

Netztafeln für die Untersuchung des Betriebes der Berliner Stadtbahn.

Von o. Professor Dr.-Ing. W. Müller, Dresden.

Hierzu Tafel 27 und 28.

Die elektrischen Schnellbahnen mit selbsttätiger Streckenblockung sind die sichersten und leistungsfähigsten aller Bahnarten. Die große Leistungsfähigkeit kann aber nur auf Grund eines sorgfältig durchgearbeiteten Fahrplans für die Höchstforderungen des Verkehrs gewährleistet werden. Hierbei darf der Fahrplan nicht zu gespannt sein, damit sich kleinere Verspätungen bald wieder ausgleichen. Bei der Fahrplangestaltung ist, abgesehen von der Hauptforderung der Sicherheit, nicht nur auf die Leistungsfähigkeit, sondern auch auf die Wirtschaftlichkeit der Betriebsführung hinsichtlich des Energieverbrauches und der Ausnützung des rollenden Materials und des Personals Rücksicht zu nehmen. Eine genaue Ermittlung der Fahrzeit und des Energieverbrauches ist hierfür Vorbedingung.

Sind Stromart, Motorcharakteristik, Kraftübertragung zwischen Motor und Triebtrieb, Beschaffenheit der Trieb- und Beiwagen festgelegt, so sind zunächst die Ermittlungen der Fahrzeit und des Stromverbrauches anzustellen, um die Fahrweise herauszufinden, bei der das Verhältnis der Zugfolgezeit (Verkehrsbedürfnis) zum Stromverbrauch auf den charakteristischsten Fahrstrecken am günstigsten ist. Erst dann sind auf Grund dieser Erkenntnisse die planmäßigen und die kürzesten Fahrzeiten für alle Haltestellenabstände in beiden Richtungen zu ermitteln. Für die Durchführung des Betriebs sowie als weitere Unterlage der Selbstkostenberechnung können noch die Ermittlungen der elektrischen und mechanischen Arbeit sowie der Motorbeanspruchung hinzukommen. Bei einem größeren Netz mit zahlreichen Haltestellen wird der Umfang dieser Ermittlungen überaus beträchtlich. Zu diesen für den Entwurf des Fahrplans und die Berechnung der Betriebskosten notwendigen Ermittlungen kommen bei Abweichung vom Fahrplan infolge Betriebsstörung und Umbauarbeiten usw. noch Ermittlungen hinzu, um den Betrieb abweichend vom Fahrplan zu regeln oder um den Einfluß solcher Störungen auf Betrieb und Kosten festzustellen. Alle diese Arbeiten werden daher einen ganz bedeutenden Umfang annehmen, der aber durch besondere Methoden beträchtlich verringert werden kann.

Es soll daher im folgenden gezeigt werden, wie man aus der Ermittlung der Fahrzeit, des Stromverbrauches, der mechanischen Arbeit und der Motorbeanspruchung für drei oder vier Strecken verschiedener Steigung Netztafeln entwerfen kann, aus denen man in einfachster Weise für alle möglichen Betriebsvorgänge, Haltestellenabstände und in Frage kommenden Zuggewichte die vorgenannten Ermittlungen in Verbindung mit dem Signalsystem durch Addition durchführen kann. Da die Fahrt zwischen zwei Haltestellen in eine Anfahr-, Auslauf- und Bremsstrecke unterteilt werden kann, so sind sowohl für das Anfahren, das Auslaufen und das Bremsen derartige Netztafeln zu entwerfen, zu denen noch eine für den Stromverbrauch und die Motorbeanspruchung hinzukommt.

Zunächst sollen Entwurf und Gebrauch dieser Netztafeln erörtert werden. Sodann wird in weiteren Abschnitten gezeigt, wie man diese Netztafeln verwenden kann, um

1. Fahrweise und Stromverbrauch zu ermitteln und der verlangten Zugfolgezeit anzupassen und

2. den Einfluß von Betriebsunregelmäßigkeiten — wie z. B. Halten der Züge vor Signalen — auf die Zugfolge zu ermitteln.

Die Methode soll gezeigt werden an einem besetzten Viertelzug der Berliner Stadtbahn.

A. Das Entwerfen der Netztafeln.

1. Fahrzeuge und Motor.

Viertelzug: Triebwagen + Steuerwagen.

Leergewicht	37,6 + 27,0	64,6 t
Volle Besetzung	22,5 t
		<hr/>
		87,1 t.

Ausrüstung der Triebwagen:

4 SSW-Motoren G B M 700 mit	90 kW Stundenleistung,
	267 A Stundenstrom,
	n = 800 Umdr/Min,
	D = 880 mm Raddurchmesser,
	ü = 4,25:1 Übersetzung.

Zuglänge 35 m; Zuggewicht/Motor $G_a = 21,8$ t.

2. Anfahrbeschleunigung und Anfahrzugkraft.

Aus den Kennlinien des Motors (Abb. 1) werden die Fahrkräfte je t Zuggewicht in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zeichnerisch ermittelt. Die Fahrkräfte für das Anfahren werden begrenzt durch die zugelassene Höchstbeschleunigung $b_a = 0,7$ m/sec². Dieser entspricht eine Fahrkraft

$$p_a = m \cdot g \cdot b_a = \frac{1000 \cdot 1,07}{9,81} \cdot 0,7 = 67,3 \text{ kg/t,}$$

hierbei ist $g = 1,07$ der Massenfaktor.

Die Anfahrzugkraft ist dann

$$p_a + w_0 = 76,3 + 2,5 = 78,8 \text{ kg/t,}$$

wo w_0 der Rollwiderstand des Zuges ist, der für $V = 0$ aus der Gleichung für den Widerstand (AEG-Formel)

$$w = 2,5 + \left(0,015 + 0,813 \frac{a}{G} + 0,65 \frac{F_1}{G} \right) \cdot \left(\frac{V}{10} \right)^2 \text{ kg/t}$$

sich ergibt. Hier ist für den Viertelzug die Zahl der angehängten Wagen $a = 1$; $G = 87,1$ t; der Wagenquerschnitt $F_1 = 7,5$ m². Die Anfahrzugkraft ist dann

$$Z_a = G_a (p_a + w_0) = 21,8 \cdot 78,8 = 1720 \text{ kg.}$$

3. Die Fahrkraftlinie.

Zieht man in der Abb. 1 für die Anfahrzugkraft $Z_a = 1720$ kg eine Wagerechte und lotet ihre Schnittpunkte mit den Zugkraft/Amp-Linien für die verschiedenen Felderregungen auf die entsprechenden Amp/Geschwindigkeitslinien, so erhält man die Geschwindigkeiten $V_{ü1}$, $V_{ü2}$, $V_{ü3}$ und $V_{ü4}$, bis zu denen die konstante Anfahrzugkraft Z_a wirkt und von denen ab die mit der Geschwindigkeit veränderlichen Motorzugkräfte auftreten. Setzt man $p_a + w_0 = 78,8$ kg/t = 78,8 mm vom rechten Punkt B auf der Wagerechten bis A ab und verbindet A mit dem rechten unteren Endpunkt C, so stellen die wagerechten Abstände zwischen den Linien AC und BC die Fahrkräfte $p + w$ kg/t für die verschiedenen Geschwindigkeiten der vier Fahrstufen dar, wo p kg/t die Beschleunigungskräfte auf der wagerechten

Bahn sind. Man greift diese Werte wie folgt ab: Geht man z. B. von $V = 50$ km/h auf der Amp/V-Linie für 375 Volt

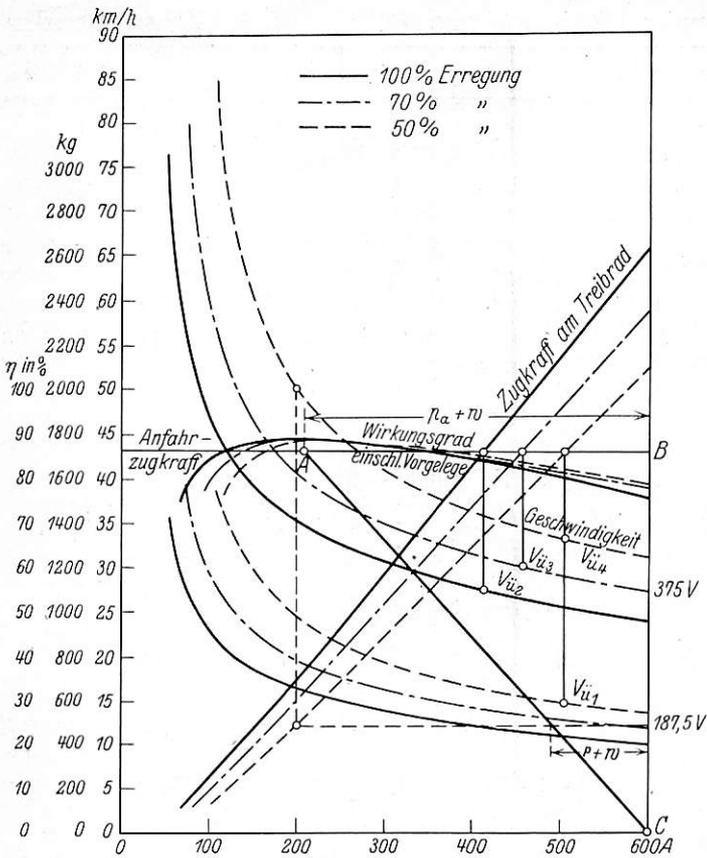


Abb. 1. Berliner Stadtbahn. Motorkennlinien. GBM 700. 375 V; 90 kW; 267 A; 800 Umdr./Min.; Raddurchmesser 880 mm; Übersetzung 1:4,25. Bei rund 1,9facher Vergrößerung 100 A = 20 mm; Z = 100 kg = 5 mm.

wagrecht nach rechts, so greift man mit dem Zirkel das dazugehörige $p + w$ zwischen den Strahlen AC und BC ab: Man berechnet für die verschiedenen Geschwindigkeiten die Zugwiderstände w nach obiger Formel, zeichnet hierfür unter einer wagerechten Geschwindigkeitsachse die w -Linie (Abb. 2) in gleichem Kräftemaßstab wie die p -Werte ($1^0_{/00} = 1$ mm) und setzt von dieser Linie in den zugehörigen Geschwindigkeiten die $(p + w)$ -Werte nach oben ab (Abb. 2). Dann sind die Ordinaten über der V -Achse die Beschleunigungskräfte p auf der wagerechten geraden Bahn, die bei gleichförmiger Geschwindigkeit gleich den Steigungen $s^0_{/00}$ sind. Die Abszissen dieser Linien geben dann die Geschwindigkeiten an, mit denen der Zug auf den verschiedenen Steigungen s sich gleichförmig bewegt. Daher wird die Fahrkraftlinie auch vielfach s/V -Linie genannt. Auf Steigungen ist die Beschleunigungskraft $p - s$ kg/t und auf Gefällen $p + s$ kg/t. Wird $p - s$ negativ, so wird der Zug verzögert. Der Maßstab für die Geschwindigkeitsachse soll später berechnet werden. Die Fahrkraftlinien werden ermittelt für die verschiedenen Fahrstufen bei Hintereinanderschaltung mit 187,5 Volt Spannung und 50% Felderregung, sowie bei Parallelschaltung mit 375 Volt für 100, 70 und 50% Felderregung.

4. Die Fahrzeitermittlung.

Man geht von der Gleichung für die Fahrkraft je t Zuggewicht aus

$$(p \pm s) = 1000 \cdot \rho \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \cdot \text{kg/t.}$$

Umgeformt ist mit

$$\rho = 1,07, \Delta v = \frac{\Delta V}{3,6} \text{ m/sec und } V \text{ km/h}$$

für ein gleichbleibendes Zeitintervall Δt sec

$$\frac{\Delta V}{2} : (p \pm s) = \frac{3,6 \cdot g \cdot \Delta t}{1,07 \cdot 1000 \cdot 2} = \text{konstant.}$$

In vorliegender Ermittlung wird zweckmäßig $\Delta t = 6''$ gewählt und es ist ausgewertet

$$\frac{\Delta V}{2} : (p \pm s) = \frac{1}{10} = \text{konstant;}$$

dann kann man

$$\frac{\Delta V}{2} : (p \pm s) = \frac{3,6 \cdot g \cdot \Delta t}{1,07 \cdot 1000 \cdot 2} = \text{tg } \gamma.$$

geometrisch darstellen. Es wird also hier für das Zeitintervall Δt das konstante

Verhältnis $\frac{\Delta V}{2}$ der halbe Geschwindigkeitszuwachs zur zugehörigen Mittelkraft

$p \pm s$ geometrisch als $\text{tg } \gamma$ dargestellt und γ wird als Zeitwinkel bezeichnet. Bevor dieser Zeitwinkel konstruiert werden soll,

ist bei gegebenem Zeitintervall Δt und Längenmaßstab der Bahn der Geschwindigkeitsmaßstab des Fahrkraftdiagramms so zu bestimmen, daß die im Zeitintervall Δt

zurück gelegten Wege Δl durch dieselben Strecken wie die mittleren Geschwindigkeiten V_m dargestellt werden. Es ist daher im vorliegenden Falle bei $\Delta t = 6$ sec

und bei einem Längenmaßstab $1 \text{ km} = 1000 \text{ mm}$ ($1:1000$) der Weg 1 km in 6 sec ($= 1/600 \text{ h}$) durch 1000 mm in der Zeichnung, also durch dieselbe Strecke wie die Längeneinheit 1 km darzustellen. Dann ist der Maßstab der Geschwindigkeitsachse

$$\frac{1 \text{ km}}{6 \text{ sec}} = \frac{1 \text{ km} \cdot 600}{h} = 1000 \text{ mm,}$$

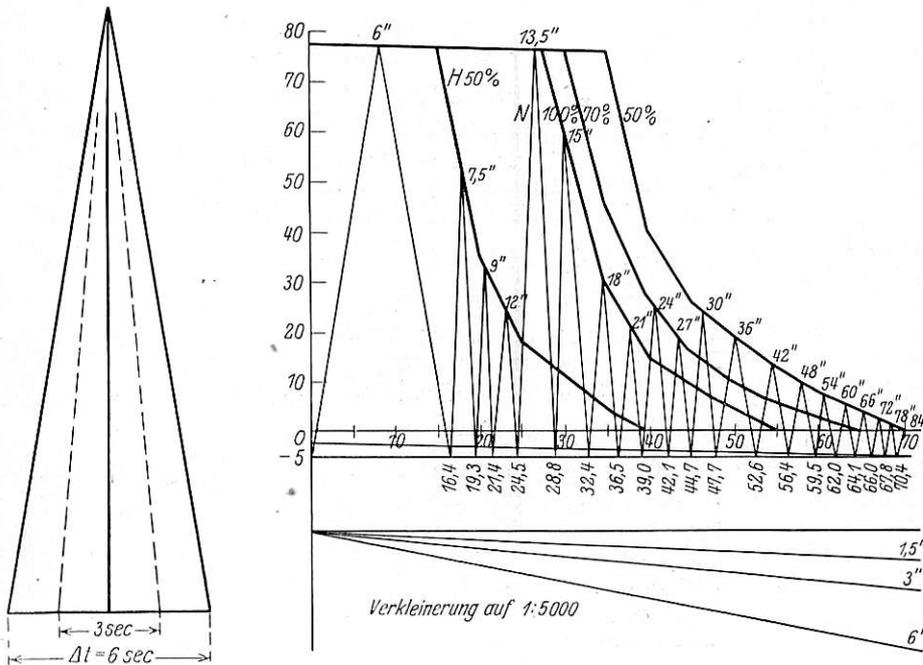


Abb. 2. Fahrkraftlinie des besetzten Viertelzuges. Anfahren auf $s = -5^0_{/00}$. Maßstäbe bei 1,5facher Vergrößerung: $V = 10$ km/h = 16,67 mm; $\Delta = w = 10^0_{/00} = 10$ mm; Längen 1:1000; $\Delta t = 6$ sec.

und 50% Felderregung senkrecht herunter bis zur entsprechenden Zugkraft/Amp-Linie (gestrichelte Linie) und von dort

oder

$$V = \frac{1 \text{ km}}{h} = \frac{1000}{600} = 1,667 \text{ mm.}$$

Mit diesem und dem bereits angegebenen Kräftemaßstab $p = s = w = 1 \text{ kg/t} = 10^0/00 = 1 \text{ mm}$ ist für $\Delta t = 6 \text{ sec}$

$$\frac{\Delta V}{2} : (p \pm s) = \frac{3,6 \cdot g \cdot \Delta t}{1,07 \cdot 1000 \cdot 2} = \frac{1}{10}$$

die Neigung des Zeitwinkels

$$\text{tg } \gamma = \frac{1 \cdot 1,667}{10 \cdot 1} = \frac{1}{6}.$$

Man stellt den Zeitwinkel so dar, daß man neben dem Fahrkraftdiagramm (Abb. 2) über einer Grundlinie von 4 cm die Mittelsenkrechte 12 cm errichtet und die Endpunkte verbindet. Der Winkel zwischen den Schenkeln ist dann 2γ . Zur Darstellung der Bewegung nach Weg, Zeit und Geschwindigkeit zieht man im Fahrkraftdiagramm im Abstand $s^0/00$ bei Steigungen oberhalb und bei Gefällen unterhalb der V-Achse eine Wagerechte. Von deren Schnitt mit der p-Achse, also von $V=0$ zieht man eine Parallele zum linken Zeitwinkelschenkel bis zum Schnitt mit der Fahrkraftlinie, von dem man wiederum bis zur Wagerechten im Abstände s eine Parallele zum rechten Zeitwinkelschenkel zieht. Hierdurch wird die Geschwindigkeitszunahme ΔV am Ende des Zeitintervalls Δt auf der Wagerechten im Abstände s abgeschnitten, während die Spitze des Zeitwinkels auf der Fahrkraftlinie die mittlere Geschwindigkeit V_m während dieser Zeit Δt angibt. Reiht man auf dieser Wagerechten im Abstand s in derselben Weise weitere Zeitwinkeldreiecke an, so erhält man die End- bzw. mittleren Geschwindigkeiten für die folgenden Zeitintervalle. In dem Punkt, wo die Wagerechte die Fahrkraftlinie schneidet, ist für $p=s$ die gleichförmige Geschwindigkeit erreicht. Der Weg während der einzelnen Zeitintervalle Δt ist $\Delta l = V_m \cdot \Delta t$, wo V_m die mittlere Geschwindigkeit ist. Die mittleren Geschwindigkeiten sind aber durch die Zeitwinkelspitzen auf der Fahrkraftlinie geometrisch festgelegt. Da nach der Maßstabbestimmung der Geschwindigkeitsachse die in einem Zeitintervall Δt zurückgelegten Wege Δl auf der Zeichnung durch dieselben Strecken wie die mittleren Geschwindigkeiten V_m dargestellt werden, so kann man mit dem Zirkel die Abstände der Zeitwinkelspitzen von der p-Achse abgreifen und auf der Wegachse beim Abfahrpunkt beginnend aneinanderreihen, um die Bewegung des Zuges nach Weg, Zeit und Geschwindigkeit festzulegen. Man hat somit die Wegachse zeitlich unterteilt und schreibt über der Wegachse an diese Teilstriche fortlaufend die Zeiten vom Abfahrpunkt an gerechnet an, man weiß daher, an welcher Stelle der Zug nach den einzelnen

Zeitintervallen sich befindet. Aus der Beziehung zwischen Längen- und Geschwindigkeitsmaßstab ergibt sich weiter, daß die Abstände dieser Zeitstriche nicht nur die Wege, sondern auch die entsprechenden mittleren Geschwindigkeiten angeben. Hiermit ist also die Bewegung vollständig nach Zeit, Weg und Geschwindigkeit dargestellt. Zur Darstellung der Netztafeln liest man noch auf der Wagerechten im Abstände s die Endgeschwindigkeiten nach den einzelnen Zeitintervallen ab und schreibt diese unterhalb der Wegachse an die Zeitstriche.

Für den Entwurf der Netztafeln ist der Längenmaßstab 1:5000 statt 1:1000 gewählt worden. Die Wege müssen daher fünffach verkleinert werden. Man zieht dazu einen zur V-Achse 1:5 geneigten Strahl und greift dann senkrecht unter den Zeitwinkelspitzen zwischen dem Strahl und der V-Achse die verkleinerten Wege Δl ab (Abb. 2).

5. Die Zeitwinkelberichtigung.

Bei stark abfallender Fahrkraftlinie erhält man in den einzelnen Zeitintervallen zu große Werte ΔV und daher auch zu große Werte Δl , das heißt, für eine gegebene Fahrzeit zu lange Wege oder für eine gegebene Fahrstrecke zu kurze Zeiten. Dieser Fehler kann aber auf einfache Weise durch

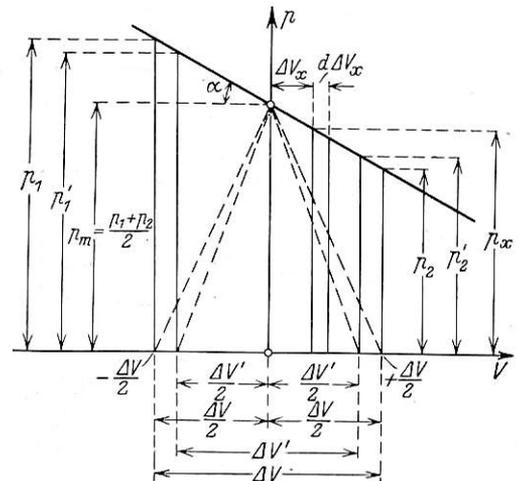


Abb. 3.

Berichtigung des Zeitwinkels beseitigt werden. In Abb. 3 ändert sich auf der Strecke ΔV die unter dem Winkel α geneigte Fahrkraftlinie linear und ist durch die Gleichung

$$p_x = p_m \pm \Delta V_x \text{ tg } \alpha$$

bestimmt. Dann ist zwischen den genauen Werten

$$+ \frac{\Delta V'}{2} \text{ und } - \frac{\Delta V'}{2}$$

$$\Delta V_x = - \frac{\Delta V'}{2} \quad \Delta t = \int d \Delta t = \int \frac{m \cdot d \Delta V_x}{3,6 \cdot p_x} = \left[\frac{m \cdot d \Delta V_x}{3,6 (p_m \pm \Delta V_x \text{ tg } \alpha)} \right]$$

$$\Delta V_x = + \frac{\Delta V'}{2}$$

$$\Delta V_x = - \frac{\Delta V'}{2} \quad \Delta V_x = + \frac{\Delta V'}{2}$$

$$= \left[\frac{m \cdot \ln (p_m \pm \Delta V_x \text{ tg } \alpha)}{3,6 \cdot \text{tg } \alpha} \right]$$

Da $p_m + \frac{\Delta V'}{2} \text{ tg } \alpha = p_1'$ und $p_m - \frac{\Delta V'}{2} \text{ tg } \alpha = p_2'$ und $1/\text{tg } \alpha = \Delta V' : (p_1' - p_2')$,

Hieraus folgt als Maß des Fehlers der Geschwindigkeitsänderung in einen Zeitintervall

$$\Delta t = \frac{m \cdot \Delta V'}{3,6 \cdot (p_1' - p_2')} \cdot \ln \frac{p_1'}{p_2'} \text{ sec.}$$

$$c_v = \frac{\Delta V}{\Delta V'} = \frac{p_1' + p_2'}{2 (p_1' - p_2')} \cdot \ln \frac{p_1'}{p_2'}$$

und mit $p_1' : p_2' = x \geq 1$ ist

$$\text{Bei Annäherung ist statt } \Delta V' \text{ dann } \Delta V \text{ zu setzen mit}$$

$$\frac{2 \cdot \Delta V_m}{3,6 (p_1 + p_2)} = \frac{\Delta V_m}{3,6 \cdot p_m} = \frac{2 \cdot \Delta V_m}{3,6 (p_1' + p_2')} = \Delta t.$$

$$c_v = \frac{\Delta V}{\Delta V'} = \frac{x + 1}{2 (x - 1)} \cdot \ln x \geq 1.$$

Daher ist

$$\frac{2 \cdot m \cdot \Delta V}{3,6 (p_1' + p_2')} = \frac{m \cdot \Delta V'}{3,6 (p_1' - p_2')} \cdot \ln \frac{p_1'}{p_2'}$$

Nach dieser Gleichung ist Abb. 5 aufgetragen. Es ist nun für ein Zeitintervall Δt die genaue Geschwindigkeitsänderung

$$\Delta V' = \frac{\Delta V}{c_v} \text{ und die genaue Geschwindigkeit am Ende des}$$

n-ten Zeitintervalls ist $V' = \sum_0^{2n} \frac{\Delta V}{2 c_V}$ und die mittlere Geschwindigkeit

$$V_m = V' - \frac{\Delta V}{2} = \sum_0^{2n-1} \frac{\Delta V}{2 \cdot c_V}$$

Da bei gleichem Zeitintervall Δt die mittlere Geschwindigkeit verhältnismäßig dem entsprechenden Wege ist, so ist der für den Weg begangene Fehler verhältnismäßig dem für die Geschwindigkeit.

Es soll nunmehr bewiesen werden, daß bei geradlinig geneigter Fahrkraftlinie das Verhältnis x der Höhen zweier

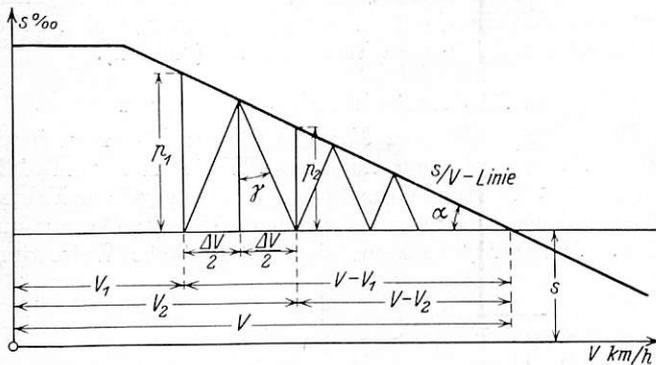


Abb. 4a.

benachbarter Zeitwinkeldreiecke konstant ist. Die Neigung der geradlinigen Fahrkraftlinien ist wie gesagt $\text{tg } \alpha$, die des Zeitwinkels $\text{tg } \gamma$. Nach Abb. 4a ist

$$x = p_1 : p_2 = \frac{V - V_1}{V - V_2}$$

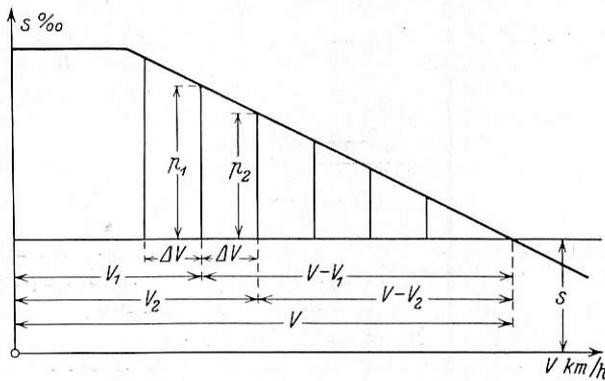


Abb. 4b.

hier ist V die Geschwindigkeit, die die geradlinig verlängerte Fahrkraftlinie auf der V -Achse oder auf einer Parallelen im Abstand s abschneidet. Da $V - V_1 = V - V_2 + \Delta V$, so ist

$$x = p_1 : p_2 = 1 + \frac{\Delta V}{V - V_2}, \text{ und da } \frac{\Delta V}{2} = \frac{p_1 + p_2}{2} \text{tg } \gamma,$$

so ist nach Umformung

$$\frac{p_1 - p_2}{p_2} = \frac{(p_1 + p_2) \text{tg } \gamma}{V - V_2},$$

oder

$$\frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2} = \frac{p_2 \cdot \text{tg } \gamma}{V - V_2}$$

Da

$$\frac{p_2}{V - V_2} = \text{tg } \alpha$$

ist, so ist

$$\frac{p_1 - p_2}{p_1 + p_2} = \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \gamma$$

oder

$$p_1 : p_2 = \frac{1 + \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \gamma}{1 - \text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \gamma} = x = \text{konstant.}$$

Von Interesse dürfte es sein, das Verhältnis zweier benachbarter p -Werte bei gleichbleibender Geschwindigkeitsstufe ΔV zu untersuchen. Nach Abb. 4b ist

$$x = p_1 : p_2 = \frac{V - V_2 - \Delta V}{V - V_2} = 1 - \frac{\Delta V}{V - V_2}$$

Allgemein ist

$$p_{n-1} : p_n = 1 - \frac{\Delta V}{V - V_n} = x.$$

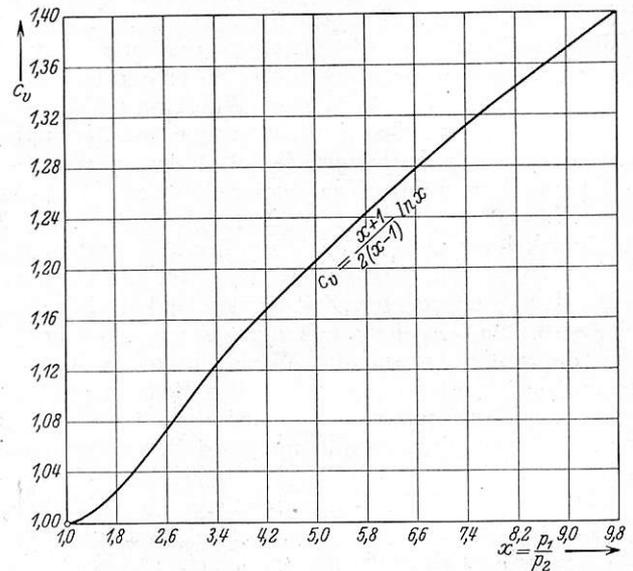


Abb. 5.

Der Fehler bleibt also nicht wie im ersten Falle konstant, sondern er verändert sich mit zunehmender Geschwindigkeit.

Es ist beim unberichtigten Zeitwinkel γ unter Berücksichtigung der Maßstäbe für V und p

$$\text{tg } \gamma = \frac{\Delta V}{2(p \pm s)},$$

und beim berichtigten Zeitwinkel γ' ist

$$\text{tg } \gamma' = \frac{\Delta V'}{2(p \pm s)} = \frac{\Delta V}{2 c_V (p \pm s)}, \text{ oder } \text{tg } \gamma' = \frac{\text{tg } \gamma}{c_V}$$

Da der Fehler c_V sich beim Zeitwinkelverfahren lediglich mit der Neigung der Fahrkraftlinie ändert, so kann man für die verschiedenen Neigungen die Fehler bei der Fahrzeitermittlung — d. h. die zu kurzen Fahrzeiten — dadurch beseitigen, daß man für die verschiedenen Neigungen der Fahrkraftlinie nach der in Abb. 5 dargestellten Kurve für c_V die Mittelsenkrechte des Zeitwinkels für horizontale Fahrkraftlinie mit c_V multipliziert und von den nun höhergelegenen Endpunkten der Mittelsenkrechten zu den Basisendpunkten Strahlen zieht.

Man kann auch ohne die Linie der c_V -Werte den Zeitwinkel auf zeichnerischem Wege berichtigen. Bei dieser Berichtigung geht man von der Tatsache aus, daß der Fehler beim Zeitintervall $\Delta t/2$ verschwindend klein ist und die entsprechenden Zeitwinkel daher für die Fahrzeitermittlung ohne Berichtigung Verwendung finden können. Man gleicht nach Abb. 6 zunächst die gekrümmte Fahrkraftlinie durch eine Gerade aus und zeichnet von der V -Achse nach dieser Linie zwei unberichtigte Zeitwinkeldreiecke für $\Delta t/2$ nebeneinander mit den Grundlinien $A'B'$ und $B'C'$. Hierauf errichtet man über $A'C'$ eine Mittelsenkrechte in M' , die die Ausgleichende der Fahrkraftlinie in M schneidet. Verbindet man M mit A'

und C' und zieht hierzu in dem unberichtigten Zeitwinkel links daneben von den beiderseitigen Endpunkten seiner Grundlinie die entsprechenden Parallelen, so erhält man den berichtigten Zeitwinkel für Δt . Die Berichtigung des Fehlers erfolgt beim vorliegenden Verfahren deshalb in einfacher Weise, weil die Fahrzeitermittlung sich auf einem konstanten Zeitintervall aufbaut, es können daher nur Fehler hinsichtlich der Geschwindigkeit und des Weges gemacht werden. Da bei gleichbleibendem Zeitintervall der Weg proportional der Geschwindigkeit ist, kommt für die Fehlerberichtigung nur eine Gleichung, und zwar die für c_v in Frage. Das Verhältnis $p_1 : p_2 = x$ kann sich bei gleichbleibendem ΔV sowohl durch die Neigung der Fahrkraftlinie als auch durch die verschiedenen Streckenneigungen s , bei denen dann $\frac{p_1 \pm s}{p_2 \pm s} = x'$ wird, ändern. Außerdem verändert sich, wie oben bewiesen, der Fehler mit zunehmender Geschwindigkeit. Im Gegensatz hierzu ändert sich bei gleichbleibendem Zeitintervall, wie bewiesen, der Fehler nur mit wechselnder Neigung der Fahrkraftlinie, nicht aber mit zunehmender Geschwindigkeit oder wechselnder Streckenneigung. Man vergleiche hiernach die Fehlerberichtigung im „Organ“ 1931, S. 432 und 433, bei der ein Fehler von 2% für zulässig erachtet wird.

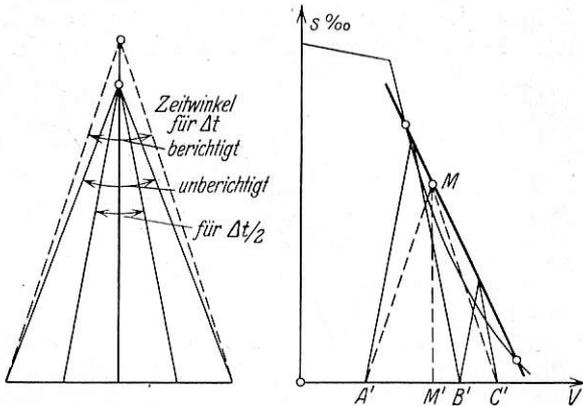


Abb. 6.

Zur Berichtigung des Fehlers wird nach dieser Quelle das Geschwindigkeitsintervall verkleinert, dies bedingt einen Mehraufwand an Rechenarbeit, weil die Zahl der Intervalle größer wird. Dahingegen wird bei dem hier angewandten Verfahren der Fehler ohne Verkleinerung des Zeitintervalls Δt berichtigt. Durch den Vergleich erkennt man, wie durch die Wahl des Differentials Δt gegenüber dem Differential ΔV die Fehlerberichtigung und die gesamte Rechenarbeit vereinfacht wird.

5. Wahl des Zeitintervalls.

Durch die Maßstäbe für Länge, Geschwindigkeit und Fahrkraft und das Zeitintervall sind Zeitwinkel und Fahrkraftlinien untereinander verbunden. Die Neigung des Zeitwinkels ist entsprechend den Neigungen der Fahrkraftlinie zu wählen; wird der Zeitwinkel zu klein, so wird die Arbeit vermehrt; ist er dagegen zu groß gewählt, so kann der zu flache Zeitwinkelschenkel eine steil abfallende gebogene Fahrkraftlinie in zwei Punkten schneiden. Ist also die mittlere Neigung eines steilen Astes der Fahrkraftlinie $\text{tg } \alpha$, so muß $\text{tg } \gamma < \cot \alpha$ sein. Als Regel kann angegeben werden, daß $\text{tg } \gamma \sim \frac{1}{2} \cdot \cot \alpha$ ist. Man braucht jedoch diesen kleineren Zeitwinkel, falls die anderen Äste der Fahrkraftlinie flacher sind, nicht durchweg der Ermittlung zugrunde zu legen, sondern kann für die flacheren Äste einen größeren Zeitwinkel anwenden und für die

steilen die Hälfte oder ein Viertel dieses Zeitwinkels verwenden. Hierbei ist zu beachten, daß dann die entsprechenden Wege durch die Hälfte bzw. das Viertel der entsprechenden V_m dargestellt werden und an Strahlen, die entsprechend zur Wagerechten geneigt sind, wie oben gesagt, die Strecken reduziert werden (Abb. 2).

7. Netztafel für das Anfahren (Abb. 1, Taf. 27).

Die Fahrkraftlinien für die genannten vier Schaltstufen seien nach vorstehendem gezeichnet. Hieraus werden für die größte Steigung, das größte Gefälle und ein bis drei dazwischenliegende Neigungen die Fahrzeitermittlungen durchgeführt. Bei der Berliner S-Bahn wurden diese Fahrzeiten ermittelt für die Steigung $s = +5\text{‰}$, die Wagerechte $s = 0\text{‰}$ und das Gefälle $s = -5\text{‰}$. Die Netztafeln werden grundsätzlich so entworfen, daß man von einer senkrechten Achse aus, bei der $1 \text{ cm} = 1\text{‰}$ ist, auf den Wagerechten durch $s = +5\text{‰}$, $s = 0\text{‰}$ und $s = -5\text{‰}$ die Fahrzeitermittlung (Fahrzeitstreifen) bis zu der in Frage kommenden Höchstgeschwindigkeit aufträgt und die Geschwindigkeiten von 5 zu 5 km/h interpoliert. Die Punkte gleicher Zeiten und diejenigen gleicher Geschwindigkeiten verbindet man je durch Linienscharen (Isochronen und Isotacheen). Aus dieser Netztafel kann man also für jede gewünschte Anfahrhöchstgeschwindigkeit und für jede Neigung zwischen $+5$ und -5‰ den Anfahrweg und die Anfahrzeit ablesen. Sollte sich auf der Bahnlinie eine Anlaufsteigung befinden, auf der der Zug unter Strom mit Verzögerung fährt, so ist für diese Anlaufsteigung innerhalb der in Frage kommenden Geschwindigkeitsgrenze ein Fahrzeitstreifen sowie der Stromverbrauch und die Motorbeanspruchung gesondert aufzuzeichnen. In Netztafeln für Fahrten unter Strom auf starken Steigungen, die mit Verzögerung befahren werden, verlaufen im Gegensatz zu den Netztafeln für das Anfahren die Linien gleicher Geschwindigkeiten von links oben nach rechts unten. Bei der Fahrzeitermittlung wurde die selbsttätige Steuerung mit berücksichtigt. Das Wesen einer selbsttätigen Steuerung besteht nach Spieß (Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1929, S. 192) darin, daß der Übergang von einer Schaltstufe auf die nächst höhere erfolgen kann, wenn durch die Erhöhung der Drehzahl der Motoren die Stromstärke so weit gesunken ist, daß der folgende Schaltsprung keine übermäßigen Strom- und Zugkraftspitzen gibt, daß aber auch stets im richtigen Augenblick weiterschaltet wird. Die Abhängigkeit des Weiterschaltens wird durch ein Fortschaltrelais erzielt, das im Prinzip ein Minimalrelais ist. Mittels eines an ihm angeordneten Kontaktpaares hat das Fortschaltrelais den Antriebsapparat für die Walze zu steuern. Durch diese Steuerung wird ohne besondere Aufmerksamkeit des Führers die für die S-Bahn erforderliche hohe Anfahrbeschleunigung erzielt, ohne daß die Zugkraftspitzen zu hoch werden und dadurch Schleudergefahr eintritt. Der Führer kann sich dadurch seiner wichtigsten Aufgabe, der Beobachtung der Strecke und insbesondere der Signale widmen.

Die selbsttätige Steuerung wird bei der Fahrzeitermittlung dadurch berücksichtigt, daß man auf der Fahrkraftlinie jeder Schaltstufe die Zeitwinkel bis zu einer kleinsten, einer bestimmten Stromstärke, etwa 240 Amp., entsprechenden Fahrkraft — im Beispiel von etwa 18 bis 25‰ — aneinanderreicht und dann erst auf die andere übergeht (Abb. 2). Die Fahrkraftlinie der ersten Schaltstufe (hintereinandergeschaltet bei 50% Felderregung) verläuft von $V = 0 \text{ km/h}$ ab, so daß man am Anfang den Zeitwinkel für ein volles Zeitintervall $\Delta t = 6 \text{ sec}$ wählt. Bei den steil abfallenden Ästen der Fahrkraftlinien und um die Minimalbeschleunigungskraft beim Schaltstufenwechsel ungefähr zu erreichen, zeichnet man Zeitwinkel für $\Delta t/2$ und $\Delta t/4$, also für 3 und 1,5 sec. Auf dem flacheren Teil der Fahrkraftlinie der letzten Schaltstufe (parallelgeschaltet bei 50%

Felderregung) wird bis zur Höchstgeschwindigkeit wieder der Zeitwinkel für das volle Zeitintervall angewandt. Wo die Fahrkraftlinie sich der Wagerechten für die Steigung s flach verlaufend stark nähert, verwendet man der genaueren Zeichnung wegen Zeitwinkel für das doppelte Zeitintervall. An die Spitze der Zeitwindeldreiecke notiert man die Zeiten und an die Basis die Geschwindigkeiten an. Da das Fahrkraftdiagramm für den Längenmaßstab 1 : 1000 entworfen wurde, die Netztafeln aber für den Maßstab 1 : 5000 gezeichnet sind, werden, wie bereits erwähnt, zum Abgreifen der Δl Reduktionsstrahlen für $\Delta t = 6, 3$ und $1,5$ sec gezeichnet. Bei dem Zeitwinkel für $\Delta t = 12$ sec (s. o.) ist für Δl zweimal die Reduktionsstrecke für $\Delta t = 6$ sec abzutragen.

8. Netztafel für das Auslaufen (Abb. 2, Taf. 27).

Für Fahrt bei abgestelltem Strom wurden mit den gleichen Maßstäben aus den Verzögerungskräften zwischen der w -Linie des besetzten Viertelzuges und der Wagerechten für die Neigungen $s = +5\text{‰}$, $s = 0\text{‰}$, $s = -2,5\text{‰}$ die Netztafeln von der Geschwindigkeit $V = 70$ km/Std. abwärts ermittelt. Da $s = -5\text{‰} = w_m$ gleich dem mittleren Laufwiderstand ist, so wird auf dieser Neigung eine gleichförmige Geschwindigkeit eintreten. Die Linien gleicher Geschwindigkeiten nähern sich in der Netztafel der Wagerechten -5‰ asymptotisch. Für Fahrten auf Gefällen stärker als -5‰ verlaufen die Linien gleicher Geschwindigkeiten in den Netztafeln in etwas verzerrtem Spiegelbild asymptotisch zu der Wagerechten für $s = -5\text{‰}$.

9. Netztafel für das Bremsen (Abb. 3a, 3b, Taf. 27).

Bei den Zügen der S-Bahn werden Einkammerbremsen verwandt. Um ein schnelles Lösen der Bremsen zu erreichen, hat das Ventil, durch das die Luft vom Bremszylinder ins Freie entweicht, eine weite Bohrung. Nach Röder, Die Kunze-Knorrbremse 1929, S. 60, ist der zeitliche Verlauf des spezifischen Druckes q kg/cm² im Bremszylinder in Abb. 7 wiedergegeben. Der Kolben des Bremszylinders hat nach Zeichnung C 52200 einen Durchmesser von $D = 14'' = 35,6$ cm. Die Kraft auf das Bremsgestänge ist daher

$$\frac{q \cdot D^2 \cdot \pi}{4} \text{ kg.}$$

Das Übersetzungsverhältnis des Bremsgestanges ist $\ddot{u} = 8,35$ und der mechanische Wirkungsgrad der Übersetzung ist $\eta = 0,92$. Jeder vierachsige Wagen hat einen Bremsapparat, der auf $n = 16$ Bremsklötze wirkt. Die Anpreßfläche F_k eines Bremsklotzes ist $F_k = 8.60 = 480$ cm², der spezifische Klotzdruck k ist dann

$$k = \frac{1/4 \cdot q \cdot D^2 \cdot \pi \cdot \ddot{u} \cdot \eta}{n \cdot F_k} = \frac{q \cdot 1000 \cdot 8,35 \cdot 0,92}{16 \cdot 480} \text{ kg/cm}^2.$$

Für den in Abb. 7 angegebenen Höchstdruck von $q = 4,2$ kg/cm² wird demnach $k = 4,2$, so daß man hier $q = k$ setzen kann und das Diagramm für den spezifischen Kolbendruck auch zugleich das für den spezifischen Klotzdruck ist. Die Bremskraft p je t Zuggewicht ist

$$p = \frac{0,8 \cdot b \cdot n \cdot k \cdot F_k \cdot \mu}{G} + w \pm s = \frac{k \cdot \mu}{a} + w \pm s = p_0 + w \pm s \text{ kg/t,}$$

mit

$$a = \frac{G \cdot 1000}{0,8 \cdot b \cdot n \cdot F_k} \text{ kg/cm}^2.$$

Hier ist $G = 87,1$ t das Gewicht des besetzten Viertelzuges, $b = 2$ die Anzahl der Bremsapparate gleich der der Wagen. Daher ist

$$a = \frac{87,1 \cdot 1000}{0,8 \cdot 2 \cdot 16 \cdot 480} = 7,1 \text{ kg/cm}^2.$$

μ ist die Reibung zwischen gußeisernen Bremsklötzen und

stählernen Radbandagen. In Abb. 8 sind die μ -Werte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Klotzdruck dargestellt. Diese Werte sind von Metzkwow gefunden und nach dessen Vorschlag für die Praxis (Glaser's Annalen 1927, Sonderheft, S. 137) um 20% zu ermäßigen; daher rührt in obiger Gleichung der Faktor 0,8.

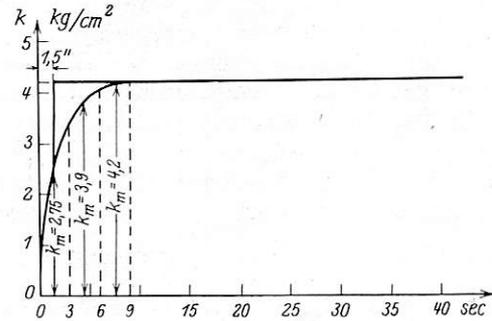


Abb. 7.

Zeitlicher Verlauf des spezifischen Bremsklotzdruckes k kg/cm² bei einer Einkammerbremse mit weiter Bohrung.

Die Fahrkräfte für das Bremsen wurden wie folgt ermittelt. Die Schaulinie für den spezifischen Klotzdruck wurde auf dem ansteigenden Ast in Streifen von 3 Sek. zerlegt; hierfür wurden die Mittelkräfte $k = 2,75$; $k = 3,9$ und weiterhin $k = 4,2$ kg/cm² bestimmt. Die Schaulinie für die μ -Werte wurden durch

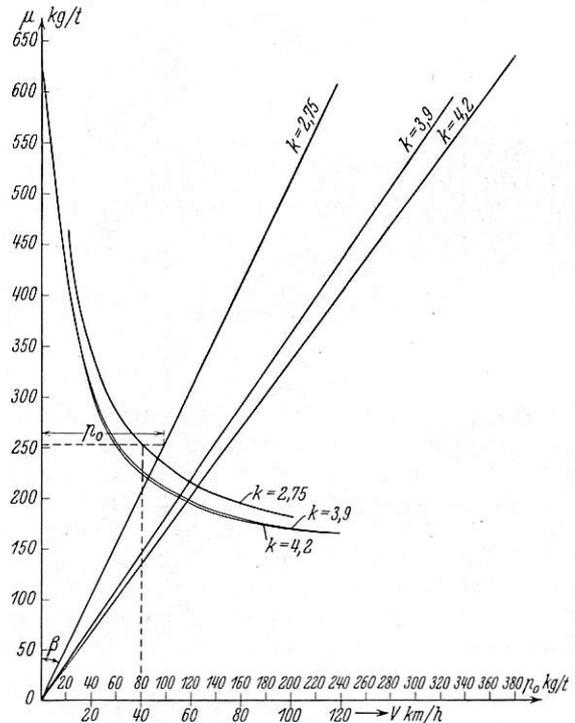


Abb. 8. Abhängigkeit des Reibungswertes μ für Gußeisen auf Stahl von der Geschwindigkeit V km/h bei verschiedenen spezifischen Bremsklotzdrücken k kg/cm² nach Metzkwow (Glaser's Ann. 1927, Sonderheft). Die μ -Werte sind für die Praxis um 20% zu ermäßigen. Maßstäbe bei dreifacher Vergrößerung: $p_0 = 100$ kg/t = 50 mm.

Interpolieren für diese k -Werte ergänzt. Da nach vorstehendem

$p = p_0 + w \pm s$ kg/t, wo $p_0 = \frac{\mu \cdot k}{a} = \mu \cdot \text{tg } \beta$ ist, so kann man für die verschiedenen Werte k unter der Neigung $\text{tg } \beta$ in der Abb. 8 vom Nullpunkt der μ -Diagramme Strahlen ziehen. Um die Fahrkräfte während des Bremsens für einen Klotzdruck k für die verschiedenen Geschwindigkeiten zu

erhalten, geht man z. B. von dem Werte $V = 40 \text{ km/h}$ zur μ -Linie für $k = 2,75$ herauf und vom gefundenen Punkt wagerecht zur μ -Achse. Damit ist der Abstand zwischen der μ -Achse und dem Strahl für 2,75 der Wert p_0 , den man von der über der V-Achse gezeichneten w-Linie des Fahrkraftdiagramms für das Bremsen für die entsprechende Geschwindigkeit nach oben absetzt (Abb. 8 und 9). Die Verbindung der oberen Endpunkte ergibt die Fahrkraftlinie für das Bremsen. Auch für die Darstellung des Bremsvorganges ist das gleiche Zeitintervall $\Delta t = 6 \text{ sec}$ angenommen. In der Fahrkraftlinie für das Bremsen ist der Geschwindigkeitsmaßstab wie bei den vorherigen Ermittlungen $1 \text{ km/h} = 1,667 \text{ mm}$. Der Kräftemaßstab p ist $1 \text{ kg/t} = 0,5 \text{ mm}$. Der Zeitwinkel $\text{tg } \gamma$ für $\Delta t = 6 \text{ sec}$ ist dann

$$\text{tg } \gamma = \frac{1 \cdot 1,667}{10 \cdot 0,5} = \frac{1}{3}$$

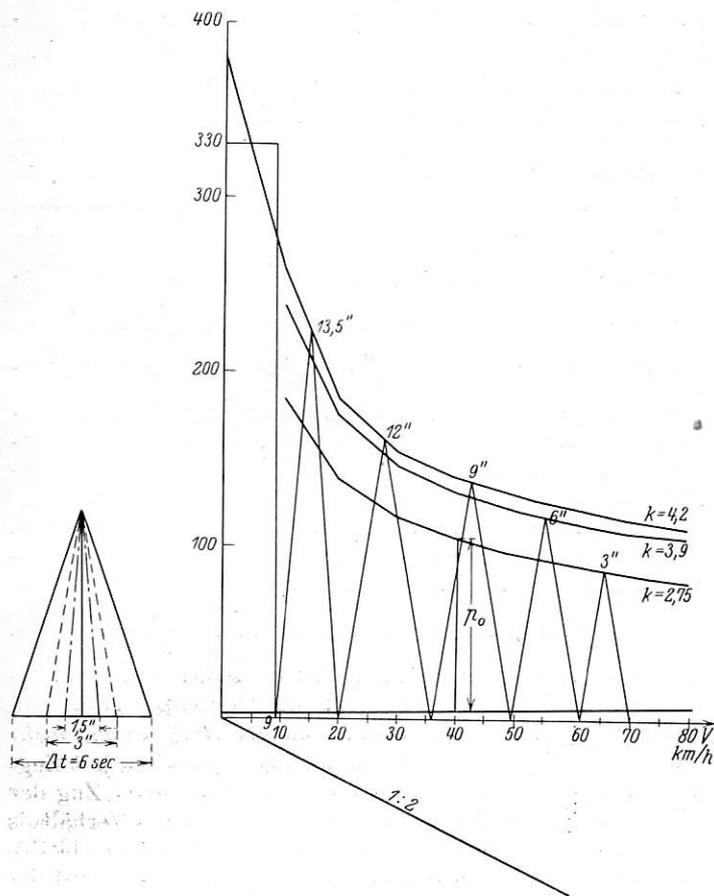


Abb. 9. Fahrkraftlinien für das Bremsen.
Maßstäbe bei zweifacher Vergrößerung: $V = 10 \text{ km/h} = 16,67 \text{ mm}$;
 $p_0 = w = 10\text{‰} = 5 \text{ mm}$; Längen 1:1000; $\Delta t = 6 \text{ Sek}$.

Da die Bremswege ziemlich kurz sind, werden sie i. M. 1:500 aufgetragen. Um eine Reduktion zu ersparen, ist die Ermittlung der Bewegung mit dem halben Zeitwinkel $\Delta t = 3''$ durchgeführt (s. Abb. 9). Bei Steigungen $+s$ zeichnet man die Zeitwinkeldreiecke über einer Wagerechten im Abstände s unterhalb der V-Achse (bei Gefällen oberhalb der V-Achse). Das Eintragen der Zeitwinkeldreiecke hat bei der Geschwindigkeit zu beginnen, von der abgebremst wird, und zwar muß die Spitze des ersten Zeitwinkels für 3 sec auf der p_0 -Linie für $k = 2,75$ liegen, die des zweiten auf der für $k = 3,9$ und aller anderen auf der für $k = 4,2$. Die Fahrkraftlinien für das Bremsen aus verschiedenen Geschwindigkeiten decken sich deshalb nicht mehr. Man müßte daher für eine große Zahl von Abbremsgeschwindigkeiten V diese Ermittlungen durchführen. Da nun aber die Schaulinie für den Bremsklotzdruck zu Beginn stark ansteigt, so kann man den an-

steigenden Ast durch eine Senkrechte im Abstand 1,5 sec von der Nulllinie ausgleichen und von hier ab mit dem konstanten Höchstdruck $k = 4,2 \text{ kg/cm}^2$ rechnen. Nach dieser Annahme würde in den ersten 1,5 sec kein und dann der volle Bremsdruck wirken. Es kommt dann nur eine Fahrkraftlinie und zwar die mit $k = 4,2$ für das Bremsen aus verschiedenen Geschwindigkeiten in Frage. Man kann dann für Strecken gleicher Neigung das Eintragen der Zeitwinkeldreiecke von $V = 0$ aus beginnend bis zur Höchstgeschwindigkeit, von der abgebremst wird, fortsetzen und erhält so durch Übertragen der Abstände zwischen den Zeitwinkelspitzen und der p-Achse auf die Wegachse alle Bremswege für die verschiedenen Abbremsgeschwindigkeiten. Durch Einführung des konstanten Bremsklotzdruckes erhält man bis zu etwa 4% größere Zeitwerte und bis zu etwa 8% größere Wege als bei der Ermittlung mit der genauen k-Kurve. Da diese Fehler alle zugunsten der Sicherheit ausschlagen, so ist die Vereinfachung bei der geringen Fehlergröße unbedenklich und macht das Ergebnis nicht unzuverlässig. In Abb. 3b, Taf. 27 ist genau wie vorher unter Berücksichtigung der angegebenen Maßstäbe wieder für die Neigungen $s = +5\text{‰}$, $s = 0\text{‰}$ und $s = -5\text{‰}$ die Netztafel dargestellt. Links daneben (Abb. 3a, Taf. 27) sind für die verschiedenen Abbremsgeschwindigkeiten von 70 bis 20 km/h in gleichem Maßstab wie in den Netztafeln noch die Wege aufgetragen, die der Zug ungebremst weiterläuft 1. von der Aufnahme des Signals bis zum Eintritt der Bremswirkung, wofür 0,5 sec angenommen sind, und 2. für die nach obiger Annahme sich ergebenden 1,5 sec. Diese Wege werden zu den aus der Netztafel entnommenen reinen Bremswegen nur dann hinzugezählt, wenn es sich um Standortbestimmung von Signalen handelt. Bei Fahrzeitermittlungen sind die Zeiten für diese Strecken in der Bewegung für das Auslaufen mit enthalten.

10. Netztafel für den Stromverbrauch und für die Motorbeanspruchung (Abb. 4, Taf. 27).

Die elektrische Arbeit für einen Motor in der Zeit Δt ist

$$\Delta A_{eM} = \frac{E \cdot J \cdot \Delta t}{1000 \cdot 3600} \text{ kWh}$$

Da als Zeitintervall $\Delta t = 6 \text{ sec}$ gewählt ist und ein Viertelzug vier Motoren hat, so beträgt die elektrische Arbeit für einen Viertelzug in einem Zeitintervall Δt

$$\Delta A_{eZ} = \frac{E \cdot J \cdot 4 \cdot 6}{1000 \cdot 3600} \text{ kWh}$$

Da für die gleichbleibenden Zeitintervalle Δt sowohl die Wege Δl als auch die mittleren Geschwindigkeiten V_m durch die Zeitwinkelspitzen festliegen, so erhält man weiterhin die zugehörige elektrische Arbeit ΔA_{eZ} , wenn man diese Werte für die verschiedenen Schaltstufen über einer V-Achse gleichen Maßstabes wie im Fahrkraftdiagramm für das Anfahren aufträgt. Da Δl durch dieselbe Strecke wie V_m dargestellt wird, so kann man die Strecke Δl aus der Wegachse auf die V-Achse des A_{eZ} -Diagramms (Abb. 10) übertragen und als Ordinaten den zugehörigen Stromverbrauch abgreifen. Durch Aneinanderreihen dieser Ordinaten erhält man dann den Stromverbrauch in seinem zeitlichen Verlauf. An die Zeitstriche schreibt man noch die Endgeschwindigkeiten in den einzelnen Zeitintervallen (in runde Klammern gesetzt) aus dem Fahrkraftdiagramm für das Anfahren. Die Werte $E \cdot J$ kann man für die verschiedenen Geschwindigkeiten aus den Motorkennlinien (Abb. 1) berechnen. Der Maßstab für die elektrische Arbeit ist $1 \text{ kWh} = 50 \text{ mm}$. Für die Aufstellung des Betriebsplanes der Triebwagen ist die Berechnung der Motorbeanspruchung $B = J_D \cdot J_h$ erforderlich. Hierin ist der Dauerstrom

$$J_D = \sqrt{\frac{\Sigma J^2 \cdot \Delta t}{t_F + t_H}}$$

es ist $t_F + t_H$ die Fahrzeit + Haltezeit, $J_h = 267$ Amp. ist der Stundenstrom, der für den Motor auf Abb. 1 angegeben ist. Man kann für Motoren mit Eigenlüftung $B_{zul} = 0,65$ ansetzen. Daher darf $J_D = 0,65 \cdot J_h = 0,65 \cdot 267 = 174$ Amp. nicht übersteigen. Es ist nun für eine Fahrt aus obiger Gleichung für J_D der Faktor $\Sigma J^2 \cdot \Delta t$ zu ermitteln. Aus Abb. 1 rechnet man für die verschiedenen Schaltstufen und Fahrgeschwindigkeiten $J^2 \cdot \Delta t$ aus und trägt diese Werte wieder über einer V-Achse gleichen Maßstabes auf (Abb. 11), so daß man wieder für jede Δl bzw. V_m -Strecke als Ordinate $J^2 \cdot \Delta t$ in den einzelnen Zeitintervallen Δt abgreifen und durch Aneinanderreihen summieren kann. Man erhält so wieder den zeitlichen Verlauf von $\Sigma J^2 \cdot \Delta t$. Aus diesen Linien, die nicht besonders

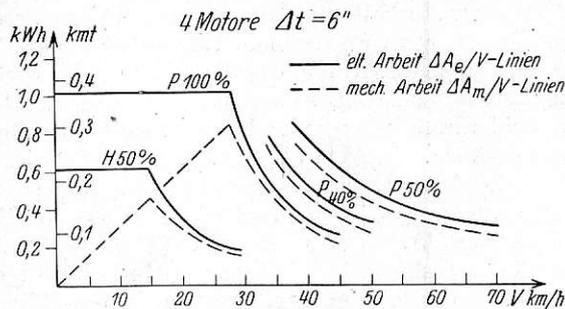


Abb. 10.

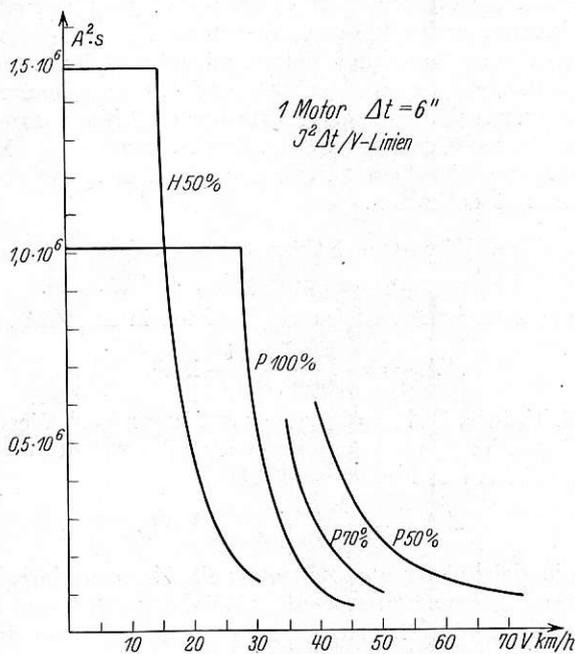


Abb. 11.

Maßstäbe für Abb. 10 und 11 bei zweifacher Vergrößerung:
 $V = 10 \text{ km/h} = 16,67 \text{ mm}$; $1 \text{ kWh} = 50 \text{ mm}$; $10^6 \text{ A}^2 \text{ s} = 100 \text{ mm}$.

dargestellt sind, kann man die obengenannten für den zeitlichen Verlauf des Stromverbrauchs ergänzen, indem man an die Zeitstriche, an die man bereits oberhalb der Achse die Endgeschwindigkeiten angeschrieben hat, unterhalb der Achse noch die $\Sigma J^2 \cdot \Delta t$ Amp² sec ($A^2 s$) anschreibt (in Klammern darunter gesetzt). Dies führt man wieder für die gleichen Steigungen wie oben durch, interpoliert die Geschwindigkeiten von 5 zu 5 km/h sowie die $A^2 s$ -Werte von $0,25 \cdot 10^6$ zu $0,25 \cdot 10^6$ und verbindet die Punkte gleicher Geschwindigkeiten und gleicher $A^2 s$. Man erhält so die von zwei Linienscharen durchzogene Netztafel für den Stromverbrauch.

11. Die mechanische Arbeit.

Die mechanische Arbeit eines Viertelzuges mit vier Motoren ΔA_{mZ} in der Zeit $\Delta t = 6 \text{ sec}$ ist mit $1 \text{ tkm} = 2,7225 \text{ kWh}$ in kWh umgerechnet

$$\Delta A_{mZ} = \frac{Z \cdot V \cdot 4 \cdot 2,7225 \cdot 6}{1000 \cdot 3600} \text{ kWh.}$$

Z.kg kann man aus Abb. 1 für die verschiedenen Geschwindigkeiten entnehmen und in derselben Weise wie die elektrische Arbeit und die Motorbeanspruchung für die verschiedenen Schaltstufen Diagramme über einer V-Achse auftragen (Abb. 10). Man kann dann den zeitlichen Verlauf der mechanischen Arbeit wieder zeichnerisch darstellen. Diese Darstellung wurde jedoch nicht in die Netztafeln einbezogen. In Abb. 1 ist der Wirkungsgrad einschließlich Vorgelege, das ist das Verhältnis der mechanischen zur elektrischen Arbeit, also $\eta = \frac{\Delta A_{mZ}}{\Delta A_{eZ}}$ in Abhängigkeit von der Stromstärke aufgetragen. So kann man jederzeit die mechanische Arbeit aus der elektrischen Arbeit umrechnen.

12. Der Einfluß der Besetzung des Zuges auf Fahrzeit, Stromverbrauch und Motorbeanspruchung.

Die Netztafeln sind entworfen für den besetzten Viertelzug mit $G = 87,1 \text{ t}$, dessen Leergewicht $G_0 = 64,6 \text{ t}$ beträgt. Es ist noch zu untersuchen, wie durch die Veränderung des Gewichts innerhalb dieser Grenzen die obigen Verbrauchswerte beeinflusst werden. Für den Fall, daß das Gefälle gleich dem mittleren Laufwiderstand w_m ist (4‰), verhalten sich die Fahrkräfte je t $\frac{Z}{G} = p + w$ und $\frac{Z}{G_0} = (p + w)'$ des besetzten Zuges zu denen des leeren Zuges umgekehrt wie die Gewichte, also $\frac{p + w}{(p + w)'} = \frac{G_0}{G}$. Will man für zwei verschiedene Zuggewichte die Anfahrbewegung mit denselben Geschwindigkeitsänderungen je Δt bis zur gleichen Höchstgeschwindigkeit aufzeichnen, so verhalten sich die zwei Zeitwinkel — und damit auch die zwei Zeitintervalle — umgekehrt wie die Fahrkräfte, d. h. verhältnismäßig den Zuggewichten. Die Anzahl der Zeitintervalle bleibt gleich, aber die Anfahrzeiten verhalten sich entsprechend den Zeitintervallen wie die Gewichte (Abb. 12). Da nach vorstehendem $\sum_0^{2n-1} \frac{\Delta V}{2} = V_m = \frac{\Delta l}{\Delta t}$, so verhalten sich die Anfahrwege bei denselben Geschwindigkeiten wie die Zeiten, also auch wie die Gewichte. Diese einfachen Proportionen treffen aber für andere Werte s nicht mehr zu, weil dann von den Motorbeschleunigungskräften je t Zuggewicht sowohl beim leichten als auch beim schweren Zug der gleiche Betrag s abgezogen wird, wodurch dann das Verhältnis der Fahrkräfte und Gewichte nicht mehr proportional bleibt. Es wurden für einen besetzten und einen leeren Zug auf der Steigung $s = +5\text{‰}$ für die gleichen Höchstgeschwindigkeiten Anfahrzeit, Stromverbrauch und Motorbeanspruchung ermittelt. Hier zeigt sich, daß diese Werte sich nicht mehr wie die Gewichte verhalten, sondern daß der Stromverbrauch bis zu 5% geringer, aber die Motorbeanspruchung B bis zu 15% größer ist als dieses Verhältnis.

Die Zeiten und die Wege beim Anfahren können also als proportional mit dem Gewicht des Zuges veränderlich angenommen werden. Die Zeiten für das Auslaufen und das Bremsen zwischen zwei Geschwindigkeiten werden durch verschiedene Gewichte des Zuges nicht wesentlich geändert.

Da mit Rücksicht auf die Fahrplandurchführung leichte und schwere Züge zwischen zwei Bahnhöfen die gleichen Fahrzeiten haben müssen, ist durch Probieren hinsichtlich der Anfahrhöchstgeschwindigkeit die gleiche Gesamtfahrzeit leichter und schwerer Züge durch Anstoßen zu ermitteln.

Wenn man also den Stromverbrauch des Leerzuges aus dem für den besetzten Zug aus dem Verhältnis der Gewichte berechnet, so erhält man etwas zu viel Stromverbrauch. Die Motorbeanspruchung darf aber auch beim besetzten Zug

den zulässigen Höchstwert nicht überschreiten, sie liegt daher beim leichteren Zug auf alle Fälle unter diesem Höchstwert.

B. Die Verwendung der Netztafeln.

1. Fahrzeit, Stromverbrauch, Motorbeanspruchung und mechanische Arbeit einer Fahrt zwischen zwei Bahnhöfen.

Aus den Netztafeln kann man für alle Streckenverhältnisse (Neigungen und Krümmungen) und Fahrweisen die Fahrzeit, den Stromverbrauch, die mechanische Arbeit und die Motorbeanspruchung in einfachster Weise entnehmen und durch Summierung (Anstoßen) die entsprechenden Werte für eine Fahrt zwischen zwei Bahnhöfen finden. Es soll z. B. die Fahrt eines Viertelzuges für einen Haltestellenabstand von 800 m auf einer geraden Steigung von $s = +5\text{‰}$ ermittelt werden. Der Strom soll bei $V = 45 \text{ km/h}$ abgestellt werden. Aus der Netztafel für das Anfahren entnimmt man als Anfahrstrecke 270 m mit der Anfahrzeit 35 Sek. (Abb. 1, Taf. 28). Für die Reststrecke $800 - 270 = 530 \text{ m}$ entnimmt man aus der Auslaufnetztafel von $V = 45 \text{ km/h}$ ab die Endgeschwindigkeit $V = 29,6 \text{ km/h}$. Sodann liest man aus der Netztafel für das Bremsen für die Abbremsgeschwindigkeit $V = 30 \text{ km/h}$ den Bremsweg 20 m und die Bremszeit 4 Sek. ab. Die tatsächliche Auslaufstrecke beträgt dann $530 - 20 = 510 \text{ m}$, hierfür entnimmt man die Zeit für das Auslaufen aus der Netztafel bei $V = 45 \text{ km/h}$ mit $t = 48 \text{ Sek.}$ sowie bei $V = 30 \text{ km/h}$ mit $t = 96 \text{ Sek.}$ zu $96 - 48 = 48 \text{ Sek.}$ Die Anfahrstrecke (stark ausgezogen), Auslaufstrecke (schwach ausgezogen) und die Bremsstrecke (anschraffiert) reiht man auf einer Wage rechten aneinander und schreibt an die Trennpunkte über derselben die Zeiten fortlaufend und darunter die Geschwindigkeiten an (Abb. 1, Taf. 28). Die Werte für den Stromverbrauch usw. sind an die Abb. angeschrieben. Für den Leerzug wurde unter Beibehaltung etwa der gleichen Gesamtfahrzeit für dieselbe Strecke diese Ermittlung wiederholt. Das gleiche wurde durchgeführt für $l = 1250 \text{ m}$ und $l = 2000 \text{ m}$ Haltestellenabstand. Man sieht, daß die Höchstgeschwindigkeit für das Anfahren zur Erreichung gleicher Gesamtfahrzeiten bei leerem und besetztem Zuge nur ganz wenig zu ändern ist. Setzen sich, wie es oft der Fall ist, die Fahrstrecken zwischen zwei Haltepunkten aus verschiedenen Neigungen zusammen, so kann man für jede Neigungsstrecke Fahrzeit und Endgeschwindigkeit in der entsprechenden Netztafel abgreifen und aneinanderstoßen; die in den Netztafeln eingetragenen Linien gleicher Geschwindigkeiten sind die geometrischen Orte für das Anstoßen. Diese Linien bilden also das Gemeinsame der verschiedenen Netztafeln.

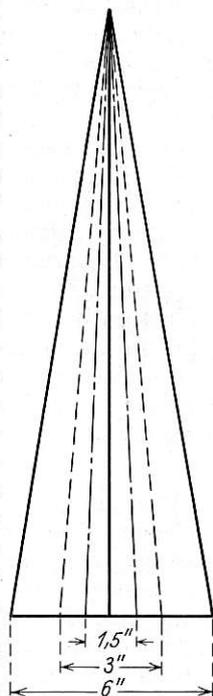
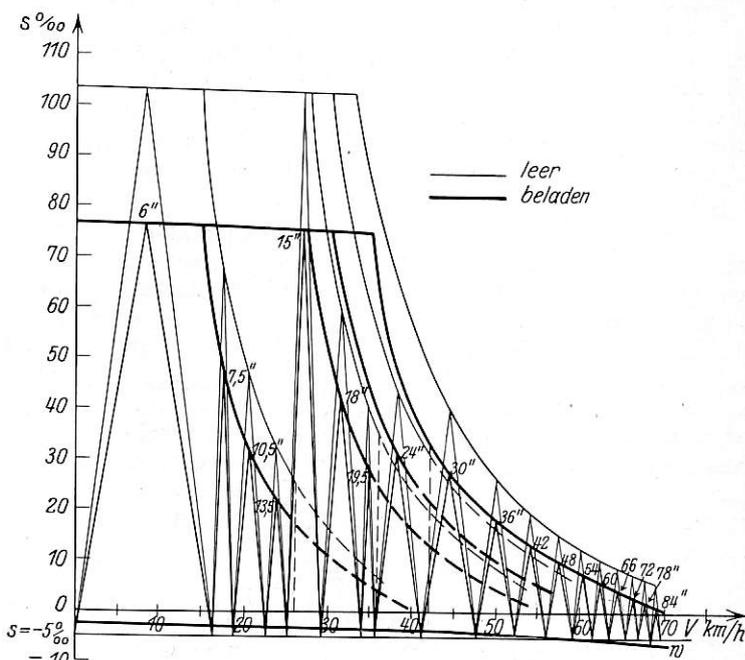


Abb. 12. Viertelzug, Anfahren auf $s = -5\text{‰}$. Maßstäbe wie auf Abb. 2.

Hierbei wird man gewisse Überschreitungen der Geschwindigkeit gegenüber der planmäßigen vor Beginn des Bremsens in Ansatz bringen. Die Einfahr- und Zwischensignale, nicht aber die Ausfahrtsignale, werden im Abstand der Schutzstrecke vor dem Isolierstoß aufgestellt. Das Bremsen durch Auslösen der Fahrsperrre oder durch den Triebwagenführer bei Halt zeigendem Zwischen- oder Einfahrtsignal soll aber nur in Ausnahmefällen erfolgen. Die Regel ist, daß diese Signale bereits auf Fahrt stehen, wenn die Spitze des Zuges sich dem Signal auf Bremswegabstand genähert hat. Da für das Freisein einer Blockstrecke die letzte Zugachse maßgebend ist, so ist die Sichtstrecke gleich Bremsweg + Zuglänge. Falls der Triebwagenführer die Bremse auslöst, würde zum eigentlichen Bremsweg noch der Weg der ungebremsten Fahrt während etwa 0,5 Sek. — von der Signalbeobachtung bis zum Eintritt der Bremswirkung — hinzuzuzählen sein. Wird die Bremse durch die Fahrsperrre ausgelöst, so fällt dieser Betrag fort. Auf Abb. 2, Taf. 28 sind für die Strecke Bellevue—Tier



2. Schutz- und Sichtstrecken sowie Stationierung der Signale.

Wenn ein Zug ein auf Halt zeigendes Signal überfahren hat und dabei die Fahrsperrre ausgelöst wurde, so muß er zum Halten kommen, bevor die Zugspitze den Blockabschnitt erreicht hat, den das Signal decken soll. Der Blockabschnitt ist beiderseits durch einen Isolierstoß begrenzt. Der Abstand des Signals vom Isolierstoß — Schutzstrecke — muß mindestens so groß sein wie die Bremsstrecke des Zuges. Die Schutzstrecken können aus den Netztafeln ermittelt werden.

garten die Signale eingetragen, sowie die dazugehörigen Isolierstöße, Schutz- und Sichtstrecken. Der Zug hat bei kürzesten Fahrzeiten bei Vorbeifahrt des Zugschlusses, für den die Fahrzeiten eingetragen sind, an dem Einfahrtsignal 80 die Geschwindigkeit $V = 69 \text{ km/h}$. Zur Sicherheit sei angenommen, daß diese Geschwindigkeit schon erreicht ist, wenn die Zugspitze am Signal 80 ist. Die mittlere Neigung zwischen Signal 80 und dem Isolierstoß ist $s = 2\text{‰}$. Aus der Netztafel für das Bremsen wird der Weg 144 m abgelesen. Hierzu kommt noch der Weg für den ungebremsten Zug während 1,5 Sek. für $V = 69 \text{ km/h}$ mit 29 m. Der Weg für die Reaktionszeit fällt fort, da die Bremse durch die Fahrsperrre ausgelöst wird. Es kommt hiernach ein Signalabstand von $144 + 29 = 174 \text{ m}$ in Frage, der mit dem im Schutz- und Sichtstreckenplan der S-Bahn genau übereinstimmt. Für den ganzen Zug ist die Zuglänge 140 m. Unter der ungünstigen Annahme der auf der Strecke vorkommenden Höchstgeschwindigkeit von 69 km/h muß die Sichtstrecke sein $174 + 140 = 314 \text{ m}$; gewählt wurden 320 m.

3. Zugfolgezeit und Stromverbrauch.

Die Zugfolgezeit bei Einfahr- und Zwischensignalen ist die Fahrzeit des ersten Zuges von der Abfahrt bis

zum Isolierstoß + der Signalstellzeit vermindert um die Fahrzeit des zweiten Zuges von der Abfahrtsstelle bis zum Beginn der zugehörigen Sichtstrecke. Die Zugfolgezeit bei Ausfahrtsignalen ist gleich der Fahrzeit von der Abfahrtsstelle des Zugschlusses bis zum Isolierstoß der vorgelegenen Blockstrecke + der Signalstellzeit + der Abfertigungszeit nach der Signal-fahrt-Stellung. Die Stellzeit für selbsttätige Signale wird mit 1 Sek., die Abfertigungszeit mit 6 Sek., die Aufenthaltszeit mit 25 Sek. angenommen. Die Unterschiede zwischen der fahrplanmäßigen Zugfolgezeit und den vorstehend angegebenen Zugfolgezeiten sind die Zeitrückhalte vor den einzelnen Signalen. Sind mit Rücksicht auf Verspätungsmöglichkeiten diese Zeitrückhalte etwas knapp, so empfiehlt es sich, — besonders vor der Einfahrt in verkehrsreiche Bahnhöfe mit zeitweilig besonders hohen Aufenthalten oder auf Bahnhöfen mit langen Einfahrtschutzstrecken — Nachrücksignale aufzustellen. Der Isolierstoß für das Nachrücksignal ist in der Bahnsteigmitte angeordnet, das Nachrücksignal selbst ist um die Schutzstrecke vorgerückt. Das Einfahrtsignal geht dann bereits in Fahrstellung, sobald die letzte Achse des abfahrenden Zuges über dem Isolierstoß des Nachrücksignals gefahren ist und nicht erst, wenn diese Achse den Isolierstoß hinter dem Ausfahrtsignal passiert hat. Hierdurch werden in der Regel Verspätungen durch Aufenthaltsüberschreitungen vermieden, ohne daß die fahrplanmäßige Zugfolge vergrößert zu werden braucht.

Auf Abb. 2, Taf. 28 sind für einen besetzten Ganzzug auf der Strecke Bellevue—Tiergarten die jeweiligen Fahrzeiten ermittelt, wenn bis zu $V=69, 60, 56, 52, 48$ und 44 km/h Strom gegeben wird. Es wurden für diese sechs Fälle die Fahrzeiten an die Wegachse zu Beginn der Sichtstrecken, an den Isolierstößen (durch Nullenkreise gekennzeichnet) sowie bei Abstellen des Stromes angeschrieben. Ferner wurden unter der Wegachse die Geschwindigkeiten beim Stromabstellen und bei Bremsbeginn eingetragen, sowie der Stromverbrauch für den Viertelzug und die Motorbeanspruchung auf der Anfahrtsstrecke. Der Dauerstrom J_D berechnet sich dann zu

$$J_D = \sqrt{\frac{\sum J^2 \cdot \Delta t}{t_F + t_H}} = B \cdot J_h$$

gleich der Motorbeanspruchung \times Stundenstrom ($J_h = 267$ Amp.). Diese Angaben sowie der Stromverbrauch für den Ganzzug befinden sich rechts neben den Wegachsen. Wenn der Strom bei $V \geq 56$ km/h abgestellt wird, so wird die zulässige Motorbeanspruchung $B_{zul} = 0,65$ überschritten. Über der Wegachse sind die zu den vorgelegenen Blockstrecken gehörigen Signale eingetragen, an die — unter Berücksichtigung der Signalstellzeit — die Signalfreigabe, von der Abfahrt im Bahnhof Bellevue an gerechnet, und die möglichen Zugfolgezeiten angeschrieben sind. Auf Abb. 3, Taf. 28 wurden der Stromverbrauch und die Motorbeanspruchung über Fahrzeit, bzw. Zugfolgezeit des besetzten Ganzzuges für diese Strecken aufgetragen. Für die zulässige Motorbeanspruchung $B = J_D : J_h = 0,65$ ergab sich eine Fahrzeit von 99 Sek., der ein Stromverbrauch von 16,5 kWh und eine Zugfolgezeit von 83 Sek. entspricht.

4. Das Einholen von Verspätungen.

Die verspätete Freigabe eines Ausfahrtsignals kann im allgemeinen durch längere Stromgabe und daher schnelleres Fahren wieder ausgeglichen werden. Muß aber ein Zug vor einem Einfahrtsignal halten, so überträgt sich bei dichter Zugfolge die Verspätung auf die nachfolgenden Züge. Es ist

dann durch eine Verspätungskurve (nach Pforr, Abb. 4b, Taf. 28) zu ermitteln, nach wieviel Zügen der normale Fahrplan wieder erreicht werden kann. In Abb. 4a, Taf. 28 ist angenommen, dass ein besetzter Ganzzug mit der Zugspitze vor dem Signal 80 der Strecke Bellevue—Tiergarten halten und 20 Sek. warten muß. Der Zug braucht dann 135 Sek. Fahrzeit bis Bahnhof Tiergarten, die für den Zugschluß aufgetragen sind. Durch Vergleich mit Abb. 2, Nr. 4, Taf. 28 als Regelfahrt ergibt sich eine Verspätung von 35 Sek. Beim Aufenthalt im Bahnhof Tiergarten besetzt der Zug auch die Strecke zwischen den Isolierstößen 80 und 82. Dadurch wird das Signal 80 erst 176 Sek. nach der Abfahrt des Zuges im Bahnhof Bellevue frei. Der nach 90 Sek. folgende zweite Zug kann an diesem Signal 80, also erst nach $176 - 90 = 86$ Sek. weiterfahren. Da er schon 75 Sek. nach seiner Abfahrt am Signal steht, hat er dort 11 Sek. Wartezeit. Er gibt dieses Signal 167 Sek. nach seiner Abfahrt im Bahnhof Bellevue frei, der nach ihm folgende dritte Zug kann daher erst wieder $167 - 90 = 77$ Sek. nach seiner Abfahrt im Bahnhof Bellevue vor dem Signal 80 anfahren. Seine Wartezeit beträgt dann $77 - 75 = 2$ Sek. Er gibt das Signal 158 Sek. nach seiner Abfahrt im Bahnhof Bellevue frei. Der nächste (vierte) Zug erhält es also $158 - 90 = 68$ Sek. nach seiner Abfahrt frei, nachdem er von der 67. Sekunde vor dem Signal 80 gebremst hatte. Die Bremsung wird in der 69. Sekunde unterbrochen und der Zug rollt in den Bahnhof Tiergarten. Er gibt das Signal 80 dann 148 Sek. nach seiner Abfahrt im Bahnhof Bellevue frei. Für den nachfolgenden Zug ist dieses Signal auf „Fahrt frei“ in $148 - 90 = 58$ Sek. nach dessen Abfahrt im Bahnhof Bellevue, er erhält also keine Verspätung mehr. Rechts neben dieser Ermittlung wurde die Verspätungskurve aufgetragen (Abb. 4b, Taf. 28), die die Abhängigkeit der Verspätung des Nachzuges von der Verspätung des Vorzuges zeigt.

5. Schluß.

Die vorstehend beschriebenen Netztafeln für einen Zug mit gegebenem Motor stellen die Zugbewegung für das Anfahren, Auslaufen und Bremsen, sowie den Stromverbrauch und die Motorbeanspruchung für alle Neigungsstrecken der in Frage kommenden Bahn dar, so daß man hieraus die Werte für alle möglichen Betriebsstrecken und Betriebslagen durch einfache Addition (Anstoßen) finden kann. Die Anstoßmöglichkeit wird dadurch erreicht, daß alle Netztafeln von Linienscharen gleicher Geschwindigkeiten durchzogen sind. Die Netztafeln können deshalb unmittelbar aus den Fahrzeitstreifen und den Stromverbrauchsstreifen aufgebaut werden, weil diese den Fahrweg, die Fahrzeiten, die mittleren und die Endgeschwindigkeiten der Zeitintervalle und jene den Stromverbrauch, die Motorbeanspruchung, die Fahrzeiten und Geschwindigkeiten in einer Dimension (Achse) darstellen. Diese Grundwerte sind in den drei wagerechten Grundlinien der Netztafeln eingetragen, so daß deren Entstehung jederzeit nachgeprüft werden kann. Das Verfahren setzt daher an Stelle der zweidimensionalen Fahrtafel der Geschwindigkeiten nach Zeit und Weg die nach Zeit und Geschwindigkeit unterteilte Gleisachse und an Stelle der umfangreichen Zugfolgepläne (vgl. Archiv für Eisenbahnwesen 1927, Taf. 13) zur Festlegung der Zugfolge eine der Ermittlungen der möglichen Zugfolgezeit auf Abb. 2, Taf. 28.

Zum Schluß möchte ich noch dem Assistenten bei meinem Lehrstuhl, Herrn Dipl.-Ing. Hähnel, sowie Herrn Dipl.-Ing. Potthoff meinen besonderen Dank für die Hilfe bei der Bearbeitung des Beispiels aussprechen.

Das Langschienengleis auf Eisenbetonschwellen.

Von Dipl.-Ing. J. Nemcsek, Budapest.

1. Der Vorschlag.

Das Ziel für die künftige Entwicklung des Oberbaues ist das lückenlose Gleis, das nicht nur eine ruhige Fahrt sichert, sondern auch vom Oberbau und von den Fahrzeugen den überwiegenden Teil der zerrüttenden dynamischen Kräfte fernhält.

Dem Durchschweißen des Gleises steht aber heute bei dem Querschwellengleis noch die drohende Gefahr der Gleisverwerfung und das Entstehen einer ansehnlichen zusätzlichen Spannung im Wege.

Es läßt sich aber beiden Übeln abhelfen, und das um so mehr, da heute die Größenordnung der dafür maßgebenden Kräfte bekannt ist.

Die zusätzliche Spannung läßt sich ohne Vergrößerung des Schienenquerschnitts zum Teil dadurch wettmachen, daß man die Schienenunterstützungen dichter anordnet, sie u. U. sogar verdoppelt, wodurch die Schienenspannungen sich der Nutzlast entsprechend verringern. Auch kann diese Spannung durch zweckentsprechende Verteilung der Bettungsgegenkräfte beeinflußt werden.

Eine solche Vermehrung der Schienenunterstützungen läßt sich bei dem Querschwellenoberbau nicht voll erreichen, da ein Schwellenabstand von etwa 60 cm schon ziemlich die untere Grenze bildet. Dagegen läßt sich aber die Vergrößerung der Stützfläche mit der Langschwelle, der Zwillingsschwelle und durch Vereinigung von Querschwellen und Langschwellengliedern leicht herstellen. Der Vorschlag des Verfassers läuft auf eine solche Verbindung des Querschwellen- und Langschwellensystems hinaus, wobei auf jede Querschwelle beiderseitig dicht je ein getrenntes Langschwellenstück in Blockform mit zwei nahen Schienenauflegestellen folgt (Abb. 1).

Die zusätzlichen Spannungen der verminderten Wärmedehnung werden durch die geringeren Biegespannungen vermöge der sehr dichten Folge der Schienenunterstützungen zum Teilaufgewogen. Der Verwerfungsgefahr in wagerechter Ebene wirkt der sehr große seitliche Widerstand der gewählten Unterschwellungsart entgegen; denn die Widerstandsfläche ist ungefähr dreimal größer als beim Querschwellenoberbau. In lotrechter Ebene wird die Verwerfungsgefahr durch das ansehnliche Gewicht der Eisenbetonblöcke und -Schwellen behoben.

Bewehrter Grobmörtel hat zwar für Schwellen in Hauptbahngleisen bisher nirgends entsprochen. Aber bei der vorgeschlagenen Anordnung kann man auch bei Hauptbahnen auf Dauerhaftigkeit rechnen. Der auf einen Stützpunkt entfallende „Schienendruck“ ist vermöge der außerordentlich dichten Folge der Schienenunterstützungen bedeutend vermindert. Ferner wird durch die günstige Form der Schwellen und Blöcke die Beanspruchung des Betons und der Schienenbefestigungsmittel gering. Endlich verbürgen die Langschienen eine bedeutende Herabminderung der dynamischen Kräfte.

Wichtig ist, daß bei dem vorgeschlagenen Oberbau auch die Beanspruchung der Bettung und des Untergrundes geringer, gleichmäßiger und günstiger ist. Das muß mitsamt dem Wegfall der „Stöße“ in der Gleisunterhaltung ganz beträchtliche Ersparnisse nach sich ziehen. Zudem sind die Kosten der Neuherstellung trotz der bedeutend größeren Leistungsfähigkeit und längeren Lebens-

dauer nicht höher als die eines üblichen Querschwellenoberbaues.

2. Die Beanspruchung der Schiene bei dem neuen Oberbau und seine größere Sicherheit gegen Schienenbruch.

a) Statische Beanspruchungen durch die Betriebslasten.

In Europa sind die zwei für Neubauten und Entwürfe von den Eisenbahnbrücken maßgebenden schwersten Lastenzüge: der Lastenzug N der Reichsbahn und der Lastenzug des internationalen Eisenbahnverbandes (Florenz, April 1924). Berechnung und Versuche zeigen, daß bei gleichen Achsgewichten die eng aufeinander folgenden „beiderseitig eingespannten“ Achsen die kleinsten, die weiter entfernt voneinander stehenden (die sogenannten „freien“ nach Dr. Bloss) die größten Spannungen in der Schiene hervorrufen. So ist es möglich, daß die 22 t schweren Achsen des Lastenzuges des internationalen Eisenbahnverbandes größere Schienen-

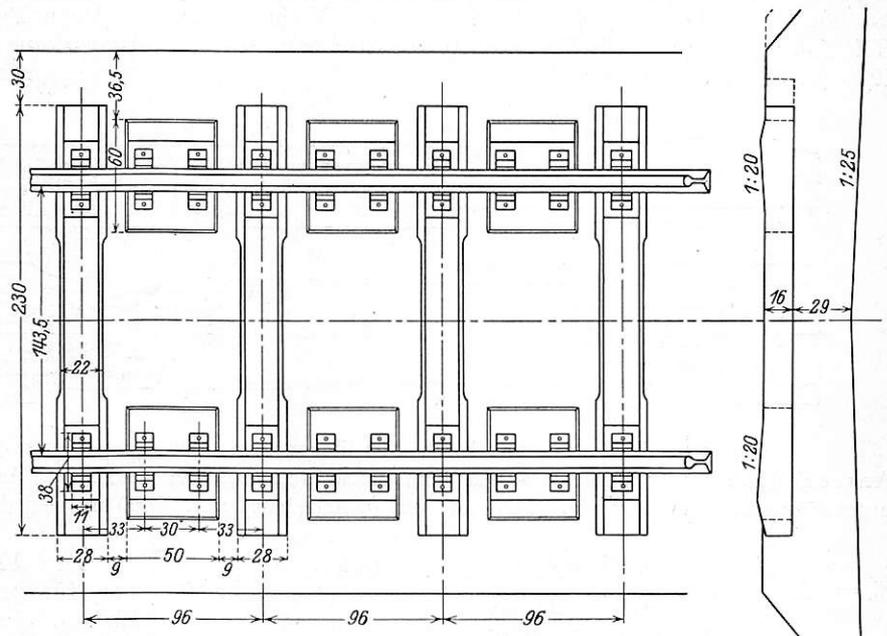


Abb. 1.

anstrengung hervorrufen, als die 25 t schwere Achsen des Lastenzuges N, da im letzten keine „freie“ Achsen vorkommen, während die Tenderachsen der Lastengruppe des überstaatlichen Verbandes als frei betrachtet werden können. Die nachfolgenden Berechnungen sind somit auf diesen ganz seltenen und ungünstigsten Fall einer „freien Achse“ von 22 t Gewicht bezogen.

Es sind zum Vergleich mehrere Rechnungsarten für denselben Fall angewendet.

Angaben: Schiene S. 49, $J = 1781 \text{ cm}^4$, $W = 234 \text{ cm}^3$,

Raddruck $P = \frac{22000}{2} = 11000 \text{ kg}$, „Schwellenentfernung“ =

= Entfernung der Unterstützungsstellen = $k = \frac{33 + 30 + 33}{3} =$

= 32 cm (s. Abb. 1).

a) Sächsische Formel:

$$\sigma = (0,18 + 0,0009 \cdot 32) \frac{11000 \cdot 32}{234} = 314,2 \text{ kg/cm}^2.$$

b) Achsstandformel:

$$\sigma = 0,25 \frac{11000 \cdot 32}{234} = 376 \text{ kg/cm}^2.$$

c) Winkler:

$$\sigma = 0,1888 \frac{11000 \cdot 32}{234} = 284 \text{ kg/cm}^2.$$

d) Nach Dr. Zimmermann, Diehl, Ritter, Kratschkowsky. (Die Verfahren stehen in naher Verwandtschaft und geben praktisch dasselbe Ergebnis.)

$$B = \frac{6 \cdot 2150000 \cdot 1781}{32^3} = 702,500 \quad D = 21333 \text{ (siehe unter „f“)}$$

$$\gamma = \frac{B}{D} = 34,60; \quad M = \frac{8 \cdot \gamma + 7}{4 \cdot \gamma + 10} 11000 \frac{32}{4} : 234 = 722 \text{ kg/cm}^2.$$

Ist $c = 6$ und nicht 10 wie bei obigem Wert von D , so wird $\sigma = 746 \text{ kg/cm}^2$.

e) Berechnung nach amerikanischem Vorbild als reiner Langschwellenoberbau.

$$x_0 = 42,2 \sqrt[4]{\frac{1781 \cdot 32}{21333}} = 54,1 \text{ cm}$$

$$\sigma = 0,318 \cdot 11000 \cdot 54,6 : 234 = 809 \text{ kg/cm}^2.$$

f) Berechnung nach dem Verfahren des stellvertretenden Langschwellenoberbaues.

Nach Gleichung 2) des Aufsatzes vom Verfasser im Heft 5 des „Organs für die Fortschritte des Eisenbahnwesens“ 1930 (S. 82) haben wir*):

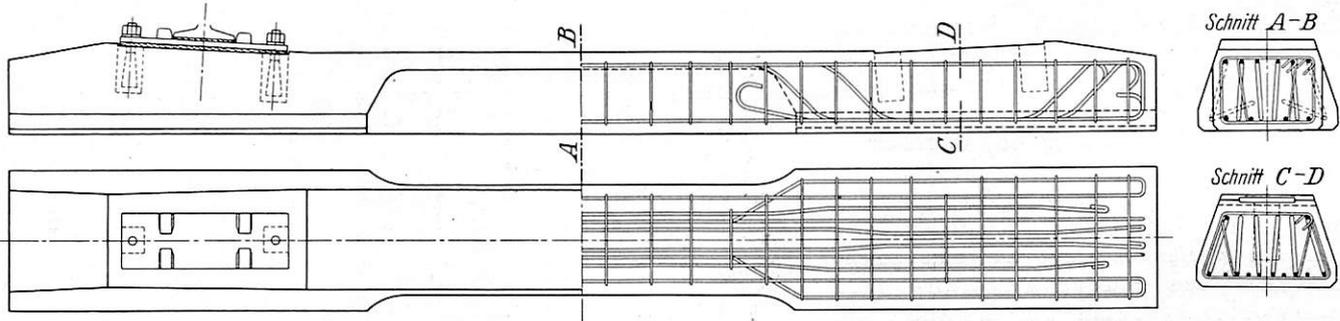


Abb. 2. Eisenbetonquerschleife für lückenlosen oder Langschienen-Oberbau (Rundeisen Durchmesser 8 mm).

Anmerkung: Statt Steinschrauben können Schwellenschrauben S 85 in Asbestblöcken angewendet werden. Bei Schienenunterstützungsentfernung von 32 cm und einem Achsdruck von 25000 kg wird der Schienendruck mit $c = 10$ und $\mu = 1,5$ nur 3750 kg.

$$x_0 = 42,2 \sqrt[4]{\frac{1781 \cdot 32 + 0,0292 \cdot 133,3 \cdot 10000}{21333}} = 62,0 \text{ cm}$$

$$\sigma = \frac{0,318 \cdot 11000 \cdot 62,0}{234 + 0,0292 \frac{133,3}{32} \cdot \frac{17}{2 \cdot 7 \cdot 4} \cdot 1176} = 545 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Formeln bilden eine für Querschwellengleise dienende Erweiterung der Formeln für das Langschwellengleis und liefern nachweisbar unter allen Formeln die mit den Versuchsergebnissen am besten übereinstimmenden Werte. Die Formeln weisen auch die größte Variabilität auf, wodurch sie sich der Eigenart jedes einzelnen Falles anschmiegen können. Selbst dieses neue Oberbaugeschilde läßt sich durch die letzte Rechnungsart verlässlich erfassen, ja noch genauer als der reine Querschwellenoberbau. Wenn die ersten drei Berechnungsarten auch geringere Spannungen liefern, muß doch erklärt werden,

*) Es wurde bei diesem Oberbau entsprechend den Detailplänen (s. Abb. 2 und 3) die durchschnittliche Länge zu $l = (230 - 70) + 4 \cdot 60 : 3 = 133,3 \text{ cm}$, λ zu $0,9 \frac{Eb}{Ec} = 0,9 \frac{140000}{2150000} = 0,0292$, J'' zu $\frac{1}{3} \left[\left(\frac{28 + 19}{2} \right) + 2 \cdot 25 \right] \frac{17^3}{12} = 10000 \text{ cm}^4$, W zu $\frac{10000}{1/217} = 1176 \text{ cm}^3$ berechnet.

$$\text{Weiter ist } D = uk = \frac{1,4 \cdot 10 \cdot 3000 + 10 \cdot 2200}{96} 32 = 21333 \text{ kg.}$$

Die Auflagefläche eines Blocks ist nämlich 3000 cm^2 und die einer Halbschwelle 2200 cm^2 . Die Zahl 1,4 ist der „Formfaktor“ der Bettungsziffer bei mehr quadratischer Auflagefläche. (Der Begriff wurde neuerdings von Prof. Dr. Otzen eingeführt.)

daß sie auf den vorliegenden Fall wahrscheinlich weniger gut anwendbar sind als dies letzte Verfahren. (Zimmermann, Ritter liefern immer zu hohe Werte und noch höhere Werte erhält man bekanntlich, wenn die Formeln des Langschwellengleises ohne weiteres auf das Querschwellengleis angewendet werden.)

Die so erhaltene Spannung von 545 kg/cm^2 entspricht einer Bettungsziffer $c = 10$. Reichsbahnrat Faatz fand für gestampfte Bettung $c = 14,3$. Bei $c = 6$, also im ungünstigsten Falle bei Hauptbahnen, wird $\sigma = 618 \text{ kg/cm}^2$, und bei festgefrorener Bettung mit $c = 20 \text{ kg/cm}^3$ wird dagegen $\sigma = 459,0 \text{ kg/cm}^2$.

Eingehende Untersuchungen zeigen, daß eine einseitig eingespannte Achse von 25 t Druck kein größeres pos. Moment hervorrufen kann, ebensowenig zwei solche Achsen in der ungünstigsten Stellung ein größeres neg. Moment als die 22 t schwere freie Achse.

b) Dynamische Beanspruchungen.

Das Herabdrücken der Nutzspannungen selbst um einen geringen Betrag ist deshalb wichtig, weil die dynamischen Einwirkungen sich als Vervielfältigung der statischen Beanspruchung auswirken.

Der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen schlägt vor, für den Einfluß der Geschwindigkeit (und wohl auch für die übrigen dynamischen Einflüsse) als Beiwert (Stoßziffer) $\mu = 1 + \frac{V^2}{30000}$ zu benutzen. Für $v = 150 \text{ km/Std.}$ erhalten wir $\mu = 1,75$. Nimmt man bei Bogenfahrt für den Einfluß der wagerechten Momente 100% der lotrechten statischen Spannungen an, rechnet man mit $\mu = 1 + \frac{150^2}{30000} = 1,75$ und rechnet man weiter nach sächsischen Versuchen für Maximalwerte um 40% höhere Werte als die nach den Formeln gewonnenen Durchschnittlichen, so erhalten wir für die gesamte Stoßziffer $\mu = 1 + 1,4 \cdot 1,75 = 3,45$. Desprets berechnet ebenfalls für eine Geschwindigkeit von 150 km/Std. für den Entwurf eines Schienenquerschnitts bei Dampflokomotive und einem Bogen von $R = 1000 \text{ m}$ den dynamischen Faktor zu $\mu = 3,5$ (Bulletin 1924).

c) Zusätzliche Wärmespannungen.

Ihre Größe ist $\sigma = \alpha E t = 0,0000115 \cdot 2150000 t = 24,7 t \text{ kg/cm}^2$, wo t die Differenz, der äußersten Temperatur und der Verlegetemperatur bedeutet, bei der die Schiene spannungslos ist*).

Die durch die behinderte Wärmedehnung hervorgerufene

*) Siehe den Aufsatz des Verfassers im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1928, H. 16, und besonders den von Prof. Ammann und Dr. Gruenewaldt im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1929, H. 14 und 22.

größte zusätzliche Spannung ist somit, da man in Deutschland mit einem Schienentemperaturunterschied von 80°C zwischen -30 und $+50^{\circ}\text{C}$ zu rechnen hat, bei einer Verlegetemperatur von 2° bis 10°C im ungünstigsten Falle und ganz selten im Winter
 $= 24,7 (30 + 10) = 988 \text{ kg/cm}^2$ Zugspannung und im Sommer
 $= 24,7 (50 - 2) = 1186 \text{ kg/cm}^2$ Druckspannung.

Kann man aber durch Vorspannung oder durch chemische Kühlung der zusammenschweißenden Schienen die ideale Verlegetemperatur 6°C erreichen, so ist die größte Druckspannung nur 1090 kg/cm^2 .

Die Verlegetemperatur ist dabei so angesetzt worden, daß die Zugspannungen kleiner ausfallen. Die Sommerdruckspannungen sind nämlich überhaupt nicht kritisch, da ja eine Schiene nie durch Druck, sondern immer nur durch Zug zum Bruch kommt. Im Winter addieren sich aber im Schienenfuß die Zugspannungen der pos. Momente der Nutzlasten mit der zusätzlichen Winterzugspannung. Im Sommer ist der Schienenfuß demnach beim lückenlosen Gleise gegen den Einfluß der Nutzlasten besser geschützt als bei der Kurzschiene, es besteht also größere Sicherheit gegen Schienenbruch.

Es sei hier besonders betont, daß Kältegrade unter -20°C nicht in jedem Jahr vorkommen, und daß Kältegrade von -30°C selten sind und gewöhnlich nur wenige Stunden andauern.

Auch ist zu bemerken, daß in den heutigen Langschienen der Reichsbahn von 30 und 60 m fast eben so hohe Zusatzspannungen entstehen wie bei der lückenlosen Schiene (siehe „Org. Fortschr. Eisenbahnwes.“ 1931, H. 8, Aufsätze des Dir. Wattmann und des Verfassers).

d) Die Gesamtbeanspruchung der Schiene.

Die Beanspruchung der Schiene würde sich nach Berechnung gemäß dem Vorschlag des VDE. bei 150 km Geschwindigkeit und unter Zuziehung der größten Winterzugspannung nach obenberechneten Werten ergeben zu
 $\sigma = 1,75 \cdot 376 + 988 = 1650 \text{ kg/cm}^2$.

Wenn auch 1500 bis 1600 kg Spannung (nach der Achsstandformel gerechnet) bei bestehenden Gleisen vom Verein d. E. als statthaft angesehen wird, empfiehlt der Technische Ausschuß des Vereins dennoch bei Entwürfen mit einer Höchstspannung von 1100 kg/cm^2 zu rechnen.

Nun muß aber bemerkt werden, daß sich der Beiwert $1 + \frac{v^2}{30000} = 1,75$ nur auf ein gewöhnliches, nicht auf ein lückenloses Gleis bezieht. In der „Bautechnik“ 1924, H. 24, 25 wies Ing. J. Stern durch Spannungsmessungen vor und nach dem Schweißen der Schienenstöße an einer Brücke nach, daß „von der Gesamtheit aller Einflüsse, die die dynamischen Wirkungen hervorrufen, bei den Fahrbahnträgern 30 bis 48% bei den Hauptträgern 33 bis 42% auf die Wirkung der Schienenstöße entfallen“. Weiter ist auch zu beachten, daß die zusätzliche Wärmespannung nicht regelmäßig, sondern nur ausnahmsweise auftritt.

Auch entspricht die heutige 30 m lange Schiene S 49 ebenfalls nicht der Bedingung der empfohlenen größten Spannung, denn die Winterzugspannung ist $340 + 300 = 640 \text{ kg/cm}^2$ (s. auch die vorerwähnten Aufsätze) und die Betriebsspannung ist nach dem T. A.:

$$\sigma = \left(1 + \frac{100^2}{30000}\right) \frac{0,25 \cdot 11000 \cdot 65}{234} = 1,33 \cdot 760 = 1020 \text{ kg/cm}^2,$$

somit besteht eine Gesamtspannung von 1680 kg/cm^2 . Bei den 60 m-Schienen ist sie rechnermäßig sogar 2020 kg/cm^2 .

Es entspricht somit die durchgehend geschweißte Schiene bei der vorgeschlagenen Anordnung und bei 150 km Ge-

schwindigkeit den Wünschen des T. A. bedeutend besser als der heutige Oberbau bei nur 100 km Geschwindigkeit.

Wir erachten es jedoch wichtiger und richtiger, alle Quellen der spannungserregenden Einflüsse in die Rechnung mit einzubeziehen und in dem ungünstigsten Falle die Sicherheit gegen Bruch zu berechnen.

Wir haben für Bogenfahrt und 150 km Geschwindigkeit für die Höchstspannungen die Stoßziffer 3,45 gefunden.

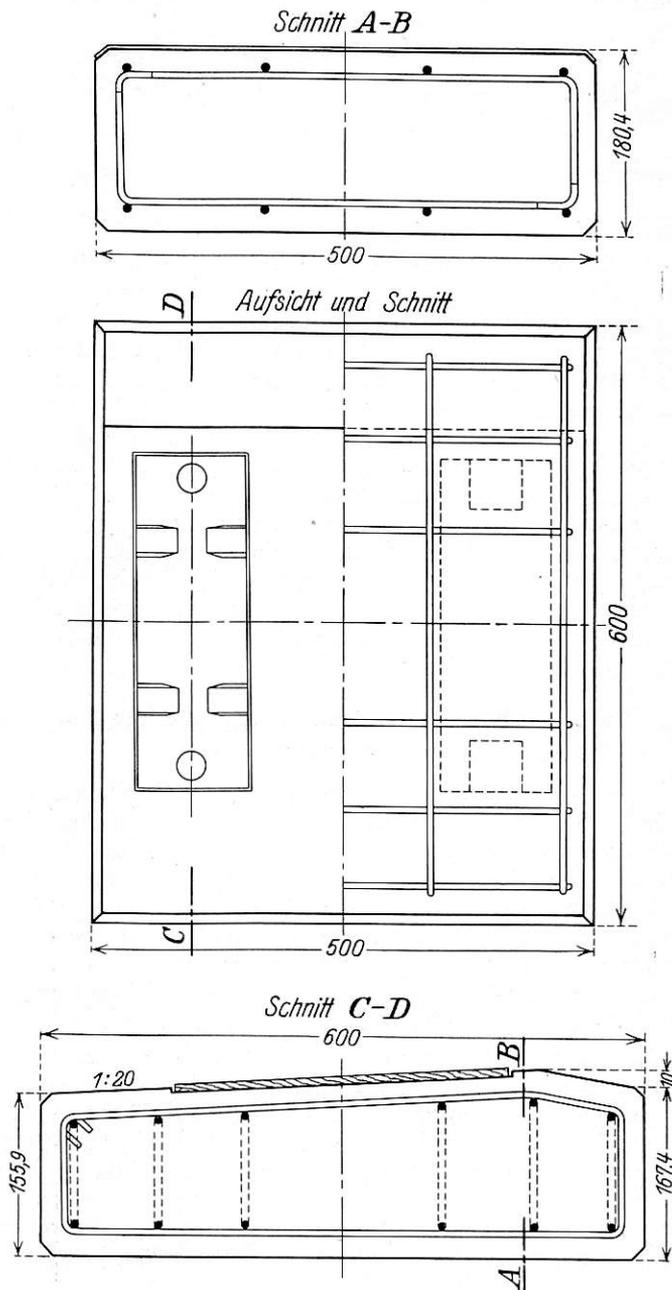


Abb. 3.

Eisenbetonblock mit zwei Schienenlagern für lückenlosen Oberbau.

Es ist somit im Winter bei -30° Kälte in einem Gleise, das bei $+10^{\circ}\text{C}$ zusammengeschweißt wurde:

$$\sigma_{\max} = 3,45 \cdot 459 + 988 = 2570 \text{ kg/cm}^2.$$

Setzt man einen Stahl mit 70 kg/mm Bruchfestigkeit und 60% Proportionalitätsgrenze voraus, so ist man immer noch weit unter der Proportionalitätsgrenze und man hat gegen Bruch immer noch eine $\frac{7000}{2570} = 2,7$ fache Sicherheit.

Nimmt man noch eine stark abgenutzte Schiene, so hat man in seltenen Ausnahmeständen immer noch eine zwei-

fache Sicherheit im Bogen bei schnellster Fahrt. Man kennt dagegen Fälle, wo nach Spannungsmessungen auf weite Strecken die Schienen unter jedem Zuge mindestens einmal über die Proportionalitätsgrenze angestrengt waren bei einer Bruchsicherheit von 1,5 bis 1,6.

Vergleichen wir nun die Bruchsicherheit bei dem neuen Oberbau mit der 30 m langen Schiene S 49.

$$\text{Es ist } \frac{\text{Bruchfestigkeit} - \text{Wärmespannung}}{\text{Nützenspannung}} = \frac{7000 - 988}{459} = 13,1 \text{ bei dem vorgeschlagenen Oberbau, während bei der } 30 \text{ m Schiene } = \frac{7000 - 640}{459} = 9,4 \text{ ist. Nimmt man keine } \frac{760}{545}$$

$$\text{Steigerung der Unterlageziffer im Winter an, so sind die Werte } = \frac{7000 - 988}{545} = 11 \text{ und } = \frac{7000 - 640}{760} = 7,95. \text{ In}$$

beiden Fällen ist somit die Sicherheit gegen Bruchgefahr bei dem neuen Oberbau um etwa 40% höher als bei dem heutigen Oberbau mit 30 m langen Schienen. Es wurde dabei noch kein Gebrauch gemacht von der Tatsache, daß beim lückenlosen Oberbau die dynamische Einwirkung an sich geringer sein muß als beim „gestoßten“ Oberbau, und es wurde bei dem lückenlosen Oberbau die Spannung nicht mit der Achsstandformel gerechnet, sondern mit dem — ungünstigere Werte liefernden — Verfahren des stellvertretenden Langschwellenoberbaues des Verfassers, während für den üblichen Oberbau die günstigere Achsstandformel angewendet wurde. Im Sommer ist die Bruchgefahr bei der neuen Anordnung noch bedeutend geringer als beim gewöhnlichen Oberbau, was aus dem Wirkungssinn der Wärmespannung folgt.

4. Die Sicherheit gegen Verwerfung und die Folgen eines Schienenbruches.

Was die Spannungen anlangt, könnte der Regeloberbau K schon heute durchgeschweißt werden, denn ein solches Gleis hat bei Abrechnung der geringeren dynamischen Einwirkungen trotz der 20 bis 30% höheren Zusatzspannungen keine wesentlich höheren Spannungen als der Oberbau mit 30 oder 60 m langen Schienen. Alleiniger stichhaltiger Grund gegen das Durchschweißen des Regeloberbaues bildet die Tatsache, daß bei dem heutigen Oberbau gegen die Gleisverwerfung nur eine 1,2 bis 1,4fache Sicherheit vorhanden ist.

Es ist leicht nachzuweisen (s. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1931, H. 8, S. 194, Zusammenstellung), daß in der 30 m langen Schiene bei Sommerhitze $62 \cdot 980 = 60700$ kg Längskraft und in der 60 m langen Schiene $62 \cdot 1120 = 69400$ kg Längskraft entstehen kann. Versuche der K. Ung. Staatsbahnen zeigten aber, daß bei der 42 kg schweren Schiene mit Rippenplatten die Verwerfung (allerdings bei größerer Schwellenteilung) schon bei einer Längskraft von 80 bis 90 t je Schiene eintritt.

Bei dem lückenlosen Oberbau auf massiver Unterschwellung ist dagegen gegen die Verwerfungsgefahr eine bedeutend höhere Sicherheit vorhanden.

a) Verwerfungsgefahr in lotrechter Richtung. Gegen eine solche Gefahr wirkt hauptsächlich das Gewicht des Gleises. Dies ist bei dem Oberbau K auf Holzschwellen 300 kg/m, während es bei dem vorgeschlagenen 600 kg/m beträgt. Wird das Gleis noch teilweise oder ganz eingedeckt, so erhöht sich das Gewicht noch um 100 bis 300 kg je lfd. m.

Während somit die Längskraft beim lückenlosen Oberbau gegenüber dem Regeloberbau bei 30 m Schienen von 60 t auf höchstens 75 t steigt, verdoppelt sich das der Verwerfung widerstrebende Eigengewicht. (Professor Ammann und

Dr. Gruenewald fanden in ihrem letzten Organaufsatz eine Verdoppelung des Eigengewichtes als genügend.)

β) Gegen Seitenverwerfung wirken in erster Linie der Widerstand der Bettung vor den Stirnflächen der Schwellen nach Art des passiven Erddrucks, ferner die Reibung an der Schwellenunterkante und zuletzt die Rahmensteifigkeit; die letztgenannte wirkt leider gegen beginnende Verformungen nicht so kräftig wie gegen bereits vorgeschrittene Verformungen.

Bei dem vorgeschlagenen Oberbau ist die Stirnflächen-summe 2000 cm^2 gegenüber 640 cm^2 beim Regeloberbau, somit ist auch der Bettungswiderstand dreimal größer. Die Reibung an der Schwellenunterkante ist wegen des größeren Eigengewichtes mindestens doppelt so groß wie beim Holzschwellenoberbau. Die Rahmensteifigkeit ist allerdings etwas geringer, da die Querschwellen 96 cm Abstand haben, beim Regeloberbau nur 72 cm. Alles in allem steht hier ebenfalls einer 25%igen Zunahme der Längskraft zumindest eine Verdoppelung der Gesamtwiderstände gegenüber. Der lückenlose Oberbau auf der vorgeschlagenen Unterschwellung bietet somit auch gegen Verwerfung eine bedeutend höhere Sicherheit als der heutige Oberbau mit 30 m-Schienen.

γ) Die Folgen eines Schienenbruches. Ein durchgeschweißter Strang muß nicht nur gegen Verwerfung gesichert sein, sondern es darf auch anlässlich eines zufälligen Schienenbruches in großer Kälte keine übermäßig große Lücke entstehen. Gegen die Bildung einer großen Lücke wirkt der sogenannte Bettungswiderstand, welcher nach den Versuchen von Dr. Prof. Ammann und Dr. Gruenewaldt beim Oberbau K zu 800 kg/Gleismeter angenommen werden kann. Da die Reibungskraft wegen des größeren Gewichtes beim kombinierten Eisenbetonoberbau dreifach größer ist, die Bettungswiderstandsflächen aber nur etwa halb so groß wie beim Oberbau K, so kann man den Bettungswiderstand bei ungefrorener Bettung bei diesem Betonbau nur ungefähr doppelt so groß annehmen gegen dem Holzoberbau. Bei einem Schienenbruch bei -32°C würde eine Lücke von 3,28 cm entstehen*). In Wahrheit wird aber die entstehende Lücke bedeutend kleiner, nämlich nur etwa halb so groß werden, weil wegen des Frostes erwiesenermaßen eigentlich weit höhere Bettungswiderstände vorhanden sind.

Da auch die Stützpunktentfernungen sehr klein (32 cm) sind, ist weder wegen Konsolwirkung ein weiterer Schienenbruch, noch wegen zu großer Lücke oder Querverschiebung der Schienenenden eine Entgleisung möglich.

Schlußwort.

Das lückenlose Gleis auf Eisenbetonunterschwellung ist nicht wesentlich teurer als das heutige**), unter Umständen sogar noch billiger. Es wird nicht nur für Bahnen erster Ordnung angewendet werden können, sondern auch dort, wo keine besonderen Ansprüche auf große Geschwindigkeiten und Achslasten gestellt werden.

Schon die längere Liegedauer dieses Oberbaues allein würde nach vorsichtigen Rechnungen noch Anlagemehrkosten von 10 bis 15% rechtfertigen, während die Ersparnisse der Unterhaltung nach ebenso vorsichtigen Berechnungen bei ausgiebiger Verwendung des Oberbaues mit den Jahren auf ganz bedeutende Summen wachsen würden.

Als technische Vorteile der Neuordnung sind zu verzeichnen: Wegfall oder Verminderung der Zahl der Schienen-

*) Siehe Verfassers Aufsatz im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1928, H. 16.

**) In den Querschwellen genügen hier 15 kg Eisen, da der Schienendruck nur halb so groß und die Schwellenform günstiger ist. In den Blöcken ist sehr wenig Rundeisen, und die Unterlegplatten sind enger und billiger.

stöße und infolgedessen angenehme Fahrt (wichtig besonders bei Kraftwagenwettbewerb). Zum größten Teil Wegfall der dynamischen Einflüsse, Schonung der Fahrzeuge und der Schienen, Schonung der Bettung und der Bettungssohle vermöge des geringeren Bettungsdruckes und der besseren Druckverteilung. Dabei wird geringerer spezifischer Fahrwiderstand eintreten, die Schienenwanderung wird verhindert, die Verwerfungsgefahr behoben. Höhere Sicherheit gegen Schienenbruch. Materialgerechte Anwendungsform des Eisenbetons im Oberbau.

Als Nachteil gegenüber dem Querschwellenoberbau könnte nur eine beschränktere Entwässerung und die erschwerte Unterstopfbarkeit angeführt werden. Die Entwässerung des

neuen Oberbaues ist immerhin offensichtlich bedeutend besser als beim alten Langschwellenoberbau und gerade so ausgiebig wie beim Oberbau Valeri.

Die Unterstopfbarkeit ist bei dem neuen Oberbau gewiß erschwert, aber kann gut durch das bereits vielerorts erprobte und gut befundene Verfahren des Unterlegens von Grus ersetzt werden. Dies Verfahren schont das Bettungsmaterial im Vergleich mit dem Unterstopfen ganz außerordentlich; es ist damit leicht ein sicheres, sattes Aufliegen der Schwelle und eine genaue Höhenlage zu erreichen. Das Zusammenarbeiten von Querschwellen und Blöcken ist einwandfrei nachzuweisen, ebenso die genügende Elastizität; doch überzeugender wird da sicher der Versuch selbst sein.

Schrankenbeleuchtung durch Scheinwerfer.

Von Dr. Ing. Hermann Cantz, Leiter der Stettiner Hafenbahn.

Nach den von der Deutschen Reichsbahn herausgegebenen „Richtlinien für die Beleuchtung beschränkter Wegübergänge“ (vom 1. August 1930) soll die Schranke durch eine seitlich am Weg stehende Schrankenleuchte bestrahlt werden. Auch soll das Licht während des Betriebs bei Dunkelheit dauernd brennen und bei geöffneter Schranke nicht ausgeschaltet werden. Bei dieser Beleuchtung wird eine gleichmäßige und auffallende Bestrahlung der geschlossenen Schranken trotz Verwendung starker Lichtquellen meistens nicht erreicht, das Erkennen auf weite Sicht ist kaum möglich. Weiter kommt der sich senkende Schrankenbaum häufig erst bei einer Neigung von 40° in den Lichtkegel der Leuchte. Bei unsichtigem Wetter mehren sich die Schwierigkeiten. Eine wesentliche Verminderung der Unfälle bei Dunkelheit an beschränkten Wegübergängen kann jedoch durch Verbesserung der bisherigen Schrankenbeleuchtung erzielt werden.

Durch diese Anordnung ist die Brenndauer der Schrankenbeleuchtung immer nur für die kurze Zeit des Schrankenschlusses erforderlich, so daß die Betriebskosten gering sind im Gegensatz zu den bisher üblichen Schrankenleuchten, die mit Lampen großer Lichtstärke arbeiten und eine tägliche Brenndauer von etwa 10 Stunden haben.

Zur Speisung des elektrischen Scheinwerfers kann jede Stromart verwendet werden. Steht bei nahbedienten Schranken z. B. 220 Volt Wechselstrom aus dem Netz zur Verfügung, so wird dieser Strom durch einen Transformator auf 12 Volt gebracht. Damit beim Ausbleiben des Netzstromes die Beleuchtung nicht unterbrochen ist, kann ein Stromspeicher mit eingebaut werden. Zum Aufladen dieses Speichers dient der

Einen neuen Weg in der Beleuchtung von Schranken hat die Firma Max Ellmann, Elektrotechnisches Unternehmen, Stettin, durch Schaffung der selbsttätigen elektrischen Schrankenbeleuchtung mittels Scheinwerfern*) eingeschlagen. Abb. 1 zeigt die allgemeine Anordnung dieser neuen Beleuchtungsart. An Stelle der festen, seitlich am Überweg stehenden Schrankenleuchte wird ein besonderer Scheinwerfer an jedem Schrankenbaum mittelst eines etwa 70 cm langen Auslegers so angebracht, daß er den Baum in seiner ganzen Länge auf der Wegseite gleichmäßig stark anstrahlt. Bei geschlossener Schranke ist die Lichtachse des Scheinwerfers gegen die Wagerechte derart geneigt, daß der Lichtkegel in etwa 40 m Entfernung im Gelände verläuft; die Lokomotivführer können also nicht geblendet werden. Die Scheinwerferlampen haben 25 bis 50 Watt bei 12 Volt Spannung. Diese Lampen sind an Lebensdauer und Stoßfestigkeit den 220-Volt-Lampen überlegen und bieten daher die größte Sicherheit für einen ungestörten Betrieb. Das Scheinwerferlicht wird durch Umdrehungen der Windekurbel infolge der an der Winde befindlichen Schalter und Schaltsegmente ein- und ausgeschaltet. Der Schrankenbaum wird schon in senkrechter Stellung bis zur vollständigen Schließstellung in seiner ganzen Länge gleichmäßig hell beleuchtet und ist von weitem als Signalarm sichtbar. Gleichzeitig öffnet sich die neuerdings am Scheinwerfer eingebaute Schutzkappe. Der Schrankenbaum steht also während der Schließbewegung, in der Schließstellung und beim Öffnen bis in die senkrechte Stellung im Licht des Scheinwerfers. Nach Erreichen der Ruhestellung schaltet sich das Licht wieder selbsttätig aus; die Schutzkappe schließt gleichzeitig die Scheinwerferscheibe ab, um sie vor dem Verschmutzen und Verschneien, sowie vor mutwilligen Beschädigungen zu schützen.

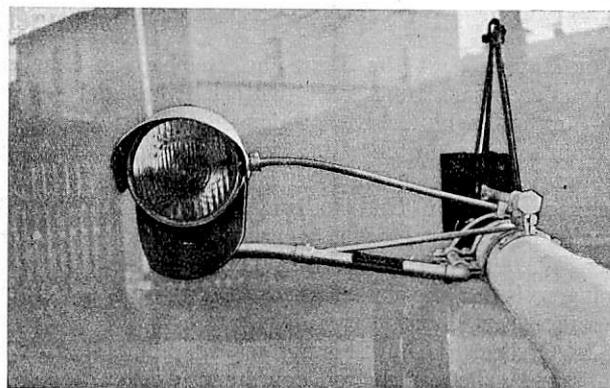


Abb. 1.

Scheinwerfer mit offener Schutzklappe bei geschlossener Schranke.

Netzstrom; es wird dann ein Gleichrichter in Verbindung mit dem Transformator dazwischengeschaltet. Falls überhaupt kein Netzstrom vorhanden ist, kann die Scheinwerferbeleuchtung durch einen Stromspeicher im Austauschbetriebe versorgt werden. Es ist weiter auch möglich, die Allgemeinbeleuchtung des Überwegs mit der Schrankenleuchte so zu verbinden, daß sie beim Einschalten der Scheinwerfer selbsttätig ausgeschaltet wird und umgekehrt.

Durch die Verbindung der Schrankenleuchte mit der Überwegbeleuchtung kann unter Umständen die Lichtstärke der letzteren verringert werden. Der Einbau der neuen selbsttätigen Scheinwerferbeleuchtung ist einfach und kann ohne große Kosten bei jeder Schrankenanlage ausgeführt werden, die Einzelteile sind genormt. Die ganze Einrichtung entspricht den Vorschriften des VDE.

Die selbsttätige Scheinwerferbeleuchtung mit Signalwirkung wurde zum erstenmal an Wegübergängen der Hafenbahn der Stettiner Hafengesellschaft an drei Stellen der Straße Stettin—Altdamm verwendet. Sie hat sich dabei

*) D. R. G. M. Nr. 1138003 und 1146745; D. R. P. und Ausl. Pat. angemeldet.

während einer zweijährigen Betriebsdauer gut bewährt. Schrankenbeschädigungen bei Dunkelheit sind seit Einbau der neuen Beleuchtung nicht mehr vorgekommen. Selbst bei

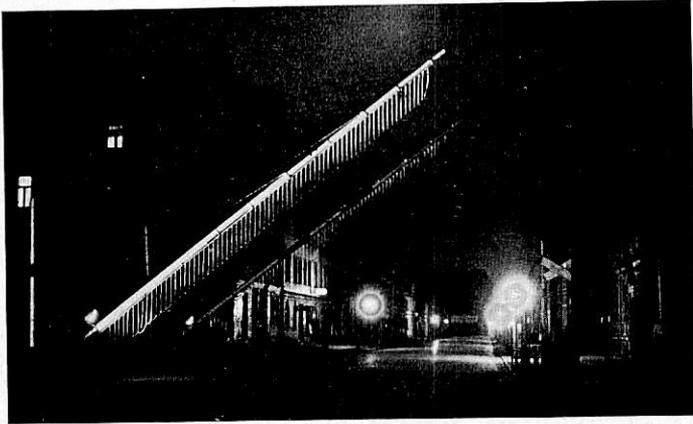


Abb. 2. Rostocker Überweg in Stralsund, Schranke in Bewegung.

unsichtigem Wetter (Nebel, Regen, Schneefall) sind die Schranken auf weite Sicht schon während des Schließens durch die Signalwirkung der neuen Beleuchtung zu erkennen.

Nach den bei der Stettiner Hafenbahn gesammelten günstigen Erfahrungen hat nun auch die Deutsche Reichs-

bahn mit dem Einbau der neuen Schrankenbeleuchtung bei ihren Schrankenanlagen begonnen und dafür besondere Richtlinien herausgegeben. Im Reichsbahndirektionsbezirke Stettin sind von der Reichsbahn bis jetzt mit der neuen Schein-

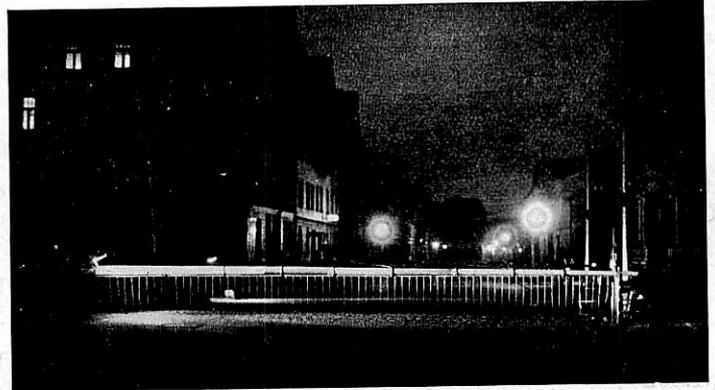


Abb. 3. Rostocker Überweg in Stralsund, Schranke geschlossen.

werferbeleuchtung ausgestattet worden die Schrankenanlage am Rostocker Überweg in Stralsund und an der Usedomer Staatsstraße in Swinemünde, beides Übergänge mit sehr starkem Verkehr. Die Wirkung der neuen Schrankenbeleuchtung ist aus Abb. 2 und 3 ersichtlich.

Aus amtlichen Erlassen.

Richtlinien der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft für die Bewirtschaftung und Unterhaltung der Gleisbaugeräte und -Maschinen.

Vor kurzem hat die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft für die Bewirtschaftung und Unterhaltung der Gleisbaugeräte- und Maschinen Richtlinien herausgegeben. Es ist der Grundsatz aufgestellt, daß jede Bahnmeisterei nur die Geräte und Maschinen im Besitz haben soll, die zur Ausführung der reinen Unterhaltungsarbeiten für die Bahnunterhaltungsrotten dauernd notwendig sind und zur sofortigen Wiederherstellung durch Unfälle beschädigter Oberbauanlagen bereit liegen müssen. Diese Geräte werden als Eigengeräte bezeichnet.

Alle Geräte, die im Sommer während der Hauptbauzeit für außerordentliche Arbeiten gebraucht werden, sind an die Bahnmeistereien nur leihweise abzugeben (Leihgeräte).

Für besondere Arbeiten können den Bahnmeistereien gewisse Großgeräte von Fall zu Fall zugewiesen werden (Sondergeräte).

Um die Gerätewirtschaft geordnet durchführen zu können, soll in jedem Reichsbahndirektionsbezirk ein Oberbaugerätelager errichtet werden, das dem vorhandenen Oberbaustofflager anzugliedern ist. Dem Oberbaugerätelager werden alle neu beschafften Geräte und Maschinen zugeleitet. Es hat die Aufgabe, neue Gleisbaugeräte und Maschinen abzunehmen, zu lagern bzw. nach den Anforderungen zu verteilen. Es hat ferner die Leihgeräte zu verwalten und instandsetzungsbe-

dürftige oder abgängige Geräte auszutauschen. Das Oberbaugerätelager hat außerdem die maschinellen Geräte zu überholen, zu reinigen und kleinere Ausbesserungen vorzunehmen. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen sollen die Geräte nicht bei den einzelnen Dienststellen, sondern bei den dafür bestimmten Reichsbahnausbesserungswerken instandgesetzt werden.

Zu den Sondergeräten gehören Gleisstopfmaschinen, Signalgeräte für die Stopfmaschinenrotten, bewegliche elektrische Kraftanlagen mit den zugehörigen Arbeitsmaschinen, Gleisbettungswalzen, Gleisbaukrane, Weichenbaukrane, Bettungsreinigungsmaschinen, Fördergeräte und Schweißgeräte.

Als Leihgeräte sind in der Verfügung bezeichnet die Schienenabladevorrichtungen, Füllformen für den Bettungseinbau bei eisernen Schwellen, Stampfer für die Füllformen, Richt- und Lagerböcke für Lehrschienen, Teillehren, Schienenbiegevorrichtungen, Verdübelungswerkzeuge, Beförderungsrollen für Weichen- und Gleisjoche, Schwellenbohrlehren, Schienenthermometer und Streckenbeleuchter (Starklichtlampen).

Alle übrigen Oberbaugeräte gehören zu den Eigengeräten. Ihre Zahl wird für jede Bahnmeisterei auf Grund der Rottenstärken und der örtlichen Verhältnisse besonders festgesetzt.

D.

Rundschau.

Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

Schienenstoß-Schleif- und Feilmaschinen.

Die Schienenstoß-Schleifmaschine (Abb. 1) dient zum Wegnehmen des Grates, der beim Zusammenschweißen von Schienen auf dem Schienenkopf und an seinen Seiten entsteht, mittels raschlaufender, elektromotorisch mit Keilriemen angetriebener Schleifscheibe. Je nach der Abnutzung der Schleifscheibe

sind zwei Geschwindigkeiten möglich. Die am Ende eines Schwenkarms gelagerte Schleifscheibe ist von Hand wie maschinell in der Höhe verstellbar. Der Vorschub der Schleifscheibe senkrecht nach unten erfolgt mittels Schaltgetriebes bei jedem Rückgang durch Anstoß an eine Anstellschraube, ebenso schaltet sich die Maschine bei erreichter Schienenoberkante selbsttätig aus. Die gesamte

Schleifeinrichtung ruht auf einem Schlitten, der durch einen Kurbelmechanismus in der Richtung der Schiene hin- und herbewegt wird. Der Schlitten wiederum ruht auf einem supportartigen Unterbau, so daß dieser auch seitlich verstellbar ist. Der Unterschlitten des Supports mit zwei kleinen Rollen zur Erleichterung des Einstellens der Schleifscheibe, wird mit zwei zangenartigen Einrichtungen an der Schiene festgeklemmt. Beim

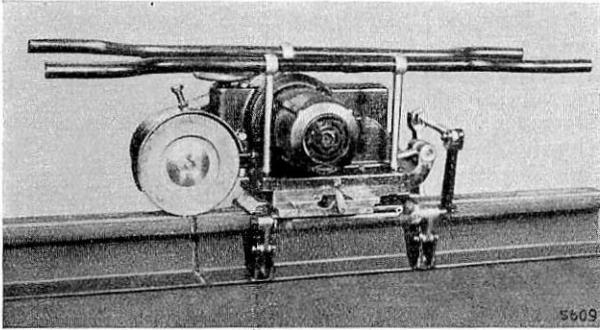


Abb. 1. Schieß-Defries-Schienenstoß-Schleifmaschine.

Abheben der Maschine stellen sich die Druckfüße wagerecht und dienen dann zum Aufsetzen der Maschine auf den Erdboden.

Mit der Schienenstoß-Feilmaschine (Abb. 2) werden die mit der Schleifmaschine vorgearbeiteten Schweißstöße durch Hobeln mittels geeigneter Feilwerkzeuge sauber geglättet. Durch Verwendung entsprechend geformter Werkzeuge lassen sich auch die seitlichen Abrundungen des Schienenkopfes und ein Teil der Seitenflächen bearbeiten, so daß die Lauffläche der Schiene an der

Schweißstelle keine Unebenheiten aufweist. Der Werkzeugschlitten wird durch eine elektromotorisch angetriebene Kurbel hin- und herbewegt, während des Rückganges wird er selbst-

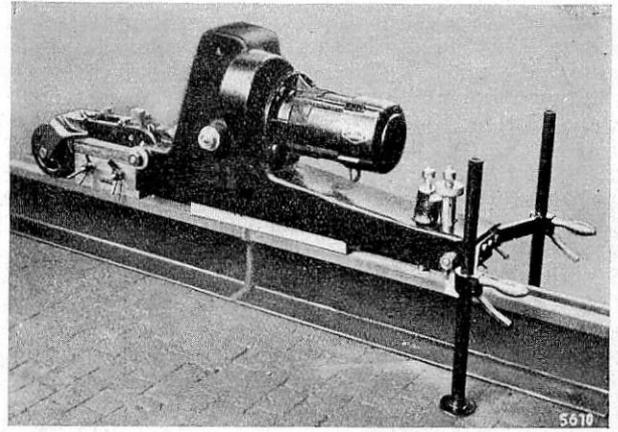


Abb. 2. Schieß-Defries-Schienenstoß-Feilmaschine.

tätig abgehoben. Doppelte Gelenke am Maschinenkörper ermöglichen, die Führung des Schlittens genau in die Flucht der Köpfe der beiden Schienen einzustellen. Der Arbeitsdruck wird durch das Eigengewicht der Maschine erzeugt, bis durch einen einstellbaren Anschlag die Tiefstlage erreicht ist. Mit Hilfe eines Elektromagneten wird die Maschine auf dem Schienenkopf festgehalten. Eine Rolle an dem Magnet und Handgriffe an den beiden Fußstützen ermöglichen sie wie einen Schubkarren zu verfahren. Przygode.

Bahnhöfe nebst Ausstattung.

Neue Fahrtrichtungsanzeiger.

Seit etwa 3 Jahren sind auf der Berliner Stadtbahnstrecke Schlesischer Bahnhof—Charlottenburg elektrische Fahrtrichtungsanzeiger im Dienst, die sich als betriebssicher erwiesen und die Verkehrsabwicklung erheblich erleichterten. Die Firma Siemens & Halske, die diese zum Ansagen von 25 Zugrichtungen ausreichende Anlage erstellte, bemühte sich in der Zwischenzeit, die Fahrtrichtungsanzeiger weiter zu vereinfachen, um den Anwendungsbereich (insbesondere für Bahnhöfe mit einer geringeren Anzahl Zugrichtungen) zu vergrößern und die hohe Betriebssicherheit noch weiter zu steigern. Aus diesen Bestrebungen entstanden die nachfolgend beschriebenen Einrichtungen, die sich dadurch auszeichnen, daß der Zugrichtungsanzeiger keine Kontakte und Relais und nur noch wenig bewegliche Teile aufweist, daß die bei der älteren Ausführung in jedem Richtungsanzeiger zum Hochheben der ausgehängten Schilder angewendeten Hubrahmen nebst Motor entfallen sind, daß sich der Strombedarf verminderte und die Bauhöhe des Anzeigers verringert wurde, was für die Anwendung beispielsweise im Untergrundbahnbetrieb besonders wertvoll ist.

Die Einrichtung besteht aus drei Hauptbestandteilen:

1. Der Fahrtrichtungsanzeiger, ein weithin sichtbarer Kasten, der die Schilder mit allen in Betracht kommenden Zugrichtungen enthält. Aus diesem wird das mit der Zugrichtung des nächsten einlaufenden Zuges beschriftete Schild elektromechanisch herausbewegt und das bis dahin ausgehängt gewesene Richtungsschild zurückgezogen.
2. Der Geber, von dem aus das Einstellen des Richtungsanzeigers in die Wege geleitet wird.
3. Das Kontaktwerk, das — vom Geber in Bewegung gesetzt — die zum Einstellen des Richtungsanzeigers erforderlichen Kontaktschließungen und -unterbrechungen von Stromwegen vornimmt.

Fahrtrichtungsanzeiger. Das die Richtung des nächsten einlaufenden Zuges anzeigende Schild wird bei der älteren Ausführung aus einem Kasten senkrecht heruntergelassen und nach Durchfahrt des Zuges elektromotorisch angehoben, so daß es wieder hinter der Kastenwand verschwindet. Bei der neuen Ausführung (Abb. 1) hat das ausgefahrene Schild die gleiche Höhe über dem

Bahnsteig wie die zurückgezogenen. Die Schilder werden nicht senkrecht, sondern annähernd wagerecht bewegt, so daß nur wenig Hubarbeit zu leisten ist. Die Schilder bewegen sich in der



Abb. 1.

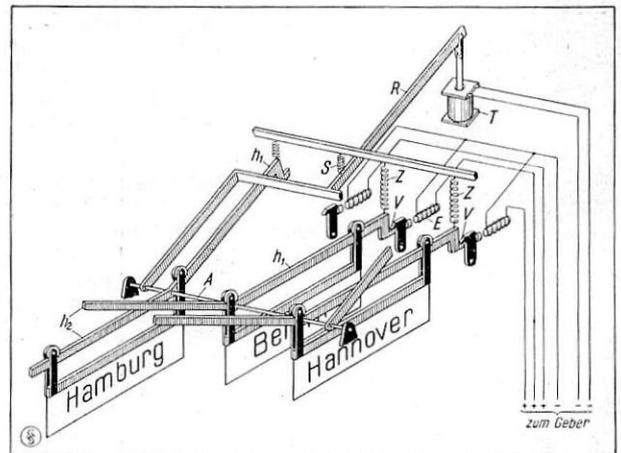


Abb. 2.

Art von Laufkatzen mit Laufrollen auf doppelarmigen Hebeln, die als Laufschiene dienen. Die Schenkel jedes Hebels stehen im stumpfen Winkel zueinander (Abb. 2). Wird der vordere Schenkel des Hebels (h 2) gehoben, so rollt das Schild in seine hintere Stellung, verschwindet also im Kasten des Anzeigers (Abb. 1). Wird der

vordere Schenkel des Hebels gesenkt, so rollt das Schild in die vordere Stellung, also aus dem Kasten heraus (Schild Hamburg der Abb. 2).

Mit Hilfe des Tauchmagneten T und des von ihm bewegten Rückstellhebels, der über alle erwähnten Winkelhebel greift, kann jedes Schild in die hintere Stellung gebracht werden, in der es durch den mit Nase V versehenen Magnetanker festgehalten wird. Der zu jedem Winkelhebel gehörende Magnet wird vom Geber aus über das Kontaktwerk ferngesteuert. Wird ein solcher

Magnet erregt und dadurch sein Anker angezogen, so klinkt die Nase aus, worauf der Winkelhebel durch den Zug der Feder Z hinten hochgezogen wird, so daß das Schild nach vorn in die Anzeigestellung rollt. Durch Erregen des Tauchmagneten T läßt sich der Hebelarm h 1 herunterziehen und das Schild wieder in die hintere Stellung bringen.

Geber: Die Abb. 3 und 4 zeigen den Geber, dessen Skalenfelder mit den Zugrichtungen beschriftet ist und auch Felder für etwa später noch hinzukommende enthält. Neben jeder Zugrichtungstafel befindet sich ein Stellhebel, auch neben den Schildern „Nicht einsteigen“ und „Rücknahme“. Der Geber besitzt eine Sperrvorrichtung, die verhindert, daß von diesen Hebeln jeweils mehr als einer umgelegt werden kann. Sie besteht aus einem Rohr, das für jeden Hebel einen Ausschnitt aufweist, in den er beim Umlegen einzutreten vermag, d. h. er kann in diesen Ausschnitt nur dann eintreten, wenn nicht bereits ein anderer Hebel umgelegt ist. Das Rohr ist zu diesem Zweck mit Kugeln gefüllt, die im Rohr insgesamt nur soviel Spielraum haben, daß nur ein Hebel eintreten und sie auseinanderdrücken kann. Jeder Hebel wird in der einen oder anderen Stellung durch eine vorgespannte Feder festgehalten. Wird er in die Einschaltlage gebracht, so schließt er einen Kontakt, wodurch ein Stromweg für den Auslösestromkreis des gewünschten Zugrichtungsschildes vorbereitet wird und unmittelbar darauf einen zweiten Kontakt, wodurch der Antriebsmotor des Kontaktwerks angelassen wird.

Kontaktwerk und Schaltvorgang. Das Kontaktwerk (Abb. 5) besteht aus einem kleinen Motor, der über ein Zahnrad-vorgelege eine Nockenwelle langsam dreht. Die Nocken dienen

dazu, Kontakte zu öffnen und zu schließen, wobei sich folgende Schaltvorgänge abspielen: Ein Hebel des Gebers (h 1 des Schemas Abb. 6) wird in die Einschaltstellung gedreht, wodurch zunächst der Kontakt K_1 und darauf der Kontakt K_2 geschlossen wird. Über Kontakt K_2 erhält der Antriebsmotor des Laufwerks Strom. Die Nockenwelle beginnt sich zu drehen. Nockenscheibe N_1 schließt den Kontakt K_3 , über den der Motor eingeschaltet bleibt, auch wenn der Hebel h_1 losgelassen und in seine Einschaltstellung zurückgegangen ist, in der Kontakt K_2 geöffnet ist. Die Über-

wachlampe des Motors erhält Strom über den gleichen Weg wie der Motor. Nockenscheibe N_2 schließt Kontakt K_4 , über den auf kurze Zeit der Tauchmagnet des Fahrtrichtungsanzeigers Strom erhält. Dieser klinkt den Winkelhebel der herausgerollten sichtbaren Tafel ein und bewegt sich dann unter dem Zug der an ihm angebrachten Feder wieder in seine Ausgangsstellung.

Das ausgehängte Schild rollt bei diesem Vorgang wieder in den Kasten des Anzeigers zurück. Inzwischen hat die Nockenscheibe den Kontakt K_4 geöffnet. Die Nockenscheibe N_3 schließt den Kontakt K_5 , wodurch ein Stromkreis geschlossen wird, der vom Pluspol über K_1 Elektromagnet E und K_5 zum Minuspol führt. Der Anker des Magneten E wird angezogen, er gibt den ihm zugeordneten Winkelhebel frei. Die Zugfeder Z (Abb. 2) zieht das hintere Ende des Hebels hoch und das Richtungsschild rollt am vorderen Hebelende nach außen. Jetzt fällt die Feder K_3 in die Ausklinkstellung ein und schaltet den Motor sowie seine Überwachungs-lampe aus.

Ergänzend ist noch zu bemerken, daß der Geber u. a. mit einem Schalthebel „Rücknahme“ ausgestattet ist (h 2 in Abb. 6). Sein Umlegen ruft die früher beschriebenen Schaltmaßnahmen mit Ausnahme des Auslösens des Magnetankers eines Richtungsschildes hervor. Der leere Wagen einer nicht zur Richtungsanzeige benutzten freien Rolltafel kann dazu ausgenutzt werden, ein Schild mit zusätzlichen Mitteilungen wie: „Kurzzug“, „Personenzug“, „Eilzug“, „D-Zug“ zu bewegen.

Man kann natürlich Einrichtungen schaffen, mit denen von den Endpunkten einer Strecke aus die Zugrichtungsanzeiger aller Bahnhöfe der Strecke zentral bedient werden. Auf der Berliner Stadtbahnstrecke geschieht das schon seit Einrichtung der ersten elektromechanischen Anzeiger und zwar von den Befehlsstellwerken Schlesischer Bahnhof und Bahnhof Charlottenburg aus. Die Abfertigungsbeamten auf den einzelnen Bahnhöfen müssen dort nach dem Ausfahren jedes Zuges mit ihrem Befehlsstab einen Hebel ziehen, wodurch ein Speicherwerk um einen Schritt weiterschaltet wird. Diese rein mechanische Tätigkeit kann man durch Schienenkontakt auch dem ausfahrenden Zuge übertragen.

Die Zugrichtungsanzeiger haben im Stadtbahn- und Untergrundbahnbetriebe in größerer Zahl Verwendung gefunden, sind aber auch für Fernbahnhöfe wertvoll. Sie entlasten die Abfertigungsbeamten erheblich. Die Ausgaben für Strom sind ohne Belang. Bei einem Strompreis von 0,20 *R.M.* je Kilowattstunde und 300 täglichen Einstellungen betragen die Stromkosten für einen Zugrichtungsanzeiger jährlich 18,— *R.M.* Ahrens.

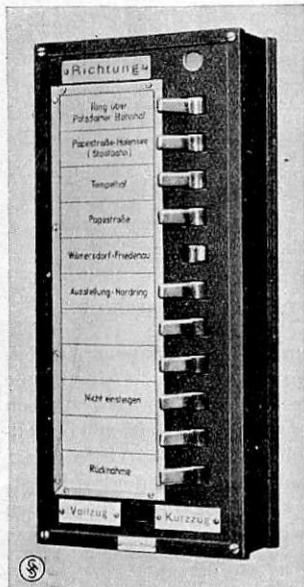


Abb. 3.

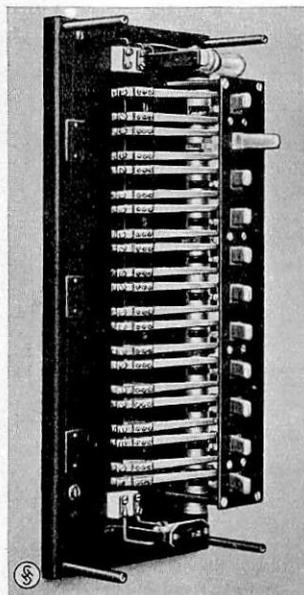


Abb. 4.

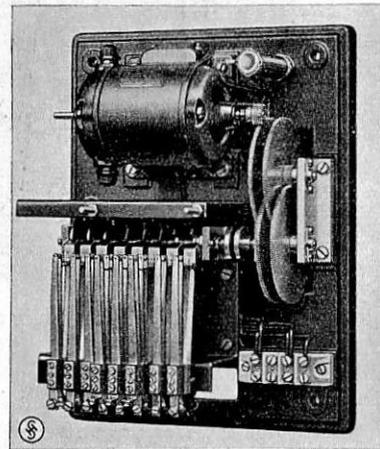


Abb. 5.

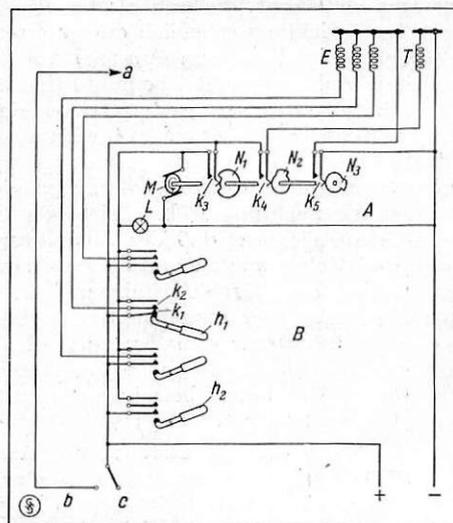


Abb. 6.