

Die Wärmeübertragung im Lokomotivrauchrohr.

Ein Beitrag zur Theorie des Lokomotivkessels.

Von Dipl.-Ing. C. Th. Müller, Lehrstuhl für Eisenbahnmaschinenbau, Technische Hochschule Aachen.

Seit der Einführung des Heißdampfes im Lokomotivbetrieb und der Erfindung des Rauchrohrüberhitzers durch Wilhelm Schmidt sind eine Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen und Betriebsversuche angestellt worden, um die Wärmeübertragungsvorgänge im Rauchrohr zu klären. Vor allem kam es bei diesen Untersuchungen darauf an, mit Hilfe von — z. T. unbewiesenen — Annahmen Rechnungswerte für eine Vorausbestimmung der Überhitzungstemperatur des Dampfes zu gewinnen, ohne auf die tieferen Zusammenhänge des Wärmeaustausches im Rauchrohr einzugehen. Solange es sich um in enger Anlehnung an vorhandene bewährte Bauarten geschaffene Kesselkonstruktionen handelte und nur mäßige Überhitzung verlangt wurde, konnten auf empirischer Grundlage beruhende Formeln in einem gewissen engen Bereich brauchbare Rechnungswerte für die Praxis liefern; es wurden ja hierbei nur die diesen Beziehungen zugrunde liegenden Versuchskurven interpoliert. Sobald aber die Forderung nach sehr hoher Überhitzung, zumal bei hohem Kesseldruck, entsteht, werden die auf ganz andere Verhältnisse zugeschnittenen empirischen Beziehungen unanwendbar, und nur eine auf korrekter naturwissenschaftlicher Grundlage aufgebaute Näherungsrechnung — eine solche wird sie wohl immer bleiben wegen vieler mathematisch nicht erfaßbarer Einflüsse — kann die Wege zu einer wirtschaftlichen Heißdampfzeugung weisen.

Da der Wärmeaustausch im Lokomotivüberhitzer wesentlich bestimmt wird durch Dampf- und Rauchgasmenge/h, Verbrennungstemperaturen usw., diese Größen aber mit der Rostanstrengung veränderlich sind, muß eine Untersuchung des Überhitzerproblems sich auch mit der Wärmewirtschaft des gesamten Kessels und der Rauchgasströmung durch das ganze Rohrbündel einschließlich der Heizrohre beschäftigen. In diesen Fragen ist man zum großen Teil auf die Auswertung und kritische Betrachtung von Versuchsergebnissen angewiesen.

Die wichtigsten veröffentlichten Untersuchungen auf dem Gebiete der Überhitzertheorie sind in Deutschland wohl die Arbeiten von Brückmann*), Morgenroth**) und Barske***). Wertvolles Erfahrungsmaterial für eine Kesseltheorie enthalten die Veröffentlichungen von Professor Nordmann über die Arbeiten der Versuchsabteilung der D.R.G. und die Berichte von Professor Lomonossow und seinen Mitarbeitern über die an russischen Lokomotiven angestellten Betriebsversuche.

Von diesen theoretischen Arbeiten kann die Morgenrothsche außer Betracht bleiben, da sie von irrigen Voraussetzungen ausgehend zu ebensolchen Ergebnissen führt. Brückmann und Barske finden eine Näherungslösung der Wärmeübergangsgleichungen im Rauchrohr unter der Annahme, daß der Mittelwert der Dampftemperaturen der einzelnen Stränge des Überhitzerelementes längs des Rauchrohres unveränderlich bleibt. Bei beiden bleibt aber die Frage nach der

Verteilung der Rauchgase auf Rauch- und Heizrohre offen. Brückmann sieht seine Lösung als korrekt an, während Barske nach seinen eigenen Worten diese Näherungsannahme machen muß, um überhaupt eine Lösung der Wärmeübergangsgleichungen zu finden.

Es ist vor allem die Frage zu beantworten, ob ein- oder zweimaliges Eintauchen des Überhitzerelementes in das gleiche bzw. in verschiedene Rauchrohre ein Maximum an Überhitzungseffekt bringt, oder ob sogar, wie bis in die neueste Zeit hinein mehrfach vorgeschlagen, dreimaliges Eintauchen in dasselbe Rauchrohr zweckmäßig ist. — Die Vertreter der eben genannten Überhitzerbauarten sind:

1. der Wagnersche Überhitzer „Bauart R. Z. Ä.“ und der „Mittelrohrüberhitzer“ (einmaliges Eintauchen),
2. der „Kleinrohrüberhitzer“ (zweimaliges Eintauchen in verschiedene Rauchrohre),
3. der „Großrohrüberhitzer“ (zweimaliges Eintauchen in das gleiche Rauchrohr). —

Die Brückmannsche Theorie gibt auf diese Fragen keine Antwort, da sie wegen der Annahme $t_m = \text{const.} = \frac{t_u + t_w}{2}$

keinen Unterschied zwischen den einzelnen Bauarten machen kann. Aus dem gleichen Grunde muß auch die Rechnung von Barske die Zusammenhänge verschleiern.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit muß demnach sein:

1. Mathematische Klärung der Wärmeübergangsvorgänge im Rauchrohr bei ein- und mehrmaligem Eintauchen des Überhitzerelementes,
2. Untersuchung der den Wärmeübergang bestimmenden Größen und deren Abhängigkeit von der Rostanstrengung einschließlich einer
3. Untersuchung des Druckabfalls der Rauchgase beim Durchströmen der Rauch- und Heizrohre, oder, was das gleiche bedeutet, der Verteilung des Rauchgasstromes auf das gesamte Rohrbündel.

Die gestellte Aufgabe wird unter den vereinfachenden Annahmen eines längs des Rohres später zu erläuternden unveränderlichen Mittelwertes

1. der spezifischen Wärme des Rauchgases c_g ,
2. der spezifischen Wärme des Dampfes c_d ,
3. der Wärmedurchgangszahl k

gelöst.

Der Dampf soll beim Eintritt in den Überhitzer trocken gesättigt sein; etwaige Dampffuchtigkeit kann durch Erhöhung von c_d berücksichtigt werden.

Es wird nur der Wärmeübergang durch Leitung und Konvektion behandelt. Die Feuergasstrahlung, die in der Nähe der Feuerbuchrohrwand eine Rolle spielt, soll durch einen Zuschlag zur Wärmedurchgangszahl Berücksichtigung finden.

Der Wärmeaustausch durch Strahlung zwischen Überhitzerelement und Rauchrohr bleibt unberücksichtigt.

Als für den Wärmeübergang an die Wand maßgebend wird die mittlere Temperatur t_g des Rauchgases in einem Querschnitt senkrecht zur Rohrachse angesehen und die abgegebene

*) Brückmann, Heißdampflokomotiven mit einfacher Dehnung des Dampfes, Eisenbahntechnik der Gegenwart, Bd. 1. 1920.

**) In: Garbe, Die zeitgemäße Heißdampflokomotive. 1924.

***) Barske, Rechn. Unters. der Wärmeübertragung im Lokomotivkessel. 1930.

Wärmemenge der Differenz von t_g und Wandtemperatur proportional gesetzt.

Die Wandtemperaturen werden den Temperaturen der Wärme aufnehmenden Medien gleichgesetzt.

Bei der Wärmeübertragung im Rauchrohr handelt es sich um die Übereinanderlagerung von zwei gleichzeitigen Vorgängen

1. der Wärmeabgabe des Rauchgases durch den Rauchrohrmantel an das Kesselwasser,
2. der Wärmeabgabe des Rauchgases durch das Überhitzererelement an den Dampf.

Um einen klaren Einblick in die verwickelten Verhältnisse des gleichzeitigen Wärmeaustausches in Gleich- und Gegenstrom, zumal bei mehrmaligem Eintauchen, zu gewinnen, wird zunächst ein in Wirklichkeit nicht vorkommender Fall behandelt: Das das Rauchrohr umgebende Kesselwasser ist durch eine wärmedichte Isoliermasse ersetzt gedacht, so daß die gesamte Wärmeabgabe des Rauchgases an den Dampf erfolgt. Für diese Vereinfachung, das „Problem des nach außen wärmedichten Rauchrohres“, ist eine Lösung der Differentialgleichungen des Wärmeaustausches in geschlossener Form möglich, wenn die spezifischen Wärmen als von der Temperatur unabhängige Festwerte angesehen werden. Die aus dieser Rechnung gewonnenen Ergebnisse erleichtern wesentlich die mathematische Behandlung des „Problems des nach außen Wärme abgebenden Rauchrohres“, weil sie schon wichtige, auch auf dieses anwendbare Erkenntnisse vermitteln.

I. Nach außen wärmedichtes Rauchrohr.

a) Überhitzer mit einmaligem Eintauchen.

In Abb. 1 ist schematisch ein außen mit Isoliermasse umgebenes Rauchrohr dargestellt, in das ein U-förmig gebogenes Überhitzererelement eintaucht. Durch das Rauchrohr strömt ein Rauchgasgewicht G' kg/h mit der als bekannt vorausgesetzten Temperatur $t_{gü}$ am Überhitzerknie (Querschnitt 0), durch das U-Rohr eine Rauchgasmenge D' kg/h mit bekannter Anfangstemperatur $t_w < t_{gü}$ (Querschnitt I). Die Wärmeaufnahme des Dampfes erfolgt im Strang 1 im Gegenstrom, im Strang 2 im Gleichstrom. — Unter „Strang“ wird verstanden die Gesamtheit der Überhitzerrohre, in die der Dampf mit gleicher Temperatur eintritt und die von ihm in gleicher Richtung durchflossen werden. dH sei ein Heizflächenelement eines Stranges, also

$$dH = d_{ü} \cdot \pi \cdot dl$$

bei einem Rohr und

$$dH = n \cdot d_{ü} \cdot \pi \cdot dl$$

bei n parallel geschalteten Rohren (s. Abb. 1). H_s ist die Gesamtheizfläche eines Stranges zwischen den Querschnitten 0 und I, H'_s die Heizfläche des in ein Rohr eintauchenden Überhitzererelementes. —

Zu ermitteln sind die Abkühlungskurve des Rauchgases sowie die Erwärmungskurven des Dampfes. Der Lösung der gestellten Aufgabe liegt folgender Gedankengang zugrunde: Da das Rauchrohr nach außen wärmedicht ist, muß die gesamte an der Stelle H längs eines Heizflächenelementes dH vom Rauchgas abgegebene Wärmemenge dQ an den Dampf übergehen. Von dieser Wärmemenge erhält Strang 1 den Anteil $x \cdot dQ = dQ_1$, Strang 2 den Rest $(1-x) dQ = dQ_2$, entsprechend den zugehörigen Übertemperaturen des Rauchgases. Diese Anteile sind längs der Heizfläche veränderlich. Der Verlauf der Temperaturen t_g des Rauchgases und t_1 und t_2 des Dampfes längs des Rauchrohres ist mit Hilfe der Funktion $x = f(H)$ berechenbar.

Mit den Bezeichnungen der Abb. 1 ist:

$$dQ_1 = -x \cdot G' \cdot c_g \cdot dt_g = -D' \cdot c_d \cdot dt_1 = k \cdot dH \cdot \tau_1 \dots \text{Gl. 1)}$$

$$dQ_2 = -(1-x) G' \cdot c_g \cdot dt_g = D' \cdot c_d \cdot dt_2 = k \cdot dH \cdot \tau_2 \dots \text{Gl. 2)}$$

$$dQ_1 + dQ_2 = dQ = -G' \cdot c_g \cdot dt_g = -D' \cdot c_d (dt_1 - dt_2) = k \cdot dH (\tau_1 + \tau_2) \dots \text{Gl. 3)}$$

$$= 2k \cdot dH \cdot \tau_m$$

Da die gesamte vom Rauchgas an die Heizfläche H abgegebene Wärme vom Dampf aufgenommen wird, ist

$$G' \cdot c_g (t_{gü} - t_g) = D' \cdot c_d (t_2 - t_1) = D' \cdot c_d (\tau_1 - \tau_2) \dots \text{Gl. 4)}$$

und weiterhin, wenn wir Gl. 2) von Gl. 1) subtrahieren

$$-G' \cdot c_g (2x - 1) dt_g = (\tau_1 - \tau_2) k \cdot dH = -D' \cdot c_d (dt_1 + dt_2) \dots \text{Gl. 5)}$$

Durch Division der beiden letzten Beziehungen ergibt sich

$$\frac{dt_g}{t_{gü} - t_g} = +d [\ln (t_{gü} - t_g)] = \frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} \cdot \frac{1}{2x - 1} \cdot \frac{k}{G' \cdot c_g} dH \dots \text{Gl. 6)}$$

als Differentialgleichung der Rauchgasabkühlungskurve.

Aus Abb. 1 lesen wir ab: $t_1 + t_2 = 2t_m$, entsprechend $t_g - t_m = \tau_m$ und erhalten mit Hilfe von Gl. 3)

$$\frac{1}{2} (dt_1 + dt_2) = dt_g - d\tau_m = -\frac{2k}{G' \cdot c_g} dH \cdot \tau_m - d\tau_m$$

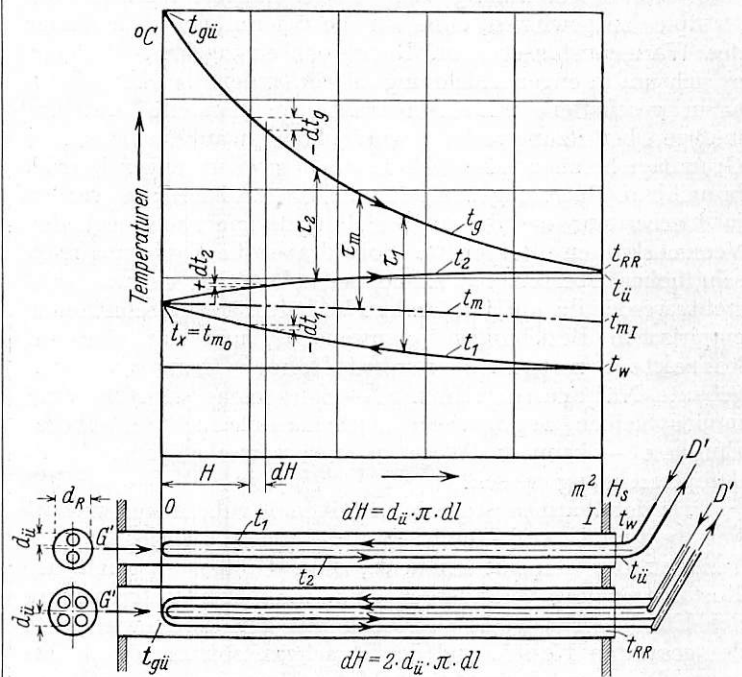


Abb. 1.

Diese Beziehung wird in Gl. 5) eingesetzt, aus der sich dann nach Division durch Gl. 3)

$$\frac{d\tau_m}{\tau_m} = d (\ln \tau_m) = -\frac{2k}{G' \cdot c_g} dH + (2x - 1) \frac{k}{D' \cdot c_d} dH \dots \text{Gl. 7)}$$

folgt, eine Differentialgleichung zur Ermittlung des Verlaufes der mittleren Übertemperatur des Rauchgases gegenüber dem Dampf längs der Heizfläche H .

Nach der gegebenen Definition bzw. Gl. 1) ÷ 3) ist:

$$x = \frac{dQ_1}{dQ} = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{\tau_1}{2\tau_m} \dots \text{Gl. 8)}$$

$$1 - x = \frac{dQ_2}{dQ} = \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{\tau_2}{2\tau_m} \dots \text{Gl. 9)}$$

so daß die gesamten Temperaturkurven als Funktionen von H berechenbar sind, sobald $x(H)$ bekannt ist. Dieses läßt sich auf folgendem Wege ermitteln: Die Differenz der Gl. 8) und 9)

$$2x - 1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_m} \dots \text{Gl. 10)}$$

wird differenziert; daraus ergibt sich

$$d(2x - 1) = \frac{d\tau_1 - d\tau_2}{2\tau_m} - (2x - 1) \frac{d\tau_m}{\tau_m}$$

Mit den Werten für $(d\tau_1 - d\tau_2) = -(d\tau_1 - d\tau_2)$ nach Gl. 3) und für $\frac{d\tau_m}{\tau_m}$ nach Gl. 7) erhalten wir

$$\frac{dx}{(2x-1) + 2x(1-x)} = \frac{k}{G' \cdot c_g} dH \quad \dots \text{Gl. 11)}$$

als die gesuchte Differentialgleichung in x und H , deren allgemeine Lösung

$$\frac{1}{2} \cdot \ln \left[C \cdot \frac{(2x-1) - \frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} + A'}{(2x-1) - \frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} - A'} \right] = \frac{A' \cdot k}{D' \cdot c_d} H$$

lautet, wenn zur Abkürzung $\sqrt{\left(\frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g}\right)^2 + 1} = A'$ gesetzt wird. Für $H=0$ (Eintrittsstelle der Rauchgase in den besetzten Teil des Rauchrohres) ist $\tau_1 = \tau_2 = \tau_x$, mithin nach Gl. 10) $2x-1=0$. Die Integrationskonstante hat also den Wert

$$C = \frac{\frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} + A'}{\frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} - A'}$$

und für x erhalten wir in der endgültigen Form

$$2x-1 = \frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} \cdot \frac{1}{A \cdot \coth \left[\frac{A \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right] - 1} \quad \dots \text{Gl. 12)}$$

mit

$$A = \sqrt{\left(\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}\right)^2 + 1}$$

Wird $2x-1$ nach Gl. 12) in Gl. 6) eingesetzt und diese zwischen $H=H_s$ und dem ihm zugeordneten $t_g = t_{RR}$ als oberen bzw. $H=H$ und $t_g = t_g$ als unteren Grenzen integriert, so lautet die Gleichung der Rauchgastemperaturkurve:

$$t_g = t_{gü} - (t_{gü} - t_{RR}) \frac{\sin \left[\frac{A \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right]}{\sin \left[\frac{A \cdot k}{G' \cdot c_g} H_s \right]} e^{\frac{k}{G' \cdot c_g} (H_s - H)} \quad \dots \text{Gl. 13)}$$

Zur Ermittlung der Endtemperatur t_{RR} des Rauchgases am Rauchkammerende der Heizfläche stehen zur Verfügung die Beziehungen: 1. nach Gl. 8) und 10) mit $\tau_1 = t_{RR} - t_w$ und $\tau_2 = t_{RR} - t_{ü}$

$$t_{ü} - t_w = (t_{RR} - t_w) \frac{2x_I - 1}{x_I}$$

(die Indizes I und 0 beziehen sich auf die Querschnitte I und 0 des Rauchrohres in Abb. 1) und 2. nach der Bilanzgl. 4)

$$t_{ü} - t_w = \frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} (t_{gü} - t_{RR}),$$

die nach t_{RR} bzw. der Überhitzungstemperatur $t_{ü}$ aufgelöst

$$t_{RR} = \frac{t_{gü} + t_w \frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} \frac{2x_I - 1}{x_I}}{1 + \frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} \frac{2x_I - 1}{x_I}} \quad \dots \text{Gl. 14)}$$

$$t_{ü} = \frac{t_w \left[1 + \frac{2x_I - 1}{x_I} \left(\frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} - 1 \right) \right] + t_{gü} \frac{2x_I - 1}{x_I}}{1 + \frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} \frac{2x_I - 1}{x_I}} \quad \dots \text{Gl. 15)}$$

lauten.

Mit $2x-1$ nach Gl. 12) liefert die Integration von Gl. 7) zwischen den Grenzen $H=0$ und $\tau_m = \tau_{m0}$ bzw. $H=H$ und $\tau_m = \tau_m$ die Beziehung

$$\frac{\tau_m}{\tau_{m0}} = \left\{ \coth \left[\frac{A \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right] - \frac{1}{A} \operatorname{csch} \left[\frac{A \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right] \right\} e^{-\frac{k}{G' \cdot c_g} H} \quad \dots \text{Gl. 16)}$$

Da für $H=H_s$

$$\tau_m = \tau_{mI} = t_{RR} - \frac{t_{ü} + t_w}{2},$$

so errechnet sich τ_{m0} aus Gl. 16) mit diesen Werten von H und τ_m .

Durch die Gl. 8), 9), 12), 13), 14), 15) und 16) liegt der Verlauf sämtlicher Temperaturen längs des Rauchrohres fest.

Aus den Ergebnissen der vorstehenden Entwicklung ersieht man, daß der Verlauf der Temperaturen von Dampf und Rauchgas bestimmt ist

1. durch die Eintrittstemperatur des Rauchgases $t_{gü}$,
2. durch die Eintrittstemperatur des Dampfes t_w ,
3. das dimensionslose Verhältnis $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$,
4. den dimensionslosen Ausdruck $\frac{k}{G' \cdot c_g} H$ und
5. dessen Größe am Ende des Rauchrohres $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$,

also für ein bestimmtes $\frac{k}{G' \cdot c_g}$ die Gesamtheizfläche eines Stranges.

Für einen in der Praxis ungefähr vorkommenden Höchstwert $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} = 1$ und Eintrittstemperaturen $t_{gü} = 1000^\circ \text{C}$, $t_w = 200^\circ \text{C}$ sind die Rechnungsergebnisse in Abb. 2 bis 4 über $\frac{k}{G' \cdot c_g} H$ als Abszisse aufgetragen.

Abb. 2 stellt die Temperaturschaulinien von Rauchgas und Dampf für verschiedene Werte des Parameters $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$

dar. Man sieht, daß jedem H_s für konstantes $\frac{k}{G' \cdot c_g}$ ein vollständig geänderter Temperaturverlauf entspricht. Die Überhitzungstemperatur steigt mit wachsendem H_s , wie zu erwarten war. Bei $x=1$ ($x=1$ bedeutet wegen $dQ_1 = x \cdot dQ$, daß an der betreffenden Stelle des Rohres die gesamte vom Rauchgas abgegebene Wärme vom Strang 1 aufgenommen wird, was nur möglich ist, wenn $t_2 = t_g$) überschneidet die Temperaturkurve t_2 die zugehörige Kurve t_g . Da von hier ab die Dampftemperatur in Strang 2 über der des Rauchgases liegt, erfolgt ein Rückstrom von Wärme vom Dampf an das Rauchgas und durch dieses als Austauschmedium an Strang 1; t_2 hat von dieser Rohrstelle an fallende Tendenz. Trotzdem steigt $t_{ü}$ mit wachsendem H_s weiter, wenn auch langsamer, weil die durch eine Vergrößerung von H_s bedingte zusätzliche Wärmeaufnahme des Stranges 1 — in Abb. 2 veranschaulicht durch das Steigen der Temperatur t_x am Umkehrende der Rohrschlange — die Wärmeabgabe des Stranges 2 überwiegt, und strebt für $H_s \rightarrow \infty$ einem festen Grenzwert $t_{ü\infty} = 668^\circ$ zu, der durch $x_\infty = 1,715$ bestimmt ist.

Die gleichen Temperaturschaulinien entstehen, wenn $H_s = \text{const.}$ angenommen, also ein gegebenes Rohr vorausgesetzt wird, und man das Verhältnis $\frac{k}{G' \cdot c_g}$ so variiert, daß

die bisherigen Werte des Parameters $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ für konstantes $\frac{k}{G' \cdot c_g}$ und veränderliches H_s mit den neuen für konstantes H_s und veränderliches $\frac{k}{G' \cdot c_g}$ übereinstimmen.

Man kann, wie später [siehe Gl. 100] in der Fortsetzung dieses Aufsatzes] gezeigt werden soll, schreiben

$$\frac{k}{G' \cdot c_g} = G'^{-0,25} \cdot f_{(C)} \cdot f_{(t)},$$

wobei $f_{(C)}$ die Abhängigkeit von konstruktiven und physikalischen Konstanten (Rohrdurchmesser, Rohrlänge, Grundwerte der spezifischen Wärme und der Rauchgaszähigkeit), $f_{(t)}$ den Einfluß der Temperaturen von Rauchgas und Wand

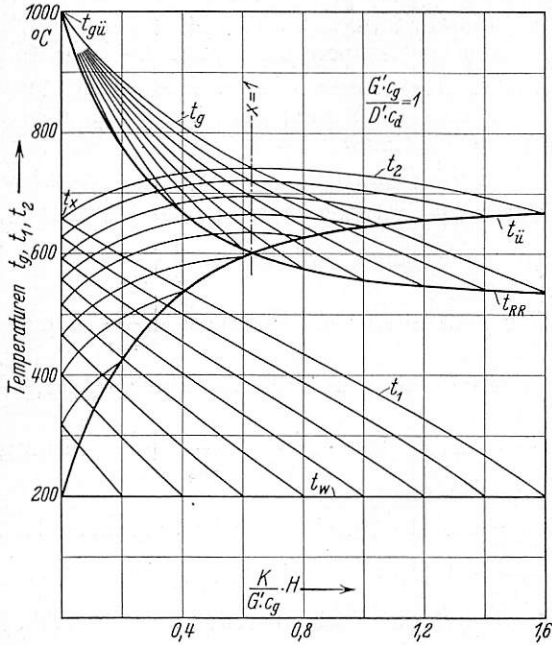


Abb. 2.

auf k berücksichtigt. Schalten wir einmal den Einfluß der Temperaturen aus, so stellen die Kurven der Abb. 2 — konstante Eintrittstemperatur beider Austauschmedien und gleiches $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$ vorausgesetzt — die Temperaturkurven für ein gegebenes Rohr bei verschiedener durchströmender Rauchgasmenge G' dar. Jedem G' entspricht wiederum ein völlig anderer Temperaturverlauf.

Abb. 3 zeigt die Rauchgasabkühlungs- und die zugehörigen mittleren Dampftemperaturkurven $t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$ mit $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ als Parameter der Kurvenscharen. t_m hat seinen Höchstwert am Anfang des Rauchrohres und nimmt zum Ende hin ab. Der Unterschied von Höchst- und Niedrigstwert von t_m , also t_{m0} und t_{mI} ist um so größer, je größer H_s , bzw. je kleiner die Rauchgasmenge G' , konstantes $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$ vorausgesetzt. Das erhellt noch deutlicher aus Abb. 4, in der $t_x = t_{m0}$, t_{mI} , $t_ü$, t_{RR} über $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ wiederum für $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} = 1$ aufgetragen sind. Die Temperatur t_x des Dampfes am Überhitzerknie wächst mit zunehmendem $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ und erreicht für große Werte von $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$, also großes H_s bzw. kleines G' , die Überhitzungs-

temperatur $t_ü$, während $t_{mI} = \frac{t_ü + t_w}{2}$ in jedem Falle wesentlich kleiner ist. Von einer Konstanz der mittleren Temperatur des Dampfes kann also nicht gesprochen werden, solange Voraussetzung für die Rechnung trocken gesättigter Dampf beim Eintritt in den Überhitzer und $c_d = \text{const.}$ sind. Das Gleiche gilt auch für das Wärme ans Wasser abgebende Rauchrohr.

b) Überhitzer mit zweimaligem Eintauchen in das gleiche Rauchrohr.

In Abb. 5 ist diese Überhitzeranordnung schematisch nebst den zugehörigen Temperaturkurven (ausgezogen) dargestellt. Der Dampf durchströmt, wie durch die Pfeile angedeutet, Strang 1 und 3 des Überhitzerelementes im Gegenstrom und Strang 2 und 4 im Gleichstrom zum Rauchgas. Das Rauchrohr soll nach außen wiederum wärmedicht isoliert

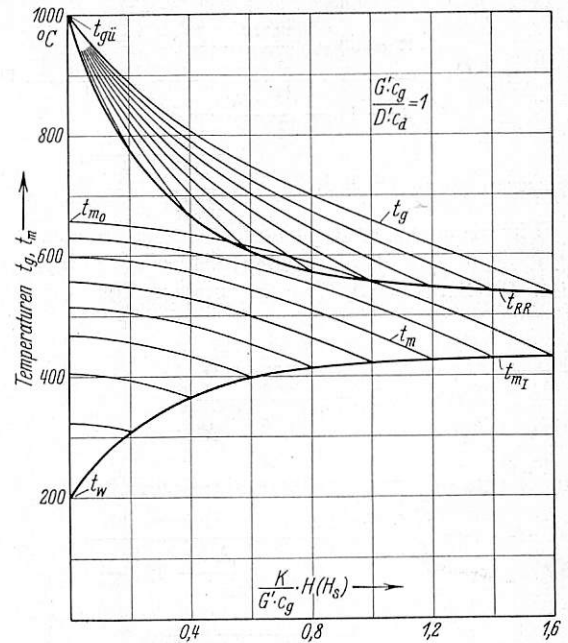


Abb. 3.

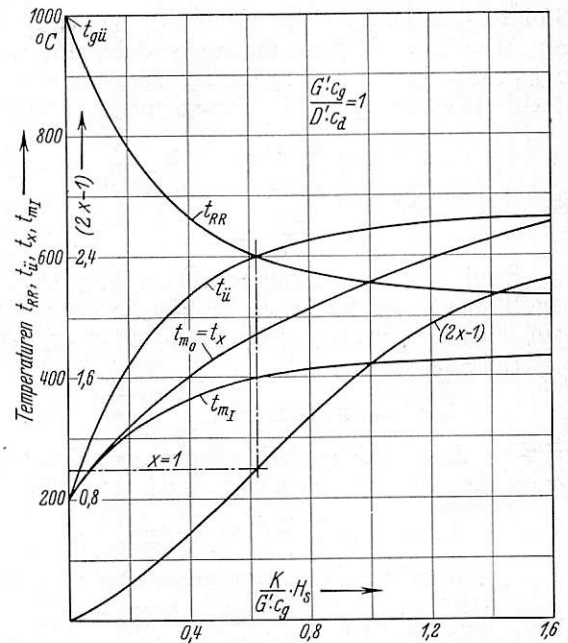


Abb. 4.

sein. Für die Rechnung gelten die in das Schaubild eingetragenen Bezeichnungen. Die Ermittlung des gesuchten Temperaturverlaufes der Wärme austauschenden Medien gelingt mittels folgender Überlegung:

Bildet man aus t_1 und t_3 bzw. t_2 und t_4 die mittleren Temperaturen $t' = \frac{t_1 + t_3}{2}$, $t'' = \frac{t_2 + t_4}{2}$, so ergibt sich ein Temperaturverlauf nach — . —. Man kann sich hierzu vorstellen, daß Strang 1 und 3 bzw. 2 und 4 zu je einem neuen

durch ' bzw. '' gekennzeichneten, mit doppelter Oberfläche vereinigt sind. Durch das so entstandene neue Überhitzer-element, welches nur einmal in das Rauchrohr eintaucht, strömt nunmehr eine Dampfmenge 2D' mit einer jetzt nicht

wobei t_y die Temperatur des Dampfes am Ende von Strang 2 bedeutet. Man kann jetzt die gleichen Überlegungen anstellen, wie unter Ia.

An den gedachten Strang ' soll an der Stelle $H' = 2H$ längs eines Heizflächenelementes $dH' = 2dH$ von der gesamten vom Rauchgas abgegebenen Wärmemenge dQ der Anteil $x \cdot dQ = dQ'$ übergehen, der Rest $(1-x)dQ = dQ''$ an Strang ''. Ebenso vereinigt man den Strang 1 und 4 bzw. 2 und 3 zu je einem neuen mit einem Temperaturverlauf nach —..— (Indizes + und ++), Strang 1 und 2 bzw. 3 und 4 zu zwei weiteren mit Temperaturlinien nach —...— (Indizes 0 und 00). Diese Vereinigung ist wegen der verschiedenen Strömungsrichtung des Dampfes in den kombinierten Strängen nicht mehr vorstellbar, wie die der beiden Gleich- und Gegenstromstränge. Sie ist aber mathematisch möglich. Analog zu dem Anteil x für die mittleren Temperaturen nach —. — erhält man die Anteile y und z für die mittleren Temperaturen nach —.. — bzw. —... —. x , y und z sind an jeder Stelle des Rohres verschieden und lassen sich in der gleichen Weise wie bei der Untersuchung des einmaligen Eintauchens des Überhitzer-elementes als $f_{(H)}$ darstellen. Der Verlauf der Temperaturen t_1, t_2, t_3, t_4 des Dampfes und der Rauchgas-temperatur t_g ist dann mit Hilfe dieser Funktionen $x, y, z_{(H)}$ berechenbar.

Bedeutet wieder, wie unter Ia, dH das Heizflächenelement eines Stranges, also $dH = d\ddot{u} \cdot \pi \cdot dl$ und H_s die Gesamtheizfläche eines Stranges, also $H_s = d\ddot{u} \cdot \pi \cdot l_s$, so lassen sich die Grundgleichungen des Wärmeüberganges mit den aus Abb. 5 ersichtlichen Bezeichnungen schreiben:

$$\begin{aligned} dQ_1 &= -D' \cdot c_d \cdot d t_1 = k \cdot dH \cdot \tau_1 \dots \text{Gl. 17} \\ dQ_2 &= D' \cdot c_d \cdot d t_2 = k \cdot dH \cdot \tau_2 \dots \text{Gl. 18} \\ dQ_3 &= -D' \cdot c_d \cdot d t_3 = k \cdot dH \cdot \tau_3 \dots \text{Gl. 19} \\ dQ_4 &= D' \cdot c_d \cdot d t_4 = k \cdot dH \cdot \tau_4 \dots \text{Gl. 20} \end{aligned}$$

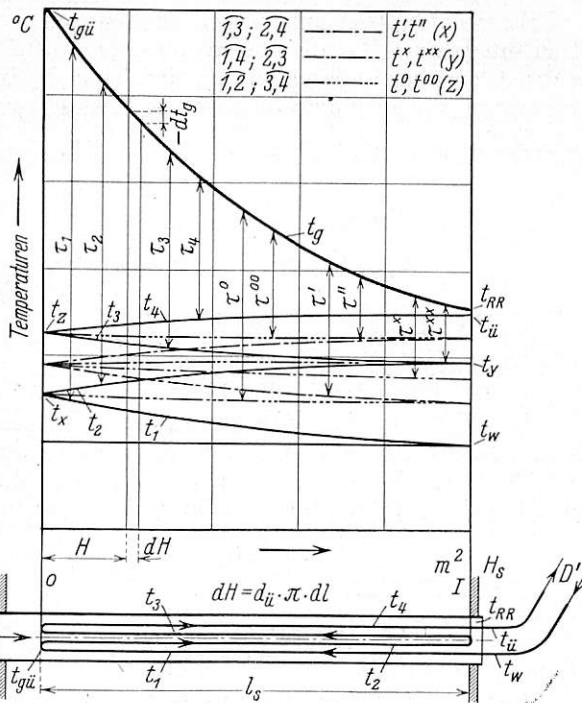


Abb. 5.

mehr eindeutig festliegenden, sondern veränderlichen Eintritts-temperatur $\frac{1}{2}(t_w + t_y)$ und wird auf $\frac{1}{2}(t_{\ddot{u}} + t_y)$ überhitzt,

$$\begin{aligned} dQ &= dQ_1 + dQ_2 + dQ_3 + dQ_4 = -G' \cdot c_g \cdot d t_g = -D' \cdot c_d (d t_1 - d t_2 + d t_3 - d t_4) \\ &= k \cdot dH (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4) \\ &= k \cdot dH \cdot 4 \tau_m \dots \text{Gl. 21} \end{aligned}$$

$$dQ_1 + dQ_3 = dQ' = -x \cdot G' \cdot c_g \cdot d t_g = -2D' \cdot c_d \cdot d t' = 2k \cdot dH \cdot \tau' \dots \text{Gl. 22}$$

$$dQ_2 + dQ_4 = dQ'' = -(1-x)G' \cdot c_g \cdot d t_g = 2D' \cdot c_d \cdot d t'' = 2k \cdot dH \cdot \tau'' \dots \text{Gl. 23}$$

$$dQ' - dQ'' = -(2x-1)G' \cdot c_g \cdot d t_g = -2D' \cdot c_d (d t' + d t'') = 2k \cdot dH (\tau' - \tau'') \dots \text{Gl. 24}$$

$$dQ_1 + dQ_4 = dQ^+ = -y \cdot G' \cdot c_g \cdot d t_g = -2D' \cdot c_d (d t^+ - d t_4) = 2k \cdot dH \cdot \tau^+ \dots \text{Gl. 25}$$

$$dQ_2 + dQ_3 = dQ^{++} = -(1-y)G' \cdot c_g \cdot d t_g = -2D' \cdot c_d (d t^{++} - d t_2) = 2k \cdot dH \cdot \tau^{++} \dots \text{Gl. 26}$$

$$dQ^+ - dQ^{++} = -(2y-1)G' \cdot c_g \cdot d t_g = 2k \cdot dH (\tau^+ - \tau^{++}) \dots \text{Gl. 27}$$

$$dQ_1 + dQ_2 = dQ^0 = -z \cdot G' \cdot c_g \cdot d t_g = -2D' \cdot c_d (d t^0 - d t_2) = 2k \cdot dH \cdot \tau^0 \dots \text{Gl. 28}$$

$$dQ_3 + dQ_4 = dQ^{00} = -(1-z)G' \cdot c_g \cdot d t_g = -2D' \cdot c_d (d t^{00} - d t_4) = 2k \cdot dH \cdot \tau^{00} \dots \text{Gl. 29}$$

$$dQ^0 - dQ^{00} = -(2z-1)G' \cdot c_g \cdot d t_g = 2k \cdot dH (\tau^0 - \tau^{00}) \dots \text{Gl. 30}$$

Wir dividieren die Gl. 22), 23), 24), 27), 30) durch Gl. 21) und erhalten so die Gleichungsgruppe:

$$2x - 1 = \frac{\tau' - \tau''}{2\tau_m} \dots \text{Gl. 31}$$

$$x = \frac{\tau'}{2\tau_m}$$

$$1 - x = \frac{\tau''}{2\tau_m}$$

$$2y - 1 = \frac{\tau^+ - \tau^{++}}{2\tau_m} \dots \text{Gl. 32}$$

$$2z - 1 = \frac{\tau^0 - \tau^{00}}{2\tau_m} \dots \text{Gl. 33}$$

aus der sich, wenn für τ', τ'', τ^+ usw. nach Abb. 5 die Werte $\frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$ usw. eingesetzt werden, die Beziehungen

$$\frac{\tau_1}{\tau_m} = 2x + [(2z-1) + (2y-1)] \dots \text{Gl. 34}$$

$$\frac{\tau_2}{\tau_m} = 2(1-x) + [(2z-1) - (2y-1)] \dots \text{Gl. 35}$$

$$\frac{\tau_3}{\tau_m} = 2x - [(2z-1) + (2y-1)] \dots \text{Gl. 36}$$

$$\frac{\tau_4}{\tau_m} = 2(1-x) - [(2z-1) - (2y-1)] \dots \text{Gl. 37}$$

zwischen den Übertemperaturen des Rauchgases gegenüber den einzelnen Dampfsträngen und der mittleren Übertemperatur τ_m herleiten lassen, für welche als $f_{(H)}$ in der gleichen Weise, wie in Untersuchung Ia, eine Differentialgleichung entwickelt werden kann.

Nach Abb. 5 und Gl. 21) können wir schreiben:

$$\frac{1}{2}(d t' + d t'') = d t_m = d t_g - d \tau_m = -\frac{4k}{G' \cdot c_g} dH \cdot \tau_m - d \tau_m.$$

Diese Beziehung wird in Gl. 24) eingesetzt, aus der sich dann nach Division durch Gl. 21) ergibt:

$$\frac{d \tau_m}{\tau_m} = d(\ln \tau_m) = -\frac{4k}{G' \cdot c_g} dH + (2x-1) \frac{k}{D' \cdot c_d} dH \dots \text{Gl. 38)}$$

Die Differentialgleichungen der Funktionen x, y, z zur Ermittlung von deren Abhängigkeit von der Heizfläche H werden aus der Differentiation der Gl. 31), 32), 33) gewonnen.

$$d(2x-1) = \frac{d\tau' - d\tau''}{2\tau_m} - (2x-1) \frac{d\tau_m}{\tau_m} \dots \text{Gl. 31a)}$$

$$d(2y-1) = \frac{d\tau^+ - d\tau^{++}}{2\tau_m} - (2y-1) \frac{d\tau_m}{\tau_m} \dots \text{Gl. 32a)}$$

$$d(2z-1) = \frac{d\tau^0 - d\tau^{00}}{2\tau_m} - (2z-1) \frac{d\tau_m}{\tau_m} \dots \text{Gl. 33a)}$$

Mit $(d\tau' - d\tau'') = d(t_g - t' - t_g + t'') = -(dt' - dt'')$ nach Gl. 22) und 23) erhalten wir

$$dx = \left[(2x-1) + 2x(1-x) \frac{G' \cdot c_g}{2D' \cdot c_d} \right] \frac{2k}{G' \cdot c_g} dH \dots \text{Gl. 39)}$$

als die gesuchte Differentialgleichung in x und H, die ihrem Aufbau nach, wie zu erwarten war, genau mit Gl. 11) übereinstimmt; an die Stelle von G' ist nur $\frac{G'}{2}$ getreten. Deren Lösung

lautet also, da ja auch der Grenzwert $2x-1=0$ für $H=0$ nach Gl. 31) wegen $\tau_0' = \tau_0''$ bestehen bleibt, in Übereinstimmung mit Gl. 12)

$$2x-1 = \frac{G' \cdot c_g}{2D' \cdot c_d} \cdot \frac{1}{A_1 \mathcal{C}o\text{t}g \left[\frac{2A_1 \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right] - 1} \dots \text{Gl. 40)}$$

mit A_1 als Abkürzung für

$$\sqrt{\left(\frac{G' \cdot c_g}{2D' \cdot c_d} \right)^2 + 1}$$

Die nunmehr durchführbare Integration der Gl. 38) liefert die Beziehung (Integrationsgrenzen $H=0$, $\tau_m = \tau_{m0}$ bzw. H und τ_m)

$$\frac{\tau_m}{\tau_{m0}} = \left\{ \mathcal{C}o\text{t}g \left[\frac{2A_1 \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right] - \frac{1}{A_1} \mathcal{C}i\text{n} \left[\frac{2A_1 \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right] \right\} e^{-\frac{2k}{G' \cdot c_g} H} \dots \text{Gl. 41)}$$

Jede der beiden Gl. 32a) und 33a) ist für sich nicht integrierbar, wohl aber ihre Summe bzw. Differenz, die in der Gleichungsgruppe 34) bis 37) erscheinen. Bei der Addition bzw. Subtraktion treten die Ausdrücke

$$\frac{d\tau^0 - d\tau^{00} + d\tau^+ - d\tau^{++}}{2\tau_m}, \quad \frac{d\tau^0 - d\tau^{00} - d\tau^+ + d\tau^{++}}{2\tau_m}$$

auf. Wie man sich durch Einsetzen der entsprechenden Werte nach Abb. 5 überzeugen kann, ist

$$\tau^0 - \tau^{00} + \tau^+ - \tau^{++} = -(t_1 - t_3), \quad \tau^0 - \tau^{00} - \tau^+ + \tau^{++} = -(t_2 - t_4)$$

$$\text{Mit } -(dt_1 - dt_3) = \frac{k}{D' \cdot c_d} dH (\tau_1 - \tau_3) \text{ bzw. } -(dt_2 - dt_4) =$$

$$= -\frac{k}{D' \cdot c_d} dH (\tau_2 - \tau_4) \text{ nach Gl. 17) bis 20) und } \frac{\tau_1 - \tau_3}{2\tau_m} \text{ bzw.}$$

$\frac{\tau_2 - \tau_4}{2\tau_m}$ nach Gl. 34) bis 37) erhalten wir dann die Differentialgleichungen:

$$t_{gü} + t_w \frac{2D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} \cdot \frac{2x_1 - 1}{x_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2x_1 - 1}{x_1} \cdot \frac{1}{\mathcal{C}o\text{t}g \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right]}} \cdot e^{\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s} \dots \text{Gl. 47)}$$

$$d \left\{ \ln [(2z-1) + (2y-1)] \right\} = \frac{k}{D' \cdot c_d} dH - \frac{d\tau_m}{\tau_m}$$

$$d \left\{ \ln [(2z-1) - (2y-1)] \right\} = -\frac{k}{D' \cdot c_d} dH - \frac{d\tau_m}{\tau_m}$$

Die rechten Gleichungsseiten sind zwischen $H=0$ und H zu integrieren. Da die Integrationsgrenzen für y und z in beiden Gleichungen die nämlichen sind, sind die Integrationskonstanten, wie auch auf andere Weise bewiesen werden kann, einander gleich = C. Mit $-\int_0^H \frac{d\tau_m}{\tau_m} = \ln \frac{\tau_{m0}}{\tau_m}$ nach Gl. 41) ist somit

$$(2z-1) \pm (2y-1) = e^{\frac{2k}{G' \cdot c_g} H} \pm \frac{k}{D' \cdot c_d} H \dots \left\{ \begin{array}{l} \text{Gl. 42)} \\ \text{Gl. 43)} \end{array} \right.$$

Werden Gl. 42) und Gl. 43) addiert, so fällt $(2y-1)$ heraus. Für $H=H_s$, also den Rauchrohrquerschnitt am Ende der Heizfläche, ist nach Abb. 5 $\tau' = \tau^0$, $\tau'' = \tau^{00}$, d. h. nach Gl. 31) und 33) $(2x_1-1) = (2z_1-1)$, so daß sich mit $(2x_1-1)$ nach Gl. 40) für die Integrationskonstante der Ausdruck

$$C = \frac{1}{A_1} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{2D' \cdot c_d} \cdot \frac{\mathcal{C}i\text{n} \left[\frac{2A_1 \cdot k}{G' \cdot c_g} H_s \right]}{\mathcal{C}o\text{t}g \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right]} e^{-\frac{2k}{G' \cdot c_g} H_s} \dots \text{Gl. 44)}$$

ergibt.

Für $H=H_s$ folgern wir aus Gl. 42), 44) und 40)

$$(2z_1-1) + (2y_1-1) = \frac{2x_1-1}{\mathcal{C}o\text{t}g \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right]} e^{\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s} \dots \text{Gl. 42a)}$$

und erhalten, wenn dieser Ausdruck in Gl. 34) eingesetzt wird, mit $\tau_{1I} = t_{RR} - t_w = \tau_w$ aus Gl. 34) eine Beziehung zur Berechnung der mittleren Übertemperatur τ_{mI} am Rauchrohraustritt. Mit $\tau_m = \tau_{mI}$ und $H=H_s$ ergibt sich dann aus Gl. 41) das zur Berechnung des Verlaufes der mittleren Dampftemperatur benötigte, bisher unbekannte τ_{m0} .

t_{RR} , die Rauchgasaustrittstemperatur, wird auf folgendem Weg ermittelt:

Wir subtrahieren Gl. 37) von Gl. 34) und dividieren deren Differenz durch Gl. 34); für Querschnitt I, also $\tau_1 = t_{RR} - t_w$, $\tau_4 = t_{RR} - t_{ü}$, $(2z_1-1) = (2x_1-1)$, erhalten wir dann

$$\frac{t_{ü} - t_w}{t_{RR} - t_w} = \frac{4(2x_1-1)}{2x_1 + [(2z_1-1) + (2y_1-1)]} \dots \text{Gl. 45)}$$

Da auch jetzt die gesamte vom Rauchgas an die Heizfläche H abgegebene Wärmemenge vom Dampf aufgenommen wird, besteht die Beziehung

$$t_{gü} - t_g = \frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} (t_2 - t_1 + t_4 - t_3) = \frac{2D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} (\tau' - \tau'') \dots \text{Gl. 46)}$$

an einer beliebigen Stelle der Heizfläche, bzw.

$$t_{gü} - t_{RR} = \frac{D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} (t_{ü} - t_w) \dots \text{Gl. 46a)}$$

am Rauchrohraustritt. Aus Gl. 45) und 46a) ergeben sich unter Berücksichtigung von Gl. 42a) die Abhängigkeiten

$$t_w \left[\frac{2 x_I - 1}{x_I} \left(\frac{2 D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} - 2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\mathcal{C}o} \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right] e^{\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s} \right) + 1 \right] + \frac{2 (2 x_I - 1)}{x_I} t_{gü}$$

$$t_{\bar{u}} = \frac{2 x_I - 1}{x_I} \left(\frac{2 D' \cdot c_d}{G' \cdot c_g} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\mathcal{C}o} \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right] e^{\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s} \right) + 1 \quad \dots \dots \text{Gl. 48)}$$

Die Differentialgleichung der Rauchgasabkühlungskurve folgt sich aus dem Quotienten der Gleichungen 24) und 46). Sie stimmt mit Gl. 6) für einmaliges Eintauchen überein, wenn in dieser G' durch $\frac{G'}{2}$ ersetzt wird, und liefert, da auch die Integrationsgrenzen die gleichen sind, die Beziehung

$$t_g = t_{gü} - (t_{gü} - t_{RR}) \frac{\mathcal{E}it \left[\frac{2 A_1 \cdot k}{G' \cdot c_g} H \right]}{\mathcal{E}it \left[\frac{2 A_1 \cdot k}{G' \cdot c_g} H_s \right]} e^{\frac{2k}{G' \cdot c_g} (H_s - H)} \quad \dots \text{Gl. 49)}$$

Die Temperaturen des Rauchgases liegen durch Gl. 49) und 47) fest, seine Übertemperaturen gegenüber den einzelnen Dampfsträngen durch die Gl. 34) bis 37), 40), 41), 42), 44). Damit sind sämtliche Temperaturkurven längs des Rauchrohres bekannt.

Die Ergebnisse der vorstehenden Rechnung zeigen, daß der Temperaturverlauf beim Überhitzer mit zweimaligem Eintauchen in das gleiche Rauchrohr durch die gleichen fünf Abhängigkeiten festgelegt ist, wie beim Überhitzer mit einmaligem Eintauchen. Der Ausdruck $\frac{k}{D' \cdot c_d}$ ist kein neuer

Parameter, da er durch $\frac{k}{G' \cdot c_g} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$, also zwei der bisherigen, ausgedrückt werden kann.

Abb. 6 bis 8 veranschaulichen die zahlenmäßige Auswertung der abgeleiteten Gleichungen für dieselben Parameterwerte, wie bei Untersuchung Ia, also $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} = 1$, $t_{gü} = 1000^\circ \text{C}$, $t_w = 200^\circ \text{C}$.

In Abb. 6 sind über $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ aufgetragen der Verlauf der Endtemperaturen von Dampf und Rauchgas, die Temperaturen t_x, t_y, t_z des Dampfes an den drei Umkehrenden der Überhitzerschlangen und die Werte der Funktion $(2x_I - 1)$, $[(2z_I - 1) + (2y_I - 1)]$, $[(2z_I - 1) - (2y_I - 1)]$ am Rohraustritt. Es zeigt sich, daß die Überhitzungstemperatur $t_{\bar{u}}$ ihren Höchstwert $t_{\bar{u}_{\max}} = 655^\circ \text{C}$ schon bei endlichen

Werten von $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ erreicht, von da ab — wenn auch unbedeutend — fällt und wiederum für $H \rightarrow \infty$ einem festen Grenzwert zustrebt, der durch $x_\infty = 2,636$ nach Gl. 48) zu $t_{\bar{u}_\infty} = 642^\circ \text{C}$ bestimmt wird. Der Höchstwert von $t_{\bar{u}}$ tritt bei einem $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ auf,

für welches die Funktion $[(2z_I - 1) - (2y_I - 1)]$ ebenfalls ein Maximum aufweist. Jede Vergrößerung von H_s bei konstantem $\frac{k}{G' \cdot c_g}$, bzw. Verkleinerung von G' (s. Diskussion der Abb. 2) bei konstantem H_s und $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$, die ein größeres, als das $t_{\bar{u}_{\max}}$ zugeordnete $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ ergibt,

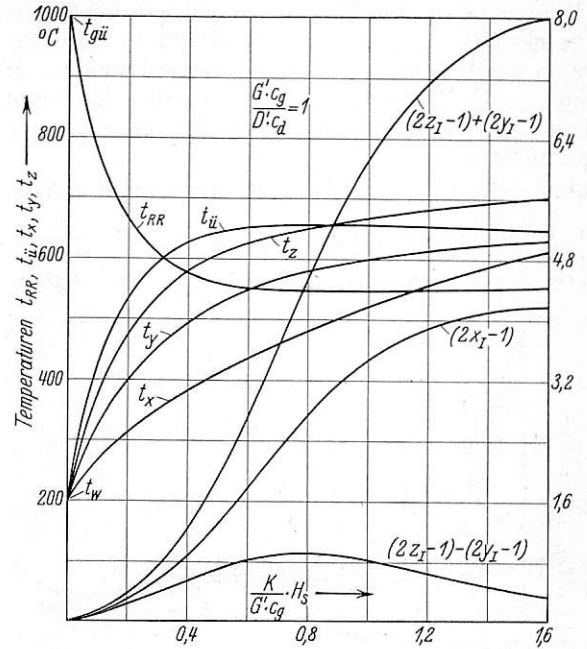


Abb. 6.

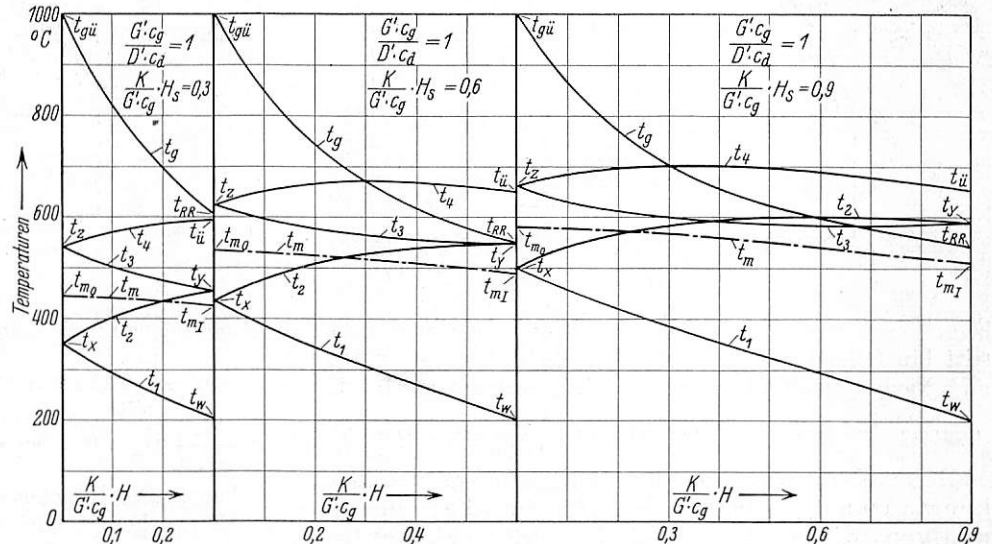


Abb. 7a.

Abb. 7b.

Abb. 7c.

bedingt eine Abnahme von $t_{\bar{u}}$. Das ist ein grundsätzlicher Unterschied gegenüber dem Überhitzer mit einmaligem Eintauchen, bei dem $t_{\bar{u}}$ stetig zunehmend dem Grenzwert $t_{\bar{u}_\infty}$ (zugleich $t_{\bar{u}_{\max}}$) zustrebt. Eine Erklärung für dieses eigentümliche Verhalten von $t_{\bar{u}}$ ist zu suchen in der gegenseitigen Beeinflussung der vier Dampfstränge. Die Temperaturen t_x, t_y, t_z wachsen — wie zu erwarten — mit $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$.

Abb. 7a, 7b, 7c veranschaulichen den Verlauf der Rauchgas- und Dampf temperaturkurven für $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s = 0,30, 0,60, 0,90$ und $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} = 1$. Bei kleinen Werten von $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ liegen

die Temperaturen der vier Dampfstränge alle unter t_g (Abb. 7a). Vergrößert man den Wert des Parameters, so tritt t_4 über t_g hinaus und hat von der Stelle $t_4 = t_g$ an fallende Tendenz (Abb. 7b). Wird das Rohr noch weiter verlängert, so liegt bereits t_y über t_{RR} (Abb. 7c). Sobald $t_2 = t_g$ wird, gibt Strang 2 Wärme an das Rauchgas ab; t_2 fällt bis t_y am Rohrende. Da der Dampf im anschließenden dritten Strang immer noch heißer ist als das Rauchgas, muß t_3 vom Umkehrende y aus auch fallen bis zur Überschneidung der t_3 -mit der t_g -Linie. Von dieser Rohrstelle an steigt t_3 wieder und anschließend t_4 , bis dieses seinerseits über die Rauchgaskurve hinaustritt, ein Rückstrom von Wärme von Strang 4 an das Rauchgas eintritt, t_4 bis auf $t_{\bar{u}}$ am Rohraustritt fällt. In jedes Kurvenbild ist außerdem der Mittelwert der Dampftemperatur der vier Stränge eingetragen.

Abb. 8 stellt den Verlauf der mittleren Dampftemperaturen t_m und der Rauchgasabkühlungskurven t_g mit $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ als Parameter der Kurvenschar dar. Die t_m -Linien haben auch

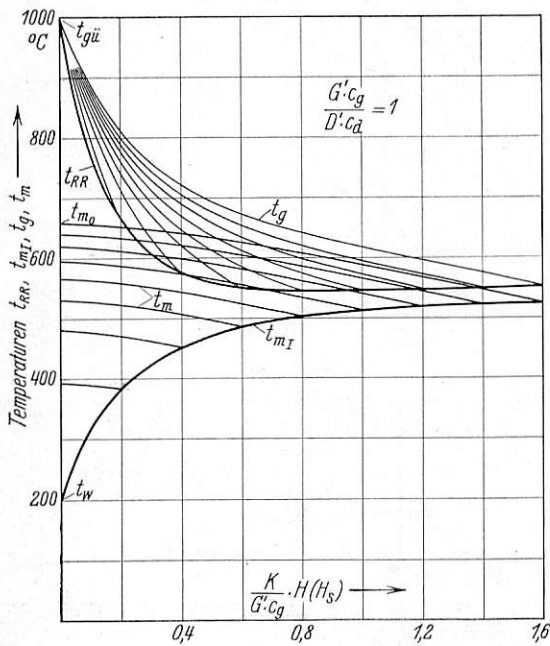


Abb. 8.

beim Überhitzer mit zweimaligem Eintauchen zum Rohraustritt hin fallende Tendenz, der Unterschied zwischen Höchst- und Niedrigstwert ist aber wesentlich geringer als bei Untersuchung Ia, besonders bei kleinem $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$. Die bisher übliche Näherungsannahme eines längs des Rohres konstanten t_m kommt also für den Fall des zweimaligen Eintauchens des Überhitzerelementes in das gleiche Rohr der Wirklichkeit erheblich näher als bei nur einmaligem Eintauchen.

In Abb. 9 ist ein Vergleich zwischen einem Überhitzer der Anordnung Ia und einem solchen der Anordnung Ib für gleiche Heizfläche des Überhitzerelementes $H_{\bar{u}}$ und gleiches $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d} = 1$ durchgeführt. Vier Rohre eines Elementes sollen das eine Mal also nach Abb. 1 paarweise parallel, das andere Mal nach Abb. 5 hintereinander geschaltet sein. Einem Wert $\frac{k}{G' \cdot c_g} H$ des Elementes mit einmaligem Eintauchen entspricht ein Wert $\frac{1}{2} \cdot \frac{k}{G' \cdot c_g} H$ des Elementes mit zweimaligem Eintauchen, da $H_{\bar{u}}$ in beiden Fällen gleich sein soll und bei

Parallelschaltung $H_{\bar{u}}' = 2 H_s$, bei Hintereinanderschaltung $H_{\bar{u}}' = 4 H_s$ ist. Für beide Bauarten, gekennzeichnet durch — und - - - bzw. die Indizes ' und'', ist in Abb. 9 in Abhängigkeit von $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ der Verlauf der Temperaturen t_{RR} , $t_{\bar{u}}$, t_{m0} , t_{mI} dargestellt. Ein Blick auf die $t_{\bar{u}}$ -Kurven zeigt eine zunächst dem Gefühl widersprechende Tatsache: Die bei zweimaligem Eintauchen erreichbaren Überhitzungstemperaturen unterscheiden sich im Bereich kleiner $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ nicht von denen mit nur einmaliger Umkehr der Strömungsrichtung des Dampfes, liegen bei großem $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ sogar ein wenig unter ihnen. Die Erklärung hierfür ist zu suchen in dem in beiden Fällen völlig verschiedenen Verlauf der Rauchgasabkühlungs- und mittleren Dampftemperaturkurven. Diese sowie die zugehörigen Kurven der mittleren Übertemperatur des Rauch-

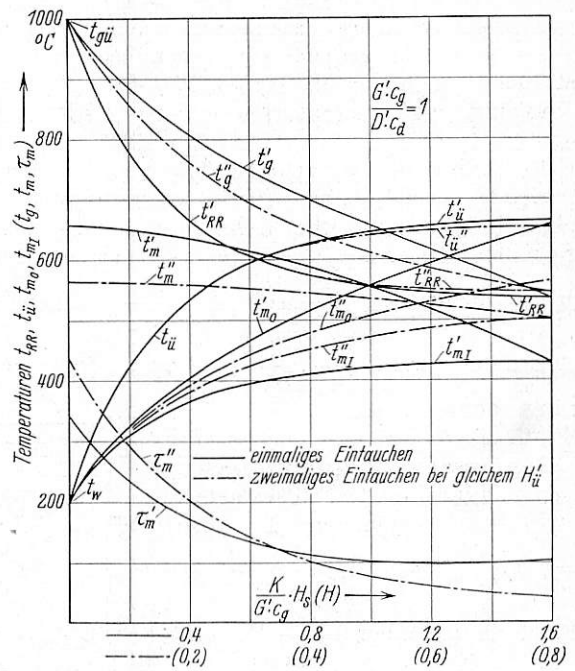


Abb. 9.

gases gegenüber dem Dampf sind in Abb. 9 in Abhängigkeit von $\frac{k}{G' \cdot c_g} H$ eingetragen und zwar für $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s = 1,6$, bzw. $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s = 0,8$ bei der Überhitzerbauart mit doppelter Umkehr. Die Rauchgastemperaturkurve verläuft bei einmaligem Eintauchen viel flacher und liegt bis kurz vor Rohrende über der für zweimaliges Eintauchen. Die Temperatur t_{mI}' für einmaliges Eintauchen liegt stets unter t_{mI}'' für zweimaliges Eintauchen, was ohne weiteres der Anschauung entspricht, (wegen $t_y > \frac{t_{\bar{u}} + t_w}{2}$ ist $\frac{t_{\bar{u}} + t_w}{2} < \frac{t_{\bar{u}} + t_w + 2 t_y}{4}$) während t_{m0}' für alle $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ größer als t_{m0}'' ist. t_m'' ändert sich, wie schon erwähnt, viel weniger und verläuft viel flacher als t_m' . Ein Maß für die an den Dampf abgegebene Wärme, also die erreichbare Überhitzung, ist das $\int \tau_m \cdot dH$, also in Abb. 9 die Flächen unter den τ_m -Kurven. Wegen des oben erläuterten Verlaufes von t_g und t_m für ein- und zweimaliges Eintauchen liegt im ersten Abschnitt des Rauchrohres t_m'' über t_m' , um im weiteren Verlauf unter t_m' zu sinken. Da

nun die Fläche unter τ_m'' , wie man sich aus Abb. 9 überzeugen kann, kleiner ist als die unter τ_m' , so ist auch die bei zweimaliger Umkehr erreichbare Überhitzung des Dampfes für große Werte $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$, gleiches $H_{ü}'$, $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$, $t_{gü}$, t_w vorausgesetzt, geringer als bei nur einmaligem Eintauchen. Dieses scheinbar der Erfahrung widersprechende Ergebnis soll noch bei der kritischen Bewertung der verschiedenen Überhitzerbauarten besprochen werden.

Genau sind die Ergebnisse selbstverständlich nur unter den eingangs gemachten vereinfachenden Voraussetzungen, die in Wirklichkeit niemals erfüllt sind. Dampfefeuchtigkeit, veränderliches k , c_g und c_d verzerren in Wirklichkeit den Verlauf der Kurven. Die grundsätzlichen Zusammenhänge bleiben aber trotzdem erhalten. Es ist zu erwarten, daß sich die gewonnenen Erkenntnisse auch für das vom Kesselwasser umspülte, also Wärme nach außen abgebende, Rauchrohr bestätigen werden.

II. Nach außen Wärme abgebendes Rauchrohr.

a) Überhitzer mit einmaligem Eintauchen.

Ersetzt man nunmehr die in Untersuchung I das Rauchrohr umgebende Isolation durch ein Wärme aufnehmendes Medium, betrachtet also das vom Kesselwasser umspülte Rauchrohr, so erscheint in den bisherigen Gleichungen des Wärmeaustausches zwischen Rauchgas und Dampf eine Störungsfunktion w als Folge der Wärmeabgabe des Rauchgases an das Wasser.

Einem Heizflächenelement $dH = d_{ü} \cdot \pi \cdot dl$ bzw. $= n \cdot d_{ü} \cdot \pi \cdot dl$ bei n parallel geschalteten Rohren ist jetzt zugeordnet ein Heizflächenelement $dH_w = d_R \cdot \pi \cdot dl$ ($d_R =$ innerer Rauchrohrdurchmesser) der wasserverdampfenden Rauchrohrheizfläche. Die Wärmedurchgangszahl k_w durch das Rauchrohr an das Kesselwasser wird wegen der verschiedenen Wärmeaufnahme-fähigkeit von Wasser und Dampf, der anderen Wandstärken, Wandtemperaturen, etwaigen Kesselsteinbelages im allgemeinen von k , der Wärmedurchgangszahl durch das Überhitzerelement an den Dampf, verschieden sein. Da die Rechnung wie bisher auf die Heizfläche des Überhitzers bezogen werden soll, führen wir den Begriff des „Rohrverhältnisses“ ein und definieren dieses als $r = \frac{dH_w}{dH} \cdot \frac{k_w}{k} = \frac{d_R}{n \cdot d_{ü}} \cdot \frac{k_w}{k}$. Wegen der veränderlichen Temperatur der Dampfrohrwandung

ist auch r längs des Rauchrohrs veränderlich; da aber die für den Wärmeübergang maßgebende mittlere Dampftemperatur, wie aus Untersuchung I erhellt, in weit geringerem Maß schwankt als die Dampftemperaturen selbst, kann r als Konstante in die Rechnung eingeführt werden.

Von der längs eines Heizflächenelementes dH des Überhitzerstranges vom Rauchgas abgegebenen Wärmemenge dQ geht der Anteil $\frac{1}{w} dQ = dQ_w$ an das Wasser über, der Rest $(1 - \frac{1}{w}) dQ = \frac{w-1}{w} dQ = dQ_d$ an den Dampf. Von letzterer Wärmemenge erhält Strang 1 des Überhitzerelementes $x \frac{w-1}{w} dQ = dQ_1$, Strang 2 $(1-x) \frac{w-1}{w} dQ = dQ_2$. Der Verlauf der Temperaturen des Rauchgases und Dampfes ist dann in genau der gleichen Weise wie unter I mit Hilfe der Funktionen $w_{(H)}$, $x_{(H)}$ zu berechnen. Im Interesse der Vereinfachung der Rechnung ist es jedoch günstiger, diesen vorstellungsmäßig klaren Weg zu verlassen und rein mathematisch folgendermaßen vorzugehen:

Mit der obigen Bedeutung von w ist $dQ_d = dQ_1 + dQ_2 = \frac{w-1}{w} dQ$. Setzt man dQ_d ins Verhältnis zu dQ_w , so ist

$$\frac{dQ_d}{dQ_w} = w - 1; \text{ bildet man außerdem den Quotienten } \frac{dQ_1 - dQ_2}{dQ_w},$$

dem keine sinnfällige Bedeutung zukommt, und bezeichnet diesen mit x' , so sind die Temperaturen von Rauchgas und Dampf mittels der Funktionen $x_{(H)}$, $w_{(H)}$ berechenbar. Dem Anteil x der ersten Betrachtungsweise entspricht jetzt der Ausdruck $\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x'}{w-1} \right)$.

Weiterhin ist es zweckmäßig, die gesamten Temperaturen durch ihre Übertemperaturen ϑ gegenüber der Siedetemperatur des Kesselwassers auszudrücken. Es ist also z. B. für t_g zu setzen $(\vartheta_g + t_w)$, für t_1 $(\vartheta_1 + t_w)$; entsprechend ist $d t_g = d \vartheta_g$, $d t_1 = d \vartheta_1$ usw. Mit den so geänderten Bezeichnungen ist unter Berücksichtigung vorstehender Ausführungen nach Abb. 1:

$$\begin{aligned} dQ_1 &= -D' \cdot c_d \cdot d\vartheta_1 = k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta_1) \dots \text{Gl. 50} \\ dQ_2 &= +D' \cdot c_d \cdot d\vartheta_2 = k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta_2) \dots \text{Gl. 51} \\ dQ_w &= -\frac{1}{w} G' \cdot c_g \cdot d\vartheta_g = r \cdot k \cdot dH \cdot \vartheta_g \dots \text{Gl. 52} \end{aligned}$$

$$dQ_1 + dQ_2 = -\frac{w-1}{w} \cdot G' \cdot c_g \cdot d\vartheta = -D' \cdot c_d (d\vartheta_1 - d\vartheta_2) = k \cdot dH [2\vartheta_g - (\vartheta_1 + \vartheta_2)] \dots \text{Gl. 53}$$

$$dQ_1 - dQ_2 = -D' \cdot c_d (d\vartheta_1 + d\vartheta_2) = k \cdot dH (\vartheta_1 - \vartheta_2) \dots \text{Gl. 54}$$

Somit ist

$$w - 1 = \frac{dQ_1 + dQ_2}{dQ_w} = \frac{2}{r} \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{\vartheta_g} = \frac{D' \cdot c_d (d\vartheta_1 - d\vartheta_2)}{r \cdot k \cdot dH \cdot \vartheta_g} \dots \text{Gl. 55}$$

$$x' = \frac{dQ_1 - dQ_2}{dQ_w} = -\frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{r \cdot \vartheta_g} = -\frac{D' \cdot c_d (d\vartheta_1 + d\vartheta_2)}{r \cdot k \cdot dH \cdot \vartheta_g} \dots \text{Gl. 56}$$

und wir erhalten durch Addition bzw. Subtraktion dieser Gleichungen für die Übertemperaturen der beiden Dampfstränge über der Siedetemperatur die Beziehungen

$$\vartheta_1 = \vartheta_g \left\{ 1 - \frac{r}{2} [(w-1) + x'] \right\} \dots \text{Gl. 57}$$

$$\vartheta_2 = \vartheta_g \left\{ 1 - \frac{r}{2} [(w-1) - x'] \right\} \dots \text{Gl. 58}$$

Weiterhin lesen wir aus Gl. 52) ab

$$\frac{d\vartheta_g}{\vartheta_g} = -w \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH = d(\ln \vartheta_g),$$

integrieren diesen Ausdruck zwischen den Grenzen $H=0$ und H bzw. $\vartheta_{gü}$ und ϑ_g und ermitteln so die Gleichung der Rauchgasabkühlungskurve

$$\vartheta_g = \vartheta_{gü} \cdot e^{-\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int_0^H w \cdot dH} \dots \text{Gl. 59}$$

Die Gl. 57) bis 59) legen den Temperaturverlauf im Rauchrohr fest, sobald $w_{(H)}$, $x'_{(H)}$ bekannt sind.

In Anlehnung an Untersuchung I werden die Gl. 55) und 56) differenziert.

$$d w = -\frac{d\vartheta_1 + d\vartheta_2}{r \cdot \vartheta_g} + \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{r \cdot \vartheta_g} \cdot \frac{d\vartheta_g}{\vartheta_g}$$

$$d x' = -\frac{d\vartheta_1 - d\vartheta_2}{r \cdot \vartheta_g} + \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{r \cdot \vartheta_g} \cdot \frac{d\vartheta_g}{\vartheta_g}$$

Mit Hilfe der Gl. 55), 56) und 59) ergibt sich

$$d w = w \left[\left(w - \frac{r+2}{r} \right) + \frac{x'}{w} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \right] \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH \dots \text{Gl. 60}$$

$$dx' = w \left[x' + \frac{w-1}{w} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \right] \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH \dots \text{Gl. 61)}$$

Nochmalige Differentiation und Kombination dieser Gleichungen liefert die Beziehung

$$\frac{d^2 w}{dH^2} - \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \left(3w + \frac{r+2}{r} \right) \frac{dw}{dH} + \left(\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \right)^2 \left(w^2 - \frac{r+2}{r} w^2 \right) - \left(\frac{k}{D' \cdot c_d} \right)^2 (w-1) = 0,$$

eine Differentialgleichung zweiter Ordnung dritten Grades, die elementar kaum zu lösen sein dürfte.

Schneller kommt man zum Ziele, wenn Gl. 60) durch Gl. 61) dividiert wird; $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH$ kürzt sich heraus, und wir erhalten

$$\frac{dw}{dx'} = \frac{\left(w - \frac{r+2}{r} \right) + \frac{x'}{w} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d}}{x' + \frac{w-1}{w} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d}} \dots \text{Gl. 62)},$$

eine allgemeine Riccatische Differentialgleichung in w und x' . Deren Lösung in geschlossener Form stößt zwar auch auf außerordentliche Schwierigkeiten; sie läßt sich aber sehr bequem nach dem in Abb. 10 dargestellten Runge-Kuttaschen Verfahren*) von Fall zu Fall numerisch integrieren.

Ausgehend von einem beliebigen Punkt x', w in einem x', w -Koordinatensystem bestimmt man die einer Änderung $\pm \Delta x'$ zugeordnete Änderung $\pm \Delta w$ von w und erhält so einen Kurvenzug $w(x')$ für gegebenes r und $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$, wenn man also von verschiedenen Punkten x', w zu integrieren beginnt, ein doppeltes System von Kurvenscharen mit r und $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$ als Parametern. Welches sind nun die Grenzen für die Integration der Gl. 62)?

Für $H = H_s$, also Querschnitt I der Abb. 1, ist $\vartheta_1 = 0$, da der Dampf mit der Temperatur des Kesselwassers in den Überhitzer eintritt. Aus Gl. 57) folgt mit $\vartheta_1 = 0$

$$w_I = \frac{r+2}{r} - x'_I \dots \text{Gl. 63)}$$

Auf dieser Geraden (in Abb. 10 dick ausgezogen) liegen sämtliche am Rauchrohraustritt möglichen Kombinationen von x' und w ; jedem ihrer Punkte ist ein ganz bestimmter Wert $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ zugeordnet. — Für $H = 0$ ist $\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta_x$, somit nach Gl. 56) $x'_0 = 0$. Der Gültigkeitsbereich der Gl. 62) erstreckt sich also von $x' = 0$ bis x' nach Gl. 63).

Sind Rauchgasaustritts- und Überhitzungstemperatur einander gleich, so ist mit $\vartheta_{ü} = \vartheta_{RR}$ nach Gl. 58) und 63)

$$x'_I = \frac{1}{r}, w_I = \frac{r+1}{r}.$$

Zweckmäßigerweise beginnt man die Integration von einem Punkte der Ordinatenachse, also $x' = 0$, und rückt um gleichgroße Intervalle $\Delta x'$ vor. Da die zweiten Glieder von Zähler und Nenner der Gl. 62) gegenüber den ersten Gliedern — besonders bei großem r und kleinem $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$ — klein sind, haben die x', w -Kurven nur schwache Krümmung, $\Delta x'$ kann ohne Beeinträchtigung der Genauigkeit des Ergebnisses ziemlich groß, bis $\sim 0,2$ gewählt werden. (Setzt man die beiden Glieder $= 0$, so ist Gl. 62) die einer Geraden.)

*) Runge und König, Vorlesungen über numerisches Rechnen. Berlin 1924.

Schreiben wir nunmehr Gl. 60) in Integralform

$$\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int_0^H dH = \int_{x'_0, w_0}^{x', w} \frac{dw}{w \left[\left(w - \frac{r+2}{r} \right) + \frac{x'}{w} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \right]}$$

und tragen die Funktion

$$\frac{1}{w \left[\left(w - \frac{r+2}{r} \right) + \frac{x'}{w} \cdot \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \right]}$$

mit den nach den Kurven der Abb. 10 einander zugeordneten Werten x' und w über w als Abszisse auf (in Abb. 11 Linienzüge a ÷ b), so ist die Fläche unter diesen Kurven gleich dem Integral der linken Gleichungsseite, also gleich dem Ausdruck $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H$. Die Integration wird durch Planimetrieren,

bzw. am einfachsten mit Hilfe eines Integriraphen durchgeführt. Die Linienzüge c ÷ d stellen die Schar der gesuchten Integralkurven in Abhängigkeit von w dar. Jeder dieser Kurven entspricht ein ganz bestimmter Wert $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$. Die

dick ausgezogene strichpunktierte Verbindungslinie der Endpunkte der Integralkurven veranschaulicht die Funktion $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H_s = f(w)$. Die Ergebnisse der vorstehenden Integration

in ein Koordinatensystem mit $\frac{k}{G' \cdot c_g} H$ als Abszisse übertragen stellen die gesuchten Abhängigkeiten $x'_{(H)}, w_{(H)}$ dar.

Das zur Berechnung der Rauchgasabkühlungskurve benötigte Integral $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int_0^H w \cdot dH$ ist in Abb. 11 dargestellt durch die Fläche zwischen der Ordinatenachse und einer der Integralkurven c ÷ d, also die Fläche O—c—d—e'. Wird über die ganze Kurve c ÷ d integriert, so erhält man $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int_0^{H_s} w \cdot dH$.

Jedem $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ ist ein anderer Verlauf dieser zweiten Integralkurve zugeordnet. $w, x', \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int_0^H w \cdot dH$ sind also als $f\left(\frac{k}{G' \cdot c_g} H\right)$ darstellbar durch je ein dreifaches System von Kurvenscharen mit $r, \frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$ und $\frac{k}{G' \cdot c_g} H_s$ als Parametern. Durch dieses ist der Verlauf der Übertemperaturen $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_g$ — mithin wegen $t = \vartheta + t_w$ auch der der Temperaturen t_1, t_2, t_g — längs des Rauchrohres festgelegt.

b) Überhitzer mit zweimaligem Eintauchen in verschiedene Rauchrohre.

Ist der Überhitzer als sogenannter „Kleinrohrüberhitzer“ mit zweimaligem Eintauchen des Elementes in zwei verschiedene Rauchrohre ausgebildet, so gilt vorstehende Rechnung für beide Rauchrohre, für das zweite Eintauchen ändern sich nur die oberen Integrationsgrenzen für die x', w -Kurven der Abb. 10. Diese lassen sich durch folgende Überlegung festlegen:

Kennzeichnen wir die Rechnungsgrößen für die beiden Rauchrohre durch die Indizes 1 bzw. 2 und setzen Gleichheit der Rauchgaseintrittstemperaturen $t_{gü} = t_{gü1} = t_{gü2}$ voraus, so gilt, weil die Dampfaustrittstemperatur $t_{ü1}$ aus dem ersten Teil des Elementes zugleich Eintrittstemperatur in den zweiten Teil ist, im Querschnitt I des zweiten Rauchrohres nach Gl. 57) die Beziehung

$$\frac{\vartheta_{ü1}}{\vartheta_{RR2}} = \frac{r+2}{2} - \frac{r}{2} (w_{I2} + x'_{I2}),$$

die mit ϑ_{RR2} nach Gl. 59) übergeht in

$$\frac{\vartheta_{ü1}}{\vartheta_{gü}} \cdot e^{\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int_0^{H_s} w \cdot dH} = \frac{r+2}{2} - \frac{r}{2} (w_{I2} + x'_{I2}) \dots \text{Gl. 64)}.$$

Gl. 64) liefert den gesuchten Zusammenhang zwischen x'_{I2} und w_{I2} am Ende der Heizfläche. Bei der zweiten graphischen Integration zur Bestimmung von $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int w \cdot dH = f(w)$ ist jetzt auf den Kurven $c \div d$ der Abb. 11 ein Punkt d' zu suchen, dessen Abszissenwert w mit den zugeordneten Werten $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int w \cdot dH$ und x' für gegebenes $\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial g_{\bar{u}}}$ Gl. 64) erfüllt. Diese $w, x', \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H$ sind die gesuchten Grenzwerte für $H = H_g$.

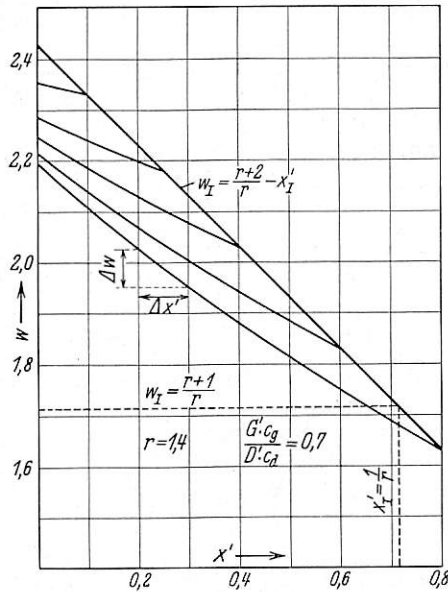


Abb. 10.

Wendet man dies Verfahren längs verschiedener Kurven $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H = f(w)$ an, verändert dabei $\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial g_{\bar{u}}}$ und verbindet die Punkte $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H_{s2}$ für gleiches $\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial g_{\bar{u}}}$, so entsteht eine Kurvenschar $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H_{s2} = f(w)$ mit $\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial g_{\bar{u}}}$ als Parameter, in der gleichen Weise bei der zweiten Integration eine solche $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \int w \cdot dH = f(w)$ mit dem gleichen Parameter. Diese Schaulinien werden in ein Koordinatensystem mit $\frac{k}{G' \cdot c_g} H$ als Abszisse übertragen. Mit diesem Diagramm und den zugehörigen x', w -Kurven läßt sich ebenso wie im ersten Rauchrohr der Temperaturverlauf für gegebenes $\frac{\partial \bar{u}_1}{\partial g_{\bar{u}}}$ nach Gl. 57) bis 59) berechnen.

$$dQ_1 = -D' \cdot c_d \cdot d\vartheta_1 = k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta_1) \quad \text{Gl. 65}$$

$$dQ_2 = D' \cdot c_d \cdot d\vartheta_2 = k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta_2) \quad \text{Gl. 66}$$

$$dQ_3 = -D' \cdot c_d \cdot d\vartheta_3 = k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta_3) \quad \text{Gl. 67}$$

$$dQ_4 = D' \cdot c_d \cdot d\vartheta_4 = k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta_4) \quad \text{Gl. 68}$$

$$dQ_w = -\frac{1}{w} G' \cdot c_g \cdot d\vartheta_g = r \cdot k \cdot dH \cdot \vartheta_g \quad \text{Gl. 69}$$

$$dQ = -G' \cdot c_g \cdot d\vartheta_g = k \cdot dH [\vartheta_g (r+4) - (\vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3 + \vartheta_4)] \quad \text{Gl. 70}$$

$$dQ' = dQ_1 + dQ_3 = -2 D' \cdot c_d \cdot d\vartheta' = 2 k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta') \quad \text{Gl. 71}$$

$$dQ'' = dQ_2 + dQ_4 = 2 D' \cdot c_d \cdot d\vartheta'' = 2 k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta'') \quad \text{Gl. 72}$$

$$dQ^+ = dQ_1 + dQ_4 = -2 D' \cdot c_d (d\vartheta^+ - d\vartheta_4) = 2 k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta^+) \quad \text{Gl. 73}$$

$$dQ^{++} = dQ_2 + dQ_3 = -2 D' \cdot c_d (d\vartheta^{++} - d\vartheta_2) = 2 k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta^{++}) \quad \text{Gl. 74}$$

$$dQ^0 = dQ_1 + dQ_2 = -2 D' \cdot c_d (d\vartheta^0 - d\vartheta_2) = 2 k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta^0) \quad \text{Gl. 75}$$

$$dQ^{00} = dQ_3 + dQ_4 = -2 D' \cdot c_d (d\vartheta^{00} - d\vartheta_4) = 2 k \cdot dH (\vartheta_g - \vartheta^{00}) \quad \text{Gl. 76}$$

c) Überhitzer mit zweimaligem Eintauchen in das gleiche Rauchrohr.

Zur Lösung der Wärmeübergangsgleichungen für diesen Fall beschreiten wir grundsätzlich den gleichen Weg wie unter Ib, bilden also nach Abb. 5 aus den Temperaturen von je zwei Strängen einen Mittelwert ($t', t''; t^+, t^{++}; t^0, t^{00}$) und erhalten so drei Paare von einander zugeordneten mittleren Temperaturkurven. Im Abstand $2H$ vom Querschnitt 0 werden längs eines Heizflächenelementes $2dH$ an diese gedachten Stränge die Wärmemengen $dQ', dQ''; dQ^+, dQ^{++}; dQ^0, dQ^{00}$ vom Rauchgas abgegeben. Die gesamte an den Dampf übergehende Wärmemenge ist also $dQ_d = dQ' + dQ'' = dQ^+ + dQ^{++} = dQ^0 + dQ^{00}$ und soll wiederum wie unter

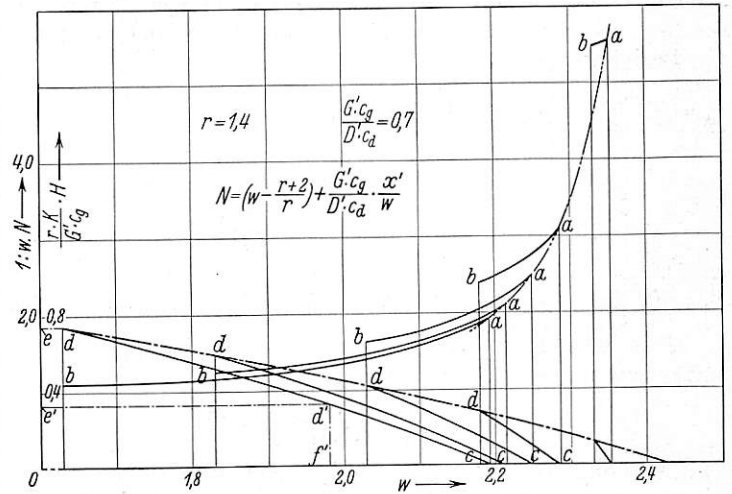


Abb. 11.

IIa der Bruchteil $\frac{w-1}{w}$ der gesamten vom Rauchgas abgegebenen Wärme dQ sein; der Wärmemenge $\frac{w-1}{w} dQ = dQ_d$ entspricht ein zu gleicher Zeit an das Kesselwasser abgegebener Wärmeanteil $dQ_w = \frac{1}{w} dQ$. Es ist demnach

$$(w-1) = \frac{dQ_d}{dQ_w} = \frac{dQ' + dQ''}{dQ_w} = \frac{dQ^+ + dQ^{++}}{dQ_w} = \frac{dQ^0 + dQ^{00}}{dQ_w}$$

Bilden wir ferner die Verhältnisse $x' = \frac{dQ' - dQ''}{dQ_w}, y' = \frac{dQ^+ - dQ^{++}}{dQ_w}, z' = \frac{dQ^0 - dQ^{00}}{dQ_w}$, so ist der Temperaturverlauf im Rauchrohr durch $w, x', y', z' = f(H)$ festgelegt.

Setzen wir wie unter IIa und IIb $\vartheta = t - t_w$, so ist nach Abb. 5

Mit den Werten der Gleichungsgruppe 69) bis 76) ist

$$w-1 = \frac{2}{r} \left(2 - \frac{\vartheta' + \vartheta''}{\vartheta_g} \right) = \frac{2}{r} \left(2 - \frac{\vartheta^+ + \vartheta^{++}}{\vartheta_g} \right) = \frac{2}{r} \left(2 - \frac{\vartheta^0 + \vartheta^{00}}{\vartheta_g} \right) \dots \dots \dots \text{Gl. 77)}$$

$$x' = -\frac{2}{r} \cdot \frac{\vartheta' - \vartheta''}{\vartheta_g} \dots \dots \dots \text{Gl. 78)}$$

$$y' = -\frac{2}{r} \cdot \frac{\vartheta^+ - \vartheta^{++}}{\vartheta_g} \dots \dots \dots \text{Gl. 79)}$$

$$z' = -\frac{2}{r} \cdot \frac{\vartheta^0 - \vartheta^{00}}{\vartheta_g} \dots \dots \dots \text{Gl. 80)}$$

Durch Kombination der Gl. 77) bis 80) erhalten wir in der gleichen Weise wie beim Überhitzer mit einmaligem Eintauchen für die Übertemperaturen des Dampfes ϑ über Siedetemperatur die Beziehungen

$$\vartheta_1 = \vartheta_g \left\{ 1 - \frac{r}{4} [(w-1) + x' + (z' + y')] \right\} \dots \dots \text{Gl. 81)}$$

$$\vartheta_2 = \vartheta_g \left\{ 1 - \frac{r}{4} [(w-1) - x' + (z' - y')] \right\} \dots \dots \text{Gl. 82)}$$

$$\vartheta_3 = \vartheta_g \left\{ 1 - \frac{r}{4} [(w-1) + x' - (z' + y')] \right\} \dots \dots \text{Gl. 83)}$$

$$\vartheta_4 = \vartheta_g \left\{ 1 - \frac{r}{4} [(w-1) - x' - (z' - y')] \right\} \dots \dots \text{Gl. 84)}$$

Die Gleichung der Rauchgasabkühlungskurve folgert sich wiederum aus Gl. 69) und lautet

$$\vartheta_g = \vartheta_{gü} \cdot e^{-\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \cdot \int_0^H w \cdot dH} \dots \dots \text{Gl. 85)}$$

Es muß jetzt noch der Verlauf der Funktionen w , x' , y' , $z' = f(H)$ bestimmt werden. Durch Differentiation der Gleichungsgruppe 77) bis 80) ergeben sich nach Einsetzen der entsprechenden Werte aus den Gl. 70) bis 80) die Beziehungen:

$$dw = w \left[\left(w - \frac{r+4}{r} \right) + \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \cdot \frac{x'}{w} \right] \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH \dots \text{Gl. 86)}$$

$$dw = w \left[\left(w - \frac{r+4}{r} \right) + \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \cdot \frac{w-1}{w} \right] \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH - \frac{4d\vartheta''}{r \cdot \vartheta_g} \dots \text{Gl. 86a)}$$

$$dx' = w \left[x' + \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \cdot \frac{w-1}{w} \right] \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH \dots \dots \text{Gl. 87)}$$

$$dy' = (w-1) \frac{k}{D' \cdot c_d} dH + w \cdot y' \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH + \frac{4}{r} \frac{d\vartheta^+ - d\vartheta''}{\vartheta_g} \dots \text{Gl. 88)}$$

$$dz' = (w-1) \frac{k}{D' \cdot c_d} dH + w \cdot z' \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} dH + \frac{4}{r} \frac{d\vartheta^0 - d\vartheta''}{\vartheta_g} \dots \text{Gl. 89)}$$

Durch Division der Gl. 86) und 87) folgt:

$$\frac{dw}{dx'} = \frac{\left(w - \frac{r+4}{r} \right) + \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \cdot \frac{x'}{w}}{x' + \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \cdot \frac{w-1}{w}} \dots \text{Gl. 90)}$$

wie nach Untersuchung Ib zu erwarten, dem Aufbau nach identisch mit Gl. 62); an die Stelle von $\frac{r+2}{r}$ ist nur $\frac{r+4}{r}$ getreten. Für $H=0$ ist nach Gl. 78) wegen $\vartheta' = \vartheta''$ $x' = 0$. Man kann also von $x' = 0$ ausgehend in der unter IIa beschriebenen Weise für gegebene Werte r , $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$ eine Schar x' , w -Kurven aufzeichnen (s. Abb. 12). Ihre oberen Grenzen werden erst durch die Funktionen y' und z' am Rauchrohraustritt festgelegt. $w_{(H)}$ ist wieder aus der graphischen Integration von Gl. 86) in der Form

$$\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H = \int_{x'_0, w_0}^{x', w} \frac{dw}{w \left[\left(w - \frac{r+4}{r} \right) + \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \cdot \frac{x'}{w} \right]}$$

zu ermitteln.

Die Funktionen $y'_{(H)}$, $z'_{(H)}$ sind übereinstimmend mit der Untersuchung des isolierten Rohres als Summe bzw. Differenz, also in der Form $(z' + y')_{(H)}$, $(z' - y')_{(H)}$ zu errechnen. Bei der Addition bzw. Subtraktion der Gl. 88) und 89) treten die Ausdrücke $\frac{4}{r} \frac{d\vartheta^{++} + d\vartheta^{00} - 2d\vartheta''}{\vartheta_g}$ und $\frac{4}{r} \frac{d\vartheta^{++} - d\vartheta^{00}}{\vartheta_g}$ auf, die sich mit Hilfe der Gl. 74), 76), 81) bis 84), 66) und 68) durch $-[2(w-1) - (z' + y')] \frac{k}{D' \cdot c_d} dH$ bzw. $(z' - y') \frac{k}{D' \cdot c_d} dH$ ersetzen lassen. Wir erhalten mit diesen Werten die Differentialgleichungen

$$d[\ln(z' \pm y')] = \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} w \cdot dH \pm \frac{k}{D' \cdot c_d} dH,$$

die zwischen $H=0$, $z' = z'_0$, $y' = y'_0$ und H , z' und y' zu integrieren sind. Da die Integrationsgrenzen in beiden Fällen

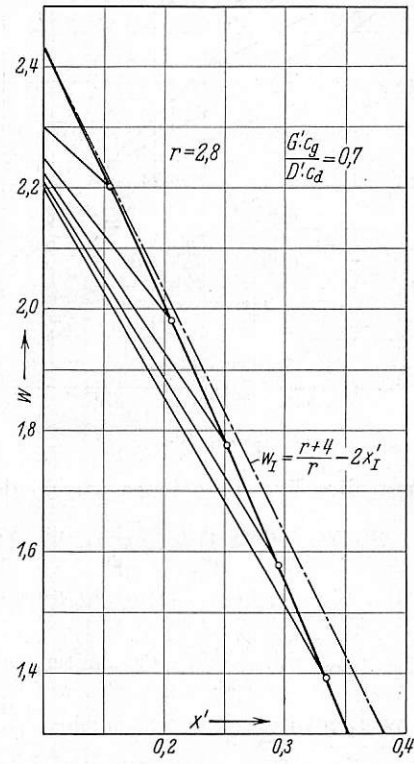


Abb. 12.

die gleichen sind, hat auch die Integrationskonstante sowohl für + als auch für - den gleichen Ausdruck. Die durchgeführte Integration liefert die Beziehungen

$$z' \pm y' = C \cdot e^{\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \cdot \int_0^H w \cdot dH} \pm \frac{k}{D' \cdot c_d} H \dots \dots \begin{cases} \text{Gl. 91a)} \\ \text{Gl. 92a)} \end{cases}$$

Addieren wir diese beiden Gleichungen, so fällt y' heraus und wir erhalten, da für $H = H_s$ nach Gl. 78) und 80) wegen $\vartheta' = \vartheta^0$ und $\vartheta'' = \vartheta^{00}$ (s. Abb. 5) $x'_I = z'_I$, für C den Ausdruck

$$C = e^{-\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \cdot \int_0^{H_s} w \cdot dH} \frac{x'_I}{\mathcal{C}0j \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right]}$$

mit dessen Hilfe die Gl. 91a) und 92a) übergehen in

$$z' \pm y' = e^{-\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \cdot \int_0^{H_s} w \cdot dH} \frac{x'_I}{\mathcal{C}0j \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right]} e^{\pm \frac{k}{D' \cdot c_d} H} \dots \begin{cases} \text{Gl. 91)} \\ \text{Gl. 92)} \end{cases}$$

Da nach Abb. 5 für $H = H_s$ $\vartheta_1 = 0$, so folgert sich mit $z'_I + y'_I$ nach Gl. 91) aus Gl. 81) die Beziehung

$$w_I = \frac{r+4}{r} - x'_I \left[1 + \frac{\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s}{\text{Cof} \left[\frac{k}{D' \cdot c_d} H_s \right]} \right] \dots \text{Gl. 93)}$$

Erreicht t_{ii} gerade die Rauchgasaustrittstemperatur, so ist nach Gl. 81) mit $\vartheta_1 = 0$ und Gl. 84) mit $\vartheta_4 = \vartheta_g$ $x'_I = \frac{1}{r}$.

Gl. 93) stellt den bisher unbekanntem Zusammenhang zwischen w und x' am Rauchrohrende her, legt also die oberen Grenzen der Funktionen $w_{(H)}$, $x'_{(H)}$ fest. Der weitere Rechnungsgang ist jetzt der gleiche wie unter IIa. Man integriert Gl. 90) nach Runge-Kutta von verschiedenen Punkten der w -Achse ausgehend und erhält für bestimmtes r , $\frac{G' \cdot c_g}{D' \cdot c_d}$ eine Schar w, x' -Kurven.

Da der Wert der Klammer in Gl. 93) im Höchsthalle, d. h. wenn $H_s = 0$ gesetzt wird, gleich 2 sein kann, ist der für die numerische Integration überhaupt in Frage kommende Bereich begrenzt durch die w -Achse und die in Abb. 12 strichpunktiert eingetragene Gerade $2x'_I = \frac{r+4}{r} - w_I$. Man trägt nunmehr die mit Hilfe der w, x' -Kurven berechneten Werte der Funktion

$$w \left[\left(w - \frac{r+4}{r} \right) + \frac{G' \cdot c_g}{r \cdot D' \cdot c_d} \cdot \frac{x'}{w} \right]$$

in der gleichen Weise, wie in Abb. 11 für einmaliges Eintauchen des Überhitzererelementes dargestellt, über w als Abszisse auf und zeichnet die zugehörigen Integralkurven, die die Funktion $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H = f(w)$ darstellen. Auf diesen ist nun ein Punkt zu suchen, dessen Ordinatenwert $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H$ mit den zugeordneten

Werten w und x' aus Abb. 12 Gl. 93) erfüllt. Dieses sind die gesuchten Grenzwerte $x'_I, w_I, \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H_s$. Die so gefundene Grenzwertkurve ist in Abb. 12 dick ausgezogen eingezeichnet.

Die Fläche zwischen den Kurven $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H = f(w)$ und der Ordinatenachse ist wiederum gleich dem Integral $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \cdot \int w \cdot dH$, wobei zu beachten ist, daß als obere Integrationsgrenze der oben gefundene Grenzwert $\frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} H_s$ zu gelten hat.

Überträgt man nun $w, x', \frac{r \cdot k}{G' \cdot c_g} \cdot \int w \cdot dH$ in ein Koordinatensystem mit $\frac{k}{G' \cdot c_g} H$ als Abszisse und berechnet mit Hilfe der Gl. 81) bis 85) den Verlauf der Übertemperaturen ϑ des Rauchgases und Dampfes gegenüber dem Wasser, so hat man damit auch die gesuchten Abhängigkeiten $t = \vartheta + t_w = f(H)$.

Eine zusammenfassende Betrachtung der Rechnungsergebnisse der Untersuchung II zeigt, daß der Temperaturverlauf von Dampf und Rauchgas bei ein- und mehrmaligem Eintauchen des Überhitzererelementes in das Rauchrohr festgelegt ist durch die gleichen fünf Abhängigkeiten wie bei der Untersuchung des nach außen wärmedichten Rauchrohres (s. S. 281). Neu hinzu kommt nur das Rohrverhältnis r , durch welches der Einfluß der wasserverdampfenden Rauchrohrheizfläche auf den Wärmeübergang an den Überhitzer Berücksichtigung findet.

Bevor wir an die zahlenmäßige Auswertung der vorstehenden Untersuchungen gehen, müssen die im Lokomotivkesselbetrieb in Betracht kommenden Zahlenwerte der den Wärmeübergang bestimmenden Größen festgelegt werden.

(Schluß folgt.)

Ganzaluminium-Personenwagen in den Vereinigten Staaten.

Von Dipl.-Ing. Fr. Witte, Reichsbahnrat, VDI.

Im Gegensatz zur bisherigen Entwicklung im Eisenbahnwagenbau der europäischen Eisenbahnen, bei denen man in der Hauptsache durch Verwendung hochwertiger Stähle und in Verbindung damit durch weitgehende Anwendung des Schweißens die Gewichtseinsparung zu erreichen sucht, ist seit einer Reihe von Jahren in den Vereinigten Staaten in ausgedehntem Maße die Verwendung von Leichtmetall praktisch in die Tat umgesetzt worden. Die großen Eisenbahngesellschaften, bei denen sich erst in den letzten zwei Jahren der Verkehrsrückgang im wirtschaftlichen Ertrag ausgewirkt hat, haben sich in der Frage der Verringerung des Totgewichts der Züge nicht so sehr gedrängt gefühlt, wie eine Reihe von Städtebahnen mit ausgesprochenem Personenverkehr, die unmittelbar die Auswirkungen des Kraftwagenwettbewerbs spüren mußten. Bei diesen hat daher Aluminium in beachtlichem Maße Eingang in den Fahrzeugbau gefunden. Seit dem Jahr 1930 sind bei mehreren hundert Wagen von Vorortbahnen, so der Reading Comp., Indiana Railroad, Philadelphia and Western Railroad, der Fonda Johnstown and Gloversville Railroad, New Yorker Untergrundbahnen und anderen, innere Ausstattung, ganze Wagenkästen mit Verkleidung und auch schon Drehgestelle in Aluminium ausgeführt worden. Versuchsweise ist mit Erfolg auch für elektrische Generatoren und Motoren, für Ständer und Gehäuse Aluminium zur Verwendung gekommen.

Alle diese Ausführungen sind aber nur die Vorstufe für eine Voll-Aluminiumbauweise von Eisenbahnfahrzeugen gewesen, wie sie heute bei zwei großen Personenwagen für Schnellzüge und Triebwagen von der Pullman-Gesellschaft in Chicago

auf der letzten Weltausstellung gezeigt wurden. Während es sich bei den oben angeführten Wagen um Fahrzeuge handelt, die in geschlossenen Einheiten verkehren und nicht in Züge des normalen Eisenbahnverkehrs, insbesondere des Dampfverkehrs zusammen mit schweren Stahlwagen, übergehen, ist bei den beiden neuen Aluminiumwagen der Pullman-Gesellschaft erstmalig der Versuch gemacht, auch dem normalen Eisenbahnverkehr Fahrzeuge zuzuführen, die eine Verminderung der toten Last um 50% und mehr aufweisen, trotz Beibehaltung, in mancher Beziehung sogar Anwendung eines höheren Luxus für den Reisenden in Ausstattung und sonstigen Annehmlichkeiten, wie künstlicher Belüftung und Kühlung. — Die Aufgabe, die sich die Gesellschaft mit dem Bau dieser Wagen gestellt hat, war um so schwieriger durch die Absicht, den neuen leichten Wagen mit den schweren Stahlwagen, die ein Gewicht von 100 t und mehr erreichen, in langen Zügen zusammenlaufen zu lassen. Die Beanspruchungen des Wagenstellungs aus den Unzulänglichkeiten der amerikanischen Mittelpufferkuppelung, die sich in schlagartigen Zug- und Stoßbeanspruchungen in der Mittellängenebene des Wagens auswirken, die Gewichte der Züge bis zu 1000 t und mehr, sowie die starken Beanspruchungen des Fahrzeugparks, die aus der Verwendung eines Dampfreglers mit ziemlich grober Einstellung entspringen, alles zusammen gibt die Bedingungen, denen die neuen Fahrzeuge entsprechen müssen.

Die beiden Wagen sind äußerlich und in der Innenausstattung, sowie auch im grundsätzlichen Aufbau voneinander abweichend durchgebildet worden. Der größere der beiden Wagen ist ein 25,2 m langer Aussichtswagen („Observationcar“)

(Abb. 1), der für den Verkehr in normalen Zügen gedacht ist, der andere Wagen mit 23,7 m Länge soll als Anhänger für Triebwagen [coach*] verwendet werden. Neben der bei den neueren amerikanischen Wagen vielfach angewandten Anlage für Reinigung und Kühlung der Luft, mit der das Wageninnere zwangsläufig beschickt wird, ist noch auf den Versuch einer stromlinienähnlichen Durchbildung des einen Wagenendes hinzuweisen.

Bei beiden Wagen ist grundsätzlich weitgehend von der Verwendung von fertigen Aluminiumprofilen Gebrauch ge-

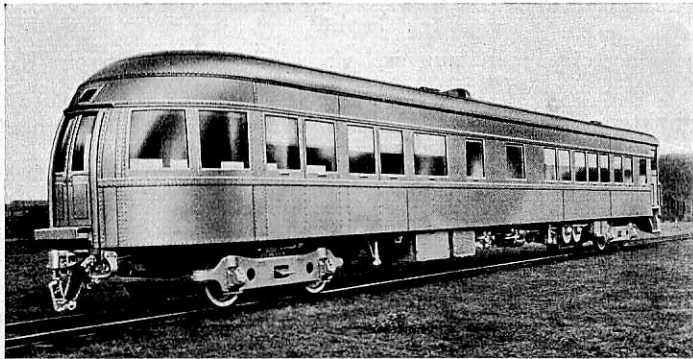


Abb. 1. Personenwagen in Ganzaluminium-Ausführung.

macht worden, wobei darauf verzichtet wurde, das Höchstmaß an Gewichtseinsparung zu erzielen. Ein Grund für die Bevorzugung des starkwandigen Aluminiumwalzprofils ist auch darin zu sehen, daß man auch heute noch in der Frage der Verbindung der einzelnen Bauglieder vor schwierigen Fragen steht, denn die Nietung ist noch nicht restlos gelöst. Hier hat der Konstrukteur den Weg der Verschränkung der

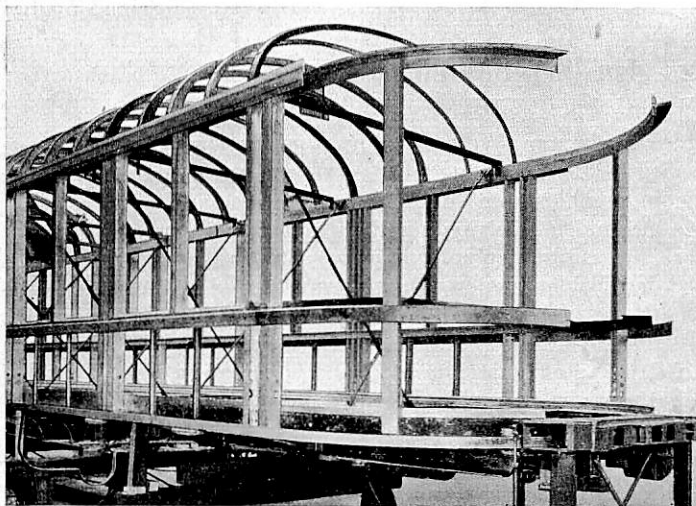


Abb. 2. Wagenkastengerippe eines Personenwagens in Ganzaluminium-Ausführung.

einzelnen Bauteile beschriften, indem durch Bearbeitung der Profile, soweit es nicht entsprechend gewählt wurde, die einzelnen Teile ineinander greifen und die Nietten mehr oder weniger nur die Heftaufgabe übernehmen. Weiterhin sind die Mittellängsträger von der Aufgabe des Tragens der Wagenkonstruktion entlastet und die Seitenwände als die eigentlichen tragenden Elemente ausgebildet worden. Die Konstruktion entspricht damit dem Leichtbau, wie er beispielsweise bei den neueren Triebwagen der DRG., hier aber unter Verwendung von Stahl, angewandt wird. Ein starkes Aluminiumblech in der oberen Dachkante übernimmt die Aufgabe des Ober-

*) Wagen mit hintereinander angeordneten Sitzreihen.

gurtes. Auf Abb. 2, das das Wagengerippe erkennen läßt, sind in den Dachspriegeln die Absätze zu erkennen, bis zu denen das Dachkantenblech als Obergurt reicht. Die Seitenwandpfosten sind Hohlprofile, die nach innen offen sind.

Die bisherigen Längsträger sind in ihre beiden Gurte aufgelöst worden. Zwischen beiden liegen die im Gegensatz zur früheren Ausführung durchgehenden, gepreßten Querträger, zwischen diesen wiederum sind Ober- und Untergurt der Längsplatten durch eingezogene Preßstücke miteinander verbunden (s. Abb. 3). In den Seitenwanduntergurten, Pfosten,

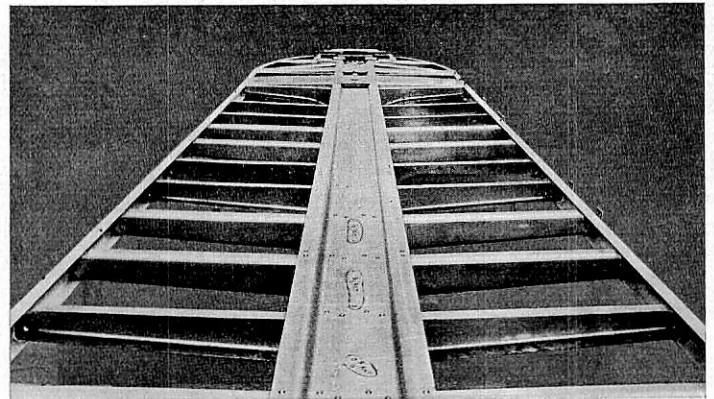


Abb. 3. Untergestell eines Personenwagens in Ganzaluminium-Ausführung.

Fensterriegeln und im Obergurt ist weitgehend von der Verschränkung Gebrauch gemacht. Überall dort, wo es auf Kraftübertragung ankommt, sind Stahlrieten verwendet worden. Die Kräfte aus den Mittelpufferkuppelungen und aus den Kopfwänden als Folge von Rammwirkungen werden durch diagonale Verstrebungen in die Seitenwände geleitet.

Die Hauptabmessungen und Gewichte der Wagen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Die Gewichtseinsparung gegenüber dem Stahlwagen alter Bauart beträgt ~ 50%.

Aus Stahl bestehen nur die Räder, Achsen, Federn, Bremschuhe und wenige andere Teile, die dem Verschleiß besonders unterliegen; teilweise ist hier Aluminium mit Stahlbeplattung zur Verwendung gekommen. Im Wagenentwurf mußte der größeren Durchbiegung des Aluminiums im Verhältnis 3:1 gegenüber Stahl und dem höheren Ausdehnungskoeffizienten, der zweimal so groß ist, Rechnung getragen werden.

Zusammenstellung 1.

Hauptabmessungen und Gewichte der Aluminium-Drehgestell-Personenwagen, Bauart Pullman.

	Aussichtswagen	Triebwagen-Anhängervagen
Länge zwischen den Wagenkastenendträgern mm	24 104	22 389
Abstand der Drehgestellmitten mm	18 136	17 069
Größte Breite mm	3 029	3 073
Höhe über SO. mm	4 269	3 988
Radstand der Drehgestelle mm	2 743	2 743
Gewicht des Wagenkastens einschließlich Ausstattung kg	34 990	27 940 ¹⁾
Gewicht der Drehgestelle einschließlich 1350 kg mechanisches Getriebe kg	13 500	9 000
Gewicht der Anlage für künstliche Belüftung und Kühlung kg	—	3 440
Gesamtgewicht des Wagens kg	48 490	36 940

¹⁾ Einschließlich Anlage für künstliche Belüftung und Kühlung.

Das Drehgestell des einen Wagens ist im Gegensatz zur bisherigen Stahlgußausführung aus einzelnen Teilen aufgebaut, der Hauptrahmen aus Aluminiumguß hergestellt. Die Achslager sind gleichfalls aus Aluminiumguß, jedoch mit Stahl bewehrt, um die Abnutzung beherrschen zu können. Auch die Bremsteile sind sämtlich aus Aluminium. Die Abmessungen der Achsschenkel betragen 125×200 mm, der Raddurchmesser 825 mm. Die Räder sind aus Stahl gewalzt. Bei den seitlichen Drehgestellgleitplatten ist besondere Vorsorge gegen das Eindringen von Staub und Schmutz getroffen, so daß zusammen mit einer besonderen Ölzufuhr zu den Platten eine möglichst freie Beweglichkeit der Drehgestelle erreicht wird. Um den Lauf besonders ruhig zu gestalten, ist an einer ganzen Reihe von Stellen Gummi als Zwischenlage zwischen Federn, Stützplatten usw. vorgesehen.

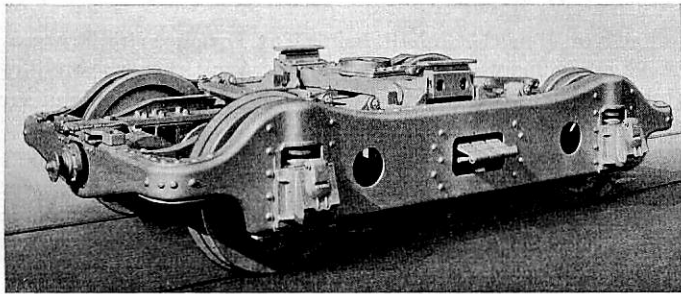


Abb. 4. Drehgestell für Personenwagen in Aluminium-Bauweise.

Die gleiche Maßnahme ist wegen des großen Einflusses der Kupplungs- und Stoßkräfte auf die Wagenkonstruktion auch an der Mittelpufferkuppelung getroffen worden. So erfolgt die Überleitung der Zug- und Stoßkräfte gleichfalls über Gummizwischenlagen. Besonders gute Wirkung erhofft man von der hier vorgenommenen Herabsetzung des Hubs der Kuppelung, der bei Zugbeanspruchung 38 mm, 50 mm bei Druck beträgt. Sicher wird dadurch die Bewegung zwischen den einzelnen Wagen, die bis jetzt zu außerordentlich unangenehmen Begleiterscheinungen im Betriebe führt, herabgesetzt. Auf der anderen Seite darf man sich nicht im unklaren darüber sein, daß die Vernichtung der aufgenommenen Arbeit um so schwieriger wird, je kürzer der Weg ist.

Die Drehgestelle des Aussichtswagens sind normale, sonst in Stahlguß hergestellte Gestelle, hier nur aus Aluminium

gegossen, und zwar aus einer Aluminiumlegierung mit hoher Zugfestigkeit, erreicht durch Wärmevergütung. Wie bereits ausgeführt, liegt bei der Aluminiumkonstruktion die Hauptschwierigkeit in der Beherrschung der Durchbiegung als Folge des niedrigeren Elastizitätsmoduls. Der Entwurf des Drehgestells ist für eine gleichmäßige Beanspruchung von $2,4 \text{ kg/mm}^2$ unter statischer Last berechnet worden. Das entspricht nur etwa der Hälfte der gewöhnlich in Stahlgestellen zugelassenen Beanspruchung. In Ermüdungsversuchen auf der Verdrehungsmaschine hat die verwendete Aluminiumlegierung eine Ermüdungsgrenze von $5,4 \text{ kg/mm}^2$ gezeigt und zwar bei einer Beanspruchung, die zweimal so groß war, wie die statische Beanspruchung, für die das Gestell entworfen worden ist unter Einschluß der zusätzlichen größten Beanspruchungen im Betriebe. Die Zugfestigkeit von 27 Probestücken ergab $27,8 \text{ kg/mm}^2$ und eine durchschnittliche Streckgrenze von $17,2 \text{ kg/mm}^2$, dazu eine durchschnittliche Dehnung von $9,5\%$ auf 50 mm. Chemische und physikalische Eigenschaften der im Eisenbahnbau der Vereinigten Staaten verwendeten Aluminiumlegierungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Ein gutes Ergebnis ist bezüglich der Gleichförmigkeit der Streckgrenzen bei diesen Gußstücken erzielt worden, weil der Unterschied zwischen höchstem und niedrigstem Wert der 27 Proben nur $1,9 \text{ kg/mm}^2$ betrug.

Das Gewicht der beiden Drehgestelle dieses Wagens einschließlich der verhältnismäßig schweren zusätzlichen Ausrüstung beträgt 13500 kg , einschließlich 1350 kg in jedem Drehgestell für ein mechanisches Getriebe zum Antrieb der künstlichen Kühlanlage einerseits und einer 10 kW -Beleuch-

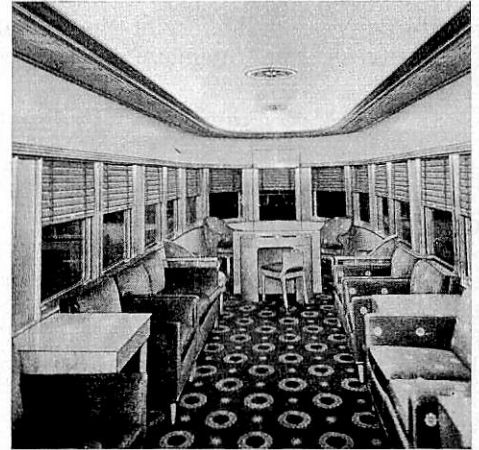


Abb. 5. Innenausstattung eines amerikanischen Personenwagens in Ganzaluminium-Ausführung.

Zusammenstellung 2.

Zusammenstellung der im Eisenbahnwagenbau der Vereinigten Staaten verwendeten Aluminiumlegierungen.

Bezeichnung	Zugbeanspruchung			Druckbeanspruchung		Schersfestigkeit kg/mm ²	Brinell-Härte	Chemische Zusammensetzung				Bemerkungen
	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Dehnung %	Streckgrenze kg/mm ²	Druckfestigkeit kg/mm ²			Kupfer %	Silizium %	Mangan %	Magnesium %	
3 S O	3,52	11,00	40	3,52	11,00	7,73	28	—	—	1,25	—	Platten
3 S 1/2 H	12,00	14,80	20	12,00	14,80	9,50	45	—	—	1,25	—	Platten
3 S H	17,50	20,00	10	17,50	20,00	11,00	55	—	—	1,25	—	Platten
17 S T	24,30	40,78	20	24,30	40,78	24,30	100	4	—	0,5	0,5	
17 S O	7,00	18,28	20	—	—	—	45	4	—	0,5	0,5	Duraluminium, Bleche, Platten, Profile und Preßteile
43 S	6,33	13,39	4	6,33	17,58	10,55	50	—	5	—	—	Preßteile
51 S W	14,06	24,61	24	14,06	24,61	16,57	64	—	1	—	0,6	Preßteile und Profile
195 T 4	11,25	21,80	8	19,69	30,23	18,98	65	4	—	—	—	Guß
356 T 6	15,47	22,50	4	14,76	33,75	16,17	65	—	7	—	0,3	Guß
43 Guß	—	20,40	3	—	—	—	50	—	5	—	—	Guß
25 S T	24,61	40,78	20	24,61	40,78	24,61	100	4,5	0,8	0,8	—	Spezialbleche

tungsdynamo vom anderen Gestell aus. Das Gewicht eines normalen dreiachsigen Drehgestells, wie es für den gleich gestatteten Stahlwagen benötigt würde, beträgt 23 500 kg.

Die bei dem zweiten Wagen zur Verwendung gelangte Drehgestellkonstruktion ist in Abb. 4 dargestellt. Hier ist das Drehgestell aus gepreßten Aluminiumblechen zusammengesetzt. Für diese Konstruktionsart lagen aus der erwähnten Verwendung derartiger Gestelle bei Vorortbahn-Schnelltriebwagen Erfahrungen vor. Besonders beachtlich ist die durch Verwendung von ungedämpften Schraubenfedern unmittelbar über den Achsbuchsen entstehende außerordentlich leichte Bauweise. Abb. 5 gibt einen Eindruck von der gleichfalls weitgehend in Aluminium ausgeführten Innenausstattung.

Erdgastransportwagen mit Behältern für 150 at.

Von Karl Pfeiffer, Ingenieur-Oberinspektor, Budapest.

Vor einigen Jahren haben Tiefbohrungen nach Erdöl, durchgeführt im Tieflande Ungarns, in der Nähe der Provinzstadt Hajdusoboszló, Gasquellen in 1090 und 2030 m Tiefe erschlossen, aus welchen eine Gas-Wasser-Emulsion von 78° C mit 2½ at Überdruck ausgeworfen wird. Das heiße Wasser, 3000 Liter/Min., erwies sich als ein Heilwasser von reichem Kochsalz- und Jodgehalt und wird in einer städtischen Heil- und Strandbadeanstalt verwertet. Das Erdgas von 6000 m³ im Tag ist Methan, mit 5% Kohlensäure, welches an Ort und Stelle die Gasmotoren eines Elektrizitätswerks speist und, auf 150 at verdichtet, in Gasflaschen von 6 m³ Gasinhalt für Industriezwecke (Schweißungen) auch auf größere Entfernungen abgegeben wird.

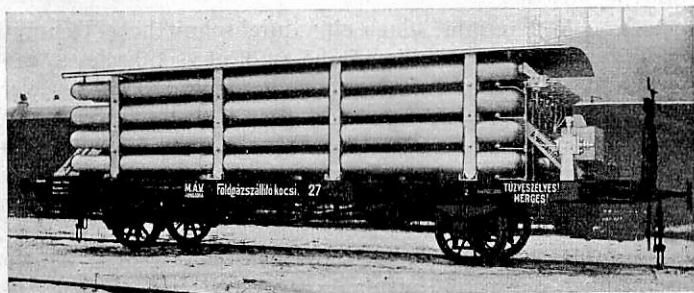


Abb. 1.

Ein weiteres Absatzgebiet für das Erdgas wurde in der Zugbeleuchtung der Ungarischen Staatseisenbahnen gefunden. Die Ungarischen Staatsbahnen verbrauchen jährlich rund 1 Million Kubikmeter Ölgas für die Beleuchtung von rund 3000 zweiachsigen Personen- und Dienstwagen ihres Binnenverkehrs; dieses Ölgas wird aus Braunkohlenteer in der Ölgasfabrik der Bahn in Istvántelek bei Budapest erzeugt und von dort unter 10 at Betriebsdruck in Rohrleitungen von 15 km Länge nach den Hauptbahnhöfen in Budapest verteilt. Die Bahnknotenpunkte in der Provinz versorgt die Ölgasfabrik durch zweiachsige Gastransportwagen, bestehend aus je drei Zylinderkesseln, welche bei 10 at Betriebsdruck zusammen rund 245 m³ Gas fassen.

Ausgedehnte Proben haben nun festgestellt, daß das Erdgas von rund 7500 WE/kg Heizwert in den Hänge-Gasglühlichtlampen, System: Pintsch und System Pfeiffer, welche die Ungarischen Staatsbahnen in ihren mit Gas beleuchteten Wagen verwendet, durch Einstellen der Gasdüse das Ölgas von 9000 WE anstandslos ersetzen kann. Der ganze Gasbedarf der Staatsbahnen konnte aber vorläufig nicht gedeckt werden, weil in den vorhandenen Gastransportwagen von rund 16 500 kg Eigengewicht im Durchschnitt 67 kg Totgewicht auf 1 m³ Gas entfällt, was bei Beförderung des Erdgases über 150 km Entfernung keine Wirtschaftlichkeit mehr zuläßt. Stahl-Gas-

Die Konstruktion der beiden Wagen stellt für amerikanische Verhältnisse in der Gewichtsfrage einen außerordentlichen Fortschritt dar, sofern es gelingt, in der Herstellung des Baustoffs zu der notwendigen Korrosionsfreiheit und zur Beständigkeit der physikalischen Eigenschaften zu gelangen. Beides ist die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Verwendung des Aluminiums, denn die Herstellungskosten sind, selbst unter Berücksichtigung der Tatsache, daß natürlich der bisher beschränkte Verbrauch von Aluminiumspezialprofilen den Herstellungspreis ungünstig beeinflusst sehr hoch. Man kann damit rechnen, daß das gegenüber dem vergleichsfähigen Stahlwagen ersparte Kilogrammgewicht mit etwa 2,40 *R.M.* bezahlt werden muß.

flaschen von 6 m³ Gasinhalt bei 150 at Druck, erfordern zwar nur 9 kg Eigengewicht je m³ Gas, können aber wegen ihrer geringen Fassungsvermögen einen regelmäßigen Versand von großen Gasmengen nicht bewältigen.

Es entstand daher die Notwendigkeit, Spezialtransportwagen für Erdgas zu bauen, von wenigstens 2000 m³ Gasinhalt, bei höchstens 35 t Eigengewicht, weil aus wirtschaftlichen Gründen vorhandene zweiachsige 20 t-Kohlenwagen — nach Abnahme des Kastens und Bremserhauses — verwendet werden sollten. Diese erforderten die Anwendung von 150 at Betriebsdruck, bei 225 at Probedruck. Da eine Materialhöchstbeanspruchung von ein Fünftel der Bruchfestigkeit bei solchen Wagen aus Sicherheitsgründen nicht überschritten

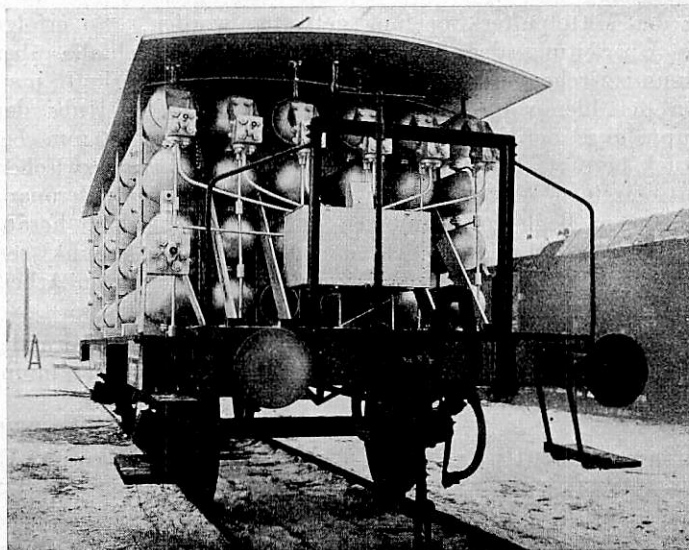


Abb. 2.

werden darf, ergibt sich das Eigengewicht einer solchen Einrichtung als unabhängig davon, ob eine kleine Anzahl von Kesseln mit großem Durchmesser, oder ob viele Rohre von kleinem Durchmesser gewählt werden.

Aus Zweckmäßigkeitsgründen wurde die Ausführung gewählt, bei welcher 24 Rohre von je 7,7 m Länge, 305 mm äußerem Durchmesser, 14 mm Wandstärke, 930 kg Eigengewicht und 450 Liter Inhalt zusammengebaut werden. Die Rohre sind aus Martin-Flußstahl von 65 bis 75 kg/mm² Bruchfestigkeit als Mannesmann-Rohre mit eigenem Boden erzeugt, und sind aus je zwei Stück elektrisch stumpf zusammengeschweißt; die Schweißringnaht ist mit einem breiten, warm aufgezogenen Flachring verdeckt, welcher noch an beiden Enden elektrisch angeschweißt wurde. Die 24 Rohrbehälter sind in sechs Sätzen von je vier in ölgetränkten Eichensätteln

übereinanderliegenden Rohren angeordnet. Die einzelnen Sätze sind an vier Stellen mittels senkrechter Flacheisenbänder an das Untergestell, und durch querlaufende waagerechte Ankerschrauben zu einem starren Rohrsystem vereinigt. Der zweite und fünfte Rohrsatz ist noch mit in der Wagenlängsrichtung laufenden waagerechten Eisenbändern an den beiden Kopfstücken des Untergestells befestigt. Die Längsverschiebung der Rohre wird außer durch die Reibung in den Sätteln noch durch Klauen verhindert, die bei einem senkrechten Eisenband an die Rohre angeschweißt sind, die Wärmeausdehnung derselben aber nicht verhindern. Die Muttern für die genaue Einstellung und das Nachziehen sämtlicher Befestigungselemente sind gesichert. An dem die Bedienungsbühne tragenden Ende sind die Rohre der einzelnen Rohrsätze an ihrer tiefsten Stelle mit je einem senkrechten gelöteten Kompensationskupferrohr verbunden. Von diesen Rohren führen Leitungen über je ein Stück oben angeordnetes Absperrventil in ein kurzes, waagerechtes Sammelrohr. Auf dem Fußboden der Bedienungsbühne ist links das Hauptfüllventil und in der Mitte, in einem gemeinsamen Schutzgehäuse, das Hauptablaßventil und der Druckregler mit den Druckmessern aufgestellt. Füll- und Ablassventile sind mit dem waagerechten Sammelrohr verbunden; sämtliche Verbindungsrohre sind Kupferrohre von 20,5/12,5 mm Durchmesser. Zum Schutz gegen Wärmeeinwirkung dient eine Eisenblechüberdachung und der silberweiße Anstrich mit Aluminiummetallfarbe. Bei der Ausbesserung können das Schutzdach im ganzen und die Rohrsätze einzeln durch einen Kran abgehoben werden.

Die Zustandsänderung des Erdgases zeigt — laut durchgeführten Versuchen — bei 150 at Druck, abweichend vom Mariotteschen Gesetze, eine Überverdichtbarkeit von mehr als 20%, so daß die Gasaufnahme eines Wagens, bei 10,5 m³ Behälterinhalt, rund 2000 m³ beträgt; das Gewicht dieser Gasmenge ist rund 1500 kg (spezifisches Gewicht des Erdgases bei 0° = 0,78). Das Laden des Wagens mit dieser Erdgasmenge beansprucht bei der jetzigen Leistungsfähigkeit der Kompressoranlage in Hajduszobozsló rund 10 Std.; die Verbindung zwischen Wagen und Fernleitung des Kompressors wird durch ein biegsames Kupferrohr von 9 mm Lichtweite hergestellt. Zum Entleeren des Wagens wird der Druckregler durch einen Gummischlauch von 1" Lichtweite mit den Gasspeicherbehältern in der Ölgasfabrik in Istvántelek verbunden, das Entleeren dauert auch ebenfalls etwa 10 Std. bei 10 at unveränderlichem Betriebsdruck.

Die selbsttätige Erhaltung dieses unüberschreitbaren

Druckes von 10 at bewerkstelligt der Druckregler; in einem Bronzgußgehäuse wird ein flaches Kegelventil aus Ebonit durch eine mit Spiralfedern belastete Membrane aus Spezialgummi so betätigt, daß der veränderliche Gasdruck im Wagen von 150 bis 11 at auf den unveränderlichen Betriebsdruck im Gasspeicherbehälter vermindert wird.

Beim Entleeren des Wagens könnten die Wasserdämpfe im Gase durch die erhebliche Abkühlung des expandierenden Gases, unter ungünstigen Umständen, zu Eis erstarren. Um das Einfrieren des Druckreglers zu verhüten, ist der Durchmesser des Druckminderventils zu 11,5 mm und sein größter Hub zu 4 mm gewählt, im Gegensatz zu den Nadelventilen mit sehr kleinem Hub der gewöhnlichen Druckregler; bei diesen Dimensionen zerstört das, mit der Schallgeschwindigkeit von oben nach unten durchströmende Gas eine auf den großen Oberflächen sich bildende Eiskruste gleich in der Entstehung. Die im Erdgas vorhandenen 5% Kohlensäure begünstigen nicht die Eisbildung im Druckventil, weil diese geringe Kohlensäuremenge, nach dem Daltonschen Gesetz über Gasmischungen, den zur Verflüssigung nötigen Druck von 60 bis 70 at in den Rohren niemals erreichen kann (kritischer Druck 75 at, kritische Temperatur + 31° C) und weil sich Kohlensäureschnee nur dann bilden könnte, wenn flüssige Kohlensäure auf Atmosphärendruck entspannt wird, welcher Fall beim Entleeren der Erdgaswagen nicht stattfindet. — Wegen der Abkühlung des Erdgases während des Transportes im Winter, ist der Druckregler auch mit einer elektrischen Heizung ausgerüstet. Die Heizeinrichtung besteht aus einem Heizkörper von 1 kW Leistung bei 110 Volt Spannung, welcher in den Körper des Druckreglers so eingebaut ist, daß hauptsächlich die Wände der Ventilbohrung wirksam geheizt werden; der Heizkörper ist so angebracht, daß er mit dem Gas in keine Berührung kommen kann und die Möglichkeit des Entzündens ausgeschlossen ist.

Die beschriebenen Erdgastransportwagen besitzen ein mittleres Eigengewicht von 33400 kg, wobei 17 kg auf je 1 m³ Gas entfallen, womit ein wirtschaftlicher Transport auf das ganze Eisenbahnnetz erreicht ist. Dieser günstige Umstand und die große Fassungsvermögen dieser neuen Wagen ermöglicht, daß die Ungarische Staatseisenbahnen mit sechs solcher Wagen ihren vollen Gasbedarf für Zugbeleuchtung, statt des Ölgases, mit dem 50% billigeren Erdgas decken können, und den Betrieb der Ölgasfabrik in Istvántelek einstellen konnten. Die Ersparnisse vergüten binnen einem Jahr die vollen Anschaffungskosten der Erdgastransportwagen.

Geschäftsbericht der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft über das neunte Geschäftsjahr 1933.

Wie in der Gesamtwirtschaft im Jahre 1933 mit der Neugestaltung des politischen Lebens und unter dem Schutze einer gefestigten, vom Vertrauen des gesamten Volkes getragenen Regierung eine Wendung zum Besseren eintrat, kam auch bei der Reichsbahn der Einnahmerückgang der vorhergehenden Jahre zum Stehen, die zweite Hälfte des Jahres brachte sogar einen geringen Anstieg der Einnahmen. Hierdurch war es möglich das Arbeitsbeschaffungsprogramm der Reichsregierung, das die Reichsbahn schon im Vorjahre durch Aufträge in Höhe von 366 Mill. *RM* gefördert hatte, im Jahre 1933 durch Aufträge im Werte von 700 Mill. *RM* zu unterstützen. Im Auftrag der Reichsregierung übernahm die Reichsbahn ferner die Errichtung des Zweigunternehmens „Reichsautobahnen“ mit einem Grundkapital von 50 Mill. *RM* zur sofortigen Herstellung eines groß angelegten Netzes von Kraftfahrbahnen.

Betrieb und Verkehr.

Während der Güterverkehr im Monat Januar noch 7% unter dem Verkehr des Vormonats lag, stieg er im Februar leicht an. Vom Monat März bis zum November bewegte er sich dann fast dauernd merklich aufwärts, so daß in diesem Monat die durchschnittliche arbeitstägliche Wagenstellung den Höchststand von 122400 erreichte. Auch in den Betriebsleistungen wirkte sich diese Verkehrsbelebung aus: die Tagesleistung an Zugkm aller

Güterzüge ist um 5,8% gegenüber dem Vorjahre gestiegen. Durch wirtschaftlichere Ausnutzung der Züge stieg die Tagesleistung an Achskm sogar um 7,65% gegenüber 1932, die durchschnittliche Zugstärke nahm um 1,5% zu. Die Änderung des § 66 der BO. ermöglichte eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit der Güterzüge. Hierdurch und durch vermehrten Einsatz von Kleinlokomotiven auf Unterwegsbahnhöfen konnte die Reisegeschwindigkeit der Güterzüge weitgehend gesteigert werden. Im Jahre 1933 wurden 740 neue Kleinlokomotiven bestellt, am Ende des Jahres waren 196 Kleinlokomotiven im Betrieb. Auch auf den Nebenbahnen wurden die Fahrgeschwindigkeiten gesteigert: 8,5% aller Nebenbahnen wurden mit Geschwindigkeiten über 50 km/h befahren gegen 3,3% im Vorjahre. Ein weiteres Mittel zur Beschleunigung des Güterverkehrs bildet der Einsatz des Lastkraftwagens als Schienenersatz, der in diesem Jahre erstmalig in größerem Umfange vorgenommen wurde und sich in vielen Fällen gut bewährt hat. Am 1. September traten die neuen Fahrdienstvorschriften in Kraft, durch die die zum Teil noch gültigen Fahrdienstvorschriften früherer Ländereisenbahnen außer Kraft gesetzt wurden.

Der Personenverkehr ist in Einnahmen und Verkehrsleistungen noch hinter dem Verkehr des Vorjahres zurückgeblieben, die Einnahmen aus dem Personen- und Gepäckverkehr betragen

nur 95,1% des Vorjahres, die Betriebsleistungen (Zugkm) waren jedoch 1,5% höher als im Vorjahre, infolgedessen sank die durchschnittliche Einnahme je Zugkm von 2,16 auf 2,00 *R.M.* Am 15. Mai wurde der Schnelltriebwagen auf der Strecke Berlin—Hamburg eingesetzt, der die Strecke mit einer Reisegeschwindigkeit von 124,7 km/h in 2 h 18 min zurücklegt. Auch die Fahrzeiten der Schnellzüge wurden weiter verkürzt.

Im Laufe des Jahres wurden 1126 überalterte Dampflokomotiven ausgemustert, 157 neue Dampflokomotiven und 40 Triebwagen mit eigener Kraftquelle wurden beschafft.

Der elektrische Betrieb wurde auf den Strecken Augsburg—Stuttgart, Stuttgart—Kornwestheim, den Stuttgarter Nahverkehrsstrecken und auf der Berliner Wanneseebahn eröffnet. Die gesamte Streckenlänge der elektrisch betriebenen Bahnlagen beträgt nunmehr 1893 km, das sind mehr als 3,5% der gesamten Betriebslänge. Auf weiteren 393 km ist die Einrichtung des elektrischen Betriebes im Gange. Auch für die elektrisch betriebenen Strecken wurden zahlreiche Triebfahrzeuge beschafft, deren Höchstgeschwindigkeiten bis zu 140 km/h gehen.

Für den Einsatz des Lastkraftwagens als Schienenersatz wurden 1142 Lastkraftwagen bestellt.

Die Zahl der Betriebsunfälle hat gegen das Vorjahr um 6% zugenommen, betrug aber noch 10% weniger, als die Zahl der Unfälle in 1931.

Bauwesen.

In Auswirkung der Arbeitsbeschaffungsprogramme der Reichsregierung standen im Jahre 1933 mehr Mittel zur Verfügung als in den früheren Jahren, so daß die Bautätigkeit reger war. An größeren Bauvorhaben sind zu nennen der Bau der Nord-Süd-S-Bahn in Berlin, zu dem die Vorarbeiten begonnen wurden und der Bau des Rügendamms Stralsund—Altefähr, der nach längerer Unterbrechung wieder aufgenommen wurde. Ferner wurden fertiggestellt die Renchtalbahn und die Nebenbahn Bad Peterstal—Bad Griesbach (RBD, Karlsruhe). Die in den Vorjahren begonnenen Strecken- und Bahnhofsbauten konnten fortgesetzt werden, zahlreiche neue Bahnhofserweiterungen wurden begonnen.

Auch in der Bahmunterhaltung konnten mehr Arbeiten durchgeführt werden als in den früheren Jahren. Mehrere Tunneln wurden beseitigt, zahlreiche schienengleiche Wegübergänge durch Unterführungen ersetzt, u. a. wurden innerhalb des Stadtbezirks Bad Reichenhall für acht schienengleiche Wegübergänge fünf Wegunterführungen errichtet.

Das mit Rücksicht auf die zu Anfang des Jahres bestehende schwierige Finanzlage stark eingeschränkte Oberbauprogramm war bis Ende Juni durchgeführt. Durch ein zusätzliches Erneuerungsprogramm konnte es in der zweiten Jahreshälfte von 1446 km auf 2646 km Gleiserneuerung und von 3387 Weicheneinheiten auf 6387 Weicheneinheiten erweitert werden. Am Schlusse des Jahres waren 7000 km mit Langschienenoberbau ausgerüstet.

Zur Beseitigung ständiger Langsamfahrstellen wurden zahlreiche Linienverbesserungen vorgenommen. Es befindet sich eine Bogenweiche mit 1200 m Halbmesser in Arbeit, die bei der Fahrt durch den krummen Strang noch eine Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h zuläßt. Zahlreiche Strecken wurden für eine Fahrgeschwindigkeit von 120 km/h, einige für 150 km/h hergerichtet. 62 000 Zeitarbeiter wurden den Winter über weiterbeschäftigt, um die Zahl der Arbeitslosen zu verringern. 21 größere Brücken- und Ingenieurhochbauten wurden neben zahlreichen kleineren Bauten ausgeführt.

Die Sicherungs- und Fernmeldeanlagen wurden weiter verbessert. Auf den Schnellverkehrsstrecken wurde der Abstand des Vorsignals vom Hauptsignal auf 1000 m erhöht. 18 neue Selbst-

anschlußämter wurden in Betrieb genommen. Zwischen Berlin und Trier wurde eine Fernsprechverbindung mittels Trägerfrequenz-telephonie eingerichtet.

Rollendes Material.

Im Laufe des Jahres wurden weitere Lokomotiven der Einheitsbauart beschafft, sie haben in größerem Umfange geschweißte Feuerbüchsen erhalten. Die Versuche mit Mitteldrucklokomotiven von 25 atü Kesseldruck wurden fortgesetzt. Sie haben die erwartete Verbesserung der Energieumsetzung gebracht.

Kleinlokomotiven mit Motorenstärken von 50 bis 65 PS wurden in größerem Umfange beschafft, 68% der Kleinlokomotiven haben Dieselmotoren, der Rest Vergasermotoren erhalten, zwei verschiedene Bauarten von Kleinlokomotiven mit elektrischer Kraftübertragung wurden in Betrieb genommen.

Dieselektrische Triebwagen von 300, 400 und 150 PS Motorenstärke wurden angeliefert, ferner dieselmechanische Triebwagen von 175 und 120 PS und mehrere Schienenomnibusse mit 100 PS-Vergasermotoren, mit zwei Doble-Dampftriebwagen wurden Versuche aufgenommen. Die Geschwindigkeit von Dampflokomotiven konnte bei normaler Kesselbelastung auf 140 bis 150 km/h gesteigert werden.

Ein neues Straßenfahrzeug für die Beförderung von beladenen Güterwagen vom Bahnhof zum Versender oder Empfänger wurde in Betrieb genommen.

Zahlreiche Sonderuntersuchungen und Versuche für die technische Weiterentwicklung der einzelnen Fahrzeugbauteile wurden angestellt.

Die Leistungen des Werkstättendienstes stiegen entsprechend den höheren Betriebsleistungen an. Die Zahl der im Werkstättendienst beschäftigten Bediensteten stieg im Laufe des Jahres von 78 563 auf 88 703 Köpfe an. Die Feierschichten wurden im Laufe des Jahres aufgehoben. Nach Auflösung der Gruppenverwaltung Bayern und des Zentralmaschinenamts wurde bei der RBD, München eine geschäftsführende Direktion für das Werkstättenwesen für den bayrischen Bezirk errichtet.

19 Werke wurden für die Unterhaltung von Kraftwagen bestimmt.

Beschaffungswesen.

Trotz ihrer schwierigen Finanzlage hat die Reichsbahn die von der Reichsregierung eingeleitete großzügige Bekämpfung der Arbeitslosigkeit in weitgehendem Maße unterstützt. Neben ihrem Grundprogramm, das mit Rücksicht auf die zu erwartenden Einnahmen stark eingeschränkt war, hat sie zunächst die in den letzten Monaten des Vorjahres begonnenen Aufträge aus dem 280 Mill. *R.M.* Arbeitsbeschaffungsprogramm fortgeführt und beendet. Im Sommer 1933 hat sie dann ein Zusatzprogramm in Höhe von 560 Mill. *R.M.* aufgestellt, das sich im Winter 1933/34 auf 625 Mill. *R.M.* erhöht hat. Hierdurch konnten bei den Herstellern und Lieferanten 250 000 Arbeitskräfte auf die Dauer eines Jahres beschäftigt werden.

An größeren Stoffmengen wurden beschafft: rund 12 Mill. t Kohle, für 28,8 Mill. *R.M.* sonstige Betriebsstoffe, für 7,2 Mill. *R.M.* Stoffe für elektrische Anlagen, 53,5 Mill. *R.M.* Werkstoffe und für 49 Mill. *R.M.* Ersatzstücke. An Oberbaustoffen wurden monatlich 40 000 t geliefert. Über 7 Mill. m³ Schotter wurde an die Steinindustrie vergeben.

An Fahrzeugen wurden bestellt: 221 Dampflokomotiven, 13 Ellokomotiven, 25 Kleinlokomotiven, 518 Trieb-, Steuer- und Beiwagen, 3588 Wagen und 2 Schiffe. Der Wert der im Jahre 1933 gelieferten Fahrzeuge beträgt 88,5 Mill. *R.M.* gegenüber 69,6 Mill. *R.M.* im Vorjahre, während im Jahre 1934 hierfür voraussichtlich 160,1 Mill. *R.M.* aufgewendet werden. M f.

Bücherschau.

Verzeichnis der oberen Reichsbahnbeamten 1934. 30. Jahrgang. Zusammengestellt nach Unterlagen der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und abgeschlossen im März 1934. 494 Seiten mit 4 Bildnissen. Gebunden in blauer Indanthrenleinwand *R.M.* 10,80 (Eisenbahangehörige erhalten Vorzugspreis!) Verlag der Verkehrswissenschaftlichen Lehrmittelgesellschaft m. b. H. bei der Deutschen Reichsbahn.

Das nach Unterlagen der Hauptverwaltung der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft zusammengestellte und im März 1934

abgeschlossene „Verzeichnis der oberen Reichsbahnbeamten“ ist für das Jahr 1934 im 30. Jahrgang soeben erschienen.

Das Verzeichnis verdient in diesem Jahre besondere Beachtung weil die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft in ihrem inneren Aufbau durch die Auflösung der Gruppenverwaltung Bayern bemerkenswerte Veränderungen vorgenommen hat und auch sonst starke Personalveränderungen eingetreten sind. Auch die obersten Bauleitungen für den Bau von Kraftfahrbahnen, die neu ins Leben getreten sind, wurden in dem Buch berücksichtigt.