

Neue Wege, die künstliche Lüftung von Tunneln im Betriebe wirkungsvoll und wirtschaftlich zu gestalten.

Von Regierungsbaumeister Dr. Ing. Schmitt in Essen.

(Schluß.)

Hierzu Tafel 1 im Heft 2 und Tafel 2 bis 4 im Heft 3.

4. Versuch I.

a) Das Modell. — Das Modell zur Versuchsreihe I wurde im Maßstab 1:400 aus Blech hergestellt (s. Abb. 3 und 4, Taf. 1). Es stellt einen Injektor dar, der den Tunnelquerschnitt in Form von Teilringen umfaßt. Es besteht aus drei getrennten Teilen: dem Auffangtrichter A, dem das Tunnelprofil begrenzenden Teil B und dem Teil C, der die erforderliche Form des Tunnelportals wiedergibt. Diese Teile wurden in der aus der Zeichnung ersichtlichen Anordnung vor dem Gegenportal angebracht und in Richtung W_a angeblasen. Die Wirkungsweise war so gedacht, daß der Wind in dem ringförmigen Raum zwischen den Teilen A und B ankommt, die „Treibdüse“ mit erhöhter Geschwindigkeit durchströmt und dort einen Unterdruck erzeugt, der aus der ringförmigen „Saugdüse“ Luft ansaugt und so einen Zug in Richtung der künstlichen Lüftung bewirkt. Der auf die eigentliche Tunnelöffnung f treffende Wind sollte zugleich durch die Profilerweiterungen des Teiles B in seiner Geschwindigkeit herabgemindert und durch die vorgeschriebene Gegenströmung vernichtet werden. Die Teile A, B und C waren auf der Unterlage gegeneinander verschiebbar gelagert, so daß die Weiten der Treib- und der Saugdüse entsprechend verändert werden konnten. In dem geschlossenen Tunnelrohr wurde zur Messung des statischen Druckes das Düsenrohr c angebracht. Der Maßstab des Modells war bedingt durch die Größe der achteckigen Windkanalöffnung von rund 2 m Durchmesser, und zwar derart, daß die Breitenausdehnung des Modells mit der Länge einer Achteckseite übereinstimmte, an die die Modellunterlage mit einem geringen Zwischenraum in gleicher Höhe anschloß (s. Abb. 4, Taf. 1). Es sollte hierdurch möglichst weitgehend verhindert werden, daß sich die durch den Trichter E einströmenden, durch den Gleichrichter Gl. parallel gerichteten Luftfäden stauen oder ihre Richtung ändern. Das ganze Modell war auf einem Wagen aufgebaut, auf dem es seitwärts in und aus dem Luftkanal verschoben werden konnte.

b) Meßanordnung. Die erste Versuchsreihe wurde in dem damals offenen Luftkanal des genannten Instituts durchgeführt. Bei derartigen Kanälen wird durch den Ventilator V die Luft in der eingezeichneten Richtung durch den Versuchsraum gesaugt, wobei in ihm ein Unterdruck entsteht, der mit der Umlaufzahl des Ventilators wächst, der also ständig wechselt.

Gemessen wurde an drei Stellen jeweils gegen den Unterdruck im Versuchsraum (s. Meßanordnung Abb. 4, Taf. 1)

- mittels Prandtlrohr seitlich im Luftkanal an einer Stelle mittlerer Kanalgeschwindigkeit, sowohl α) der Gesamtdruck (Summe des statischen und dynamischen Drucks $= (q+s)^{i.K.}$) und außerdem β) der statische Druck $s^{i.K.}$ allein;
- ebenfalls mittels Prandtlrohr vor der Tunnelöffnung f ungefähr im Schwerpunkt die Drücke wie unter a); also $(q+s)^{v.T.}$ und $s^{v.T.}$.
- am Ende des geschlossenen Tunnelrohres an der Meßdüse c der statische Druck ($s^{i.T.}$).

Zur Messung wurden drei Fuesssche Mikromanometer benutzt, und zwar eines zu den Messungen: $(q+s)^{i.K.}$ und $(q+s)^{v.T.}$ mit einem Einstellkoeffizienten $k=0,2$, die übrigen beiden zu den Messungen $s^{i.K.}$, $s^{v.T.}$ und $s^{i.T.}$, je mit einem Einstellkoeffizienten $k=0,1$. Da bei der hohen ungeschützten Lage des offenen Kanals die Witterungseinflüsse die Geschwindigkeiten im Kanal zum Teil erheblich beeinflussten, so mußten die Werte zu $(q+s)^{i.K.}$ und $(q+s)^{v.T.}$ aus je zehn Ablesungen gemittelt werden. Der ständige Wechsel des

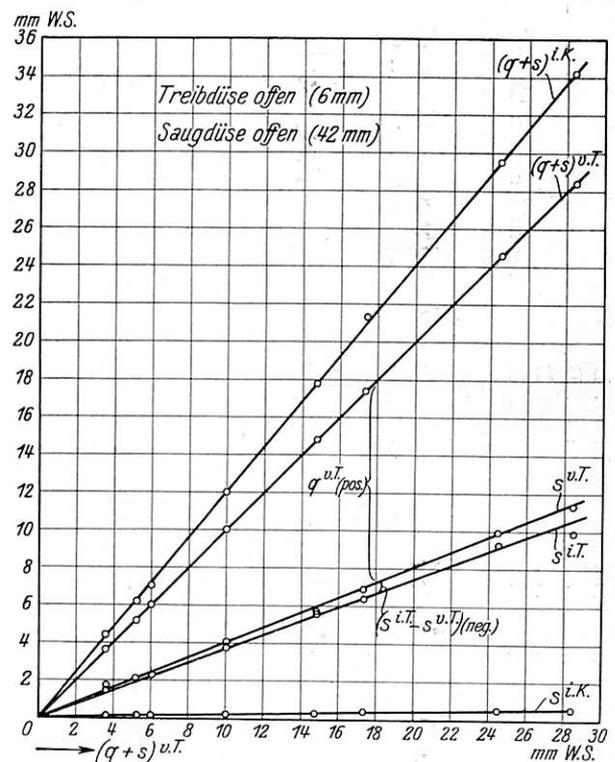


Abb. 12.

Raumdruckes und der soeben erwähnte Einfluß waren die Ursachen, daß von der direkten Ermittlung der Staudrucke Abstand genommen und der umständlichere Weg der fünf Einzelmessungen beschritten werden mußte. Die Messungen wurden in der Reihenfolge vorgenommen, wie dies auf der Zahlentafel der Versuchsreihe I durch die Tabellenziffern angegeben ist; nach der fünften Beobachtung wurde die zweite nochmals überprüft.

c) Versuchsergebnisse und Folgerung. Aus der ersten Tabelle der Zahlentafel I — Modell ausgefahren — sind bemerkenswert die Zahlenreihen 3 und 4, aus denen hervorgeht, daß bei größeren Einströmgeschwindigkeiten die statischen Drücke $s^{i.K.}$ und $s^{v.T.}$ um ein Geringes unter dem gemessenen Raumdrucke liegen. Es scheint hiernach, daß sich in diesen Fällen an der Meßstelle des letztgenannten Druckes ein kleiner Überdruck herausstellte. Da dieser

Zahlentafel zur Versuchsreihe I.

Es bedeuten in mm Wassersäule: Reihe 1. ~ dyn. und stat. Druck im Kanal

2. ~ dyn. und stat. Druck vor dem Tunnel

3. ~ stat. Druck im Kanal

4. ~ stat. Druck vor dem Tunnel

5. ~ stat. Druck im geschlossenen Tunnel

minus stat. Druck im Versuchsraum.

Modell ausgefahren		Modell eingefahren					Ic					Id					Ie												
Ia		Treibdüse: 6 mm offen		Treibdüse: 20 mm offen			Treibdüse: 40 mm offen					Treibdüse: 42 mm offen					Treibdüse: 42 mm geschlossen					Treibdüse: 42 mm geschlossen							
Sa.: 70 mm offen		Sa.: 42 mm offen		Sa.: 42 mm offen			Sa.: 42 mm offen					Sa.: 42 mm offen					Sa.: 42 mm offen					Sa.: 42 mm geschlossen							
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
3,6	3,2	0,05	0,05	—	4,4	3,6	0,10	1,45	1,75	3,0	2,6	0,05	0,75	0,95	4,1	3,6	0,05	1,2	1,3	3,3	3,1	0,05	1,45	0,7	3,9	3,6	0,05	2,0	2,6
5,8	5,0	0,1	0,05	—	6,2	5,2	0,15	2,15	2,15	5,4	4,8	0,10	1,25	1,65	7,1	6,2	0,10	1,8	2,7	4,9	4,4	0,05	1,90	1,0	6,1	5,9	0,05	2,8	3,9
7,4	6,2	0,1	0,00	—	7,0	6,0	0,15	2,45	2,45	6,8	5,8	0,10	1,65	2,15	9,9	8,8	0,10	2,8	3,4	9,3	7,8	0,05	3,4	1,9	8,5	7,8	0,10	3,9	5,7
12,2	10,6	0,05	0,00	—	12,0	10,0	0,25	3,75	4,05	10,0	8,2	0,10	2,65	3,25	13,9	12,0	0,20	4,0	5,0	13,9	11,6	0,05	5,6	2,7	12,3	10,8	0,15	5,7	7,8
17,9	14,8	0,05	0,00	—	17,7	14,7	0,35	5,85	5,70	15,6	13,5	0,20	4,45	4,85	16,3	14,2	0,20	4,5	5,5	16,7	14,2	0,10	6,5	3,5	16,5	14,4	0,20	7,8	10,5
20,5	17,2	0,10	—0,05	—	21,2	17,3	0,40	6,85	6,35	18,8	16,5	0,20	5,35	6,35	19,3	16,4	0,25	5,5	6,5	20,1	16,4	0,15	7,5	4,5	19,1	16,5	0,30	8,8	12,0
29,5	24,6	—0,05	—0,10	—	29,4	24,4	0,55	9,95	9,25	27,6	23,3	0,30	7,55	8,85	27,9	23,9	0,35	7,7	9,1	27,9	24,5	0,20	11,5	6,0	28,1	24,4	0,40	12,5	19,2
33,2	27,9	—0,05	—0,15	—	34,0	28,3	0,60	11,25	9,85	31,8	27,0	0,35	8,45	10,35	31,9	27,4	0,40	9,20	10,5	32,1	28,1	0,30	13,0	6,65	34,1	28,2	0,45	16,8	—

I f		I g		I h		I i		I k		I l		I m		I n	
Tr.: 40 mm offen		Tr.: 40 mm geschlossen		Tr.: 6 mm offen		Tr.: 6 mm geschlossen		Tr.: 6 mm geschlossen		Tr.: 6 mm geschlossen		Tr.: 6 mm geschlossen		Tr.: 6 mm geschlossen	
Sa.: 70 mm offen		Sa.: 70 mm geschlossen		Sa.: 70 mm offen		Sa.: 70 mm geschlossen		Sa.: 70 mm geschlossen		Sa.: 70 mm geschlossen		Sa.: 70 mm geschlossen		Sa.: 70 mm geschlossen	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
3,4	0,8	3,4	0,8	3,8	3,4	3,4	3,0	3,4	2,05	4,4	4,4	4,4	4,2	3,8	0,00
5,4	1,3	5,8	1,6	5,8	5,2	5,4	4,6	5,4	2,95	6,2	6,2	6,2	6,5	5,6	0,05
6,6	1,6	8,0	2,0	8,0	7,2	7,2	6,3	7,2	3,15	8,5	8,5	8,5	8,8	8,0	0,10
10,6	2,6	12,6	3,0	12,6	10,4	10,4	10,0	10,4	3,25	12,6	12,6	12,6	12,8	11,8	0,15
14,6	3,9	14,8	4,1	14,8	12,6	12,6	12,6	12,6	4,45	15,8	15,8	15,8	17,5	16,0	0,25
17,2	4,5	18,2	5,1	16,8	14,8	14,8	14,8	14,8	5,25	18,7	18,7	18,7	22,9	21,6	0,35
25,6	6,6	28,4	7,4	29,4	23,1	23,1	23,1	23,1	10,75	29,5	29,5	29,5	34,2	32,8	0,45
—	—	—	—	34,0	28,8	28,8	28,8	28,8	12,05	34,0	34,0	34,0	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Unterschied gegenüber den entsprechenden Meßwerten nur klein war, wurde von einer Korrektur Abstand genommen. Wenn man die gemessenen Größen, wie z. B. in Textabb. 12 geschehen ist, aufträgt, wobei man als Abszisse das gesamte Druckgefälle vor dem Tunnel: $(q+s)^{v.T.}$ und als Ordinaten die zugehörigen fünf Meßwerte wählt, so sieht man, daß die Meßpunkte mit genügender Genauigkeit auf Geraden liegen, die vom Koordinatenursprung ausgehen.

Man kann daher die Druckdifferenz $s_i.T. - s_v.T.$, d. h. die Differenz des durch die Vorbauten im geschlossenen Tunnel erzeugten statischen Druckes und des statischen Druckes vor dem Tunnel als Funktion des Staudruckes, der dem vor dem Tunnel herrschenden Winde entspricht, berechnen. Der Zusammenhang der beiden Größen ist in den Abb. 5a bis c, Taf. 1 dargestellt, und zwar entsprechend den drei Öffnungsweiten der Saugdüse: 42 mm, 70 mm und 120 mm. Diese Zusammenstellung zeigt das unerwartete Ergebnis, daß bei geschlossener Treibdüse, also bei vollständiger Ausschaltung der Injektorwirkung ganz bedeutende Unterdrücke erzeugt werden, herrührend von dem am Rande r_a des Teiles A (s. Abb. 3, Taf. 1) sich ablösenden Wirbel, dessen Wirkung mit wachsender Vergrößerung der Treibdüsenöffnung vermindert wird. Die bei geschlossener Treibdüse auftretende Wirkung ist demnach eine Funktion des Randabstandes a der Modellteile A und C und des Randumfanges U_a . Der Abstand $a_0 = 50$ mm (Modellteile A, B, C ganz ineinandergeschoben) und den auf Zahlentafel I angegebenen, jeweiligen Öffnungsweiten der Treibdüse und Saugdüse (in der Horizontalen gemessen). In der Zusammenstellung Abb. 5a bis c, Taf. 1 sind die hieraus sich ergebenden Abstände a eingetragen. In den drei Linienbildern zeigt sich eine Verschiedenheit in der Abhängigkeit der statischen Drücke im geschlossenen Tunnel von $q^{v.T.}$, und zwar für den Fall, daß Treib- und Saugdüse geschlossen sind. Das ist daraus zu erklären, daß zur jeweiligen Einstellung der Düsen die Teile A und B nach dem Staurohr b hin verschoben wurden (s. Abb. 4, Taf. 1). Einem direkten Vergleich unterliegen demnach nur die Werte gleichen Abstandes a bei gleicher Saugdüsenweite.

Beispielsweise entspricht einer Saugdüsenweite von 42 mm und einem Randabstande $a = 132$ mm ein Staudruck vor dem Tunnel $q^{v.T.} = 20$ mm WS und ein statischer Druck im Tunnel:

- s i. T. — s v. T. = + 8,4 mm WS Treib- und Saugdüse geschlossen,
= + 1,4 mm WS Treibdüse offen, 40 mm horizontale Düsenweite
= - 8 mm WS Treibdüse geschlossen.

Ein ähnliches Ergebnis zeigen die Messungen für die Saugdüse von 70 mm und 120 mm \varnothing , die bei der geringen Zahl der vorliegenden Messungen ebenfalls nur zu einer Feststellung der Art nach, nicht aber zur Aufstellung einer Funktion f (a. Ua) ausreichen. So günstig dieses Ergebnis hinsichtlich der erreichten Unterdruckwirkung erschien, war dennoch diese Form der Vorbauten für eine praktische Ausführung nicht brauchbar. Einerseits verlangt sie, und zwar unmittelbar am Tunnel, einen breiten Freiraum seitlich des Tunnelportals, der selten vorhanden ist. Dazu müßte noch das Tunnelportal gemäß Teil C, ausgebaut werden. Andererseits traten bei seitlichem Wind, also bei einer Teilbeaufschlagung des Randumfanges Ua im Tunnel Überdrücke auf; die günstige Wirkung verschwand also, die Lösung wird damit unbrauchbar. Hieran würde auch durch eine sinngemäße Vereinfachung des Vorbaues, etwa nach Textabb. 13, nichts wesentliches geändert.

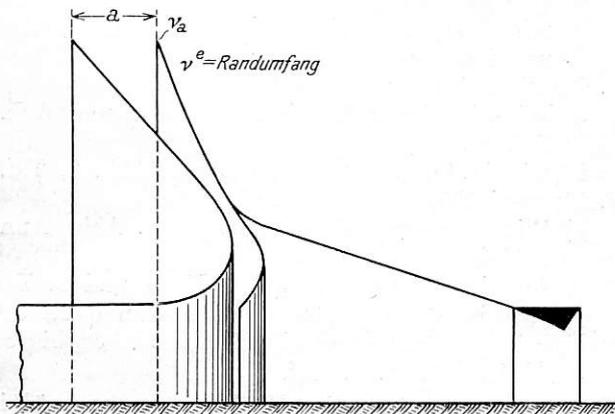


Abb. 13.

Wichtiger und aussichtsreicher erschien vielmehr dem Verfasser die hierbei gewonnene aerodynamische Erkenntnis, daß die Vorbauten vor dem Tunnelportal derart angeordnet werden müssen, daß der gegen sie anströmende Wind möglichst ungehindert große Wirbel bilden und damit auch entsprechend bedeutende Unterdrücke am Tunneleingang hervorrufen kann.

5. Richtlinien zum Versuch II.

Es seien in Kürze diejenigen Gesichtspunkte zusammengestellt, die bei einer praktisch brauchbaren Lösung der Aufgabe unbedingt bzw. zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Vorbautenanlage möglichst zu beachten sind. Als unbedingte Erfordernisse haben zu gelten:

- die Freihaltung des lichten Raumes,
- eine weitgehende Vernichtung der Gegenwinde,
- die Erhaltung der Wirkung nach b) bei allen auf das Gegenportal gerichteten Winden beliebiger Richtung und Stärke,
- die Erhaltung der Wirkung nach b) beim Arbeiten der künstlichen Lüftung,
- die Möglichkeit einer Anpassung der Vorbauten an die örtlichen Geländeverhältnisse.

Anzustreben ist:

- die Möglichkeit der Herstellung unter geringster Störung oder Gefährdung des Zugverkehrs,
- der Einbau der Vorrichtung ohne irgendwelche bauliche Veränderung an dem vorhandenen Portal,
- niedrige Erstellungskosten der Vorbauten.

6. Versuch II.

a) Modell.

Das Modell zur Versuchsreihe II [s. Abb. 7, Taf. 2]*), ausgeführt aus Holz in $\frac{1}{60}$ der natürlichen Größe, besteht aus einem auf einer ebenen Unterlage aufgesetzten Berg von 45° Neigung, durch den die Tunnelröhre (zweigleisiges Tunnelprofil) hindurchgeführt ist. Der zum Aufbau der nachstehend beschriebenen Vorbauten bestimmte, vordere Teil der Platte wurde halbkreisförmig ausgebildet, um durch Drehung des Modells die Wirkung seitlich anblasenden Windes erproben zu können. Die Vorbauten selbst bestanden aus 2 mm starken ebenen Blechen von 21 cm Höhe (entsprechend etwa der doppelten lichten Höhe des Tunnelprofils) bei Tiefen von 36; 29,8; 23,7; 12,1 und 7,6 cm. Dazu traten hölzerne Flugzeugflügelprofile gleicher Höhe bei Tiefen von 36; 29,8 und 23,7 cm. Der Gedanke, Flügelprofile für den vorliegenden Zweck zu verwenden, leitete sich her aus der Gegenüberstellung der Polaragramme von ebenen und Flügelprofilen (Seitenverhältnis 1:5) gleicher Flächenprojektion, die für die Flügelprofile erheblich größere Auftriebswerte zeigen; dies allerdings bei freier Anströmung der Profile und bei Anstellwinkeln bis etwa 20° (s. Textabb. 14).

Es entsprachen die Kurven:

- Ebene,
- Profil Göttingen Nr. 365,
- Profil Göttingen Nr. 432,
- Profil Göttingen Nr. 422.

Siehe hierzu: Hütte I, 25. Auflage. Mechanik und Göttinger Ergebnisse, Lieferung 1 und 2.

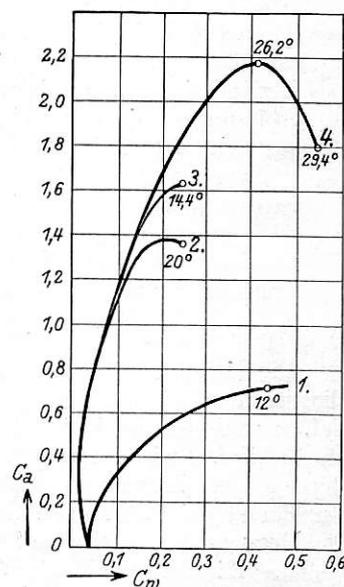


Abb. 14.

Da der Auftrieb sich als Differenz des Überdruckes auf der Flügelunterseite und des Unterdruckes auf der Oberseite ergibt, so war beim Anblasen eines vor dem Tunnelportal aufgestellten Flügelprofils in seiner Umgebung auch eine größere Unterdruckwirkung zu erwarten als bei der Ebene. Für die Versuche wurde das Profil Göttingen Nr. 365 gewählt, das bei ebener Unterseite einen besseren Vergleich mit der flächengleichen Ebene gestattete. Von den Versuchen mit den Profilen Nr. 3 und 4 (s. Textabb. 13) wurde einstweilen Abstand genommen.

b) Meßanordnungen der Versuchsreihe II

(s. Abb. 7, Taf. 2).

Die Versuchsreihe II wurde in dem geschlossenen großen Windkanal des Aerodynamischen Instituts der Technischen Hochschule in Aachen durchgeführt, der im Gegensatz zu Versuch I die Ausführung der Versuche ohne den störenden Einfluß der äußeren Witterungsverhältnisse gestattete. Das Modell wurde vor der Ausströmdüse des Windkanals aufgestellt und die Ebene des Modellbrettes durch eine in den Druckraum der Düse hineinreichende Platte aus Sperrholz verlängert. Diese Anordnung erwies sich als wesentlich, um den am Rande des eigentlichen Modells eintretenden Stau zu vermeiden und eine der Unterlage parallele Anströmung der Vorbauten zu erreichen. Die seitlichen Zwickel zwischen Brett und Modellunterlage wurden zur Herstellung eines ebenen Anschlusses durch entsprechende Stücke Zeichenpapier überdeckt. In die Hinterwand der Tunnelröhre wurde ein Glasrohr von 4,8 mm innerem Durch-

*) Die Angabe auf der Tafel 2, daß das Modell in natürlicher Größe dargestellt sei, ist unzutreffend.

messer luftdicht eingeführt, im rechten Winkel abgelenkt und seitwärts aus dem Düsenstrahl herausgeführt. Gemessen wurde:

1. an dem Prandtlrohr: b der Staudruck im freien Windkanal ($q^{i.K.}$),
2. ebenfalls vermittels Prandtlrohr: a der Staudruck vor dem Tunnel ($q^{v.T.}$),
3. entweder nach luftdichtem Abschluß der Glasröhre (e) vermittels einer Gummimembran durch ein im Punkt c eingeführtes Rohr der statische Überdruck oder Unterdruck im Tunnel ($s^{i.T.}$) oder bei offenem Glasrohr vermittels eines im Punkt d angebrachten Staurohres die Geschwindigkeit im Tunnel. Als Meßinstrumente dienten zur Messung von $q^{i.K.}$ und von $q^{v.T.}$ Fuesssche Manometer, deren Einstellkoeffizient dem spezifischen Gewicht des benutzten Alkohols entsprach $K=0,815$. Der statische Druck im Tunnel und die Geschwindigkeiten im Tunnelrohr wurden vermittels des Minimometers der Askania-Werke A. G., Berlin-Friedenau ermittelt, das nach einiger Übung die Ablesungen bis etwa $\frac{2}{100}$ mm WS gestattete. Da der statische Druck im freien Kanal und im Versuchsraum nur ganz geringe Unterschiede aufwies, wurden die beiden in der Zeichnung skizzierter Messungsausführungen für $q^{i.K.}$ angewandt. Die Vorbauten V (Ebenen und Flügel) wurden auf dem Modellbrett vor dem Tunnelportal profilmäßig aufgestellt (s. Abb. 7, Taf. 2).

c) Allgemeine Erläuterung der Messungsergebnisse.

Die Messungsergebnisse der Versuchsreihe II sind in den Diagrammen Abb. 6 bis 10 der Taf. 1, Abb. 1 bis 6 der Taf. 2 und der Zahlentabelle zu den Strömungsbildern 1 bis 15, Taf. 2 wiedergegeben. Bei diesen Messungen, die dem Vergleich von Ebenen und Flügeln in ihrer Unterdruckwirkung am Portal bei äußerem Windangriff dienen sollten, genügt die Messung des statischen Druckes im geschlossenen Tunnel ($s^{i.T.}$). Hierbei wurde durchweg eine annähernd gleiche Geschwindigkeit des Anblasstromes vor dem Tunnel $v^{v.T.}=7,15$ m/sec eingestellt, entsprechend einem Staudruck vor dem Tunnel $q^{v.T.}=+3,18$ mm WS.

a) Messungen im geschlossenen Tunnel und bei symmetrischem Gelände.

Diagramm Abb. 6, Taf. 1. Es wurden eine oder zwei Ebenen von 21 cm Höhe und 23,7 cm Tiefe zur Tunnelachse jeweils in verschiedenen Abständen vom Tunnel angeblasen, wie dies durch Skizze angedeutet. Dem Staudruck im Kanal $q^{i.K.}=+3,93$ mm WS entsprach ein $q^{v.T.}=+3,18$ mm WS und ein $s^{i.T.}=+2,6$ mm WS ohne Vorbauten. Die obere Kurve entspricht der Verschiebung einer Ebene, die untere der des ganzen Paares. Es zeigt sich, daß mit wachsendem Abstand der Vorbauten vom Portal der Überdruck $s^{i.T.}=+2,6$ mm WS in einen Unterdruck $s^{i.T.}=-0,65$ mm WS übergeht. Die Punkte 30/40 usw. bedeuten eine Staffelung der Ebenen, so daß z. B. die eine 30 cm, die andere 40 cm vom Portal entfernt ist. Es ist bemerkenswert, daß derart aufgestellte Ebenen in erheblich kürzerem Abstände vom Portal Unterdrücke hervorrufen, und zwar größere als symmetrisch gestellte.

Diagramm Abb. 7, Taf. 1. Es wurden unter 45° aufgestellte Ebenen und Flügel gleicher Tiefe $t=23,7$ cm gegen das Portal verschoben. Hinsichtlich der Unterdruckwirkung zeigt sich die Einzelebene dem Einzelflügel, der Doppelflügel der Doppalebene überlegen. Auch hier tritt die auffallende Wirkung der Staffelung in Erscheinung.

Diagramm Abb. 8, Taf. 1 gibt den Einfluß der Drehung der unter II. a) und b) aufgeführten Profile auf $s^{i.T.}$ bei gleichem Abstände vom Tunnelportal wieder.

Diagramm Abb. 9, Taf. 1 Verschiebung eines Flügel-paares von 36 cm Tiefe in 45° Stellung gegen das Portal.

Von einer Entfernung von 52 cm an bildet sich ein erheblicher Unterdruck $s^{i.T.}=-0,75$ mm WS aus, der bis zu der höchst darstellbaren Entfernung (Größe des Modellbrettes) von 80 cm annähernd konstant bleibt; von 75 cm ab sind die Werte schwankend.

Diagramm Abb. 10, Taf. 1 und Abb. 1, Taf. 2. Sie geben die Drehung wieder von Flügelprofilen verschiedener Tiefe (23,7; 29,8 und 36 cm) in gleichem Abstände vom Tunnelportal (66,5 mm); als Abstand wurde die Mitte des günstigsten Bereiches nach Abb. 9, Taf. 2 gewählt.

Diagramm Abb. 2 und 3, Taf. 2. Drehung des Einzelflügels und des Flügel-paares von 36 cm Tiefe in der erwähnten Mittellage und in den beiden Grenzlagen 52 und 80 cm vom Portal, gemäß Diagramm Abb. 9, Taf. 1.

Hiernach entsteht die größte Unterdruckwirkung am Portal:

1. für eine Ebene:
 - a) Winkelstellung: 30° und 60° (Abb. 8, Taf. 1),
 - b) mit wachsendem Abstand vom Portal (Abb. 6 und Abb. 7, Taf. 1 und Zahlentabelle Taf. 2);
2. für zwei Ebenen:
 - a) Winkelstellung: 30° und 75° bis 90° (Abb. 8, Taf. 1),
 - b) mit Abstand stetig wachsend (Abb. 6, Abb. 7 und Zahlentabelle, Taf. 1);
3. für einen Flügel:
 - a) Winkelstellung: 60° bis 70° (Abb. 8 und Abb. 10, Taf. 1),
 - b) mit Abstand un stetig wachsend (Abb. 3, Taf. 2);
4. für zwei Flügel:
 - a) Winkelstellung: 40° ($t=23,7$ cm) s. Abb. 1 und 2, Taf. 2, 45° bis 50° ($t=29,8$ cm); s. Abb. 1 und 2, Taf. 2, 45° bis 50° ($t=36$ cm) s. Abb. 1 und 2, Taf. 2,
 - b) bei 45° Stellung gleichbleibend von 52 bis 80 cm Abstand (Abb. 9, Taf. 1).

Folgerungen für die Wahl der endgültigen Vorbauten:

- a) Doppelflügel erzeugen größere Unterdrücke als Doppalebene gleicher Tiefe (Abb. 7 und 8, Taf. 1 und Zahlentabelle Taf. 2).
- b) Die 45° Stellung ist die günstigste für Doppelflügel (Abb. 2, Taf. 2).
- c) Unter 45° gestellte Doppelflügel ergeben gleich hohen Unterdruck bei weitgehender Unabhängigkeit ihres Portalabstandes (Abb. 9, Taf. 1) 52 bis 80 cm).
- d) Eine Vergrößerung der Flügeltiefe über 30 cm bringt anscheinend keine wesentliche Verbesserung der Wirkung mehr bei dem unter c) gemittelten Abstände von 66,5 cm (Abb. 9, Taf. 1 und Abb. 1, Taf. 2).

Demnach wurden als Hauptvorbauten gewählt: Doppelflügel von 36 cm Tiefe, in 45° Stellung und einem Portalabstände von 66,5 cm. Da sie bei seitlichem Windangriff das Portal nicht genügend abschirmten, wurden zwei weitere Flügelprofile von 23,7 cm Tiefe unter 30° im Portalabstände 42,5 cm zwischengeschaltet, deren günstigste Stellung durch Versuch ermittelt wurde.

Aus Diagramm Abb. 6, Taf. 2 sind die Werte zu entnehmen, die bei einer Drehung dieser Vorbautenanordnung von 0° bis 90° gegen den Anblasstrom ermittelt wurden. Aus der oberen Kurve, Drehung des Modellberges ohne Vorbauten, ergibt sich bei seitlichem Wind schon allein durch die Form der Portalöffnung ein Unterdruck, der sich nach der unteren Kurve deutlich zu der Wirkung der Vorbauten addiert. Wichtig ist die Feststellung, daß der bei 0° erzeugte Unterdruck bei beliebiger Windrichtung angenähert erhalten bleibt, oder sich gar noch wesentlich erhöht ($s^{i.T.}=-2,5$ mm WS gegenüber einem $s^{i.T.}=+2,6$ mm WS).

β) Messungen im geschlossenen Tunnel und bei unsymmetrischem Gelände.

Eine für die Anwendung der Vorbauten in der Praxis wichtige Versuchsreihe ist Abb. 2 bis 4, Taf. 3 dargestellt, aus der die hohe Unempfindlichkeit der gewählten Vorbautenanlage bei örtlich stark unsymmetrischem Gelände hervorgeht. Zu Abb. 2 ist zu bemerken, daß die Störungsebene von 36 cm × 21 cm in natürlicher Größe einer seitlichen Böschung von 21,6 m Länge und 12,6 m Höhe entspricht. In Abb. 1, c² gehört zu der Störungsebene 59 cm × 30 cm in natürlicher Größe eine seitliche Böschung oder lotrechte Wand von 35,4 m Länge und 18 m Höhe. Allgemein ist aus den Versuchen nach Abb. 2 bis 4 zu entnehmen, daß bei einseitig unsymmetrischem Gelände nur eine geringe Minderung der ohne Störungsflächen festgestellten Wirkung der Vorbauten eintritt. Ungünstiger jedoch wirken am Tunnelportal gelegene beiderseitige Böschungen nach Abb. 3; dies ist wohl auf eine erhebliche Störung der Strömungen an den Vorbauten zurückzuführen. Immerhin entsteht bei Böschungen von je 12,1 × 21 cm, entsprechend einer Länge von 7,26 m und 12,6 m Höhe natürlicher Größe noch ein Unterdruck $s^{i.T.} = -0,32$ mm WS. Auffallend ist, daß beim Versuch nach Abb. 4 eine die Vorbautenenden einer Seite verbindende senkrechte Wand e eine Erhöhung des ohne diese Wand gemessenen Unterdrucks $s^{i.T.} = -0,96$ mm WS auf $s^{i.T.} = -1,42$ mm WS bewirkt. Abb. 4, e₂ zeigt die ungünstige Wirkung beiderseitiger Störungsteile, Abb. 3f zeigt, daß sich die Unterdruckwirkung bei ebener oberer Abdeckung verschlechtert. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß bei Bergen größerer Höhe und stärkerer Neigung, als dem Modellversuch entspricht, durch eine obere Abdeckung der vorderen Vorbauten eine günstigere Wirkung erzielt werden kann.

γ) Messungen bei symmetrischem Gelände und offenem Tunnel starker Drosselung.

Es war von Wichtigkeit festzustellen, ob das bei geschlossenem Tunnel gemessene Verhältnis:

$$\frac{-s^{i.T.} \text{ Unterdruck mit Vorbauten}}{+s^{i.T.} \text{ Unterdruck ohne Vorbauten}}$$

auch bei offenem Tunnelrohr erhalten bleibt, das heißt, wenn durch den Unterdruck Luft angesaugt wird. Die entsprechenden Messungen sind aus dem Diagramm Abb. 4, Taf. 2 zu entnehmen. Es entspricht demnach einem $q^{v.T.} = 10$ mm WS

bei geschlossenem Tunnel: $\frac{-s^{i.T.}}{+s^{i.T.}} = \frac{2,65}{7,6} = 0,349$, andererseits

bei offenem Tunnel: $\frac{-q^{i.T.}}{+q^{i.T.}} = \frac{1,1}{3,325} = 0,331$. Die nach

Diagramm Abb. 4, Taf. 2 gemessenen Staudrücke wurden in Geschwindigkeiten umgerechnet (γ Luft des Versuches = 1,19 kg/m³) und in Diagramm Abb. 5, Taf. 2 eingetragen. Danach entspricht einer Anblasgeschwindigkeit vor dem Tunnel $v^{v.T.} = 10$ m/sec ein $v^{i.T.} = 5,75$ m/sec in Richtung des anblasenden Luftstromes ohne Vorbauten und bei Anordnung der Vorbauten eine Sauggeschwindigkeit $v^{i.T.} = -3,5$ m/sec. Die Vorbauten vernichten somit den Außenwind gänzlich und erzeugen im Tunnel sogar einen Saug-

wind, dessen Geschwindigkeit $\frac{3,5 \cdot 100}{5,75} = 61$ % der sonst in entgegengesetzter Richtung auftretenden Geschwindigkeit beträgt.

δ) Messungen bei symmetrischem Gelände, offenem Tunnel geringer Drosselung und bei künstlicher Lüftung.

Abb. 10 bringt den Abschlußversuch. Es galt noch die Frage zu klären, ob bei geringer Drosselung und auch beim

Arbeiten der künstlichen Lüftung und gleichzeitigem Gegenwind die früher beobachtete Wirkung erhalten blieb. Zu diesem Zwecke wurde an Stelle des Glasrohres von 48 mm lichtem Durchmesser ein Blechrohr von rund 120 mm lichtem Durchmesser, etwa der vollen Größe des Modell-Tunnelquerschnittes entsprechend, eingebaut. Außerhalb des Luftkanals wurde das Blechrohr düsenartig ausgebildet. Mit einem besonderen Kapselgebläse, das die künstliche Lüftungsanlage vertreten sollte, wurde Luft eingeblasen (s. Abb. 10).

Zur sinngemäßen Deutung der einzelnen Luftströmungen ist, umgekehrt wie früher, die Geschwindigkeit in Richtung der künstlichen Lüftung mit +, die Richtung des Gegenwindes auf das Portal mit - bezeichnet. In gleicher Weise wie in Diagramm Abb. 4, Taf. 2 wurden die gemessenen Staudrücke ermittelt und in Abb. 1, Taf. 3 eingetragen, Kurven 1^a und 2^a — Staudrücke infolge des Außenwindes ohne und mit Vorbauten —, 3^a und 4^a — Staudrücke wie vor beim Arbeiten der künstlichen Lüftung. Die Kurven 1^v bis 4^v entsprechen den in Geschwindigkeiten umgerechneten Staudrücken. Einer Geschwindigkeit $v^{v.T.} = -10$ m/sec entspricht nach 1^v und 2^v ohne Vorbauten die Geschwindigkeit $v^{i.T.} = -2,55$ m/sec und mit Vorbauten $v^{i.T.} = +1,6$ m/sec. Die Vorbauten verwandeln somit einen im Tunnel der künstlichen Lüftung entgegen wirkenden Wind in einen Mitwind, und

$$\text{zwar mit } \frac{1,6 \cdot 100}{2,55} = 62,5 \text{ \% Wirkungsanteil.}$$

Das Kapselgebläse allein erzeugt einen Staudruck im Tunnel $q^{i.T.} = +5,5$ mm WS, dessen Größe sich auch beim Einbau der Vorbauten am Gegenportal nicht meßbar veränderte. Dieser Staudruck verringerte sich bei wachsendem Gegenwind nach Kurve 3^a ohne Vorbauten ganz bedeutend ($q^{i.T.} = +0,13$ mm WS, wobei $q^{v.T.} = -8$ mm WS), dagegen wurde mit Vorbauten ein $q^{i.T.} = +0,685$ mm WS, also eine Erhöhung der Lüftungsgeschwindigkeit erzielt.

d) Untersuchung der Luftströmungen an profilfrei aufgestellten Tunnelvorbauten.

Um die Strömungsverhältnisse im aerodynamischen Feld der Vorbauten zu klären, wurden auf der Modellplatte in gleichen Abständen von 5 cm rund 160 Nadeln von 4½ cm Länge aufgestellt. Die Nadeln trugen kurze Seidenfäden. Die bei verschiedenen Vorbautenzusammenstellungen auftretenden Strömungsbilder wurden photographiert, wobei zugleich die zugehörigen Meßwerte ermittelt wurden (s. Zahlentafel zu den Strömungsbildern 1 bis 15, Taf. 2. Die Abb. 4 bis 9, Taf. 4 ist eine Wiedergabe der Strömungsbilder 10 bis 15, bei der die Richtung der Fähnchen durch kleine Pfeile und die hiernach sich ergebenden Stromlinien durch dick ausgezogene Linien mit Pfeil gekennzeichnet wurden. Bei der Ebene von 36 cm Tiefe, die in einem Abstände von 66,5 cm vor dem Portal — 6,5 cm seitlich der Tunnelachse unter 45° aufgestellt wurde, lösen sich an den scharfen Vorder- und Hinterkanten Luftwirbel ab; der Vorderkantenwirbel vergrößert sich in dem Unterdruckgebiet hinter der Ebene, während Wirbel an der Hinterkante in einer Wirbelstraße fortgeführt werden. Zugleich fließen die Randteile des großen Wirbels, in deren Bereich das Tunnelportal liegt, ebenfalls in das Unterdruckgebiet der Ablösewirbel der Hinterkante ab (s. Strömungsbild 4. Am Tunnelportal entsteht ein Druckabfall von +2,7 mm WS auf +1,0 mm WS.

Strömungsbild 5 zeigt für einen Flügel gleicher Tiefe angenähert das gleiche Bild, jedoch eine weniger starke Druckverminderung (+1,2 mm WS), wie bei der Ebene (+1,0 mm WS). Die günstigere Wirkung der Ebene gegenüber dem Flügel ist wohl darauf zurückzuführen, daß die Energie der Ablösewirbel an der abgerundeten Flügelvorderkante geringer ist

und dadurch Wirbelzentrum und Wirbelstraße sich in einem größeren Abstände vom Tunnelportale einstellen.

Strömungsbild 6 gibt das Strömungsbild zweier unter 45° profilmäßig aufgestellter Ebenen wieder. Es bilden sich auch diesmal hinter jeder Platte große Wirbel aus, deren Lage jedoch, wenigstens bei der gewählten Entfernung der Vorderkanten von 13 cm, in der Anblasrichtung gegeneinander verschoben sind; anscheinend ist dies die stabile Strömungsform. Der Charakter der großen Wirbel hat sich hierbei geändert. In ihrem Bereich bildeten sich eine Reihe kleiner Einzelwirbel, anscheinend hervorgerufen durch Einengung der großen Wirbel infolge der in der Mitte einströmenden Luftmengen; der Zerfall in Einzelwirbel erklärt sich wohl durch die hierbei im großen Wirbel eingetretene Erhöhung der inneren Reibung. Die Ablösung der Wirbelstraßen an der Plattenhinterkante vollzieht sich ähnlich wie beim Einzelteil. Die Strömung am Portal ist nach den Gebieten größten Unterdrucks, also nach der Seite gerichtet, wo sich an der Vorbautenvorderkante die stärkste Wirbelablösung einstellt, in diesem Falle nach rechts. Der Druck im Tunnel ist von $+2,7$ mm WS auf $-0,71$ mm WS gesunken.

Treten an Stelle der Ebenen zwei Flügel gleicher Tiefe (36 cm), so ändert sich das Strömungsbild vollkommen (s. Strömungsbild 7). Es bildet sich bloß ein großer Wirbel aus. Die durch die Mittelöffnung strömende Luft wird vollkommen nach der Oberseite des Flügels abgelenkt und strömt dieser entlang (ähnlich wie bei der Potentialströmung). Die an der Vorderkante des rechten Flügels sich ablösenden kleinen Wirbel fließen in einer Straße gleich großer Einzelwirbel unter 45° nach links ab. An der Hinterkante des Ablöseflügels bildet sich wie früher eine Wirbelstraße aus. Die Luftströmung am Portal ist wie unter Strömungsbild 12 nach dem Ablöseflügel gerichtet; der erzeugte Unterdruck im Tunnel ist $-0,92$ mm WS. Die höhere Unterdruckwirkung gegenüber den Doppelseiten dürfte darauf zurückzuführen sein, daß in diesem Falle der Gesamtverlust an Wirbelenergie im aerodynamischen Feld vor dem Tunnel geringer ist.

Die Strömungsbilder 8 und 9 zeigen die Strömungsbilder bei Zwischenschaltung zweier unter 30° gestellter Vorbauten. Bei den Ebenen ist der vor dem Strömungsbild 6 erreichte Unterdruck von $-0,71$ mm WS auf $-0,2$ mm WS zurückgegangen, was sich ohne weiteres aus dem Strömungsbild der Strömung erklärt. Demgegenüber ergibt sich bei den Flügelvorbauten eine weitere Erhöhung des Unterdruckes auf $-0,96$ mm WS. Der große Wirbel bleibt erhalten, der Abstrom vom Tunnelportal geht teilweise durch die mittleren Vorbauten, also auf dem kürzesten Wege; der andere Teil geht wie früher nach dem Unterdruckgebiet des Ablöseflügels. An dem rechten Innenflügel bildet sich ein Gebiet fast völliger Windstille aus (s. Buchstabe R, Strömungsbild 9). Durch eine Änderung der Innenvorbauten nach Stellung und Form erscheint eine Wirkungsverbesserung noch möglich. Es sei bemerkt, daß bei einer Drehung des Modells nach rechts um etwa 5° das Strömungsbild in ein genau umgekehrtes überspringt, wobei der linke Flügel Ablöseflügel wird.

e) Übertragbarkeit der Modellversuche.

Die Übertragbarkeit der Versuche von Modell (M) auf die Ausführung in natürlicher Größe (N) ist nach den Gesetzen der Aerodynamik gewährleistet, wenn sich bei geometrisch ähnlicher Formgebung des wirklichen Bauwerks geometrische ähnliche Luftströmungen einstellen. Dies ist der Fall, wenn beide:

1. gleiche Kennwerte: $E = v_m \cdot l_m = v_n \cdot l_n$ (gleiche kinematische Zähigkeit vorausgesetzt) und
 2. geometrisch ähnliche Rauigkeit der Oberflächen haben.
- Zur Ermittlung der Kennwerte sei v in m/sec und l in

mm ausgedrückt, wobei für l die größte Breite der Vorbauten — senkrecht zur Tunnelachse gemessen — gewählt wird.

Hiernach ergibt sich: $l = 130 + \frac{2 \cdot 360}{2} = 640$ mm.

Nach den Modellmessungen: Kurve 2^a, Abb. 1, Taf. 3 wächst der Saugdruck $q^{i.K.}$ im Meßbereiche stetig mit dem Staudruck $q^{v.T.}$, und zwar ist der untere gemessene Grenzwert: $q^{i.K.} = 0,11$ mm WS, der obere: $q^{i.K.} = 8,32$ mm WS.

Demnach ist: $\min v_m = \sqrt{16 \cdot 0,11} = 1,33$ m/sec und nach $\min E = 640 \cdot 1,33 = 850$.

Bedingung 1): $\min v_n = \frac{850}{640 \cdot 60} = 0,022$ m/sec.

Ebenso: $\max v_m = \sqrt{16 \cdot 8,32} = 11,52$ m/sec,
 $\max E = 640 \cdot 11,52 = 7380$,

$\max v_n = \frac{7380}{640 \cdot 60} = 0,192$ m/sec.

Die Bedingung gleicher Oberflächenrauigkeiten kann bei der Ausführung der Vorbauten in wahrer Größe ohne weiteres erfüllt werden. Nimmt man nämlich eine Unebenheit des Modellflügels von höchstens 0,1 mm an, so dürfen in der natürlichen Ausführung Unebenheiten der Oberfläche von 60facher Größe, also von 6 mm, auftreten. Diese Grenze kann sicher eingehalten werden.

Durch Messung ist mithin direkt festgestellt, daß schon bei kleinstem Außenwind ($v_N = 0,022$ m/sec bis $v_N = 0,192$ m/sec) auf die Vorbautenanlage natürlicher Größe die beobachtete Unterdruckwirkung unbedingt und im gleichen Maße wie am Modell eintritt.

Der Nachweis, daß dies auch bei beliebig stärkerem Außenwind der Fall ist, muß durch die Anwendung aerodynamischer Erkenntnisse auf die Stromlinienbilder (Abb. 6 bis 9, Taf. 4) geführt werden.

Der Staudruck des anströmenden Windes setzt sich, abgesehen von Wärmeverlusten innerhalb des Wirbelfeldes, an und zwischen der Vorbautenanlage in Druck und Reibungskräfte (Oberflächenreibung) um. Im vorliegenden Falle überwiegen die ersten erheblich, da das auf den Strömungsbildern festgestellte ausgedehnte Wirbelgebiet zwischen den Vorbauten einen großen Formwiderstand der Gesamtanlage erkennen läßt. Für einen Einzelteil, den sogenannten Potentialflügel, ist jedoch noch eine besondere Überlegung nötig.

Nach Abb. 6, Taf. 4 erleidet die mitten zwischen den Vorbauten einströmende Luft hinter den Vorderkanten der Vorbauten infolge der plötzlichen Querschnittserweiterung einen Druckanstieg von solcher Stärke, daß selbst an der scharfen Kante der linken Ebene die Ablösung von Wirbeln verhindert, diese hierbei nach links verschoben wird. Sie scheint durch die Kante wohl vorbereitet zu sein, aber erst infolge der weiteren Reibung an der Oberfläche der Ebene tatsächlich einzutreten. Bei der gekrümmten Vorderkante des linken Flügels nach Strömungsbild Abb. 7 und 9, Taf. 4 findet dieser Druckanstieg allmählich statt und zwar dergestalt, daß es jetzt nicht mehr zu einer Ablösung der Grenzschicht kommt. Geht man nunmehr vom Modell zum Bauwerk natürlicher Größe über und vergegenwärtigt man sich, daß bei einer geometrisch ähnlichen Vergrößerung des Flügels die Krümmung entsprechend kleiner ist, so wird die Möglichkeit der Grenzschichtablösung in zunehmendem Grade geringer. Da außerdem die Oberflächenrauigkeit, wie oben festgestellt, zum mindesten die gleiche bleibt, so ist auch bei beliebig stärkerem Außenwind das dargestellte Strömungsbild Abb. 9, Taf. 4 und damit ein proportionales Anwachsen des Unterdrucks vor dem Tunnel mit dem Staudruck des Windes gesichert.

Zum Schlusse sei noch festgestellt, daß die Herstellungskosten der Vorbautenanlage verhältnismäßig gering sind, da

die Vorbauten eine einfache Form haben, die im wesentlichen in Betracht kommenden Kosten der Gründungen durch geeignete Verbindung der Einzelteile niedrig bleiben und der Bau der Anlage ohne eine besondere Störung des Eisenbahnbetriebes durchgeführt werden kann.

Es sind somit sämtliche in den Richtlinien aufgestellten Punkte erfüllt.

Zur einwandfreien Anpassung der Vorbauten an örtlich stark unsymmetrisches Gelände sind zweckmäßige Versuche an einem einfachen Modell vorzunehmen und zwar könnten sie unter Benutzung des im Aerodynamischen Institut der Technischen Hochschule in Aachen vorhandenen Unterbaues durchgeführt werden.

7. Die besondere Wirtschaftlichkeit der Anordnung von Vorbauten bei „Saccardo“-Lüftungen.

Bringt man die Modellversuche nach Abb. 1, Taf. 3 in Beziehung zu den Betriebsversuchen R. Schumanns am Tauern-Tunnel, so läßt sich in einfacher Weise die Größe des durch Vorbauten am „Saccardo“ zu erreichenden wirtschaftlichen Erfolges nachweisen.

Zu diesem Zweck wurde auf Abb. 1, Taf. 4 das Diagramm Textabb. 9 in vergrößertem Maßstabe aufgetragen (Abb. a).

Abb. 2 gibt die prozentuale Häufigkeit der Jahresbodenwindstärken in Deutschland; man kann aus dieser Zusammenstellung entnehmen, daß ein Bodenwind $W_a = 5,5$ m/sec im Jahre am häufigsten auftritt und zugleich auch dem Jahresdurchschnitt entspricht.

Die Kurven 1^{vx} bis 4^{vx} der Abb. 1a entsprechen den Versuchswerten 1^v bis 4^v nach Abb. 1, Taf. 3. Als Abszissen sind die vor dem Tunnelportal herrschenden Bodenwinde $W_a = 0$ bis 15 m/sec, als Ordinaten die ihnen entsprechenden Geschwindigkeiten im Tunnel (V_t) aufgetragen. Die Ordinaten 1^{vx} sind festgelegt durch eine durch den Koordinatenursprung gehende Gerade. Ihre Neigung ergibt sich aus der Ordinate für $W_a = 15$ m/sec

$$v_t = - \sqrt{\frac{W_a^2}{1 + \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{U}{F} \cdot l_t}} = - \sqrt{\frac{15^2}{1 + \frac{0,025}{4} \cdot \frac{26}{46} \cdot 8550}} = - 2,69 \text{ m/sec.}$$

Die Ordinaten y der Kurven 2^{vx} , 3^{vx} und 4^{vx} ergeben sich dann durch Gleichsetzen der Verhältnisse:

$$\frac{y_1^v}{y_2^v} = \frac{y_1^{vx}}{y_2^{vx}}$$

welche Werte von der Verschiedenheit der äquivalenten Weiten des Versuchstunnels und des Tauertunnels unabhängig sind.

Demnach ergeben sich die Ordinatenwerte der Abb. 1a (siehe untenstehende Tabelle).

Die den Geschwindigkeiten $W_a = -5,0$; $-10,0$ und $-15,0$ m/sec entsprechenden Punkte der Kurven 2^{vx} und 1^{vx} dienen zur Zeichnung neuer Leistungskurven: α_5 , α_{10} , α_{15} und β_5 , β_{10} , β_{15} in Abb. a, die linear zwischengeschaltet wurden.

Die Kurven 3^{vx} und 4^{vx} bedürfen jedoch noch einer Korrektur nach Abb. 1, die dem Umstande Rechnung trägt, daß das „Saccardo“-Gebläse mit ringförmiger Strahldüse ungünstiger arbeitet als die Versuchsanlage mit mittlerer Strahldüse. Nach Abb. 1 braucht die künstliche Lüftung

allein ($W_a = 0$) 121 Drehungen des Ventilators in der Minute, um eine Lüftungsgeschwindigkeit $v_t = +3$ m/sec zu erreichen. Ist $n = 121 = \text{const.}$, so finden wir auf den Kurven α und β die v_t , welche bei den zugehörigen W_a auftreten. Überträgt man die Punkte nach Abb. 1a, so ergeben sich die tatsächlich eintretenden Kurvenwerte: 3^{vw} und 4^{vw} . Wie schon erwähnt, muß das Verhältnis der Ordinatenwerte:

$$\frac{y_3^{vx}}{y_4^{vx}} = \frac{y_3^{vw}}{y_4^{vw}}$$

sein. Beispielsweise ist in Abb. c bei $W_a = -15$ m/sec im Versuch:

$$\frac{y_3^{vx}}{y_4^{vx}} = \frac{1,85}{0,45} = 4,57.$$

Für den Tauertunnel:

$$\frac{y_3^{vw}}{y_4^{vw}} = \frac{2,425}{0,575} = 4,22.$$

Der geringe Unterschied dürfte auf die Verschiedenheit der Ein- und Ausströmungsverhältnisse an den Tunnelöffnungen zurückzuführen sein.

A. Die Leistungskurven L_i und L_i mit Vorbauten.

In Abb. d wurden die α - und β -Kurven der Abb. 1 eingetragen. Die Schnittpunkte der erstgenannten mit der horizontalen $v_t = 0$ wurden nach der für Kreisräder geltenden Beziehung: $\frac{L_0}{L_1} = \frac{n_0^3}{n_1^3}$ berechnet, wobei die Änderung der gleichwertigen Öffnungen durch Einführung der η -Werte (Diagramm siehe Textabb. 10) berücksichtigt wurde:

$$\frac{L_0}{L_1} = \frac{\eta_1}{\eta_0} \cdot \frac{n_0^3}{n_1^3}$$

Ergeben sich die Zahlenwerte:

$$L_{i5} = 55 \cdot \frac{0,685}{0,65} \cdot \frac{54,5^3}{60^3} = 43,5 \text{ PS,}$$

$$L_{i10} = 120 \cdot \frac{0,75}{0,75} \cdot \frac{85^3}{80^3} = 144 \text{ PS,}$$

$$L_{i15} = 240 \cdot \frac{0,75}{0,74} \cdot \frac{110,5^3}{100^3} = 328 \text{ PS.}$$

Die Verbindungslinie dieser Punkte in Abb. 4, Kurve L_i gibt dann in ihren Ordinaten die Leistung an, die bei verschiedenen Außenwinden von der künstlichen Lüftung zur Erreichung von $v_t = 0$ aufzuwenden wären.

Durch die Vorbauten wird jedoch nach Abb. 1a (2^{vx}) nicht nur der Wind vernichtet, sondern ein Saugen hervorgerufen. Die entsprechende Leistungskurve L_i mit Vorbauten ergibt sich wie vorher durch Eintragen nachstehender Größen in Abb. 4.

$$L_{mi5} = 120 \cdot \frac{0,753}{0,75} \cdot \frac{75,5^3}{80^3} = 101 \text{ PS,}$$

$$L_{mi10} = 425 \cdot \frac{0,73}{0,74} \cdot \frac{110^3}{120^3} = 323 \text{ PS,}$$

$$L_{mi15} = 690 \cdot \frac{0,71}{0,71} \cdot \frac{138^3}{140^3} = 662 \text{ PS.}$$

Die Ordinaten der Kurve L_i mit Vorbauten zeigen also die der Wirkung der Vorbauten gleichwertige Leistung der künstlichen Lüftung an. Beispielsweise ersetzen bei einem $W_a = 5,5$ m/sec. (Durchschnittswind) die Vorbauten eine Leistung von 120 PS.

	Kurve: 2^{vx}	Kurve: 3^{vx}	Kurve: 4^{vx}
Bei $W_a = -2$ m/sec	$y_2^{vx} = \frac{0,375 \cdot 0,462}{0,495} = +0,35$ m/sec	$y_3^{vx} = \frac{0,375 \cdot 0,02}{0,495} = +0,015$ m/sec	$y_4^{vx} = \frac{0,375 \cdot 0,06}{0,495} = +0,0454$ m/sec
Bei $W_a = -15$ m/sec	$y_2^{vx} = \frac{2,05 \cdot 1,8}{2,94} = +1,25$ m/sec	$y_3^{vx} = \frac{2,05 \cdot 1,52}{2,94} = +1,1$ m/sec	$y_4^{vx} = \frac{2,05 \cdot 0,44}{2,94} = +0,307$ m/sec

B. Ermittlung der Kurven L_3 ohne Vorbauten und L_3 mit Vorbauten.

Soll eine Lüftungsgeschwindigkeit von $v_t = +3$ m/sec. aufrecht erhalten werden, so ergeben sich die Leistungskurven L_3 ohne Vorbauten und L_3 mit Vorbauten in Abb. 4 in einfachster Weise als Verbindungslinien der Schnittpunkte der Ordinaten $v_t = +3$ m/sec. mit den zugehörigen α - und β -Kurven.

Wie man sieht, wäre nunmehr am Tauerntunnel im ungünstigsten Fall (Windstille an den Tunnelportalen, $W_a = 0$) von der künstlichen Lüftung eine Höchstleistung von 437 PS aufzuwenden. Die zwischen den beiden Kurven: L_3 ohne Vorbauten und L_3 mit Vorbauten liegenden Ordinaten geben die durch die Vorbauten erreichte Leistungsersparnis ΔL an. Beispielsweise ist bei $W_a = -5,5$ m/sec. $\Delta L = 265$ PS.

Betrieibt man andererseits die Anlage mit einem ständigen Kraftaufwand von 437 PS, so würde bei den verschiedenen Außenwinden eine der Kurve 4^{vw} Abb. 1a, Taf. 4 entsprechende Erhöhung der Lüftungsgeschwindigkeit eintreten. Beispielsweise wäre bei $W_a = -5,5$ m/sec. $v_t = +3,2$ m/sec.

Von grundlegender Bedeutung ist, wie die L_3 -Kurven zeigen, die Tatsache, daß sämtliche Winde beliebig hoher Geschwindigkeiten vernichtet werden; es können nach Hütte I, 25. Auflg., Seite 369 in Deutschland Bodenwinde bis 40 m/sec. Geschwindigkeit auftreten!

Die Lösung der für „Saccardo“-Anlagen besonders wichtigen Aufgabe, die Lüftungsverhältnisse im Tunnel bei beliebig starken Außenwinden zu beherrschen, dürfte hiermit in greifbare Nähe gerückt sein, wobei zu beachten ist, daß neben der Verringerung der direkten Betriebskosten die in der Einleitung erwähnten Vorteile einer wirkungsvollen Betriebslüftung der Anlage zugute kommen.

Das Heizwerk des Hauptbahnhofs Stuttgart.

Von Reichsbahnoberrat Maile, Reichsbahndirektion Stuttgart.

Hierzu Tafel 5.

Bei der Aufstellung des Programmes für die Erbauung eines neuen Hauptbahnhofs in Stuttgart, der im Jahre 1919 begonnen wurde, war im Zusammenhang mit dem in nächster Nähe des Bahnhofs gelegenen neuen Eisenbahndirektionsgebäude ein gemeinsames Heizkraftwerk ins Auge gefaßt worden.

Der erhebliche Umfang der Bauarbeiten erforderte aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine schrittweise Inangriffnahme einzelner Bauteile, die sich der allmählichen Überleitung des Verkehrs vom alten zum neuen Bahnhof anpaßte. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, in einzelnen Gebäuden oder Gebäudegruppen vorläufige und behelfsmäßige Wärmequellen einzurichten, bis es möglich war, nach Fertigstellung aller Erd- und Gründungsarbeiten ein einheitliches Rohrnetz zu verlegen, das alle Verbrauchsstellen an eine gemeinsame Wärmequelle anschloß.

Diese Heizanlagen, insbesondere auch diejenige des Direktionsgebäudes, wurden ihrer Bestimmung entsprechend möglichst einfach und billig eingerichtet, da sie ja nur für verhältnismäßig kurze Zeit in Gebrauch genommen werden sollten. Aber der Krieg und seine Folgen zogen die Bauarbeiten erheblich in die Länge und man war gezwungen die Behelfsanlagen lange Zeit in Betrieb zu halten. Nur mit Mühe und Sorge gelang es, die vielen Heizperioden ohne wesentliche Störungen zu überwinden. Andererseits aber ergab sich hierbei der Vorteil, daß das Ende 1928 fertiggestellte Fernheizwerk den vielfachen Änderungen des Bauprogrammes angepaßt werden konnte, die sich aus der erheblichen Verlängerung der Bauzeit im Zusammenhang mit den geänderten politischen und wirtschaftlichen Verhältnissen ergaben, wie beispielsweise

8. Schlußwort.

Der erste Teil der Versuche wurde schon im Jahre 1922/23 vom Verfasser, der s. Z. mit der Untersuchung der Lüftungsverhältnisse im Cochemer Tunnel von der Reichsbahndirektion Trier betraut war, im Aerodynamischen Institut der Technischen Hochschule Aachen durchgeführt. Leider vereitelte die Besetzung des Ruhrgebietes ihren Abschluß, so daß sie erst im zweiten Halbjahr 1927 durch das liebenswürdige Entgegenkommen der Leitung des genannten Instituts beendet werden konnte. Herrn Prof. Dr. v. Kármán, der sich von Anfang an für den Erfolg der Versuche einsetzte und Herrn Prof. Dr. Hopf danke ich hiermit bestens für die mir gegebenen Anregungen bei dem Ausbau der Versuche.

9. Literaturverzeichnis.

R. Schumann: „Die Lüftungsanlagen der Tauernbahn.“ Zeitschr. d. V. D. I., Jahrgang 1915, Heft 13 und 16. — E. Wiesmann: „Künstliche Lüftung im Stollen- und Tunnelbau, sowie von Tunneln im Betrieb.“ Zürich 1919. — Dolezalek: „Tunnel-lüftung“ in Rölls „Encyklopädie des Eisenbahnwesens.“ 2. Aufl. — Schubert, Carl: „Lüftung im Tunnelbau.“ Dresden 1912. — Lucas: „Der Tunnel.“ Band I, Verlag Ernst & Sohn. Berlin. — Andreae, C.: „Der Bau langer tiefliegender Gebirgstunnel.“ Berlin, Verlag Julius Springer, 1926. — Zollinger: „Wärmeverteilung im Innern verschiedener Alpentunnel.“ Zürich, Verlag Orell & Füssli. — Handbuch der Ingenieurwissenschaften I, 5 „Tunnelbau“. — Abhandlungen aus dem Aerodynamischen Institut an der Technischen Hochschule Aachen. Berlin, Verlag Julius Springer. — Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen. — „Handbuch der Physik“ Band VII, „Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper“. Berlin, Julius Springer 1927. — Fuchs-Hopf: „Aerodynamik.“ Berlin 1922, Verlag R. C. Schmitt & Co. — Hütte I, 25. Auflage, Abschnitt V Mechanik flüssiger und luftförmiger Körper. — Taschenbuch für Bauingenieure, 3. Auflage, 1. Teil.

die Einverleibung der württembergischen Staatseisenbahnen in das Reichsbahnnetz. Die Reichsbahndirektion Stuttgart verfügt heute über ein mit niederen Anlagekosten eingerichtetes, wirtschaftlich arbeitendes Heizwerk, welches über den verflochten harten Winter 1928/29 mit seinen ganz außergewöhnlich tiefen, anhaltenden Kälteperioden ohne Überlastung und ohne jegliche Störung seinen Dienst versah.

Die Reihenfolge des Entstehens der einzelnen Bauabschnitte und ihrer ursprünglichen Heizquellen ist aus Textabb. 1 zu ersehen.

Das im Jahr 1914 bezogene Geschäftsgebäude der damaligen „Generaldirektion der württembergischen Staatseisenbahnen“ war durch eine im Untergeschoß aufgestellte Kesselanlage geheizt, bestehend aus zwei früheren Lokkesseln mit je etwa 120 m² Heizfläche und Wanderrost bzw. Schrägrost.

Für die ersten Bauteile des Empfangsgebäudes des Hauptbahnhofs, in denen neben Betriebs- und Wirtschaftsräumen zunächst noch zahlreiche Baubüros untergebracht waren, wurde eine Heizung, bestehend aus sechs gußeisernen Warmwasserkesseln mit je 38 m² Heizfläche, eingerichtet.

Der mit dem Fortschritt der Bauarbeiten zunehmende Bedarf an Wärme, insbesondere an Dampf zum Vorheizen der Züge, an Stelle der zeitraubenden und unwirtschaftlichen Beheizung durch Einzellokomotiven, zwang dazu, die Errichtung eines Zentralheizwerkes zu beschleunigen. Der für das endgültige Werk vorgesehene Platz war jedoch zunächst noch mit Transportgleisen für Baustoffe belegt und stand nicht zur Verfügung, weshalb unter Zuhilfenahme von Kesseln ausgemusterter Lokomotiven nochmals eine provisorische Anlage eingerichtet wurde, die im Jahr 1923 in Betrieb kam.

Aufgestellt wurden zwei Kessel mit je 120 m² Heizfläche und Wanderrosten von je 3 m², die im allgemeinen ausreichten. Zur Verstärkung und als Reserve waren zwei weitere gleich große Kessel mit handbedienten Planrosten vorhanden. Alle Kessel waren an einen gemeinsamen Saugzug angeschlossen. Kalksodawasserreinigung war ebenfalls vorhanden. Von Förder- und Entladeanlagen für Brennstoffe und Rückstände wurde mit Rücksicht auf die Kosten und wegen Platzmangels Abstand genommen.

Vorübergehend war noch erwogen worden, die Bahnanlagen zusammen mit einer Anzahl von großen Geschäftshäusern und Gasthöfen, die im Stadtzentrum liegen, aus dem etwa 5 km im Vorort Münster gelegenen städtischen Dampf- elektrizitätswerk mit Wärme zu versorgen. Dieser Plan kam jedoch nicht zustande. Inzwischen war der Ersatz der alten Kessel im Direktions- gebäude, sowie der Anlage im Empfangsgebäude, die, aus der Kriegszeit stammend, von Anfang an nicht befriedigt hatte, dringend geworden und so wurde 1926 das endgültige Heizwerk zusammen mit dem Güterverwaltungsgebäude in Angriff genommen, welches zentrale Lage und die Möglich- keit für Zufuhr der Brennstoffe und Abfuhr der Rückstände vorteilhaft verband.

Um eine möglichst weitgehende Ausnützung des Werkes zu erzielen, bestand zunächst die Absicht, ein Kraftheizwerk anzulegen in der Weise, daß der in einem Hochdruckkessel erzeugte Dampf zum Antrieb von Turbinen und die Ab- wärme für Heizzwecke verwendet worden wäre. Die von den Turbinen erzeugte elektrische Energie sollte den Licht- und Kraftanlagen des Bahnhofes dienen. Die Untersuchung ergab jedoch, daß der erzeugte Strom nicht dauernd von den Bahnanlagen aufgenommen werden konnte, so daß nur übrig geblieben wäre, zeitweilig den Strom in das städtische Netz zu senden, an welches der Bahnhof angeschlossen ist. Diese Möglichkeit war aber durch vertragliche Bindungen erschwert, ein vollwertiger Ausgleich für die von der Reichsbahn zurückgelieferte Energie war nicht zu erwarten. Weitere Schwierigkeiten ergaben sich daraus, daß Licht- und Kraftspitzen mit den Wärmespitzen zeitlich nicht zusammenfielen. Höchstbedarf an Wärme bestand in den frühen Morgenstunden ehe die Beleuchtung einsetzte, während die Abendlichtspitzen dann eintraten, wenn die Gebäude- heizung abgedrosselt wurde und keine Züge mehr vorzuheizen waren. Entscheidend war schließlich die Kostenfrage, denn es bestand bei der ungünstigen Wirtschaftslage der Reichs- bahn keine Aussicht, die erheblichen Mittel für große Hoch- druckkessel und teure Dampfturbinen samt den elektrischen Anlagen freizumachen.

So ergab sich zwangsweise die Lösung in der Weise, daß unter Verwendung von in genügender Zahl zur Verfügung stehenden Reservekesseln ausgemusteter Lokomotiv- typen, also in behelfsmäßiger Weise, die Anlage erstellt wurde, sie kann aber auf lange Jahre hinaus als abschließliches Heizwerk den Dienst versehen, ohne daß die Möglichkeit genommen wäre, ein Kraftheizwerk nachträglich ein- zurichten, vielmehr wurde bei den Gebäudeplänen hierauf volle Rücksicht genommen.

Der Ausbau des Heizwerkes erfolgte in der Weise, daß zunächst im Jahre 1926 zwei Lokomotivkessel als Nieder- druckkessel aufgestellt wurden, welche den Wirtschaftsdampf und das warme Wasser für Heizzwecke des Empfangs- und Direktionsgebäudes zu liefern hatten, das frühere Heizwerk ver- sorgte die Zugvorheizung.

Im darauffolgenden Jahre wurde der letzte Bauteil des Hauptbahnhofs samt dem Reichsbahnhotel, das im ur- sprünglichen Bauprogramm noch nicht vorgesehen war, fertiggestellt. Im Zusammenhang damit wurde das Werk aus dem Jahre 1923 stillgelegt und dafür im neuen Werk neben den Niederdruckkesseln zwei Hochdruckkessel und schließlich im Jahr 1928 noch ein dritter Hochdruckkessel aufgestellt. Der allmähliche Ausbau brachte gleichzeitig eine erwünschte Verteilung der Kosten auf mehrere Jahre.

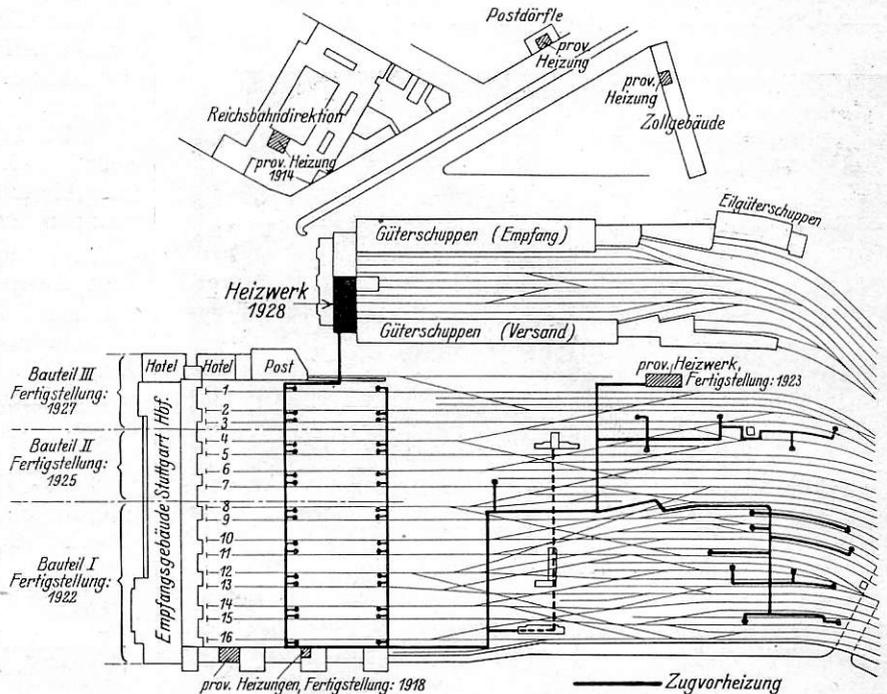


Abb. 1.

Als größter stündlicher Wärmebedarf der an das Heizwerk angeschlossenen Verbrauchsstellen war zugrunde gelegt:

- a) für Gebäudeheizung
 - 1. Empfangsgebäude mit Nebengebäuden 2900 000 kcal
 - 2. RBD.-Gebäude 1800 000 „
 - 3. Güterabfertigung 300 000 „
 - b) für Wirtschaftsdampf 800 000 „
 - c) Zugvorheizung 2200 000 „
- 8000 000 kcal

- Als weitere Anschlüsse sind noch vorgesehen,
- das Zollgebäude mit 350 000 kcal
 - eine größere Badeanstalt und Über- nachtungsräume in der Wohnkolonie
 - Postdörfle mit 450 000 „
 - ein Dienstgebäude (Wagenladungskasse) mit 200 000 „
- 1000 000 kcal

Mit dem heutigen Heizwerk werden insgesamt rund 1300 Räume mit einer gesamten Heizfläche von etwa 12000 m² geheizt, außerdem täglich etwa 40 Zugausrüstungen mit durchschnittlich je zwölf Wagen, wobei gleichzeitig bis zu sechs Ausrüstungen angeschlossen sind. Der technische Zusammenhang der Gesamtanlage ergibt sich aus dem Über- sichtsplan auf Taf. 5.

Als Brennstoff wird Ruhrnuss III ungemischt verwendet. Beimengung von Rauchkammerlösche kam nicht in Frage, da der gesamte Anfall des Bezirks von einigen anderen Kessel- anlagen aufgebraucht wird*). Die Kohlen kommen im Selbst-

*) Zum Beispiel in einem Kessel von 500 m² Heizfläche und 17 m² Rostfläche für die Zugvorheizung auf dem Abstellbahnhof Stuttgart-Rosenstein, in dem Nußkohle und Lösche im Verhältnis 1:1 verfeuert wird.

entlader in das Kohlenhaus und den darunterliegenden Bunker von 400 t Fassungsraum und werden aus diesem nach unten in Kippkarren abgezogen. Letztere gelangen über eine selbsttätige Waage zu einem Elektrozug, der sich an einer Laufschiene über die fünf nebeneinanderliegenden Einfülltrichter der Feuerungen weg bewegt. In gleicher Weise werden die Feuerungsrückstände in Handkarren nach unten abgenommen, horizontal unter einen zweiten Elektrozug gefahren und von diesem in einen neben dem Kohlenhaus im Sackgleis aufgestellten Schlackenwagen ausgeschüttet.

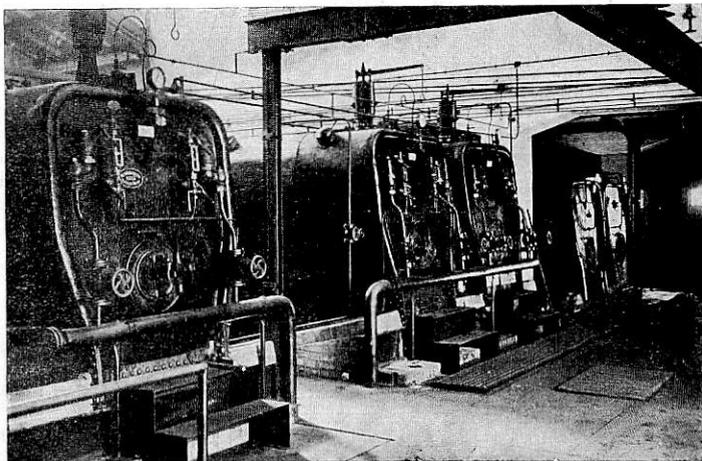


Abb. 2. Kessel-Feuerbuchsseite.

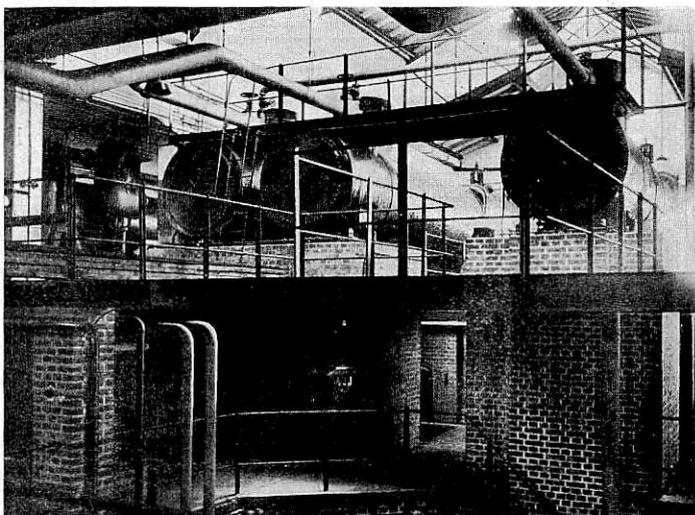


Abb. 3. Kessel-Rauchkammerseite.

Die verwendeten Kessel sind in zwei Gruppen zusammengefaßt, drei Hochdruckkessel im eigentlichen Kesselhaus, unmittelbar daneben und in gleicher Front liegend die zwei Niederdruckkessel (Textabb. 2).

Alle fünf Kessel sind genau gleicher Bauart mit einer Heizfläche von je 162 m². Sie sind mit der Feuerbüchse fest auf das Mauerwerk gestellt, vorne ruht die Rauchkammer auf Pendelstützen (Textabb. 3). Der Rauchabzug führt durch einen senkrechten, gemauerten Kanal nach unten in den gemeinsamen Fuchs und zum Schornstein, der sich mit einer oberen Lichtweite von 1,95 m, 50 m über Kesselhaussohle erhebt. Der Übergang von der eisernen Rauchkammer in das Mauerwerk ist durch Ringe mit Flüssigkeitsdichtung hergestellt.

Unter den Kesseln befinden sich Wanderroste gleicher Bauart von je 4 m² Fläche mit Pendelstauern, die durch Gebläse gekühlt sind. Die Roste sind so tief gelegt, daß ein

hoher Verbrennungsraum von 2,50 m bis Mitte Rohrwand entsteht, und eine völlig rauchfreie Verbrennung bei jeder Belastung erzielt wird. Ein Rost, dessen Kessel für die Erzeugung des kleinen Bedarfs an Niederdruckdampf während der Sommermonate dient, wurde teilweise abgedeckt.

Das der städtischen Wasserleitung entnommene Rohwasser gelangt über eine Kalksodawasserreinigungsanlage von 5 m³ Stundenleistung, wo die Härte von 18⁰ auf etwa 1⁰ herabgesetzt wird, zum Speisewasserbehälter und wird von hier durch drei beliebig zu schaltende Speisepumpen in die Hochdruckkessel gedrückt (Textabb. 4). Die Speisung der Niederdruckkessel erfolgt selbsttätig und ist durch Schwimmer geregelt.

Mit Hochdruckdampf unmittelbar ist lediglich das Rohrnetz für die Zugvorheizung gespeist, aus welchem der Dampf an zahlreichen, über die Bahnsteige 1 bis 16, sowie die Wartegruppen verteilten Zapfstellen entnommen wird.

Die ganze Raumheizung geschieht mit Warmwasser. Eine Ausnahme hiervon macht lediglich der Bahnhofturn, der mit Rücksicht auf seine Höhe von etwa 44 m über den Kesseln und den sich hieraus ergebenden hohen statischen Druck mit Niederdruckdampf geheizt wird, gleich wie einige wenige Diensträume, die ungünstig zwischen den Bahnsteigen liegen.

Einzelne kleinere Gebäude — Mannschaftshaus und Stellwerke — für welche lange Warmwasserzu- und -ableitungen erforderlich geworden wären, haben eigene Warmwasserheizung, deren Vorwärmer an das Hochdrucknetz der Zugvorheizung angeschlossen ist.

Außer dem eben erwähnten Turm, in welchem auf sechs

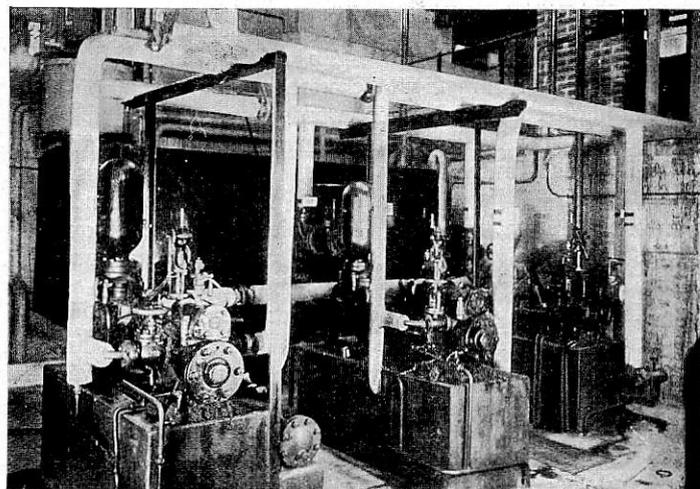


Abb. 4. Speisepumpen.

Stockwerken Wirtschafts- und Konferenzräume untergebracht sind, erhalten Niederdruckdampf: die Küche der Bahnhofswirtschaft, die Wäschereien des Reichsbahnhotels und der Bahnhofswirtschaft, sowie die Wasch- und Baderäume beim Friseur.

Der den Hochdruckkesseln mit einer Spannung von 6 bis 8 atü entnommene Dampf gelangt zunächst zum Hochdruckverteiler und von hier in einem Strang zur Zugvorheizung, in zwei weiteren Strängen zu je einem Dampfdruckminderer, um von hier mit der verringerten Spannung von 0,5 atü zum Niederdruckverteiler zu gelangen, in welchen die Niederdruckkessel ihren Dampf, sowie die Kesselspeisepumpen den Abdampf unmittelbar abgeben. Aus dem Niederdruckverteiler führt eine Leitung zum Empfangsgebäude für die Versorgung des Turmes, der Bahnhofswirtschaft und des Hotels. Die Versorgung dieser Stellen mit heißem Wasser für Wirtschafts-

zwecke geschieht ebenfalls mittels Niederdruckdampf unter Zwischenschaltung von Gegenstromapparaten.

Insgesamt sind verlegt:

Hochdruckdampfleitungen	2370 m
Niederdruckdampfleitungen	1180 „
Niederschlagwasserleitungen	1410 „
Warmwasserleitungen	36250 „

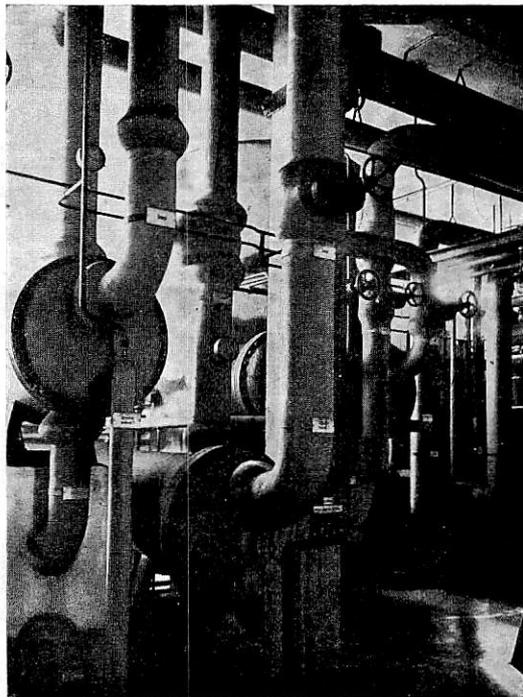


Abb. 5. Vorwärmer.

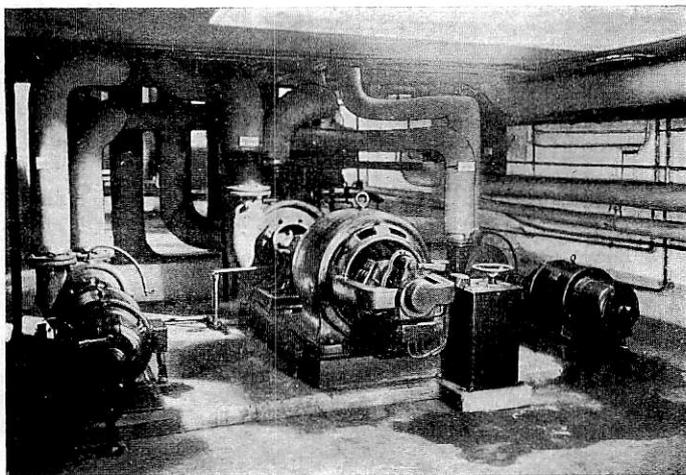


Abb. 6. Umwälzpumpen.

Das Wasser für die gesamte Raumheizung wird in zwei Gegenstromapparaten (Textabb. 5) mit je 180 m^2 Heizfläche auf eine Temperatur von 60 bis 70° im Mittel gebracht. Für den Wasserumlauf sorgen zwei Kreiselpumpen von je 28 m^3 stündlicher Leistung, sowie eine Kreiselpumpe von 85 m^3 Leistung bei 25 m Förderhöhe (Textabb. 6). Diese drücken das Wasser über einen Pumpenverteiler durch die Warmwasserbereiter und über den Vorlaufverteiler in das Netz, aus welchem es über den Rücklaufverteiler wieder zu den Pumpen gelangt. Die am höchsten über dem Kesselhaus gelegenen Heizkörper befinden sich im Direktionsgebäude, in dessen Dachgeschoß

das Ausgleichgefäß mit einem Fassungsraum von 12 m^3 in einer Höhe von 31 m über den Pumpen aufgestellt ist.

Die zur Überwachung des Kesselbetriebs nötigen Meßeinrichtungen sind auf einer gemeinsamen Tafel zusammengefaßt (Textabb. 7) und zwar drei Rauchgasprüfer „Ranarex“, zeigend und schreibend, je ein Dampfmesser Bauart „Klinkhof“ und „Eckardt“, zeigend und schreibend, drei Rauchgastemperaturmesser mit Umschaltung auf verschiedene Meß-

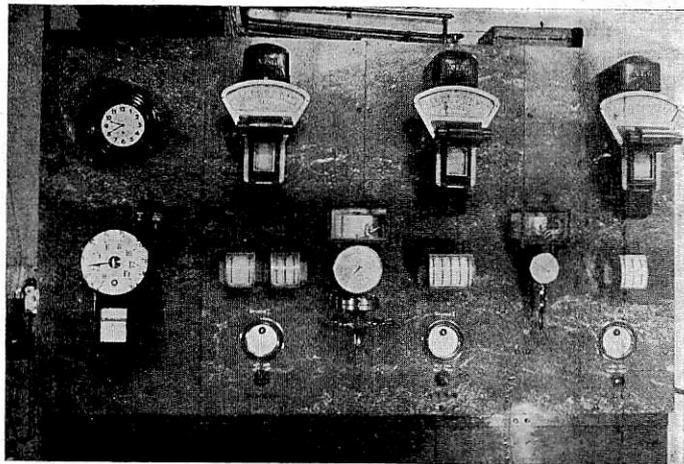


Abb. 7. Instrumente zur Überwachung des Kesselbetriebes.

stellen, ein Dampfdruckschreiber, drei mehrfache Zugmesser. Der gesamte Wasserverbrauch wird durch Wassermesser festgestellt.

Die Überwachung und Schaltung der eigentlichen Heizanlage ist auf einer besonderen Tafel zusammengefaßt (Textabb. 8). Auf ihr befinden sich außer einer Anzahl Druckmesser die Handräder für die Bedienung der Ventile und

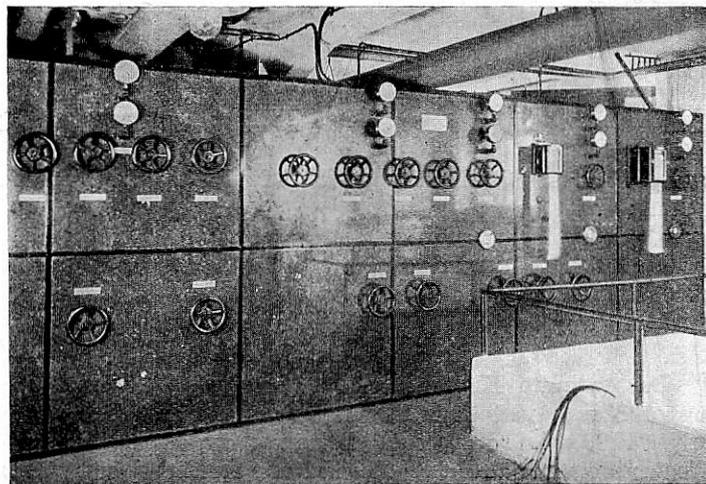


Abb. 8. Schalt- und Meßtabelle für die Heizung.

Schieber, einige Wassermesser zur Feststellung der Durchflußmengen, außerdem ein sechsfach-Farbenschreiber zur Registrierung der Wasser- und Lufttemperaturen, sowie ein Wasserstandsfernmesser, zeigend und schreibend, zur Anzeige des Wasserstandes im Ausdehnungsgefäß, mit automatischem Läutwerk bei unzulässigem Absinken des Wasserspiegels.

Der Betrieb des Heizwerkes geht Tag und Nacht durch. Im Sommer ist ein Niederdruckkessel im Feuer, in der Übergangszeit ein Niederdruck- und ein Hochdruckkessel, im Winter reichen in der Regel zwei Hochdruckkessel aus. Während der großen Kälteperiode im Februar 1929 waren

zwei Hochdruck- und ein Niederdruckkessel im Betrieb, so daß bei noch stärkerer Beanspruchung oder beim Anschluß weiterer Wärmeverbraucher noch ein Hoch- und ein Niederdruckkessel zur Verfügung sind.

Während der stärksten Inanspruchnahme der Heizung bei Außentemperaturen bis zu -25° stieg die in drei Kesseln stündlich erzeugte Dampfmenge auf 12000 kg, was einer durchschnittlichen Kesselbelastung von 25 kg entspricht, vorübergehend stieg die Belastung auf 35 kg. Der durchschnittliche Kohlenverbrauch betrug während dieser Zeit täglich 26 t.

Im Jahr 1928/29 wurden insgesamt 27200 t Dampf mit einem Aufwand von 3149 t Kohlen erzeugt. Der größte Monatsverbrauch des verflossenen Winters betrug im Februar 1929, wo zwei Hochdruck- und ein Niederdruckkessel im Betrieb waren, 5725 t Dampf, erzeugt mit 600 t Kohlen oder

Brennstoff:

Verheizt im ganzen Ruhrußkohle III 3820 kg
 „ in 1 h 467,5 „
 „ in 1 h auf 1 m² Rostfläche . . 117 „
 Heizwert der Kohle 7181 kcal

Herdruckstände:

Anfall im ganzen 308 kg
 in % des verheizten Brennstoffs . . . 8,1 „
 Verbrenliches in den Rückständen . . 23,7 „

Speisewasser:

Verdampft im ganzen 34375 „
 „ in 1 h 4207 „
 „ auf 1 m² Heizfläche in 1 h . 26,0 „
 Speisewassertemperatur im Mittel . . . 64^o

Verbrennungsluft:

Mittl. Temp. im Kesselhaus 20^o

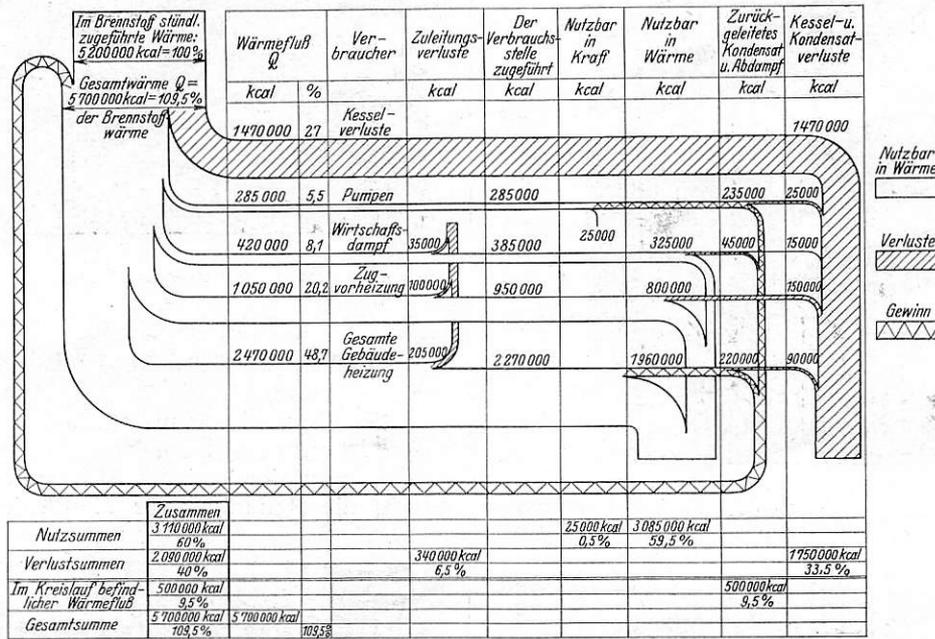


Abb. 9. Wärmeflußplan der Heizanlage Stuttgart Hbf.

im Tagesdurchschnitt 204 t Dampf mit 21,4 t Kohlen. Hiervon entfällt:

- auf die Zugvorheizung rund 28 %
- auf Wirtschaftsverbrauch 10 %
- auf Reichsbahndirektion 22,5 %
- auf Bahnhof und Nebengebäude . . . 39,5 %
- 100,0 %

Das gesamte Kondensat mit Ausnahme des durch die Zugvorheizung verlorengehenden wird in einer Menge von rund 21000 t im Jahr zum Heizwerk zurückgeführt, entsprechend einem jährlichen Gewinn von rund 9% oder 280 t Kohle.

Die Verteilung der erzeugten Wärme ergibt sich ohne besondere Erläuterung aus dem Wärmeflußplan (Textabb. 9).

Ein vorgenommener Verdampfungsversuch hatte folgende Ergebnisse:

Verdampfungsversuch an einem Lokomotivkessel.

Kesseldaten:

- Nr. 3204
- Baujahr: 1902
- Heizfläche: 162 m²
- Rostfläche: 4 m²
- Zulässiger Dampfdruck: 11,0 atü.

Versuchsdaten:

Versuchsdauer 8,17 h

Dampf:

Überdruck im Mittel 5,5 atü
 Dampftemperatur 161^o
 Erzeugungswärme von 1 kg Dampf . . 597 kcal

Heizgase:

CO₂-Gehalt im Mittel 11,7 %
 CO₂+O₂-Gehalt im Mittel 19,1 %
 O₂-Gehalt im Mittel 7,4 %
 CO-Gehalt 0
 Durchschnittstemperatur am Kesselende 260^o

Verdampfung:

1 kg Brennstoff verdampfte Wasser . . 9,0 kg
 auf Normaldampf bezogen 8,4 „
 Luftüberschuß 1,52fach

Wärmebilanz bezogen auf 1 kg Brennstoff.

	kcal	%
Ausgenützt sind	5373	74,8

Verluste:

- a) durch Abgabe im Schornstein 955 13,3
- b) durch Unverbranntes in den Rückständen 155 2,2
- c) Restverlust durch Strahlung, Leitung usw. 698 9,7

Heizwert des Brennstoffs 7181 100

Brennstoffpreis:

für 1000 kg Brennstoff am Verwendungsort 25,95 *R.M.*

Dampfpreis für 1000 kg Dampf 2,88 „

Die Bausumme des Werkes läßt sich genau nicht ermitteln, da das Kesselhaus mit dem Güterverwaltungsgebäude ein Ganzes bildet und die Kosten für das erstere nicht auszuscheiden sind. Auch die Bewertung der Einrichtung ist nicht genau festzustellen, da die Kessel, die Speisepumpen, verschiedene eiserne Behälter, eiserne Träger usw. in gebrauchtem Zustand verwendet und daher mit dem Altstoffwert in Rechnung gestellt wurden. Unter diesen Voraussetzungen berechnen sich die annähernden Kosten des eigentlichen Werkes zu:

1. Gebäudeanteil, Fundamente, Kesseleinmauerung, Schornstein, Kohlenbunker .	209000 <i>R.M.</i>
2. Fünf Kessel mit Zubehör, Wanderroste, Wasserreiniger, Kompressor zum Ausblasen der Rohre, selbsttätige Waage, Speisepumpen, Speisebehälter, zwei Elektrozüge, Hauptwassermesser, zugehörige Rohrleitungen	116000 <i>R.M.</i>
3. Warmwasserbereitungsanlage, Dampfdruckminderer, Verteiler, Umwälzpumpen, zugehörige Rohrleitungen . .	70000 „
4. Meß- und Überwachungseinrichtungen .	6000 „
5. Elektrische Anlagen und Installation .	7000 „
Zusammen .	408000 <i>R.M.</i>

Auswechslung der eisernen Überbauten der Schwarzbachtalbrücke in Barmen.

Von Reichsbahnoberrat Leopold.

In letzter Zeit ist im Bezirk der Reichsbahndirektion Elberfeld die Eisenkonstruktion der Schwarzbachtalbrücke erneuert worden. Die neuen eisernen Überbauten bieten an sich nichts Außergewöhnliches. Immerhin ist die Stützweite der Blechträger mit je 30,20 m bei 2,70 m Stehblechhöhe beachtenswert. Der nicht alltägliche Montagevorgang verdient aber, kurz beschrieben zu werden, vor allem wegen der großen Höhe, in der er sich abspielte, und wegen der Schwierigkeiten infolge der engen städtischen Bebauung in nächster Nähe der Baustelle.

Es handelt sich um die in Abb. 2 wiedergegebene Brücke, auf der die eingleisige Verbindungsbahn zwischen den Bahnhöfen Barmen-Rittershausen und Barmen-Wichlinghausen

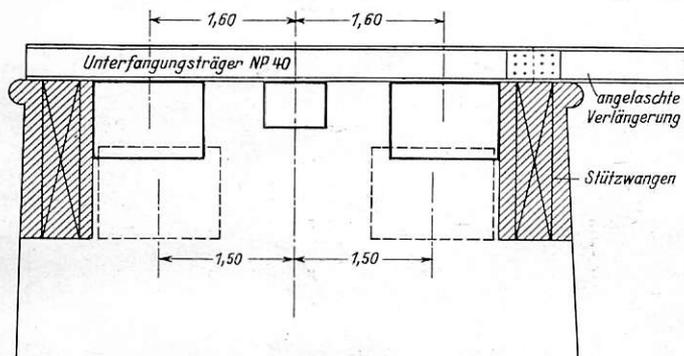


Abb. 1.

über das dazwischenliegende enge Tal hinüberführt. Das Bauwerk besteht aus drei gewölbten Steinbögen und im Anschluß daran aus weiteren drei Öffnungen, die mit Fischbauchträgern von je 30,15 m Stützweite überbrückt waren. Unter den beiden äußeren eisernen Überbauten führen städtische Straßen hindurch, der mittlere Überbau geht über Häuser hinweg. Zwischen die schweißeisernen Fachwerkträger der Überbauten (Baujahr 1889) wurde im Jahre 1910 noch je ein dritter Träger derselben Form als Verstärkung eingezogen, wie aus Abb. 2 zu ersehen ist. Die neuen Überbauten sind Blechträger mit hochgezogenen Enden und für Lastenzug N berechnet (Baustoff St 48, Niete aus Siliziumstahl).

Die folgenden Abb. 3 bis 5 zeigen die Auswechslung des Trägers für die mittlere Öffnung. Es handelte sich zunächst darum, die Auflagersteine aus Eisenbeton für den neuen Überbau herzustellen. Abb. 1 zeigt die Lage der drei alten und zwei neuen Auflagersteine (letztere punktiert) gegen den Pfeiler in der Gleisachse gesehen. Es wurden zunächst die in der Abb. 1 schraffierten Mauerwerkskörper seitlich der alten Auflagersteine in ganzer Pfeilerstärke beseitigt. Die Flächen der ausgebrochenen Teile sind auf Abb. 2 und 3 am Auflager des letzten Überbaues zu erkennen. An Stelle der fortge-

nommenen Mauerwerkskörper wurden Stützwangen aus vorhandener Eisenkonstruktion montiert, die für den vorliegenden Zweck besonders zugerichtet wurde. Diese Stützwangen sind

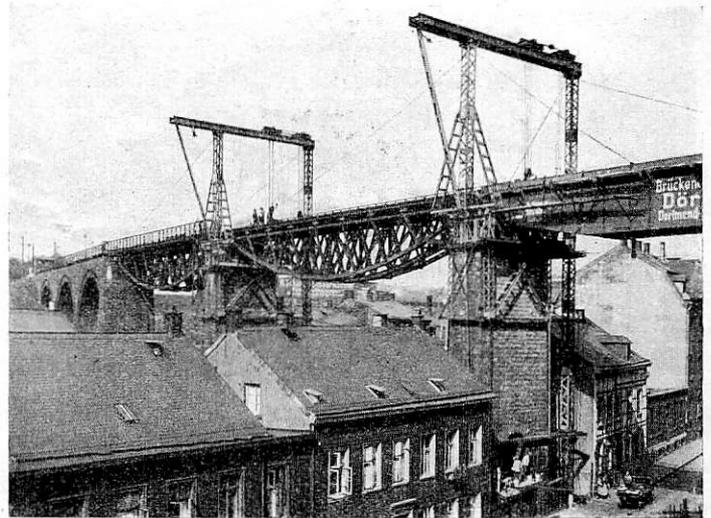


Abb. 2.

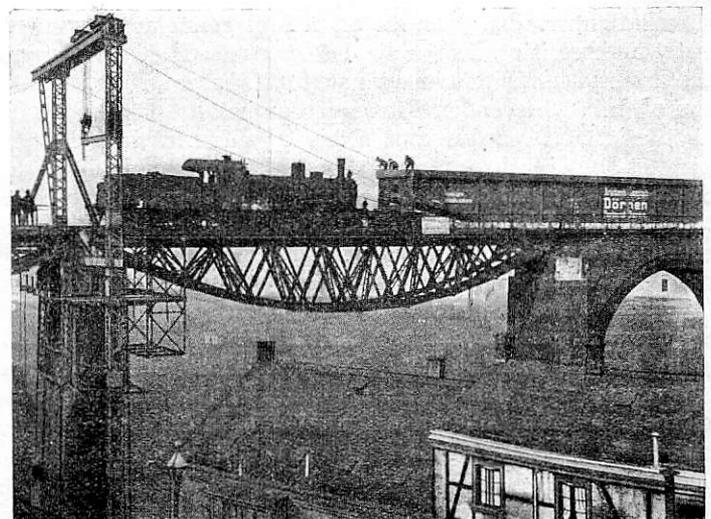


Abb. 3.

in Abb. 1 durch Kreuze angedeutet und auf den Abbildungen sichtbar. Sie erhielten als unteren Abschluß ein durchgehendes Blech, das auf dem Mauerwerk auflag und sorgfältig untergossen wurde. Um ein seitliches Kippen der Stützwangen zu ver-

meiden, waren sie an ihren Enden durch Stelzen verlängert, die auf den Langseiten der Pfeiler nach unten führten. Die Stelzen wiederum wurden durch zwei um die Pfeiler fassende Horizontalverbände gehalten, die einen senkrechten Abstand von 4,0 m voneinander hatten. Durch Holzkeile, die zwischen die Horizontalverbände und die Pfeilerflächen eingetrieben wurden, erhielt die Konstruktion einen unverrückbaren Halt. Es entstand dadurch zwischen Pfeiler und Hilfskonstruktion eine ähnliche Verbundwirkung wie zwischen einem Pyramidenstumpf und einem darüber gestülpten ähnlichen, hohlen Pyramidenstumpf. Die Flächen des Hohlpyramidenstumpfes sind hierbei durch die vier Stelzen mit ihren wagrechten Verbänden und dazwischen liegenden senkrechten Auskreuzungen ersetzt. Nachdem die Stützwangen fertig montiert waren, wurden die gußeisernen Lager des alten Überbaues entfernt, wodurch so viel Platz zwischen Oberkante des alten Auflagesteines und Unterkante der alten Konstruktion gewonnen wurde, daß die alten Überbauten mit zwei durchgeschobenen T-Trägern NP 40 unterfangen werden konnten, die ihrerseits wieder auf den Stützwangen auflagen (siehe Abb. 1). Zur Sicherheit wurden die Unterfangungsträger noch mit auf die alten Auflagersteine abgestützt. Um für die neuen, tiefer liegenden Auflagersteine Platz

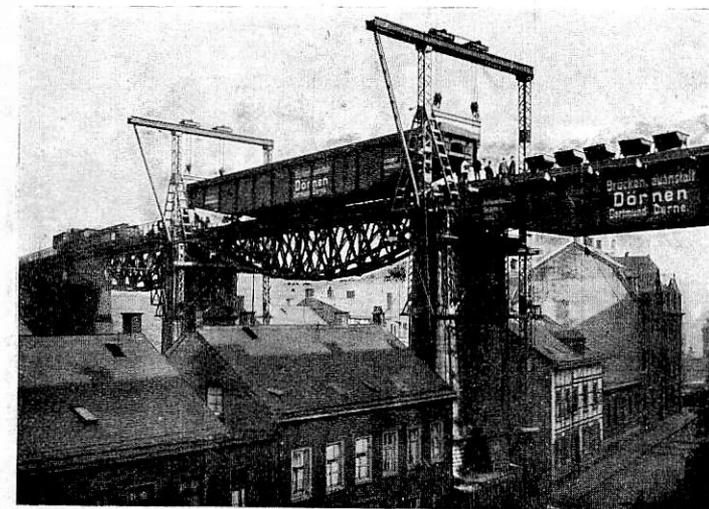


Abb. 4.

zu schaffen, wurden dann die alten Auflagersteine einzeln entlastet und beseitigt. Es war dies bei der großen Höhe und bei dem beschränkten Arbeitsraum eine sehr schwierige Arbeit. Sie ist von oben mit fliegenden Rüstungen ausgeführt worden, wobei die Besichtigungswagen der alten Überbauten gute Dienste leisteten. Bei jedem Überbau wurde jeweilig nur ein alter Stein beseitigt und durch den neuen, der fast genau unter ihm lag, ersetzt. Die aus schnellbindendem Zement hergestellten neuen Auflagersteine wurden nach Erhärtung sogleich wieder zur Abstützung der Unterfangungsträger mit herangezogen. Auf diese Weise war eine sehr große Sicherheit vorhanden bei der einstweiligen Auflagerung der alten Überbauten, über die ja der Betrieb während dieser ganzen Arbeiten ununterbrochen hinwegging. Die alten Steine konnten nicht im ganzen herausgebracht werden, sondern sie mußten in Stücke zerlegt und mit einem Flaschenzug nach unten befördert werden.

Für die eigentliche Montage der neuen Überbauten sind Portalkrane verwendet worden, wie aus den Abbildungen ohne weitere Beschreibung ersichtlich. Das eine Bein des Portalkranes stand im Dreiecksverband auf der einen Stützwange, das andere Bein mußte in voller Höhe nach unten geführt und hier jedesmal besonders fundiert werden, was möglich war, da auf der einen Längsseite der Brücke der erforderliche Platz für diese Fundamente und die lange Portalstütze zur Verfügung

stand. Die lange Stütze wurde mit den um die Pfeiler liegenden Horizontalrahmen verbunden. Selbstverständlich waren die Portale noch durch Drahtseile verspannt. Die Katzen auf den Querträgern der Portalkrane liefen in einer Höhe von 32 m über Talsohle. Die Unterfangungsträger der alten Überbauten erhielten eine angelaschte Verlängerung bis zum langen Bein des Portalkranes, um die alten Überbauten seitlich ausfahren zu können (siehe Abb. 1). Alles weitere ergeben die Abbildungen. Abb. 3 zeigt den neuen, auf Bahnhof Wichlinghausen zusammengenieteten Überbau, der auf zwei besonderen normalspurigen Wagen mit einer Lokomotive auf den auszuwechselnden

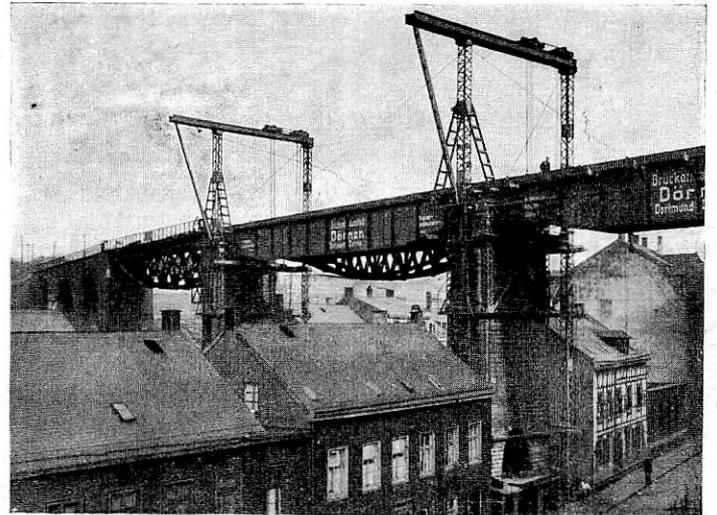


Abb. 5.

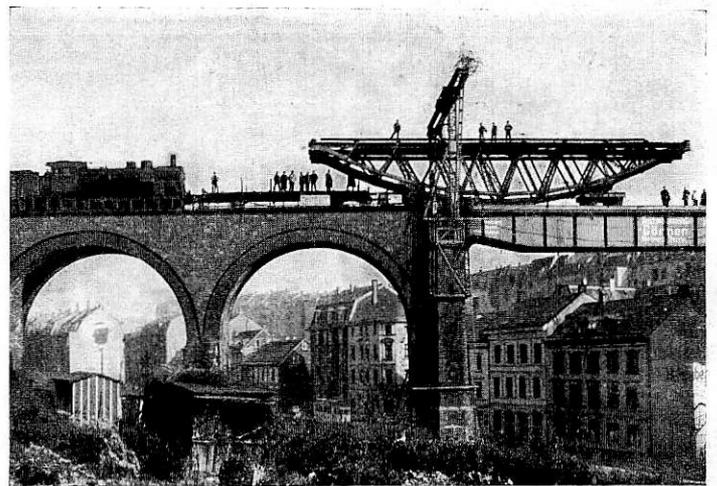


Abb. 6.

alten Überbau gefahren wird. Auf Abb. 4 sind Lokomotive und Beförderungswagen bereits entfernt, der neue Überbau hängt in den vier Flaschenzügen, die aus fünfteiligen Kloben bestanden, so daß jedes der zehn Seile eines jeden der vier Züge bei einem reinen Eisengewicht des Überbaues von 100 t rund 2,5t Last bekam. Gleichzeitig hat die Seitwärtsbewegung des alten, etwas hochgepumpten und auf Rollen gesetzten Überbaues begonnen, die mit besonderen Kabelwinden vorgenommen wurde. Vor dem Absenken des neuen Überbaues, das ebenfalls durch unten aufgestellte Kabelwinden von Hand erfolgte, mußten noch die einstweiligen Unterfangungsträger von ihren seitlichen Verlängerungen, auf denen jetzt der alte Überbau ruhte, abgelascht werden. Abb. 5 zeigt den abgesenkten neuen Überbau, endgültig in seinen Lagern liegend. Der alte Überbau wurde am Tage darauf gehoben, mit Hilfe der Katzen seitlich verfahren,

auf die Beförderungswagen gesetzt und fortgeschafft. Abb. 6 zeigt die Beendigung der Gesamtarbeit; der alte Träger der dritten Öffnung tritt seine letzte Fahrt zur Verschrotungsstelle auf Bahnhof Wichlinghausen an.

Zu erwähnen bleibt noch, daß als Pause für die Auswechslung der einzelnen Überbauten jedesmal rund $6\frac{1}{2}$ Stunden zur Verfügung standen. Zwei Stunden hiervon waren für Gleisarbeiten nötig. Bei der Auswechslung des ersten Überbaues ist diese Zeit voll gebraucht worden, weil ein Stück aus dem alten Hauptträger am Auflager wegen eines im Wege stehenden Hauses herausgeschnitten werden mußte, um den

Überbau seitlich weit genug verschieben zu können. Die Auswechslung des zweiten Überbaues dauerte schon erheblich kürzere Zeit; beim dritten Überbau waren sämtliche Arbeiten in $4\frac{1}{2}$ Stunden erledigt. Die Maurerarbeiten sind von der Firma Wilhelm Müller, Elberfeld, ausgeführt worden. Die Herstellung der Eisenkonstruktion lag in den Händen der Brückenbauanstalt Dörnen in Dortmund-Derne, die auch die gesamte Montage vorbereitet und ausgeführt hat. Der beschränkte Raum erforderte ein gutes Zusammenarbeiten der genannten Firmen. Ohne jeden Unfall wurde die gesamte Arbeit beendet.

Berichte.

Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnüberbau.

Der Umbau der Weserbrücke bei Wehrden.

Unter den Brückenbauten der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, die in der letzten Zeit zur Durchführung kamen, ist die Weserbrücke bei Wehrden im Zuge der doppelgleisigen Hauptbahn Ottbergen—Northeim von besonderer Bedeutung, weil sie hinsichtlich der baulichen Durchbildung und der Aufstellungsarbeiten von den üblichen Anordnungen abweicht.

wieder zu verwenden. Die Wahl fiel deshalb auf Blechträger, die durch Anordnung der Auflager übereinander vollkommen mittig auf den Pfeilern gelagert werden konnten. Auch konnten die Blechträger, weil sie niedriger waren, im Werk nahezu fertiggestellt werden. Verschiedene örtliche Schwierigkeiten (Gleisverziehungen, schiefe Pfeilerstellung u. dergl.), die ohnehin verwickelte Sonderkonstruktionen erforderten, drängten außerdem

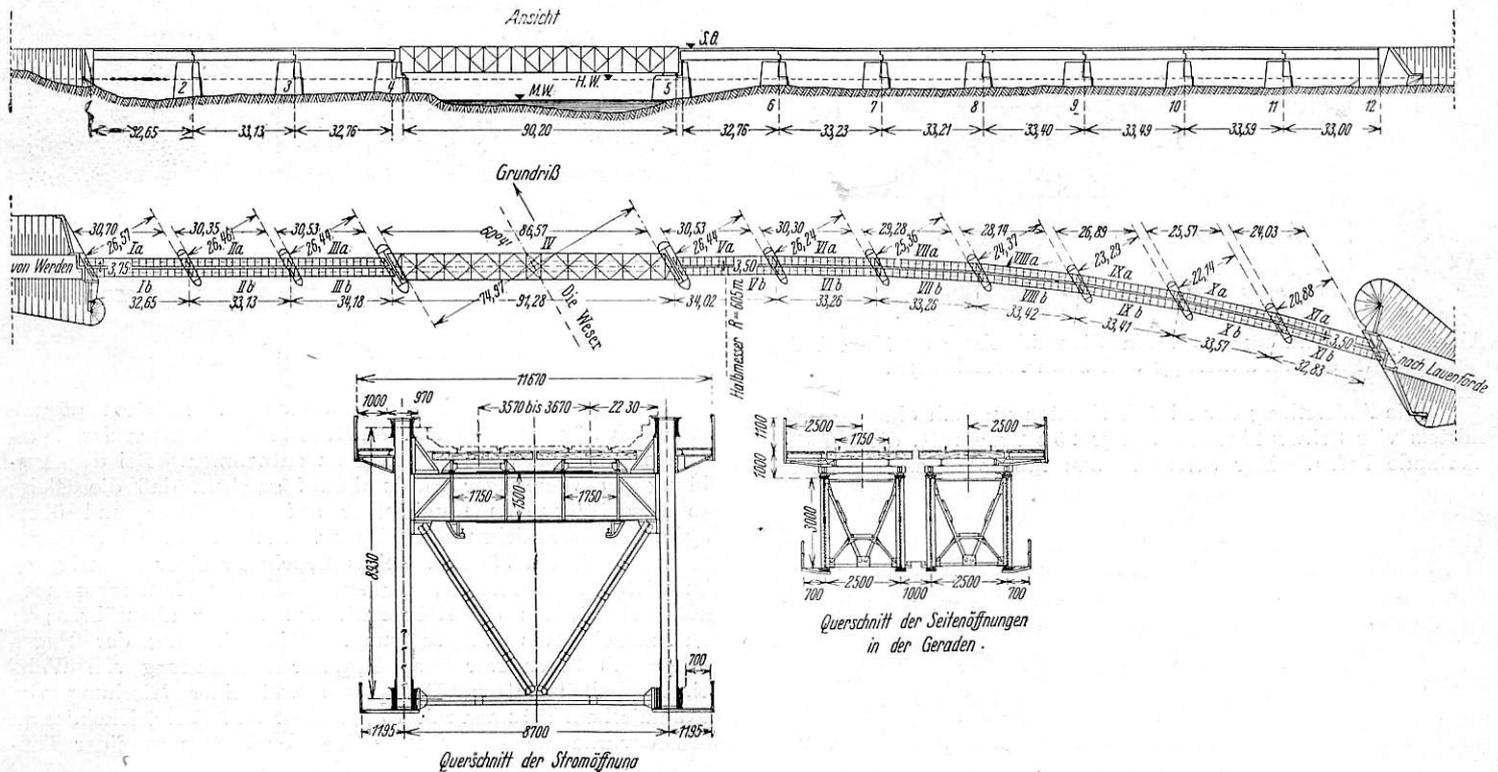


Abb. 1. Die neuen Überbauten.

Eine Verstärkung der Brücke, deren älteste Teile aus dem Jahre 1878 stammen, konnte mit vertretbarem Aufwand nicht mehr durchgeführt werden, da die Brücke künftig den Lastenzug N genügen muß. Man entschloß sich daher, die gesamten Überbauten zu erneuern.

Die Brücke hat eine Stromöffnung und zehn Flutöffnungen. Der Stromüberbau ist zweigleisig, hat eine Stützweite von 89,72 m und unten liegende Fahrbahn. Das System ist ein zweiteiliges Rhombenfachwerk mit parabolisch gekrümmtem Obergurt. Die Flutöffnungen sind durch eingleisige Parallelfachwerkträger (Rhombenfachwerk) mit oben liegender Fahrbahn und rund 35,5 m Stützweite überbrückt, von denen die auf der rechten Weserseite gelegenen in einer Kurve liegen. Grundriß und die Ansicht (mit den neuen Überbauten) sind in Abb. 1 dargestellt.

Ausschlaggebend für die Wahl der Überbauten über die Flutöffnungen war das Bestreben, die Pfeiler ohne Verstärkung

zu einer möglichst einfachen Bauart. Insbesondere war es in der Kurve nicht möglich, die Hauptträger der aneinanderstoßenden Überbauten mittig übereinander zu lagern, so daß die unten liegenden Träger kräftige Aussteifungen erhalten mußten. Die Querträger von 2,5 m Stützweite sind nicht fest angeschlossen, sondern ruhen auf gewölbten Stahlgußplatten auf dem Obergurt der Blechträger. Auch die Längsträger sind nicht angenietet, sondern verschraubt. In der Mitte der Überbauten sind Bremssträger eingienietet, in die die Längsträger mit einer in lotrechter Richtung frei beweglichen Konsole eingreifen, um eine freie Durchbiegung der Längsträger zu gewährleisten. Je zwei benachbarte Überbauten sind in der Mitte und in den Drittelpunkten im Ober- und Untergurt miteinander durch Gelenke verbunden, um die Seitenschwankungen möglichst zu vermindern.

Wegen der hohen Pfeiler konnte der Stromüberbau mit unten liegender Fahrbahn nicht mehr beibehalten werden. Der

auf der Berg- wie auch auf der Flachlandstrecke das wirtschaftlichste Betriebsmittel. Die Verwendung einer Achse oder eines Drehgestells des Wagens zu seiner Fortbewegung ermöglicht es, die Triebachse bis zum höchstzulässigen Schienendruck zu belasten und eine hohe Förderleistung mit dem geringsten Aufwand an Baustoff wie auch an Betriebspersonal zu erzielen.

Wagenachse und einer freien Treibachse, die von einer Zwillingsmaschine unmittelbar angetrieben wird. Das Treibgestell ruht mittels Blattfedern auf den beiden Achsen, trägt den Wagenkasten mit Spiralfedern an beiden Seiten des Drehgestellrahmens und führt den Wagenkasten vermittels des Kessels, der mit dem Gestell fest verbunden ist und einen Führungzapfen des Drehgestells

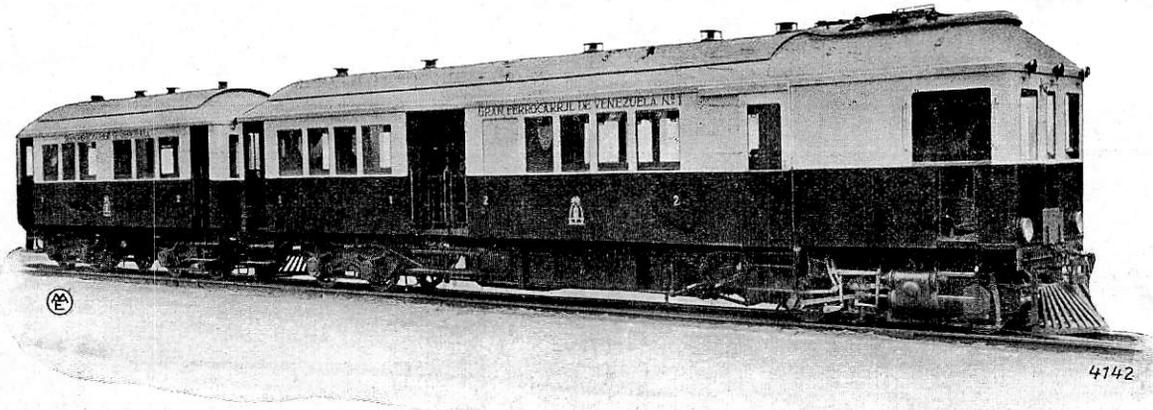


Abb. 1. Triebwagenzug.

Durch die Einführung des Triebwagens sollen die gleichen Erfolge wie bei vielen, besonders amerikanischen Bahnen erreicht und die Konkurrenz des Automobilverkehrs durch häufige Zugfolge und billigen und angenehmen Betrieb für die Bahn unschädlich gemacht werden. Dieser Betrieb bedingt, daß als Brennstoff venezuelanisches Öl verwendet wird, das der vielen Tunnel wegen rauchfrei und vollkommen verbrannt werden muß.

Die Maschinenfabrik Esslingen in Esslingen, die den Bau von Triebwagen mit Dampf- und Motorantrieb als Spezialgebiet seit 1879 betreibt, hat nach eingehenden Versuchen mit Feuerungen für venezuelanisches Öl den Triebwagenzug gemäß der Abbildung 2 und der folgenden Hauptangaben ausgeführt:

Heizfläche der Feuerbüchse	3,65 m ²
„ „ Rauchrohre	20,15 „
„ „ Siederohre	18,70 „
„ verdampfend	42,50 „
„ des Überhitzers	13,78 „
„ gesamt	56,28 „
Dampfdruck	16 at
Zylinderdurchmesser	240 mm
Kolbenhub	330 „
Treibraddurchmesser	850 „
Treibachslast, vollbesetzt	10,6 t
Speisewasservorrat	1,32 „
Ölvorrat	0,6 „
Mittlere Zugkraft	$0,5 \times 16 \frac{24^2 \cdot 33}{85} = 1800$ kg
Größte Zugkraft	$0,75 \times 16 \frac{24^2 \cdot 33}{85} = 2700$ „
Dauerleistung	130 PS
Größte Geschwindigkeit	50 km/h
Leergewicht des Wagens	28 t
Dienstgewicht des vollbesetzten Wagens	35 „
Laufdurchmesser	767 mm
Drehgestellabstand	10580 „
Achsabstand des Triebgestells	2400 „
„ „ Laufgestells	1500 „
Größte Höhe	3,9 m
Größte Breite	2,5 „
Sitzplätze	42
Anhänger:	
Leergewicht	12 t
Dienstgewicht, vollbesetzt	16 „
Drehgestellabstand	4700 mm
Achsabstand des Drehgestells	1500 „
Sitzplätze	32

Der Triebwagen hat einerseits ein normales zweiachsiges Drehgestell und andererseits ein Triebgestell mit einer gewöhnlichen

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. I.XVII. Band. 3. Heft 1930.

ersetzt. Sowohl die seitlichen Führungskräfte als auch die Zug- und Bremskräfte des Drehgestells werden vom Kessel auf das Untergestell des Wagens übertragen. Der Kessel, Bauart Kittel, hat einen Schmidtschen Kleinrohrüberhitzer, eine Wasserreinigungs- und Abschlammvorrichtung und ist mit einer Feuerung zur vollkommenen Verbrennung von Schweröl versehen.

Die Dampfmaschine hat eine Heusinger-Steuerung mit Kolbenschieber, der — wie auch der Dampfkolben — mit der Stange aus einem Stück besteht. Die Umsteuerung geschieht durch Handhebel und die Schmierung der Kolben und Stopfbüchsen durch eine vom Triebwerk angetriebene Bosch Schmierpresse.

Eine Luftdruck- und Handbremse wirkt auf alle Achsen, ein Luftdrucksandstreuer ist für beide Fahrtrichtungen vorhanden.

Der Triebwagen ist einmännig zu bedienen, alle Handhabungen des Führers während der Fahrt, wie die Bedienung des Reglers, Steuerhändels, der Zylinderhähne, des Sandstreuers, des Ölventils, der Luftklappe, des Injektors, der der Bremse und Pfeife werden ausgeführt, ohne daß der Führer seinen Stand wechselt.

Das Führerhaus ist durch eine Drehtüre mit dem Gepäck- oder Postraum und dieser durch eine Schiebetüre mit den Räumen für die Fahrgäste verbunden. Die Sitzabteile sind mit Schiebetüren abschließbar gegen die offenen, mit Notsitzen versehenen Abteile in der Mitte und am Ende des Wagens, die nach außen mit Dixtüren abschließbar sind. An den Stirnseiten sind die Wagenverbauten verglast und mit Übergangseinrichtungen versehen.

Beide Abteile erster und zweiter Klasse (siehe Abb. 3) haben einen Mittelgang, seitliche Quersitze mit umlegbaren Rückenlehnen, in der ersten Klasse mit Lederbezug und Armstützen, in der zweiten Klasse mit Rattan-Geflecht. Die Verschalungen und Gerippgehölzer sind Teak-Holz, das im Wageninnern poliert und außen bis zur Fensterbrüstung naturlackiert und darüber cremefarben gestrichen ist. Die Fußböden aus Pitchpine sind in den Sitzabteilen mit Linoleum belegt. Das Doppeldach ist außen mit Doppeldrell abgedeckt, mit einem Sonnendach und innen mit weißlackierter Steinpappe versehen. sämtliche Fenster sind herablaßbar, haben ebensolche Jalousien und außerdem Schiebevordänge in der ersten Klasse, Rollvordänge in der zweiten Klasse. Auch ist der Wagen mit einem Abort mit Wasserspülung, einer Wascheinrichtung, elektrischer Beleuchtung, Flettner-Lüfter, einem Eiskasten, Kristallspiegel usw. ausgestattet.

Der Anhänger in der gleichen Ausführung mit zwei zweiachsigen Drehgestellen, ebenfalls mit Wiege-Lagerung und Isothermo-Achsbüchsen, hat den mittleren Ein- und Ausgang nicht, auch zunächst keinen Abort.

Das Triebgestell und der fertige Triebwagen wurden auf dem Lokomotivprüfstand der Maschinenfabrik Esslingen und der

Wagen auf dem Geleise probiert. Das erstmalige Anheizen des Kessels und der Einmauerung dauert bei vorsichtiger Feuerung bis zum Höchstdruck etwa $1\frac{1}{4}$ Stunden, das Wiederanheizen von 0 at Kesselspannung etwa 20 Minuten. Bei mäßiger Anstrengung der Feuerung werden annähernd 130 kg Öl in der Stunde rückstandslos verbrannt, dabei etwa 1250 kg Wasser verdampft und auf 340 bis 380° C überhitzt, entsprechend einer Verdampfungsziffer von 9,6 und einem Kesselwirkungsgrad von 72%, ohne Berücksichtigung des Wärmeverlustes durch Injektor und Sicherheitsventil.

Die Feuerung läßt sich auf etwa $\frac{1}{5}$ Leistung zurückstellen, ohne wesentliche Änderung des Wirkungsgrades und die Luft- bzw. Ölzufuhr auf rauchlose Verbrennung einstellen und zwar durch Beobachtung der Abgase und des Heißdampfthermometers, das mittelbar den Luftüberschuß anzeigt, so daß der Kohlensäureanteil der Abgase möglichst unter 14% gehalten werden kann und die Wirtschaftlichkeit der Feuerung durch häufigen Ersatz der Schamottesteinausmauerung nicht beeinträchtigt wird.

Die Ergebnisse der Feuerung entsprechen denen der Vorversuche mit dem venezuelanischen Öl, das, stark verunreinigt,

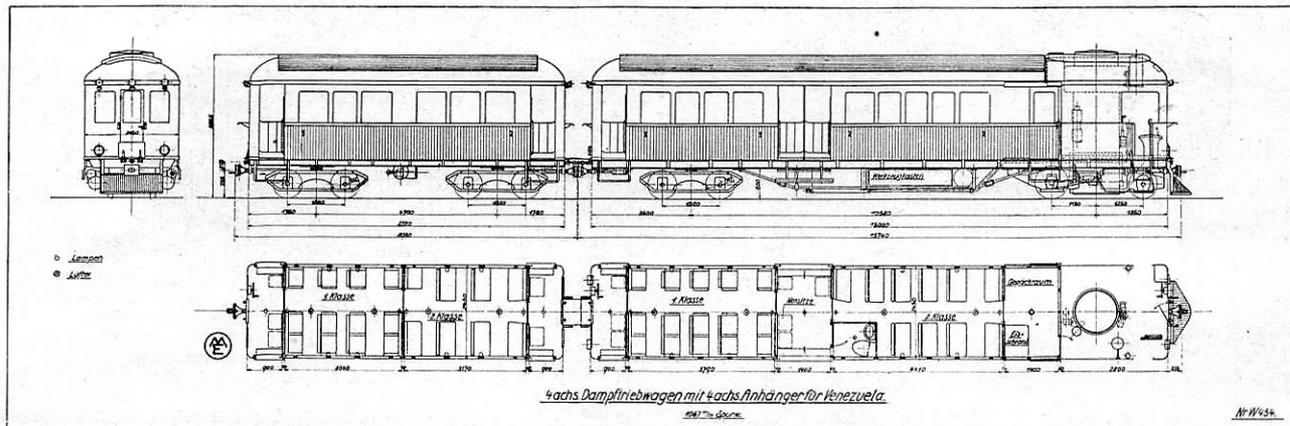


Abb. 2. Triebwagenzug, Aufriß und Querschnitt.

Hierbei ist die Maschinenleistung bei einer mittleren Fahrgeschwindigkeit von 30,2 km/h und nahezu gleichbleibender Zugkraft von 1205 kg zu 135 PS am Radumfang ermittelt worden, so daß sich ein Dampfverbrauch von 7,4 kg pro PS am Radumfang

erst bei 90° Vorwärmung eine Viskosität von 5° Engler zeigt und an die spezielle Ausbildung des Brenners hohe Anforderungen stellt, um eine vollkommene Verbrennung zu erreichen.

Die Zugkraft des Triebwagens wurde auf dem Gleise durch gebremste Anhänger zu 1600 bis 1800 kg am Zughaken festgestellt, also zu mehr als 1800 kg am Radumfang, ohne daß dabei mit dem unbesetzten, nur mit halben Vorräten versehenen Wagen die Treibachse ins Schleudern kam.

Mit dieser Zugkraft läßt sich der Triebwagen und Anhänger in der Horizontalen bei einer Anlaufstrecke von rund 50 m auf 20 und einer solchen von 90 m auf 30 km/h Fahrgeschwindigkeit bringen. Beim Anfahren auf der Steigung von $22,20/00$ und in der Kurve von 75 m Halbmesser würde diese Zugkraft den Fahrwiderstand decken, aber eine nennenswerte Beschleunigung nicht ergeben; doch kann bei Anstellen des Luftsandstreuers und Auslegung der Steuerung die Zugkraft noch auf nahezu $\frac{1}{4}$ der Treibachslast gesteigert werden, so daß auch hier noch eine Beschleunigung von $0,22 \text{ m/sec}^2$ aufgebracht wird.

Wagenkasten aus Aluminium.

Die amerikanische Pennsylvania-Bahn hat die Wagenkästen der neuen Personenwagen für eine elektrisch betriebene Vorortstrecke aus Aluminium anfertigen lassen, wobei die Bauteile genau dieselben Abmessungen erhielten wie die der älteren, aus Stahl hergestellten Wagen. Das gesamte Wagengewicht verminderte sich dadurch von 56 t um 10,5% auf 50 t. Je nach der Beanspruchung der einzelnen Teile wurden eine ganze Anzahl Aluminiumsorten verschiedener Zusammensetzung und Härte verwendet, vom handelsüblichen Reinaluminium mit geringer Zugfestigkeit bis zu Sonderlegierungen mit Kupfer-, Mangan- und Magnesiumzusatz und hoher Zugfestigkeit von 32 kg/cm^2 . Für einzelne Teile wurde auch Aluminiumguß angewendet. Nach zweijähriger Beobachtungszeit wurde festgestellt, daß sich der Baustoff durch das Altern in seinen physikalischen Eigenschaften praktisch nicht verändert hatte.

Vor dem Anstrich wurden die Aluminiumteile mit dem Sandstrahl und mit Stahlbürsten gereinigt, mit Terpentinöl sowie mit einer verdünnten Ammoniaklösung abgewaschen. Darauf wurden sie in gewöhnlicher Weise angestrichen.

Bttgr.

(Railw. Age 1929, 2. H., Nr. 6.)

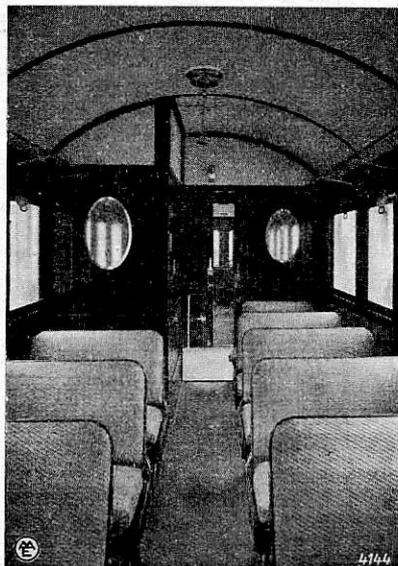


Abb. 3. Abteil 2. Klasse.

aus der erzeugten Dampfmenge abzüglich des Verbrauches für die Ölfeuerung ableiten läßt, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Ringe des Schiebers und Dampfkolbens z. T. noch nicht völlig eingelaufen waren.

Bei starker Anstrengung der Feuerung wurden 154 kg/h verbrannt und 1570 kg Wasser verdampft, dabei wurde eine Dampftemperatur von 370 bis 400° und eine Verdampfungsziffer von 10,2 und 75% Wirkungsgrad erreicht. Die Heizfläche des Kessels ist auch hierfür noch sehr reichlich bemessen und war mit nur 37 kg/m^2 belastet.

Der Kessel wurde mit Rohwasser von 23,6 deutschen Härtegraden gespeist; etwa 80% der Rückstände sind vom Wasserreiniger aufgenommen worden.