdot m_5}{m_4}$$

durchgeführt wird. Als Randbedingung wird im Verzögerungsbereich dem Wert  $u = u_{max} = 1,5$  der Wert  $r = 0$  einheitlich für alle  $g_2(n_r, Q)$ -Werte zugeordnet. Im Beschleunigungsbereich würde sich bei der sinnngemäßen Zuordnung, wobei dem Wert  $u = u_{min} = 0,4$  der Wert  $r = 0$  entspricht, ein ungünstig gedrängtes Kurvenbild ergeben, dessen Brauchbarkeit als Rechentafel bei Eintragung der ideellen Isochronen sehr eingeschränkt wäre. Da es keineswegs erforderlich ist, für alle  $g_2(n_r, Q)$ -Kurven dieselbe gemeinsame Randbedingung zu wählen, über diese vielmehr frei verfügt werden kann, wird vorliegend dem Wert  $u = u_{min}$  der Wert  $r_{min} = 0,1 [1,5 - g_2(n_r, Q)]$  zugeordnet (Abb. 2b, Taf. 8). Dadurch werden die Integralkurven auseinandergesogen derart, daß das Gesamtbild übersichtlicher wird, und daß bei Eintragung der  $z$ -Kurven günstige Schnitte mit den  $g_2(n_r, Q)$ -Kurven entstehen.

Im vorliegenden Beispiel ist aus Gründen der Übersichtlichkeit und zum Zwecke der Eintragung der  $z$ -Kurven das beschriebene  $g_2(n_r, Q)$ -kotierte Kurvensystem der Abb. 2b in Abb. 2, Taf. 9 nochmals gesondert dargestellt. Hierbei ist zu beachten, daß gemäß Konstruktion bei der Abb. 1, Taf. 9 dem Wert  $u_{min}$  der Wert  $r = 0$  entspricht. Um für die Abb. 1 und 2, Taf. 9 die gleichen Bezugsgrundlagen zu haben, müssen deshalb für die Punkte gleicher  $z$ -Werte den aus Abb. 1, Taf. 9 abzugreifenden  $r$ -Werten Konstante zu-

\*) Ammann und Raab: „Collineare Rechentafeln für die Bestimmung von Zeit- und Geschwindigkeitsweglinien ablaufender Eisenbahnfahrzeuge“. V. W. 1931, S. 344 und „Nomogramme als Hilfsmittel ablaufdynamischer Untersuchungen“. V. W. 1932, S. 221.

\*\*) Die bei der Entwicklung des Verfahrens angeführten Abbildungen beziehen sich auf das folgende Zahlenbeispiel.

geschlagen werden, die durch die obige Bedingung  $r_{\min} = 0,1 [1,5 - g_2(n_r, Q)]$  bestimmt sind.

Der Entwurf der Hilfsrechentafeln in Z-Form für die Gl. 11), 15) und 21) erfolgt nach bekannten Methoden. Nach Einsetzen von Zahlenwerten ergeben sich für die Gleichungen folgende Ausdrücke:

$$11) \dots u = V [(10^{-5}) (0,21162 + 0,00024 Q)]^{\frac{1}{2,5}}$$

$$15) \dots z = t \left\{ \frac{[10^{-5} (0,21162 + 0,00024 Q)]^{0,643}}{0,00024 (108,9 + Q)} \right\}$$

$$21) \dots r = s \left\{ \frac{0,21162 + 0,00024 Q}{6,67 (108,9 + Q)} \right\} \\ 0,0199 - \frac{2,5 Q + (108,9 + Q) n_r}{125 100}$$

$$13) \dots g_2(n_r, Q) = \frac{0,0199 - \frac{2,5 Q + (108,9 + Q) n_r}{125 100}}{[10^{-5} (0,21162 + 0,00024 Q)]^{0,286}}$$

Um die Ergebnisse aus den Rechentafeln sowohl bei kleinen als auch bei großen Werten deutlich ablesen zu können, ist auf den parallelen Leitern eine doppelte Kotierung angebracht. Die einander zugeordneten Ziffern sind auf der der Schrägleiter zugewandten bzw. abgewandten Seite der Leiter angeschrieben. Die Gl. 13) wird in einem rechtwinkligen  $[n_r, g_2(n_r, Q)]$ -Bezugssystem dargestellt; die einzelnen Geraden des Strahlenbüschels sind nach dem Zuggewicht  $Q$  unterschieden.

Die Kotierungen der Abb. 3, Taf. 9 und Abb. 2, Taf. 10 nach  $\mathfrak{B}$ ,  $t$ ,  $\mathfrak{f}$  und  $n_r$  werden nach den Formeln 11'), 15'), 22') bzw. 13') berechnet, die für  $\mathfrak{Q} = 100 t$  wie folgt lauten:

$$11') \dots \mathfrak{B} = 102,4 u$$

$$15') \dots t = 220 z$$

$$22') \dots \mathfrak{f} = 5 915 r$$

$$13') \dots n_r = \frac{-g_2(n_r, Q) + 0,729}{0,068} = 10,71 - 14,7 g_2(n_r, Q).$$

Die Reibungszugkraft am Triebtradumfang ist  $Z_{TR} = z R = 150 \cdot 60 = 9000 \text{ kg}$ . Die mittleren Laufwiderstände ergeben sich zu  $w_{Lm} = 6,7^{0/100}$  und  $w_{Qm} = 2,8^{0/100}$ . Hiermit lautet die Gl. 30):

$$30) \dots p = \frac{1}{108} \left\{ \left[ \frac{8 270 - 2,8 Q}{108,9 + Q} \right] - n_r \right\}.$$

Die Darstellung als Fluchtlinientafel mit den drei  $n_r$ ,  $Q$  bzw.  $p$ -kotierten parallelen Leitern erfolgt nach bekannten Methoden. Auf der  $p$ -Leiter sind noch gemäß den Gleichungen

$$31) \dots p = \frac{74,75}{s_{\bar{u}}}$$

$$32) \dots p = \frac{12,22}{t_{\bar{u}}}$$

die Werte  $s_{\bar{u}}$  und  $t_{\bar{u}}$  angetragen. Die mit dieser Tafel nach bekannter Methode gekoppelte kollineare Rechentafel ermöglicht die Verfolgung der gesamten Bewegungsvorgänge im Reibungszugkraftbereich.

Die in Abb. 4 a, Taf. 9 dargestellte Strecke ist 16,4 km lang und weist verschiedene Gefälle und Steigungen auf. Von km 7,9 bis 8,2 ist eine Langsamfahrstelle mit Geschwindigkeitsbeschränkung auf  $V = 30 \text{ km/h}$  eingeschaltet, um bei der Benutzung des Verfahrens auftretende Besonderheiten zu zeigen.

Die Angaben über die Strecke, sowie die aus den Rechentafeln abgelesenen Ergebnisse, werden in Tabellen zusammengefaßt. Die Ergebnisse sind außerdem in Abb. 4 b und 4 c, Taf. 9 im Fahrtafelbild und im graphischen Fahrplan übersichtlich aufgetragen.

Abb. 3, Taf. 10 liefert für  $n_r = 0$  und  $Q = \mathfrak{Q} = 100 t$  die Werte  $t_{\bar{u}} = 35 \text{ sec}$  und  $s_{\bar{u}} = 213 \text{ m}$ . Um den Zug auf  $V_{\bar{u}}$  zu beschleunigen, werden also 35 sec benötigt. Diese Ergebnisse werden in den Spalten 4b und 12 der Zusammenstellung 1 eingetragen. Die weiteren Bewegungsvorgänge finden im Bereich

der Kesselzugkraft statt und werden, da das Zuggewicht  $Q = 100 t$  ist, mit Hilfe der Rechentafeln Abb. 3, Taf. 9 untersucht. An der Stelle  $V = 44$  findet man in Abb. 3, Taf. 9 mittels einer der eingetragenen entsprechenden Lösungslinie auf der Kurve  $n_r = 0$  den Wert  $t_1 = 3,3$  bei der Ordinate  $\mathfrak{f}_1 = 493$ . Mit  $\mathfrak{f}_2 = \mathfrak{f}_1 + \mathfrak{f} = 493 + 687 = 1180$  als Ordinate wird mittels einer weiteren Lösungslinie im Schnittpunkte mit der schon oben benutzten  $n_r$ -Kurve der Wert  $t_2 = 44,6$  und auf der Abszissenachse der Wert  $\mathfrak{B}_2 = 79$  abgelesen. Die Zahlenwerte werden in der Zusammenstellung 1 in die Spalten 8, 9 und 10 eingetragen. Ausgehend von  $V_1 = \mathfrak{B}_1 = 79$  wird das Ermittlungsverfahren in den weiteren Streckenabschnitten bis zur Station km 3,9, wie sich mit der Zusammenstellung 1 verfolgen läßt, fortgesetzt. In dem nun beginnenden 5 km langen Streckenabschnitt mit  $2^{0/100}$  Gefälle wird schon nach der kurzen Wegstrecke von 1040 m und nach der Zeit von 35 sec die zulässige Höchstgeschwindigkeit erreicht. Mit dieser fährt der Zug so lange, bis er wegen der bei km 7,9 eingeschalteten Langsamfahrstelle auf  $V = 30 \text{ km/h}$  abgebremst werden muß. Bei  $p = -0,5 \text{ m/sec}^2$  errechnet sich der Bremsweg zu 1040 m und die Bremszeit zu 50 sec. Die Ergebnisse werden in die Spalten 4b, 8 und 12 eingetragen. Demnach fährt der Zug nur 7,9—3,9—1,04—1,04 = 1,92 km mit  $V_{\max} = 120 \text{ km/h}$ , wozu 57,6 sec benötigt werden. Die 300 m lange Langsamfahrstelle durchfährt der Zug bei  $V = 30 \text{ km/h}$  in 36 sec. In dem neuen Streckenabschnitt mit  $2^{0/100}$  Gefälle beschleunigt sich der Zug von  $V = 30 \text{ km/h}$  auf  $V_{\bar{u}} = 44 \text{ km/h}$ . Die zugehörige Ermittlung des Weges  $s = 108 \text{ m}$  und der Zeit  $t = 10,5 \text{ sec}$  ist durch die Abb. 3, Taf. 10 hinreichend erläutert. Die Fahrzeitberechnung für die nächsten Teilstrecken bietet keine Besonderheiten. In dem Streckenabschnitt von km 12,4 bis 15,4 verringert sich die Geschwindigkeit von 119,5 auf 109,0 km/h. Die Ablesung im Verzögerungsbereich ist völlig analog derjenigen im Beschleunigungsbereich. Die Berechnung des Bremsvorganges für den Halt bei km 16,4 entspricht derjenigen bei der Langsamfahrstelle. Einzelheiten sind aus der Zusammenstellung 1 ersichtlich.

Nachdem alle Streckenabschnitte untersucht sind, werden die Differenzen  $t_2 - t_1$  gebildet. Die Summe dieser kürzesten Teilfahrzeiten beträgt 710,8 sec und ist gleich der gesuchten kürzesten Gesamtfahrzeit.

Die Untersuchung für  $Q = 400 t$  wird im Reibungszugkraftbereich sinngemäß wie beim bereits behandelten Beispiel durchgeführt. Wie die Zusammenstellung 2 zeigt, ist in dem ersten Streckenabschnitt von 900 m Länge nach 580 m die Übergangsgeschwindigkeit  $V_{\bar{u}} = 44 \text{ km/h}$  erreicht. Für die Ermittlungen im Kesselzugkraftbereich werden die ideellen Größen  $\mathfrak{f}$ ,  $t$ ,  $\mathfrak{B}$  und  $n_r$  eingeführt, deren Zusammenhang mit den reellen Größen aus den Rechentafeln Abb. 2, Taf. 10 abgelesen wird. Der Gebrauch des Verfahrens wird schematisiert und vereinfacht, wenn zu Beginn der Ermittlung die bekannten reellen Größen mittels der Rechentafel Abb. 2, Taf. 10 in die ideellen Bezugsgrößen der Rechentafel Abb. 3, Taf. 9 umgesetzt werden. Für die erste 380 m lange Teilstrecke mit  $0^{0/100}$  Neigung und  $V_1 = 44 \text{ km/h}$  ergibt sich damit  $\mathfrak{f} = 171,2$ ,  $n_r = +4,1$  und  $\mathfrak{B}_1 = 48,5$ . Die Größen  $\mathfrak{f}_1$ ,  $t_1$ ,  $\mathfrak{B}_2$  und  $t_2$  werden auf analoge Weise wie beim ersten Beispiel gefunden. Die Werte für  $\mathfrak{B}_2$ ,  $t_1$  und  $t_2$  werden in die Spalten 7, 9 und 10 der Zusammenstellung 2 eingetragen. Erst nachdem auf entsprechende Weise wie bei dem Beispiel für  $Q = \mathfrak{Q}$  die Untersuchungen mit den ideellen Größen in den folgenden Streckenabschnitten durchgeführt sind, werden die Umwandlungen der ideellen Größen  $t = t_2 - t_1$  und  $\mathfrak{B}_2$  in die reellen Größen  $t$  bzw.  $V_2$  mittels der Rechentafeln Abb. 2, Taf. 10 vorgenommen. Der Gang der Ermittlungen gliedert sich somit deutlich in drei Abschnitte, erstens in die Umwandlung der reellen Größen in die ideellen, zweitens das Rechnen mit den ideellen Größen und drittens das Umsetzen der ideellen in die reellen Größen.

Sonstige Anwendungen.

Das entwickelte Verfahren ist zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen bei Eisenbahnfahrzeugen in gleicher Weise geeignet, gleichgültig, ob die Triebkraft durch eine Dampfmaschine, einen elektrischen oder einen Verbrennungsmotor erzeugt wird. In allen Fällen läßt sich die Geschwindigkeit/Zugkraftlinie sehr genau durch Gl. 1) beschreiben. Bei Verbrennungsmotoren mit Stufenschaltung sind nach Bedarf für die einzelnen Gänge je besondere Rechentafeln aufzustellen.

Das Verfahren, durch das die exakte Abhängigkeit der Fahrzeit von den Neigungsverhältnissen der Strecke und dem Zuggewicht ermittelt werden kann, besitzt bei der Ver-

dichtung des Fahrplans besondere Bedeutung. Sowohl bei Entwurf des Fahrplans des Regelbetriebs, als auch bei besonderen Betriebsanordnungen ist es wichtig, die Veränderlichkeit der Fahrzeiten und deren Ursachen genauestens beurteilen zu können. Erst dadurch ist man in der Lage, die Maßnahmen zu ergreifen, welche die günstigsten Bedingungen für den Betrieb in sich schließen. Zu diesen Ermittlungen wird zweckmäßig das vorgeschlagene nomographische Verfahren verwendet, das die gesuchten Ergebnisse durch bequeme und übersichtliche Ablesungen liefert.

Dem Verfahren kommt aber noch wesentlich weitergehende Bedeutung zu, wenn es als Grundlage der Betriebs-

Zusammenstellung 1.

$$Q = 100 \text{ t}; V_{\max} = 120 \text{ km/h}; V_{\bar{u}} = 44 \text{ km/h}. \text{ Bremsverzögerung } p = -0,5 \text{ m/sec}^2.$$

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Station	$n_r' = n_r$		a	b	s	$\mathfrak{R}_1$	$\mathfrak{R}_2$	$V_2$	$t_1$	$t_2$	$t_2 - t_1 = t$	$\Sigma(t)$	Bemerkungen	
km	$\text{‰}$	$\text{‰}$	m	m	m	km/h	km/h	km/h			sec	sec		
0,0	0		900	213				44,0				35,0	35,0	Bremsung Langsamfahrstelle
0,9				687		44,0		79,0	3,3	44,6		41,3	76,3	
2,9	5		2000			79,0		102,7	56,1	139,5		83,4	159,7	
	0		1000			102,7		112,5	96,0	131,5		35,5	195,2	
3,9				1040		112,5		120,0	115,0	150,0		35,0	230,2	
				1920		120,0		120,0				57,6	287,8	
				1040		120,0		30,0				50,0	337,8	
	-2		5000	300		30,0		30,0				36,0	373,8	
8,9				108		30,0		44,0				10,5	384,3	
				592		44,0		77,3	3,3	38,0		34,7	419,0	
	0		3500			77,3		119,5	40,0	170,0		130,0	549,0	
12,4						119,5		109,0	92,5	191,0		98,5	647,5	
15,4	10		3000											
	0		1000	83		109,0		109,0				2,7	650,2	
16,4				917				0				60,6	710,8	

Zusammenstellung 2.

$$Q = 400 \text{ t}; V_{\max} = 120 \text{ km/h}; V_{\bar{u}} = 44 \text{ km/h}. \text{ Bremsverzögerung } p = -0,5 \text{ m/sec}^2; \mathfrak{R}_{\max} = 132,1; \mathfrak{R}_{\bar{u}} = 48,5.$$

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Station	$n_r$	$n_r$	a	b	s	$\mathfrak{R}_1$	$\mathfrak{R}_2$	$V_2$	$t_1$	$t_2$	$t_2 - t_1$	t	$\Sigma(t)$	Bemerkungen
km	$\text{‰}$	$\text{‰}$	m	m	m			km/h				sec	sec	
0,0														Bremsung Langsamfahrstelle
0,9	0	+ 4,1	900	580				44,0				95,0	95,0	
				320		171,2	48,5	58,5	53,1	7,7	20,0	12,3	118,9	
2,9	+ 5	+ 15,4	2000			1074	58,5	76,3	69,1	32,6	93,5	60,9	237,0	
	0	+ 4,1	1000			537	76,3	87,7	79,8	48,4	72,8	24,4	284,4	
3,9				3250		1740	87,7	111,2	101,0	59,2	124,7	65,5	411,5	
				31				101,0				1,0	412,5	
	-2	- 0,4	5000	719				30,0				39,5	452,0	
				300				30,0				36,0	488,0	
8,9				270				44,0				26,0	514,0	
				430		230	48,5	63,4	57,7	6,6	22,2	15,6	30,3	544,3
	0	+ 4,1	3500			1875	63,4	100,0	90,6	26,0	110,0	84,0	163,0	707,3
12,4	+ 10	- 5,1	3000			1611	100,0	78,9	71,6	73,0	144,2	71,2	138,2	845,5
15,4				500		268	78,9	83,5	75,8	52,8	65,4	12,6	24,4	869,9
	0	+ 4,1	1000	56				75,8				2,7	872,6	
16,4				444				0				42,2	914,8	

kostenberechnung benützt wird. Es ergeben sich dann Beziehungen zwischen den Kosten der Förderleistung und den Fahrzeiten.

Da die Fahrzeiten durch Zuggewicht und Neigungsverhältnisse der Strecke wesentlich mitbedingt sind, lassen sich die Kosten für die Förderleistung auch in Abhängigkeit vom Gewicht der Transporteinheit und den Neigungsverhältnissen der untersuchten Bahnlinie bringen. Außerdem gestattet das Verfahren, Untersuchungen anzustellen über den zweckmäßigsten Einsatz von Triebmitteln, insoweit durch deren Gewicht und Leistung die Kosten der Verkehrsleistung beeinflusst werden.

Um eine unrichtige Beurteilung des mit der praktischen Handhabung verbundenen Arbeitsaufwandes von vornherein auszuschließen, wird ausdrücklich und zusammenfassend darauf hingewiesen, daß für jedes Triebmittel ein für allemal eine nomographische Netztafel herstellbar ist, welche für die Fahr-

zeitermittlung bei beliebigem Zuggewicht und beliebigen Streckenverhältnissen, also in jedem Falle hinreicht. Wenn auch die Herstellung dieser Tafel nur einem qualifizierten Ingenieur anvertraut werden kann, so ist aber doch ihre Benutzung in der Praxis so einfach, daß die Fahrzeitermittlung sogar durch angelernte Kräfte besorgt werden kann. Der Vorzug gegenüber allen bisher bekannt gewordenen Verfahren liegt also nicht nur darin, daß der Einfluß von Triebmittel und Zuggewicht methodisch erfaßbar gemacht wird, sondern auch darin, daß die praktisch notwendigen Ermittlungen geradezu mechanisiert werden, insbesondere wenn man die kartesischen Rechentafeln noch durch solche mit polarem Bezugssystem ersetzt. Solche Tafeln können nämlich mit einfachen Ablesehilfsmitteln ausgestattet werden, so daß die Ergebnisse noch bequemer gewonnen werden können als es schon bei den Tafeln im kartesischen System der Fall ist.

### Rechentafel zur Fahrzeitermittlung.

#### Aufzeichnung von zeitabhängigen Verbrauchsgrößen über dem Wege\*).

Von Dr. Ing. H. Kother, Regbm. a. D., Berlin-Siemensstadt.

Hierzu Tafel 11.

Die bekannten Verfahren, die zeichnerisch oder rechnerisch die Fahrzeit über Weg oder Zeit zu ermitteln gestatten, haben für den planenden Ingenieur den Nachteil, daß sie für eine bestimmte Darstellung zugeschnitten sind. So vorteilhaft an sich z. B. die Unreinschen\*\*) Anweisungen sind, nach denen Geschwindigkeit über Weg aufgezeichnet und die Fahrzeit in einfachster Weise mit einem „Zeitwinkel“ auf der Geschwindigkeitslinie gefunden wird, so unbequem sind diese und ähnliche wegabhängige Verfahren, wenn es sich — wie im elektrischen Zugbetrieb — um die Bestimmung zeitabhängiger Größen (Stromquadrat und Strom als Maß für Erwärmung und Arbeitsverbrauch) handelt. Werden bei der Planung von Triebfahrzeugen für irgendeine Geschwindigkeit festgesetzte Beschleunigungswerte, Weg- oder Zeitzunahmen vorgeschrieben, so hätte der den Entwurf bearbeitende Ingenieur nunmehr die — wenn auch an sich einfachen — rechnerischen Beziehungen der Zugmechanik aufzustellen und nach den gegebenen Bedingungen aufzulösen. Daß tatsächlich je nach dem Sonderzweck das eine oder andere, sei es zeichnerische oder rechnerische, weg- oder zeitabhängige Verfahren vorteilhafter erscheint, geht deutlich aus den Ausführungen von Nordmann\*\*\*) und P. Müller †) hervor.

Es lohnt daher, einen Behelf in Gestalt einer Rechentafel zu haben, die alle Größen der Zugmechanik enthält und in einer für den Entwurf von Triebfahrzeugen ausreichend einfachen Weise die beliebige Darstellung der Ergebnisse in Tafelform oder über Weg oder Zeit ermöglicht ††).

Dittmann\*\*) hat bereits eingehend die mathematischen Zusammenhänge zwischen den Größen der Zugmechanik behandelt, so daß es hier genügt, diejenigen Formen der Gleichungen anzugeben, nach denen die Rechentafel aufgezeichnet wird.

\*) Der Aufsatz wurde bereits im August 1935 eingereicht, er ist im folgenden gekürzt wiedergegeben.

\*\*) Dittmann: „Anweisung für die Ermittlung der Fahrzeiten der Züge usw.“, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1924, S. 117.

\*\*\*) Nordmann: „Die Mechanik der Zugförderung in ihrer Entwicklung und ihren neuesten Ergebnissen“, Glasers Ann. 1932, S. 87 und 113.

†) P. Müller: Zuschrift zum Aufsatz Nordmann, Glasers Ann. 1933, S. 22.

††) In der General Electric Review 1936, S. 324 stellt sich Perkinson die gleiche Aufgabe wie der Verfasser, jedoch ist bei Perkinson erforderlich, vier Hilfslinien zu benutzen, um  $\Delta t$  und  $\Delta S$  zu finden, wohingegen bei der Rechentafel des Verfassers diese Werte mit einer einzigen Stellung eines Drehlineals abgelesen werden können.

Es sind:

- S,  $\Delta S$  .. Weg und Wegzunahme in km  
 V,  $dV$ ,  $\Delta V$  .. Geschwindigkeit und deren Zunahme in km/h  
 t,  $dt$ ,  $\Delta t$  .. Zeit und Zeitzunahme in Sek.  
 s' .. im Beschleunigungszustand befahrbare Steigung in ‰  
 s .. im Beharrungszustand befahrbare Steigung in ‰ (nach s-V-Diagramm)  
 $\gamma$  .. Massenzuschlag für umlaufende Massen in ‰  
 b .. Beschleunigung in m/sec<sup>2</sup>

- 1) ..  $dS = V \cdot dt \cdot \frac{1}{3600}$
- 2) ..  $dt = \frac{dV}{b} \cdot \frac{1}{3,6}$
- 3) = 2) in 1) ..  $dS = \frac{V \cdot dV}{b} \cdot \frac{1}{12960}$
- 4) ..  $s' = \frac{1}{1 + \gamma} \cdot s = 102 \cdot b$
- 5) = 4) in 3) ..  $dS = \frac{V \cdot dV}{s'} \cdot \frac{1}{127}$

Schreibt man diese Gl. 5) mit Differenzenquotienten, so ist statt V der Mittelwert  $V_m$  und dementsprechend statt s' der Mittelwert  $s_m'$  zu setzen:

$$6) \dots \Delta S = \frac{V_m \cdot \Delta V}{s_m'} \cdot \frac{1}{127}$$

Wählt man den Geschwindigkeitssprung  $\Delta V = 10$  km/h, so ist  $\Delta S$  zu bestimmen aus  $V_m$  und  $s_m'$ , wobei z. B.  $V_m = 195$  km/h gesetzt werden kann, was dem Geschwindigkeitssprung  $\Delta V = 10$  km/h von 190 auf 200 km/h entspricht.

$$7) \dots \Delta S = \frac{195 \cdot 10}{s_m'} \cdot \frac{1}{127} = \frac{15,34}{s_m'}$$

In Taf. 11 sind als Abszissen die Wegzunahmen  $\Delta S$ , als Ordinaten die mittleren Geschwindigkeiten  $V_m$  angegeben. Für  $V_m = 195$  km/h werden auf dem oberen und rechten Rand der Rechentafel die Werte  $s_m'$  zu den zugehörigen Wegzunahmen  $\Delta S$  nach Gl. 7) eingetragen. Zieht man nun einen Strahl von ( $V_m = 0$ ,  $\Delta S = 0$ ) nach z. B.  $s_m' = 140/00$  — wir überlassen es dem Leser, dies mit Bleistift zu tun, damit die Tafel nicht durch eingedruckte Linien für den allgemeinen Gebrauch ungeeignet wird — so kann man zu jedem Wert  $V_m$  das zugehörige  $\Delta S$  ablesen. (Für kleinere  $V_m$  bis 35 km/h ist der  $V_m$ - und  $\Delta S$ -Maßstab besonders geeicht, damit auch

hier gute Ablesungsgenauigkeit erreicht wird.) Für  $V_m = 105 \text{ km/h}$ , also  $V_1 = 100$ ,  $V_2 = 110 \text{ km/h}$  beträgt z. B.  $\Delta S = 0,6 \text{ km}$  für  $s_m' = 14\text{‰}$ .

Da nach Gl. 4) Proportionalität zwischen  $s'$  und  $b$ , also auch zwischen den Mittelwerten  $s_m'$  und  $b_m$  herrscht, läßt sich zu der Skale  $s_m'$  auch die Skale für  $b_m$  wie vorhin aufzeichnen.

Schreibt man Gl. 2) mit Differenzenquotienten und setzt  $\Delta V = 10 \text{ km/h}$ , so ist:

$$8) \dots \dots \dots \Delta t = \frac{2,78}{b_m},$$

so daß nun die dritte Eichung des oberen und rechten Randes vorgenommen werden kann.

So ist in einfacher Weise die Rechentafel entstanden, die alle in der Zugmechanik vorkommenden Größen: Wegzunahme, Zeitzunahme, mittlere Geschwindigkeit, Steigung und Beschleunigung enthält.

Der vom Leser vorhin eingezeichnete Strahl von ( $V_m = 0$ ;  $\Delta S = 0$ ) nach  $s_m' = 14\text{‰}$  schneidet mit seiner Verlängerung die Werte  $b_m = 0,138 \text{ m/sec}^2$  und  $\Delta t = 20 \text{ sec}$ . Für  $V_m = 15 \text{ km/h}$  liest man  $\Delta S = 0,085 \text{ km} = 85 \text{ m}$  auf der äußeren  $V_m$ -S Skale ab.

Soll nun z. B. die Anfahrt eines D-Zuges von 400 t Anhängelast bei  $0\text{‰}$  Gefälle untersucht werden, der mit einer 01-Lokomotive befördert wird, so kennt man aus dem s-V-Diagramm die in der Beharrung befahrbaren Steigungen  $s\text{‰}$ .

Nach Gl. 4) müssen diese zwischen 0 bis 10, 10 bis 20 usw. km/h liegenden Werte entsprechend dem Massenzuschlag im Verhältnis  $1:(1 + \gamma)$  verkleinert werden, so daß die Rechentafel auf diese Weise ohne weiteres für Züge mit beliebigem Massenzuschlag brauchbar wird.

Für die tafelförmige Aufzeichnung der Werte  $\Delta S$  und  $\Delta t$  läßt sich ein Vordruck verwenden, in welchem nur die Spalten  $s_m$ ,  $s_m'$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta t$ , S und t ausgefüllt werden, wie Zusammenstellung 1 zeigt.

Zusammenstellung 1.

Fahrzeitermittlung.

Lokomotive: Reihe 01, S 36.20, D-Züge.

Last: 400 t.

Massenzuschlag: 6‰.

V km/h	$V_m$ km/h	$s_m$ ‰	$s_m'$ ‰	$\Delta S$ km	S km	$\Delta t$ Sek.	t Sek.
0				0,000			0,0
10	5	17,5	16,50	0,024	0,024	17,2	17,2
20	15	16,7	15,75	0,075	0,099	18,0	35,2
30	25	15,8	14,90	0,125	0,224	18,7	53,9
40	35	15,0	14,15	0,190	0,414	19,8	73,7
50	45	14,2	13,40	0,260	0,674	21,1	94,8
60	55	12,4	11,70	0,360	1,034	24,1	118,9
70	65	9,8	9,25	0,550	1,584	30,6	149,5
80	75	7,7	7,25	0,810	2,394	34,5	184,0
90	85	5,8	5,47	1,210	3,604	52,0	236,0
100	95	4,25	4,00	1,850	5,454	70,0	306,0
110	105	2,80	2,64	3,110	8,564	107,0	413,0
120	115	1,55	1,46	6,300	14,864	196,0	609,0

(Die Bestimmung von  $\Delta S$  für  $s_m' = 1,46\text{‰}$  erfolgt so, daß bei  $V_m = 115/2 = 57,5 \text{ km/h}$  der Wert  $\Delta S/2 = 3,150 \text{ km}$  abgelesen wird, weil für kleine Steigungen und hohe Geschwindigkeiten  $\Delta S$  über 5 km wird;  $\Delta S = 2 \times 3,150 = 6,300 \text{ km}$ .)

Eine weitere Anwendung der Rechentafel ist die Lösung von Aufgaben beliebiger Art zwischen den Größen der Zugmechanik.

1. Beispiel: Ein Schnelltriebwagen soll von 150 auf 160 km/h mit einer mittleren Beschleunigung von  $0,05 \text{ m/sec}^2$  fahren. Wie groß ist  $\Delta S$  und  $\Delta t$ ?

Strahl durch die Punkte ( $V = 0$ ,  $\Delta S = 0$ ) und ( $b = 0,05 \text{ m/sec}^2$ ) einzeichnen. Ablesen:  $\Delta t = 55 \text{ sec}$ ,  $\Delta S = 2,38 \text{ km}$ .

2. Beispiel: Ein Stadtbahnwagen fahre mit konstanter Beschleunigung von  $s = 50\text{‰}$  bei  $18\text{‰}$  Massenzuschlag von 0 bis auf 50 km/h. Gesucht  $\Delta S$  und  $\Delta t$ .

$$s_m' = \frac{1}{1 + 0,18} \cdot 50 = 42,4\text{‰};$$

Strahl durch die Punkte ( $V_m = 0$ ,  $\Delta S = 0$ ) und  $s_m' = 42,4\text{‰}$ .

Für  $\Delta V = 10 \text{ km/h}$  wäre  $\Delta t = 6,7 \text{ sec}$ , also bei einem Sprung von 50 km/h ist  $\Delta t = \frac{50}{10} \cdot 6,7 = 33,5 \text{ sec}$ .

Für  $V_m = \frac{50}{2} = 25 \text{ km/h}$  ist  $\Delta S = 0,046 \text{ km}$  bei  $\Delta V = 10 \text{ km/h}$ . Bei 50 km/h ist also  $\Delta S = \frac{50}{10} \cdot 0,046 = 0,230 \text{ km}$ .

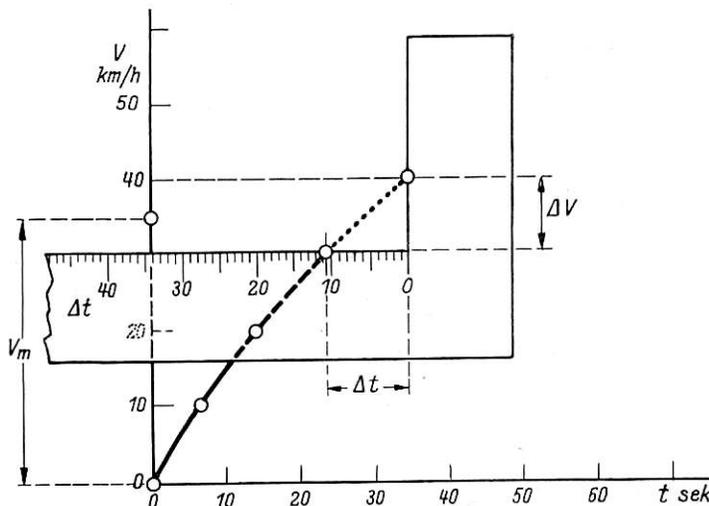


Abb. 1. Auftragen der Geschwindigkeit V über der Zeit t durch zeichnerische Addition von  $\Delta t$  bei gleichbleibendem  $\Delta V = 10 \text{ km/h}$ .

3. Beispiel: Eine Höchstgeschwindigkeitslokomotive soll innerhalb einer Wegzunahme von  $\Delta S = 2,0 \text{ km}$  von 170 auf 180 km/h kommen. Wie groß ist  $\Delta t$ ,  $s_m'$  und  $b_m$ ?

Strahl durch die Punkte ( $V_m = 0$ ,  $\Delta S = 0$ ) und ( $V_m = 175 \text{ km/h}$ ,  $\Delta S = 2,0$ ) ziehen.

Ablesen:  $\Delta t = 40,8 \text{ sec}$ ;  $s_m' = 6,9$ ;  $b_m = 0,0675$ .

Solche Aufgaben, wie sie beim Entwurf zur Kontrolle der Maschinenleistung und des Fahrprogramms immer wieder auftreten, erfordern bei üblicher rechnerischer Behandlung weit mehr Zeit. Außerdem ist der Einblick in die Zusammenhänge der Zugmechanik lange nicht so klar und übersichtlich.

Nun soll die Anwendung der Rechentafel für zeichnerische Darstellungen über Weg und Zeit behandelt werden, wobei es sich empfiehlt, ein durchsichtiges Lineal mit einer aufgezeichneten oder eingeritzten Geraden im Punkt ( $V_m = 0$ ,  $\Delta S = 0$ ) drehbar anzuordnen.

Will man die Werte V über t aufzeichnen, so rechnet man (mit einer einzigen Rechenschieberstellung) zu  $s_m$  die Werte  $s_m'$  aus, die dem jeweiligen Massenzuschlag  $\gamma$  des Zuges entsprechen. Zu jedem Wertepaar  $s_m'$  und  $V_m$  findet man in der Rechentafel die Größen  $\Delta t$  und  $\Delta S$ . Ist das vom Zug durchfahrene Gefälle positiv oder negativ, so ist  $s_m$  um das Gefälle zu verkleinern oder zu vergrößern. Das Auftragen der Werte V über t wird wesentlich erleichtert, wenn man sich einen durchsichtigen rechten Winkel nach Textabb. 1 herstellt

und den einen inneren Schenkel im Zeitmaßstab eicht. Man kann dann die Addition der  $\Delta t$ -Werte und das Auftragen des neuen Wertes  $\Delta t$  vereinigen, wie Textabb. 1 zeigt.

Eicht man den anderen, inneren Schenkel des Winkels nach  $\Delta S$ , so kann das Addieren und Auftragen der Werte  $\Delta S$  genau so einfach erfolgen.

Man könnte z. B. beim Unreinschen Verfahren bei Massenzuschlägen über  $\gamma = 6\% = 0,06$  das s-V-Diagramm im Verhältnis

$$\frac{1}{1 + (\gamma - 0,06)}$$

verkleinert anwenden. Da ohnehin die von Unrein angegebene

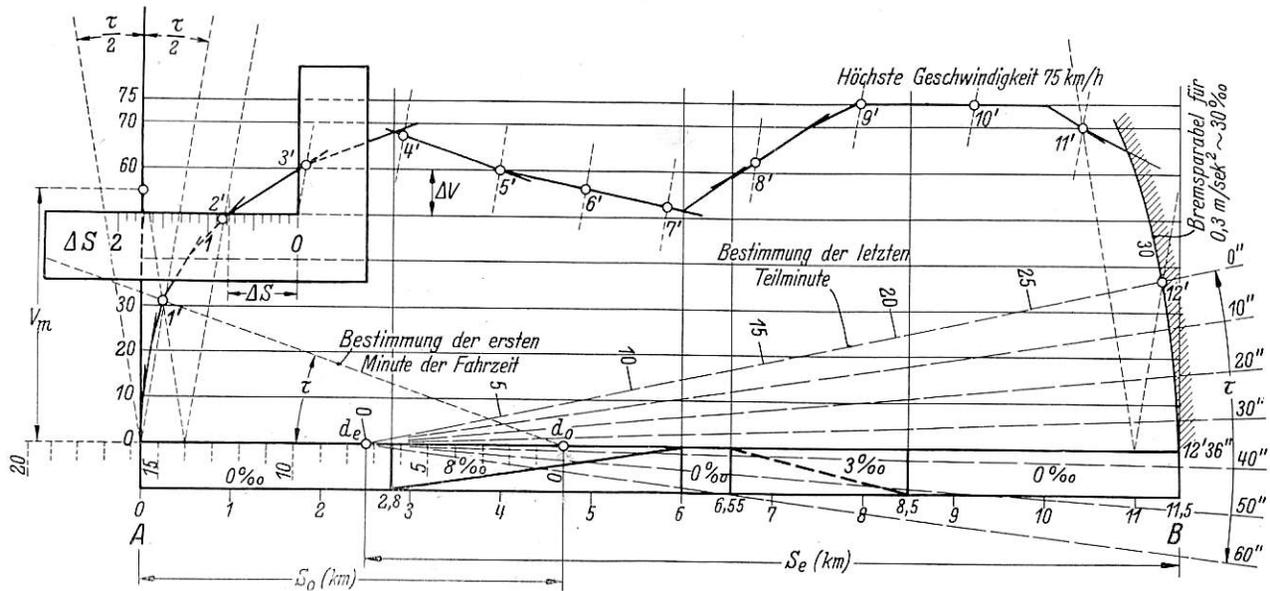


Abb. 2. Auftragen der Geschwindigkeit  $V$  über dem Weg  $S$  durch zeichnerische Addition von  $\Delta S$  bei gleichbleibendem  $\Delta V = 10 \text{ km/h}$ ; Bestimmung der Minuten und Teilminuten im Sinne von Unrein (vergl. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1924, Seite 117).

Wird die Darstellung  $V$  über  $S$  gewünscht, so entnimmt man der Rechentafel wie vorhin zu dem aus  $s_m \cdot \frac{1}{1 + \gamma}$  berechneten Wert  $s_m'$  und zugehörigen  $V_m$  nur die Werte  $\Delta S$ , die wie vorhin mit Hilfe des nach  $\Delta S$  geeichten inneren Schenkels des Winkels zu dem jeweiligen  $V$  aufgetragen werden. Auf die Bestimmung der Zeitzunahmen  $\Delta t$  kann verzichtet werden, da die Fahrzeitermittlung mit dem Unreinschen Zeitwinkel erfolgen kann.

Die Bestimmung der ersten Minute der Fahrzeit erfolgt nach Textabb. 2, in der die Dittmannsche Traditionsstrecke von A nach B nach dem hier angegebenen rechnerisch-zeichnerischen Verfahren behandelt ist. Der Zeitwinkel  $\tau$  wird mit seinem einen Schenkel, der nach  $s^{\text{‰}}$  geeicht ist — hierbei muß  $1^{\text{‰}}$  Steigung stets  $0,3 \text{ km}$  Streckenlänge entsprechen —, mit der  $S(\text{km})$ -Achse zur Deckung gebracht und so lange verschoben, bis der Wert der Anfangssteigung  $s_m = 15,7^{\text{‰}}$  mit  $\Delta S = 0$  zusammenfällt; dann schneidet der freie Schenkel auf der Geschwindigkeitslinie die erste Minute ab. (Entsprechend erfolgt die Bestimmung der letzten Teilminute.)

Diese Darstellung gilt wie das Verfahren von Unrein und anderen bei den von ihnen angegebenen Maßstäben streng genommen nur für  $\gamma = 6\%$  Massenzuschlag. Weitere Anweisungen zur Bestimmung der ersten Minute der Fahrzeit, die bei veränderlichem Massenzuschlag angewendet werden dürfen, behandelt Lubimoff\*), der allerdings zu den Fragen des veränderlichen Massenzuschlags in diesem Zusammenhang nicht Stellung nimmt.

\*) Lubimoff, „Über rechnerische und zeichnerische Ermittlung der Fahrzeiten von Eisenbahnzügen.“ Dissertation, Berlin 1932.

Bestimmung der ersten Fahrminute nur richtig ist, wenn innerhalb dieser ersten Minute praktisch konstante Beschleunigung herrscht — auf die mathematische Begründung kann hier nicht eingegangen werden — wird die Genauigkeit bei der Be-

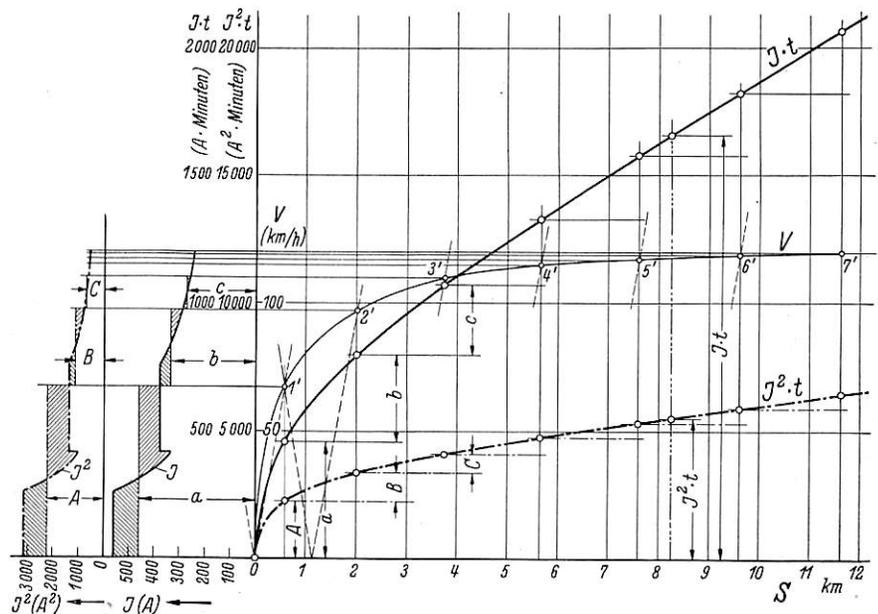


Abb. 3. Unmittelbares Auftragen von zeitabhängigen Größen über dem Wege; ( $J \cdot t$  als Maß für den Energieverbrauch,  $J^2 \cdot t$  als Maß für die Verluste eines Bahnmotors).

stimmung der ersten und letzten Minute als ausreichend angesehen.

Es hat sich also gezeigt, daß durch die verschiedenartige Anwendung der Rechentafel auch zeichnerische Darstellung der Geschwindigkeitslinie über Zeit oder Weg leicht möglich ist.

Zu beachten ist, daß in eiligen Fällen das Verfahren auch

von zwei Leuten ausgeführt werden kann, von denen einer nur die Rechentafel, der andere nach Zuruf der Werte nur die zeichnerische Darstellung behandelt; letzterer hat seinerseits den Mann an der Rechentafel auf zusätzliche oder abzügliche Streckenwiderstände aufmerksam zu machen.

Nun bleibt noch anzugeben, wie man leicht bei Darstellungen Geschwindigkeit über Weg auch zeitabhängige Größen auftragen kann, ohne diese erst über der Zeit aufzeichnen und nachher auf das wegabhängige Bild übertragen zu müssen.

In Textabb. 3 sei nach irgendeinem Verfahren, sei es das hier beschriebene oder das von Unrein, die Geschwindigkeitslinie  $V$  über dem Weg  $S$  bereits gefunden; desgleichen seien die Abschnitte von je einer Minute bereits mit dem Unreinschen Zeitwinkel eingeteilt.

In Textabb. 3 sind links die Werte  $J^2$  und  $J$  über der Geschwindigkeit  $V$  aufgetragen (berechnet nach dem Aufsatz von Breuer und Lichtenfeld, Elektrische Bahnen, 1935, S. 173 und 174).

Zieht man durch die auf der  $V$ -Linie liegenden Punkte „1, 2, 3 Minuten“ Parallelen zur Abszissenachse bis zum Schnitt mit der  $J$ - und  $J^2$ -Kurve, so wirkt während der ersten Minute der Mittelwert des Stromes  $a$ , der des Stromquadrats  $A$ , während der zweiten Minute die Mittelwerte  $b$  und  $B$  usw.

Trägt man die Werte  $a$  und  $A$  bei der zur ersten Minute gehörigen Ordinate auf, die Werte  $a + b$  und  $A + B$  bei der

zweiten Minute usw., so erhält man den Verlauf von  $J \cdot t$  und  $J^2 \cdot t$  über dem Weg.

(Bei Anfahrten, die nur eine Minute oder weniger dauern, muß der Zeitwinkel  $\tau$  für einen kleineren Wert, z. B.  $\frac{1}{6}$  Minute gezeichnet werden, da die in Textabb. 3, links angegebene Mittelwertbildung des Stroms und des Stromquadrats nur bei nicht allzu stark veränderlichen Beschleunigungen genügend genau sind. Dann wäre links auch  $\frac{J^2}{6}$  und  $\frac{J}{6}$  aufzuzeichnen.)

Für Dampflokomotiven ließe sich in ähnlicher Weise aus Füllung und Geschwindigkeit die Dampfmengenkurve in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit berechnen und wie vorher beschrieben zur Kurve des Dampfverbrauchs über der Strecke zusammensetzen.

Zusammenfassend wäre also zu sagen, daß die Rechentafel allgemein für jede Zugart mit jedem Massenzuschlag verwendbar ist. Auf dem angegebenen Wege können die ermittelten Werte wahlweise tafelförmig oder zeichnerisch über Weg oder Zeit dargestellt werden. Auch die Lösung von Aufgaben aus dem Gebiet der Zugmechanik erfolgt einfach und übersichtlich mit der Rechentafel. Schließlich wurde gezeigt, wie der Verlauf zeitabhängiger Größen unmittelbar über dem Weg aufgezeichnet werden kann.

In Anbetracht des allgemeineren Anwendungsgebiets ist auch gegenüber den Sonderverfahren die Handhabung der Tafel und die Aufzeichnung der Werte noch als genügend einfach zu bezeichnen.

## Eine neue Drehgestellsenke für Triebwagen.

Von Reichsbahnrat Hans Schulze VDI WVV, Essen.

Im Bezirk der Reichsbahndirektion Essen sind Verbrennungstriebwagen an drei Orten beheimatet, in Dortmund, Essen und Oberhausen. Dabei hat Dortmund nach der Zahl und nach den Behandlungsmöglichkeiten der zugeteilten Wagen die Stellung eines Mutterbetriebswerkes. Es entstand dort daher eine neuzeitliche Anlage für die beiden betrieblichen Hauptaufgaben: Abstellung der wertvollen Wagen während ihrer Stillstandszeit sowie Untersuchung und Ausbesserung der kleineren Schäden.

Es sind dabei verschiedene Arten von Triebwagen, die werkstattmäßig behandelt werden sollen:

- a) 410 PS dieselektrische Triebwagen, vierachsrig mit Steuerwagen,
- b) 410 PS dieselhydraulische Triebwagen, vierachsrig mit Steuerwagen,
- c)  $2 \times 410$  PS sechssachsige Doppelwagen mit Jakobsgestell,
- d)  $2 \times 410$  PS achtsachsige dreiteilige Wagen mit zwei Jakobsgestellen.

Die Ausbesserungshalle mußte in ihren Abmessungen diesen Wagenbauarten entsprechen und alle Einrichtungen aufweisen, um Ausbesserungsarbeiten schnell und leicht an allen Teilen des Wagens, der Motoren und der Schalt- und Hilfs-Einrichtungen ausführen zu können.

Bei den hohen Beschaffungskosten der Triebwagen muß auf eine möglichst hohe Fahrleistung und entsprechend geringe Stillstände in den Werkstätten großer Wert gelegt werden. Es ist daher unvorteilhaft, wegen eines Schadens an der Maschinenanlage den ganzen Triebwagen aus dem Betrieb zu ziehen, während ein Auswechseln des Maschinengestelles oder eines seiner Teile genügen würde. Auch für diese wirtschaftlich und betrieblich außerordentlich wichtige Aufgabe mußte die Ausbesserungshalle in Dortmund eine besondere Einrichtung erhalten.

Grundsätzlich kann zum Drehgestellwechsel entweder der Wagenkasten abgehoben oder das Drehgestell abgesenkt werden. In Dortmund wurde die zweite Lösung gewählt, einmal weil der Wagenkasten beim Absenken des Drehgestells in Ruhe bleibt und man allen Beschädigungen aus dem Wege geht, die mit dem Heben verbunden sind, zum anderen weil die Triebwageneinheiten nicht entkuppelt oder getrennt zu werden brauchen. Außerdem erfordern Wagenhebekräne erhebliche Mittel, während Hebebockanlagen für den Verkehr in der Werkstatt sehr unerwünscht sind.

Drehgestellsenken sind in den letzten Jahren häufiger ausgeführt worden. Die von Horn\*) beschriebene Drehgestellsenke hat im Essener Bezirk mehrere Wiederholungen gefunden. Sie ist für Lokomotivdrehgestelle aller Art geeignet und so eingerichtet, daß das abgesenkte Drehgestell quer zu seiner Laufrichtung verfahren und an geeigneter Stelle wieder auf Schienenoberkante gehoben wird. Durch dieses Verfahren ist der Senkstand örtlich festgelegt; die Lokomotive muß mit dem Drehgestell über den Senkstand fahren, unter Umständen nach vorheriger Drehung auf der Schuppendrehscheibe.

In Dortmund war diese querfahrende Senke nicht anwendbar. Verlangt man, daß jedes Triebwagengestell gelegentlich abgesenkt werden muß, so bedeutet diese selbstverständliche Forderung bei einer querfahrenden Senke, daß der Triebwagen weitgehend verfahren werden muß, um mit jedem Drehgestell über den Senkstand zu gelangen. Dies würde bei den in Dortmund zu behandelnden Triebwagen unwirtschaftliche Hallenlängen oder die Notwendigkeit ergeben haben, die Hallentore offen zu lassen; das hätte zumal im Winter zu erheblichen Erschwernissen geführt. Zudem sind Quersenzen unfallgefährlich, weil auch die Nachbargleise mit ihren Arbeitsgruben unterbrochen werden.

Es ist daher durch Direktor b. d. R. Gaedicke in Essen eine längsfahrende Drehgestellsenke entwickelt worden, die

\*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1933, Seite 97 ff.

dadurch gekennzeichnet ist, daß das abgesenkte Drehgestell in seiner Laufrichtung, also längs verfahren wird, um an geeigneten Stellen, den Aushebeständen, wieder auf Schienenoberkante gehoben zu werden. Wie die spätere Ausschreibung zeigte, konnten die namhaftesten Baufirmen keine geeigneteren Lösungen vorschlagen.

In Abb. 1 ist die Stellung der verschiedenen Triebwagen beim Absenken der Drehgestelle aufgezeichnet. Danach ist

werden von gegenseitig versteiften Säulen aus U-Eisen getragen, die im Fahrgerüstrahmen befestigt sind. Dessen größte Breite von 3320 mm bestimmte die Grubenbreite von 3500 mm. Das Fahrgerüst stützt sich schließlich mit vier Laufrädern auf ein breites Gleis, das im Grunde der Grube verläuft.

An den Stellen, wo weder ein Senk- noch ein Aushebestand sich befindet, sind die Fahrschienen des Werkstattgleises, unter dem die Grube liegt, fest ausgeführt. An den übrigen Stellen

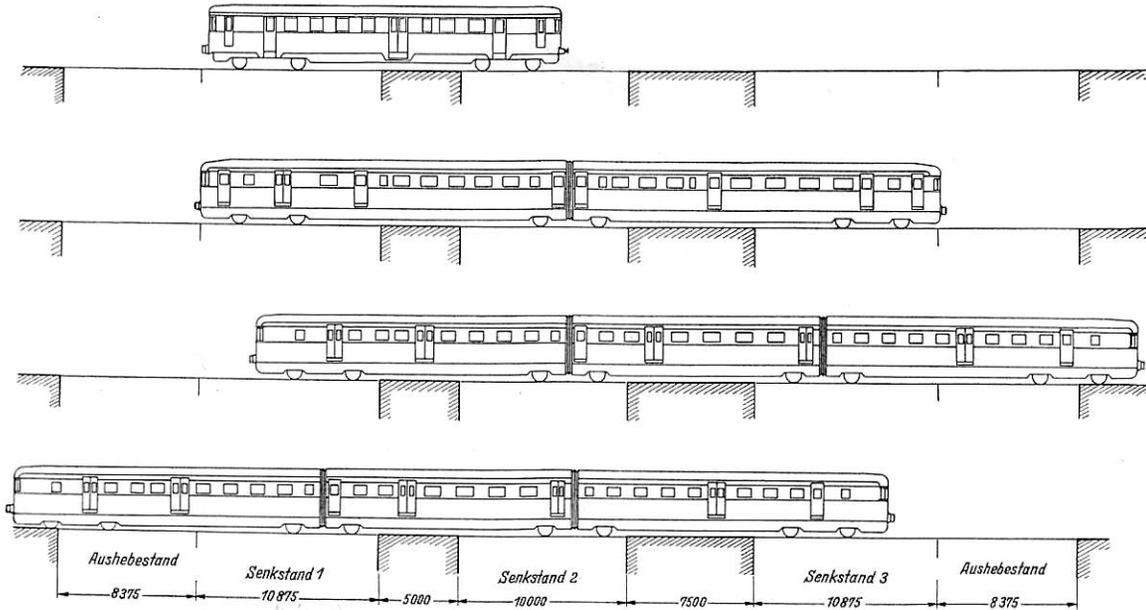


Abb. 1.

es möglich, sämtliche Drehgestelle ohne weiteres auszuwechseln. Die Anlage ist daher gekennzeichnet durch eine zweckmäßige Vereinigung von drei Senkständen und zwei Aushebeständen.

Die Drehgestellabmessungen bedingen die Größe der Senke und der zugehörigen Grube. Es können in Dortmund alle Drehgestelle gesenkt werden, deren Bauteile die Hauptmaße nach Abb. 2 nicht überschreiten. Die Tragfähigkeit der Senke ist mit 40 t bemessen. In ihrem grundsätzlichen Aufbau weist sie einen 5 m langen, ausgebohrten Senktisch

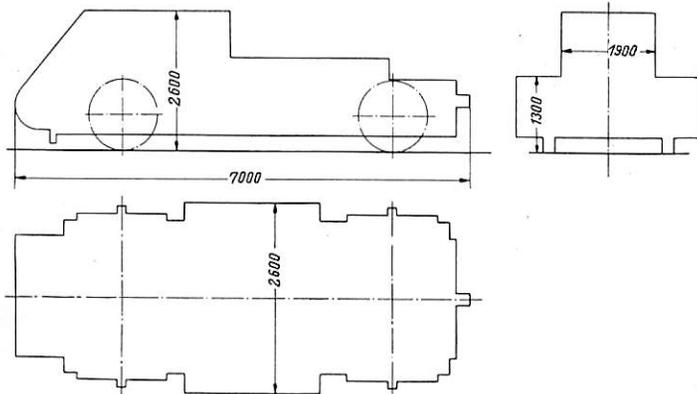


Abb. 2. Größtmaße der behandlungsfähigen Drehgestelle.

aus Profileisen auf, der die Radreifen der Drehgestelle an den Spurkränzen faßt. Der Tisch stützt sich über zwei Unterzüge auf die Muttern von vier Tragspindeln ab. Die größte nach Abb. 2 vorkommende Drehgestellbreite von 2600 mm verlangte zwischen den Säulen der vier Tragspindeln eine lichte Weite von 2660 mm; die Spindelmitten selbst stehen daher 2900 mm auseinander. Es ist bemerkenswert, daß die Tragspindeln an ihrem oberen Ende in Wälzlager aufgehängt sind, so daß sie, abgesehen von den Verdrehungsbeanspruchungen durch den Antrieb, nur auf Zug beansprucht werden. Die Wälzlager

mußten die Gleisbrücken quer zum Gleis beweglich angeordnet werden, damit beim Absenken oder Ausheben der Drehgestelle die Spur auf 3200 erweitert werden kann. Wie aus

Abb. 1 hervorgeht, handelt es sich für die festen Gleisbrücken um Längen von 5000 und 7500 mm. Die Brücken sind auf vorkragende I-Träger aufgelegt, unter denen Raum bleibt für die Durchfahrt der Senke, insbesondere in der höchsten Stellung des Senktisches. Die beweglichen Gleisbrücken weisen Längen auf von 10875 mm für die Senkstände 1 und 3, 10000 mm für Senkstand 2 und 8375 mm für die Aushebestände.

Wie aus Abb. 3 (oben) mit genügender Deutlichkeit hervorgeht, handelt es sich bei den

beweglichen Gleisbrücken um Barren aus hochwertigem Stahl, die durch Ausleger an kräftigen Differdinger Walzeisen befestigt sind. Diese Differdingerträger lassen sich mittels eines gemeinsamen Zahnstangenantriebes (Ratschen) in die Seitenwände der Grube zurückziehen. Solange die Senke nicht benutzt wird, sind selbstverständlich die Flächenstreifen zwischen den ausgefahrenen Schienen und der Grubenwand durch Bohlen abgedeckt (Abb. 5). In diesem Streifen

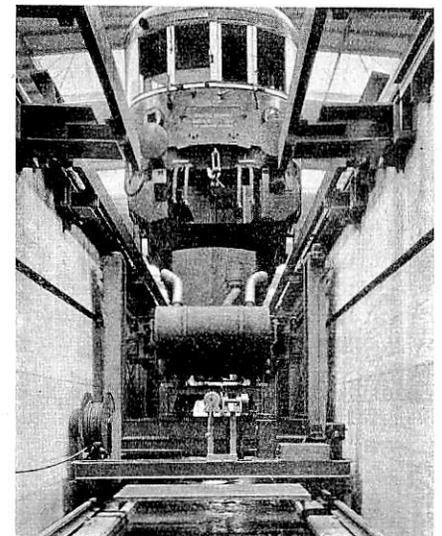


Abb. 3. Drehgestellsenke mit abgesenktem Drehgestell. Gleisbrücken.

liegen auch klappbare Abstandhalter, die an den Stoßstellen die Spursicherung der beweglichen Gleisbrücken übernehmen. Die Grube selbst wird außerdem noch durch Geländer gegen Unfälle gesichert.

Der Senktisch wird durch einen Schleifringläufermotor gehoben und gesenkt. Bei einer größten Hubhöhe von 2,45 m ergibt das gesamte Vorgelege eine Hubgeschwindigkeit von

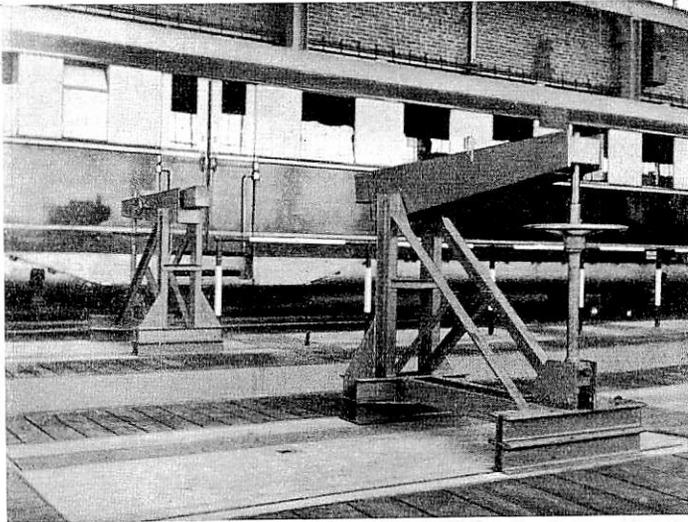


Abb. 4. Abstützböcke für den Wagenkasten.

etwa 0,6 m in der Minute. Endausschalter begrenzen oben und unten den Hub des Tisches. Die Stromzufuhr geschieht über ein Gummikabel, das auf eine Trommel gewickelt wird, von Wandsteckdosen aus. In ähnlicher Weise sind in die Grubenwände neben den Steckdosen auch Grubenleuchten und die zugehörigen Schalter eingelassen.

Das Fahrgestell der Senke wird von Hand bewegt, gleichwohl kann es für elektrischen Fahrbetrieb eingerichtet werden.

Die Wagenkästen werden beim Arbeiten mit der Drehgestellsenke auf besonderen Vorrichtungen abgestützt, die in

Abb. 4 dargestellt sind; sie sind leicht zu handhaben und beanspruchen wenig Raum.

Zur Ergänzung der Drehgestellsenke dient ein elektrischer Laufkran mit einer Tragfähigkeit von 17500 kg, dessen Beschreibung jedoch nicht in den Rahmen dieser Darstellung gehört. Er hat die ausgebauten Drehgestelle für den Versand nach dem Ausbesserungswerk zu verladen und umgekehrt die ausgebessert zurückkommenden Drehgestelle leicht und unfallsicher wieder zu entladen. Außerdem dient er für Rüstarbeiten aller Art an ausgebauten Drehgestellen.

Die gesamte Drehgestellsenkanlage wurde auf Grund von eingehenden Vorentwürfen der Reichsbahndirektion Essen durch die Joseph Vögele AG. in Mannheim im Jahre 1935 ausgeführt. Sie erfuhr eine Ergänzung durch eine Arbeitsbühne nach Abb. 5. Unter Benutzung des Grubengleises der

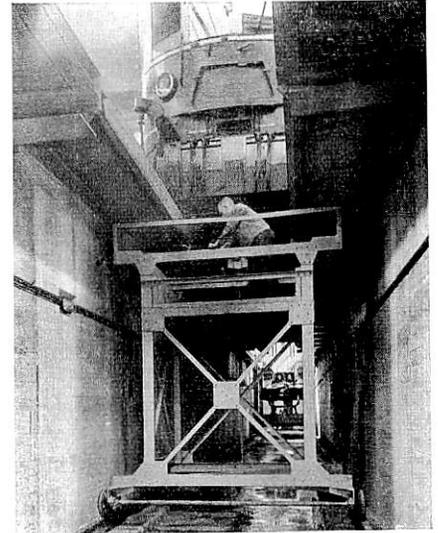


Abb. 5. Arbeitsbühne.

Längssenke vermag der Handwerker sich mit der Bühne unterhalb des Triebwagens fortzubewegen, um an alle Stellen und Teile zu gelangen, die Ausbesserungs- oder Untersuchungsarbeiten erfordern. Wichtig ist dabei, daß neben der Hauptplattform in der Mitte der Bühne seitlich schmalere Stufen vorgesehen sind, deren Benutzung alle Triebwagenteile in eine handliche Entfernung bringt. Im Hinblick auf diese Arbeitsbühne befindet sich die beschriebene Drehgestellsenke gegenüber der Quersenke im besonderen Vorteil. Sie bedeutet einen Fortschritt auf dem Gebiet der Behandlungsanlagen für Eisenbahnfahrzeuge.

## Rundschau.

### Lokomotiven und Wagen.

#### Die erste russische elektrische Schnellzuglokomotive.

Die russischen Eisenbahnen haben für den Schnell- und Personenzugverkehr auf elektrisierten Strecken die erste Schnellzuglokomotive in Dienst gestellt, die aller Voraussicht nach genau so wie die Güterzuglokomotive Co-Co vereinheitlicht wird. Die Lokomotive Bauart 2' Co 2' der Reihe PB21 wird mit Gleichstrom 3000 V betrieben und hat ein Dienstgewicht von 124 t. Hiervon wiegen der mechanische Teil 72,50 t, der elektrische Teil 51,00 t. Der Rest von 0,5 t entfällt auf die Dienstvorräte. Bei einer Stundenleistung von 2040 kW und Stundenzugkraft von 11000 kg beträgt ihre Geschwindigkeit etwa 70 km/h. Sie ist imstande, Höchstgeschwindigkeiten bis zu 130 km/h zu entwickeln. Die Gesamtlänge der Lokomotive über Puffer beträgt 16578 mm, der Treibradstand 2400 mm und der Treibraddurchmesser 1850 mm. Die Lokomotive besitzt einen durchgehenden Rahmen, in dem zwei zweiachsige Laufdrehgestelle angeordnet sind. Der Lokomotivrahmen ist als Außenrahmen ausgeführt und zwecks Gewichtsverminderung mit zahlreichen Ausschnitten versehen, durch die auch die Überwachung der innerhalb des Rahmens liegenden Teile erleichtert ist. Der Rahmen des Laufdrehgestelles ist aus Stahlblechen von 32 mm Stärke hergestellt und mit Hilfe eines gegossenen Querbalkens zusammengehalten. Für die Abbremsung der Lokomotive und des Zuges ist eine elektrische Widerstandsbremse vorgesehen, für die die Anfahrwiderstände ausgenutzt werden. Außerdem besitzt die Lokomotive noch eine Druck-

luftbremse, Bauart Westinghouse. Die erforderliche Druckluft (112 m<sup>3</sup>/h gegen 8 atü) wird von einem Luftpumpensatz von 19 kW Dauerleistung bei 3000 V und 1450 Umdr./Min. und von zwei Achsluftpumpen gefördert.

Die hochgelagerten Gestellmotoren sind als Doppelmotoren für 2 · 250 A Stundenstrom ausgeführt. Die Anker eines Doppelmotors sind in Reihe geschaltet.

Die Übertragung des Motordrehmomentes auf die Treibräder geschieht durch ein doppelseitiges Vorgelege von 3,02:1, dessen Großräder auf einer in dem Motor gelagerten Hohlwelle sitzen. An die Großradscheiben sind je acht Ausleger angeschraubt, die in Töpfen gelagerte Federn tragen und mit diesen zwischen die mit Druckplatten versehenen Radspeichen hindurchgreifen. Die Hohlwelle umfaßt die Kernachse mit einem einseitigen Spiel von 51,5 mm, so daß also auch bei stärksten Stößen die Kernachse nicht zum Anliegen an die Hohlwelle kommt. Abgesehen von verschiedenen kleinen Abänderungen entspricht die gewählte Übertragungsart dem bekannten AEG-Federtopftrieb.

Die Steuerung der Lokomotive erfolgt mit Hilfe von elektropneumatischen Schützen. Es sind folgende Schaltungen der Motoren vorgesehen.

1. Alle sechs Anker (drei Doppelmotoren) hintereinander; dabei hat man folgende Stellungen: 15 Widerstandsstufen und drei Dauerstufen, wobei eine bei vollem und zwei bei geschwächtem Feld.

2. Drei Anker hintereinander und zwei Gruppen parallel.
3. Zwei Anker hintereinander und drei Gruppen parallel.

Als Schutz gegen Kurzschlüsse und Überlastungen sind ein Schnellschalter und für jede Motorgruppe je ein Motorstromrelais vorgesehen. Bei der Überlastung in einem der Motorstromkreise veranlaßt das Relais die Abschaltung durch den Schnellschalter. Beim Ansteigen der Fahrdrachtspannung auf über 3600 V spricht ein Überspannungsrelais an, wodurch ebenfalls der Schnellschalter ausgelöst wird.

Als Schutz gegen Blitzgefahr usw. ist ein Aluminiumableiter vorgesehen.

Die Erbauer der ersten Schnellzuglokomotive sind die Werke „Dynamo und Kolonna“.

(Elektrifikazija sh. d. Transporta.)

### Neue amerikanische Großlokomotive für 11 kV 25 Hertz.

Die Pennsylvania Railroad hat Anfangs 1935 auch die Linie Philadelphia—Baltimore—Washington auf elektrischen Betrieb umgestellt (360 Streckenkm = 990 Gleiskm). Dafür sind 57 neue Großlokomotiven eingesetzt worden. Aus zwei Versuchsausführungen, die seit 1934 Dienst getan haben, ist die nachstehend beschriebene Type gewählt worden:

Achsfolge . . . . .	2' Co Co 2'
Höchstgeschwindigkeit . . . . .	145 km/h
Leistung bei Höchstgeschwindigkeit . . . . .	4680 PS
Reibungsgewicht $6 \times 22,5$ t . . . . .	135 t
Gesamtgewicht . . . . .	207 t.

Form und Aufbau der Lokomotive zeigen die drei Abbildungen. Auf Windschnittigkeit des Kastens ist großer Wert gelegt, das Untergestell aber nicht verkleidet. Der Rahmen besteht aus zwei durch Kugelgelenk mit Rückstellung verbundenen Teilen aus Stahlguß. Aus dem gleichen Stoff sind die beiden Drehgestellrahmen, die die Laufräder von 900 mm Durchmesser mit 2,4 m Achsstand führen. Der Kasten ist als selbsttragendes Stahlgerippe ausgebildet und federnd mit Längsspiel auf die Rahmen gesetzt. Die Hauptknoten des Gerippes sind genietet, Spanten und Blechverkleidung geschweißt.

Der Haupttransformator von 4800 kVA steht in der Mitte des Kastens und setzt die Fahrleitungsspannung von 11 kV auf 1400 Volt herab. Das Öl läuft um und wird mit Lüftern gekühlt. Der Trafo wiegt insgesamt 15,5 t, wovon 4,2 t auf Schutzvorrichtungen und Schaltapparate treffen. Die Spannungsstufen werden mit druckluftmagnetischen Schützen über einen Stufentransformator derart aufgeschaltet, daß auf jeden Motor nur Spannungssprünge von 16 Volt kommen. Die zwölf Fahrmotoren sind als sechs Zwillingmotoren zu je zwei Ankern in gemeinsamem Gehäuseteil mit Dreipunktaufhängung am Rahmen befestigt. Sie arbeiten mit einer Übersetzung 1:3,59 auf die Hohlwelle des Westinghouseantriebs. Motoren und Treibachsen (Raddurchmesser 1540 mm) laufen in Rollen, die Hohlwellen in Gleitlagern. Die zwölfpoligen Reihenschlußmotoren sind ständig in drei Gruppen zu je vier Motoren reihenparallel geschaltet. Am Anker liegen bis zu 300 Volt. Das Wendefeld kann mit zwei Stromverhältnissen erregt werden, um bei niedriger und hoher Geschwindigkeit günstig zu kommutieren. Der Kühlluftstrom tritt vom Kommutator zur Antriebsseite durch.

Die Kühlluft für Transformator und Fahrmotoren wird in zwei Lüftersätzen je 56 PS erzeugt. Der Bremsluftpresser verdichtet mit 35 PS 13,5 cbm/Min. und versorgt zwei Haupt- und zwei Drehgestellbremszylinder. Die Zugheizung übernimmt ein gefeuerter Standrohrkessel, der stündlich 2000 l Wasser bei 2,9 at verdampft. Ein 2,7 kW-Gleichstromgenerator und ein 16zelliger Sammler für Licht- und Hilfskreise vervollständigen die Ausrüstung. In den beiden Führerständen sind neben den üblichen Betätigungen und Instrumenten die Sicherheitsfahrtschaltung und eine Schleuderwarnung angebracht. Diese leuchtet auf, wenn die Geschwindigkeit irgend zweier Achsen um mehr als 13 km/Std.

verschieden ist. Wenn das der Führer nicht beachtet, wird bei mehr als 32 km/Std. Unterschied der Motorkreis selbsttätig unterbrochen. Für Vorspanndienst sind in den Stirnwänden der Vorbauten Übergangstüren eingesetzt.

Von diesen 57 Großlokomotiven bauten 18 die Werke der Pennsylvaniaabahn, 25 die Baldwin Lokomotivwerke und 14 die General Electric. Comp. Die Westinghouse Comp. lieferte 34 elektrische Antriebe und Steuerungen. Die konstruktive Leitung lag bei der Pennsylvania Railroad.

(Aus Engineering vom 1. 5. 36.)

Schl—1.

### 1' C1' h 3 Lokomotive der London and North Eastern-Bahn.

Die neue Lokomotivbauart, von der bis jetzt 33 Stück im Betrieb und Bau sind, ist, entsprechend ihrem großen Treibrad-durchmesser, für die Beförderung von Personen- und Eilgüter-zügen bestimmt. Sie lehnt sich eng an die 2' C1' und 1' D1'-Schnell-zuglokomotive der Bahn\*) an, von denen viele Teile übernommen sind. Das Dreizylinder-Triebwerk zeigt die bei der Bahn übliche

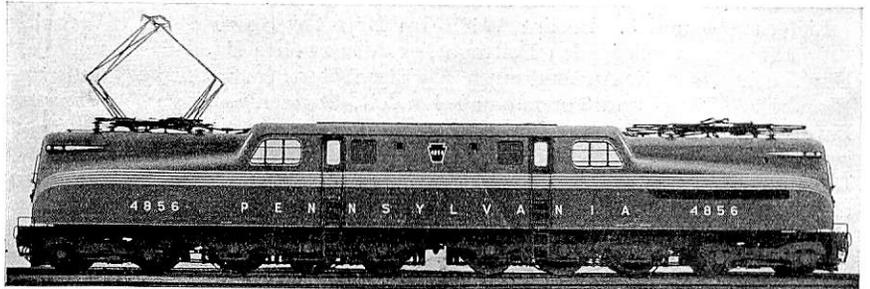


Abb. 1. 4680 PS-Ellok, Gesamtansicht.

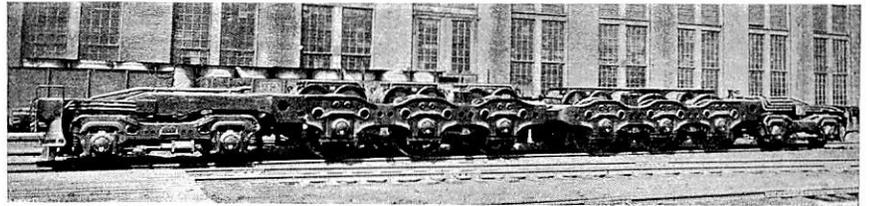


Abb. 2. Stahlgußrahmen mit Triebachsen und Drehgestellen.

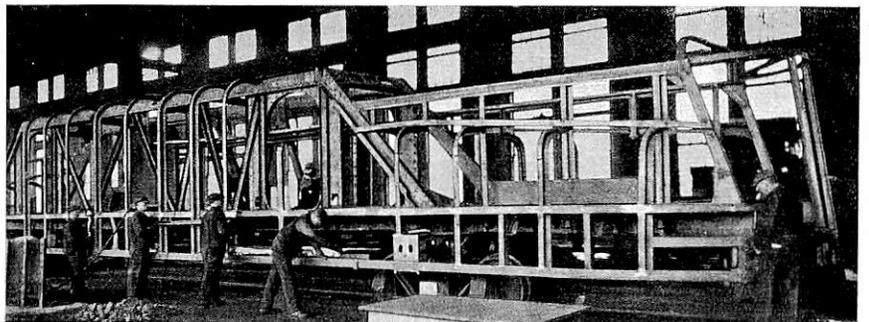


Abb. 3. Kastengerippe in der Werkstatt.

Anordnung, wobei die Steuerung des Innenzylinders von den beiden Außensteuerungen abgeleitet wird. Sämtliche Steuerungsteile laufen in Kugel- und Rollenlagern. Die drei Zylinder bilden zusammen mit ihren Schieberkästen, den Ein- und Ausströmkanälen und dem Rauchkammerträger ein einziges Gußstück. Die Kurbelarme der Kropfachse tragen Gegengewichte; die umlaufenden Massen sind ganz, die hin- und hergehenden zu 40% ausgeglichen. Die Treib- und Kuppelstangen sind aus Chromnickelstahl gefertigt. Die vordere Bisselachse hat beiderseits 140 mm, die Schleppachse mit außenliegenden Cartazzi-Lagern beiderseits 64 mm Seitenspiel. Der Kessel enthält eine Verbrennungskammer und hat dieselbe Rohrteilung und den ver-

\*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1930, S. 160 und 1986, S. 53.

