

Die Kosten einer Zugfahrt in Abhängigkeit von der Fahrweise und der Anstrengung des Triebfahrzeugs.

Von Reichsbahnoberrat Ehrensberger, München.

Im Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1925, Heft 15, S. 400 u. ff. sind die Grundlagen eines Verfahrens angegeben, nach dem die Kosten von Dampfzügen so genau ermittelt werden können, daß der billigste von mehreren Beförderungswegen zuverlässig festzustellen ist. Die hierzu als Vergleichsgrundlage benötigten Verbrauchswerte — das ist der für die Zugfahrt erforderliche Aufwand an Zeit, Energie und Zugförderarbeit — können nach diesem Verfahren für jede beliebige Anstrengung des Triebfahrzeugs und alle sonstigen die Größe der Verbrauchswerte beeinflussenden besonderen Verhältnisse berechnet werden. Demnach ist die Möglichkeit gegeben, die Wirtschaftlichkeit jeder Art von Frachtbeförderung, jeder Betriebsart und Fahrweise festzustellen und alle Fragen nach billigster Beförderung der Fracht einwandfrei zu klären. Das seinerzeit nur für die betriebswirtschaftliche Wertung von Strecken ausgearbeitete Verfahren konnte deshalb, für den größeren Anwendungsbereich ergänzt, in die von der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahngesellschaft herausgegebene „Dienstvorschrift für die Berechnung der Kosten einer Zugfahrt“ — abgekürzt „Zuko“ — übernommen werden.

Im folgenden werden nur die Formeln und Berechnungsgrundlagen des Verfahrens behandelt, deren theoretische Grundlagen in dem ersten Aufsatz lediglich angedeutet und die wegen des erweiterten Anwendungsgebietes geändert und neu aufgenommen worden sind.

I. Teil.

Berechnung der Verbrauchswerte.

Der Verbrauch an Fahrzeit, Zugförderarbeit und Energie ist wesentlich von der Fahrweise abhängig, wenn die Geschwindigkeit häufig wechselt (siehe Beispiel 4 im Teil III). Unter Fahrweise ist hier zu verstehen, wie die Zugkraft des Triebfahrzeugs und die Wucht des Zuges für die Beschleunigung und Verzögerung ausgenutzt wird. Geschwindigkeitswechsel sind meist auch bei wenig haltenden Zügen recht zahlreich. So wurde z. B. aus einer großen Zahl von Meßfahrten mit planmäßigen, wenig haltenden Schnellzügen festgestellt, daß im Durchschnitt etwa 60% der Gesamtfahrzeit auf Fahrt mit veränderlicher Geschwindigkeit und 30% der am Zughaken der Lokomotive gemessenen Zugkraftarbeit auf Beschleunigungsarbeit fallen.

Bei der Bestimmung der Verbrauchswerte müssen deshalb die für das Spiel der lebendigen Kraft hier gültigen Gesetze der ungleichförmig beschleunigten oder verzögerten Bewegung genau berücksichtigt werden.

1. Dynamische Grundlagen für die gegenwärtige Abhängigkeit zwischen Geschwindigkeit und Zugkraft.

Die Beschleunigungskraft P in kg des Triebfahrzeugs ist bei der jeweilig erreichten Fahrgeschwindigkeit V gleich dem Unterschied zwischen seiner indizierten Zugkraft Z_i und derjenigen Zugkraft (= Zugwiderstand), die bei Fortbewegung des Zuges mit dieser Geschwindigkeit aufzuwenden wäre. Demnach ist die Beschleunigungskraft auf gerader ebener Strecke

$P = Z_i - G_z \cdot w_z$ in kg (G_z = Gewicht des Zuges in t, w_z = Laufwiderstand in kg je Tonne) und auf einem Wegabschnitt mit dem Streckenwiderstand w_m in kg/t

$P_b = Z_i - G_z \cdot w_z - G_z \cdot (\pm w_m) = P - G_z \cdot (\pm w_m)$, oder bezogen auf eine Tonne Zuggewicht,

$$P_b = \frac{P - G_z \cdot (\pm w_m)}{G_z} = p - (\pm w_m) \text{ in kg/t.}$$

Die Beschleunigung eines Zuges von der Masse M je Tonne Zuggewicht auf einer Strecke mit dem Widerstand w_m ist $b = \frac{1}{M} [p - (\pm w_m)]$ in m/sec².

Hierin ist die Masse von 1000 kg Zuggewicht einschließlich eines Zuschlags ρ vom Hundert für den Einfluß der sich drehenden Teile

$$M = \frac{1000 (1 + 0,01 \rho)}{9,81} = 102 + 1,02 \rho.$$

Setzt man diesen Wert ein, so erhält man

$$\text{Gl. 1) } \dots \dots \dots b = \frac{p - (\pm w_m)}{102 + 1,02 \rho}.$$

Nach den dynamischen Grundgesetzen ist

$$\text{Gl. 2) } \dots \dots \dots b = \frac{dv}{dt}$$

und

$$\text{Gl. 3) } \dots \dots \dots dl = v \cdot dt,$$

wobei dv in m/sec die Änderung der Geschwindigkeit in der Zeit dt in sec und dl den hierbei zurückgelegten Weg in m bezeichnet. Für eine Änderung der Geschwindigkeit v_1 auf die Geschwindigkeit v_2 in m/sec wird nach den Gl. 2) und 3)

$$\text{Gl. 4) } \dots \dots \dots \Delta t = \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{b} \text{ in sec}$$

und

$$\text{Gl. 5) } \dots \dots \dots \Delta l = \int_{v_1}^{v_2} \frac{v \cdot dv}{b} \text{ in m.}$$

Zur Auswertung der Gl. 4) und 5) ist die Kenntnis des Gesetzes für die Abhängigkeit der Beschleunigung b von der Geschwindigkeit T während der Änderung der Geschwindigkeit v_1 auf die Geschwindigkeit v_2 erforderlich. Die Größe von b hängt von der Schaltstufe ab (z. B. bei Dampflokomotiven von der Stellung des Reglers und der Steuerung), die während der Geschwindigkeitsänderung v_1 auf v_2 angewendet werden darf oder angewendet wird. Der Verlauf der Veränderung von b wird in der Regel durch Versuche ermittelt; jedoch sind die hieraus ableitbaren mathematischen Funktionen für die praktische Rechnung meist wenig geeignet. Eine Gleichung zur Ermittlung des Zusammenhanges zwischen Zeit t , Weg l und Beschleunigung b während einer Geschwindigkeitsänderung, die für jede b -Linie angewendet werden kann, erhält man, wenn die b -Linie je nach der Stärke ihrer Krümmung so unterteilt wird, daß innerhalb jedes Teilstückes die gekrümmte Linie genügend genau durch eine Gerade ersetzt

und durch eine Gleichung nach der Form $b = n - m \cdot v$ dargestellt werden kann (abgestufte Integration). Hierin ist für jedes Linienstück nach Abb. 1

$$n = \frac{b_2 \cdot v_1 - b_1 \cdot v_2}{v_1 - v_2} \quad \text{und} \quad m = \frac{b_2 - b_1}{v_1 - v_2}$$

Wird $b = n - m \cdot v$ in die Gl. 4) und 5) eingesetzt, so ist

$$\Delta t' = \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{n - m \cdot v} = \frac{1}{m} [\ln(n - m \cdot v_1) - \ln(n - m \cdot v_2)]$$

und wenn hierin die Werte für n und m eingesetzt werden, Gl. 6) $\Delta t' = \frac{v_2 - v_1}{b_1 - b_2} \cdot \ln \frac{b_1}{b_2}$.

Ferner ist

$$\Delta l' = \int_{v_1}^{v_2} \frac{v \cdot dv}{n - m \cdot v} = \left[\frac{n}{m^2} \left(\ln \frac{n - m \cdot v_1}{n - m \cdot v_2} \right) \right] - \frac{v_2 - v_1}{m}$$

und nach Einsetzung der Werte für n und m

$$\text{Gl. 7} \dots \Delta l' = \left[\frac{(v_2 - v_1)(b_1 \cdot v_2 - b_2 \cdot v_1)}{(b_1 - b_2)^2} \cdot \ln \frac{b_1}{b_2} \right] - \frac{(v_2 - v_1)^2}{b_1 - b_2}$$

oder nach weiterer Umformung

$$\text{Gl. 7a} \dots \Delta l' = \Delta t' \cdot \left(\frac{b_1 \cdot v_2 - b_2 \cdot v_1}{b_1 - b_2} - \frac{v_2 - v_1}{\ln b_1 - \ln b_2} \right) \text{ in m.}$$

Die Berechnungsmethode mit den genauen Gl. 6) und 7) erfordert einen großen Arbeitsaufwand, wenn — was meist der Fall ist — wegen der Krümmung der b -Linien viele

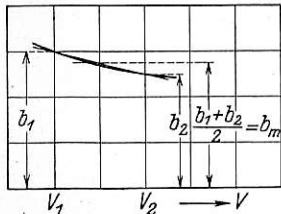


Abb. 1.

Geschwindigkeitsstufen von v_1 auf v_2 gewählt werden müßten. Es werden deshalb zweckmäßiger statt der Gesetze für die ungleichmäßig beschleunigte Bewegung die der gleichförmig beschleunigten angewendet, auf denen die üblichen zeichnerischen Verfahren zur Ermittlung der Fahrzeiten beruhen.

(Vergl. Dittmann, Anweisung für

die Ermittlung der Fahrzeiten der Züge nach dem zeichnerischen Verfahren, Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1924.)

Wird während der Geschwindigkeitsänderung von v_1 auf v_2 mit einer gleichbleibenden mittleren Beschleunigung $b_m = 0,5 \cdot (b_1 + b_2)$ gerechnet (s. Abb. 1), so ergeben die Gl. 4) und 5) die

$$\text{Gl. 8) } \dots \Delta t = \frac{1}{b_m} \int_{v_1}^{v_2} dv = \frac{v_2 - v_1}{b_m} \text{ in sec}$$

und

$$\text{Gl. 9) } \dots \Delta l = \frac{1}{b_m} \int_{v_1}^{v_2} v \cdot dv = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot b_m}$$

oder nach weiterer Umformung

$$\text{Gl. 9a) } \dots \Delta l = \Delta t \cdot \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Die Gl. 6) mit 9) gelten sowohl für Beschleunigung als auch für Verzögerung.

Der Vergleich der Gl. 8) und 9) mit den Gl. 6) und 7) läßt erkennen, daß durch die Annahme einer mittleren gleichbleibenden statt einer veränderlichen Beschleunigung immer Fehler entstehen. Teilt man Gl. 6) mit Gl. 8) und Gl. 7a) mit Gl. 9a), so geben die Quotienten die Größenordnung der Fehler an. Diese sind

$$\text{Gl. 10) } \dots c_t = \frac{\Delta t'}{\Delta t} = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot (b_1 - b_2)} \cdot \ln \frac{b_1}{b_2}$$

$$\text{Gl. 11) } \dots c_l = \frac{\Delta l'}{\Delta l} = \frac{2 \cdot c_t}{v_1 + v_2} \cdot \left(\frac{b_1 \cdot v_2 - b_2 \cdot v_1}{b_1 - b_2} - \frac{v_2 - v_1}{\ln b_1 - \ln b_2} \right)$$

Setzt man in den Gl. 10) und 11) den Wert $\frac{b_1}{b_2} = x$, so wird

$$\text{Gl. 10a) } \dots c_t = \frac{x + 1}{2(x - 1)} \ln x.$$

$$\text{Gl. 11a) } \dots c_l = \frac{2 \cdot c_t}{v_1 + v_2} \cdot \left(\frac{x \cdot v_2 - v_1}{x - 1} - \frac{v_2 - v_1}{\ln x} \right).$$

Der bei der Berechnung des Zeitbedarfes Δt nach Gl. 10a)

gemachte Fehler ist lediglich vom Verhältnis $x = \frac{b_1}{b_2}$ abhängig.

Der bei der Berechnung des in der Geschwindigkeitsänderung v_1 auf v_2 zurückgelegten Weges Δl entstehende Fehler ist nach Gl. 11a) außer von dem Verhältnis x noch von der mittleren

Geschwindigkeit der Stufe $v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$ und von dem Ge-

schwindigkeitsunterschied $v_2 - v_1 = \Delta v$ abhängig. In Abb. 2

ist die Gl. 10a) für c_t und in der Abb. 3 die Gl. 11a) für c_l und einige Geschwindigkeitsstufen in allgemein verwendbarer

Form dargestellt. Der mit den Gl. 8) und 9) für eine Ge-

schwindigkeitsänderung errechnete Verbrauch an Fahrzeit und

Fahrweg ist immer mehr oder weniger zu klein, d. h. um in

der nach Gl. 8) errechneten Zeit den nach Gl. 9) errechneten

Weg zurücklegen zu können, muß eine größere Zugkraft aufgewendet

werden, als die der Rechnung zu Grund gelegte. Mithin ist auch der

Aufwand an Lokomotivarbeit und Betriebsstoff größer.

Wie die Abb. 2 und 3 erkennen lassen, ist es auch nicht

möglich, durch ausschließliche Anwendung kleiner Ge-

schwindigkeitsstufen die Fehler bei den Verbrauchswerten

auf ein für die Genauigkeit der Berechnung unschädliches

Maß einzuschränken. Der Fehler kann vielmehr je nach der

Größe von v_m und x bei größeren Stufen (z. B. $\Delta v = 10$)

ein unbedeutendes zu vernachlässigendes Maß haben, dagegen

bei kleineren Stufen (z. B. $\Delta v = 1$) noch sehr fühlbar sein.

Die Fehler könnten in Kauf genommen werden, wenn nur die

Fahrzeit allein zu berechnen wäre, weil die zu deren Einhaltung

wirklich erforderliche größere Zugkraft in der Regel noch aus

der Kraftreserve des Triebfahrzeuges gedeckt werden kann.

Die Unsicherheit über die Höhe dieser Inanspruchnahme

beeinträchtigt immerhin die Ausnützung der Leistungs-

fähigkeit des Triebfahrzeuges. Wenn jedoch auch der Ver-

brauch an Energie und Zugförderarbeit zu berechnen ist,

muß der Systemfehler der Methode auf ein unschädliches

Maß eingeschränkt werden. Zahlenmäßig ist diese Notwendig-

keit aus Beispiel 1 und 2 in Teil III ersichtlich.

Die im Beispiel 1 durchgeführte Berichtigung der aus

den Formeln 8 und 9 berechneten Werte mittels c_l und c_t

erfordert einen unverhältnismäßig großen Arbeitsaufwand.

Das nachstehend angegebene Verfahren ermöglicht es, in ein-

facherer Weise einen hinreichenden Genauigkeitsgrad zu

erreichen.

Aus den Begriffen

$$x = \frac{b_1}{b_2}, \quad b_m = \frac{b_1 + b_2}{2} \quad \text{und} \quad \Delta b = b_1 - b_2$$

läßt sich ableiten

$$b_m = \frac{(b_1 - b_2) \cdot (x + 1)}{2 \cdot (x - 1)}$$

Setzt man in diese Gleichung

$$b_1 = \frac{P_1 - (\pm w_m)}{M} \quad \text{und} \quad b_2 = \frac{P_2 - (\pm w_m)}{M} \quad \text{ein,}$$

so erhält man

$$b_m = \frac{P_1 + P_2}{2M} - \left(\frac{\pm w_m}{M} \right) \quad \text{und} \quad b_1 - b_2 = \frac{P_1 - (\pm w_m) - P_2 + (\pm w_m)}{M}$$

Daher ist

$$\text{Gl. 12) } \dots p_m - (\pm w_m) = \frac{\Delta p (x + 1)}{2(x - 1)} = c \text{ oder } \frac{c}{\Delta p} = \frac{x + 1}{2(x - 1)},$$

worin $\Delta p = p_1 - p_2$ und $p_m = \frac{p_1 + p_2}{2}$ ist.

Für Beschleunigung ist einzusetzen $x = \frac{p_1 - (\pm w_m)}{p_2 - (\pm w_m)}$ und

für Verzögerung $x = \frac{(\pm w_m) - p_1}{(\pm w_m) - p_2}$.

keitsänderung $V_1 - V_2$ hat, W_{wm} in kg den Widerstand des Wagenzuges, so ist $Z_{im} = P_m + W_{im} + W_{wm}$. Die Geschwindigkeitsänderung von $V_1 = V_2$ auf dem Wege Δl erfordert also eine indizierte Zugkraftarbeit von $\Delta A_1 = \frac{\Delta l \cdot Z_{im}}{10^6}$ kmt und einen Energieverbrauch $\Delta B = \beta \cdot \Delta t$ in kg, wenn β die Zahl der Energieeinheiten bezeichnet, die das Triebfahrzeug für die Leistung der Zugkraft Z_{im} bei der Geschwindigkeit V_m in einer Sekunde Fahrzeit verbraucht. Bei der Wahl der Größe von $\Delta V = V_1 - V_2$ ist lediglich zu

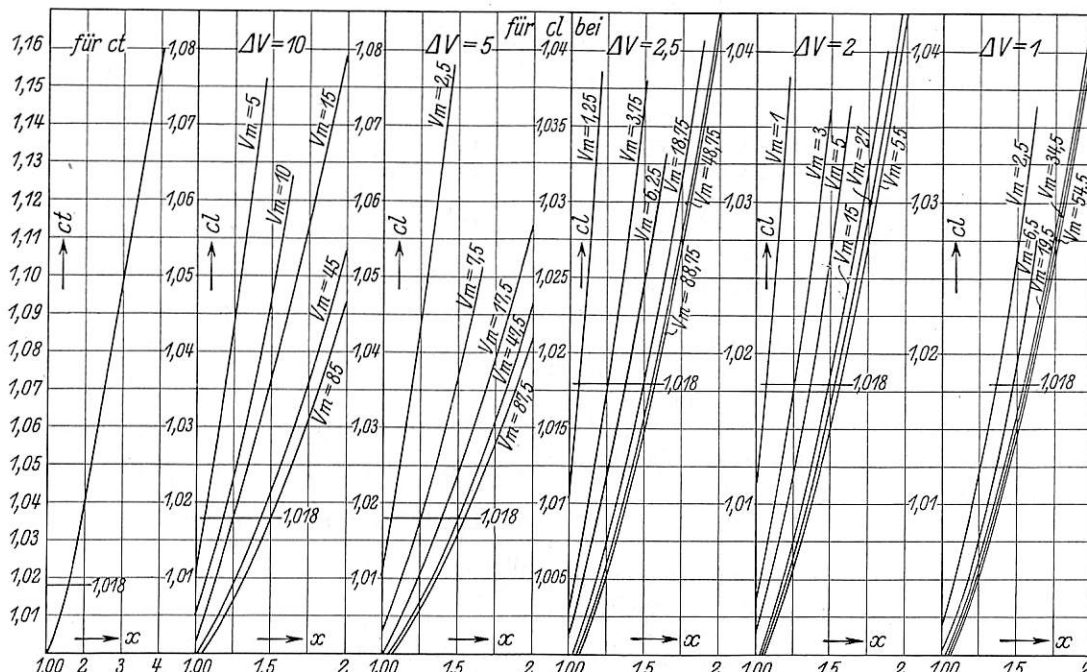


Abb. 2.

Abb. 3.

Da aus den p-Linien p_m sowie x für alle vorkommenden Geschwindigkeitsstufen ΔV bekannt sind, kann Gl. 12) als Anhalt für die Wahl der noch zulässigen Größe von ΔV verwendet werden. Aus den Linien der Abb. 4 kann der bei einer bestimmten Fehlergröße zulässige Wert für x und damit der kleinste zulässige Wert von $p_m - (\pm w_m) = c$ im Voraus für jede ΔV -Stufe festgesetzt werden. Ist bei der Berechnung des Wegs mittels der Gl. 9) der Fehler bei keiner Geschwindigkeitsänderung größer als etwa 2%, so übt er auf das Rechenergebnis keinen merkbaren Einfluß aus. Es ist z. B. nach der Abb. 3 für $c_1 = 1,018$, $\Delta V = 10$ km/h und $V_m = 85$ km/h der Wert $x = 1,5$, also nach Gl. 12)

$$\frac{c}{\Delta p} = \frac{1,5 + 1}{2(1,5 - 1)} = 2,5, \text{ d. h. es muß } p_m - (\pm w_m) = c = 2,5 \cdot \Delta p \text{ sein, damit der Fehler nicht größer als 1,8\% wird.}$$

In Abb. 4 sind die einem $c_1 = 1,018$ entsprechenden Werte $\frac{c}{\Delta p}$ für $\Delta V = 10, 5, 2,5, 2$ und 1 km/h in allgemein gültigen Linien dargestellt.

Wird der Wert $b_m = \frac{p_1 + p_2}{2M} - \frac{(\pm w_m)}{M}$ und $v = \frac{V}{3,6}$ in Gleichung 9) und 9a) eingesetzt, so erhält man

$$\text{Gl. 13) } \dots \Delta l = \frac{(3,935 + 0,03935 \cdot \varrho \cdot (V_2^2 - V_1^2))}{p_m - (\pm w_m)} \text{ in m,}$$

$$\text{Gl. 14) } \dots \Delta t = \frac{7,2 \cdot \Delta l}{V_1 + V_2} \text{ in sec.}$$

Bezeichnet W_{im} in kg den mittleren Eigenwiderstand bezogen auf die gerade ebene Strecke, den die Lokomotive bei Ausübung der Zugkraft Z_{im} während der Geschwindig-

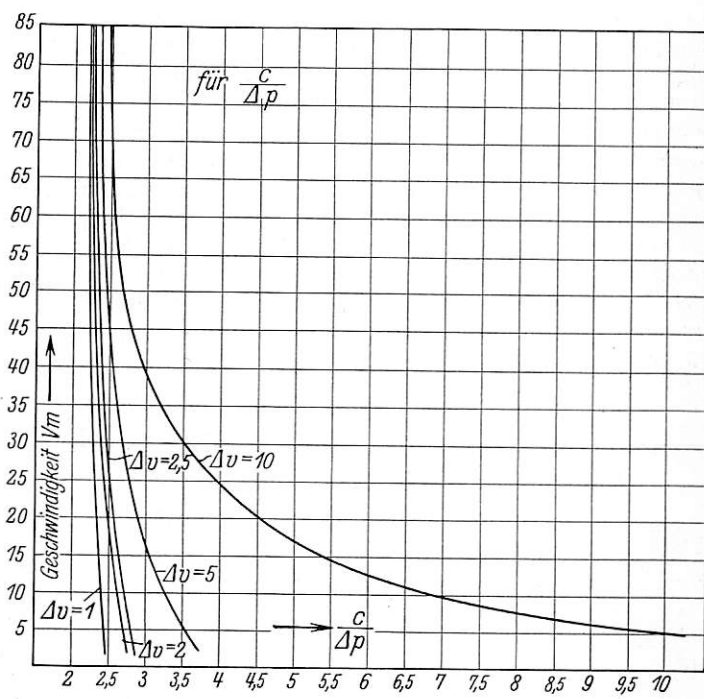


Abb. 4.

beachten, daß $p_m - (\pm w_m) \geq c$ sein soll. Für die Fahrt mit gleichbleibender Geschwindigkeit V gilt sinngemäß $\Delta t = \frac{3,6 \cdot \Delta l}{V}$, $\Delta A_1 = \Delta l \cdot Z_i$ und $\Delta B = \beta \cdot \Delta t$.

2. Rechenbeilfe.

Leistungs- und Verbrauchstafel für das Triebfahrzeug.

Je nach den besonderen Verhältnissen der zu untersuchenden Zugfahrt schwankt die Anstrengung des Triebfahrzeuges und damit die indizierte Zugkraft Z_i oft und sprunghaft zwischen 0 und den erforderlichen Höchstwerten. Auch muß je nach dem Zweck der Untersuchung die zugelassene Grenze der Anstrengung des Triebfahrzeuges verschieden groß gewählt werden können, wie aus Beispiel 3 des Teils III ersichtlich ist. Die sonst übliche zeichnerische Darstellung des Abhängigkeitsverhältnisses zwischen der Geschwindigkeit V und der Zugkraft Z_i bei einer bestimmten gleichbleibenden Anstrengung (s. Abb. 5) genügt deshalb für die Berechnung der Verbrauchswerte nicht. Die Grundgedanken einer für derartige Berechnungen geeigneten Darstellung des Zusammenhangs zwischen Zugkraft, Geschwindigkeit und Energieverbrauch — siehe Leistungs- und Verbrauchstafel nach dem Muster in Abb. 6 — sind in dem früheren Aufsatz über „Betriebswirtschaftliche Wertung der Strecken“ (Seite 304) für Heißdampflokomotiven bereits kurz angegeben worden. Die Richtigkeit dieser Darstellung ist nunmehr durch Meßfahrten des R. Z. M. (Siehe Nordmann, Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1930, Heft 7/8) nachgewiesen. Hierüber wird von Reichsbahnrat Wetzler-München in einem folgenden Aufsatz noch eingehend berichtet. Die gleiche Darstellung ist für Triebfahrzeuge jeder anderen Betriebsart möglich und z. B. für elektrische Lokomotiven, sowie Diesellokomotiven usw. bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bereits angewendet worden.

Da für Untersuchungen der Kosten von Zugfahrten neben dem Verbrauch an Fahrzeit immer auch der Verbrauch an Energie und Zugförderarbeit bei verschieden großer Anstrengung des Triebfahrzeuges unter Einhaltung einer bestimmten Fehlergrenze, außerdem aber auch die Leerlauf- und Bremsarbeit, die diese Kosten ebenfalls beeinflussen, zu ermitteln ist, werden die Gl. 13) und 14) am zweckmäßigsten rein rechnerisch ausgewertet. Bei Verwendung von Rechenbeihelfen nach dem Muster der für das Beispiel 3 im Teil III benützten wird einerseits der Zeitaufwand für die Berechnungen ganz wesentlich vermindert und andererseits die Einheitlichkeit und Genauigkeit der Rechnung in hohem Maße gewährleistet. Für Rechnungen, die in größerem Umfang durchzuführen sind, sind insbesondere die im folgenden beschriebenen Lokomotivtafeln A und B unentbehrlich. Sie werden aus der allgemein gültigen Leistungs- und Verbrauchstafel des Triebfahrzeuges für die Wagenzuggewichte G_w in t abgeleitet, für die die Berechnungen durchgeführt werden sollen.

Ist der Laufwiderstand des Zuges durch die Formel $W_w = G_w \cdot (c_{w1} + c_{w2} \cdot V^2)$ in kg gegeben, ebenso der des Triebfahrzeuges durch die Formel

$W_1 = c_{11} \cdot G_{11} + c_{12} \cdot G_{12} + c_{13} \cdot Z_i + c_{14} \cdot V^2$ in kg — G_{11} = Gewicht auf den Lauf- und Tenderachsen, G_{12} = Gewicht auf den Treibachsen, c_{w1} , c_{w2} , c_{11} , c_{12} , c_{13} , c_{14} Beiwerte, die von der Bauart abhängen und durch Versuche ermittelt werden müssen —, so ist die für die gerade ebene Strecke gültige

Gleichung $p = \frac{Z_i - W_1' - W_w}{(1 - c_{13}) \cdot (G_1 + G_w)}$ die Grundlage für den

Aufbau dieser Tafeln. Hierin ist $W_1' = c_{11} \cdot G_{11} + c_{12} \cdot G_{12} + c_{14} \cdot V^2$ (s. Abb. 6a), G_1 das Gesamtgewicht des Triebfahrzeuges in t, G_w das Gewicht des Wagenzuges.

Lokomotivtafel A.

Die Lokomotivtafel A erleichtert die Berechnung der Verbrauchswerte bei Geschwindigkeitsänderungen dadurch, daß in ihr für alle erforderlichen Geschwindigkeitsstufen $V_1 - V_2$ die immer wieder benötigten von den Streckenverhältnissen unabhängigen Zahlenwerte in den Gl. 13) und 14) für $(3,935 - 0,03935 \cdot \rho) \cdot (V_2^2 - V_1^2)$ und p_m , sowie für w_z , c , β und Z_{im} , ferner — zur Berechnung der Bremsarbeit — die Werte für $\frac{4,3 \cdot (V_2^2 - V_1^2) \cdot G_z}{10^6}$ zusammengestellt sind. Der

Zahlenwert $c = \frac{c}{\Delta p} \cdot (p_1 - p_2)$ läßt erkennen, ob bei der gewählten Stufe die zugelassene Fehlergrenze eingehalten wird.

Zu seiner Berechnung ist der Wert für $\frac{c}{\Delta p}$ den Linien der allgemein gültigen Abb. 4 für V_m und ΔV der Stufe zu entnehmen. Der Wert $\Delta p = p_1 - p_2$ ist durch den Abfall der indizierten Zugkraft bei gleicher Schaltstufe — Zylinderfüllungsgrad bei Dampflokomotiven — und sich ändernder Geschwindigkeit gegeben und aus der Leistungs- und Verbrauchstafel abzulesen. Siehe auch Beispiel 1 im Teil III. Es entspricht der üblichen Fahrpraxis in weitgehendem Maße, wenn hier vorausgesetzt ist, daß innerhalb einer Änderung der Geschwindigkeit um ΔV die Schaltstufe nicht gewechselt wird.

Die Werte für W_1' und β werden für V_m und Z_{im} der Stufe aus der Leistungs- und Verbrauchstafel — Abb. 6a und 6 — abgelesen.

Für welche ΔV -Stufen diese Zahlen berechnet und zusammengestellt werden, richtet sich nach dem für die Rechnung erforderlichen Genauigkeitsgrad. In Zahlentafel 1 sind als Beispiel einer Lokomotivtafel A aus der Leistungs- und Verbrauchstafel nach Abb. 6 für ein Wagenzuggewicht von 550 t die Zahlenwerte für einige ΔV -Stufen zusammengestellt. In der Regel genügen die Angaben für $\Delta V = 10$,

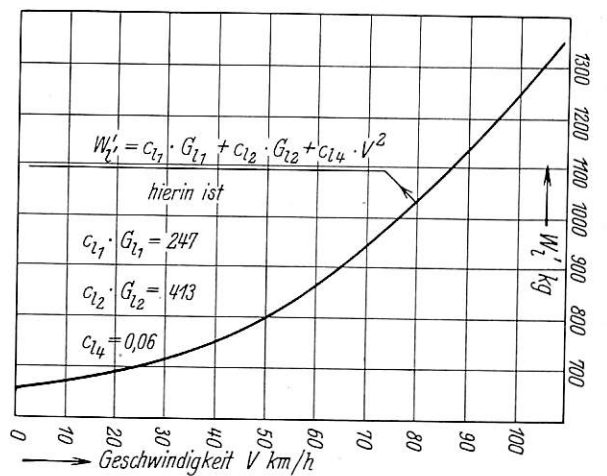
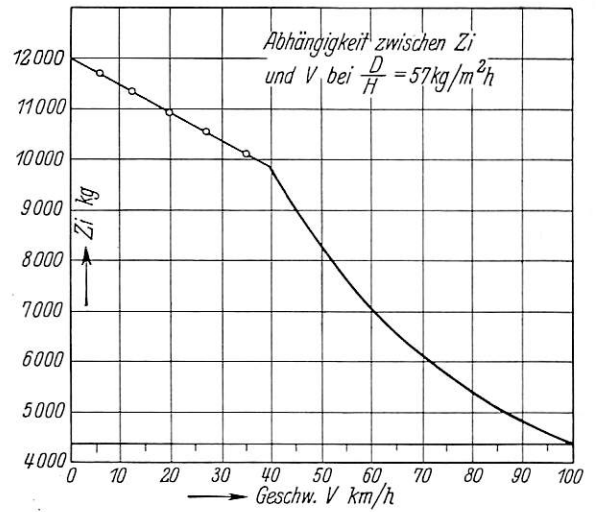
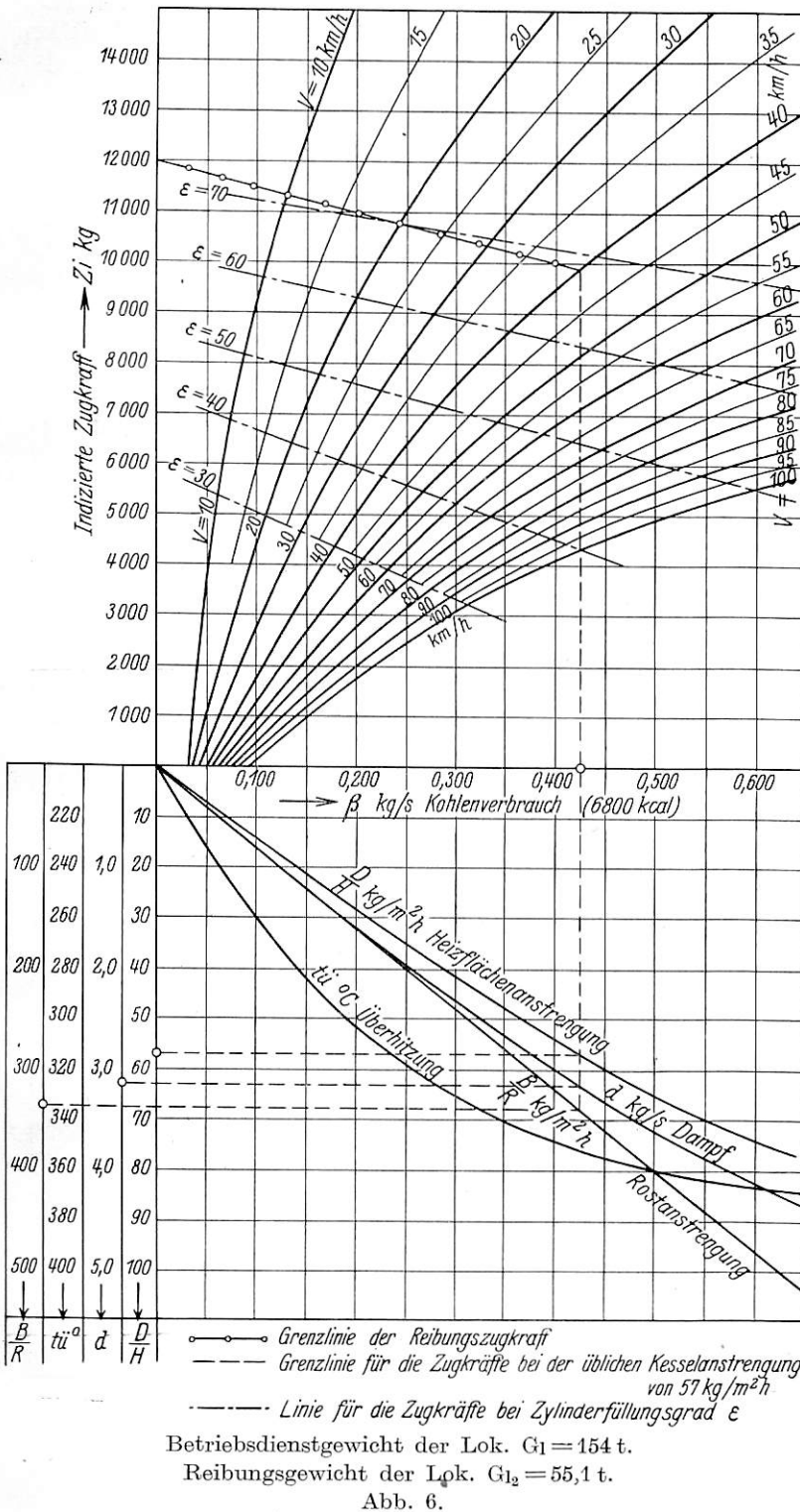
Zahlentafel 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Geschwindigkeitsstufestufe V_1 auf V_2 , bzw. V_2 auf V_1	Hilfswerte zur Ermittlung der Fahrzeit					Zugkräfte und Brennstoffverbrauchswerte		Hilfswerte zur Berechnung der Bremsarbeit
	$4,3 \cdot (V_2^2 - V_1^2)$	p_m	w_z	$\frac{7,2}{V_1 + V_2}$	C	Z_i	β	$\frac{4,3 \cdot (V_2^2 - V_1^2) \cdot G_z}{10^6}$
	km/Std	kg/t	kg/t		kg/t	kg	kg/sec	kmt
0—5	108	6,88	2,50	1,4400	3,26	6870	0,045	0,076
5—10	323	6,70	2,51	0,4800	0,82	6730	0,052	0,227
	usw.							
85—90	3762	1,98	4,62	0,0411	0,82	4900	0,412	2,648
	usw.							
97,5—100	2123	0,79	5,22	0,0365	0,38	4410	0,416	1,494

5, 2 und 1, um alle praktisch vorkommenden Rechnungen mit hinreichender Genauigkeit durchzuführen.

Aus den so erhaltenen Linien kann demnach für den ganzen Leistungs- und Geschwindigkeitsbereich des Trieb-

Leistungs- und Verbrauchstafel für eine Schnellzuglokomotive der Gattung 2 C1-h 4 v.



Lokomotivtafel B. (Siehe als Muster Abb. 7.)
 Die V-Linien der Lokomotivtafel B erhält man dadurch, daß $Z_i = [(G_1 + G_w) \cdot (\pm w_m) + W'_i + W_w] \cdot \frac{1}{1 - c_{13}}$ für drei bis vier Werte von w_m bei der Geschwindigkeit V berechnet, für diese Z_i und V die zugehörigen β aus der Leistungs- und Verbrauchstafel abgelesen und in dem β -Maßstab der Tafel B festgelegt werden. Die Z_i -Linien selbst sind Gerade, deren Lage durch zwei Punkte beiderseits der Ordinatenachse bestimmt ist.

fahrzeuges und alle Werte von w_m abgelesen werden, welche Zugkraft Z_i und welcher Energieverbrauch β — also auch welche Anstrengung — erforderlich ist, um mit dem Wagenzuggewicht, für das die Tafel gilt, auf einer Strecke mit dem Streckenwiderstand w_m die Geschwindigkeit V einzuhalten, oder die Beschleunigungskraft $p = \pm (3,935 - 0,03935 \cdot \rho) \cdot (V_2^2 - V_1^2) + (\pm w_m)$ in kg/t Bremsstapel.

Für die Zuverlässigkeit und Einheitlichkeit der Rechnung ist auch eine genaue Bestimmung der Bremswege und Brems-

auszuüben. Die Tafel B kann deshalb auch dazu benützt werden, um festzustellen, mit welchem Aufwand an Lokomotivarbeit und Brennstoffverbrauch das Wagenzuggewicht, für das sie gilt, nach einer gegebenen Geschwindigkeitsweg- oder Zeitlinie auf einer Strecke mit dem Streckenwiderstand w_m

des Getriebewiderstandes des Triebfahrzeuges beim Lauf mit abgestelltem Regler dient. Diese Arbeit muß ebenfalls ermittelt werden, weil die Triebfahrzeuge auch beim Leerlauf sich nicht unerheblich abnutzen. Der Getriebewiderstand bei Fahrt ohne Kraft kann für jedes Triebfahrzeug durch eine Gleichung

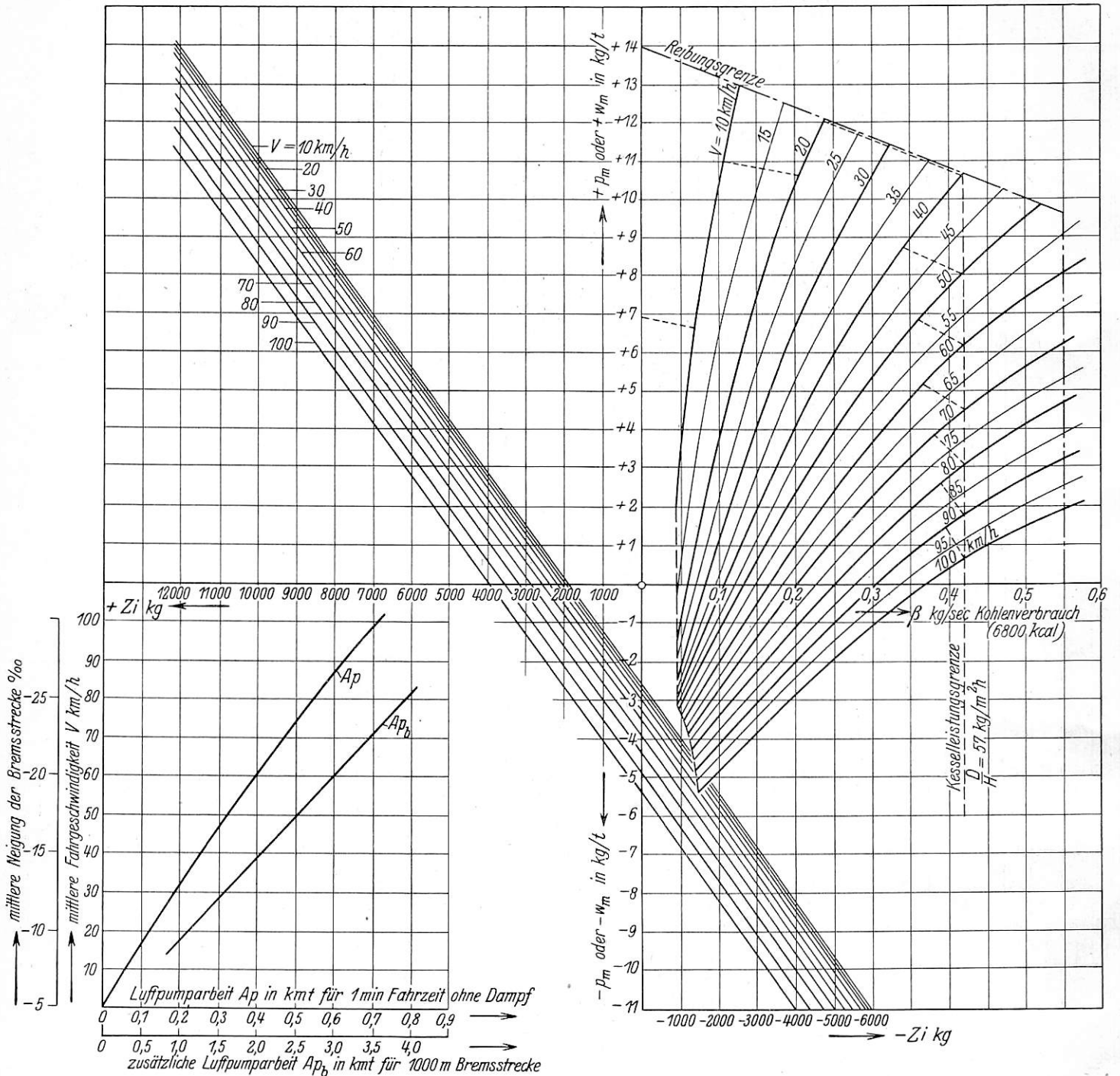


Abb. 7.

befördert werden kann. In diesem Falle ist Δl oder Δt durch die Geschwindigkeitslinie gegeben, so daß nach Gl. 8)

$$P_m = \frac{(3,935 + 0,03935 \cdot q) (V_2^2 - V_1^2)}{\Delta l} + (\pm w_m)$$

oder nach Gl. 9)

$$P_m = \frac{(28,33 + 0,2833 \cdot q) \cdot (V_2 - V_1)}{\Delta t} + (\pm w_m) \text{ wird.}$$

Auf der als Muster gezeigten Lokomotivtafel B ist noch die Schaulinie angegeben, die zur Berechnung der Arbeit

von der Form $W_{III} = c_{12} \cdot G_{12} + c_{10} \cdot V$ dargestellt werden. Die Beiwerte c_{12} und c_{10} können für jede Triebfahrzeuggattung durch Versuche ermittelt werden. Da die in einer Minute Fahrzeit bei der Geschwindigkeit V geleistete Getriebearbeit

beim Leerlauf $\frac{1000 \cdot W_{III} \cdot V}{10^6 \cdot 60} = \frac{W_{III} \cdot V}{60000}$ in kmt ist, lautet die

Gleichung für die Linie des Getriebewiderstandes je Minute Fahrzeit $\Delta A_p = \frac{(c_{12} \cdot G_{12} + c_{10} \cdot V) \cdot V}{60000}$ in kmt/min.

zeiten auf Grund der im Zug vorhandenen Bremswerte und der Neigungen der Bremsstrecke unentbehrlich. Bremsstrecken nach dem Muster in Abb. 12 erfüllen, wie im folgenden nachgewiesen wird, diese Voraussetzung vollkommen.

Zur Berechnung der Werte für die Bremsweg- und Bremszeitlinien dienen die Gl. 13) und 14). Als verzögernde Kraft wirkt bei Anwendung der Klotzbremse auf gerader ebener Strecke die Summe aus dem Laufwiderstand des Zuges und dem Produkt der Reibungsziffer f_m zwischen Bremsklotz und Radreifen mit dem wirksamen Druck der Bremsklötze auf die Radreifen. Bei Bestimmung dieser Bremskraft ist zu berücksichtigen, daß der Wert der Reibungsziffer f_m sowohl von der Geschwindigkeit als auch vom spezifischen Druck zwischen Klotz und Radreifen — Gesamtbremsklotzdruck geteilt durch den Inhalt der Reibungsflächen sämtlicher Bremsklötze — abhängig ist (siehe auch: Metzkwow, Meßeinrichtungen für Bremsversuche, Glasers Annalen, Jahrgang 1925, Band 96).

Die in einem Zuge vorhandene Bremskraft ist außerdem bestimmt durch das Verhältnis des mit den abgebremsten Wagen des Zuges erzielbaren gesamten Bremsklotzdruckes G_b in t zum Gesamtgewicht G_z des Zuges (Bremswert $b_r = 100 \frac{G_b}{G_z}$), also durch $G_b = 0,01 \cdot b_r \cdot G_z$ in t.

Auf je eine Tonne des Zuggewichts entfällt in der Neigung ($\pm w_m$) bei b_r Bremswert eine verzögernde Kraft $\frac{1000 \cdot b_r \cdot f_m}{100} + (\pm w_m) + w_z = 10 \cdot f_m \cdot b_r + (\pm w_m) + w_z$ in kg/t.

Die Formel für Bremszeit und Bremsweg lautet damit allgemein für $\rho = 9\%$

$$\Delta t = \frac{31 \cdot (V_2 + V_1)}{10 \cdot f_m \cdot b_r + w_z + (\pm w_m)} \text{ in sec}$$

und

$$\Delta l = \frac{\Delta t \cdot (V_1 + V_2)}{7,2} \text{ in m.}$$

Bei Auswertung dieser Formeln ist jedoch zu beachten, daß die volle Wirkung des Bremsdruckes auch nach Einleitung einer vollen Betriebsbremse nicht sofort vorhanden ist, weil der höchste Druck im Bremszylinder erst nach einer je nach der Bauart der Bremse längeren oder kürzeren Zeit erreicht wird. Der Ausdruck für die Bremskraft

$$10 f_m \cdot b_r + w_z + (\pm w_m)$$

ist also eine Funktion der Bremswert, des spezifischen Bremsklotzdruckes, der Fahrgeschwindigkeit, der Füllzeit des Bremszylinders und des Strecken- und Laufwiderstandes. Wegen der für eine mathematische Auswertung wenig geeigneten Form dieser Funktionen wird die Bremszeitformel am einfachsten durch eine Integration nach Zeit-, Geschwindigkeits- und Druckstufen ausgewertet. Dem folgenden Beispiel liegt das Druckdiagramm der Kunze-Knorr-Güterzugsbremse zugrunde. Die Zeit des Druckanstieges im Bremszylinder (hier etwa 60 Sekunden) wird in gleiche Abschnitte unterteilt, deren Zahl (hier 6) von der Krümmung und Neigung der Schaulinie für den Druckanstieg abhängig ist. Für jeden dieser Abschnitte wird aus dem Zylinderdruckschaubild das Verhältnis k zwischen mittlerem Zylinderdruck und vollem Zylinderdruck und außerdem für den hierdurch gegebenen wirksamen Bremsklotzdruck der mittlere spezifische Klotzdruck bestimmt. Die Reibungswerte f_m in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem spezifischen Bremsklotzdruck sind durch die nach den Metzkwowschen Versuchen und sonstigen Erfahrungswerten aufgezeichneten Linien der Abb. 8 dargestellt. Das Produkt $k \cdot f_m \cdot 10 \cdot b_r$ ist die wirksame Bremskraft in kg/t während des Zeitabschnitts, für den k gilt. Für jeden dieser Bremszeitabschnitte (Druckstufen I, II usw.) wird in Zahlentafel 2 die Bremszeitlinie in

Zahlentafel 2.

Beispiel für die Berechnung der Bremszeit- und Bremsweglinien.

Berechnung der Bremszeiten für die Druckstufen I bis VII bei $b_r = 25\%$ und $w_m = -10 \text{ kg/t}$.

$V_1 - V_2$	I ($k = 0,065$)		II ($k = 0,245$)		III ($k = 0,465$)		IV ($k = 0,585$)		V ($k = 0,715$)		VI ($k = 0,920$)		VII ($k = 1,0$)	
	10 kfbr	Δt	10 kfbr	Δt	10 kfbr	Δt	10 kfbr	Δt	10 kfbr	Δt	10 kfbr	Δt	10 kfbr	Δt
60—55	4,16	71,1	24,4	24,4	22,40	9,7	25,10	8,3	28,60	6,96	33,60	5,70	35,80	5,3
55—50	4,32	138,5	18,7	43,1	23,35	19,0	26,50	16,1	29,80	6,70	34,50	5,57	37,20	5,1
50—45	4,46	202,8	18,4	61,5	24,05	28,0	27,35	23,7	30,60	6,54	35,90	5,34	38,30	4,9
45—40	4,62	265,3	17,4	78,9	24,95	36,7	28,30	31,0	31,60	6,34	37,40	5,12	39,70	4,8
40—35	4,96	331,5	16,5	95,4	26,08	45,0	29,80	37,9	33,20	6,00	39,10	4,88	41,50	4,5
35—30	5,14	398,1	15,4	110,8	27,55	52,7	31,60	44,3	35,00	5,63	41,30	4,58	43,60	4,3
30—25	5,48	470,6	14,1	124,9	29,17	59,9	33,60	50,3	37,50	5,20	43,90	4,28	46,70	4,0
25—20	5,88	553,6	12,3	137,2	31,60	66,4	36,00	55,8	40,20	4,78	47,50	3,90	50,80	3,6
20—15	6,54	670,1	10,7	147,9	34,17	72,2	39,62	60,7	44,40	4,25	52,00	3,51	55,50	3,3
15—10	7,36	947,1	9,0	156,9	39,50	77,1	45,10	64,9	50,20	3,66	59,20	3,03	65,00	2,7
10—5	9,20	1073,1	7,0	163,9	47,00	81,1	53,50	68,3	60,00	2,98	70,50	2,48	75,00	2,3
5—0	11,50	1117,1	5,0	168,9	60,07	84,1	69,60	70,8	77,70	2,22	91,80	1,85	97,50	1,7

Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit berechnet und aufgezeichnet (Abb. 9 und 10). Aus diesen Linien für die einzelnen Zeitabschnitte wird die endgültige Bremszeit- und Bremsweglinie zusammengesetzt (Abb. 11 und 12). Der Bremsweg der Stufen I, II usw. in Abb. 12 ist gleich dem Flächeninhalt der Stufen I, II usw. in Abb. 11.

Wegen des Zeitbedarfs für den Druckanstieg im Bremszylinder ist die erzielbare durchschnittliche Bremskraft

Da das Rechenverfahren selbst genau ist, hängt die Brauchbarkeit der damit berechneten Bremswege und -zeiten nur von der Richtigkeit der f_m -Werte ab. Die gute Übereinstimmung vieler bei Meßfahrten im Betriebe aufgezeichneter Bremsweglinien mit den berechneten hat bestätigt, daß dies in hinreichendem Maße zutrifft.

Die Vorbereitungszeit, d. h. die Zeit für das Schließen des Reglers und Umstellen des Führerbremssventils, für die Fort-

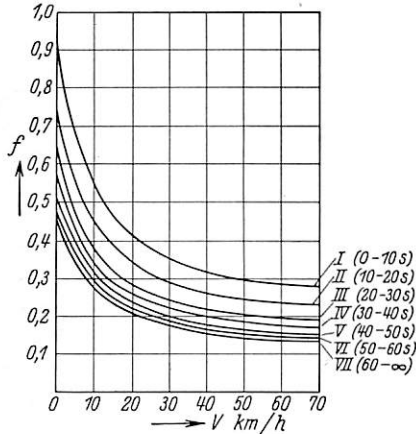


Abb. 8.

Reibungswerte f in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit V km/Std. für die Stufen I—VII des Druckanstieges im Bremszylinder.

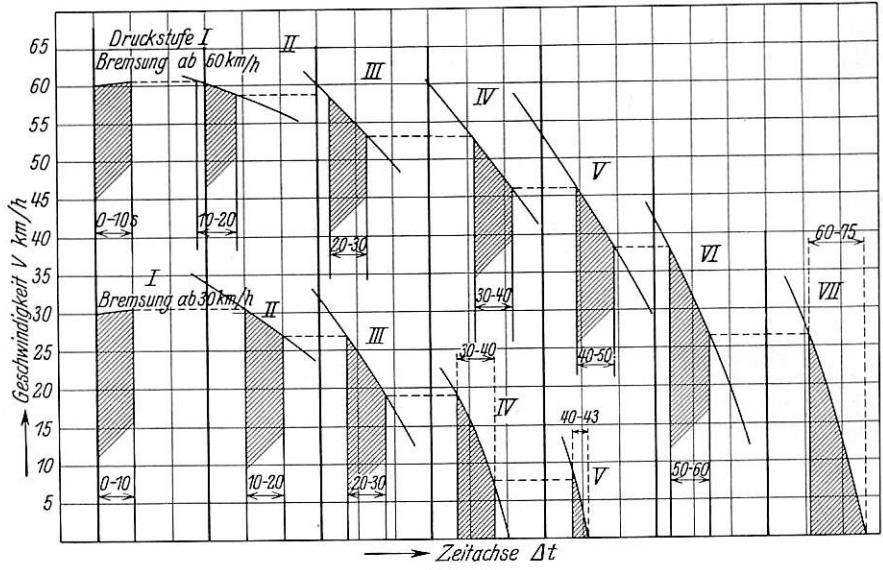


Abb. 10.

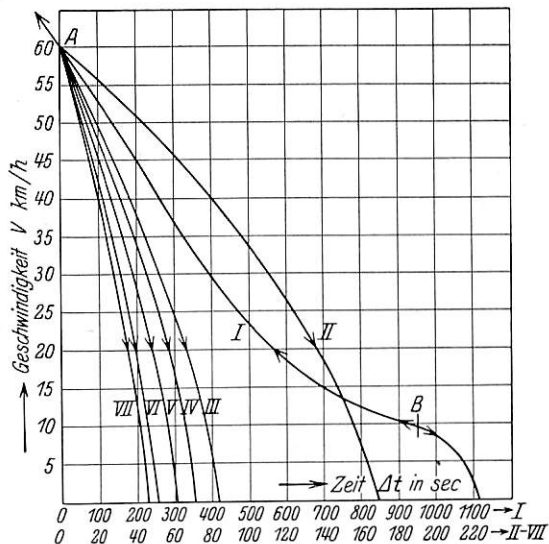


Abb. 9. Die römischen Ziffern bedeuten Druckstufen. Ist die Gefällskraft > Bremskraft, wie z. B. auf dem Ast A—B der Kurve für Druckstufe I, so ist die Geschwindigkeitsänderung für die in Frage kommende Zeitstufe (10s) im oberen Ast der Kurve von B nach A (Pfeilrichtung nach oben) abzulesen, es ergibt sich also steigende Geschwindigkeit.

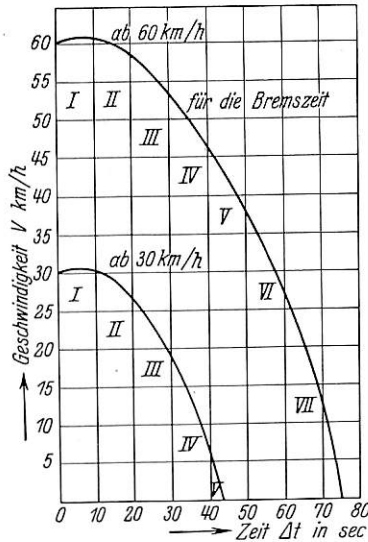


Abb. 11.

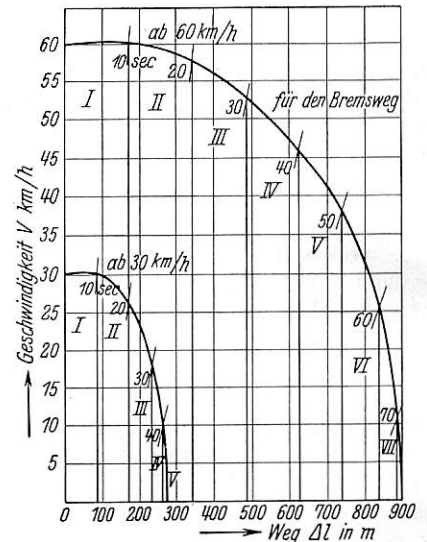


Abb. 12.

— Bremsverzögerung — von der Gesamtbremszeit und damit auch von der Höhe der Fahrgeschwindigkeit ($=V_b$) beim Beginn des Bremsens stark abhängig. Für jedes V_b ist also ebenso wie für jede Neigung $\pm w_m$ und jedes Bremswertstel b_r eine besondere Bremszeit- und Weglinie aufzustellen. Hier genügt es, die Bremszeit- und Weglinien nur für die in Stufen von etwa $\Delta V = 5$ km/h sich folgenden Geschwindigkeiten und nur für so viele w_m - und b_r -Werte zu berechnen, daß noch brauchbare Bremswege und Bremszeiten für dazwischenliegende Werte durch geradlinige Zwischenschaltung erhalten werden.

pflanzung der Ausblaufwelle, sowie für den Leerlauf der Bremskolben und des Bremsgestanges bis zum Anliegen der Bremsklötze an den Radreifen und der hierin zurückgelegte Weg ist in den Zeiten und Wegen dieser Tafeln noch nicht enthalten. Die Änderung der Geschwindigkeit des Zuges in dieser Vorbereitungszeit, also auch der dabei zurückgelegte Vorbereitungsweg, ist abhängig von dem Streckenwiderstand w_m und der Geschwindigkeit des Zuges beim Schließen des Reglers. Der Vorbereitungsweg muß deshalb für die dem gegebenen Falle angepaßte Vorbereitungszeit noch besonders berechnet werden, wenn die für Einhaltung eines vor-

geschriebenen Bremsweges (einschl. Vorbereitungsweges) erforderlichen Bremswert festgelegt werden sollen (z. B. für die Bremsstufen der BO). Wie die für diese Fälle sehr maßgebende Zunahme der Geschwindigkeit des Zuges in Gefällen während der Vorbereitungszeit genau ermittelt werden kann, zeigt Beispiel 2 im Teil III. Für die Berechnung von Fahrzeiten und Zugförderkosten genügt es, wenn der durch die Vorbereitungszeit veranlaßte Verlängerung des Bremsweges dadurch Rechnung getragen wird, daß nicht die Bremsstufen, die für die im Zug wirklich vorhandenen Bremswert berechnet ist, zum Ablesen der Bremszeit und des Bremsweges verwendet wird, sondern eine Bremsstufen, die für entsprechend niedrigere Bremswert gilt. Hierdurch wird auch der Bremswegverlängerung Rechnung getragen, die dadurch veranlaßt wird, daß der Lokomotivführer aus Sicherheitsgründen auch bei einer vollen Betriebsbremsung den Druck in der Luftleitung beim ersten Auslaß nicht so weit vermindern darf, wie es dem Höchstdruck im Bremszylinder entspräche, sondern sich die Möglichkeit einer noch wirksamen Verminderung des Leitungsdruckes als Vorrat für örtlich genaues Anhalten und für Notfälle zurückbehalten muß.

Zu beachten ist ferner bei Anwendung dieser Tafeln, daß in starken Gefällen, auf denen der Zug zur Einhaltung der vorgeschriebenen Geschwindigkeit bereits mit angezogenen Bremsen läuft, Weg und Zeit für eine Haltbremsung nur von dem Punkt ab abzulesen ist, in dem die Waagerechte durch den Anfangspunkt der Bremslinie für das betreffende Gefälle schneidet. Der Grund hierfür ist, daß hier nur eine bereits vorhandene Bremswirkung verstärkt werden muß und infolgedessen die Verluste an Bremszeit und Bremsweg durch den ersten langsamen Bremsanstieg wegfallen.

3. Gang der Berechnung.

Der Gang der Berechnung ist aus den Überschriften im Kopf der Zahlentafel 6 für Beispiel 3 im Teil III ersichtlich. Folgendes ist noch ergänzend zu bemerken:

Wenn nach Lokomotivtafel A auch bei der kleinsten in ihr enthaltenen Geschwindigkeitsstufe (z. B. $\Delta V = 1$) der Zahlenwert von c größer als der Zahlenwert von $p_m - (\pm w_m)$ ist, so muß — wegen Einhaltung der Fehlergrenze — Δl mit dem c dieser Stufe statt mit $p_m - (\pm w_m)$ berechnet und für den Wert $c + (\pm w_m)$ und für $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$ aus der Lokomotivtafel B der Wert für β und Z_i abgelesen werden. Diese Berechnungsart entspricht der Tatsache, daß zur Erreichung der auf einer Steigung mit dem Widerstand w_m bei der zugelassenen Anstrengung möglichen Beharrungsgeschwindigkeit eine größere Zugkraft erforderlich ist als zur Einhaltung der Beharrungsgeschwindigkeit. Im letzten Wegstück vor Erreichung der Beharrungsgeschwindigkeit muß deshalb eine größere Beschleunigungskraft p_m , als es der für die Dauerleistung festgesetzten Grenze entspricht, angewendet werden. Diese kurzfristigen Überschreitungen selbst der nach Erfahrung wegen der Unterhaltung des Triebfahrzeuges zugelassenen größten Daueranstrengung sind bei allen Arten von Triebfahrzeugen zulässig.

Die gleiche Regel kann angewendet werden, wenn das Reststück Δl_r des Streckenteils l_m mit dem Widerstand w_m nicht mehr ausreicht, um die Endgeschwindigkeit V_2 der kleinsten in der Lokomotivtafel A enthaltenen ΔV -Stufe zu erreichen. Man berechnet in diesem Falle umgekehrt die Beschleunigungskraft

$$p_m = \frac{(3,935 + 0,03935 \cdot \rho) \cdot (V_2^2 - V_1^2)}{\Delta l_r} + (\pm w_m),$$

die erforderlich ist, um auf dem Reststück Δl_r die Geschwindigkeit V_1 auf die Geschwindigkeit V_2 zu ändern, und liest für

das so berechnete p_m und für $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$ die zugehörigen Werte β und Z_i aus der Lokomotivtafel B ab. Sollte p_m so groß sein, daß die zugehörigen Werte von β und Z_i aus der Lokomotivtafel B nicht mehr abgelesen werden können, so wird für die Rechnung genügend genau das Reststück Δl_r mit der Geschwindigkeit V_2 der letzten ΔV -Stufe durchfahren, wenn $p_m - (\pm w_m)$ positiv ist, oder dem nachfolgenden Streckenabschnitt zugeschlagen, wenn $p_m - (\pm w_m)$ negativ ist.

Bei der Ermittlung von Δl und Δt für Änderung der Geschwindigkeit durch Auslauf — Fahrt ohne Zugkraft — ist in die Gl. 8) der Zahlenwert von w_z statt p_m einzusetzen. Gl. 8) lautet in diesem Falle

$$\Delta l = \frac{(3,3935 + 0,03935 \cdot \rho) \cdot (V_2^2 - V_1^2)}{-w_z - (\pm w_m)}$$

Ist aus einer gegebenen Weg- oder Zeitgeschwindigkeitslinie der Verbrauch an Arbeit und Energie zu berechnen oder festzustellen, bei welcher Anstrengung ein mit irgendeinem Triebfahrzeug bespannter Zug die durch diese Geschwindigkeitslinie festgelegte Fahrzeit einhalten kann, so ist der Gang der Rechnung der gleiche. Für die Geschwindigkeitslinie über Weg ist nach Formel 8

$$p_m = \frac{(3,3935 + 0,03935 \cdot \rho) \cdot (V_2^2 - V_1^2)}{\Delta l} + (+w_m),$$

für die Geschwindigkeitslinie über Zeit nach Formel 9

$$p_m = \frac{(28,33 + 0,2833 \cdot \rho) \cdot (V_2 - V_1)}{\Delta t} + (+w_m).$$

Für die hiernach erforderliche indizierte Zugkraft $Z_{im} = \frac{(G_1 + G_w) \cdot p_m + W_1' + W_w}{1 - c_3}$ und $V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$ ist

aus der Leistungs- und Verbrauchstafel des Triebfahrzeuges oder, wenn vorhanden, aus der Lokomotivtafel B der Energieverbrauch β und damit die Anstrengung des Triebfahrzeuges in diesem Wegabschnitt abzulesen (siehe Beispiel 4 im Teil III).

II. Teil.

Kostenformeln für die Berechnung der veränderlichen Betriebskosten.

In der „Zuko“-Vorschrift der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft wird unterschieden nach veränderlichen Betriebskosten, vollen Betriebskosten und Selbstkosten. Hier interessieren nur die veränderlichen Betriebskosten, da bei vorhandenen ausreichenden Betriebsanlagen nur sie durch neue Zugfahrten als Mehrung entstehen und nur ihre Größe von der Höhe der nach den besonderen Verhältnissen der Zugfahrt mittels der Regeln des Teiles I zu berechnenden Verbrauchswerte unmittelbar abhängt. Die veränderlichen Betriebskosten umfassen die Ausgaben — ohne Zuschlag für Sachverwaltung und Geschäftsleitungskosten — für

1. Betriebspflege des Triebfahrzeuges
2. Kohlenverbrauch für die Fahrt und die zur Durchführung der Fahrt erforderlichen Nebenleistungen
3. Lokomotivspeisewasser
4. Sonstige Betriebsstoffe
5. Unterhaltung des Kessels des Triebfahrzeuges
6. Unterhaltung des Fahrgestelles und Tenders
7. Zeitkosten für die Unterhaltung, Erneuerung und Verzinsung des Triebfahrzeuges
8. Zugpersonal
9. Unterhaltung, Erneuerung und Verzinsung der Wagen
10. Unterhaltung des Oberbaues
11. Erneuerung des Oberbaues.

Die Größe dieser Ausgaben ist bestimmt durch die folgenden Verbrauchswerte:

Gesamte Fahrzeit	T	in min
Fahrzeit mit geschlossenem Regler	T _o	„ „
Stillstandszeit innerhalb der Zugfahrt	T _a	„ „
Brennstoffverbrauch		
bei Fahrt mit geöffnetem Regler	B	in kg
bei Fahrt mit geschlossenem Regler	B _o	„ „
bei Stillstand innerhalb der Zugfahrt	B _a	„ „
für Heizen der Reisezüge	B _h	„ „
Indizierte Lokomotivarbeit	A _l	in kmt
Arbeit des Getriebewiderstandes der Lokomotive bei geschlossenem Regler		
	A _p	„ „
Gesamte Bremsarbeit der Klotzbremse	A _b	„ „
Zeitaufwand für Vorbereitung und Abschluß	T _v	„
Brennstoffverbrauch für Vorbereitung und Abschluß		
	B _n	

Um den Einfluß der besonderen Verhältnisse der Zugfahrt auf die Kosten erfassen zu können, müssen diese Verbrauchswerte in die Kostenformeln, deren Grundlage statistisch oder durch Versuche ermittelte Kosteneinheitenwerte bilden, als veränderliche Größen eingeführt werden.

Der Aufbau der einzelnen Kostenformeln wird in folgendem an Hand der für Dampflokomotiven gültigen Gedankengänge erläutert. Die Formeln können sinngemäß für jede Betriebsform angewendet und auf deren Eigenart umgeformt werden.

Kostenformel 1.

Kosten der Betriebspflege des Triebfahrzeuges.

Der Aufwand an Arbeitsstunden für die Betriebspflege eines Triebfahrzeuges ist nur zum Teil abhängig von der für die Zugfahrt verbrauchten Triebstoffmenge. Der andere Teil ist außer von der Größe und Bauart des Triebfahrzeuges noch abhängig von der Zahl der in einem bestimmten Zeitraum vom Triebfahrzeug zurückgelegten Läufe, wobei unter einem „Lauf“ eine Fahrt zu verstehen ist, während der für das Betriebsfahrzeug keine Betriebspflege aufkommt. Die hauptsächlich von der Zahl der innerhalb des Dienstplans geleisteten Läufe abhängigen Einrichtungen der Betriebspflege umfassen beim Dampfbetrieb das Drehen und Putzen der Lokomotive, das Herrichten der Lampen und die Unterhaltung des Reservefeuers. Die von der Lokomotivarbeit während der Zugfahrt abhängigen Arbeiten der Betriebspflege umfassen die Ergänzung der Betriebsstoffe (Kohle, Wasser, Schmieröl, Sand), das Entschlacken, das Ausräumen der Rauchkammer und des Aschenkastens, die Verladung der Verbrennungsrückstände und das Kesselwaschen. Da der Einfluß der Arbeitsleistung der Lokomotive während der Zugfahrt auf den Zeitaufwand für das Entschlacken, Ausräumen von Rauchkammer und Aschenkasten, Besanden und Kesselwaschen nur sehr gering ist, kann, ohne die Genauigkeit der Rechnung fühlbar zu beeinflussen, der Stundenaufwand hierfür mit dem nur von der Zahl der Läufe abhängigen Aufwand zusammengefaßt werden. Nach diesen Gesichtspunkten läßt sich, wenn 10 Tonnen Kohle oder Verbrennungsrückstände in einem Tagewerk verarbeitet werden, die nachstehende Kostenformel ableiten:

$$K_{\text{bpf}} = k_{\text{bpf}} \cdot \left[\frac{T_{\text{wbm}}}{l_f} + (1 + f_r) \cdot \frac{B_g}{10000} \right] \text{ in } \mathcal{R}\mathcal{M}.$$

Hierin ist:

l_f	Zahl der Läufe, die im Tagesdurchschnitt auf eine Lokomotive der Gruppe entfallen, wenn keine Reparaturtage entstehen würden
T_{wbm}	erforderliche Zahl von Tagewerksköpfen für die Arbeiten nach Gruppe I für eine voll ausgenutzte Lokomotive
k_{bpf}	Ausgaben in $\mathcal{R}\mathcal{M}$ für einen Tagewerkskopf einschließlich eines Zuschlags für sächliche und von der Kopfzahl abhängige Ausgaben

f_r	Verhältnis zwischen verbrauchter Kohlenmenge und den dafür angefallenen Feuerungsrückständen (f_r ist abhängig von Kohlensorte und Rostanstrengung)
K_{bpf}	auf die Zugfahrt entfallende Gesamtausgaben für die Betriebspflege der Lokomotive in $\mathcal{R}\mathcal{M}$
B_g	Gesamtkohlenverbrauch in kg für die Zugfahrt.

Für neuzeitliche Heißdampflokomotiven kann nach Versuchen für Ruhrkohle mit 6800 WE im Durchschnitt

$$f_r = 0,02 \cdot \left(1 + \frac{B + B_o + B_h}{T \cdot R} \right)$$

gesetzt werden.

Kostenformel 2.

Kosten des Kohlen- (Energie-) Verbrauchs.

Der Kohlenverbrauch während der Fahrt setzt sich zusammen aus der

- für die Fahrt mit Kraftverbrauch berechneten Kohlenmenge B;
- während der Fahrt ohne Kraftverbrauch verbrannten Kohlenmenge $B_o = b_f \cdot R \cdot T_o$ (R = Rostfläche der Lokomotive in m^2);
- beim Stillstand des Triebfahrzeuges während der Fahrt verbrannten Kohle $B_a = b_a \cdot R \cdot T_a$.

Die Festwerte b_f und b_a sind nicht für alle Lokomotiven, Geschwindigkeiten und sonstigen Verhältnisse vollkommen gleich. Die entstehenden Fehler bleiben jedoch innerhalb zulässiger Grenzen, wenn allgemein mit $b_f = 0,5$ bis $0,6$ und $b_a = 0,4$ bis $0,5$ gerechnet wird. Die Formel für die Kosten des Kohlenverbrauchs während der Fahrt lautet dann $K_b = (B + B_o + B_a) \cdot k_b$ in $\mathcal{R}\mathcal{M}$. Der Kohlenpreis k_b in $\mathcal{R}\mathcal{M}$ je kg setzt sich zusammen aus dem Zechenpreis und den Kosten für die Beförderung der Kohle von der Zeche bis zum Kohlenlager der Abgabestelle, soweit sie beim Wegfall der Beförderung eingespart werden können. Für diese Beförderungskosten kann zur Zeit ein Durchschnittswert von 1 Rpf je tkm eingesetzt werden.

Die Kohlenverbrauchswerte β der Leistungs- und Verbrauchstafeln gelten für einen bestimmten Brennwert der Kohle. Sie müssen bei der Verwendung einer Kohlensorte mit anderem Brennwert umgerechnet werden.

Der Brennwert einer Kohlensorte, der nicht nur vom Heizwert (ausgedrückt durch die Zahl der Wärmeeinheiten der Kohle), sondern auch von den sonstigen Brenneigenschaften (Schlacken- und Flammenbildung, Verbrennungsrückständen usw.) abhängt, ist gekennzeichnet durch das Gewicht des Wassers, das mit je 1 kg Kohle verdampft werden kann (Verdampfungsziffer.) Das Verhältnis zwischen der Verdampfungsziffer der bei der Zugfahrt verwendeten Kohle und der Kohle der Verbrauchstafel bestimmt auch das Verhältnis des Verbrauchs bei gleicher Leistung und unter sonst gleichen Verhältnissen. In der als Beispiel gebrachten Lokomotivleistungs- und Verbrauchstafel gilt der Kohlenverbrauch β für Ruhrkohle mit einem durchschnittlichen Heizwert von 6800 WE. Mit 1 kg dieser Kohle können im Kessel der Lokomotive bei einer durchschnittlichen Heizflächenanstrengung von $40 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ je $7,95 \text{ kg}$ Wasser oder bei $57 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ je $7,55 \text{ kg}$ etwa 3 Std. lang verdampft werden, bis die Luftzufuhr durch den Rost infolge der Verschlackung ungenügend wird. Würde eine Kohlensorte verwendet, die bei der Anstrengung von 40 kg/m^2 z. B. nur $7,2 \text{ kg}$ Wasser verdampft, so müßte der aus dieser Lokomotivleistungs- und Verbrauchstafel ermittelte Kohlenverbrauch im Verhältnis $\frac{7,95}{7,2} = 1,1$ vergrößert werden. Ist die Verdampfungsziffer einer Kohlensorte noch nicht bekannt, wohl aber der Heizwert in WE, so genügt in erster Annäherung, den Verbrauch im Verhältnis der Heizwerte umzurechnen.

Diese Umwertung nach der Kohlensorte ist aber nur für Untersuchungen erforderlich, bei denen die Kohlensorte eine besondere Rolle spielt.

Kosten der Kohle für Nebenleistungen.

Die zur Durchführung einer Zugfahrt erforderlichen Nebenleistungen sind:

Das Bereitstellen (oder Anheizen) des Triebfahrzeuges für die Zugfahrt einschließlich Vorbereitungs- und Abschlußdienst, Fahrt zum und vom Zug, Kesselwaschen, allenfallsiger Verschiebedienst. Die Zeiten für diese Nebenleistungen müssen nach den örtlichen Verhältnissen und aus dem Dienst- und Fahrplan bestimmt werden.

Nach Versuchen kann gerechnet werden, für die Stillstandszeit (= T_n in Min.) vor und nach der Fahrt mit abgedecktem Feuer ein Kohlenverbrauch von $0,13 \text{ kg/m}^2/\text{min}$ (= Wärmeverlust durch Ausstrahlung des Kessels) und als Mehrverbrauch für etwaiges Anfeuern bei einem Verhältnis Heizfläche durch Rostfläche

$$\frac{H}{R} = 70 \text{ ein Wärmeverbrauch } B_f = 74 \text{ kg/m}^2$$

$$\frac{H}{R} = 60 \text{ ,, ,, ,, = 66 ,,}$$

$$\frac{H}{R} = 50 \text{ ,, ,, ,, = 59 ,,}$$

In der Regel kann für die zur Fahrt zum und vom Zug benötigte Zeit (T_z) und Verschiebedienst ein durchschnittlicher Kohlenverbrauch von $b_k = 0,55$ bis $0,75 \text{ kg/m}^2/\text{min}$ eingesetzt werden. Für genauere Rechnungen müssen diese Werte nach den örtlichen Verhältnissen durch besondere Untersuchungen bestimmt werden. Die Kosten des Kohlenverbrauchs für Nebenleistungen betragen demnach, wenn im Durchschnitt auf eine Zugfahrt n_a Anheizungen fallen,

$$K_{bn} = R \cdot [0,13 \cdot T_n + n_a \cdot B_f + b_k \cdot T_z] \cdot k_b \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Wärmeverbrauch für das Heizen der Reisezüge.

Der Brennstoffverbrauch b_h für eine Heizstunde hängt ab von der Bauart der Wagen und der Heizeinrichtungen sowie der Außentemperatur. Er muß deshalb auf Grund von Versuchswerten von Fall zu Fall besonders ermittelt werden.

Kostenformel 3.

Kosten des Lokomotivspeisewassers.

Der Verbrauch an Lokomotivspeisewasser kann aus der Leistungs- und Verbrauchstafel wie der Kohlenverbrauch in der Weise berechnet werden, daß der Dampfverbrauch d je Sekunde Fahrzeit für zusammengehörige Werte von Z_1 und V aus der d -Linie abgelesen wird. Diese Art der Berechnung ist nur für besondere Untersuchungen erforderlich.

Für die Berechnung der Zugförderkosten genügt es, den Wasserverbrauch aus der für Dampferzeugung verbrauchten Kohle $B_d = B + B_h + b_k \cdot T_z$ dadurch zu ermitteln, daß für

$$\text{die durchschnittliche Rostanstrengung } \frac{B}{R} = \frac{60 \cdot B_d}{(T + T_z - T_0) \cdot R}$$

in der Lokomotivleistungs- und Verbrauchstafel über die B/R -Linie auf der d -Linie der zugehörige Wert d abgelesen wird. Die Kosten des Wasserverbrauchs ergeben sich dann aus der Beziehung

$$K_w = (T + T_z - T_0) \cdot 60 \cdot d \cdot k_w \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Die Kosten k_w in $\mathcal{R}M$ für 1 kg Wasser einschließlich Reinigungskosten müssen örtlich festgestellt werden. Als Durchschnitt kann $k_w = 0,00015$ in $\mathcal{R}M$ gesetzt werden.

Kostenformel 4.

Kosten der sonstigen Betriebsstoffe.

Die Ausgaben für Schmieröl, Sand, Beleuchtungs- und Reinigungsmittel können zusammengefaßt und mit einem

für die Lokomotivgattung gültigen Einheitssatz k_{δ_1} für je einen durchfahrenen km in Rechnung gestellt werden. Die Kostenformel lautet dann

$$K_{\delta_1} = k_{\delta_1} \cdot L \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Kosten der Unterhaltung des Triebfahrzeuges.

Vorbemerkungen.

Die Zahl der auf die Einheit des durchfahrenen Weges entfallenden Arbeitsstunden, Stoffe und Ersatzteile, die verbraucht werden, um das Triebfahrzeug so zu unterhalten, daß die Abnutzung nie größer wird als es aus Gründen der Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit zugelassen werden kann, ist nach der Erfahrung von der Größe der Zugförderarbeit und der Länge der Zeit abhängig, in der diese Arbeit zu leisten ist (Anstrengung des Triebfahrzeuges). Je nach den besonderen Verhältnissen der Zugfahrt ist die auf ein Weg- oder Tonnenkilometer fallende Arbeit und der Anstrengungsgrad, bei der sie zu leisten war, sehr verschieden. Die besonderen Verhältnisse einer Zugfahrt würden also nicht erfaßt, wenn die ihr anzulastenden Unterhaltungskosten in der Weise berechnet würden, daß die Weg- oder Tonnenkilometer der Zugfahrt mit dem bei der Triebfahrzeuggattung nach der Statistik auf einen dieser Einheiten fallenden durchschnittlichen Ausgabebetrag vervielfältigt werden. Zudem ist zu berücksichtigen, daß auch für die einzelnen Bauteile einer Triebfahrzeuggattung der Einfluß der Anstrengung auf die die Höhe des Unterhaltungsaufwandes bestimmende Abnutzung verschieden groß ist.

Bei Dampflokomotiven muß z. B. wegen der ganz verschieden gearteten Ursachen für die Entstehung von Abnutzungsschäden gesondert bestimmt werden, welcher Unterhaltungsaufwand veranlaßt wird durch

- I. Beanspruchung des Lokomotivkessels,
- II. Beanspruchung des Fahrgestells,
- III. Vornahme der durch die vorgeschriebenen zeitlich befristeten Untersuchungen und durch Witterungseinflüsse veranlaßten Arbeiten am Kessel und Fahrgestell.

Kostenformel 5.

Kosten der Unterhaltung des Dampfkessels, soweit sie durch die Verbrennung der Kohle und Verdampfung des Wassers veranlaßt werden.

Den größten Teil des Aufwandes für die Unterhaltung des Kessels erfordern die Abdichtungs- und Ersatzarbeiten, die durch das Abbrennen der von den Flammen und den Verbrennungsgasen bestrichenen Bauteile — Siede- und Rauchrohrborde, Stehbolzenköpfe, Stemmkannten, Deckenanker usw. — veranlaßt werden. Die Zeit bis zur Wiedervornahme dieser Arbeiten verkürzt sich erfahrungsgemäß unter sonst gleichen Verhältnissen, wenn Temperatur und Geschwindigkeit der Flammen und Rauchgase gesteigert und die Dauer ihrer Einwirkung verlängert wird. Hohe Temperaturen begünstigen zudem die Bildung von Rissen durch Wärmespannungen und verkürzen dadurch die Lebensdauer insbesondere der Feuerbüchse. Die Temperatur und Geschwindigkeit der Verbrennungsgase steigt mit der in der Zeiteinheit auf dem Rost verbrannten Kohlenmenge — = Rostanstrengung r in $\text{kg/m}^2/\text{h}$ — und die Gesamtmenge der bei der Anstrengung r verbrannten Kohle bestimmt die Dauer der Einwirkung. Die Häufigkeit dieser Ausbesserungsarbeiten ist demnach eine Funktion sowohl der Kohlenmenge B_d als auch der Rostanstrengung, bei der sie verbrannt worden ist.

Mußten für je 1000 kg der bei einer durchschnittlichen Rostanstrengung r_s verbrannten Kohlenmenge H_{ks} Arbeitsstunden für die Ausbesserung der durch diese Verbrennung veranlaßten Abnutzungsschäden aufgewendet werden, so fallen auf

eine Zugfahrt, für die B_d kg Kohle bei der Rostanstrengung r verbrannt wurden, nach den vorstehenden Erläuterungen Kosten für die Kesselabnutzung im Betrage von

$$K_{ku} = c_k \cdot \frac{r}{r_s} \cdot H_{ks} \cdot \frac{B_d}{1000} \cdot k_{HK} \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Durch die Beziehung $c_k \cdot \frac{r}{r_s}$ ist die Änderung des spezifischen Wertes H_{ks} auf H_k , die durch die Änderung von r_s auf r veranlaßt wird, in Rechnung gestellt. Der Wert von H_{ks} kann aus der gebräuchlichen Lokomotiv- und Werkstättenstatistik festgestellt werden. Die statistische Größe r_s muß durch Sondererhebungen ermittelt werden, weil die Fahrzeit nicht regelmäßig statistisch erfaßt wird. Ist für ein r_s die zugehörige Größe H_{ks} ermittelt, so sind zwei Punkte der Linie $H_k = c_k \cdot \frac{r}{r_s} \cdot H_{ks}$ festgelegt, weil diese Linie vom

0-Punkt der $\frac{r}{r_s}$ -Achse ausgehen muß (Abb. 13). Solange $r < 2 \cdot r_s$ ist — Ausnahmen hiervon werden in der Praxis kaum vorkommen —, wird wahrscheinlich etwas zu günstig, aber noch genügend genau für die Bestimmung der Kosten

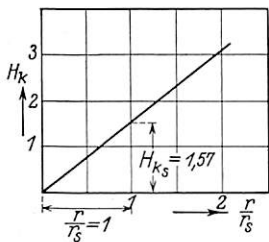


Abb. 13.

einer Zugfahrt mit $c_k = 1$ gerechnet, bis die durch c_k gekennzeichnete Funktion, nach der die H_k -Linie gekrümmt ist, durch die Ermittlung der H_k -Werte für einige weitere größere und kleinere r genauer festgelegt werden kann. Sowohl r wie r_s soll nur auf die Kohlenmenge (B_d) bezogen werden, die während der Fahrt mit Zugkraft verbrannt wurde.

Bei Bestimmung von H_{ks} sind alle Arbeitsstunden einzurechnen, die aufgewendet werden müssen, um an die abgenutzten Teile zur Ermöglichung der Ausbesserung herankommen zu können. Die Ausgabe k_{HK} in $\mathcal{R}M$ für eine Arbeitsstunde setzt sich zusammen aus dem durchschnittlichen Verdienst des Arbeiters für eine Stunde, den Zuschlägen hierzu für den mit der Kopfzahl der Belegschaft veränderlichen Teil der Werkkosten — der andere Teil der Werkkosten zählt zu den festen Kosten —, sowie dem auf eine Arbeitsstunde fallenden Teil der Ausgaben für verbrauchte Stoffe, Ersatzteile und Werkzeuge.

Wie r_s , H_{ks} und k_{HK} aus den z. Z. verfügbaren Unterlagen ermittelt werden können, zeigt Beispiel 3 in Teil III.

Kostenformel 6.

Kosten der Unterhaltung des Fahrgestells und des Tenders.

Der Aufwand an Arbeitsstunden für die Unterhaltung des Fahrgestells und des Tenders wird veranlaßt durch die folgenden nach ihrer Entstehung in drei Untergruppen zu trennende Schäden der Gruppe II:

1. Schäden infolge der Beanspruchung des Triebwerkes durch die ausgeübte Zugkraft, das sind Schäden an den unter Arbeitsdruck gleitenden oder sich drehenden Teilen (Lager, Triebzapfen, Bolzen, Kreuzkopf- und Achsbüchsenführungen, Lager und Radreifen der Triebräder) und an den durch die Zylinder- und Massendrücke auf Zug und Druck beanspruchten Rahmenteilern sowie seinen Befestigungen und Verbindungen.

2. Schäden, die durch die Bewegung des Fahrzeuges entstehen und nur von der Laufleistung abhängig sind (Schäden infolge Lockerung der Verbindungen nicht von der Zugkraft beanspruchter Teile und infolge Abnutzung dieser Teile durch Fahrerschütterungen, sowie Schäden an Tragfedern, Zylindern

und Schieberbüchsen, Kolbenringen, Achslagern und Führungen der Laufachsen).

3. Schäden infolge gewaltsamer Beschädigung, fehlerhafter Bauart, schlechter Arbeitsausführung, ungeeigneter Werkstoffe und unvorsichtiger oder unzweckmäßiger Behandlung; sie sind vom Zufall abhängig und schwanken nach Zahl und Größe. Der im Durchschnitt für den Gesamtaufwand niemals ausschlaggebende Anfall an Fertigungsstunden für die Schäden nach Untergruppe III kann zu dem Aufwand für die Schäden nach Untergruppe II geschlagen werden, was auch deshalb gerechtfertigt erscheint, weil mit der Größe der Laufleistung auch die Möglichkeit zufälliger Schäden wächst.

Die Schäden nach Untergruppe I entstehen überwiegend durch die Abnutzung infolge der Reibungsarbeit A_r des Getriebes. Für die Wegleistung L in km ist der in Wärme, Stoffverformung und Verschleiß umgesetzte Teil der vom Triebfahrzeug geleisteten indizierten Zugförderarbeit

$$A_r = \frac{1000 \cdot L \cdot W_{II}}{10^6} = \frac{W_{II} \cdot L}{1000} \text{ in kmt,}$$

wenn nach früheren Ausführungen $W_{II} = c_2 \cdot G_{12} + c_{13} \cdot Z_i$ der Getriebewiderstand des Triebfahrzeuges ist.

$$\text{Mit } \eta_i = \frac{Z_i - W_{II}}{Z_i} \text{ wird } W_{II} = (1 - \eta_i) \cdot Z_i$$

also $A_r = \frac{(1 - \eta_i) \cdot Z_i \cdot L}{1000}$. Nach der Erfahrung ist die Weg-

leistung des Triebfahrzeuges bis zur Erreichung der Verschleißgrenze, die eine Wiederinstandsetzung des Getriebes erfordert, um so kleiner, je größer die durch das Verhältnis $\frac{A_r}{L}$ gekennzeichnete Beanspruchung ist. Die Wegleistung bis zur Erreichung des gleichen eine Wiederausbesserung erfordernden Abnutzungsgrades ist also unter sonst gleichen Verhältnissen umgekehrt proportional der Reibungsarbeit des Getriebes; mit c_g als Proportionalitätsfaktor, der auch die Abhängigkeit des Verschleißes von der Umdrehungszahl mit erfaßt, gilt demnach die Beziehung

$$\frac{L_s}{L} = c_g \cdot \frac{A_r}{A_{rs}} = c_g \cdot \frac{(1 - \eta_i) \cdot Z_i \cdot L}{(1 - \eta_{is}) \cdot Z_{is} \cdot L_s}$$

d. h. die bei einer Zugkraft Z_i geleisteten Wegkilometer $L = \frac{(1 - \eta_{is}) \cdot Z_{is} \cdot L_s}{(1 - \eta_i) \cdot Z_i}$ haben den gleichen Verschleiß des

Getriebes zur Folge wie die bei einem Zugkraftaufwand Z_{is} durchfahrte Kilometerzahl L_s . Deshalb muß auch der Aufwand an Arbeitsstunden für die Wiederinstandsetzung des Triebfahrzeuges nach Zurücklegung dieser beiden Wegkilometerzahlen unter sonst gleichen Verhältnissen gleich groß sein. Bei einer Zugkraftleistung Z_i fallen demnach auf je 1000 Weg-

kilometer $[(1 - e) \cdot N_a] : \left[\frac{c_g}{1000} \cdot \frac{(1 - \eta_{is}) \cdot Z_{is}}{(1 - \eta_i) \cdot Z_i} \cdot L_s \right]$ Arbeits-

stunden, wenn N_a -Arbeitsstunden für die Ausbesserung der auf dem Weg vom L_s -km bei einer Zugkraftleistung von Z_{is} -kg entstandenen Schäden aufgewendet werden müssen und hiervon $(1 - e) \cdot N_a$ -Stunden für die Behebung der Schäden

nach Untergruppe I erforderlich sind. Mit $H_{ts} = \frac{1000 \cdot N_a}{L_s}$ lautet

der vorstehend abgeleitete Ausdruck $(1 - e) \cdot H_{ts} \cdot \frac{(1 - \eta_i) \cdot Z_i}{c_g \cdot (1 - \eta_{is}) \cdot Z_{is}}$.

H_{ts} gilt wegen der nach der Erfahrung bestehenden Abhängigkeit des Verschleißes von der spezifischen Umdrehungszahl der Triebräder nur für die Geschwindigkeit V_s , bei der Z_{is} geleistet wird — Umdrehungszahl und Fahrgeschwindigkeit ist bei einem Triebfahrzeug verhältnismäßig —. Der durch die Einflußziffer c_g miterfaßte Einfluß der Geschwindigkeit kann proportional dem Verhältnis $\frac{V}{V_s}$, also $\frac{1}{c_g} = c_f \cdot \frac{V}{V_s}$

gesetzt werden. Die auf eine Minute Fahrzeit und einen Wegkilometer bei der Geschwindigkeit V_s entfallende Arbeit

$$\text{in kmt ist } a_{1s} = \frac{1000 \cdot \frac{V_s}{60} \cdot Z_{1s}}{10^6} = \frac{V_s \cdot Z_{1s}}{60 \cdot 1000}. \text{ Wird } \frac{1}{c_g} = c_f \cdot \frac{V}{V_s},$$

$$V_s \cdot Z_{1s} = 1000 \cdot 60 \cdot a_{1s}, \text{ ferner } Z_i = \frac{1000 \cdot A_1}{L} \text{ und } T = \frac{60 \cdot L}{V}$$

eingesetzt, so wird $(1-e) \cdot H_{ts} \cdot \frac{(1-\eta_i) \cdot Z_i}{c_g \cdot (1-\eta_{is}) \cdot Z_{1s}} = (1-e) \cdot H_{ts} \cdot \frac{(1-\eta_i) \cdot c_f \cdot A_1}{(1-\eta_{is}) \cdot a_{1s} \cdot T}$. Um den Verschleiß des Getriebes durch die Reibungsarbeit A_p bei der Fahrt ohne Zugkraft mitzuerfassen, ist diese mit ihrem vollen Wert zu A_1 zuzuzählen und auch bei Ermittlung von a_{1s} zu berücksichtigen.

Zu diesem Aufwand kommen noch die für die Beseitigung der nur mit der Weglänge wachsenden Schäden nach Untergruppe 2 und 3 erforderlichen Arbeitsstunden $= e \cdot H_{ts}$ für je 1000 km. Der Ausdruck für die Unterhaltungskosten infolge der Schäden nach Gruppe II am Fahrgestell und Tender, der der Zugfahrt von L-Kilometer Länge mit einem Arbeitsverbrauch von $A_1 + A_p$ kmt während der Fahrzeit T in Minuten anzulasten ist, lautet demnach bei einer Geldausgabe von k_{Ht} $\mathcal{R}M/h$

$$K_{tu} = \frac{L \cdot H_{ts}}{1000} \cdot \left[e + (1-e) \cdot c_f \cdot \frac{(1-\eta_i) \cdot A_1 + A_p}{(1-\eta_{is}) \cdot a_{1s} \cdot T} \right] \cdot k_{Ht} \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Die Werte für e , H_{ts} und $(1-\eta_{is}) \cdot a_{1s}$, deren Größe auch von der Bauart des Triebfahrzeuges abhängt, sind statistisch bestimmbar. Für die Berechnung der Kosten einer Zugfahrt genügt es, wenn außer der Größe e noch für den einen Wert $(1-\eta_{is}) \cdot a_{1s}$ der Wert H_{ts} bekannt ist und vorerst $c_f = 1$ gesetzt wird. Der Verlauf der Linie $H_t = e + (1-e) \cdot c_f \cdot \frac{(1-\eta_i) \cdot A_1}{(1-\eta_{is}) \cdot a_{1s}}$ über der a_1 -Achse $— (1-\eta_i) a_1 = \frac{(1-\eta_i) \cdot A_1 + A_p}{T}$ — ist dann

durch zwei Punkte festgelegt (Abb. 14). Die Krümmung, nach der die H_t -Linie infolge der im Beiwert c_f zusammengefaßten Einwirkungen verläuft und die durch die Ermittlung der H_t -Werte für mehrere verschiedene große a_1 noch festzustellen wäre, kann auch jenseits des a_{1s} -Punktes im Bereich der praktisch vorkommenden größten Werte von a_1 von dem Verlauf der H_t -Linie für $c_f = 1$ nicht sehr wesentlich abweichen.

Die Erläuterungen für die Ermittlung von H_{ks} und k_{Hk} gelten sinngemäß auch für H_{ts} und k_{Ht} . Im Beispiel 3 des Teiles III ist ersichtlich, wie H_{ts} , a_{1s} und k_{Ht} zu ermitteln sind.

Kostenformel 7.

Die vom Zeitverbrauch für die Zugfahrt abhängigen Kosten des Triebfahrzeuges.

Die in den Kostenformeln 5 und 6 noch nicht erfaßten Kosten für die Durchführung der Arbeiten nach Gruppe III (vorgeschriebene Fristuntersuchung von Kessel und Fahrgestell, Anstrich, Beseitigung von Rostschäden usw.) müssen, da sich ihr Anfall innerhalb bestimmter Zeitabschnitte unabhängig von der Leistung wiederholt — ebenso wie die Kosten für die Erneuerung und Verzinsung — der Zugfahrt im Verhältnis der für sie benötigten Zeit angelastet werden. Diese drei Ausgabeposten können deshalb in eine Kostenformel zusammengefaßt werden.

Die zeitliche Inanspruchnahme des Triebfahrzeuges durch die Zugfahrt ist gleich der Summe aus Fahrzeit T, Stillstandszeit innerhalb der Zugfahrt T_a und der Vorbereitungs- und Abschlußzeit T_v , in der die Zeit für die Fahrt zum und vom Zug mitgehalten ist. Die überhaupt mögliche größte Zahl von Dienststunden D_{stl} im Jahr kann je nach der Fahrplanlage (Dichte, Zeitfolge und Länge der Zugfahrten) und sonstigen örtlichen Verhältnissen sehr verschieden sein. Auch für Trieb-

fahrzeuge, die wenig Unterhaltung erfordern, und nach einem Dienstplan laufen, der die größte Ausnützung ermöglicht, muß

$D_{stl} = \frac{\Sigma(T + T_a + T_v)}{60}$ wesentlich unter der Zahl der Jahresstunden $= 8760$ liegen, weil zwischen zwei oder mehreren Zugfahrten immer eine durch die Fahrplanlage bedingte Stillstandszeit liegt.

Die Zeitkosten müssen auf die größte Dienststundenzahl D_{stl} verteilt werden, die bei ununterbrochenem Lauf des Triebfahrzeuges nach dem günstigsten Dienstplan erreicht werden könnte. Von der Höchstzahl dieser nach dem Dienstplan möglichen Dienststunden geht ein Teil dadurch verloren, daß das Triebfahrzeug wegen Vornahme von Unterhaltungsarbeiten, soweit für deren Ausführung die nach der Fahrplanlage zwischen den einzelnen Zugfahrten vorhandenen Stillstandszeiten nicht ausreichen, einen Teil der im Dienstplan vorgesehenen Zugfahrten nicht selbst ausführen kann. Die Größe der Unterhaltungsarbeiten hängt von der Häufigkeit und der Art der Schäden, mithin von der Bauart und durchschnittlichen Anstrengung des Triebfahrzeuges ab und muß deshalb ebenfalls nach den örtlichen Verhältnissen bestimmt werden.

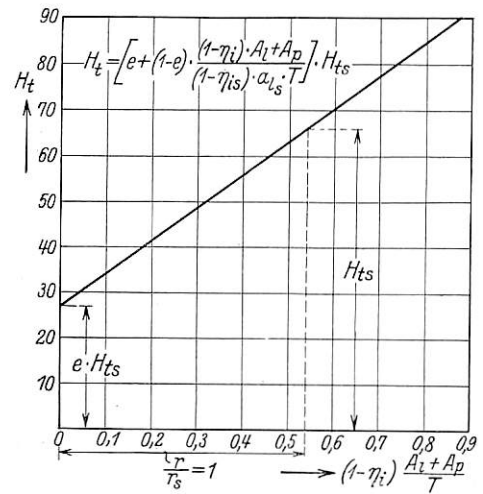


Abb. 14.

Bezeichnet I_{stl} die im Jahr nach der Lokomotivstatistik im Durchschnitt von je einem der in dem Dienstplan eingereichten Triebfahrzeuge wirklich geleisteten Dienststundenzahl, so ist $I_{stl} = \eta_d \cdot D_{stl}$, wenn $\eta_d = \frac{I_{stl}}{D_{stl}}$ = den Ausnützungsgrad der Lokomotive bezeichnet.

Hiernach lautet die Formel für die der Zugfahrt anzulastenden Zeitkosten des Triebfahrzeuges

$$K_{z1} = (H_z \cdot k_{Hz} + z_e \cdot K_{1e}) \cdot \frac{T + T_a + T_v}{\eta_d \cdot D_{stl} \cdot 60} \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Hierin bedeutet:

H_z die mit den Kostenformeln 6 und 7 noch nicht erfaßten, für Arbeiten nach Gruppe III jährlich aufzuwendenden Stunden,

k_{Hz} die Geldausgabe für eine Arbeitsstunde in $\mathcal{R}M$ (siehe Erläuterungen zu k_{Hk} und k_{Ht}),

z_e den Hundertsatz für Erneuerung und Verzinsung,

K_{1e} die Wiederbeschaffungskosten des Triebfahrzeuges.

Der Dienstplan, aus dem D_{stl} und T_v zu ermitteln sind, muß gegebenenfalls dem geänderten Zeitverbrauch für die Zugfahrt angepaßt werden. Zu beachten ist noch, daß die aus den Zeitkosten errechneten Kostenunterschiede bei einer Ermittlung der Änderung der Gesamtkosten, die durch die Änderung des Verbrauchs an Zeit herbeigeführt wird, nur dann miteingesetzt werden dürfen, wenn der bereits vorhandene Fahrpark voll ausgenützt ist.

Kostenformel 8.

Kosten des Zugpersonals.

Die für eine Zugfahrt erwachsenden Personalkosten sind bestimmt durch den Zeitaufwand $T + T_a + T_v$ der Zugfahrt. Der Aufbau der Kostenformel ist demnach der gleiche wie der der Kostenformel 7.

Sie lautet:

$$K = n \cdot E \cdot \frac{T + T_v + T_a}{60 \cdot (1 - \eta_p) \cdot D_{st}} \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Hierin ist:

- n die bei der Zugfahrt benötigte Zahl der Köpfe jeder Fachgruppe;
- E das in Rechnung zu stellende Jahreseinkommen, das sich zusammensetzt aus dem Durchschnittsgehalt, den Nebenbezügen und einem Zuschlag für Verwaltungskosten, soweit deren Gesamtausgaben hierfür auch durch kleine Veränderungen der Kopfzahl beeinflusst werden;
- D_{st} die größte Zahl der Dienststunden, die nach den Dienstvorschriften oder den Dienstplänen möglich ist;
- η_p das Verhältnis des Ausfalls an Dienststunden für Erkrankung, Beurlaubung und Dienstbefreiung zu D_{st} ; der Wert von η_p muß bei Sonderuntersuchungen ebenfalls nach den örtlichen Verhältnissen für die einzelnen Fachgruppen festgestellt werden.

Für jede Fachgruppe mit verschieden großem E muß der Kostenanfall besonders ausgerechnet werden. Der etwaige Mehrbedarf an Schaffnern für die Bedienung von Handbremsen ist dadurch zu berücksichtigen, daß für diese Fachgruppe die Zahl n nach der Zahl der handbedienten Bremswagen berechnet wird. Ist b_{hr} die Zahl der für den handgebremsten Teil erforderlichen Brems Hundertstel, G_{brh} das Gesamtgewicht des handgebremsten Zugteils in Tonnen, g_{brh} das Durchschnittsgewicht eines handgebremsten Wagens, dann ist

$$n_{sbr} = \frac{0,01 \cdot b_{hr} \cdot G_{brh}}{g_{brh}}$$

Der Hinweis am Schluß der Erläuterung zur Kostenformel 7 ist auch hier sinngemäß zu beachten.

Kostenformel 9.

Kosten der Unterhaltung, Erneuerung und Verzinsung der Wagen.

Für die Güterwagen sind in der Regel Zeitfristen, für die Personenwagen neben den Zeitfristen größte Kilometerleistungen vorgeschrieben, nach denen die Wagen der Werkstätte zugeführt werden müssen. In der Regel sind die Zeitfristen abgelaufen, bevor die zulässige Kilometerleistung erreicht ist. Der Anteil an dem Aufwand für die Unterhaltung der Wagen, der auf eine Zugfahrt entfällt, ist demnach haupt-

sächlich bestimmt durch den Verbrauch an Zeit für die Zugfahrt. Die Kosten der Unterhaltung können deshalb mit denen für Erneuerung und Verzinsung in eine Formel zusammengefaßt werden. Zu beachten ist, daß die Zeitkosten der Wagen nicht der Zugförderung allein angelastet werden dürfen. Es fallen — insbesondere bei den Güterwagen — auch Dienststunden an — für Beladen und Entladen, Verschiebedienst —, die den Wagen längere Zeit der Zugförderung entziehen und in denen ein Teil der Schäden entsteht.

Die Kostenformel lautet:

$$K_{wa} = \frac{(K_{auw} + 0,01 \cdot z_w \cdot K_{auz}) \cdot n_w}{I_{stw}} \cdot \frac{T + T_a}{60} \text{ in } \mathcal{R}M.$$

Hierin bezeichnet:

- K_{auw} die auf ein Jahr fallenden durchschnittlichen Kosten für die Unterhaltung eines Wagens der Gattung in $\mathcal{R}M$;
- K_{auz} die Wiederbeschaffungskosten eines Wagens in $\mathcal{R}M$;
- z_w den Hundertsatz für Abschreibung und Verzinsung;
- n_w die Zahl der Wagen;
- I_{stw} die Zahl der im Jahresdurchschnitt wirklich erreichbaren Reise-Verschiebe- und Ladestunden eines Wagens.

Bei Güterzügen, die mit hoher Geschwindigkeit durchzuführen sind, kann es notwendig sein, mehr Bremswagen einzustellen, als im Durchschnitt ohne besonderes Sammeln für einen Güterzug anfallen. Die Ausgaben für die Unterhaltung und Erneuerung der Bremsvorrichtungen sind jedoch nur als Durchschnittsbetrag in den Kosten nach Formel 8 enthalten. Bei den nicht unerheblichen Mehrkosten für Beschaffung und Unterhaltung eines Wagens mit Bremsvorrichtung ist deshalb der Unterschied der wirklichen Ausgaben für die Zugfahrt mit besonderer hoher Geschwindigkeit infolge des höheren Bedarfs an Bremsen gegenüber den Durchschnittsausgaben festzustellen.

Besitzen z. B. 60 % der Güterwagen die Bremsvorrichtung für Druckluftbremse, so kann unter Berücksichtigung des höheren Ausbesserungsstandes der Bremswagen, anfallender Fremdwagen ohne Bremse und des Umstandes, daß im Mittel nur 50 % des Wagengewichts abgebremst werden können, durchschnittlich mit einem Anfall von 20 Brems Hundertstel gerechnet werden. In diesem Fall betragen die den Durchschnitt überragenden Mehrkosten für die erforderlichen höheren Brems Hundertstel b_r

$$K_{bruw} = \frac{(0,011 \cdot b_r - 0,2) \cdot G_w \cdot k_{br}}{G_{br}} \cdot \frac{T + T_a}{60 \cdot J_{stw}} \text{ in } \mathcal{R}M,$$

worin g_{br} das durchschnittliche Bremsgewicht eines Bremswagens in Tonnen, k_{br} in $\mathcal{R}M$ die Mehrkosten eines Wagens mit Bremsvorrichtung gegenüber einem Wagen ohne Bremsvorrichtung bedeutet. Die Vorhaltung von Bremswagen während der Stillstandszeit, die durch die Instandsetzung der Druckbremse entsteht, ist durch einen Zuschlag von 10 % berücksichtigt. (Schluß folgt.)

Neue Vorrichtungen für Kesselschmieden.

Von Dietrich Schmidt, Abteilungsleiter im Reichsbahn-Ausbesserungswerk Dresden-Friedrichstadt.

In der Lokomotivenausbesserung nimmt nach wie vor die schnelle und gründliche Beseitigung der Kesselschäden die erste Stelle ein, besonders nachdem es durch den Ausbau des Fristenwesens und die Auswertung neuzeitlicher Arbeitsvorrichtungen in jüngerer Zeit gelungen ist, den Einbau von Ersatzkesseln fast ausschließlich auf die Fälle des Feuerbuchwechsels zu beschränken, vorausgesetzt allerdings, daß das Ausbesserungswerk eine eigene Kesselschmiede besitzt. Aber auch für diejenigen Ausbesserungswerke, in denen im allgemeinen nur Kesselschäden im Rahmen der Zwischenausbesserungen zu beseitigen sind, dürften die Erfahrungen mit den beiden nachstehend beschriebenen Vorrichtungen von Interesse sein.

Stehbolzen-Gewindebuchsenwalze.

Die Stehbolzengewindebuchse wurde bisher von Hand eingeschraubt und alsdann durch einen mehrstufigen, um je $\frac{1}{2}$ mm im Durchmesser ansteigenden Stufendorn, eingedichtet, d. h. aufgedornt. Allerdings haben die kupfernen Stehbolzengewindebuchsen zum Ausbuchsen kupferner Lokomotivfeuerbuchsen infolge der Fortschritte der Schweißtechnik ganz erheblich an Bedeutung verloren. Ihre Anwendung beschränkt sich lediglich auf solche Zwischen- und Hauptausbesserungen der Lokomotiven, bei denen der Kessel in der Regel nicht ausgebaut wird, während bei inneren Untersuchungen zu große Stehbolzenlöcher in der Kupferwand entweder ganz oder kranzförmig zugeschweißt werden.

Die eisernen Stehbolzengewindebuchsen in der äußeren Kesselwand werden jedoch nach wie vor in großer Anzahl verwendet und dürften selbst durch das gelegentliche Einschweißen von Stehkessel-Anschuhenden an Bedeutung nicht verlieren, weil ein einfaches Rechenbeispiel zeigt, daß diese Ausbesserungsart erheblich teurer ist. Wird beispielsweise angenommen, daß an den beiden Seitenwänden eines Gt 55.16-Kessels je 200 Stehbolzengewindebuchsen einzuziehen wären, so würden infolge der eingezogenen Bauart des Stehkessels zwei Flickplatten erforderlich, die 2300 mm breit und an der Stehkesselvorderwand 1100 mm und an der Rückwand 1400 mm hoch sein müßten, bei 16 mm Wandstärke und 250 neuen Stehbolzen. An Arbeitsaufwand würden in diesem Falle 99 Gedingestunden nötig sein, während beim Einziehen von 200 Gewindebuchsen nur 23 Gedingestunden zu vergüten wären, wobei zu berücksichtigen ist, daß durch die neue Buchsenwalze das Arbeitsverfahren verbilligt wird. Nach diesem Arbeitsverfahren betragen die Kosten für obiges Beispiel, bei einem Stundenlohn von rund 1.80 M einschließlich Zuschlägen, und unter Berücksichtigung der Materialkosten, nur 45 v. H. derjenigen von eingeschweißten Stehkesselanschuhenden.

Das Dichten der Buchsen wird daher mit Vorteil statt durch Aufdornen durch Aufwalzen mittels einer Stehbolzengewindebuchsenwalze vorgenommen. Das Verfahren hat folgende Vorzüge: Es ist geräuschlos, entspricht also den Bestrebungen auf Lärmbeseitigung. Das Verfahren arbeitet sachgemäßer, denn das Material der Buchse wird durch die Walze in die Gewindegänge in radialer Richtung hineingewalzt, während es beim Aufdornverfahren nur zum Teil hineingequetscht und zum anderen Teil in axialer Richtung abgetrieben wird, so daß es auf der Kesselinnenwand vorsteht. Dieses Abtreiben wird noch dadurch begünstigt, daß es in Richtung der Materialfaser der Buchsen erfolgt. Wie nachteilig hierdurch das Gewinde beeinflußt wird, liegt auf der Hand und ist aus Abb. 1 klar ersichtlich. Die auf diesem Bilde rechts gezeigten Buchsen wurden sowohl in der Eisen-, wie in der Kupferwand um 3 mm aufgedornt, wie dies noch vor einiger Zeit allgemein üblich war, während die Buchsen links nur um je 2 mm aufgedornt wurden. In beiden Fällen steht das überschüssige Buchsenmaterial an der Innenseite vor und bietet eine unerwünschte Gelegenheit zur Kesselsteinablagerung. Auch hinsichtlich der Zeit- und Materialersparnis ist das Aufwalzen dem Aufdornen überlegen.

Beim Aufdornverfahren werden die Buchsen wie bereits gesagt um 3 mm bzw. um 2 mm aufgedornt, während beim Walzverfahren das Aufwalzen um 1 mm bei den Buchsen von 40 mm Außendurchmesser vollständig genügt und nur bei den größeren Buchsen auf 1½ mm gesteigert werden muß. Undichtheiten zeigen sich trotzdem in keinem größeren Umfange als bei aufgedornten Buchsen.

Was die Arbeitszeit anlangt, so muß beim Aufdornverfahren bei Erneuerung der Feuerbüchse — da hierbei naturgemäß eine größere Anzahl Gewindebuchsen einzuziehen ist wie bei der gewöhnlichen inneren Untersuchung — stets auf der Innenseite gegengehalten werden, damit sich die Stehkesselwand möglichst wenig verzieht. Aus diesem Grunde wird auch der Bodenring ein- und nach beendeter Arbeit wieder ausgebaut. Trotz dieser Maßnahmen ist ein Verziehen der Stehkesselseitenwände — und damit auch des Bodenringes — in geringem Umfange nicht zu vermeiden. Diese Arbeiten kommen beim Aufwalzverfahren in Fortfall. Weiterhin müssen aufgedornte Buchsen vor dem Gewindeschneiden nochmals aufgerieben werden, während bei aufgewalzten Buchsen hiervon unbedenklich Abstand genommen werden kann.

Abb. 2 zeigt die Stehbolzengewindebuchsenwalze in Arbeitsstellung an einer Stehkesselwand, angetrieben durch

eine Antriebsvorrichtung mit biegsamer Welle wie sie, bekanntlich auch noch zum Durchbohren und Aufreiben, mit

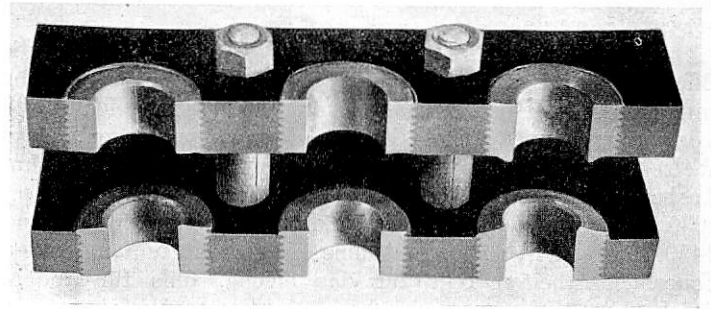


Abb. 1. Aufgedornte und aufgewalzte kupferne und eiserne Stehbolzen-Gewindebuchsen im Schnitt.

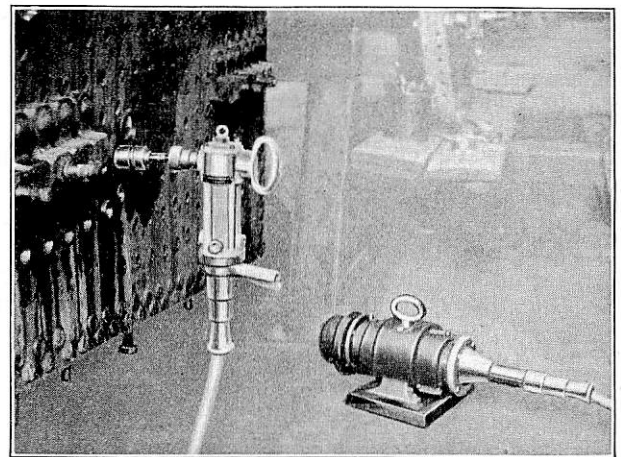


Abb. 2. Stehbolzen-Gewindebuchsen-Walze in Arbeitsstellung.

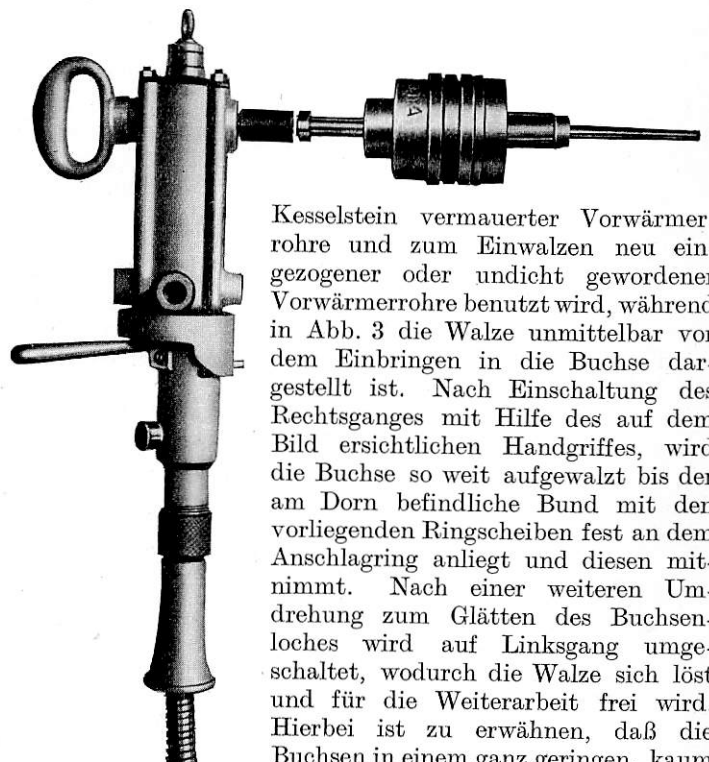


Abb. 3. Stehbolzen-Gewindebuchsen-Walze. Kesselstein vermauerter Vorwärmerrohre und zum Einwalzen neu eingezogener und undicht gewordener Vorwärmerrohre benutzt wird, während in Abb. 3 die Walze unmittelbar vor dem Einbringen in die Buchse dargestellt ist. Nach Einschaltung des Rechtsganges mit Hilfe des auf dem Bild ersichtlichen Handgriffes, wird die Buchse so weit aufgewalzt bis der am Dorn befindliche Bund mit den vorliegenden Ringscheiben fest an dem Anschlagring anliegt und diesen mitnimmt. Nach einer weiteren Umdrehung zum Glätten des Buchsenloches wird auf Linksgang umgeschaltet, wodurch die Walze sich löst und für die Weiterarbeit frei wird. Hierbei ist zu erwähnen, daß die Buchsen in einem ganz geringen, kaum meßbaren Umfang unrund werden. Diese Erscheinung ist jedoch unbedenklich, weil das in nicht aufgeriebene Buchsen geschnittene Gewinde mit dem Kaliberbolzen nachgeprüft vollkommen schließend führt. Vor allen

Dingen ist es gänzlich unbedenklich, wenn nachträglich die Stehbolzen mit der Aufdornvorrichtung „Schwahlen“ aufgedornt werden oder wenn „Hanomag“-Aufdornstehbolzen verwendet werden.

Sollte es trotzdem für notwendig gehalten werden, die Buchsen nach dem Walzen noch aufzureiben, so ist die Bohrung entsprechend kleiner zu halten und der Walzbereich durch Vorschaltung einer Anzahl Ringscheiben zu begrenzen. Zwei Walzen für Stehbolzengewindebuchsen werden im Reichsbahn-Ausbesserungswerk Dresden-Friedrichstadt seit Ende August 1930 mit gutem Erfolge verwendet. Bisher wurden rund 2450 Buchsen in 17 verschiedene Kessel mit umfangreichen Feuerbüchsenarbeiten teils für das eigene, teils für andere Reichsbahn-Ausbesserungswerke nach diesem Verfahren eingewalzt. Lediglich zur Gewinnung von Vergleichsmöglichkeiten wurden bei verschiedenen Kesseln die Stehbolzengewindebuchsen der einen Seitenwand nach dem Aufdornverfahren und die der anderen Seite nach dem Aufwalzverfahren behandelt; ohne daß irgendwelche Nachteile des neuen Verfahrens festgestellt worden wären. Auch wurden aus gleichem Grunde 12 + 11 + 27 Kupferbuchsen in drei verschiedene Kessel eingewalzt und die Betriebsdienststellen in allen Fällen von dem geänderten Arbeitsverfahren besonders unterrichtet. Da Klagen bisher in keinem einzigen Falle aufgetreten sind, kann wohl nach den rund einjährigen Erfahrungen gesagt werden, daß keine Bedenken mehr gegen den Wert der Gewindebuchsenwalzen bestehen. Zusammenfassend sei noch bemerkt, daß die Gesamtgedingezeiten der Berliner Unterweisungskarte Nr. 32 von 3,94 auf 1,68 Min. d. h. auf 42,7 v. H. abgesenkt werden konnten. An Unterhaltungskosten waren während der einjährigen Betriebszeit, außer der Auswechslung zweier Spindeln, nur die Ausgaben für die üblichen Reinigungskosten aufzuwenden.

Eine weitere mit Vorteil zu verwendende Einrichtung ist eine neuartige

Rauchrohrloch-Ausbohr- und Gewindeschneidmaschine.

Bei der Auswechslung der Heiz- und Rauchrohre der Lokomotivkessel ist es notwendig, vor dem Einziehen der Rohre ausgewalzte unrunde Löcher in der Rohrwand der kupfernen Feuerbüchse genau rund aufzureiben. Da durch wiederholtes Aufreiben die Löcher zu groß werden, ist man gezwungen, um eine vorzeitige Erneuerung der Rohrwand zu vermeiden, diese auszubuchsen. Hierzu werden Kupferringe verwendet, die entweder mit glattem Außendurchmesser eingepaßt und festgewalzt, oder mit Gewinde versehen, eingeschraubt werden. Letzterem dürfte wohl, zum mindesten bei den Rauchrohren, der Vorzug zu geben sein, damit es den Betriebsdienststellen — und vor allen solchen auf entlegenen Bahnhöfen — möglich ist, in Einzelfällen Rohre auszuwechseln, ohne die eingezogene Buchse zu erneuern. Damit die Buchse gut fest sitzt, werden vielfach noch die Rauchrohrlöcher an einer Seite der Rohrwand ausgefräst und die eingeschraubten Buchsen in die Ausfräsung gestemmt. Vereinzelt wird diese Ausbesserungsart als zu weitgehend und vor allem zu zeitraubend bezeichnet, während von anderen Seiten sogar verlangt wird, die Ringe einzuschweißen.

Wie schwierig eine Schweißung an senkrechter Wand ist, zumal wenn die einzuschweißenden Stücke ringförmig sind, ist allgemein bekannt. Diese Ausbesserungsweise dürfte daher zweckmäßig auf solche Fälle zu beschränken sein, bei denen zugleich Stegrisse durch Schweißung zu beseitigen sind. Trotz sorgfältigster Arbeitsausführung müssen die eingeschweißten Ringe nachher noch sauber ausgefräst werden.

Wird auf das Schweißverfahren verzichtet und werden statt dessen Gewindebuchsen eingesetzt, so war es bisher allgemein üblich, die Rauchrohrlöcher mit der Reibahle

zunächst aufzureiben und dann Gewinde mit Schneidbohrer und Ratsche einzuschneiden, die von zwei Mann zu bedienen waren. Ratsche und Gewindeschneidbohrer wiegen bis zu 25 kg. Die Führung und Bedienung dieser unhandlichen Werkzeuge ist außerordentlich schwierig und daher die Arbeitsgüte, an die man beim Kesselbau mit Recht die höchsten Anforderungen stellen muß, manchmal recht fraglich. Dabei müssen Vorrichtungen dieser Art fast ausschließlich von der Feuerbüchseseite aus angetrieben werden, so daß andere Arbeiten wie Ausbohren der Stehbolzen, Auswechslung von Nieten usw. gleichzeitig nicht ausgeführt werden können. Da der Schwerpunkt der Ausbesserungsarbeiten beim Lokomotivkessel in der Feuerbüchse liegt, geht hierdurch wertvolle Zeit verloren.

Nach umfangreichen Versuchen ist nun in letzter Zeit die in Abb. 4 dargestellte Vorrichtung auf den Markt gebracht worden. Ausbohren und Gewindeschneiden kann mit der neuen Vorrichtung von der Langkesselseite aus ausgeführt werden.

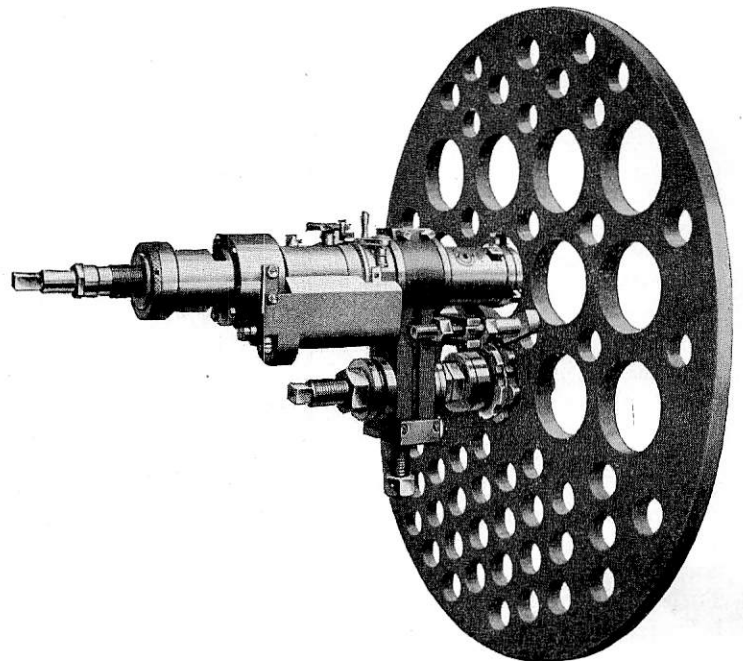


Abb. 4. Rauchrohrloch-Ausbohr- und Gewindeschneidmaschine in Arbeitsstellung.

Der Antrieb wird ebenfalls in den Langkessel gebracht und in handlicher Nähe aufgestellt, was bei einem Antrieb mit biegsamer Antriebswelle keine besonderen Schwierigkeiten bietet. Da das Gewicht der Maschine verhältnismäßig gering ist, kann diese ohne weiteres durch einen geschickten Arbeiter allein bedient werden. Sie wird durch einen Spanndorn und zwei Hilfsschrauben in eines der Rauchrohrlöcher eingespannt und außerdem mit zwei Hakenschrauben in den benachbarten Heizrohrlöchern befestigt. Die eine dieser Hakenschrauben ist in Abb. 4 unmittelbar über dem Spanndorn gut zu erkennen. Durch einen auf diesem Dorn schwenkbaren Arm ist es dann möglich, die vier umliegenden Löcher nacheinander zu bearbeiten, ohne die Maschine umzuspannen. Bei dieser Befestigungsart ist es allerdings nicht zu vermeiden, daß der Spanndorn zur Bearbeitung des zuerst zum Einspannen benutzten Rauchrohrloches in ein bereits mit Gewinde versehenes Rauchrohrloch eingespannt wird, das dann zur Verhinderung einer Beschädigung des wertvollen Gewindes zunächst durch Eindrehen einer Rauchrohrgewindebuchse geschützt werden muß. Zweckmäßiger erscheint daher die Befestigungsart nach Abb. 5, die in die zwischen den Rauchrohren liegenden Heizrohrlöcher eingespannt werden kann

und die ebenfalls die Bohrspindel nach zwei Seiten hin abstützt, eine Versteifung, auf die beim Gewindeschneiden in Kupfer nicht verzichtet werden kann.

Der Arbeitsgang ist folgender: Nach Befestigung der Bohrvorrichtung an der Rohrwand wird die Bohrspindel,

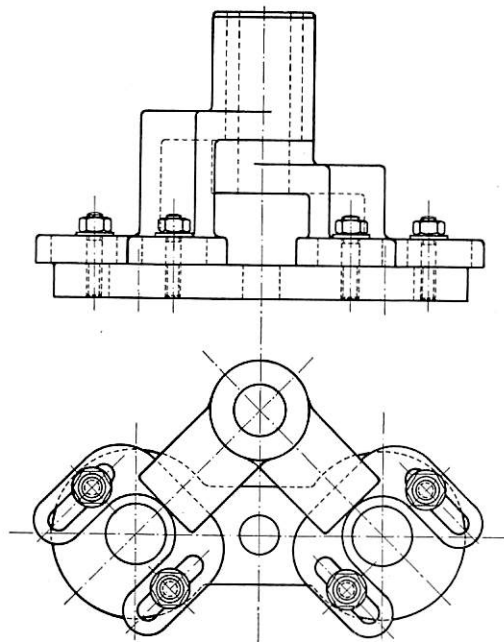


Abb. 5. Aufspann-Vorrichtung für Rauchrohrloch-Ausbohr- und Gewindeschneidmaschine.

wie aus Abb. 4 ersichtlich, mit Hilfe des auf den Bohrkopf leicht aufgesteckten Dreibeckenfutters genau in Lochmitte eingeführt und der Bohrstahl durch Zahnrad und Zahnstange des Bohrkopfes auf den vorgesehenen Durchmesser eingestellt. Durch eine am Gehäuse befindliche Handhabe wird nun der Vorschub eingeschaltet und die Bohrspindel in Drehung

versetzt. Späne von 3 bis 4 mm Tiefe, das heißt 6 bis 8 mm Durchmesser sind ausführbar, so daß in der Regel ein einmaliges Durchbohren genügt. Ist der Stahl durchgelaufen — gegen ein Zuweitlaufen schützt eine selbsttätige Ausrückvorrichtung — so wird die Spindel mittels Handrad zurückgezogen. Alsdann wird der Bohrstahl, der am anderen Ende als Gewindesträhler ausgebildet ist, wieder mit dem vorerwähnten Zahnrad und der Zahnstange des Bohrkopfes auf den entsprechenden Durchmesser eingestellt und das Gewinde in 6 bis 7 Spänen unter Einschaltung des Gewindeschubes eingeschnitten. Die Drehzahl für das Gewindeschneiden ist 27 in der Minute, während beim Bohren 70 Umdrehungen zulässig sind, bei einem Bohrvorschub von etwa 0,13 mm/Umdrehung. Zum Antrieb benötigt man eine Einrichtung, die zweierlei Geschwindigkeiten zuläßt. Am bequemsten sind dabei Antriebe mit biegsamer Welle, weil es mit ihnen ohne weiteres möglich ist, die beiden verschiedenen Umdrehungszahlen für Bohren und Gewindeschneiden einzustellen*).

Zur Bearbeitung eines Loches einschließlich Einspannen, Zentrieren, Bohren und Gewindeschneiden braucht ein geschickter Arbeiter ohne wesentliche Anstrengung etwa 25 Min. Mithin würden für den seltenen Fall, daß sämtliche 34 Rauchrohrlöcher einer Wand ausgebucht werden müßten, für diese Arbeit nur rund 2 Tage erforderlich sein. Bedenkt man des weiteren, daß für diese Arbeit der weitaus größte Teil der gesamten Kesselausbesserungszeit zur Verfügung steht, nämlich fast die ganze Zeit vom Ausbau bis zum Wiedereinbau der Heiz- und Rauchrohre, so kann — im Vergleich zum Einschweißen der Rauchrohrringe — eine nachteilige Beeinflussung der Kesselfristen auch dann nicht eintreten, wenn der Kessel nicht im Sandstrahlgebläse gereinigt wird, sondern vom Kesselpickler der Kesselstein mit dem preßluftbetriebenen Pickelhammer zu entfernen ist.

*) Die in dem Aufsatz behandelten Vorrichtungen werden von der Firma Slesazek-Ultra-Maschinen G. m. b. H., Berlin-Neutempelhof angefertigt..

Neuzeitliches Härten der Blattfedern der Fahrzeuge.

Die sorgfältige Aufarbeitung der Fahrzeugfedern ist Aufgabe der Reichsbahnausbesserungswerke. Die Reichsbahndirektion Berlin hat eine Dienstvorschrift für die Aufarbeitung der Tragfedern entworfen, die in Kürze erscheint. Neben den in den nachfolgenden Aufsätzen beschriebenen vorbildlichen Härteverfahren der Reichsbahnausbesserungswerke Frankfurt (Main) und Nürnberg weist die Dienstvorschrift noch andere Verfahren nach, die dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechen.

Die Nachprüfung und Neuhärtung der Federblätter wird sich in einem guten Fahrzeuglauf und der Verbilligung der Unterhaltungskosten für Federn auswirken.

1. Vorrichtung des Reichsbahnausbesserungswerks Frankfurt (M).

Von techn. R.-Oberinspektor Wachsmuth.

Die in regelmäßigen Zeitabständen wiederkehrende Aufarbeitung erlahmter Tragfedern von Fahrzeugen fordert gut durchgearbeitete Härteeinrichtungen, die gestatten, die Federblätter einbaufertig mit geringstem Materialverlust (Ausschuß) zu härten. Bei einfacher Härtung durch Abkühlung verzieht sich das Federblatt mehr oder weniger und es werden Spannungen hervorgerufen, die oft zu Härterissen führen. Diese Nachteile können eingeschränkt werden, wenn das Wasser je nach der Stahlsorte auf 30 bis 50° erwärmt wird. Die Richtarbeiten beim Zusammenpassen der Federn bleiben aber und rufen oft Spannungen im Stahl hervor, die das weiche Arbeiten der Federn in Frage stellen und zur vorzeitigen Ermüdung führen. Die Tragfederblätter sollen so gehärtet

werden, daß sie ohne Nacharbeit einbaufertig sind. Nach mehrjähriger Arbeit wurde zu dem Zweck die Schablonenhärtung durchgebildet. Die durch die Schablonen verdeckten Stellen des Federblattes betragen nur 3% der Oberfläche des Federblattes. Eine gleichmäßige Härtung ist sichergestellt, da guter Wasserumlauf die schnellste Abkühlung gewährleistet. Die Schablonen sind im Laufe der Zeit verbessert und in eine Maschine eingefügt worden, wie sie Abb. 1 und 2 zeigen. Die Schablonen werden aus vier Blechlamellen, die durch Abstandrollen auf die notwendige Breite gebracht werden, angefertigt. Zahlreiche Durchbrechungen sichern einen günstigen Wasserdurchfluß. Für die zentrale Federbearbeitung der Mutterwerke sind im allgemeinen 30 verschiedene Schablonen erforderlich, für Halbmesser von 650 bis 1600 mm mit 50 mm-Stufen, von 1600 bis 2000 mit 100 mm- und bis 3000 mm mit 150 mm-Stufen.

Wirkungsweise der Härtevorrichtung.

Nach der Tabelle für die Bearbeitung der Tragfedern werden die Krümmungshalbmesser der vier obersten Federlagen einer Feder festgestellt und die entsprechenden vier Schablonen auf eine Achse aufgekeilt, so daß ein drehbares Schablonenkreuz entsteht. Das Hauptfederblatt (auch solche mit gerollten Augen) erhält durch Schablone 1 in der Kühlflüssigkeit genau den gleichen Halbmesser wie die entsprechende Schablone. Für Federlage 2 mit Vorspannung von 15 mm ist nur nötig, das Schablonenkreuz um ein Viertel zu drehen, das Federblatt einzuführen und zu tauchen. Nach weiterer

$\frac{1}{4}$ Drehung erhält sodann das dritte Federblatt eine Vorspannung von 10 mm und in der letzten Stellung des Schablonenkreuzes die vierte Federlage eine Vorspannung von 5 mm. Da für die übrigen Federlagen keine meßbare Vorspannung erforderlich ist, können alle weiteren Federlagen eines Federpaketes mit der gleichen Schablone gebogen und gehärtet werden. Die Härtetemperatur der einzelnen Federlagen wird durch ein Strahlungspyrometer überwacht. Um die günstige Wirkung des senkrechten Eintauchens des Federblattes auch bei flacher Einführung des Federblattes

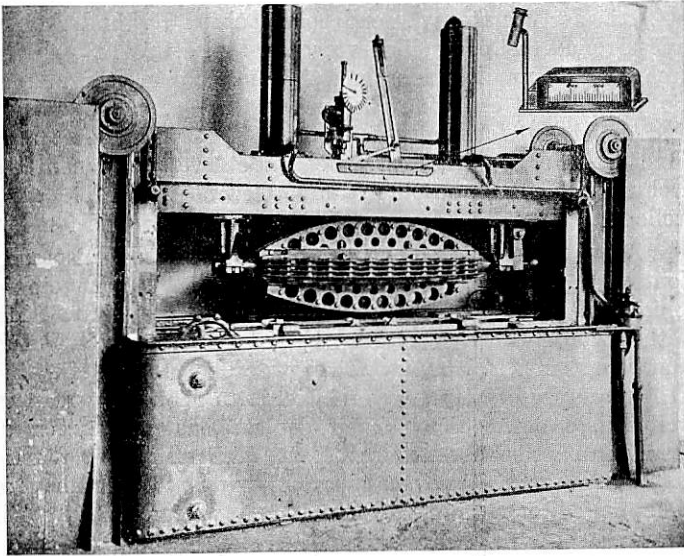


Abb. 1.

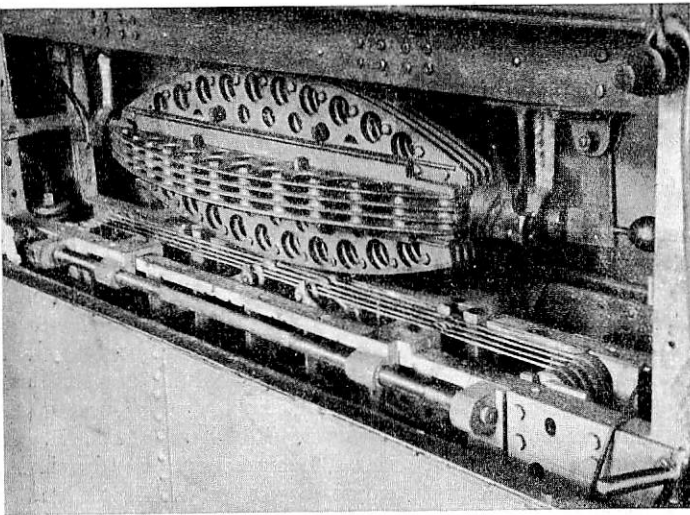


Abb. 2. Schablonenkreuz in Arbeitsstellung.

mit Schablone zu erreichen, wird durch eine Umlaufpumpe von 60 m³ Stundenleistung das Wasser im Kühlbottich in dauernder Bewegung gehalten.

Für gleichmäßige Wasserwärme sorgt ein selbsttätiger Regler, der entsprechend der Wärmeaufnahme des Wassers kaltes Wasser zuführt. Auf diese Weise ist es möglich, die Temperaturschwankungen auf 4 bis 5° zu beschränken. Schließlich ist die Härtemaschine noch mit einer selbsttätigen Anzeigevorrichtung für die Tauchdauer ausgerüstet. Die Apparate sind aus den Abbildungen ersichtlich.

Für den Wirtschaftlichkeitsnachweis der Neuhärtung erlahmter Federblätter ist zu berücksichtigen, daß die Härteinrichtungen auch dann voll vorhanden sein müssen, wenn die Federn, wie bisher, nur aufgerichtet werden, denn der Ersatz für schadhafte Federblätter muß immer neu gehärtet

werden. Es tritt also nur ein Mehrverbrauch an Heizöl und Härtesalz ein, der aber aufgehoben wird durch den Verlust an Material bei der Bearbeitung mit Biegewalze oder Heckerhammer. Auch der Verbrauch an Federbunden wird bei der Neuhärtung geringer werden, da die Federn seltener zur Aufarbeitung kommen.

Die Aufarbeitung einer neunlagigen Tragfeder (Stahl 90 . 13 mm) von 1,20 m Länge kostet überschläglich gerechnet: nach dem alten Verfahren etwa 0,9, nach dem neuen 1,4 Gedingestunden. Die Neuhärtung verteuert somit erstmalig die Wiederherstellung einer Tragfeder um rund 60%. Da aber neu gehärtete Federn die vielfache Lebensdauer einer nach dem Kaltverfahren nur aufgerichteten Feder haben, so erscheint die Wirtschaftlichkeit der Neuhärtung gegenüber dem Aufrichten bei erlahmten Tragfedern gegeben.

Mit gleichem Erfolg lassen sich natürlich auch neue Blattfedern, die in gestrecktem (also nicht vorgebogenem) Zustande der Maschine zugeführt werden, härten.

2. Blattfeder-Biege- und Härtemaschine des Reichsbahnausbesserungswerks Nürnberg.

Von Reichsbahnrat Wick, Nürnberg.

Die im Jahre 1928 im Reichsbahnausbesserungswerk Nürnberg entworfene und gebaute Feder-Biege- und Härteeinrichtung, bei welcher die Federblätter in einem Zuge gebogen und gehärtet werden, ist in Abb. 3 in schematischer Weise dargestellt.

In einen Wasserbehälter *w* wird durch Schraube oder Preßkolben *i* die aus Obergesenk *b* und Untergesenk *c-h* bestehende Biegeform gedrückt, welche in einem Rahmen *a* geführt und mit Belastungsgewichten *g* versehen ist.

Das Untergesenk besteht aus einer Welle *f* mit Exzenter-scheiben *h*, durch welche die Finger *d* so verstellt werden, daß sie den aufgelegten Federblättern beim Pressen die gewünschte Kreisform geben. Das Verstellen der Exzenter geschieht durch Handrad *r* über ein Schneckenrad *s*. Der eingestellte Radius kann am mittleren Finger *d*₁ auf einer Skala abgelesen werden. Um das glühende Federblatt über das Untergesenk zu drücken, besteht das Obergesenk aus einem durch Schraube oder Kolben bewegten Balken *b*, welcher ein durch Federn gespanntes Stahlband *k* trägt, das beim Niederdrücken das Federblatt über die Unterlage biegt. Nach vollzogener Biegung wird durch weiteren Druck auf das Obergesenk dieses mit dem Untergesenk und dem zwischenliegenden Federblatt in das Härtebad getaucht. Zu diesem Zweck ist das Ober- und Untergesenk im Rahmen *a* geführt und das Untergesenk außerdem mit Gewichten *g* belastet. Nach erfolgter Härtung wird das Obergesenk wieder gehoben, das Untergesenk mit Federblatt folgt bis zu einem Anschlag, so daß nach Erreichen desselben zwischen Ober- und Untergesenk wieder ein Abstand entsteht und das nun gehärtete Federblatt freigegeben wird.

Diese Maschine hat den Vorzug, daß durch die Formgebung mit Exzentrern die verlangten Kreisformen rasch, richtig und stets zuverlässig hergestellt werden und elastische Formänderungen ausgeschlossen sind.

Der Antrieb des Obergesenkes erfolgt durch einen Elektromotor über ein Winkelräderpaar auf eine Schraube. Bei einer späteren Ausführung ist dieser Antrieb mit selbsttätiger Schaltung derart versehen, daß nach dem Einschalten des Motors das Federblatt selbsttätig gebogen, getaucht und nach dem Abkühlen wieder gehoben und freigegeben wird. Der Arbeiter hat also die zu biegenden und zu härtenden Federblätter nur einzulegen, die Maschine einzuschalten und nach etwa 1,5 Minuten das gehärtete Blatt wieder herauszunehmen. Ferner wurde als Belastung für das Untergesenk an Stelle von Gewichten der Härtewasserbehälter verwendet. Durch

die Gegenbewegung des Härtebehälters ist die Eintauchzeit auf die Hälfte vermindert.

Wenn auch die in der Maschine gehärteten Federblätter keine auf das Ansammeln von Luft- oder Dampfblasen zurückzuführende Ungleichmäßigkeit finden ließen, so wurde doch, um allen Möglichkeiten zu begegnen, noch eine elektrische Wasserpumpe angefügt, die den Ausgleich der Wärme im oberen und unteren Teil des Härtewasserbehälters herbeizuführen hat.

Der Umstand, daß das zu härtende Federblatt beim Eintauchen zu einem Teil der Oberfläche von dem Stahlband des Obergesenkes und den Fingern des Untergesenkes bedeckt ist, hat, wie metallographische Untersuchungen zeigten, keinen Einfluß auf Art und Gleichmäßigkeit des Gefüges.

Das Formen der Enden, Anstauchen der Warzen oder Ausschneiden von Kerben muß vor dem Biegen und Härten erfolgen, denn hierfür ist zum Ausgleich der entstandenen Spannungen ein neues Glühen erforderlich.

Die Maschine hat sich in mehr als zweijährigem Betrieb bewährt. Es ist mit ihr nicht nur eine erhebliche Verbesserung der Güte der hergestellten Federblätter, sondern auch eine Beschleunigung des Arbeitsganges und eine wesentliche Erleichterung für die Arbeiter erreicht worden.

Da das Biegen und Tauchen ganz selbsttätig erfolgt, ist die Zeitdauer hierfür genau bestimmt und damit kann auch die Härtewärme sicher eingehalten werden, was bei Handarbeit nicht unbedingt der Fall ist. Ebenso kann ohne nennenswerten Zeitaufwand (wenige Sekunden) stets jeder benötigte Biegehalbmesser eingestellt werden.

Die Maschine ist nicht nur vorteilhaft für das Herstellen neuer Blätter, sondern auch für das Nachbiegen und Nach-

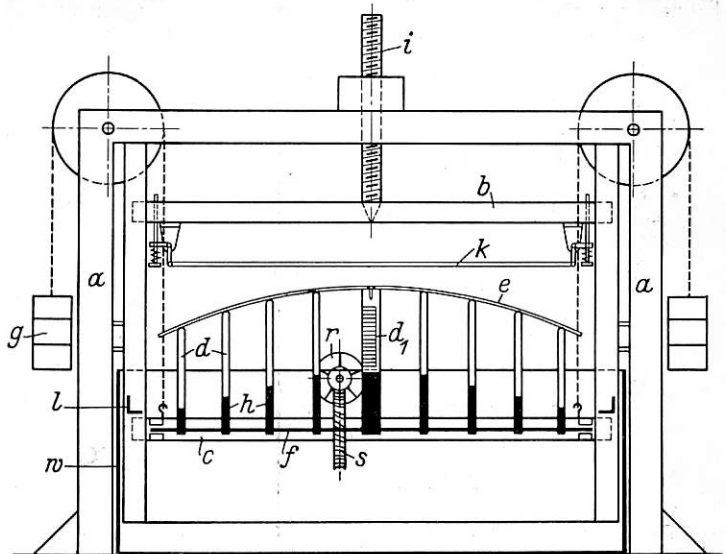


Abb. 3. Federblatt-Biege- und Härtemaschine.

härten gebrauchter Federn, da das Aufrichten alter Federblätter ohne Enthärten nach neuzeitlichen Erkenntnissen nicht als sachgemäßes Verfahren angesehen werden kann.

Die Maschine, zum Patent angemeldet, wird von der A. G. A. Hering, Nürnberg hergestellt.

Vorschläge für ein genaueres und wirtschaftlicheres Verfahren bei der Bearbeitung der Lokomotivstangenlager.

Von Werkobersekretär **Holzauer**, Reichsbahnausbesserungswerk Nied.

Vor der Einführung des Bahnmetalls wurden die Stangenlager der Lokomotiven zur Bearbeitung zusammengelötet. Heute, wo Bahnmetall verwendet wird, ermöglicht die Innenform der Stangenlager ein Zusammenklammern. Die Treib- und Kuppelstangenlager werden jetzt für das Vermessen und Bearbeiten durch Zusammenklammern und Anreißen vorgerichtet. Die Bearbeitung selbst geschieht folgendermaßen:

Das Fräsen auf die mit Stichmaß ermittelte Höhe des Stangenschlosses erfolgt auf einer Doppelspindel-Horizontalfräsmaschine; die übrigen Seitenflächen werden auf Einspindel-Horizontalfräsmaschinen unter Aufspannen mittels eines Sonderteilkopfes gefräst. Dieser wird angewendet, um mehrmaliges Einspannen des Lagers zu vermeiden. Mit dieser Arbeitsmethode werden aber Ergebnisse erzielt, die nicht die gewünschte Maßgenauigkeit besitzen; denn die Stoßflächen der zusammengeklammerten Stangenlager können beim Spannen nicht als Anschlagflächen benutzt werden, müssen vielmehr durch besonderen Arbeitsgang winkelrecht nach dem Mittelriß ausgerichtet werden. Hierdurch treten unvermeidliche Ungenauigkeiten auf. Auch beim Fräsen der übrigen Seitenflächen mit dem Sonderteilkopf ergeben sich gleichfalls Ungenauigkeiten. Eine weitere Ursache der Ungenauigkeit liegt in den Sonderteilköpfen selbst, da diese nicht immer genau teilen. Die fertig gefrästen Lagerschalen, deren Seiten zur Stoßfläche genau parallel, rechtwinklig und unter einer Neigung von 1:7 stehen sollen, weisen häufig mehrere Zehntel Millimeter Abweichung auf. Zur Einpassung der Stangenlager in das Stangenschloß wird daher dem Stichmaß ein Übermaß von 0,1 mm zugegeben. Die erwähnte ungenaue Fräsarbeit erfordert regelmäßig Nacharbeit mit der Feile, die glatten Fräslflächen gehen hierbei verloren und gleichmäßig gutes Tragen der Flächen wird gefährdet.

Nachstehend sei ein Verfahren geschildert, bei dem das Zusammenklammern der Stangenlager vermieden und ein selbsttätiges winkelrechtes Ausrichten beim Spannen der Lagerschalen unter Verwendung der Lagerstoßflächen als Anschlagflächen ermöglicht wird.

Die Stangenlager, Stoß- und die äußere Stirnfläche, werden auf einer Diskusschleifmaschine rechtwinklig geschliffen. An Stelle des Zusammenklammerns der Lagerschalen werden zweckentsprechende Spannvorrichtungen verwendet, die zusammen-

gehörigen Lagerschalen werden besonders gekennzeichnet. Die beiden Lagerstirnseiten und der Lagerspiegel werden auf einer Vertikaldrehbank bearbeitet. Das Fräsen auf Stangenschloßhöhe auf einer Doppelspindelfräsmaschine wird beibehalten. Durch Anschlagen der Lagerstoßflächen an die Anschlagleiste einer Spannvorrichtung werden die Lagerschalen selbsttätig rechtwinklig gespannt und gefräst. Die Sitzlagerschale wird auf einer Einspindel-Horizontalfräsmaschine bearbeitet (Abb. 1). Die unter einer Neigung von 1:7 liegende Fläche der Keil-Lagerschale wird auf einer Einspindel-Vertikal- oder Horizontalfräsmaschine bearbeitet (Abb. 2). Da das nach dem Meßblatt zu fräsende Maß in einer Neigung von 1:7 steht, ist an der Maschine eine Zusammenstellung der einzustellenden Maße L K angebracht. Beide Maschinen können gleichzeitig durch einen Mann bedient werden. Bei diesen Arbeiten ersetzen den Sonderteilkopf zwei einfache Spannwinkel mit je einer geneigten Anschlagleiste F u. G und mehreren auf genaues Maß hergestellten von 20 zu 20 mm abgestuften Parallelanschlagleisten E (Abb. 2 u. 3). Die Lagerschalen werden zum Fräsen mit den Stoßflächen und der äußeren Stirnseite an Spannwinkel und Anschläge angeschlagen. Die Genauigkeit der Arbeitsausführung gestattet den Wegfall der Einpaßzugabe zum Stichmaß und erübrigt das Einpassen der Stangenlager. Die Nacharbeit mit der Feile beschränkt sich auf das Brechen der Kanten der maschinell bearbeiteten Flächen.

In dem geschilderten Verfahren ist die Verwendung von Spannvorrichtungen mit Anschlagleiste besonders bemerkenswert. Bislang wird bei den Sonderteilköpfen das zusammengeklammerte Lager einmal gespannt; zum Schwenken wird der Teilkopf gelöst, entriegelt, zum Fräsen wieder verriegelt und festgespannt. Nach jedem Fräsen ist ein zeitraubendes Einstellen des Fräasers erforderlich. Nach dem vorgeschlagenen Verfahren ist die Arbeitsausführung leichter. Die Lagerschalen werden einzeln und für jeden Arbeitsgang besonders gespannt. Da das Ausrichten selbsttätig erfolgt, läßt sich das Umspannen mit den Spannwinkeln schneller ausführen als das Schwenken mit den Sonderteilköpfen. Weiter können die Spannwinkel kräftiger ausgebildet werden und es ist damit bei voller Ausnutzung hochleistungsfähiger Maschinen und Werkzeuge Gewähr für Erzielung guter und glatter Fräslflächen gegeben. Schließlich bietet das

Verfahren noch einen weiteren Vorteil; es gestattet das Fräsen der Stangenlager ohne Anriß und ermöglicht ein schnelles und genaues Einstellen der Fräsmaße nach Meßblatt mit den an den

fachen Maßstab mit Nonius und verstellbarem Nullpunkt oder eine Meßuhr an dem Höhensupport anzubringen. Ist beim ersten Lager das Maß am Lager und an dem Supportmeßgerät nach

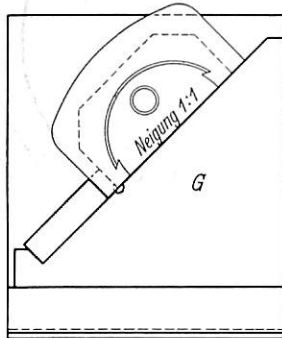


Abb. 1.

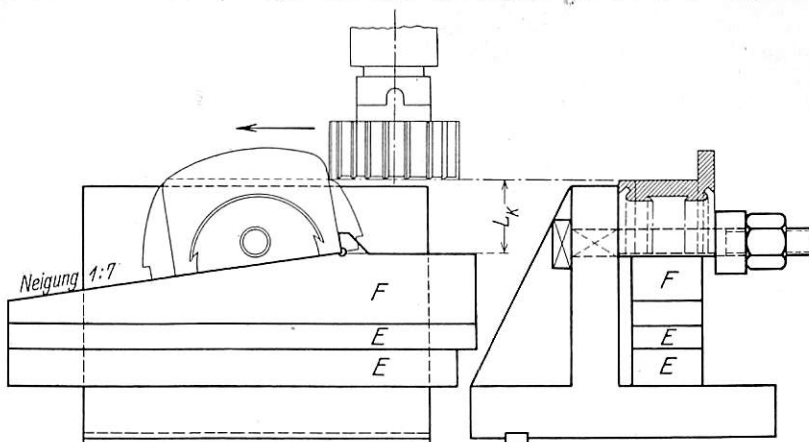


Abb. 2.

Supportspindeln der Fräsmaschine vorhandenen Nonien. Diese gestatten, den Fräs-Tisch um jedes erforderliche Maß mit der Genauigkeit der Nonien selbst zu verstellen. Zur Vermeidung von Fehlfräsungen empfiehlt es sich, außerdem noch einen ein-

dem Meßblatt eingestellt, so werden beim Fräsen der nächsten Lager die Lagermaße mit den Supportspindelnonien eingestellt, das selbsttätige Anzeigen des Fräsmaßes am Supportmeßgerät ermöglicht seine Nachprüfung.

Dauerfestigkeit von Kohlenstoff- und legiertem Federstahl.

Frühere Versuche in dem englischen National Physical Laboratory hatten erkennen lassen, daß die Dauerfestigkeit von Federstahl in der Form von Federblättern für geschichtete Blattfedern nur 22 bis 40 v. H. derjenigen Werte erreichte, die das gleiche Material in gedrehten und polierten Versuchsstücken zeigte. Es lag nahe, diesen großen Unterschied auf einen schädlichen Oberflächeneinfluß zurückzuführen, der von dem Herstellungsverfahren herrührte. Neuere Versuche wurden daher ausgeführt an Federblättern, deren Oberfläche sorgfältig geschliffen und poliert wurde, und zwar in einer solchen Tiefe, daß man annehmen durfte, daß die durch die Bearbeitung schädlich beeinflussten Schichten vollständig entfernt seien. Für die Versuche wurden besonders entwickelte Prüfmaschinen benutzt, die es gestatteten, an einem einfachen Federblatt durch entsprechende Einspannung der angreifenden schwingenden Last eine gleichmäßige Belastungsverteilung über einen größeren Abschnitt zu erhalten, der durch Beobachtung der Durchbiegung festgestellt und gemessen wurde. Die Versuche an verschiedenen legierten Federstählen und reinem Kohlenstoffstahl zeigten übereinstimmend, daß die Dauerfestigkeit der auf dem gewöhnlichen Wege hergestellten Federblätter nur ein Viertel bis die Hälfte desjenigen Wertes betrug, den die gleichen Baustoffe bei den vorgeschriebenen Versuchskörpern in der Dauerfestigkeitsprüfung zeigten. Die Stärke der nach der üblichen Bearbeitung der einzelnen Federblätter hierauf abgenommenen Schicht wurde bis auf 1,5 mm gesteigert; hierbei zeigte sich gleichlaufend eine Steigerung der

Dauerfestigkeit bis auf die volle Höhe. Der Rückgang in der Festigkeit war bei den Silizium-Mangan-Stählen geringer als bei dem reinen Kohlenstoffstahl, doch ließ sich volle Einheitlichkeit der Versuchsergebnisse hier nicht erzielen. Diese Erscheinung wurde durch Härteprüfung fortlaufend oberflächlich immer weiter abgeschliffener Federblätter und chemische Analyse der abgenommenen Schichten als eine weitgehende Enthärtung der Oberflächenschichten durch starke Entkohlung festgestellt und erklärt. So war bei einem Kohlenstoffstahl mit 0,61 vH C der Kohlenstoffgehalt in der Oberfläche bis auf 0,41 vH vermindert. Versuche, die hiernach einen großen Erfolg versprechende Oberflächenbearbeitung vor der Wärmebehandlung der Federblätter vorzunehmen, hatten einen durchaus negativen Erfolg. Die Dauerfestigkeit betrug nur ein Drittel bis ein Viertel der auf Grund der Baustoffprüfung zu erwartenden Werte. Im ganzen zeigen die Versuche einen Weg zur Klärung der viel unstrittenen Frage der zulässigen Federbeanspruchungen und eine Erklärung, warum stets in Wirklichkeit die Federn den Betriebsbeanspruchungen sich als nicht gewachsen zeigen, die in der allgemein üblichen Weise nach den Festigkeitswerten der Baustoffprüfung berechnet und entworfen werden. Es liegt auf der Hand, daß solche Federn in Wirklichkeit außerordentlich überbeansprucht werden und sich in kurzer Zeit bleibend durchbiegen und setzen müssen, wenn die tatsächliche Dauerfestigkeit um einen so hohen Betrag hinter der vorausgesetzten zurückbleibt.

(Engineering.)

Günther.

Achsbrüche infolge chemischer Einwirkungen.

Die unten angeführte Quelle erwähnt ein beachtenswertes Beispiel, aus dem der große nachteilige Einfluß ersichtlich ist, den chemische Einwirkungen auf die Festigkeit der Metalle gegenüber Ermüdungsbeanspruchungen ausüben.

Im Jahre 1916 traten bei einer englischen Eisenbahn an einer Reihe neuer Personenwagen wiederholt Achsbrüche auf. Ein Grund für dieses Verhalten war zunächst nicht zu finden, da sowohl die Belastung als auch der Baustoff der Achsen bei den Wagen genau dieselben waren wie bei vielen älteren Wagen. Bei diesen liefen die Achsen schon mehrere Jahre ohne Anstand, während man bei den neuen Wagen teilweise schon nach 6 Monaten Anbrüche feststellen mußte. Schließlich entdeckte man die Ursache der Brüche in dem Umstand, daß sich bei den neuen Wagen der Ablauf der Waschräume und Aborte über die betreffenden Achsen ergoß. Man änderte dann diese Anordnung der Ablaufrohre entsprechend und daraufhin hörten auch die Achsbrüche auf.

Diese Beobachtung wurde später durch besonders angestellte Versuche bestätigt. Man unterzog dabei einige Rotgußproben

verschiedenen Dauerprüfungen und zwar einmal ohne besondere chemische Einwirkung und außerdem unter dem Einfluß von Ammoniakdämpfen während des Versuchs. Bei einem dritten Vergleichsversuch wurde das Probestück vor dem Versuch so lange in Ammoniak gelegt, bis es Anzeigungen zeigte; darauf wurde es ohne weitere Einwirkung in der freien Luft der Prüfung unterzogen.

Es zeigte sich, daß zwar die Festigkeit der dritten, vor dem Versuch angezeigten Probe nur wenig geringer war wie bei der Probe, die gar keiner chemischen Einwirkung ausgesetzt worden war. Dagegen war die Festigkeit der im Ammoniakdampf untersuchten Probe stark vermindert.

Ähnliche Ergebnisse haben auch Versuche gezeigt, die in Amerika vorgenommen worden sind. Es wurden dort mit einer größeren Zahl von Stahlproben einmal in der Luft und dann im Wasser Dauerversuche angestellt, wobei im zweiten Fall stets die Festigkeit der Probestücke geringer war.

(Engineering.)

R. D.