

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

15. Dezember 1937

Heft 24

Die neuere Form des Übergangsbogens im Eisenbahngleis.

Von Ing. Robert Findeis, o. Professor, Wien.

Vorbemerkungen.

Die kubische Parabel hat von ihrer Einführung als Übergangslinie zwischen Gerade und Kreis bis in die neueste Zeit gute Dienste geleistet. Wenn auch anfangs ihre Form bei den alten Praktikern keine ungeteilte Zustimmung fand, so bürgerte sie sich doch bei den wissenschaftlich vorgebildeten Eisenbahntechnikern weitestgehend ein und trug dazu bei, über den Lauf der Fahrzeuge im Gleis nachzudenken.

Mit der gebieterischen Forderung nach höheren Fahrgeschwindigkeiten zeigten sich aber auch jene Mängel im theoretischen Aufbau der Übergangsbogenform, die in Fachkreisen zu manchen Abänderungsvorschlägen führten. Diese konnten sich aber bisher nur wenig Geltung verschaffen, da sie vielfach so geartet waren, daß sie nicht im Gedächtnis haften bleiben. Die Neuerer auf diesem Gebiet begingen dabei den praktischen Fehler, daß sie das Vorhandene, Alte gänzlich umstürzen wollten, um neue Wege zum Ziele einzuschlagen. Solches erweckt aber bei den nach der bisherigen Lehre geschulten Technikern Widerstand und hätte auch den Übelstand gezeitigt, daß Neues ohne Zusammenhang mit dem Alten bestehen hätte müssen. Die technische Praxis verlangt einfache, überzeugende Ergebnisse, die nicht dem Gedächtnis entschwenden. Es ist besser die altgewohnte Arbeitsweise so zu verfeinern, daß sie zu neuen, besseren Ergebnissen führt, als sie gänzlich zu verlassen.

Es soll der Zweck nachfolgender Ausführungen sein, zu zeigen, daß man die vorerwähnten Grundsätze für technisches Arbeiten auch auf das Gebiet des Übergangsbogens übertragen kann. Es wird dann dem Fortschritt auch in diesem Belange nichts im Wege stehen.

Es wäre unzweckmäßig, hier neuerdings eine vollständige, weitausgreifende Abhandlung über die Übergangsbogenfrage zu bringen. Vielmehr wird eine entsprechende Kenntnis in Theorie und Praxis vorausgesetzt, um sich ein Urteil über die Brauchbarkeit des hier Vorgeschlagenen zu bilden.

Es wird daher auf den bereits vorhandenen Lesestoff*) verwiesen. Es erscheint aber schließlich nicht nötig, die gesamte Theorie im Gedächtnis zu behalten, um das nach meiner Ansicht einfache Ergebnis richtig anwenden zu können.

Außerdem wird es sich empfehlen, die Aufgaben „Neugestaltung des Übergangsbogens“ und „Bogenberichtigung“ zunächst voneinander zu trennen, wenngleich beide in einem gewissen geschichtlichen Zusammenhang stehen.

Grundsätzliches.

Wie schon der Name sagt, soll der Übergangsbogen eine Fahrt ermöglichen, bei der von der Geraden in den Kreis und von der Überhöhung Null auf ein bestimmtes Maß übergegangen werden soll. Dabei ist zu beachten, daß sowohl die Überhöhung als auch — in noch viel höherem Maße die Spurerweiterung nur zum Teil durch theoretische Überlegungen festgesetzt werden können, da für beide die oberen Grenzwerte

aus der Bauart der gefederten Fahrzeuge gefolgert werden müssen. Vor allem ist es der Spielraum der Fahrzeuge im Gleis, der bewirkt, daß die Wagenfahrt ohnehin nicht genau der Bahnachse folgt und daß das ziehende Fahrzeug (Lokomotive) einen anderen Lauf hat, als das gezogene (Wagen), das viel weniger Erweiterung braucht als jenes. Auch die Reibung zwischen Rad und Schiene, die schwer theoretisch zu fassen ist, beeinflusst die Fahrt, so daß die berechnete Fliehkraft nicht allein zur Auswirkung kommt.

Dies alles wird hier in der Absicht erwähnt, davon Abstand zu nehmen, mit der scheinbaren Genauigkeit der analytischen Berechnung zu weit zu gehen. Es wird also bei genügender Annäherung an die Theorie und die gegebenen Verhältnisse hauptsächlich auf die Einfachheit und sichere Anwendungsmöglichkeit das Gewicht zu legen sein.

Es wurde angestrebt, die Buchstabenbezeichnung in den folgenden Rechnungsansätzen, so zu wählen, daß sie sinnfällig und daher dem bisher gepflogenen Gebrauch entsprechend ist. Wenn möglich, wurden die von Petersen benützten Bezeichnungen beibehalten, um das Eindringen in das Stoffgebiet zu erleichtern. Namentlich wird unmittelbar das Grundsätzliche aus Abschnitt III der Petersenschen Abhandlung im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932 übernommen und manches daraus nur des Zusammenhanges wegen hier wiederholt*), wogegen aus ihr Sonstiges weggelassen wurde, um das Ergebnis herauszuheben.

Es wird als richtige Erkenntnis angesehen, daß der Übergang eine um so ruhigere Fahrt ergibt, je kleiner die Kräfte sind, die dabei geweckt werden. Es muß also getrachtet werden, die Änderung der Fahrtrichtung im waagerechten (Übergangslinie), im lotrechten (— Überhöhungsrampe —) und damit in der Verdrehung des Wagenkastens möglichst stetig, klein und ausgeglichen zu gestalten. Die Ausführungen von Petersen und Schramm sind diesbezüglich so überzeugend und durch Versuchsfahrten bestätigt, daß an der Zweckmäßigkeit von „geschwungenen Rampen“ für längere Übergangsbogen nicht zu zweifeln ist. Daß ihre Ausführung und Erhaltung keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bieten, wird auch durch die vorliegende Abhandlung aufgezeigt werden.

Abhandlung.

Bei größeren Geschwindigkeiten ($v > 80$ km/h) werden die erforderlichen Verschiebungen v zwischen Tangente und reinem Kreisbogen bei der kubischen Parabel sehr groß. Sie nehmen mit dem Quadrat der Übergangslänge l zu.

$$v = \frac{l^2}{24 r}$$

Das würde allerdings beim Neubau einer Linie (Eisenbahn oder Straße) nichts ausmachen, doch ist auch — wie bekannt — bei langen Übergangsbogen die theoretische Forderung des richtigen Anschlusses bei BA oder BE an den Kreis nicht erreicht. Es gibt aber eine neuere Form des Überganges, die diese Unstimmigkeiten nicht hat und außerdem eine sanftere

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. vom 15. Mai 1937 „Entwicklung und Stand der Übergangsbogenfrage“ von Dr. Ing. Schramm.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXXIV. Band. 24. Heft 1937.

*) Die Nummern der Petersenschen Abbildungen aus Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932 sind in (.....) beigelegt.

(weiche) Fahrt ermöglicht. Sie ergibt sich durch die Einführung der geschwungenen Rampe statt der gradlinigen.

Im allgemeinen ist im Grundriß jede Linie, die bei ÜA die Krümmung

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\infty} = 0$$

und in BA

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{r}$$

hat, ein geeigneter Übergang, wenn sie einen stetigen Verlauf hat. In Anknüpfung an die bereits früher erwähnten Arbeiten von Petersen und von Schramm läßt sich eine solche Linie leicht ermitteln und auch abstecken.

a) Allgemeines

(unter Benützung der Petersenschen Arbeit im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1932).

Voranzustellen ist das Verfahren, durch das man aus einer Linie mit gegebenem (bekanntem oder angenommenem)

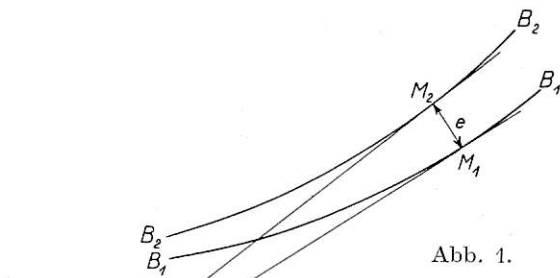


Abb. 1.

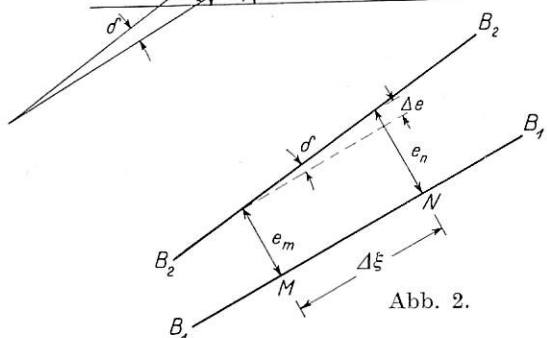


Abb. 2.

Abb. 1 und 2. B₁ = vorhandener oder angenommener Gleisbogen mit einfachem Krümmungsverlauf.

Krümmungsverlauf — erster Bogen B₁B₁ — eine andere Linie mit gewünschtem Krümmungsverlauf — zweiter Bogen B₂B₂ — durch Verschiebung der Bogenpunkte ableiten kann. Man kann dann auch den ersten Bogen als „Grundlinie“, den zweiten als „abgeleitete Linie“ ansprechen.

α ist der jeweilige Neigungswinkel der Tangente gegen die x-Achse oder der Normalen gegen die y-Achse; daher ist der Name „Winkelbild“ zu erklären.

e = Abstand (Seitenverschiebung) eines Bogenpunktes M₁ vom anderen M₂.

Ersetzt man die Bogen für ein kurzes Stück durch Gerade, so ergeben sich nachstehende einfache Beziehungen:

$$\begin{aligned} e_n &= e_m + \Delta e \\ \Delta e &= \Delta \xi \delta \\ e &= \sum \Delta \xi \delta \\ e &= \int \delta d \xi \dots \dots \dots \text{I) Summenbild (Abstandsbild)} \end{aligned}$$

Gl. I) ist so lange gültig als $\text{tg } \delta = \delta$, etwa bis 5° .

Nun ist aber bei jeder Kurve

$$\begin{aligned} d \xi &= \rho d \alpha \\ \frac{d \alpha}{d \xi} &= \frac{1}{\rho} \dots \dots \dots \text{Krümmung} \end{aligned}$$

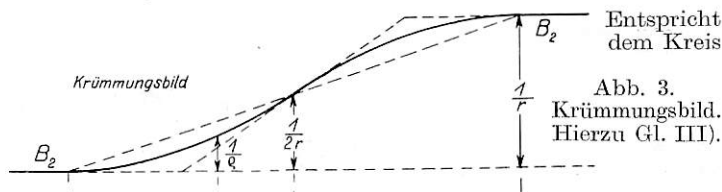
$$d \alpha = \frac{1}{\rho} d \xi$$

$$\alpha = \int \frac{1}{\rho} d \xi.$$

Wird die x-Achse so gewählt, daß $d \xi = dx$ gesetzt werden kann, dann ist

$$\alpha = \int \frac{1}{\rho} dx \dots \dots \dots \text{II)}$$

Gl. II) besagt: Das Winkelbild ist die Integralkurve des Krümmungsbildes.



Entspricht dem Kreis
Abb. 3.
Krümmungsbild.
Hierzu Gl. III).

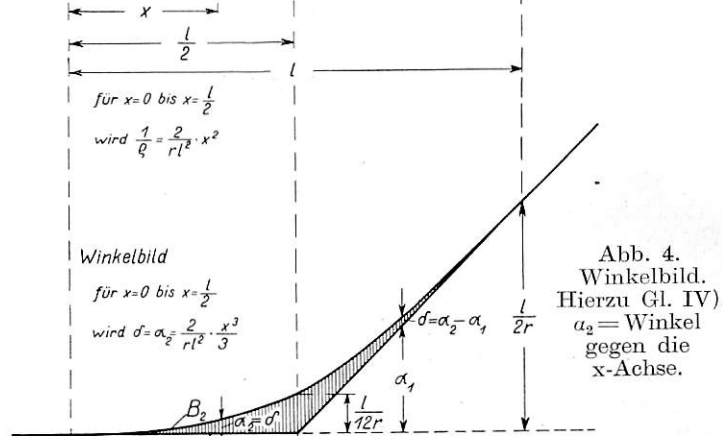


Abb. 4.
Winkelbild.
Hierzu Gl. IV).
 $\alpha_2 =$ Winkel gegen die x-Achse.

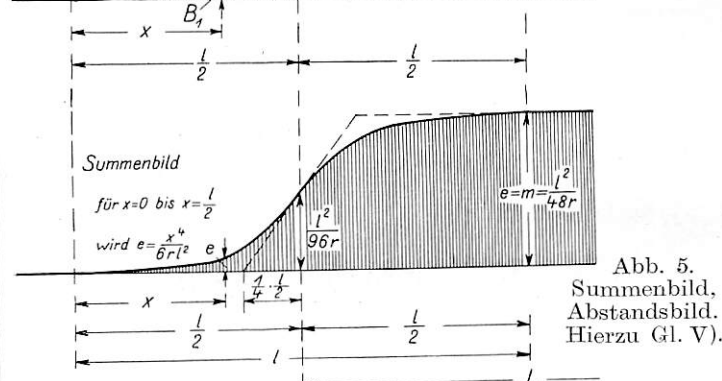


Abb. 5.
Summenbild,
Abstandsbild.
Hierzu Gl. V).

Abb. 3 bis 5. Übergangsbogen mit geschwungenem Krümmungsverlauf.

Das Krümmungsbild für die neuere Übergangslinie wird nach Abb. 3 (Abb. 28) aus zwei einfach parabolischen Ästen zusammengesetzt, dabei ist

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} &= P x^2 \\ \text{für } x &= \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2r} = P \frac{l^2}{4}, \quad P = \frac{2}{r l^2} \\ \text{für } x &= 0 \text{ bis } x = \frac{1}{2} \dots \frac{1}{\rho} = \frac{2}{r l^2} x^2 \dots \dots \text{III)} \end{aligned}$$

Gl. III) ist die analytische Gleichung der ersten Hälfte der Krümmungslinie. Das Krümmungsbild ist zwar dem Aufriß der Überhöhungsrampe ähnlich, ist aber selbst nur eine „Darstellung“ des Krümmungsverlaufes.

Der erste Bogen B₁B₁ kann aber auch eine Gerade — die x-Achse — sein. Dann ist

$$\alpha_1 = \theta, \quad \alpha_2 - \alpha_1 = \delta = \alpha_2$$

$$\alpha_2 = \int \frac{2}{r l^2} x^2 dx$$

$$\alpha_2 = \frac{2}{r l^2} \frac{x^3}{3} \dots \dots \dots \text{IV) Winkelbild.}$$

Ferner ist die Gleichung des Summenbildes Abb. 5 (Abb. 30) — auch Abstandsbild zu nennen — nach Gl. I).

$$e = \int \delta dx$$

$$e = \int \alpha_2 dx$$

$$e = \frac{2}{3} \frac{1}{r l^2} \int x^3 dx$$

$$e = \frac{2}{3 r l^2} \frac{x^4}{4} \dots \dots \dots \text{Abstände}$$

$$e = \frac{x^4}{6 r l^2} \dots \dots \dots \text{Seitenverschiebungen.}$$

Die Integralkurve des Winkelbildes, auf die x-Achse bezogen, lautet somit:

$$y = \frac{x^4}{6 r l^2} \dots \dots \dots \text{V) Übergangsbogen, 1. Hälfte.}$$

Gl. V) ergibt die gewünschte Linie mit dem angenommenen Krümmungsverlauf nach Abb. 3 (Abb. 28).

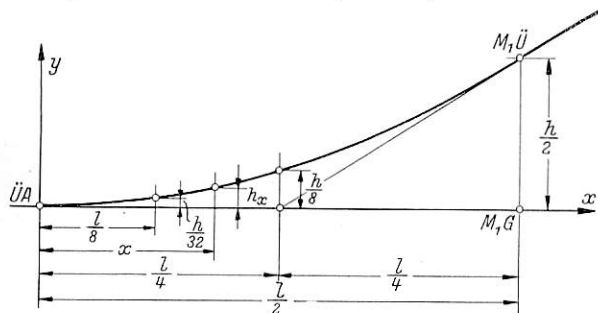


Abb. 6. Höhenplan.

Daß dieses Krümmungsbild dem Aufriß der „geschwungenen Rampe“ entspricht, deren Aufriß sich nach Abb. 6 ergibt, erhellt aus der bekannten Beziehung:

$$\frac{m v^2}{\rho} = m g \frac{h}{s} \dots \dots \dots s = \text{Spurweite.}$$

$$h = \frac{s v^2}{g} \frac{1}{\rho}$$

$$h = \kappa \frac{1}{\rho}$$

Aus Gl. III) $\dots \dots \dots h_x = \left(\frac{2 \kappa}{2 l^2} \right) x^2$

$$h_x = Q x^2 \dots \dots \dots \text{VI) Höhenplan.}$$

VI) ist die Gleichung des Rampenanstieges 1. Hälfte.

Der Höhenplan zeigt ebenfalls parabolischen Verlauf.

Es genügt aber, die Höhe des Punktes M₁ und den Wert in $\frac{1}{4}$ festzulegen. Für die zweite Hälfte der Rampe ergibt sich

einfach das gestürzte Bild mit der Höhe $\frac{3}{8} h$ in $\frac{3}{4} l$.

Da für

$$x = \frac{l}{2} \dots \dots \dots h_x = \frac{h}{2}$$

$$\frac{h}{2} = Q \frac{l^2}{4}$$

$$Q = \frac{2 h}{l^2}$$

$$h_x = \frac{2 h x^2}{l^2} \dots \dots \dots \text{VIa) Höhenplan.}$$

für $x = \frac{l}{4} \quad h_{\frac{1}{4}} = \frac{2 h}{4 \cdot 4} \frac{l^2}{l^2} = \frac{h}{8}$

für $x = \frac{l}{8} \quad h_{\frac{1}{8}} = \frac{2 h}{8 \cdot 8} \frac{l^2}{l^2} = \frac{h}{32}$

Liegt die Überhöhungsrampe in der Streckenneigung $m \text{‰}$, so ergibt sich Abb. 7.

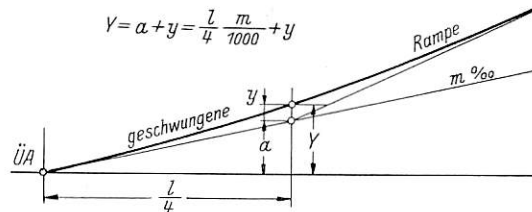


Abb. 7. Höhenplan.

Für die zweite Hälfte des Übergangsbogens kann man den (um v) verschobenen Kreis — entspricht im Krümmungsbild (Abb. 3) der waagerechten Geraden im Abstände $\frac{1}{r}$ von der x-Achse — als Grundkurve B₁B₁ und den Übergangsbogen als abgeleitete Kurve B₂B₂ auffassen und bekommt dadurch ein Summenbild, das dem gestürzten Summenbild der ersten Hälfte gleichkommt (Abb. 5).

Oder in die Wirklichkeit umgesetzt: Die zweite Hälfte des Übergangsbogens zeigt dieselben Verschiebungen (Abstände) vom Kreis aus gemessen, wie die erste Hälfte von der Geraden abrückt. Ich möchte daher das Summenbild auch zutreffend „Abstandslinie“ (der Abstände e) nennen, die in der ersten Hälfte des Übergangsbogens von der Geraden (in der Zeichnung nach oben) in der zweiten Hälfte vom hineingerückten Kreis (Halbmesser r) (in der Zeichnung nach unten) aufzutragen sind.

Hierdurch bekommt man zweifelsohne eine allen billigen theoretischen Forderungen entsprechende Übergangslinie nach Abb. 8.

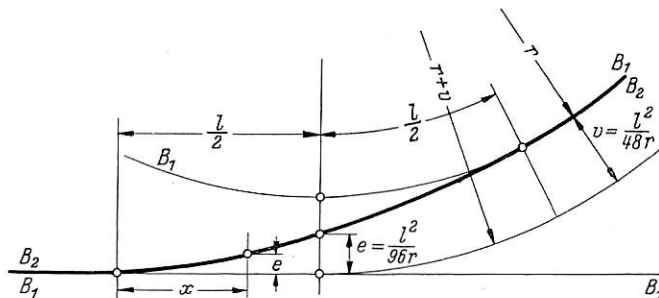


Abb. 8. Übergangsbogen mit geschwungenem Rampenverlauf.

Der Unterschied der Längen zwischen der Übergangslinie und der Geraden (Tangente) sowie zwischen jener und dem Kreis verschwindet gänzlich aus der Absteckung, da man die Längen des Kreisbogens ja auch in den Kreissehen mißt und auch so absteckt.

Außerdem weichen beide Hälften des abgeleiteten Bogens überhaupt nur um kleine Verschiebungen (e) von ihren Grundlinien ab, da die Parabel vierter Ordnung nur die Hälfte der Kreisverschiebung v braucht wie die kubische, wobei es sich überdies immer nur um die e von $x = \theta$ bis $x = \frac{l}{2}$ handelt.

Bei der kubischen Parabel (für gerade Rampen) ist die notwendige Verschiebung v zu berechnen aus:

$$y = \frac{x^3}{6 r l}$$

$$\text{für } x = \frac{l}{2} \dots \dots \dots y_m = \frac{l^3}{6 \cdot 8 \cdot r \cdot l}$$

$$y_m = \frac{l^2}{48 r}$$

Die notwendige Verschiebung v des Kreises ist gleich dem doppelten Wert, somit

$$v = \frac{l^2}{24 r} \dots \dots \text{für die kubische Parabel.}$$

Für die Linie nach Gl. V):

$$y = \frac{x^4}{6 r l^2} \dots \dots \dots \text{V)}$$

$$y_m = \frac{l^4}{6 \cdot 16 \cdot l^2 r}$$

$$y_m = \frac{l^2}{96 r}$$

$$v = 2 y_m = \frac{l^2}{48 r} \dots \dots \dots \text{VII)}$$

Verschiebung.

Man sieht, daß die Verschiebungen nach Gl. VII) (entspricht der geschwungenen Rampe) nur halb so groß sind als bei der bisherigen Kurve; oder, daß man für die Verschiebung $\frac{l^2}{24 r}$ eine Übergangsbogenlänge l' (für geschwungene

Rampe) von $\sqrt{2}$ -facher Länge machen könnte.

$$\frac{l^2}{24 r} = \frac{l'^2}{48 r}$$

$$l'^2 = 2 l^2$$

$$l' = l \sqrt{2}.$$

Es ist also ein Vorteil der geschwungenen Rampe, daß man sie länger machen kann, was von allen Praktikern als eine Verbesserung gewertet wird und daß man andererseits kleinere Verschiebungen gegenüber dem Grundliniengebilde, bestehend aus Tangente (Gerade) und Kreisen hat, was für die Absteckung eine Erleichterung ist.

Was die Länge l der Übergangslinie anbetrifft, so nahm man früher hauptsächlich die Steigung der Rampe (1:300, 1:600, 1:1000 oder dergl.) als maßgebend für sie an. Aus der Praxis ergab sich auch allgemein, daß lange Rampen ruhiger zu befahren waren, als kurze und man gab daher dem schärferen Bogen gefühlsmäßig eine längere Übergangslinie, hielt aber an der geraden Rampe fest. Das gestattete allerdings, die Erhaltungsarbeiten auch theoretisch weniger gebildeten Leuten überlassen zu können. Man verwendete die Beziehung

$$C = l r$$

oder

$$l = \frac{C}{r}$$

und für den Kennwert z. B.:

C = 3000 für Lokalbahnen 76 cm Spur	V = 30 km/h
„ = 4500 „ „ 100 „ „ . . .	V = 35 km/h
„ = 6000 „ „ Normalspur . . .	V = 40 km/h
„ = 6000—12000 f. Hauptbahnen Normalsp.	V = 60 km/h
„ = 12000—24000 „ „ „	V = 80 km/h
„ = 36000—60000 „ „ „	V = 80 km/h

In neuerer Zeit versucht man beim Gleisumbau auf höhere Geschwindigkeiten $C \geq 100000$ anzuwenden. Die bezüglichen Normen der Eisenbahnverwaltungen sind aber je nach den Gefällsverhältnissen, der Wagenbauart und Sonstigem unterschiedlich. Doch zeigte es sich schon bisher, daß eine zu weit getriebene (scheinbare) Genauigkeit hinsichtlich der Abstufung von C nicht begründet ist, da für große Fahrgeschwindigkeiten andere Fahrzeuge als bisher angewendet werden können und sollen.

Die neuen Versuche der Deutschen Reichsbahn, von Prof. Petersen und anderen weisen darauf hin, daß die Fahrgeschwindigkeit (V) als solche den Haupteinfluß hat und daß etwa auftretende unangenehme Schwankungen des Wagens von der Dreh-Beschleunigung (nicht Dreh-Geschwindigkeit), mit der der Wagenkasten um seine Längsachse gedreht wird, somit sich mehr seitwärts neigt, abhängig sind. Fährt ein Wagen ganz auf einer geraden Rampe, so bleibt seine Drehgeschwindigkeit dort gleich. Bei Änderung der Drehgeschwindigkeit — d. i. beim Beginn und Ende der Rampe — gibt es aber eine Drehbeschleunigung oder eine Verzögerung, die eine „Kraft“ hervorruft und daher im Wagen gespürt wird.

Je sanfter sich diese Änderung vollzieht, desto kleiner wird die (störende) Drehkraft. Dies führt zur geschwungenen Rampe, wo die Drehung allmählich anwächst und aufhört. Petersen findet es für ausreichend, $l > V$ vorzuschlagen, wodurch sich für alle Bogen, unabhängig von r , die gleiche Länge l ergäbe. Es dürfte sich jedoch trotzdem empfehlen, für flachere Bogen kürzere Übergangslängen l zu wählen, als für scharfe.

Setzt man $r l^2 = D$ in Gl. V), so ist

$$y = \frac{x^4}{6 D} \dots \dots \dots \text{Va)}$$

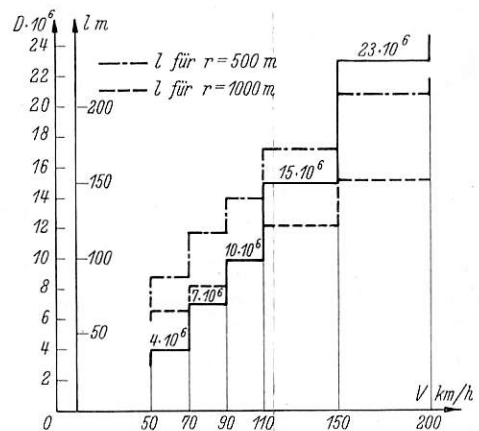


Abb. 9. Werte für D.

die analytische Gleichung einer Parabel vierter Ordnung, die Form für die neuere Übergangslinie, erste Hälfte.

Die Annahme $r l^2 = D$ oder

$$l = \sqrt{\frac{D}{r}} \dots \dots \dots \text{VIII)}$$

Übergangslänge.

ist zwar nicht durch theoretische Überlegungen zu stützen, gibt aber jedenfalls für schärfere Bogen längere Übergangslängen und ist mindestens ebenso berechtigt, wie die bisher allseits verwendete Beziehung $r l = C$. Die Begründung für die Gl. VIII) liegt aber in der dadurch geschaffenen Vereinfachung und Brauchbarkeit des analytischen Ansatzes.

Übrigens kommt die Einführung

$$r l^2 = D$$

der Auffassung von Petersen wesentlich näher, da bei ihr die Übergangslänge l [Gl. VIII)] weniger empfindlich gegen die Größe von r wird, als bei $l = \frac{C}{r}$.

Jedenfalls kann man in den Kennwert D alles hineinlegen, was die Länge l des Überganges beeinflusst. (Höchstgeschwindigkeit V , Geländebeschaffenheit, die nur kurze Übergänge gestattet, somit Einfluß der gestreckten oder bogenreichen Linienführung, einheitliche oder unterschiedliche Zuggeschwindigkeit auf demselben Gleis u. a.) Die kenn-

zeichnende Größe D wird für jede Linie und möglicherweise nach weiteren Erfahrungen zu wählen sein.

Um aber nicht zuviel Tafelwerke zu benötigen, wird vorgeschlagen, nur etwa nachstehende Kennwerte zu verwenden:

$D = 1000000$	für Schmalspurbahnen	$v \leq 50$ km/h
$D = 4000000$	„ Normalspur	$v \leq 70$ km/h
$D = 7000000$	„ „	$v = 70-90$ km/h
$D = 10000000$	„ „	$v = 90-110$ km/h
$D = 15000000$	„ „	$v = 110-150$ km/h
$D = 23000000$	„ „	$v > 150$ km/h

Die Übergangslängen erhalten dann zwar unrunde Werte, was aber ohne Belang ist, da die Punkte $\ddot{U}A$ und $\ddot{U}E$ nur der alten Gepflogenheit entsprechen, das Ende oder der Beginn der reinen Geraden ersichtlich zu machen. Zur Absteckung in der Natur werden sie nicht gebraucht, da der Übergangsbogen beiderseits von M (Mitte des Überganges) abzustecken sein wird.

b) Absteckungsvorgang.

$$y = \frac{x^4}{6D}$$

$$y = \frac{\left(\frac{1}{2} - \xi\right)^4}{6D} \dots \dots \dots IX)$$

y oder e sind die Abstände, gezählt von M_1K oder M_1G .

Jedenfalls sind als Hauptabsteckungspunkte die Punkte M_1G , M_1U , M_1K zu verwenden und der Lage und Höhe nach

zu vermarken, wodurch die geometrische Form des Gleises weitestgehend festgelegt ist. Wie man sofort ersieht, sind alle Längenmessungen ohne Rücksicht auf die bisher beim Übergangsbogen auftretenden Längenabweichungen und die Seiten-

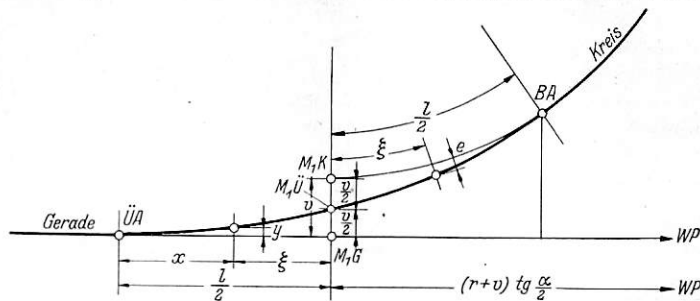


Abb. 10. Absteckung der Übergangslinie von Übergangsmitte.

- | | |
|--|--|
| M_1U Mitte der Übergangslinie im Einlauf | M_2U Mitte der Übergangslinie im Auslauf |
| M_1K Übergangsmitte im Kreis | M_2K Übergangsmitte im Kreis |
| M_1G Übergangsmitte in der Geraden | M_2G Übergangsmitte in der Geraden |

UA, BA, BM, BE, UE behalten ihre alte Bedeutung bei.

verschiebungen nur bis zu den Höchstwerten $\frac{v}{2}$ (halbe Verschiebung) aufzutragen, somit praktisch einwandfrei absteckbar.

Auch ist zu dem hier angedeuteten Vorgang keinerlei, bisher noch nicht geläufige Arbeitsweise vonnöten.

Sicherheit gegen Verwerfung im durchgehend geschweißten Gleis.

Von Regierungsbaumeister Lederle, Pforzheim.

In mehreren Veröffentlichungen dieser Zeitschrift sind schon die technischen Grenzen des Langschienenoberbaues untersucht worden. Bei all diesen Arbeiten hat sich eine getrennte Betrachtung der Lagesicherheit des Gleises in senkrechter und in waagerechter Ebene als notwendig erwiesen. Zu einer guten Übereinstimmung mit den Meßergebnissen der

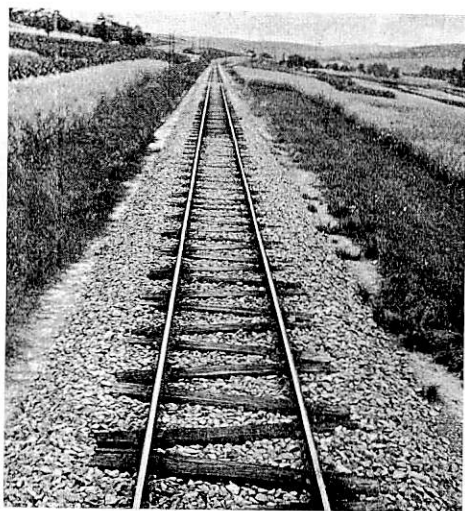


Abb. 1. Schrägschwellen in der Geraden.

an dem Gleisbauinstitut der Technischen Hochschule Karlsruhe vorgenommenen Versuche gelangt der Verfasser in einem Aufsatz in Heft 13, Jahrgang 1935 dieser Zeitschrift. Es wird dort festgestellt, daß die Gefahr einer Verwerfung des lückenlosen Gleises in senkrechter Ebene bei $50^\circ C$ Überwärmung der Schiene nur bei einem leichten Gleise besteht, daß der Oberbau K jedoch noch gerade an der Grenze der

Verwerfungssicherheit liegt. Die seitliche Lagesicherheit des Gleises erweist sich jedoch aus den Gleisdruckversuchen als ungenügend. In erster Linie muß deshalb der Langschienenoberbau hinsichtlich seiner Seitenstabilität verbessert werden.

Abb. 1 und 2 zeigt einen Oberbauversuch mit Schrägschwellen, der nach den bisherigen Ergebnissen als ein

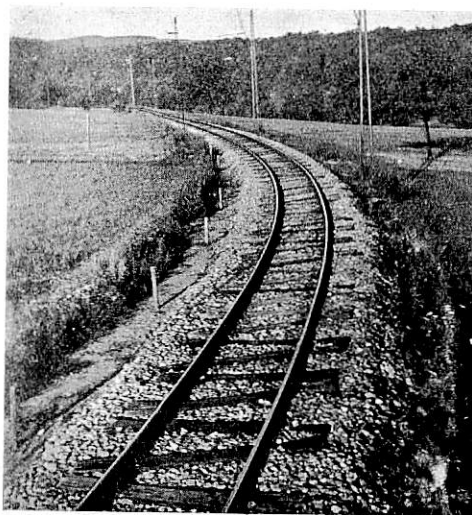


Abb. 2. Schrägschwellen im Bogen.

Fortschritt in der angezeigten Richtung anzusehen ist. In Abb. 1 ist eine Gleisstrecke in der Geraden mit einer lückenlosen Länge von 180 m gezeigt; die Spurweite beträgt 1,00 m; verlegt sind Kieferschwellen 1,80 m lang mit ungeteilter Schwellenschraubenbefestigung auf Unterlegplatten mit Pappelholzwischenlagen; das Schienengewicht beträgt 20 kg/m. Abb. 2 zeigt einen Gleisbogen mit einer ungeteilten Länge

von 80 m und einem Halbmesser von 82 m. Hier sind Hartholzschwellen und Schienen der Form Bayern 8 mit einem Gewicht von 27,3 kg/m verwendet; Schienenbefestigung wie bei 1. Räumlich anschließend an diese beiden Versuchstrecken wurde im ersten Fall ein gerades Gleisstück gleicher lückenloser Länge, jedoch mit normaler Querschwellenbauweise und in der Nähe des $R=82$ m-Bogens ein ebensolcher etwa gleicher Abmessungen und gleicher Schienenform jedoch wieder mit normaler Schwellenlage verlegt. Beide Versuchstrecken wurden vor Eintritt in die warme Jahreszeit auf neuer Bettung fertiggestellt; die Gerade im Jahre 1934, der Bogen im Jahre 1935, so daß während der Sommermonate die Lagesicherheit dieser Anordnung untersucht werden konnte. Infolge der kühleren Witterung des Jahres 1936 wurde an dem Bogengleis nur eine Schientemperatur von 42°C Höchstwert gemessen, im Jahre 1937 schon 48°C . Von seitlichen Festpunkten aus wurde die Lage der Schienen öfters nachgemessen; dabei wurde in den

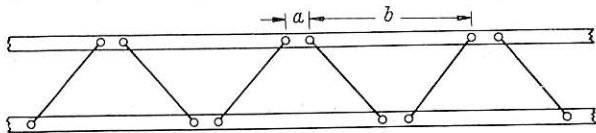


Abb. 3. Schrägwellengleis als Fachwerk.

ersten warmen Tagen des Jahres 1935 an der geraden, 180 m langen Kontrollstrecke mit Querschwellen eine schwache wellenförmige Gleisverlagerung festgestellt, die zu einem unangenehmen Schlingern der Fahrzeuge führte. Bei einer Schientemperatur von 50°C (40°C Überwärme) trat eine so starke seitliche Ausknickung auf der Vergleichsstrecke ein, daß eine Aufteilung des Gleises in 50 m Abschnitte mit Stoßlücken unumgänglich notwendig wurde. Das Schrägwellengleis zeigte keine Spur einer seitlichen Ausknickung, doch war bei 50°C Schientemperatur eine geringe Anhebung des Gleisrostes an dem Hohlliegen der Schwellen in etwa 8 m-Abschnitten festzustellen. Diese Erscheinung ist als der allmähliche Übergang zu einer Verwerfung in senkrechter Ebene anzusehen, wie es auch nach den früheren Untersuchungen (Heft 13, 1935) zu erwarten war. Das Bogengleis zeigte bei allen Temperaturen eine immer gleichbleibende feste Auflage der Schwellen. An den wärmsten Tagen wurde eine Verschiebung

Gleis in der alten Lage, so daß sich erhebliche Krümmungsänderungen und entsprechende Unruhe im Befahren einstellte. Aus diesen beiden Versuchsergebnissen ist zu ersehen, daß der Schrägwellenoberbau eine größere Lagebeständigkeit gegen seitliche Verschiebungskräfte besitzt, als der gewöhnliche Querschwellenoberbau.

Im folgenden wird untersucht, wodurch die größere Lagesicherheit der Schrägswelle bedingt ist und welche Verbesserungen erwartet werden können. Abb. 3 läßt in vereinfachter Darstellung erkennen, daß das Gleis mit Schrägswelle als eine Art Fachwerkträger angesehen werden kann, wenn das Verhältnis a zu b genügend klein ist. Die strenge theoretische Untersuchung dieses Systems führt zu hyperbolischen Funktionen. Dem Zweck dieses Aufsatzes, praktische Ergebnisse zu bringen, ist durch eine angenäherte und, wie sich zeigt, genügend genaue Berechnungsmethode am ehesten gedient. An dem in Abb. 4 wiedergegebenen Modell wurden die im folgenden gemachten Annahmen und Ergebnisse durch Messung nachgeprüft. In der schematischen Darstellung, wie im Modell, und wie in Wirklichkeit, sind die Ober- und Untergurte (die Schienen) als elastisch und die Diagonalen die Schwellen als starr anzusehen. Die Biegelinie hat dann im wesentlichen den punktiert eingezeichneten Verlauf, Abb. 4. Bei dieser Darstellung ist zu berücksichtigen, daß die scheinbare Annäherung und Entfernung der Knotenpunkte nur in dieser geradegestreckten Form in Erscheinung treten; in Wirklichkeit ist der Träger in seiner ganzen Länge nach unten durchgebogen, wodurch der gegebene Abstand der Knotenpunkte gewahrt ist. Immerhin ist aus Abb. 4 zu ersehen, daß bei Annäherung der beiden Gurtbiegelines der betreffende Diagonalstab gezogen, bei deren Ausweitung, gedrückt wird. Das Modell bestand in den Gurten aus astreinem Tannenholze, die Diagonalen waren Blechstreifen, die zwecks Erhöhung des Trägheitsmomentes Winkelquerschnitt erhielten. Die Diagonalen waren durch Holzschrauben befestigt, deren kegelförmige Schaft eine feste Anlenkung an den Gurt ermöglicht, ohne die Drehbewegung der Gelenkpunkte zu verhindern. Der für die Berechnung wesentliche Faktor EJ der beiden Gurte wurde durch den Versuch aus der Durchbiegung bei bekanntem Gewicht und Hebelarm bei abgeschraubten Diagonalen ermittelt. Es ergab sich für $EJ = 63000 \text{ kg/cm}^2$ je Gurt. Die durch die Last P bewirkte wellenförmige Verbiegung

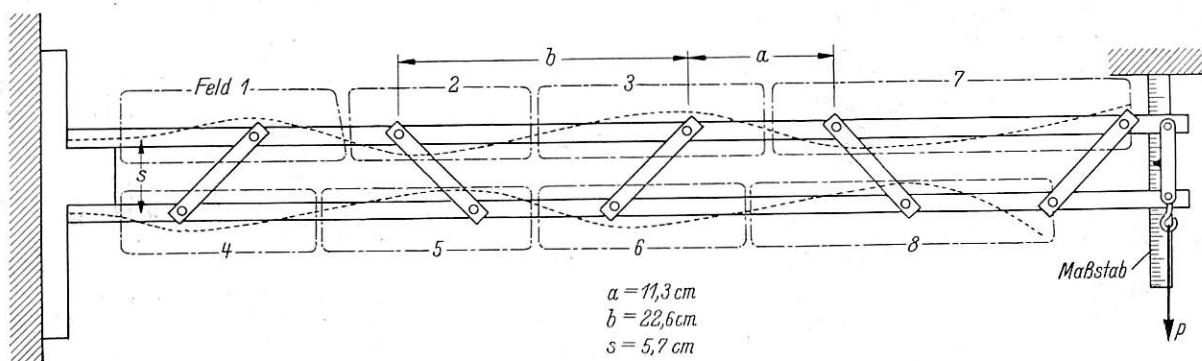


Abb. 4. Modell eines Schrägwellengleises.

des Bogens um 12 mm nach außen festgestellt, die bei Abkühlung wieder auf 0 zurückging. Die Nachmessung der Pfeilhöhen von 10 m Sehnen über den ganzen Bogen ergab zu jeder Tages- und Jahreszeit immer das gleiche Maß, ein Beweis, daß der Bogen als starres Ganzes nur um einige Millimeter verschoben wurde. In augenfälligem Gegensatz hierzu verhielt sich der Vergleichsbogen mit Querschwellenoberbau. Obwohl hier die Schwellen in alter, fester Bettung lagen, zeigte sich an den heißen Tagen eine starke Ausbauchung der Bogeneinläufe bis zu 10 cm, an anderen Stellen blieb das

der Gurte kann zur Berechnung der gesamten geleisteten Biegearbeit als die Summe der in den Feldern 1 bis 6 (Abb. 4) geleisteten Biegearbeiten aufgefaßt werden. Die Biegelinie in jedem einzelnen Felde hat den gleichen Verlauf wie ein einfach belasteter Träger auf zwei Stützen.

Die Arbeitsgleichung lautet:

$$A = 6 \frac{P^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{EJ \cdot 48 (a + b)}$$

Hierzu kommen noch die Anteile der Felder 7 und 8, die sich nach der Form der Biegelinie berechnen zu:

Im oberen Gurt

$$A_o = \frac{P^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{E J \cdot 24 \left(\frac{a}{2} + b\right)}$$

Im unteren Gurt

$$A_u = \frac{P^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{E J \cdot 24 \left(a + \frac{b}{2}\right)}$$

Die gesamte, in den Gurten aufgenommene Arbeit ist somit:

$$A_g = 6 \frac{P^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{E J \cdot 48 (a + b)} + \frac{P^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{E J \cdot 24 \left(\frac{a}{2} + b\right)} + \frac{P^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{E J \cdot 24 \left(a + \frac{b}{2}\right)}$$

Mit den Werten von a, b, E, J erhält man

$$A_g = P^2 7235 \cdot 10^6 \text{ cmkg.}$$

An dem Modell wurde die Durchbiegungs-Belastungskennlinie aufgenommen (Abb. 5). Bei einem Gewicht von z. B. 1,5 kg ist die Durchbiegung des Lastangriffspunktes 0,2 cm.

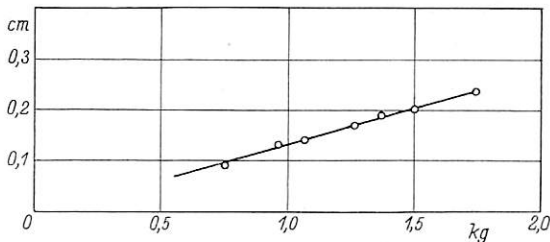


Abb. 5. Belastung und Durchbiegung.

Die äußere Arbeit ist somit: $A_{\bar{a}} = \frac{P \cdot f}{2} = 0,15 \text{ cmkg}$; durch

Gleichsetzen von A_g und $A_{\bar{a}}$ ergibt sich: $P = 4,55 \text{ kg}$. Diese senkrecht zu den Gurten wirkende Kraft bedingt in jedem Gelenkpunkte eine Diagonalkraft von $D = \sqrt{2} \cdot 4,55 = 6,44 \text{ kg}$. Diese Diagonalkraft läßt sich auch nach den Regeln der Statik angenähert berechnen, wenn man berücksichtigt, daß in den Wendepunkten der Biegelinie keine inneren Momente vorhanden sind; die Momentengleichungen für zwei benachbarte Wendepunkte liefern für

$$D = G \frac{a + b}{2 \cdot s} \sqrt{2} = 1,5 \frac{33,9 \sqrt{2}}{2 \cdot 5,7} = 6,31 \text{ kg.}$$

Dieses Ergebnis liegt in Anbetracht der vereinfachten Rechnungsart in so guter Übereinstimmung mit dem oben errechneten Werte von D, daß die gleichen Annahmen zu Recht auch auf das Schrägschwellengleis angewendet werden können. Ein solches muß als ein Träger großer Länge mit (anders als bei dem Modell) sehr vielen Diagonalstäben aufgefaßt werden. Die Gleichung für die innere Arbeit heißt dann:

$$A_i = \frac{4 \cdot l \cdot P^2 \cdot a^2 \cdot b^2}{E J \cdot 48 (a + b)^2}$$

Der die Felderzahl berücksichtigende Faktor ist hierbei:

$$\frac{1}{2 \frac{(a + b)}{2}}$$

Die getrennte Berücksichtigung der beiden Endfelder kann hier vernachlässigt werden. P errechnet sich wieder aus der Momentengleichung für zwei im Abstand $\frac{a + b}{2}$ liegende

Wendepunkte der Biegelinie zu: $P = \frac{G (a + b)}{(b - a)}$, damit wird

$$A_i = \frac{4 \cdot l \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot G^2}{E J \cdot 48 (b - a)^2} = A_{\bar{a}} = G \frac{f}{2}$$

und

$$f = \frac{G \cdot 4 \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot l}{E J \cdot 24 (b - a)^2}$$

Dies ist die Durchbiegung des durch Schrägschwellen verspannten Trägers. Im Vergleich hierzu beträgt bei dem unverspannten Träger die Durchbiegung $f_u = G \frac{l^3}{6 E J}$, wobei

J das Trägheitsmoment nur eines Gurtes ist.

$$\frac{f_u}{f} = l^2 \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)^2$$

Die durch die Schrägschwelle erreichte Versteifung beträgt

somit $V = l^2 \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)^2$. Auf den auf der Versuchsstrecke ge-

bauten Gleisrost angewendet: $l = 12 \text{ m}$, $b = 80 \text{ cm}$, $a = 40 \text{ cm}$ wird $V = 225!$ Ein als Freitragler eingespannter Gleisrost von 12 m Länge mit Schrägschwellen biegt sich bei Belastung an seinem Ende nur um den 225ten Teil gegenüber einem in gleicher Weise belasteten Gleisrost mit Querschwellen durch. Diese Zahl gibt einen Begriff über die Größenordnung der versteifenden Wirkung der Schrägschwelle. Selbstverständlich kann dieses Ergebnis nicht ohne weiteres auf das in der Bettung liegende Gleis angewendet werden. Es muß namentlich berücksichtigt werden, daß die Wirkung der Schrägschwelle auf einer gegen Längs- und Querverschiebungen festen Verbindung zwischen Schiene und Unterlegplatte beruht. Diese Befestigung ist bei einer einfachen Nagelbefestigung keineswegs erreicht. Die Durchbildung eines Schrägschwellengleises muß daher einen festen Schluß zwischen Schiene und Unterlegplatte gegen Verschieben sicherstellen. Eine Verdrehung braucht ebensowenig verhindert zu werden, wie beim gewöhnlichen Fachwerkträger. Auf den abgebildeten Probestrecken wurde die gewöhnliche ungeteilte Schienenbefestigung auf Hartholzschnellen und Kieferschnellen verwendet. Zwischen Schienenfuß und Unterlegplatte wurde zur Erreichung des gewünschten festen Schlusses nur eine Pappelholzzwischenlage von 3 mm Stärke eingebaut. Der Anpressungsdruck der drei Schwellenschrauben genügte auch tatsächlich zur Erreichung und Wahrung der notwendigen Verspannung. Die in dieser Richtung angestellten Versuche ergaben, daß bei üblicher Stärke des Anzugs der Schwellenschrauben nach längerer Betriebszeit eine Längskraft von 1150 kg notwendig war, um eine Verschiebung zwischen Schiene und Unterlegplatte zu erzwingen. Solange die Kräfte in den Schrägschwellen diesen Betrag nicht überschreiten, ist die versteifende Wirkung dieses Gleisverbandes gewahrt. Es gilt deshalb, zunächst die in den Schienenaufgestellen, d. h. in den Schrägschwellen wirkenden Kräfte zu ermitteln. Es sei der Grenzfall eines Gleisbogens mit dem kleinsten Halbmesser betrachtet: Ein Bogen mit dem Halbmesser R, der einer Längsspannung von P kg unterworfen ist, liegt dann noch im statischen Gleichgewicht, wenn $p = \frac{P}{R}$ ist. p ist die seitliche

Stützkraft, die einer Verschiebung der Schwellen in der Bettung entgegenwirkt, bezogen auf den Meter Gleislänge. In diesem Falle hat der Verband des Gleises keine wesentlichen Kräfte zu übernehmen; anders, wenn der Wert der seitlichen Stützkraft nicht überall den aus P und R zu fordernden Wert von p erreicht. Mit diesem Fall ist im Betriebe bei scharfen Krümmungen zu rechnen, sei es, daß durch Rutschungen ein Teil des Schotters verloren geht, oder daß beim Durcharbeiten der Bettung das Gleis auf eine gewisse Länge seine volle seitliche Stützkraft verliert; auch können Eckstellen im Gleis zu einer starken Erhöhung der seitlichen Kraftkomponente führen. Im folgenden wird der ungünstige Fall untersucht, daß auf eine bestimmte Länge S die Bettung nur noch die Hälfte des statisch zu fordernden Wertes von p zu liefern imstande ist. In Abb. 6 ist ein derartiges Bogenstück zwischen A und B mit dem zugehörigen Krafteck dargestellt. Hieraus ergibt

sich die Beziehung $p = \frac{P}{2 \cdot R}$. Für die Schnittstelle 1 heißt die Momentengleichung:

$$\frac{P}{2} \cdot f x_1 - \frac{P}{2} (S - f x_1) + \frac{p \cdot x_1^2}{2} = Z_1 \cdot s.$$

s bedeutet die Spurweite, Z die Längskraft in der Schiene, herrührend von dem angreifenden Biegemoment. Für die um den Abstand $x_2 - x_1 = \frac{a+b}{2}$ weiter nach links liegende Schnittstelle II:

$$Z_2 \cdot s = \frac{P}{2} f x_2 - \frac{P}{2} (S - f x_2) + \frac{p \cdot x_2^2}{2}$$

$$f x = \frac{S^2}{4 \cdot 8 \cdot R} - \frac{\left(\frac{S}{2} - 2x\right)^2}{8 \cdot R} = \frac{2x \cdot S}{8R} - \frac{4x^2}{8R}$$

$Z_1 - Z_2 = \Delta Z =$ Änderung der Längskraft als Längskomponente der Diagonalkraft eines Stabes

$$\Delta Z = \frac{P(a+b)}{8 \cdot s \cdot R} \left(2x + \frac{a+b}{2} - S \right).$$

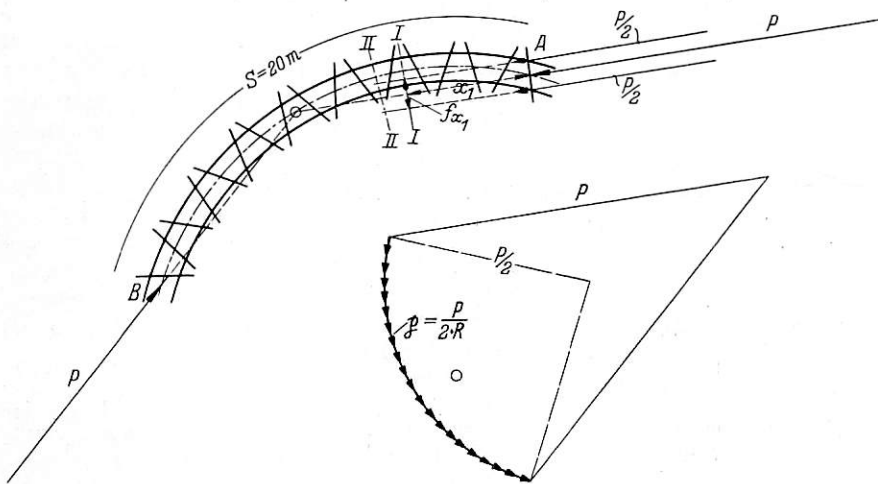


Abb. 6. Kräfteplan.

Wenn $x = 0$, ist ΔZ am größten. Auf den ungünstigsten Fall des durchgehend geschweißten Gleises im Bogen mit $R = 300$ m bei Hauptbahnen angewendet: Die Längskraft des Gleises mit S 49 beträgt in unserem Klima 160000 kg. Die Abmessungen der Schrägschwellenanordnung sind: $a = 70$ cm, $b = 35$ cm, $s = 152$ cm, $S = 2000$ cm. Damit ergibt sich für $\Delta Z = 896$ kg. Die am stärksten beanspruchte Schrägschwelle vermittelt einen Längsschub in der Schienenachse von 896 kg. Diese Kraft wird von der einfachen reibungsschlüssigen Verbindung zwischen Schiene und Unterlegplatte (wie auf der Versuchsstrecke verlegt) noch sicher aufgenommen. Damit ist erwiesen, daß auch bei den kleinsten Krümmungshalbmessern der mit Schrägschwellen ausgeführte Gleisbogen auch dann noch gegen seitliche Ausknickungen gesichert ist, wenn sein Bettungswiderstand auf eine Länge von 20 m unter die Hälfte des gewöhnlichen Sollwertes sinkt. Bei gleichen Verhältnissen würde ein auf Querschwellen verlegter Bogen unfehlbar in kurzen Verwerfungsknicken nach der Seite ausweichen und unbefahrbar werden. Die nachfolgende Überschlagsrechnung gibt einen Einblick in die in einem solchen Fall auftretenden Schienenbeanspruchungen.

Das Biegemoment in der Schiene an der Stelle x ist bei gleicher äußerer Krafteinwirkung wie in Abb. 5, jedoch bei unverspanntem Querschwellenoberbau:

$$M_x = \frac{P}{2} f x + \frac{p \cdot x^2}{2} = \frac{P}{2} \left(\frac{S^2}{4 \cdot 8 \cdot R} - \frac{\left(\frac{S}{2} - 2x\right)^2}{8 \cdot R} \right) + \frac{P x^2}{8 \cdot R}$$

Es ist zu berücksichtigen, daß das für eine Schiene errechnete Moment nur von der Hälfte der Schwellenstützkraft in der Bettung also $p = \frac{P}{4R}$ beeinflusst ist. Bei $x = \frac{S}{2}$ erreicht M_x das Maximum

$$M_x = \frac{P \cdot S^2}{4 \cdot 8 \cdot R} = \frac{160000 \cdot 400}{32 \cdot 300} = 6600 \text{ mkg.}$$

Das seitliche Widerstandsmoment der S 49 ist $W_y = 51 \text{ cm}^3$, damit wird

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{660000}{51} = 12941 \text{ kg/cm}^2.$$

Eine derartige Beanspruchung ist unmöglich, d. h. die Schiene würde sich schon bei Erreichung der Fließgrenze des Stahles in regellosen scharfen Knicken entspannen. Dies bestätigte sich auch aufs genaueste bei dem eingangs erwähnten Kontrollbogen, wo eine Temperatursteigerung von nur 20°C genügte, um zu derartigen bleibenden Formänderungen zu führen. Es sei nochmals betont: Bei den gleichen Verhältnissen treten beim Schrägschwellenoberbau nur Kräfte auf, die sogar noch durch einfache reibungsschlüssige Konstruktionen aufgenommen werden können. Eine Verbesserung der Bauart ist dabei mit entsprechend einfachen Mitteln immer noch möglich.

Neben dieser, durch die Schrägschwelle erreichten bedeutenden Verbesserung in der Steifigkeit des Gleisverbandes wird außerdem der vorhandene Bettungsstoff besser zur Wahrung der sicheren Gleislage ausgenutzt. Aus den Abb. 1 und 2 ist zu ersehen, daß die durch die zickzackförmige Schwellenlage gebildeten Winkelräume voll mit Bettungsstoff ausgefüllt sind. Der Schotter kann hier gut eingestampft werden, wodurch eine satte seitliche Festlegung des Gleises erreicht wird. Die Gegenkraft, die eine Schwelle im Schotterbett gegen seitliche Verrückung erfährt, wurde erstmalig von M. M. Weber im Jahre 1864 gemessen und für Sandbettung zu 500 kg je Schwelle ermittelt. Der entsprechende Wert für eine Reichsbahnschwelle ergab sich aus den Versuchen von Nemezeck zu 323 kg bei 1,5 mm Verschiebung und zu 462 kg bei 7,5 mm Verschiebung je Schwelle. In der Mitte dieser Werte liegen die für ähnliche Berechnungen von Dr. Ing. H. Meier ermittelten:

$p = 130 \text{ kg/m}$ für ausgekofferten Zustand, Gleis auf Bettung frei aufliegend,

$p = 460 \text{ kg/m}$ bei neuer Bettung,

$p = 575 \text{ kg/m}$ bei älterer Bettung.

Beim Vergleich der genannten Werte ist zu beachten, daß die einen für eine Schwelle, also auf etwa 65 cm, die anderen auf einen Meter Gleislänge bezogen sind. Bei der zickzackförmigen Schwellenlage wird nun nicht nur der Schotter vor den Schwellenköpfen, die durch das Aneinanderstoßen doppelte Breite haben, ausgenutzt, sondern es werden auch die mit Schotter ausgefüllten Dreiecksräume zur Erhöhung der Lage-sicherheit beitragen. Welchen Wert die seitliche Stützkraft erreicht, ist noch durch Versuche genauer zu ermitteln, doch kann diese Kraft aus den bis jetzt gemachten Beobachtungen auf etwa 600 kg/m bei neuer Bettung veranschlagt werden. An dem schon beschriebenen Bogengleis mit Schrägschwellen und Schienen der Form Bayern 8 und $R = 82$ m wurde eine Erwärmung von 37°C gemessen, ohne daß eine Verschiebung des Gleisbogens zu beobachten gewesen wäre. Die Längsspannung beträgt bei 10°C Verlegetemperatur

$$P = E \cdot F \cdot \alpha \cdot t^0 = 2,2 \cdot 10^6 \cdot 35 \cdot 1,17 \cdot 10^{-5} \cdot 27^0$$

$$P = 24300 \text{ kg.}$$

Die erforderliche Stützkraft müßte demnach

$$\frac{2 \cdot 24300}{82} = 593 \text{ kg/m}$$

betragen. Mit fortschreitender Erwärmung trat dann das Ausweichen des Gleisstückes in der vollen Krümmung um etwa 1 cm ein, so daß bei etwa 600 kg/m die seitliche Stützkraft des Schrägschwellenoberbaues anzunehmen ist. Mit dieser Stützkraft würde sogar das lückenlose 300 m-Bogengleis mit S 49 ohne innere Verspannung gegen seitliche Verwerfung gesichert liegen. Denn $p = \frac{160000}{300} = 530 \text{ kg/m}$.

Diesen Vorteilen des Schrägschwellengleises könnte als Nachteil entgegengestellt werden, daß der Aufwand an Schwellen und Unterlegplatten mengenmäßig etwa um 10% vergrößert wird und daß die Gleisstopfarbeit ebenfalls vermehrt ist. Der Fortfall der Schienenstöße und der damit verbundenen Unterhaltungsarbeit, die vollkommeneren Ausnutzung des Bettungsstoffes und, wie die Probestrecken zeigten, die allgemein bessere Erhaltung der Gleislage rechtfertigen die erwähnten Mehraufwendungen. Der letztgenannte Vorzug der Erhaltung der Gleislage scheint auf der durch das Aneinanderstoßen der Schwellen erreichten Vergrößerung der Auflagefläche unter den Schienen zu beruhen. Die Schwellenköpfe

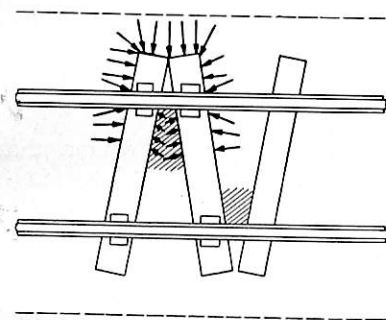


Abb. 7. Stopfen der Schrägschwellen.

können nach der in Abb. 7 angedeuteten Weise von allen Seiten gestopft und der schraffierte Schotterzwickel mit einem kleinen Stampfer verdichtet werden. Durch diese Zusammenfassung der Tragfähigkeit nach den Schwellenenden hin tritt weniger leicht das Losreiten der Schwellen ein.

Die bisherigen Bemühungen des Eisenbahnfachmannes, ein verwerfungs-

sicheres Gleis zu bauen, zielen ausnahmslos nach der Erhöhung der Winkelsteifigkeit des als Rahmenträger aufzufassenden Querschwellengleises hin. Es ist nicht zu bestreiten, daß auf diesem Wege mit Sonderbauarten — Federkeiloberbau, Selbstspannoberbau und ähnliches — wesentliches erreicht worden ist. Die Frage scheint deshalb hier am Platze: Was ist von der Schrägschwellenbauweise und was von der Rahmenbauweise zu erwarten?

Ein wie üblich zusammengebauter Gleisrost aus Schienen S 49 und Holzquerschwellen mit Rippenplatten möge zur Untersuchung seiner statischen Verhältnisse als frei aufliegender Träger auf zwei Stützen mit einer Mittellast P betrachtet werden. Die Reibung in den Gelenkpunkten der Querstäbe, also zwischen Schiene und Unterlegplatte stellt bis zu einer gewissen Belastung eine starre Verbindung dar. Nach Überschreiten dieses Momentes, das im folgenden mit M_{\max} bezeichnet werde, kommt das ganze Tragwerk in ihrem inneren Verbands ins Rutschen, bis die angreifenden Momente in der Verbiegung der Gurte, der Schienen, so weit aufgenommen sind, daß in den Gelenkpunkten eben nur wieder die Momente M_{\max} aufgenommen werden. Es ist leicht einzusehen, daß mit den Bezeichnungen der Abb. 8 folgende Beziehung gilt: Das an beiden Gelenkpunkten eines jeden Querstabes herrschende Reibungsmoment M_{\max} erzeugt im oberen und unteren Gurt eine Längskraft von der Größe $2 \frac{M_{\max}}{s}$ kg; im Abstände x vom Auflager herrscht im unteren Gurt eine Zugkraft von $\frac{x}{a} 2 \frac{M_{\max}}{s}$ kg; die Momentengleichung für irgendeine Stelle

des Rahmenträgers lautet somit:

$$\frac{P}{2} x = 2 M_{ix} + \frac{x}{a} 2 \frac{M_{\max}}{s} \cdot s.$$

$2 M_{ix}$ bedeutet dabei das in den beiden verbogenen Gurtstäben aufgenommene Moment: $M_{ix} = \left(\frac{P}{4} - \frac{M_{\max}}{a} \right) x$. Das

Biegemoment nimmt mit x wie beim gewöhnlichen Träger auf zwei Stützen so zu, als ob die angreifende Mittellast den Betrag von $P_e = 2 \left(\frac{P}{4} - \frac{M_{\max}}{a} \right)$ besäße; sollen in den Gurten

keine Biegemomente auftreten, so muß $\frac{P}{4} = \frac{M_{\max}}{a}$ sein.

Durch Versuche wurde die Steifigkeit des Querschwellengleisrahmens eingehend von Dr. Ing. Meier untersucht*).

Ein 15 m langer Gleisrost wird dort ebenfalls als ein Träger auf zwei Stützen untersucht, indem er auf Rollen gelagert durch Pressen in der Mitte belastet wird. Die Elemente der Durchbiegung können gemessen werden; für einen

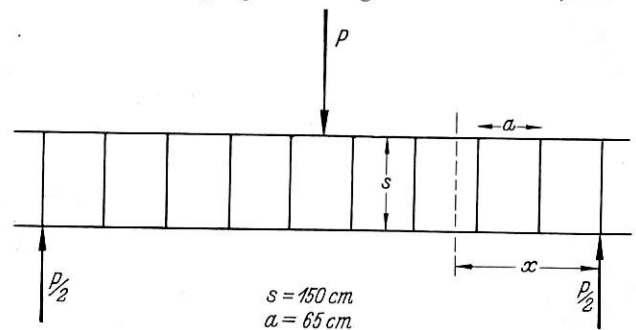


Abb. 8. Reibungsmomente.

Gleisrost des Oberbaues K ergibt sich bei einer Mittellast von einer Tonne eine Durchbiegung von 4,5 mm. Die oben mit P_e bezeichnete Ersatzkraft, die an dem nicht versteiften Träger die gleiche Durchbiegung erzeugen würde, ist:

$$P_e = \frac{f \cdot E \cdot J \cdot 48}{l^3} = 4,49 \text{ kg},$$

$f = 4,5 \text{ mm}$, $l = 15000 \text{ mm}$, $J = 319 \text{ cm}^4$, $a = 65 \text{ cm}$,

$M_{\max} = \left(\frac{P}{4} - \frac{P_e}{2} \right) a = 16100 \text{ cmkg}$. An jeder Schienen-

auflagerstelle muß demnach ein Moment von 161 mkg auf die Unterlegplatte übertragen werden. Dieses Ergebnis steht in guter Übereinstimmung mit den von Dr. Ing. Meier unmittelbar gemessenen Werten der größten Verdrehungsmomente zwischen Schiene und Unterlegplatte. Für den Oberbau K wurde dieses Moment zu 185 mkg gemessen, das auf 300 mkg anstieg, sobald die Schiene über Eck in der Unterlegplatte lag. Des weiteren zeigten die Versuche von Dr. Meier, daß bei einem Moment von rund 1600 mkg die Buchenschwelle und bei 2400 kgm die Eichenschwelle an den Schraubenlöchern aufrissen. Betrachten wir im Vergleich mit diesen erreichbaren Festigkeitswerten die auftretenden Beanspruchungen an dem weiter oben schon untersuchten Gleisbogen mit $R = 300 \text{ m}$ und Schienen der Form S 49; wie dort betrage die Längsspannung 160000 kg und die Bettung habe auf eine Länge von 20 m nur die Hälfte der normal erforderlichen Stützkraft. Die Zunahme des Momentes ergibt sich wie dort zu: $\Delta M = s (Z_1 - Z_2)$ unter Berücksichtigung, daß $a + b = 2a$ ist,

$$\Delta M = \frac{2 \cdot P \cdot a}{8 \cdot R} (2x + a - S) \text{ für } x = 0, \Delta M = 1677 \text{ mkg}.$$

Dieses Moment muß bei einem rahmensteifen Oberbau von den beiden Schienenschwellenverbindungen einer jeden Schwelle am Bogenanfang aufgenommen werden. Auf eine Verbindung entfällt dann der Anteil von $M_{\max} = 838 \text{ mkg}$.

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1936, S. 148.

Nach den genannten Versuchsergebnissen über die mögliche Momentbeanspruchung wird somit das zulässige Maß weit überschritten; es müßten unregelmäßige Verbiegungen der Gleise eintreten, die Anlaß zu einer stärkeren Gleisverwerfung werden könnten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß bei allen in der Wirklichkeit und in der Berechnung angestellten Vergleichen der Schrägschwellenoberbau gegenüber den gewohnten Bauarten ein wesentlich höheres Maß von Sicherheit gegen Verwerfung zeigte. Dieser Vorzug wird erreicht durch die fachwerkartige Versteifung und durch die Ausnutzung der gesamten Länge des Schotterbettes zur seitlichen Festlegung des Gleises. Ausblickend kann gesagt werden, daß der Oberbau K unter Verwendung der gegebenen Bestandteile mit geringen Mitteln durch die Schrägschwellenlage so weit versteift werden kann, daß seitliche Verwerfungen nicht mehr zu befürchten sind. Der erforderliche feste Schluß zwischen Schiene und Unterlegplatte bedarf noch besonderer konstruktiver Berücksichtigung. Die Untersuchungen von Lauboeck (Direktor bei der Reichsbahn) über die elastische Kissenverspannung der Hakenschrauben lassen erwarten, daß in der elastischen Unterlegscheibe aus Preßstoff ein geeignetes Bauglied gefunden ist; haben die Versuche doch erwiesen, daß die elastische Kissenverspannung kräftig und zuverlässig die

Spannung gehalten hat. Die mittlere Anzugskraft der Hakenschraube wurde nach einer unberührten Liegedauer von sieben Jahren zu 5083 kg ermittelt. Bei diesem Anpressungsdruck der Schiene auf der Pappelholzzwischenlage könnte die Längskomponente der durch die Schrägschwelle vermittelten Verspannungskraft (bei einem Reibungswert von 0,5) 2040 kg betragen. Unter den ungünstigsten Verhältnissen sind, wie das Rechnungsbeispiel zeigte, indessen nur Kräfte von rund 900 kg zu erwarten.

Das eingangs gesteckte Ziel, ein gegen seitliche Verwerfung gesichertes Gleis zu entwerfen, kann damit als erreichbar angesehen werden. Inwieweit ein Schrägschwellengleis der Gefahr der Verwerfung in senkrechter Ebene ausgesetzt ist, müßte der Versuchsbau an einer größeren Strecke zeigen. Die bisher in dieser Richtung angestellten Untersuchungen (Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1935, S. 237) rechtfertigen jedoch jetzt schon die Behauptung, daß eine Verwerfungsgefahr für den versteiften Oberbau K nicht mehr besteht. Selbst bei 50° C Überwärme ist immer noch 1,3fache Sicherheit gegen Verwerfung in der lotrechten Ebene vorhanden. Die gefürchtete Erscheinung einer Anhebung auch nur geringen Ausmaßes verliert bei dem verspannten Gleis ihre gefährliche Bedeutung, weil diese ja als Vorbedingung für die Seitenverwerfung nun nicht mehr in Frage kommt.

Der Triebwagenmeßwagen der Deutschen Reichsbahn.

Von Reichsbahnbauassessor Ewald Hüttebräucker.

Hierzu Tafel 34.

Je mehr der Triebwagenverkehr bei der Deutschen Reichsbahn zur Einführung gekommen ist, um so stärker wurde auch das Bedürfnis, einen für die besonderen Anforderungen des Triebwagens geeigneten Meßwagen zu schaffen. Während der ortsfeste Prüfstand immer nur die Untersuchung einzelner Teile des Triebwagens, insbesondere des Dieselmotors, des Getriebes, des Stromerzeugers und der Fahrmotoren gestattet, kann man sich über die Wirkungsweise des Triebwagens als Ganzes nur im Betrieb selbst ein einwandfreies Bild verschaffen. Ist doch gerade der Einfluß des Fahrwindes und der Außentemperatur sowohl bei den Dieselmotoren als auch bei den elektrischen Maschinen von erheblichem Einfluß auf die Leistungsfähigkeit des Triebwagens. Im eingebauten Zustand sind hier die Bedingungen, unter denen die Maschinen zu arbeiten haben, wesentlich ungünstiger als auf den Motorenprüfständen oder in dem elektrischen Prüffeld.

Zunächst lag der Gedanke nahe, in einem bereits vorhandenen Dampflokomotivmeßwagen die für die Triebwagenuntersuchung nötigen Meßinstrumente zusätzlich einzubauen und ihn somit jederzeit für Triebwagenuntersuchungen benutzen zu können. Diese Lösung wurde schon deshalb verworfen, weil die schweren Lokomotivmeßwagen mit ihren glatten Stirnwänden ohne Seitenschürzen nur für ganz bestimmte Messungen, nämlich Zugkraftermittlungen, hätten benutzt werden können, während für die größere Anzahl von Versuchen doch der zu dem betreffenden Triebwagen zugehörige Bei- oder Steuerwagen gebraucht worden wäre.

Es konnte also lediglich ein Wagen die gestellten Bedingungen erfüllen, der in seiner wagenbaulichen Form und seinem Gewicht, dem Bei- oder Steuerwagen der Triebwagen weitgehend entsprach. Es wurde deshalb von der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn ein Steuerwagen zum Umbau in einen Triebwagenmeßwagen zur Verfügung gestellt.

1. Verwendungsmöglichkeiten des Meßwagens.

Der ehemalige Steuerwagen hat korbbogenförmige Stirnwände und Seitenschürzen. Er wog vor seinem Umbau 20,1 t. Somit entspricht er seiner äußeren Form nach den neueren

Beiwagen für die 210 PS dieselmechanischen Triebwagen und den Steuerwagen für die 300, 410, 450 und 560 PS diesel-elektrischen bzw. dieselhydraulischen Hauptbahntriebwagen. Rein gewichtsmäßig steht er mit seinen 25,4 t nach dem Umbau zum Meßwagen mit den neueren Steuerwagen mit Mitteleinstieg und Pintsch-Ölheizung auf einer Stufe. Gerade die gleichen Gewichtsverhältnisse gestatten ohne weiteres den Meßwagen an Stelle eines Steuerwagens an den zu untersuchenden Triebwagen anzuhängen, ohne das Gesamtgewicht der Triebwageneinheit zu ändern. Da die Betriebsversuche fast ausschließlich im beladenen Zustand der Triebwageneinheit durchgeführt werden, kann auf eine Beladung des Meßwagens jedesmal dann verzichtet werden, wenn er einen Steuerwagen älterer Bauart, ohne Mitteleinstieg und selbsttätiger Ölfeuerungs-einrichtung Bauart Pintsch, oder gar einen Beiwagen für einen 210 PS dieselmechanischen Triebwagen ersetzen soll. Dieser wesentliche Vorteil eines besonderen Triebwagenmeßwagens der Leichtbauweise ist besonders bei Betriebsmeßfahrten und bei Fahrten im bergigen Gelände von großem Wert. Dazu kommt noch, daß es ohne weiteres möglich ist die Triebwageneinheit vom Meßwagen aus zu fahren, wenn er mit einem der mit Fernsteuerung versehenen 300 bis 560 PS dieselektrischen bzw. dieselhydraulischen Motorwagen gekuppelt wird. Die dazu notwendigen 32 Steuerleitungen in Verbindung mit einem besonderen Führerstand und die durchgehende Hauptluftbehälterleitung ist vorhanden. Dadurch ist eine enge Zusammenarbeit aller an den Versuchen Beteiligten möglich. Dieser Vorteil muß lediglich bei den Zugkraftmessungen entfallen, da unsere Zugkraftmeßdose in ihrer heutigen Form lediglich Zugkräfte nicht aber Druckkräfte aufnehmen kann. Sehr zweckmäßig ist ebenfalls, daß jederzeit eine Übergangsmöglichkeit zwischen Triebwagen und Meßwagen auch bei Zugkraftmessungen besteht, nachdem es gelungen ist, die Bauhöhe der Meßdosenaufhängung zu beschränken.

Bedingt zu gebrauchen ist der Meßwagen bei den zweiaxigen Nebenbahntriebwagen, weil dort der Gewichtsunterschied des Beiwagens im Vergleich zu unserem Meß-

wagen mit 10 zu 25,4 t in einem zu ungünstigen Verhältnis steht. Hier können mit dem Meßwagen lediglich Zugkraftmessungen durchgeführt werden. Ebenso hört bei Schnelltriebwagen bei Geschwindigkeiten über 120 km/Std. der Wirkungsbereich eines Meßwagens schlechthin auf, da die für sehr hohe Fahrgeschwindigkeiten sicherlich nicht sehr günstige korbbojenförmige Stirnwand des Meßwagens den Laufwiderstand und insbesondere den Luftwiderstand der Triebwageneinheit in noch unbekannter Weise erhöht. Außerdem fehlt dem Meßwagen die bei den hohen Fahrgeschwindigkeiten bei Triebwagen vorgeschriebene Magnetschienenbremse. Es würden sich somit am Ende des Triebwagens durch den gestörten Luftstrom falsche Zugkraftmeßwerte ergeben. Die Verbindung der in die Scharfenbergkupplung eingehängten Hilfskupplung mit der in dem normalen Zughaken des Meßwagens eingehängten Flüssigkeitsmeßdose bereitet keine Schwierigkeiten mehr, nachdem in unserer Werkstatt eine entsprechende Vorrichtung angefertigt worden ist. Bis jetzt ist sie allerdings lediglich zur Bestimmung des Laufwiderstandes von Schnelltriebwagen bei kleinen Fahrgeschwindigkeiten verwendet worden.

Ebenso beschränkt sich der Wirkungskreis des Meßwagens auf Zugkraftmessungen und Beharrungsfahrten bei allen Triebwagen, die planmäßig ohne Beiwagen laufen (z. B. Schienenomnibus, Glastriebwagen usw.). Im Triebwagen selbst läßt sich dann ein Einbau der erforderlichen Meßinstrumente nicht vermeiden. Desgleichen besteht bei Schmalspurtriebwagen keine Möglichkeit Versuchsfahrten mit unserem Meßwagen zu machen.

2. Aufbau des Meßwagens.

Die Einteilung des Steuerwagens vor seinem Umbau war von vornherein für den weiteren Ausbau bestimmend. Die Einzelheiten sind in Abb. 1, Taf. 34, ersichtlich. Für den eigentlichen Meßraum erschienen die beiden Abteile 2. Klasse am geeignetsten. Somit ergab sich das benachbarte Abteil als Beratungsraum. Der letzte noch zur Verfügung stehende Raum wurde als Werkstatt eingerichtet. In dem hinteren Einstiegsraum wurde eine Werkbank aufgestellt.

In der Mitte des Meßraums selbst wurde ein Meßtisch aufgebaut. An den Wänden wurden fünf Schalttafeln aufgestellt, die den verschiedenen Meßzwecken Rechnung tragen. Eine weitere Schalttafel ist am Meßtisch angebracht. Die erste Schalttafel trägt, wie in Textabb. 1 zu sehen ist, auf einem besonderen Rahmen aufgebaut unsere schreibenden Strom- und Spannungsmesser. Unten liegen parallel zu den schreibenden Geräten geschaltete Präzisionsableseinstrumente. Auf der Schalttafel 2 (Textabb. 2) können alle für den Meßbetrieb erforderlichen Spannungen abgenommen werden.

Im Vordergrund ist auf dem Bild außerdem der Fahrstufenanzeiger und das auf der Brücke des Meßtisches aufgebaute Leitungsdruckmanometer zu erkennen. Ein Spannungsmesser in Verbindung mit einem Umschalter gestattet jederzeit ein Nachprüfen der Meßspannungen. Ebenso hat der Batterieauptschalter der Meßbatterie, die verschiedenen Umschalter und Sicherungen und eine Signallupe auf dieser Tafel ihren Platz gefunden. Die dritte Schalttafel zeigt Textabb. 3; sie dient zur Überwachung der Batterieladung des zu untersuchenden Triebwagens.

Ein schreibender Strommesser, der die Lade- bzw. Entladestromstärke der Batterie aufschreibt in Verbindung mit einem spannungsunabhängigen Amperestundenzähler geben einen guten Überblick über die Batterieladungsverhältnisse. Parallel geschaltet zu den Strom- und Spannungsmessern sind wie bei Schalttafel 1 wiederum Präzisionsableseinstrumente. Weiterhin ist ein Markenschreiber aufgesetzt worden, der zum Aufzeichnen besonderer Vorgänge, etwa Arbeiten der Strom-

wächter oder der Speisepumpen bei Dampftriebwagen oder Einsetzen von Feuerung mit Gebläse dient. Schalttafel 4 trägt zwei Drehzahlmesser für die Dieselmotoren, während an der anderen Schmalseite zum Beratungsraum hin auf Schalttafel 5 zwei Sechsfarbenschreiber für Temperaturmessungen federnd aufgebaut wurden. Diese Instrumente schreiben über Zeit;

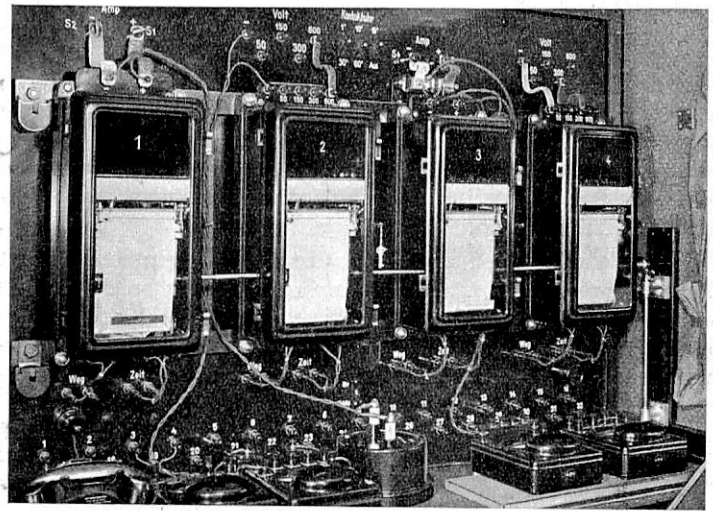


Abb. 1. Schalttafel 1 mit den schreibenden Strom- und Spannungsmessern.

eine besondere Kontaktuhr regelt die Abstände der einzelnen Aufschreibungen. Die Anschlüsse für den Meßtisch sind auf Schalttafel 6 am Meßtisch selber untergebracht. Ein weiterer Instrumentenschrank hat außerhalb des Meßraums in dem Einstiegsraum an der Führerstandsseite Platz gefunden.



Abb. 2. Schalttafel 2 mit den verschiedenen Meßspannungen.

Es wurden Sofa, Tisch und Stühle aufgestellt. Ein Schreibtisch und Kleiderschrank vervollständigen die Einrichtung. Für die Werkstatt wurde an der einen Seite eine große Werkbank und an den Seitenwänden je ein Werkzeug-, Kleider- und Instrumentenschrank geschaffen. Hier wurden an der Schmalseite des Ganges die eingebauten Bänke vorläufig nicht entfernt. Der Raum dient als Aufenthaltsraum für die Besatzung des Meßwagens und gleichzeitig zur Ausbesserung bzw. Neuanfertigung von Meßgeräten. Auf einer

weiteren Werkbank im Einstiegsraum ist eine elektrisch betriebene Bohrmaschine und ein Schraubstock aufgesetzt worden.

Damit die Beleuchtung des Meßwagens unabhängig von der des Triebwagens wird, ist eine eigene GO 50-Batterie mit 200 Ah bei 24 Volt Spannung angebaut worden.

3. Durchführung von Versuchen mit dem Triebwagenmeßwagen.

Bei der Untersuchung eines Triebwagens ist zu fordern, daß der Lauf und die Verteilung der auf dem Triebfahrzeug erzeugten Energie vom Brennstoff bis zum Zughaken verfolgt werden kann. Abb. 2, Taf. 34 zeigt bildlich dargestellt den Lauf und die Verteilung der Energien bei einem dieselektrischen Triebwagen.

Als erstes Glied der Kette ist die verbrauchte Menge Treiböl zu ermitteln. Die Brennstoffmessung spielt sich in der Weise ab, daß im Triebwagen in der Nähe der Verbrennungskraftmaschine oder bei ölgefeuerten Dampftriebwagen in der Nähe des Schwimmergehäuses am Kessel ein besonders geeichter Brennstoffmeßbehälter aufgestellt wird, aus dem während eines Versuches der erforderliche Brennstoff

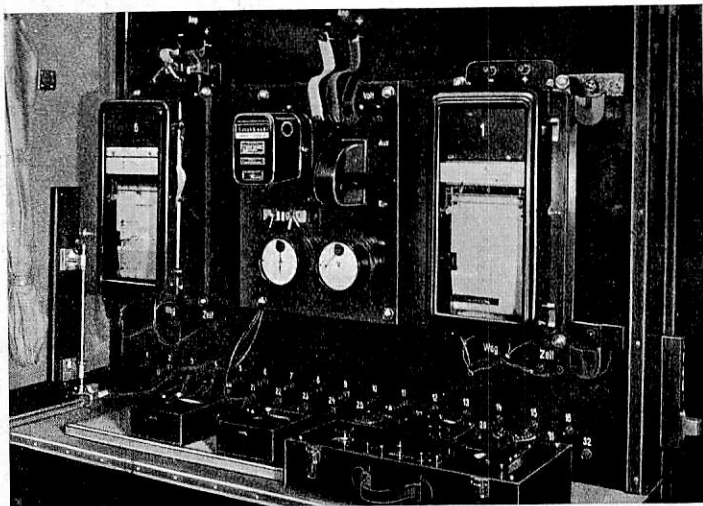


Abb. 3. Schalttafel 3 mit den Meßgeräten für die Batterieladung und dem Markenschreiber.

entnommen wird. Gemessen wird immer der Gesamtverbrauch also einschließlich Leckbrennstoff. Normalerweise wird der Brennstoffbehälter in die Falleitung von den Brennstofftanks zur Brennstoffpumpe eingeschaltet. Eine kleine Flügelpumpe gestattet den Meßbehälter in kurzer Zeit aus dem großen Tank des Triebwagens voll zu pumpen. Unterhalb des Brennstoffmeßgefäßes sind zusätzlich vier Tuchfilter angebracht worden, um etwaige Verunreinigungen des Brennstoffs zurückzuhalten. Es werden dadurch Fehlmessungen durch ungenügende Brennstoffzufuhr zum Dieselmotor infolge verstopfter Filter vermieden. Da die Dieselmotoren meist im Drehgestell gelagert sind, das Meßgefäß aber im Wagenkasten aufgestellt ist, sind für die Zuleitungen bewegliche Metallschläuche gewählt worden.

Über die Verteilung des Brennstoffes auf die einzelnen Zylinder gibt am besten die Auspufftemperatur der Zylinder Aufschluß. Es werden deshalb Thermolemente oder Widerstandsthermometer in die Auspuffleitungen der einzelnen Zylinder eingebaut. Da die Temperaturen nur von Zeit zu Zeit gemessen werden, um das einwandfreie Arbeiten der Dieselanlage zu überprüfen, werden in der Regel die Ablesinstrumente im Triebwagen selbst aufgestellt. Bei beiden Meßarten wurden hochempfindliche in $^{\circ}\text{C}$ geeichte Drehspul-

instrumente verwendet. Sollen die Temperaturen einmal dauernd überwacht werden, so werden die Meßleitungen zu einem Klemmkasten geführt und von dort in ein Vielfachkabel, das in einem kleinen Stecker endet. Der Stecker mit 37 Adern von $1,5\text{ mm}^2$ Querschnitt, wird in die entsprechende Steckdose an der Stirnwand des Triebwagenmeßwagens eingesetzt. Die Nummern der Kabeladern im Klemmkasten und im Meßwagen stimmen überein, und zwar werden jeweils die Zylinder in ihrer richtigen Reihenfolge eingeschaltet, so daß die Aufzeichnung des Temperaturschreibers im Meßwagen leicht zu erkennen ist.

Als nächstes wäre die von dem Dieselmotor angegebene mechanische Arbeit zu messen. Dazu steht uns zur Zeit noch kein brauchbares Torsionsdynamometer zur Verfügung. Wir begnügen uns mit der Feststellung, daß der Dieselmotor bei seiner Höchstdrehzahl seine volle Brennstoffmenge bekommt, d. h. daß der Regler im Anschlag steht und dabei die Auspufftemperaturen die gewünschte Höhe haben und endlich der spezifische Brennstoffverbrauch in angemessenen Grenzen liegt.

Im Laufe eines Jahres soll jedoch ein Torsionsdynamometer nach „Börger“ eingebaut werden. Er beruht auf dem Prinzip der schwingenden Saite, jedoch fällt das Abhören fort, da dies bei Übertragung ungleichförmiger Drehmomente, wie sie beim Antrieb von Verbrennungskraftmaschinen auftreten, schwierig ist. Die Anlage besteht aus einem Geber und einer an beliebiger Stelle (also auch im Meßwagen) aufzustellender Empfängeranlage mit Verstärker. Der Geber besteht aus zwei auf der Welle angebrachten Schellen, zwischen die eine Saite gespannt wird. Infolge der elastischen Verformung der Welle bei Belastung wird die Meßsaite mehr oder weniger gespannt, d. h. sie ändert ihre Eigenfrequenz. Fünf Schleifringe mit abhebbaren Bürsten sorgen für die Übertragung der durch die Magnete der Meßsaiten fließenden Ströme und der Drehzahlkontaktströme auf den Empfänger, der durch beliebig lange Leitungen mit den Bürsten verbunden wird. Der Empfänger enthält die Vergleichssaite, den Röhrensatz zum Antrieb der dauernd schwingenden Saite und einen Umschalter zum Einschalten der verschiedenen Meßsaiten. Endlich ist noch ein Drehzahlzähler mit Stoppuhr zur Bestimmung der gemessenen Umdrehungszahl der Welle und die notwendige Batterie eingebaut. Die Genauigkeit des Torsionsdynamometers wird von der Lieferfirma zu $\pm 2\%$ angegeben.

Zur einwandfreien Bestimmung der Drehzahl des Dieselmotors genügen meist die im Triebwagen eingebauten elektrischen Ferntachometer nicht. Besser geeignet sind die mechanisch angetriebenen Wirbelstromtachometer in den Maschinenräumen der meisten Verbrennungstriebwagen. Um auch im Meßwagen über eine genügend genaue Drehzahlangabe zu verfügen, wurde eine geeignete Gebermaschine beschafft, die mit einem Eisenrahmen an dem Ende der Lüfterwelle befestigt wird. Die Maschine hat konstantes Feld durch permanente Kobaltstahlmagnete und Kommutator. Sie arbeitet im schwach gesättigten Gebiet, so daß ihre Klemmenspannung direkt verhältnismäßig der Drehzahl ist. Die Endspannung beträgt 70 Volt bei 2000 Umdr./Min.; sie kann belastet werden bis 100 mm Amp. Angeschlossen werden in der Regel zwei, nach dem Unipolarsystem gebaute, also ohne Rechenübertragung im System arbeitende Ablesinstrumente und falls erforderlich ein schreibender Spannungsmesser. Von den Ablesinstrumenten befindet sich je eins im Maschinenraum des Triebwagens, ein anderes im Meßraum auf Schalttafel 4. Werden zwei Triebwagen gleichzeitig untersucht, so werden beide Drehzahlmesser im Meßwagen angeschlossen. Als schreibendes Instrument kann einer der auf der Schalttafel aufgebauten Spannungsmesser gewählt werden. Die Beschaffung von weiteren Drehzahlmesser, und zwar insbe-

sondere von Zungenfrequenz-Instrumenten zum Anzeigen der Motordrehzahlen bei dieselhydraulischen Triebwagen ist eingeleitet. Von dem beschriebenen Stromerzeuger gehen die Meßleitungen zu einem Klemmkasten, der zur Aufnahme von Spannungen bis zu 1000 Volt geeignet ist. Von dort fließt der Strom über ein Vielfachkabel mit 16 Leitungen von je 6 mm² in einen Stecker gleicher Bauart, wie sie bei der Berliner Stadtbahn gebräuchlich sind. An den Stirnwänden des Meßwagens befinden sich je zwei Steckdosen zur Aufnahme der Stecker, von denen aus 2 × 16 in Kabelkanälen verlegte Leitungen über Klemmleisten in den Einstiegen, zu den fünf Schalttafeln im Meßraum führen. Die einzelnen Instrumente hängen nun derartig an den Meßleitungen, daß bei richtigem Anschließen der Meßleitungen im Triebwagen jedes Instrument richtig anzeigt. Wird ausnahmsweise ein Instrument für den erwähnten Zweck nicht gebraucht, so kann es ohne weiteres durch Lösen einer Verbindung aus dem Meßkreis herausgenommen werden. Textabb. 4 zeigt die Anordnung der Meßkabel zwischen Trieb- und Meßwagen. Etwa in Pufferhöhe sind die am Meßwagen angebauten Klemmkästen für die beiden Shuntleitungen zu sehen.

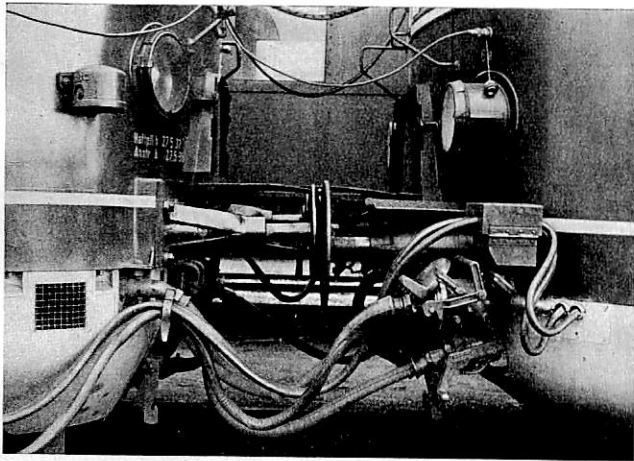


Abb. 4. Anordnung der Meßkabel zwischen Trieb- und Meßwagen.

Ein weiteres aber indirektes Meßverfahren zur Bestimmung der Leistung des Dieselmotors kann bei dieselektrischen Fahrzeugen durch Strom- und Spannungsmessung des Hauptstromerzeugers angewendet werden. So ungenau auch diese Methode auf den ersten Blick erscheint, von der an den Klemmen des Stromerzeugers gemessenen Leistung auf die Dieselmotorleistung an der Welle zu schließen, so hat sie doch insbesondere bei den dieselektrischen Wagen eine gewisse Bedeutung erlangt. Um von der Klemmenleistung auf die aufgenommene Energie zu schließen, wird für den Stromerzeuger in erster Annäherung der von den Prüfstandsmessungen der Firmen angegebene Wirkungsgrad eingesetzt, und der Verbrauch der Hilfsbetriebe (insbesondere Lüfterleistung) aus besonderen Messungen entnommen. Auch für den Hilfs-generator ist ebenfalls durch Strom- und Spannungsmessung der Verbrauch genau zu erfassen und unter Zugrundelegung seines Prüfstandswirkungsgrades die Wellenleistung zu ermitteln. Neuerdings ist es bei den mit Lüfterkupplung ausgerüsteten Wagen sogar gelungen, den Verbrauch der Lüfter durch Beharrungsfahrten mit ein- und ausgeschalteten Lüftern versuchsmäßig festzustellen. Die Schwierigkeit besteht nur darin, zu verhindern, daß beim Fahren mit ausgeschalteten Lüftern das Kühlwasser zu warm wird.

Sollen bei Fahrten im gebirgigen Gelände die Strom- und Spannungslinien des Hauptstromerzeugers aufgeschrieben werden, so wird das Meßkabel an die Anschlußklemmen des Generators geführt. Im Meßwagen werden dazu unsere bereits

erwähnten Strom- und Spannungsschreiber benutzt, die sich im Fahrbetrieb gut bewährt haben. Sie haben ein Drehspulmeßwerk mit Dauermagneten. Die Drehspule ist zur Erzeugung eines besonders großen Drehmomentes kräftig ausgeführt. Die Skalen sind proportional geteilt. Die Prüfspannung beträgt 5000 Volt und die Meßgenauigkeit $\pm 1,5\%$. Eine Öldämpfung sichert einen ziemlich ruhigen Kurvenzug, hat jedoch den Nachteil einer nicht getreuen Wiedergabe von plötzlichen Schwankungen, wie sie z. B. bei dem Absinken der Batteriespannung und dem Ansteigen des Entladestromes beim Starten des Dieselmotors auftreten. Der Fahrstrom wird durch eine 120 mm² starke Doppelleitung entweder dem Meßwagen zugeführt oder es wird ein entsprechender Shunt im Triebwagen eingebaut, so daß lediglich ein Meßstrom über eine geeichte Leitung zum Meßwagen geht. Die Leitungen enden in Klemmkästen an den Stirnwänden. Beide Methoden haben sich gut bewährt. Selbstverständlich kann nebenbei auch noch Strom und Spannung des Hilfsstromerzeugers aufgeschrieben werden. Parallel geschaltete Präzisionsdrehspulableseinstrumente mit Messerzeiger und Spiegelskala gestatten jederzeit Momentanwerte z. B. Einschalten der Stromwächter genauestens zu erfassen. Gleichzeitig können zwei dieselektrische Anlagen registriert werden. Ein Präzisions-Gleichstrom-Leistungsmesser gestattet jederzeitige Leistungsablesungen.

Alle Instrumente können sowohl über Zeit von einem gemeinsamen Antriebsmotor, wie über Weg von der Achse aus über ein stufenlos regelbares PJV-Getriebe angetrieben werden. Der Antriebsmotor ist unter dem Meßtisch aufgebaut. Er sitzt mit einem Schneckenantrieb auf einer gemeinsamen Grundplatte. Seine Drehzahl ist durch Vorschaltwiderstand in weiten Grenzen regelbar. Überwacht wird seine jeweilige Umdrehungszahl durch einen mechanisch angetriebenen Drehzahlmesser, der auf dem Meßtisch eingebaut ist. Elektromagnetisch gesteuerte Kupplungen gestatten rasch vom Zeit- auf den Wegantrieb überzugehen. In die Antriebswellen sind weiter ferngesteuerte Kupplungen eingebaut, die jederzeit eine Trennung der auf Schalttafel 1 und 3 angetriebenen Instrumente ermöglichen. Da außerdem für jedes schreibende Gerät ein besonderes Uhrwerk vorhanden ist, können auch Strom und Spannung über Weg und gleichzeitig der Lade- bzw. Entladestrom und der Fahrstufenschreiber über Zeit geschaltet werden.

Als letztes Glied ist die Messung der mechanischen am Zughaken abgegebenen Überschubzugkraft erforderlich. Es lag der Gedanke nahe wie bei den anderen Meßwagen eine Meßdose in die Zugstange einzubauen. Jedoch mußte von vornherein davon Abstand genommen werden, da der Wagen keine durchgehende Zugstange hatte und diese sich auch nicht einbauen ließ. Es wurde deshalb, wie in Textabb. 5 ersichtlich ist, eine einhängbare besonders leicht gebaute Meßdose gewählt, die, wenn sie nicht benutzt wird, in einem dafür vorgesehenen Kasten an der einen Stirnseite des Meßwagens untergebracht wird. Die Zugkraft erzeugt mittels eines Membrankolbens in der Glycerinfüllung der Dose, der anschließenden Stahlrohrspirale mit Verschraubung und in dem unter dem Wagen verlegten Stahlrohr einen gewissen Druck, der an einem mit einem Bourdonrohr ausgerüsteten Meßinstrument abgelesen werden kann. Außerdem gestattet eine weitere Bourdonröhre zusammen mit einem Schreibwerk die Zugkraft wahlweise über Weg oder Zeit aufzuschreiben. Die Meßdose kann nur an dem einen dafür vorgesehenen Ende benutzt werden.

Die Meßdose kann durch Auswechseln des Kolbens für einen 1,3- oder 6 t-Meßbereich hergerichtet werden. Die Verwendung des 1 t-Meßbereichs beschränkt sich meist auf die Messung der Fahrwiderstände von Triebwagen. Die Registrierung der Zugkraft kann in Abhängigkeit von dem durch-

fahrenen Weg erfolgen, so daß der Inhalt der Fläche zwischen der Zugkraftkurve und der Nulllinie sofort die am Zughaken geleistete Arbeit wiedergibt. Mit dem Zugkraftschreiber ist, wie in Textabb. 6 zu sehen ist, ein Scheibenplanimeter gekuppelt, das eine sofortige Ablesung der über einen bestimmten Streckenabschnitt geleisteten Arbeit gestattet. In Sonderfällen kann selbstverständlich auch die Zugkraft über Zeit aufgenommen werden. Das kommt meist bei Anfahrvorgängen und beim Gangschalten von dieselmechanischen Triebwagen in Frage.

Bei Wegantrieb werden die Zugkraftstreifen von der zweiten Achse des Drehgestells über eine Kardanwelle, Kuppelung und ein stufenlos regelbares PJV-Getriebe, in Verbindung mit einem Zahnradgetriebe und einem Kettenantrieb angetrieben. Eine zylindrische, ungebremste Meßachse steht leider nicht zur Verfügung. Nicht vermeiden lassen sich deshalb die durch die konischen Radreifen verursachten, ungleichen Weglängen durch das Abwälzen verschieden großer Raddurchmesser.

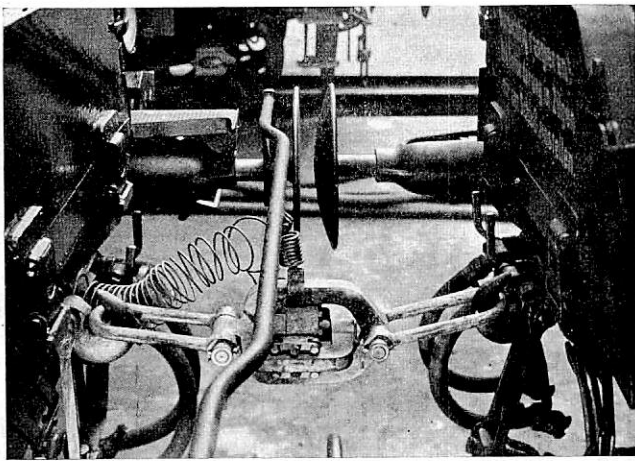


Abb. 5. Eingehängte Flüssigkeitsmeßdose mit hochgeklappten Übergangsbrücken.

Als Belastung wird bei den Zugkraftmessungen lediglich der Triebwagen selbst benutzt, der durch die als Trommelbremse ausgeführte Luftdruckbremse noch eine Klotzbremse erhalten hat. Diese kann nur als Handbremse betätigt werden.

Bei Zugkraftmessungen wird auf gleichförmige Fahrzeugschwindigkeit abgebremst. Lediglich bei Beharrungsfahrten zur Untersuchung der elektrischen Übertragungsanlage hat sich ein Abbremsen auf Dauerstrom des Stromerzeugers bewährt. Auch bleibt der Verschleiß der Bremsklötze in mäßigen Grenzen. Sollen höhere Zugkräfte gemessen werden, wie es beispielsweise beim Ausfahren des ersten Ganges der dieselmechanischen Triebwagen vorkommt, so wird hinter dem Meßwagen noch ein leichter dreiachsiger Packwagen mit Übergangsbrücke gehängt, der durch Anziehen seiner Handbremse eine gewisse von Fall zu Fall zu bestimmende Grundlast übernimmt. Die gleichmäßige Geschwindigkeit wird aber auch in diesem Fall im Meßwagen geregelt. Jedenfalls hat sich diese Versuchsdurchführung ohne Bremslokomotive bisher recht gut bewährt.

Da bei Betriebsmeßfahrten das Messen der Zugkraft vorkommen kann, ist dafür gesorgt worden, daß auftretende Zerrungen in der Triebwageneinheit nicht als Zugkraft planimetriert werden. Um zu verhüten, daß diese sogenannte Scheinarbeit mitgezählt wird, kuppelt eine Planimeterkupplung, die bei dieselektrischen und dieselhydraulischen von der Fahrkurbelstellung, bei dieselmechanischen Triebwagen vom Gangschalter gesteuert wird, beim Fahren unter Strom bzw. bei einem eingeschalteten Gang die Ablaufscheibe an der

Planimetermeßrolle mit dem wegabhängigen Getriebe. Um bei den sonstigen reinen Zugkraftmessungen die Kupplung außerdem auf eine beliebige Weglänge einzuschalten, ist die Steuerleitung außerdem noch über einen Schalter geführt, der auf dem Führerstand des Trieb- bzw. Meßwagens oder im Meßraum selbst eingelegt werden kann. Zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit beim Auswerten der Meßstreifen, wird die Dauer der Planimetrierung durch einen besonderen Tintenschreiber auf dem Zugkraftmeßstreifen vermerkt, so daß die gesamte Meßstrecke jederzeit einer Prüfung unterzogen werden kann.

Ob der Dieselmotor arbeitet und welcher Gang eingeschaltet ist, kann an einer kleinen Signalvorrichtung auf dem Meßtisch ersehen werden (Textabb. 6). Gesteuert werden die Signallampen von einer kleinen, leicht um die Kontrollwalze anzubringenden Kontaktvorrichtung. Außerdem kann noch jede Fahrstufe bzw. jeder Gang durch einen Markenschreiber aufgeschrieben werden.

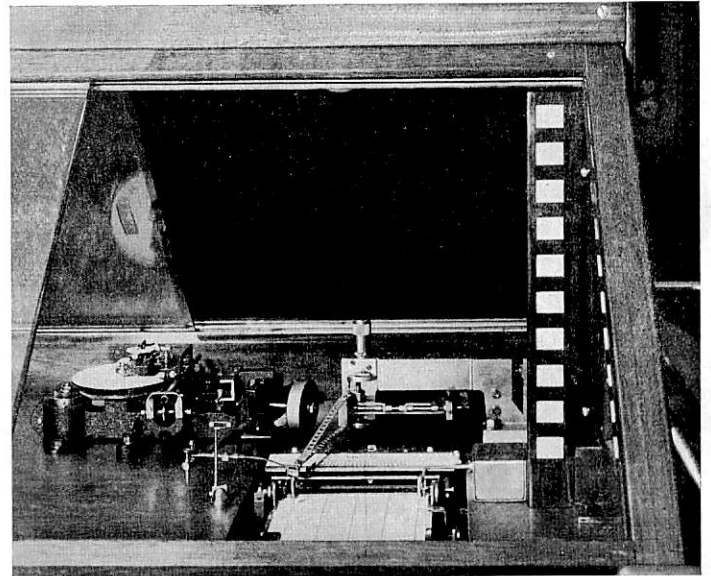


Abb. 6. Meßtisch mit Zugkraftschreiber und Scheibenplanimeter.

Auf dem Meßtisch sind ferner Wegzähler zum Zählen von Anfahrwegen angebracht. Daneben zählen elektrisch betätigte Stoppuhren Gesamtfahrzeit, Fahrzeit unter Strom und Aufenthaltzeit.

Zur punktwisen Untersuchung der Meßstreifen sind alle schreibenden Instrumente mit zwei Markenschreibern ausgerüstet. Eine besondere über Schalttafel 1 angebrachte Kontaktuhr kann je nach den Erfordernissen des Meßbetriebes in größeren oder kleineren Zeitabständen einen Stromkreis für die Betätigung der kleinen Zeitschreiber schließen. Bei Anfahrversuchen hat sich als zweckmäßig herausgestellt, alle Kommandos vom vorderen Führerstand aus zu geben. Zu diesem Zweck steht dort, da nicht immer vom Meßwagen aus gefahren werden kann, eine zweite Kontaktuhr zur Verfügung, die von dem betreffenden Beobachter in Gang gesetzt werden kann. Die Kontaktuhr ist mit einem Geschwindigkeitsmesser und den notwendigen Umschaltern auf einer kleinen Tafel aufgebracht, die mittels einer besonderen Vorrichtung in dem jeweiligen vorausfahrenden Führerstand befestigt wird. Ortsmarken werden von der eingebauten Kilometermarke aus alle 1000 m geschrieben. Besonders bemerkenswerte Punkte können wiederum von beliebiger Stelle der Triebwageneinheit, also sowohl vom Meßwagen als auch vom Triebwagen aus, bezeichnet werden. Eine besondere Hupe gibt alle 1000 m ein Signal. Die Meßeinrichtung zum Messen der Abgas-

temperaturen des Dieselmotors ist bereits erwähnt worden. Sie kann außerdem zu der bei Schnelltriebwagen so wichtigen Luft-Temperaturmessung verwendet werden. Für Temperaturen an den elektrischen Maschinen stehen neben Quecksilberthermometern Widerstandsthermometer aus Platinelementen zur Verfügung. Die schreibenden Instrumente sind als Sechsfarbensreiber gebaut und besitzen ein Kreuzspulmeßwerk. Gewöhnlich werden die Temperaturen fortlaufend registriert und außerdem an einem in °C geeichten Millivoltmeter abgelesen.

Bei Rampenfahrten begnügt man sich meist mit der Messung der Kommutatortemperatur mittels eines thermoelektrischen Anlegepyrometers. Die Temperatur der kalten Lötstelle wird durch eine in den Spannungsmesser eingebaute Quecksilberkorrektur berücksichtigt. Wenn auch hier die Meßfehler größer sind als bei Verwendung eines Quecksilberthermometers, so hat sich diese Methode doch wegen der meist recht knapp bemessenen Zeit, die für die Temperaturmessung zur Verfügung steht, gut bewährt, zumal das Meßgerät widerstandsfähiger ist als die Glasröhren des Quecksilberthermometers.

Die Wicklungstemperaturen der elektrischen Maschinen sind durch Strom- und Spannungsmessung im kalten und warmen Zustand bestimmbar. Hierzu steht uns ein besonders gebauter Meßkoffer zur Verfügung, bei dem Multizetinstrumente mit 18 Meßbereichen von 0,003 bis 20 Amp. und 0,1 bis 600 Volt verwendet wurden. Die Genauigkeit dieser außerordentlich vielseitigen Instrumente beträgt $\pm 1\%$ vom Zahlenendwert. Besonders gebaute Abgreifspitzen werden auf die Anschlußklemmen des Hauptstromfeldes der Fahrmotoren aufgesetzt. Die Bauart gestattet zuerst einen bestimmten Meßstrom von bekannter Größe fließen zu lassen und dann den Spannungsabfall der Wicklung im kalten und warmen Zustand zu messen. Ferner ist noch ein Vorwiderstand und für weitere Messungen eine Meßbrücke eingebaut. Sie dient zum Messen der Widerstände bei Triebwagen und ist jederzeit sofort betriebsbereit, da die erforderliche Stromquelle, eine normale Taschenlampenbatterie, in das Gehäuse mit eingebaut ist. Ihr Meßbereich ist außerordentlich groß mit 0,01 bis 50000 Ω ; dabei wird noch eine Genauigkeit von $\pm 1\%$ erreicht.

Die Berechnung geschieht nach den Internationalen Regeln für Fahrzeugmotoren*). Zum Messen der Erwärmung der einzelnen Felder der Stromerzeuger (Selbsterregung, Hauptschluß und Eigenregung), stehen Strom- und Spannungsmesser in genügender Anzahl zur Verfügung.

Strom- und Spannungsmesser mit Drehspulmeßwerk als tragbare Betriebsinstrumente ausgeführt, gestatten jederzeit die einzelnen Batteriezellen durchzumessen. Sie haben ebenfalls spiegelunterlegte Feinstriehkala und eine Genauigkeit in der senkrechten und waagerechten Gebrauchslage von 0,5%. Mittels Säuremesser kann das spezifische Gewicht der Säure ermittelt werden. Um die Batterieladung- bzw. Entladung zu messen, steht der auf Schalttafel 3 sitzende spannungsunabhängige Amperestundenzähler zur Verfügung, durch den der Lade- bzw. Entladestrom unmittelbar hindurchgeführt wird. Von dort aus führen die Leitungen zu einem besonderen Nebenschluß, an dem der Meßstrom für ein schreibendes Amperemeter mit Drehspulmeßwerk entnommen wird. Der Nullpunkt dieses Instrumentes liegt in der Mitte, so daß es den Ladestrom nach der einen und den Entladestrom nach der anderen Seite aufschreibt. Der Schreiber wird normalerweise über Zeit angetrieben, und zwar entweder durch ein eigenes Uhrwerk, oder durch einen gemeinsamen Antriebsmotor im Meßwagen. Ein aufgebauter Spannungsmesser gibt

wahlweise die Batteriespannung bzw. die des Hilfsstromerzeugers an.

Um beim Anfahren und bei Auslaufversuchen ein genaues Bild über den Anfahrverlauf zu bekommen, ist im Meßraum weiterhin ein Zeit-Wegschreiber aufgestellt. Er besteht aus einem Uhrwerk ähnlich dem der Morseapparate, das einen Papierstreifen mit konstantem Vorschub antreibt. Vier elektromagnetisch bewegte Schreiber zeichnen jede Sekunde eine Zeitmarke, außerdem jede Radumdrehung, zur besseren Auswertung nochmals je zehn Radumdrehungen und Anfang und Ende des Versuchs auf. Eine gleichzeitig gekuppelte Stoppuhr kann zur Kontrolle der Anfahrzeit verwendet werden. Der Antrieb der Nockenscheibe erfolgt durch eine Gliederwelle von einem Getriebe aus, das an dem kleinen Stromerzeuger für die Fahrgeschwindigkeit sitzt. Das Gestell, das den Zeit-Wegschreiber trägt, kann auseinandergenommen

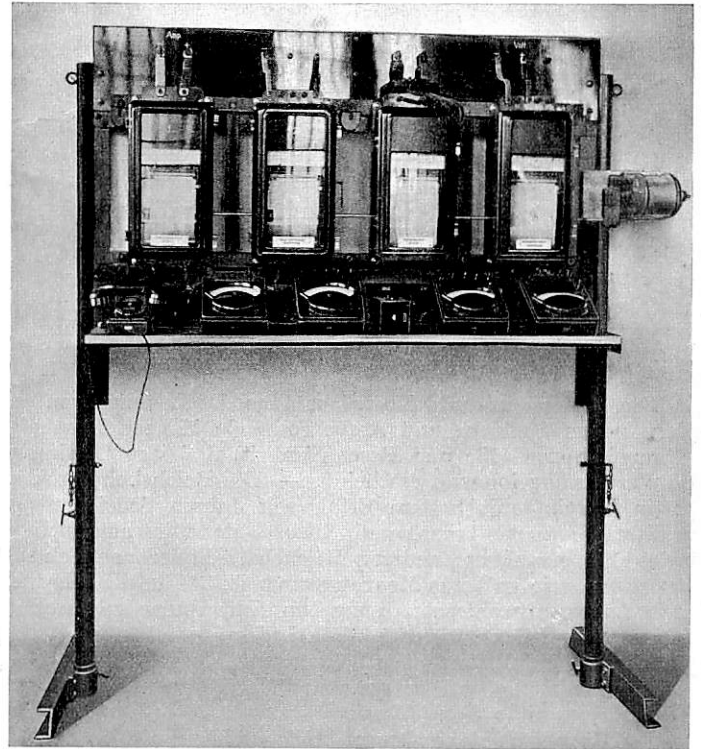


Abb. 7. Gestell für schreibende Instrumente der Schalttafel 1.

werden und in dem Werkzeugkasten mitgeführt werden, falls der Zeit-Wegschreiber nicht benötigt wird.

Selbstverständlich steht dem Meßwagen auch ein Schalenkreuz-Anemometer zur ortsfesten Bestimmung der Windstärke zur Verfügung.

Endlich erleichtert eine, auch bei stärkstem Motorengeräusch, gut zu verstehende Telefonanlage durch die ganze Triebwageneinheit die Verständigung. Bis zu vier Apparate können insgesamt angeschlossen werden, wovon je einer im Beratungsraum und im Meßraum stehen; die beiden anderen sind für den jeweiligen Führerstand im Triebwagen selbst vorgesehen.

Für die elektrischen Messungen sind eine Anzahl von Widerständen und ein Isolationsmesser mit eingebautem Magnetinduktor für 1000 Volt Induktionsspannung, der für Gleich- und Wechselstrom geeignet ist, beschafft worden.

4. Durchführung von Versuchen ohne Triebwagenmeßwagen.

Kann aus den im Anfang dieses Aufsatzes erwähnten Gründen der Triebwagenmeßwagen nicht an den zu untersuchenden Triebwagen angehängt werden, etwa bei Auslauf und Beschleunigungsversuchen mit dem Triebwagen allein, so

*) Näheres siehe: Elektr. Bahnen, Juni 1934.

müssen die zur Untersuchung notwendigen Instrumente in dem Triebwagen selbst untergebracht werden.

Dafür steht eine besonders hierfür beschaffte Gleichstromgebermaschine mit Anzeigegeräten zum Ermitteln der Fahrgeschwindigkeit zur Verfügung. Sie wird von der Radachse angetrieben und kann mit wenigen Handgriffen an das betreffende Fahrzeug angeklemt werden; sie entspricht, ebenso wie die Anzeigegeräte, in allen Teilen der fest an dem Meßwagen angebauten Geschwindigkeitsmeßeinrichtung. Im Falle einer Störung können alle Teile gegeneinander ausgetauscht werden.

Ebenso kann der Zeit-Wegschreiber ohne weiteres an das Vorgelege der Gebermaschine im Triebwagen angeschlossen werden. Da das Gestell keine weitere Befestigung im Meßwagen besitzt, ist es schnell im Triebwagen aufgestellt.

Der Rahmen, der unsere schreibenden Instrumente trägt, kann durch Lösen der Verbindungen auf ein eigens dafür angefertigtes fahrbares Gestell aufgesetzt werden, wie es in Textabb. 7 zu sehen ist. Dabei muß allerdings z. Z. noch auf einen wegababhängigen Antrieb verzichtet werden, lediglich der gemeinsame Zeitantrieb der Instrumente ist möglich. Die erforderlichen Zeitmarken gibt dann die bereits erwähnte, freizügig verwendbare Kontakttuhr, die in diesem Fall auf einer besonderen Schalttafel im Führerstand des Triebwagens aufgehängt wird. Ortsmarken werden von Hand gedrückt, wo es erforderlich erscheint.

Für den Stromschreiber der Batterieladung ist ein ähnliches Gestell angefertigt worden, das gleichzeitig die auf Schalttafel 3 aufgesetzte kleine Schalttafel aufnehmen kann. Ebenso hat dort der Markenschreiber seinen Platz gefunden. Zur Drehzahlfeststellung muß das im Triebwagen selbst eingebaute, mechanisch angetriebene Wirbelstromtachometer benutzt werden, das aber im allgemeinen, nach unseren Erfahrungen, zuverlässig arbeitet und mittels Handtachometer leicht geeicht werden kann.

Der Triebwagenmeßwagen ist jetzt nahezu ein Jahr lang, und zwar hauptsächlich auf der Berlin—Magdeburger Strecke im Betrieb. Planmäßig untersucht worden sind damit bereits ein 210 PS dieselmechanischer und ein 560 PS dieelektrischer Triebwagen. Verschiedene Untersuchungen an 410 PS dieelektrischen Wagen sind bereits mit dem Meßwagen durchgeführt worden. Endlich hat er auch bei der Untersuchung eines Dampftriebwegens gute Dienste getan.

Ein sehr dankenswertes Gebiet des Triebwagenmeßwesens wird es auch sein, Meßfahrten im Betrieb durchzuführen, um bei den vorhandenen Fahrplänen die tatsächlichen Beanspruchungen der einzelnen Wagentypen kennen zu lernen. Mit der Weiterentwicklung des Dieseltriebwegens wird auch der Triebwagenmeßwagen ein unentbehrliches Hilfsmittel werden, um objektiv Vorteile der einen oder anderen Wagengattung abzuwägen und darüber hinaus wertvolle Unterlagen für die Weiterentwicklung der Triebwagen zu liefern.

Rundschau.

Koksgewinnung aus Lokomotivfeuerungsrückständen *).

Die Aschkasten- und Rostrückstände der Lokomotiven enthalten neben Schlacke und Asche so große Mengen Brennstoff in brauchbarer Größe und Beschaffenheit, daß ihre Gewinnung und Verwertung lohnend erscheint. — Die Reichsbahndirektion Stettin betreibt mit bestem Erfolg seit Jahren Scheideanlagen zur Gewinnung der brennbaren Rückstände. Sie hat auch für eine große Anzahl von anderen Reichsbahndirektionen Schlacke versuchsweise in größeren Mengen aufbereitet. Für alle gebräuchlichen Lokomotivkohlsorten ergeben sich, immer in Gewichtsmengen ausgedrückt, folgende Verhältnisse:

Menge der Rückstände zur Lokomotivkohle	9%
hierin enthaltene, gut verwendbare Koksteile:	
der Korngröße 8 bis 32 mm	30%
der Korngröße 4 bis 7 mm	10%
zusammen	40%

In % der verfeuerten Lokomotivkohle rückgewinnbar 3,5 bis 4%. Bei einem Lokomotivkohlenverbrauch der Deutschen Reichsbahn (1935) von 12000000 t ergibt sich an rückgewinnbarem Schlackenkok 420000 t/Jahr.

Bei unmittelbarer Verfeuerung auf Sonderrost läßt sich auch der Koks unter 4 mm ungemischt verfeuern, dann wird noch eine weitere beträchtliche Menge zusätzlich ausgenutzt werden können.

Der Scheidekok enthält 15 bis 18% Asche und 18 bis 20% Wasser. Der untere Heizwert ist mindestens 5000 kg/Kal.

Die Aufbereitung geschieht nach dem elektromagnetischen Verfahren. Zunächst wird durch Schüttelsiebe die grobe Schlacke über 32 mm und die feine Schlacke und Asche unter 4 mm ausgetrennt. Die eisenhaltige Schlacke wird durch einen langsam umlaufenden starken Elektromagneten von dem nicht magnetischen Koks getrennt.

Diese Scheideart verdient den Vorzug gegenüber anderen Verfahren, weil die Anlage hierfür sehr einfach ist, vor allem aber, weil sie trocken arbeitet und deswegen zu jeder Jahreszeit betrieben werden kann und immer gut brauchbaren Koks liefert. Die Anlagen haben sich im Stettiner Bezirk bestens bewährt.

Die Frage der nutzbringenden Verwendung ist jetzt geklärt. Die Verwendungszwecke sind folgende:

*) In Nr. 36 der „Reichsbahn“ 1934 erschien ein Aufsatz des Verfassers über den gleichen Gegenstand, doch ist dieser, besonders bezüglich der Ausnützung des Scheidekokses, inzwischen überholt.

1. Unmittelbare Verfeuerung, Dampfkesselfeuerung und Sammelheizanlagen.

2. Vergasung und Verwendung des Gases für Heizzwecke, z. B. Beheizung von Industrieöfen oder Herstellung von Kraft (Strom) in Gasmaschinen.

Unmittelbare Verfeuerung auf Kesselrost. Bisher war es nicht möglich, Scheidekok für sich allein auf Kesselrosten unmittelbar zu verfeuern, erst etwa in einem Verhältnis ein Teil Scheidekok zu drei bis vier Teilen Kleinkok gelang dies. Das ist im Betriebe schlecht durchführbar und man kann bedeutende Mengen Scheidekok auf diese Weise schwer der Verwendung zuführen, erst in neuester Zeit ist durch Großversuch erwiesen, daß auf einem Rost besonderer Bauart, dem Martin Rückschubrost, Scheidekok ohne Beimischung und Schwierigkeit mit bester Ausnützung verfeuert werden kann.

Verfeuerung in Sammelheizanlagen. In den neuen Sonderkesseln für kleinstückiges Brennmaterial, sogenannten Universalkesseln mit unterem Abbrand, läßt sich Scheidekok ohne jede Schwierigkeit in der Korngröße über 7 mm verfeuern. Beginnend mit 1933 wurden im Bezirk der RBD Stettin nur noch solche Kessel beschafft. Im Heizjahr 1935/36 waren schon über 250 Kessel der Größen 1,2 bis 36 m² in Benutzung.

Es wurden hierfür verbraucht 4800 t Scheidekok. Die Kessel werden von allen größeren Sammelheizungsfirmen hergestellt.

Vergasung für Heizzwecke. Die Betriebsergebnisse der Stromerzeugungsanlagen hatten gezeigt, daß Scheidekok sich gut vergasen läßt. Es werden nur noch Drehrostgaserzeuger verwendet. Sie arbeiten beinahe ganz selbsttätig und sehr wirtschaftlich. Großversuche haben erwiesen, daß das Gas auch für Beheizung von Industrieöfen gut geeignet ist. Es hat einen Heizwert von 1100 kg/Kal. Temperaturen bis etwa 1150° werden mit gewöhnlichen Brennern ohne Vorwärmung erreicht. Mit Luft- und Gasvorwärmung bestimmt 1300°. Wirkungsgrad des Generators über 70%.

Verwendung des Gases zur Stromherstellung. Die Reichsbahndirektion Stettin verwendet in drei Elektrizitätswerken seit Jahren ausschließlich Scheidekok zur Stromherstellung. Seit längerer Zeit wird Koks der Körnung unter 7 mm hierfür verwendet (4 bis 10 mm). Es geschieht dies, um den größeren Koks für die Sammelheizkessel frei zu bekommen. Der Koksverbrauch ist etwa 1,2 kg/kWh. Bei größeren Generatoren

wird er noch niedriger sein. Doch ist des geringen Preises wegen auch hierbei die Wirtschaftlichkeit schon groß. Jedenfalls ist in fast allen Fällen die Eigenstromherstellung die wirtschaftlichste Art der Verwendung.

Der erzielbare Gewinn. Die Selbstherstellungskosten sind nach den jahrelangen Erfahrungen in Stettin einschließlich Kapitaldienst rund 3,00 *R.M./t*. Dazu kommen Frachanteile, die in jedem Fall verschieden sind.

Hinzu kommt ferner ein Aufschlag für den ausgesonderten Koksanteil, der sonst als Schlacke mit verwendet oder verkauft werden würde. In Stettin wird im ganzen 5,40 *R.M./t* Scheidekoks gerechnet. Dann ergibt sich dort unter Berücksichtigung der Heizwerte eine Ersparnis von rund 20,00 *R.M./t* Scheidekoks gegenüber oberschlesischem Hüttenkoks, der sonst in den dortigen Sammelheizungen verwendet wird. Bei der Stromherstellung ist der Gewinn wesentlich größer. Die Verhältnisse liegen natürlich überall verschieden. Besonders in Gegenden mit hohen Frachten für Brennstoffe werden die Ersparnisse noch größer sein.

Gerade in der Jetztzeit kommt es besonders darauf an, alle vorhandenen Rohstoffe, vor allem auch Brennstoffe, weitgehendst auszunützen. Durch Verwendung derartiger Stoffe, die, wie hier Scheidekoks aus Abfallstoffen leicht und billig hergestellt werden können, kann man wertvolle, für andere Zwecke unentbehrliche Brennstoffe — Heizöle — in großen Mengen ersparen. Erwähnt mag noch werden, daß für Bauzwecke die Schlacke durch Entfernung des nicht druck- und frostbeständigen Kokes an Wert nur gewinnt.

P. G.

Bestimmung der Schmelzbarkeit von Asche und Schlacken.

Die Schmelzbarkeit von Asche wird nach verschiedenen Verfahren ermittelt (Mikromethoden von de Graaf, von Dolch und Pöschmüller; Verfahren von Bunte und Baum, verbessert von Bunte und Roerink; Verfahren von Sinnat Oules und Simpkin; optische Bestimmung von Ebert*); Verfahren von L. Bro). Alle diese Wege sind mit Unvollkommenheiten behaftet, die darin liegen, daß sie nicht frei von Nebeneinflüssen sind, keine eindeutigen Ergebnisse liefern, daß sie die tatsächlichen Verhältnisse in einer Feuerung nicht herzustellen gestatten und zuweilen auch verwickelte, teure Vorrichtungen voraussetzen. Von einer richtigen Schmelzprobe ist zu verlangen, daß die verschiedenen Stufen der Schmelzung leicht und sicher verfolgt werden können und daß der Schmelzofen genügend große Abmessungen hat, um die Verhältnisse in einem Feuerraum, die gewünschte gleichmäßige Temperatur und einen bestimmten Temperaturverlauf herstellen zu lassen.

Nach einem neuen, von De Benedetti beschriebenen Verfahren wird die Asche oder Schlacke in einem Mörser aus Achat zu feinem Mehl zerstoßen, unter Zusatz von Stärkemehl in eine knetbare Masse verwandelt, in einer Glasröhre in Stabform gepreßt und schließlich zuerst an der Luft, dann im Ofen getrocknet. Das Versuchsstäbchen, 25 mm lang und 4 mm dick, wird auf einen Rost aus feuerfestem Material gelegt und in einem Muffelofen zum Erweichen gebracht. Der Rost ist 65 × 100 mm im Geviert und in der Längsrichtung mit vier Rippen von 7 mm Höhe versehen, die zwischen sich einen freien Raum von 18 mm lassen. Auf diese Rippen werden sowohl das aus Asche geformte Stäbchen gelegt als auch eine Anzahl (etwa sechs) Stäbchen, die aus den gleichen Mischungen oder Stoffen geformt werden wie die Segerschen Kegel. Statt dieser letzteren Stäbe kann zur Feststellung der Temperaturen auch ein Platin-Platinrhodium-Thermometer verwendet werden. Die Erhitzung auf den Erweichungs- bzw. Schmelzpunkt geschieht in einem elektrisch beheizten Kammerofen, der eine Muffel enthält. Die waagrecht liegende Muffel von 250 mm lichter Länge hat ungefähr halbzylindrischen Querschnitt von 140 mm Weite und 100 mm Höhe. Sie ist genügend geräumig, so daß sich der Rost wirklich in einem gleichmäßigen Temperaturfeld befindet. In die Muffel (Abb. 1 und 2) kann Gas eingeleitet werden um verschiedene Verhältnisse in der Umgebung des Probekörpers herzustellen. Diese Versuchsanordnung gestattet vor allem, die Überschneidung der Vorgänge des Schwindens und des Erweichens des Probekörpers auszuschalten. Um die Asche möglichst vielseitig untersuchen zu können, soll sie bei

Temperaturen nicht höher als 650 bis 700° C gewonnen sein. Sollen die Schmelzversuche in reduzierender Atmosphäre gemacht werden, so sind die stärkehaltigen Probe- und Temperaturmeßstäbe vorher in sauerstoffhaltiger Luft zu brennen. Andernfalls würden sie sich aufblähen und verformen, so daß der Erweichungspunkt nicht festzustellen wäre.

Der Ofen erreicht in $\frac{3}{4}$ Std. eine Temperatur von 1000° C durch einen Heizstrom von 40 bis 50 A und 120 V. Als Erweichungspunkt der Asche oder Schlacke wird die Temperatur bezeichnet, bei der die erste sichtbare Durchbiegung des Probekörperstättchens auftritt, als Schmelzpunkt die Temperatur bei welcher der Probekörper den Boden des Rostes berührt. Der Schmelzpunkt

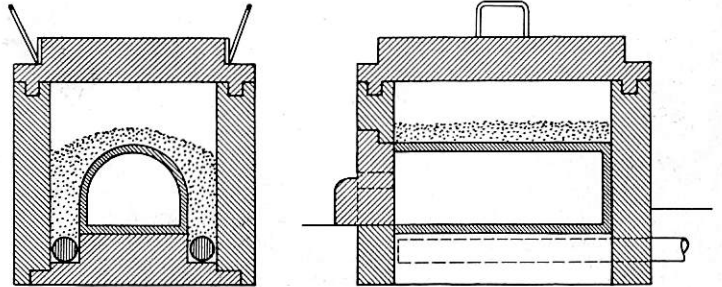


Abb. 1.

Abb. 2.

Muffel-Schmelzofen.

liegt 20 bis 30° C über dem Erweichungspunkt, die völlige Verflüssigung noch 70 bis 80° C über dem Schmelzpunkt. Letzterer erreicht einen Höchstwert in oxydierender Atmosphäre, sinkt dann auf seinen Mindestwert in schwach reduzierender Atmosphäre und steigt wieder an in stark reduzierender Umgebung. Als oxydierendes Mittel verwendet man Sauerstoff, als reduzierendes Kohlenoxyd, einfach indem man etwas Holzkohle auf den Rost legt. Die schwach reduzierende Atmosphäre stellt sich bei abgeschlossener Heizofen von selbst ein und endlich kann für bestimmte Untersuchungen eine völlig neutrale Umgebung durch Einleitung von trockenem Kohlendioxyd hergestellt werden. Im Laboratorium erzeugte Asche zeigt etwas höhere Schmelzpunkte als die Asche von Lokomotiven und diese wiederum etwas niedrigere als Schlacke. Die Unterschiede zwischen Laboratoriums- und Betriebsasche sind um so größer, je weniger eisenhaltig die Kohle war und sie werden auf die Eisenabgabe der Roststäbe und der Feuerbüchse zurückgeführt. In schwach reduzierender Atmosphäre, was den in einem Feuerraum herrschenden Verhältnissen am besten entspricht, ergaben sich folgende Schmelzpunkte von

Asche	Schlacke
1080—1100° C	1120—1180° C
1020—1060° C	1030—1100° C

aus englischer Kohle (Wales),
aus deutscher Kohle (Westfalen).
Die Laboratoriumswerte lagen für die Asche aus englischer Kohle um 150° C, aus deutscher Kohle um 20 bis 40° C höher.

Aus Schmelzversuchen von Mischungen von Quarz, Eisen, Eisenoxyd, Aluminium und Aluminiumoxyd folgt, daß das Eisen in schwach reduzierender Atmosphäre von größtem Einfluß auf den Schmelzpunkt ist, jedoch nicht in Verbindung mit Quarz allein oder mit Aluminium allein (Schmelzpunkt über 1400° C), sondern nur in der Mischung mit beiden (Schmelzpunkt 1100° C). Die Verschlackung eines Rostes ist so zu erklären, daß die gebildete Asche, besonders eisenreiche, in den Brennschichten, wo eine schwach reduzierende Atmosphäre herrscht, schmilzt und so in die Tiefe sinkt, wo sie sich mit Asche vermischt, die weitergehend oxydiert ist und dadurch selbst oxydiert. Infolgedessen erhöht sich ihr Schmelzpunkt wieder, das heißt, die schon flüssige Asche erstarrt und bildet Schlacke.

L. Schn.

(Riv. tecn. Ferr. Ital.)

„Handschuh“-Signale.

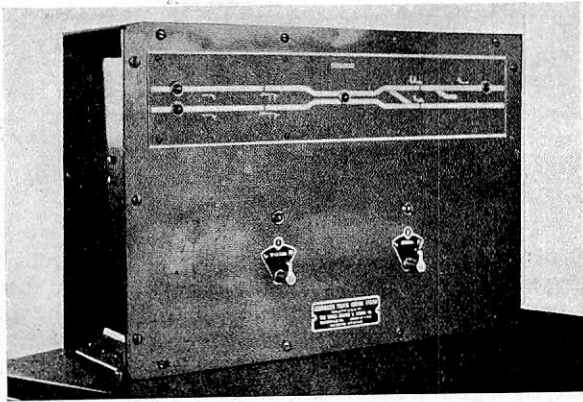
Unter dieser uns etwas seltsam anmutenden Überschrift bringt die New-Yorker Zeitschrift *Railway Age* im Märzheft 1937 einen Bericht über eine eigenartige Signalanwendung, die zwar nur auf amerikanische Verhältnisse zugeschnitten ist, über die etwas zu erfahren aber auch für den europäischen Sicherungsfachmann in mehreren Beziehungen von Interesse ist.

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1930, S. 410.

Unter Handschuh (gauntlet) versteht der Amerikaner eine Gleisverschlingung. Das Wort ist recht anschaulich und bildhaft. Die Gleise werden dabei so ähnlich ineinander verschränkt wie die Hand und der Handschuh. Gleisverschlingungen kommen gelegentlich bei Umbauten auch bei uns vor. Sie werden wie jede Gefahrstelle durch Deckungssignale, zuweilen außerdem durch Schutzblockstrecken gesichert.

Die Bessemer- und Lake Erie-Eisenbahn hat nun durch die Union Switch and Signal Company bei Greenville (Pennsylvanien) eine Gleisverschlingung sichern lassen, die 835 m lang ist. Sie ist hergestellt, um einen Viadukt von 525 m Länge über den kleinen Shenandoafluß und mehrere Eisenbahnstrecken nicht zweigleisig ausbauen zu müssen.

Die Sicherungsanlage wird dadurch verwickelter, daß die beiden Gleise, die in der Regel, wie es bei unseren zweigleisigen Strecken üblich ist, im Rechtsbetrieb befahren werden, zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der Strecke auch „gegen den



Stellwerk zur Fernbedienung der Deckungssignale.

Strich“ befahrbar sein müssen. Diese Art der Benutzung zweigleisiger Strecken ist in Amerika keine Seltenheit (vergl. z. B. Jänicke, Verkehrstechn. Woche 1937, Seite 406ff.).

Zur Sicherung der Gleisverschlingung sind also vier Deckungssignale und vier Vorsignale erforderlich. Es sind Lichtsignale aufgestellt worden, die halb selbsttätig bedient werden. In 3,2 km Entfernung vom einen Ende der Gleisverschlingung ist ein Weichen- und Signalstellwerk vorhanden, von dem aus auch die Deckungssignale bedient werden. Das geschieht mit dem im Bilde wiedergegebenen Tischstellwerk, aus deren Gleisschautafel auch die Gleisverschlingung zu ersehen ist nebst der Anordnung der Signale. Lampen zeigen das Besetztsein der Gleisabschnitte an. Zwei Hebelchen für je zwei Umschlagrichtungen mit einem darüber befindlichen Lichtschauzeichen für die Überwachung des Bremsens der Signallampe dienen zur Betätigung der Signale. Die Hauptsignale zeigen in der Grundstellung Halt (zwei rote Lichter untereinander). Durch Umlegen eines Hebels gehen Haupt- und Vorsignal auf Fahrt (Hauptsignal oben grünes, unten rotes Licht). Die im Bremswegabstand stehenden Vorsignale mit einem Licht zeigen gelb für Warnung, grün für Fahrt. Die Lichtsignale haben bewegliche Blenden in der Laterne.

Durch das Umlegen eines Signalhebels werden sämtliche feindlichen Fahrten elektrisch ausgeschlossen. Mechanische Ausschlüsse fehlen. Zur größeren Sicherheit werden die Signale durch Gleisströme überwacht, so daß durch Besetzen eines Abschnitts der Gleisverschlingung sämtliche Signale Halt zeigen müssen.

Zur Betätigung der Signale und für die Rückmeldung dienen Freileitungen. Für die Stromversorgung der Lichttagessignale benutzt man eine Wechselstromfreileitung, bei deren

Versagen die Batterie aus Edisonsammlern (Nickel-Eisen) einspringt, die für den Stellstrom der Weichen im Stellwerksbezirk vorhanden ist. Für die Speisung der Gleisströme und der Lichttagessignale werden Edison-Primärelemente verwandt.

Von besonderem Interesse an dem Bericht ist gerade jetzt für uns, daß die Mastfüße der Lichttagessignale aus Beton bestehen und im Werk der Signalbauanstalt hergestellt werden. Sie werden mit Kran an Ort und Stelle versetzt. Hier wird also schon ein Verfahren geübt, das wir einzuführen im Begriffe sind.

Buddenberg.

Krane bei Einhebungsarbeiten.

Nachstehend bringen wir zwei Abbildungen über die Verwendung zweier 40 t-Kranen zur Einhebung einer entgleisten schweren Lokomotive auf einer Hauptbahnstrecke in Neuseeland. Infolge starker Regengüsse war eine Dammrutschung eingetreten,

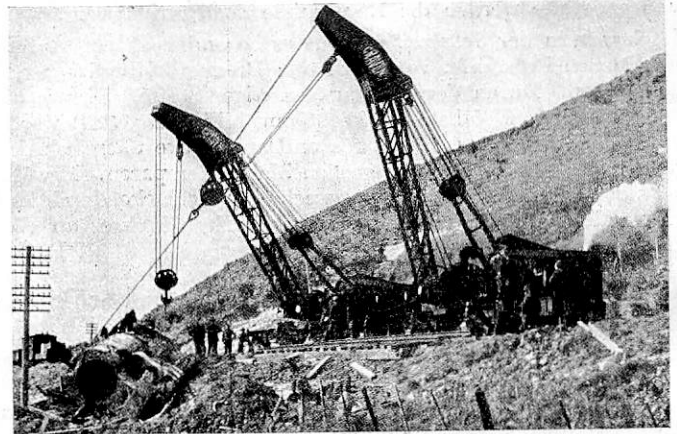


Abb. 1.

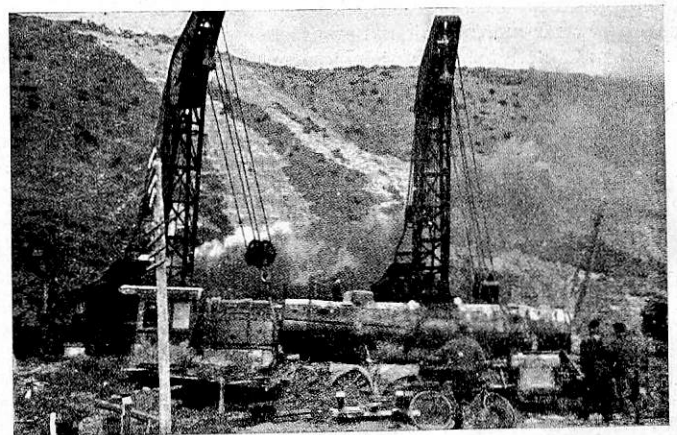


Abb. 2.

die der Expreszug Aukland — Wellington, der von einer schweren 2 D 2-Lokomotive geführt wurde, befuhr ohne daß er rechtzeitig gewarnt werden konnte. Die Lokomotive entgleiste und fiel die Böschung herab. Die Abb. 1 zeigt, wie die Lokomotive durch den einen Kran aufgerichtet wird, die Abb. 2 wie beide Kranen zusammen die Lokomotive auf das Gleis heben. Die Lokomotive wog 84 t, der Tender 50 t, bei der Probebeanspruchung hob ein Kran 48 t bei rund 5 m Ausladung.

(Rly. Gaz., März 1937.)

Berichtigung.

Der Name des im Heft 17/18 Seite 315 letzte Zeile der linken Spalte genannten österreichischen Brückenbaufachmannes ist nicht „Haberhalt“, sondern „Haberhalt“.

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.

Als Herausgeber verantwortlich: Direktor bei der Reichsbahn Dr. Ing. Heinrich Uebelacker in Nürnberg. — Verlag von Julius Springer in Berlin.
Druck von Carl Ritter G. m. b. H. in Wiesbaden.