

ORGAN

für die

FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS

in technischer Beziehung.

Fachblatt des Vereines deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Neue Folge. XLIII. Band.

Die Schriftleitung hält sich für den Inhalt der mit dem Namen des Verfassers versehenen Aufsätze nicht für verantwortlich. Alle Rechte vorbehalten.

12. Heft. 1906.

Neuere Lokomotivsteuerungen.

Von Metzeltin, Regierungsbaumeister a. D. zu Hannover-Linden.

Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 25 auf Tafel XXXVIII und Abb. 26 bis 37 auf Tafel XXXIX.

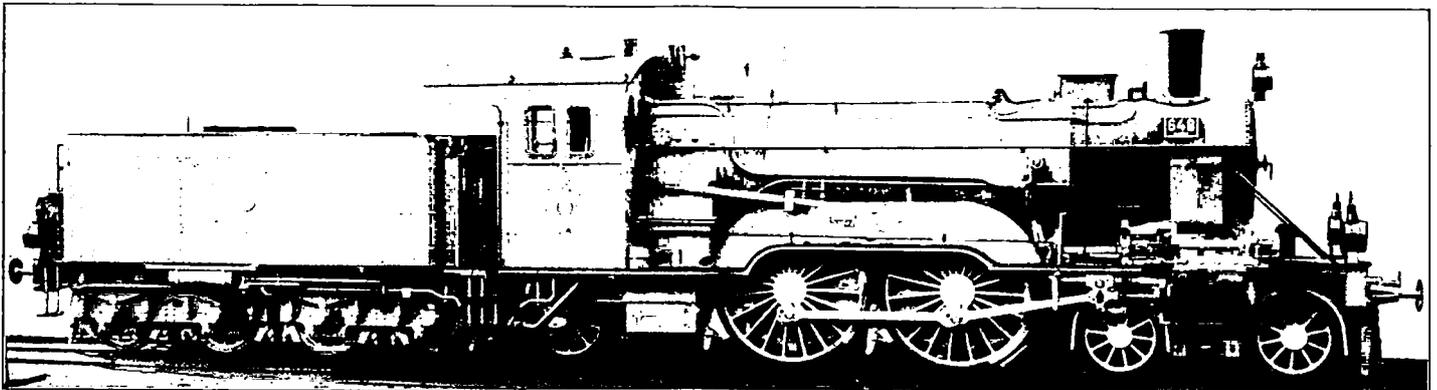
(Schluß von Seite 219.)

Die in Mailand ausgestellte Lokomotive (Textabb. 4) gleicht in ihrer Anordnung vollkommen der bekannten Bauart der Hannoverschen Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft.

Der Kessel erhielt Dampfsammelrohre, weil bei der ungünstigen Lage des Domes vielfach über Arbeiten der Lokomotive mit Nafsdampf geklagt wird; sonst sind keine Änderungen am Kessel vorgenommen. Die Anordnung der Zylinder ist mit

Rücksicht auf den dadurch erzielbaren noch etwas bessern Massenausgleich so getroffen, daß die Hochdruckzylinder nach außen und die Niederdruckzylinder nach innen verlegt wurden. Diese Änderung war leicht möglich, da die vorderen Barrenrahmen die sonst schwierige Aufgabe der Unterbringung zweier großer Niederdruckzylinder innerhalb der Rahmen erleichtern. Die Lentz'sche Ventilsteuerung ist zunächst nur an den beiden

Abb. 4.



äußeren Hochdruckzylindern angeordnet, während die Niederdruckzylinder Kolbenschieber erhielten.

Die Abb. 17 und 18, Taf. XXXVIII stellen die Anordnung der Steuerung dar. Wie bei den bisherigen Lokomotiven dieser Bauart, wird die Bewegung der äußeren Steuerung von der innern durch eine schwingende Welle w abgeleitet, sodaß außen nur noch die vom Kreuzkopf bewegten Voreilhebel erforderlich sind. Die Steuerung ist nach dem Patente von Borries so eingerichtet, daß einer Hochdruckfüllung von 40% eine Niederdruckfüllung von 73% entspricht. Die am Modelle ermittelten Steuerungsverhältnisse ergeben sich aus Zusammenstellung V.

Je ein Hoch- und Niederdruckzylinder sind nach Abb. 19 und 20, Taf. XXXVIII zu einem Gufsstücke vereinigt. Am Hoch-

druckzylinder liegen die beiden Einlaßventile in der Mitte, die Auslaßventile an den Enden. Der Dampf strömt von letzteren geradlinig nach den Außenseiten des Kolbenschiebers für den Niederdruckzylinder. Auf den bei den hier in Frage kommenden geringen Dampfdrücken nur erreichbaren kleinen Vorteil innerer Einströmung und entlasteter Stopfbüchse ist mit Rücksicht auf die bessere Dampfführung verzichtet. Die beiden Überströmräume sind zur Minderung der Druckschwankungen in ihnen durch einen Querkanal q verbunden.

Als Anfahrvorrichtung ist auf dem Hochdruckzylinder ein Stutzen nach Abb. 21, Taf. XXXVIII vorgesehen. Dieser Stutzen erhält beim Öffnen des kleinen Reglers selbsttätig Dampf, der unmittelbar zum Verbinder überströmt. Zu dieser bekannten ältesten von Borries'schen Anfahrvorrichtung ist ebenfalls nach einem

Zusammenstellung V.

Steuerungsergebnisse der vierzylindrigen 2/5 gekuppelten Schnellzug-Verbundlokomotive mit Lentz'scher Ventilsteuerung.

Art der Probe: Holzmodell 1:1	Nr. des Füllungsgrades	Hochdruckzylinder							Niederdruckzylinder									
		Voreilung mm	größter Hub der Einlaßventile mm	% des Kolbenweges während					des Gegen-dampfes	Voreilung	größte Öffnung der Dampfeintrittskanäle zuzüglich Trickkanal	% des Kolbenweges während					des Gegen-dampfes	
der Dampffüllung	der Dehnung	des Dampfaustrittes hin	zurück	der Zusammenpressung	der Dampffüllung	der Dehnung	des Dampfaustrittes hin	zurück				der Zusammenpressung	der Dampffüllung	der Dehnung	des Dampfaustrittes hin	zurück		der Zusammenpressung
vorwärts	I	4	1 1/2	10	46	44	64	34 1/2	1 1/2	vor dem Kolben	3 1/2	6 + 6	24 1/2	51 1/2	24	62 1/2	36	1 1/2
		4	1 1/2	10	46	44	64	34 1/2	1 1/2	hinter	3 1/2	6 + 6	24 1/2	51 1/2	24	63 1/2	35 1/2	1
	II	4	3 1/2	20	47	33	72 1/2	26 1/2	1	vor	3 1/2	12 1/2 + 12 1/2	52	36	12	78	21 1/2	1/2
		4	3 3/4	21	44 1/2	34 1/2	74	25 1/2	1/2	hinter	3 1/2	13 + 13	51	34	15	80	19 1/2	1/2
	III	4	5 3/4	30	44	26	77	22 1/2	1/2	vor	3 1/2	20 + 20	67	25	8	84	15 3/4	1/4
		4	6 1/4	32	39 1/2	28 1/2	79 1/2	20 1/4	1/4	hinter	3 1/2	21 + 20	64	26	10	87	12 3/4	1/4
	IV	4	8 1/8	40	38	22	81	18 3/4	1/4	vor	3 1/2	25 + 20	75	19	6	88	11 3/4	1/4
		4	8 3/4	40	35	25	83 1/2	16 1/4	1/4	hinter	3 1/2	25 + 20	72	20	8	90 1/2	8 3/8	1/8
	V	4	10 1/4	50	32 1/2	17 1/2	84 1/2	15 3/8	1/8	vor	3 1/2	25 + 20	82	14	4	91	8 7/8	1/8
		4	11	50	30	20	87	12 7/8	1/8	hinter	3 1/2	25 + 20	78	16 1/2	5 1/2	93	6 5/16	1/16
	VI	4	11 3/4	61	25 1/2	13 1/2	88	11 7/8	1/8	vor	3 1/2	25 + 20	88	9 1/2	2 1/2	94	5 15/16	1/16
		4	12	60	24	16	90	9 7/8	1/8	hinter	3 1/2	24 + 20	85	11 1/2	3 1/2	95 1/2	4 1/2	0
Größter	4	12	66	22 1/4	11 3/4	89 1/2	10 7/16	1/16	vor	3 1/2	18 + 18	90	8	2	95	5	0	
	4	12	64	22	14	91	8 5/16	1/16	hinter	3 1/2	18 + 18	87	10	3	96	4	0	
rückwärts	II	4	3 1/2	20	46 1/2	33 1/2	73	26 1/4	3/4	vor	3 1/2	12 + 12	52	36 1/2	11 1/2	79	20 3/4	1/4
		4	3 1/2	21 1/2	45	33 1/2	75	24 1/2	1/2	hinter	3 1/2	13 + 13	50 1/2	35 1/2	14	81 1/2	18 1/4	1/4
	IV	4	8 1/4	40	39	21	82	17 3/4	1/4	vor	3 1/2	25 + 20	78	17	5	89 1/2	11 3/8	1/8
		4	9	43	34	23	84 1/2	15 1/4	1/4	hinter	3 1/2	25 + 20	75	18 1/2	6 1/2	91	8 7/8	1/8
	Größter	4	11 7/8	67	22	11	89	11	0	vor	3 1/2	20 + 20	90	7 1/2	2 1/2	95	5	0
		4	12	64	22	14	92	8	0	hinter	3 1/2	19 + 20	87	10	3	96	4	0

früheren Vorschläge von von Borries ein Ventil V hinzugefügt, durch das ein Teil des Dampfes in den in der Mitte des Hochdruckzylinders mündenden Kanal K eintreten kann, vorausgesetzt, daß nicht der im Zylinder wirkende Dampfdruck das Ventil auf seinen Sitz preßt.

Die Anordnung der Ventilsteuerung ergibt sich aus Textabb. 5 und 6; sie gleicht in ihren Einzelheiten der bereits beschriebenen Anordnung bei der Ilseder Lokomotive. Die

zur Schmierung erforderliche geringe Ölmenge wird durch eine Dochtschmierung über jedem Ventile besorgt. Im übrigen wird Öl von einer im Führerstand angeordneten de Limonschen Schmiervorrichtung sowohl kurz vor dem Einlaßventile in das Dampfeinströmröhr als auch in den Überströmräum an die beiden Enden des Kolbenschiebers eingeführt. Wie aus der Steuerungsschaulinie ersichtlich, beträgt der Hub der Hubbögenstange 156 mm. Durch diesen großen Weg, der im übrigen un-

Abb. 5.

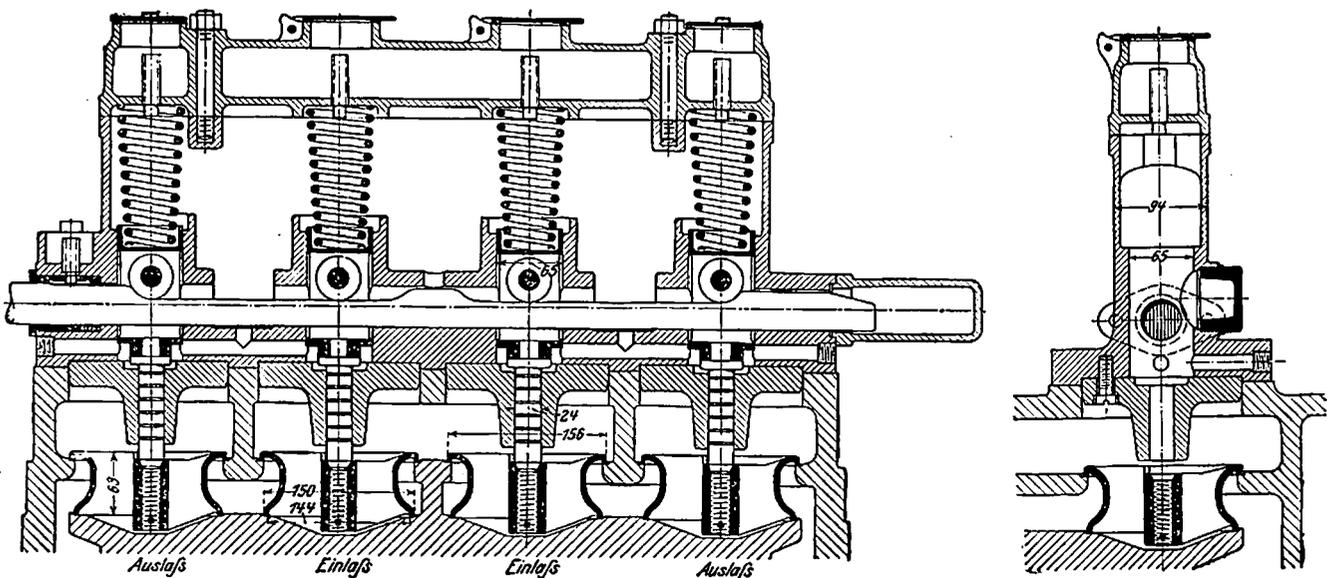
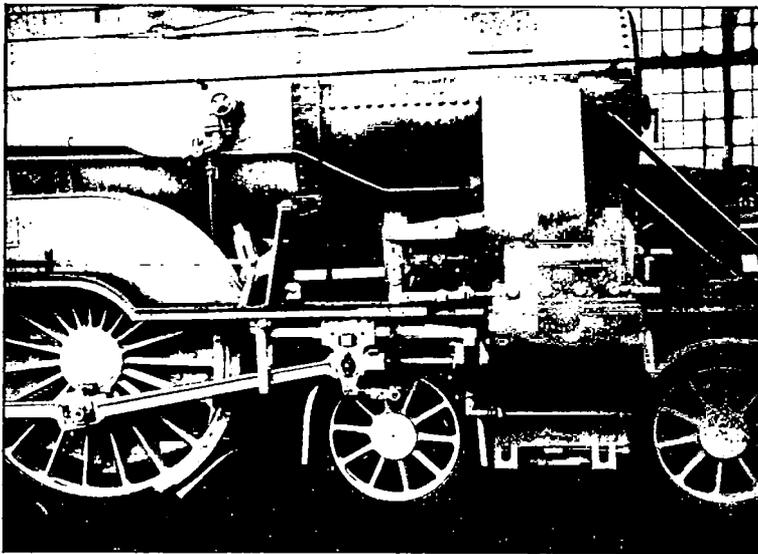


Abb. 6.



schädlich ist, liefs sich eine günstige Erhebung der Ventile und damit entsprechend günstigere Verhältnisse für den Dampf-eintritt erzielen. Die Textabb. 7 bis 9 geben für 66, 40 und 25 ‰ die Einström- und Ausström-Querschnitte, sowie die mittleren Dampfgeschwindigkeiten bei der bisherigen Schiebersteuerung dieser Lokomotive und bei der jetzt angewendeten Ventilsteuerung für eine Fahrgeschwindigkeit von 100 km/St. Bei der gewöhnlichen Füllung von 40 ‰ ergibt sich eine um beinahe 40 ‰ verminderte Dampfgeschwindigkeit, die einen der verringerten Drosselung entsprechenden Gewinn in der Völligkeit der Schaulinie zur Folge hat. Der Entwurf für die Schiebersteuerung stammt aus einer Zeit, als in Deutschland höhere Geschwindigkeiten als 90 km.St. noch nicht zulässig waren. Die Dampfgeschwindigkeiten für die Schiebersteuerung würden sich bei einem neuen Entwurfe etwas verringern lassen: an eine Erreichung der mit der Ventilsteuerung erzielten geringen Geschwindigkeiten ist jedoch nicht zu denken.

Abb. 22 und 23, Taf. XXXVIII zeigen die mittels Indikators

Abb. 7.
66 ‰ Füllung.

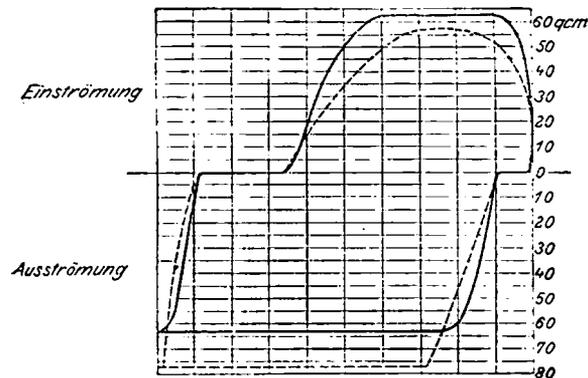


Abb. 8.
40 ‰ Füllung.

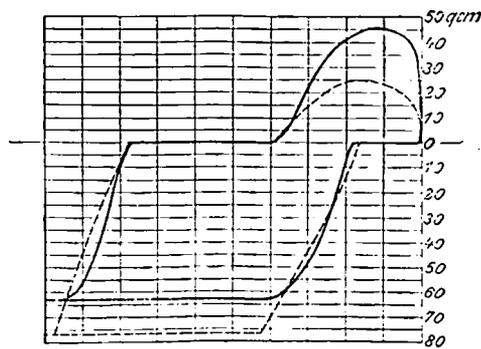
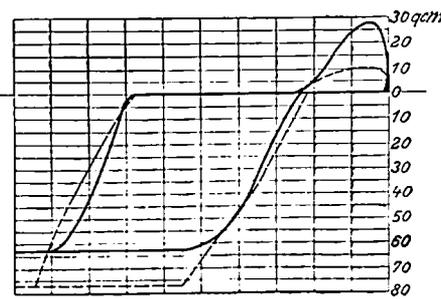


Abb. 9.
25 ‰ Füllung.



----- Schieber. ———— Ventile.

mittlerer	}	Schieber 74,6 qcm
Einströmquerschnitt		Ventile 92,5 "
mittlere	}	Schieber 79,6 m/Sek.
Dampfgeschwindigkeit		Ventile 64,2 "

Schieber	31,2 qcm
Ventile	55,8 "
Schieber	164,6 m/Sek.
Ventile	92,0 "

Schieber	12,7 qcm
Ventile	28,0 "
Schieber	326,0 m/Sek.
Ventile	147,5 "

aufgenommenen Ventilerhebungslinien für die Ein- und Auslaufsventile. Diese Linien lassen an ihrer starken mittlern Steigung die schnelle Eröffnung und den schnellen Abschluss, an dem spitzen Einmünden in die untere wagerechte Linie den sanften Beginn und das sanfte Ende der Ventilbewegung deutlich erkennen.

In Textabb. 10 bis 15 sind Druckschaulinien dargestellt, und zwar sind je zwei in einander gezeichnet, von denen die eine beim Anfahren, die zweite bei 80 km Geschwindigkeit genommen ist. Die hohen Eintrittsspannungen bei den Anfahrerschaulinien für die Niederdruckzylinder ergaben sich daraus, daß beim Öffnen des Reglers durch die Anfahrvorrichtung Frischdampf in den Niederdruckzylinder eingelassen wird. Zum Vergleiche mit diesen Schaulinien sind in Abb. 24 und 25, Taf. XXXVIII einige Schaulinien wiedergegeben, die an einer gleichen Lokomotive mit Kolbenschiebersteuerung auf dem Prüfstande in der Ausstellung St. Louis 1904 genommen sind.

Die Lokomotive mit Ventilsteuerung ist vor dem Abgange nach Mailand in der Zeit vom 9. bis 26. März auf den Strecken

der Eisenbahndirektion Hannover im Betriebe gewesen, und zwar wurden zunächst eine Reihe von Versuchsfahrten vorgenommen, denen die Schaulinien Abb. 24 und 25, Taf. XXXVIII entstammen. Der Vorteil der durch die Ventilsteuerung erreichten völligeren Schaulinien gab sich äußerlich schon dadurch kund, daß mit erheblich geringerer Füllung gefahren werden konnte, als bei Verwendung der sonst genau gleichen Lokomotiven mit Schiebersteuerung.

Abb. 26, Taf. XXXIX gibt die Geschwindigkeit-Schaulinien einer Versuchsfahrt mit 40 Achsen bei 339 t Zuggewicht ohne Lokomotive von Gardelegen bis Lehrte, bei der auf 36 km bei starkem Gegenwind und 0,23 ‰ Gefälle eine mittlere Geschwindigkeit von über 100 km/St. gehalten wurde. Zu beachten ist hierbei, daß die Lokomotive bei Erreichung der Geschwindigkeit von 100 km/St. schon 130 km zurückgelegt hatte und die Heizrohröffnungen wegen Verfeuerung von Preßkohle bereits begannen, sich zuzusetzen. Bei den auf die Versuchsfahrten folgenden Fahrten im Betriebe hat die Lokomotive fast ausschließlich schwere Schnellzüge auf der Strecke Hannover-

Dampfdruckschaulinien der Lokomotive Nr. 648.

Federmaßstab: 1 at = 5,95 mm.

Federmaßstab: 1 at = 1,95 mm.

Abb. 10.

$p = 14,5$ bis $14,8$
 $p_1 = 14$ „ $14,2$
 $p_v = 3,7$ „ $2,4$
 $V = 0$ bis 80 km/St.

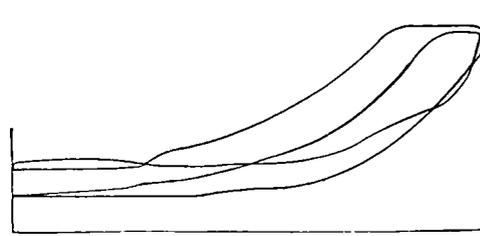
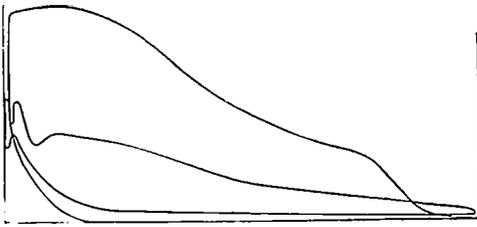


Abb. 13.

$p = 14,5$ bis $14,8$
 $p_1 = 14$ „ $14,2$
 $p_v = 3,7$ „ $2,4$
 Füllung = 20%
 $V = 0$ bis 80 km/St.

Abb. 11.

$p = 14,2$ bis $14,3$
 $p_1 = 13,6$ „ $13,6$
 $p_v = 3,8$ „ $2,5$
 $V = 0$ bis 80 km/St.

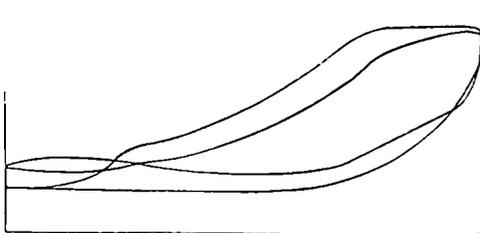
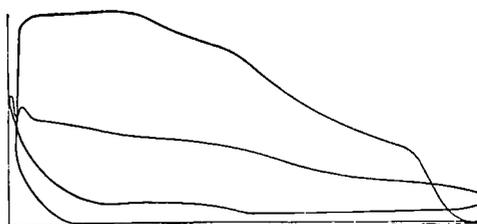


Abb. 14.

$p = 14,2$ bis $14,3$
 $p_1 = 13,6$ „ $13,6$
 $p_v = 3,8$ „ $2,5$
 Füllung = 30%
 $V = 0$ bis 80 km/St.

Abb. 12.

$p = 14,6$ bis $14,1$
 $p_1 = 14,1$ „ $14,1$
 $p_v = 3,3$ „ $2,9$
 $V = 0$ bis 80 km/St.

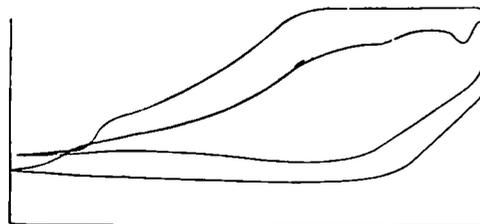
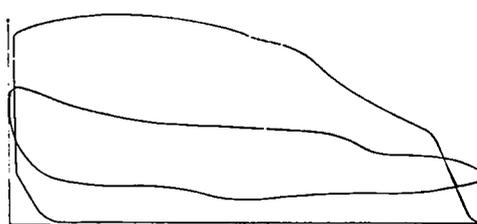


Abb. 15.

$p = 14,6$ bis $14,1$
 $p_1 = 14,1$ „ $13,4$
 $p_v = 3,3$ „ $2,9$
 Füllung = 40%
 $V = 0$ bis 80 km/St.

p = Kesselspannung.

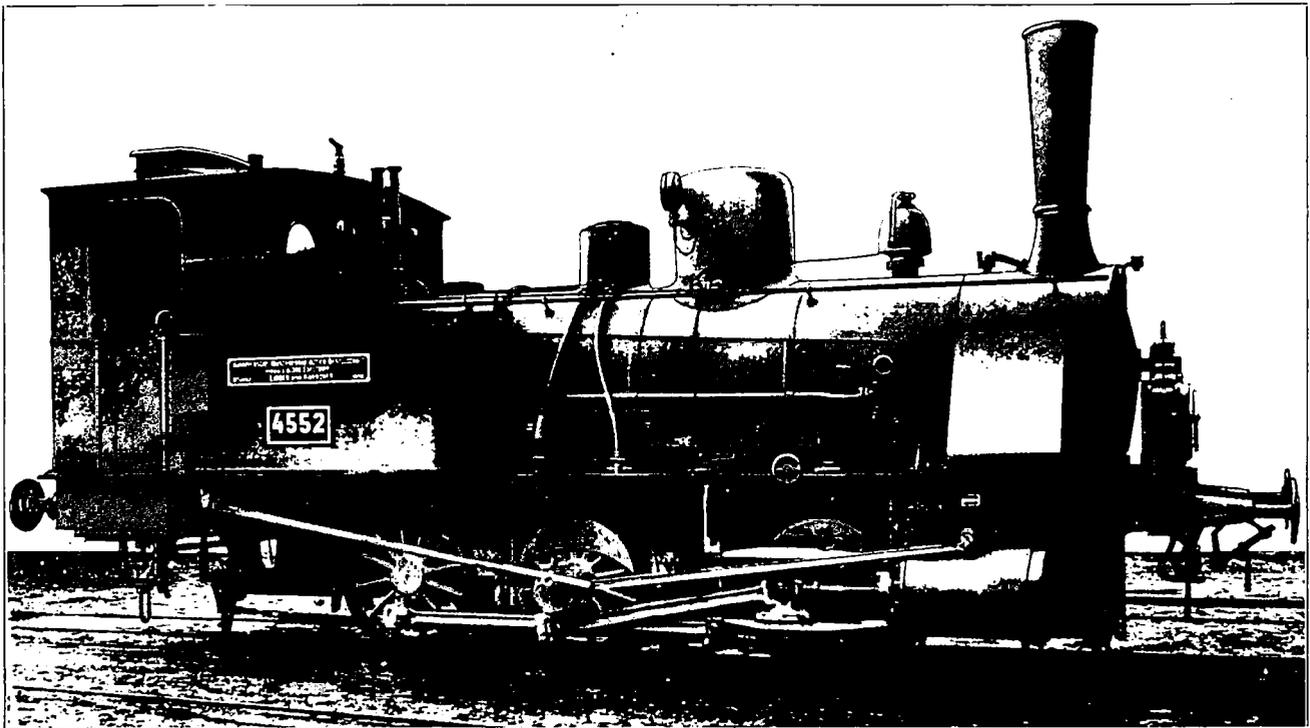
p_v = Spannung im Verbinder.

p_1 = Spannung im Hochdruckschieberkasten.

V = Fahrgeschwindigkeit in km/St.

Die Füllungen entsprechen den Angaben der Teilung; tatsächlich sind sie etwas kleiner.

Abb. 16.



Dortmund befördert. Abb. 27 und 28, Taf. XXXIX zeigen die Geschwindigkeitslinien der beiden Fahrten, bei denen wegen verspäteter Ankunft des Zuges in Dortmund Veranlassung zu schneller Fahrt vorlag. Leider war die Belastung dieser Züge

so gering, daß diese Fahrten nicht als Leistungsversuche gelten können. Bei allen Fahrten wurden Geschwindigkeiten von 100 bis 112 km/St. mehrfach erreicht. Die Betriebstüchtigkeit der Ventilsteuerung, die im Werke einer Reihe von Fachleuten

leerlaufend mit 328 Umdrehungen für die Minute, entsprechend einer Geschwindigkeit von 122 km/St. vorgeführt wurde, muß danach als erwiesen gelten.

Die vorbeschriebenen Steuerungen haben senkrecht arbeitende Ventile. Die Hannoversche Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft ging noch einen Schritt weiter. Sie hat eine ebenfalls in Mailand ausgestellte $\frac{3}{3}$ gekuppelte Tenderlokomotive mit liegender Ventilanordnung versehen. Diese Lokomotive besitzt außerdem eine neue schwingenlose Umsteuerung, ebenfalls Bauart Lentz, und einen Pielock-Überhitzer.

Im übrigen gleicht diese Lokomotive (Textabb. 16) der $\frac{3}{3}$ gekuppelten Tenderlokomotive der preussischen Staatsbahnen, hat jedoch entsprechend dem größern Dienstgewichte von 36 t etwas größere Hauptabmessungen und zwar:

Zylinderdurchmesser d	400 mm
Kolbenhub h	550 >
Treibraddurchmesser D	1100 >
Achstand	3000 >
Dampfdruck p	12 Atm.
Rostfläche R	1,45 qm
Heizfläche des Überhitzers	24,5 >
Ganze Heizfläche H	92,5 >
Wasserraum	4300 l
Kohlenraum	1400 kg
Leergewicht	28000 >
Dienstgewicht	36000 >

Der Kessel ist mit einem Pielock-Überhitzer*) für 350° C. versehen. Er erhielt zu diesem Zwecke eine lichte Länge von 1100 mm und liegt mit seiner hintern Rohrwand 1175 mm von der Feuerbuchrohrwand entfernt. Die Erzielung dieser Überhitzung hängt von der Verbrennung von 400 kg Steinkohle auf 1 qm Rostfläche in der Stunde und der Verbrennungswärme von 1400° C. ab. Unter diesen Umständen entsteht eine Eintrittswärme der Gase in den Überhitzer von nur 640° C.

Die Umsteuerung der Bauart Lentz, (Abb. 29, Taf. XXXIX) erfordert nur eine auf der Achse sitzende zweimittige Scheibe, die von dem Voreilwinkel δ unter Ermöglichung jeder beliebigen Zwischenstellung auf den Voreilwinkel 270° — δ gedreht, das heißt in die Stellung für Vollfüllung rückwärts gebracht werden kann.

Diese zweimittige Scheibe a sitzt um den in der Gegenkurbel festen Zapfen z drehbar auf einer Büchse b, die auf dem in der Achsmittigkeit sitzenden Zapfen c verschiebbar ist, aber durch den Keil d gezwungen wird, an der Drehung der Achse teilzunehmen. Die Büchse ist mit einer schrägen Verzahnung versehen, die in eine entsprechende Verzahnung der Schieber a greift. Eine Längsverschiebung der Büchse bewirkt daher Schwingen der Scheibe um den Zapfen z und damit Verstellung des Scheibenmittelpunktes. Die Achsen-Entfernung der Zapfen c und z gibt den Halbmesser der Scheitellinie für das Unmittleigkeits-Verhältnis. Auf der Büchse b sitzt eine nicht drehbare Muffe m mit vier inneren ringförmigen Ansätzen nn, die ungehinderte Drehung der Büchse b gestattet. Außen

trägt diese Muffe eine schräge Verzahnung, in die eine gleiche Verzahnung der vom Führerstande kommenden Stange s eingreift. Durch Verschiebung dieser Stange in der Längsrichtung der Lokomotive tritt Verschiebung der Muffe m nach ihrer Achse und gleichzeitig der Büchse b ein, somit die zur Füllungsveränderung und Umsteuerung erforderliche Verdrehung der zweimittigen Scheibe a. Die Bewegung der auf jeder Lokomotivseite vorhandenen Stange s erfolgt vom Führerstande aus mittels des üblichen Händels und der unter dem Führerstande liegenden Steuerwelle.

Der Vorteil dieser Umsteuerung liegt in der Verminderung der Zahl der Teile etwa auf die Hälfte derjenigen der üblichen Schwingenumsteuerungen, der Möglichkeit des staubdichten Abschlusses aller Teile und der mit Rücksicht auf die Länge der Stangen und ihre ziemlich wagerechte Lage fast vollständigen Behebung des sonst auf die Dampfverteilung stark wirkenden Einflusses des Federspieles der Achsen. Auch fallen bei dem Verhältnisse: größte Unmittleigkeit: Stangenlänge = 50 : 2713 oder 1 : 54 alle merkbaren Einflüsse der endlichen Länge dieser Stange fort.

Der weite Ausbau des Gehäuses fällt auf, weil die sonst sichtbaren äußeren Steuerungsteile fortfallen; das Gehäuse bleibt jedoch weit innerhalb der Umrifflinie und würde bei großen Zylindern von diesen gedeckt werden; um an dem Zylinderflansche überhaupt vorbei zu kommen, mußte die Stange bei dieser Lokomotive nach außen gekröpft werden. Übrigens hat es keine Schwierigkeit, diese Umsteuerung zwischen den Rädern anzuordnen, auch läßt sich die eine Verzahnung durch Anordnung eines Winkelhebels umgehen.

Die Ventile sind nach der Darstellung des Triebwerkes (Abb. 30 bis 32, Taf. XXXIX) abweichend von der an der $\frac{2}{5}$ gekuppelten Lokomotive getroffenen Ausführung liegend angeordnet, und zwar paarweise neben einander. Dadurch ergeben sich kurze Dampfwege und eine gedrungene Bauweise der Dampfzylinder. Die Steuerung der Ventile erfolgt durch die Hubdaumen einer wagerechten Welle, die mittels eines kleinen Kurbelarmes von der Stange der zweimittigen Scheibe in schwingende Bewegung gesetzt wird. Diese Anordnung der Steuerung bietet wesentliche Vorteile, besonders für vierzylindrige Lokomotiven, sofern, wie üblich, die beiden neben einander liegenden Kurbeln um 180° versetzt sind. Im letztern Falle wäre beispielsweise nur die Daumenwelle bis über den nächsten Zylinder zu verlängern, und die Steuerung für eine Lokomotivseite könnte dann mit Leichtigkeit von einer einzigen Verstell-Scheibe aus bewirkt werden. Laden außen liegende Niederdruckzylinder zu weit aus, so würde man die Hebel auf der Hubdaumenwelle nach oben stellen und die erforderliche Bewegung von der Stange der zweimittigen Scheibe aus durch einen Übersetzungshebel ableiten.

Zwischen den beiden hier beschriebenen Steuerungs- und Ventilanordnungen läßt sich eine Reihe von Vereinigungen schaffen. Die Anordnung an der $\frac{2}{5}$ gekuppelten Lokomotive würde sich vielleicht besonders für den Umbau vorhandener Lokomotiven eignen, während die zweite mehr für den Bau neuer Lokomotiven paßt.

*) Organ 1903, S. 150.

Das Hauptbedenken, welches man anfänglich gegen die Anwendung einer Ventilsteuerung für Lokomotiven in Fachkreisen hegte, dafs sie sich nicht für die im Lokomotivbetriebe vorkommenden hohen Umdrehungszahlen eigne, ist durch die ausgeführten Versuche als unzutreffend erwiesen. Die preussische Staatsbahnverwaltung hat sich daher bereits entschlossen, auch die von der Hannoverschen Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft ursprünglich für eigene Rechnung gebaute $\frac{3}{8}$ gekuppelte Tender-Lokomotive zu übernehmen. Auch ist die Eisenbahndirektion Berlin vom Minister beauftragt, in Einvernehmen mit diesem Werke Entwürfe zur Ausführung der Ventilsteuerung nach Lentz für verschiedene Arten Heifsdampflokomotiven aufzustellen. Ferner hat die Gutehoffnungshütte eine schmalspurige $\frac{2}{2}$ gekuppelte Tenderlokomotive von 50 P. S. bei dem genannten Werke in Auftrag gegeben.

Die Hauptabmessungen dieser mit Pielock-Überhitzer ausgerüstete Lokomotive sind folgende (Abb. 33, Taf. XXXIX):

Spurweite	732 mm
Zylinderdurchmesser d	210 >
Kolbenhub h	300 >
Raddurchmesser D	600 >
Achsstand	300 >
Dampfdruck p	12 at
Rostfläche R	0,6 qm
Heizfläche: Feuerbüchse:	1,7 >
Rohre:	10,84 >
Überhitzer:	4,70 >
Im ganzen	<u>10,24 qm</u>
Wasserinhalt	1280 l
Kohlenraum	400 kg
Leergewicht	7200 >
Dienstgewicht	3700 >

Die eisernen Heizrohre dieser Lokomotive sind, soweit sie im Überhitzer liegen, mit nahtlosen, etwa 0,4 mm starken Messingmänteln überzogen, um den bisweilen beobachteten Rosterscheinungen vorzubeugen.

Die Bahnhofanlagen der Illinois-Zentral-Bahn in Neu-Orleans.

Von Dr.-Ing. O. Blum, Regierungs-Baumeister in Berlin.

Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 11 auf Tafel XLI.

Die Bedeutung von Neu-Orleans, das mit etwa 300 000 Einwohnern die grösste Stadt der Vereinigten Staaten südlich von St. Louis ist, liegt in seiner hervorragend günstigen Lage 170 km nördlich von der Mündung des Mississippi, der bis Neu-Orleans genügende Tiefe für Seeschiffe hat. Die Stadt ist Handelsplatz für das ungeheure Ackerbaugebiet der Täler des Mississippi und seiner Nebenflüsse; sie hat als Ausgangspunkt wohl das ertragreichste Hinterland der ganzen Welt. Die Ausfuhr, deren Wert jetzt etwa 600 Millionen jährlich beträgt, besteht in Zucker, Reis, Wolle, Häuten, Tabak und vor allem in Baumwolle. Neu-Orleans ist mit Liverpool und Bombay zu den grössten Baumwollplätzen der Welt zu rechnen. Die Einfuhr von jährlich etwa 360 Millionen M. besteht in Früchten aus dem tropischen Mittel- und Südamerika, besonders in

In Abb. 34, Taf. XXXIX ist die Steuerung dargestellt; Abb. 35 und 36, Taf. XXXIX zeigen die Erhebungslinien für die Ein- und Auslaufs-Ventile. Der Ventilhub beträgt nur 5,5 mm. der Weg der Hubbügelstange bei

20 % Füllung	33,5 mm
40 %	37,0 >
60 %	46,0 >
77 %	59,0 >

Also ergaben sich bei nicht besonders grossem Hube der Daumenstangen sehr günstige Ventileröffnungen.

Erwähnt sei noch, dafs als Regler der bekannte Strnad'sche entlastete Rohrschieber und als Stopfbüchse die im Dampfmaschinenbaue verwendete Lentz'sche Metallstopfbüchse Verwendung gefunden haben. Letztere besteht nach Abb. 37, Taf. XXXIX aus einer Reihe genau auf den Durchmesser der ebenfalls geschliffenen Kolbenstange geschliffener, gulseisener Dichtungsringe, zwischen denen durch eine zweite Reihe von Ringen Zwischenräume gebildet werden. Der durch dieses Labyrinth dringende Niederschlag wird durch eine besondere Bohrung im Flansche abgeführt.

Auf den ersten Blick fällt auf, dafs diese ersten Ausführungen von Ventilsteuerung an Lokomotiven sofort vollen Erfolg zeitigten, und dafs sich trotz des beinahe einjährigen Betriebes der ersten Lokomotive kein Anlafs zu irgend einer baulichen Änderung in der Ausführung der Einzelteile oder Anordnung ergeben hat. Dies hat jedoch darin seinen Grund, dafs es sich eigentlich nicht um Neuerungen handelte, sondern nur um Übertragung einer im Dampfmaschinenbaue bereits seit Jahren bewährten Steuerung auf die Lokomotive. Auch die Lentz-Umsteuerung ist bereits vor Jahren für Fördermaschinen ausgeführt.

Daher ist zu erwarten, dafs sich die Lentz-Ventilsteuerung bei dem heutigen Strben nach Vervollkommnung der Lokomotive in wirtschaftlicher Beziehung im Lokomotivbaue dasselbe Feld erobern wird, das sie im Dampfmaschinenbaue schon besitzt.

Bananen, die von hier aus in ungeheuren Mengen das mittlere Gebiet der Vereinigten Staaten überfluten. Die Gewerbetätigkeit ist ziemlich bedeutend und umfaßt hauptsächlich die Verarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse.

Der vierte Teil der Bevölkerung von Neu-Orleans sind «coloured people», Neger und deren Mischlinge, die sich hier wie im ganzen Süden der Vereinigten Staaten in einer sehr unterdrückten Lage befinden und als Menschen zweiter Klasse behandelt werden, was übrigens in Faulheit, Trunksucht, geringen Geistesgaben und moralischer Minderwertigkeit bis zu gewissem Grade begründet ist.

Die Stadt liegt in 30° auf derselben Breite wie Kairo und hat ein subtropisches Klima, das zwar eine herrliche Pflanzenwelt entstehen läfst, aber bei der sumpfigen Umgebung

sehr ungesund ist. Dies wird noch dadurch verschlimmert, daß der größte Teil des Stadtgebietes unter dem Hochwasser des Mississippi liegt, gegen das sie durch einen die Uferstraße bildenden Damm, die Levée, geschützt ist. *)

Neu-Orleans ist der südlichste Endpunkt der Illinois-Zentral-Bahn, die von hier aus in zwei Linien das Mississippi-Tal durchzieht und den Süden der Vereinigten Staaten mit St. Louis, Chicago, dem Gebiete der großen Seen und dem Großgewerbebezirke von Pennsylvanien verbindet. Die Bahn beherrscht damit den größten Teil des Ein- und Ausfuhr-Handels von Neu-Orleans.

Die beiden Linien der Illinois-Zentral-Bahn vereinigen sich vor der Stadt zu einer zweigleisigen Bahn, die von Nordwesten in das Stadtgebiet eindringt und zwar mit 8 km Länge in Straßenhöhe; doch ist das Gebiet größtenteils noch nicht bebaut, vielfach sind nicht einmal die Straßen angelegt. Diese Linie dient dem Personen- und Güter-Verkehre. Der Personenbahnhof liegt nach Abb. 1, Taf. XLI etwa 2 km von dem die Stadt südlich in einem Halbkreise umziehenden Flusse und etwa 1,5 km von dem weiter östlich liegenden Geschäftsviertel entfernt. Vom Personenbahnhofe führt eine eingleisige, mitten in den Straßen liegende Verbindungsbahn zu dem Ortsgüter- und Hafenbahnhofe, der sich auf der »Levée« an dem Ufer des Flusses hinzieht.

Im Nordwesten außerhalb der Stadt liegt ein großer Verschiebebahnhof, der zum Ordnen der nach den verschiedenen in der Stadt liegenden Verladestellen bestimmten Güterwagen und zum Zusammenstellen der von Neu-Orleans abgehenden Güterzüge bestimmt ist. An dem Verschiebebahnhofe zweigt aus der Illinois-Zentral-Bahn die Süd-Pacific-Bahn ab, die in der Stadt dieselben Gleise und den Bahnhof mitbenutzt und weiter außerhalb den Mississippi mittels einer Fähre kreuzt. Die anderen in Neu-Orleans einmündenden Eisenbahnen stehen zwar mit der Illinois-Zentral-Bahn in Verbindung, spielen aber für unsere Betrachtungen keine Rolle. Die wichtigsten Verbindungslinien zwischen den verschiedenen Bahnhöfen der Stadt ist eine am Mississippi auf der Levée entlang führende Linie, die ganz in Straßenhöhe liegt und viele in die Querstraßen führende Anschlüsse mit Aufstell- und Ladegleisen hat; von Wegeschränken und Absperrungen ist dabei nicht die Rede, Lokomotiven, Menschen, Personenzüge, Radfahrer, Güterwagen, Maulesel, Straßenbahnwagen treiben alle zusammen in buntem Durcheinander umher.

Der Personenbahnhof hat nach Abb. 2 und 3, Taf. XLI Kopfform und ist in Bezug auf die Zahl der Bahnsteiggleise für den Verkehr von drei Linien mit zusammen nur 26 Personenzügen recht reichlich ausgestattet. Er liegt an der Seite eines zum Teil zugeschütteten Kanales in Straßenhöhe und wird am nördlichen Ende der Bahnsteighalle von einer über alle Gleise in Schienenhöhe hinwegführenden Straße gekreuzt (!).

Das Empfangs-Gebäude liegt nach Abb. 3, Taf. XLI vor Kopf und ist durch die Rücksichtnahme auf die Hitze und die farbige Bevölkerung recht bemerkenswert. Von dem zwei-

*) Wie sumpfig der Untergrund von Neu-Orleans ist, geht daraus hervor, daß die Toten nicht in Gräbern unter der Erde beigesetzt, sondern in aufgeworfenen Hügeln bestattet werden.

stöckigen Gebäude nimmt das in Straßenhöhe liegende Erdgeschoss die für die Reisenden und die Zugabfertigung bestimmten Räume auf. Es enthält hier die große überdachte Halle, die sich an der ganzen Vorderseite entlang zieht und die dahinter liegenden Räume gegen die unmittelbare Sonnenbestrahlung schützt. Dies ist eine in den Tropen und Subtropen häufig anzutreffende Bauart, die sich sehr häufig auf den Eisenbahnen Indiens und regelmäßig an den Gasthöfen Javas findet. Von der Seite her schützen der Treppenaufgang an dem einen und Nebenräume an dem andern Hügel die Haupträume gegen die Sonne. An der Rückseite ist eine besondere Vorhalle nicht nötig, da die Bahnsteighalle bis an das Gebäude heranreicht. Den wichtigsten Raum bildet die in Amerika allgemein übliche große Wartehalle*), in der die Abfertigung der Reisenden vor sich geht; von ihr sind die Schalter für Fahrkarten und Telegraph und die Verkaufstände für Zeitungen und Erfrischungen unmittelbar zugänglich. Über der Wartehalle liegen ein Raum für Frauen und einer für Raucher, in allen übrigen Räumen ist das Rauchen verboten, und die von diesen Nebenräumen aus zugänglichen Aborte. Die Diensträume trennen den Warteraum für die Farbigen von den übrigen Räumen ab, denen bei gesetzlicher und Polizei-Strafe das Betreten der nicht besonders für sie bestimmten Räume verboten ist. In den Südstaaten des Landes der Freiheit und Gleichheit südlich vom Ohio haben die Neger und ihre Mischlinge in den öffentlichen Gebäuden ihre besonderen Räume und im Eisenbahn- und Straßenbahn-Verkehre abgesonderte Abteile, ein Zeichen der Verachtung, der sie nicht mit Unrecht seitens der herrschenden Weissen ausgesetzt sind.

Um den Fußboden möglichst kühl zu halten, ist er nicht aus Holz, sondern aus Zement gebildet; Windfänge fehlen, alle Türen stehen vielmehr ständig weit offen, um den kühlenden Luftzug durchzulassen; an Heizeinrichtungen sind nur offene Kamine für die wenigen kühleren Wintertage vorhanden.

Das obere Stockwerk des Empfangsgebäudes wird von Diensträumen der Verwaltung eingenommen. Die die einzelnen Zimmer trennenden Zwischenwände sind hier nicht bis zur Decke durchgeführt, sondern reichen nach einer in den Treppen häufig zu findenden Bauweise nur bis zu halber Höhe, sodaß der Luftzug durch das ganze Gebäude streichen kann.

An das Kopf-Gebäude stößt ein Seiten-Längs-Bau an, der die Schuppen für die Lagerung und Verladung des Reisegepäcks und des in Amerika von den Expres-Gesellschaften in den eigenen, in die Personenzüge eingestellten Wagen beförderten Eilgutes enthält. Zur Verladung dieser Güter dient Gleis 1, neben dem auch ein Ladesteig, wie vor unseren Güterschuppen, angeordnet ist; von Personenzügen wird dies Gleis, das keinen Bahnsteig hat, nicht benutzt.

Die Bahnsteige liegen, wie meist in Amerika, in Schienenhöhe und sind mit Holz abgedielt; eine feste Abgrenzung zwischen Gleis und Bahnsteig ist nicht vorhanden. Der etwa 11 m breite Kopfbahnsteig, zu dem zahlreiche Türen von dem Empfangsgebäude führen, ist nach amerikanischer Sitte durch ein Gitter geteilt, in dem die Bahnsteigsperrren angeordnet sind.

*) Organ 1898, S. 214; 1895, S. 247; 1898, S. 147.

Obwohl das Gitter noch zwischen Gleis 9 und 10 durchgeführt ist, wird dadurch keine unbedingte Absperrung erzielt, denn die die Gleise am Ende der Bahnsteighalle kreuzende Querstrasse ist nicht abgesperrt. Die Fahrkarten werden daher auch regelmässig während der Fahrt nochmals geprüft.

Die Bahnsteighalle besteht über den Gleisen aus der in Abb. 4, Taf. XLI dargestellten, dreischiffigen Halle, die der Lüftung halber an den Seiten nicht geschlossen ist; noch besser für das heisse Klima wären wohl die jetzt auch in Amerika selbst für grosse Bahnhöfe immer mehr ausgeführten Einzelüberdachungen der Bahnsteige. Die Halle ist mit Wellblech eingedeckt, das grade über den beiden mittleren Bahnsteigen durch Glas ersetzt ist. Diese Glaseindeckung einer Hohlkehle hat kein Bedenken, da es keinen Schnee gibt. Zur Längsversteifung dienen die aus Abb. 5, Taf. XLI erkennbaren, über den Säulenreihen liegenden Gitter-Längsträger. Der Kopfbahnsteig ist nach Abb. 5, Taf. XLI mit einer teilweise verglasten Querhalle überdacht, die von beiden Seiten nach den in der Mitte stehenden Säulen fällt, sodass das Wasser der ungemein heftigen subtropischen Regengüsse vom Gebäude fortgeleitet wird.

In der Gleisanlage sind einzelne Punkte bemerkenswerth, aber nicht nachahmenswerth. Die Zahl der Bahnsteiggleise ist, selbst wenn man mit einem sehr stark wachsenden Verkehre rechnet, zu gross. Dagegen fehlen besondere Aufstellungsgleise für die Personenzüge und die Bereitschaftswagen, diese müssen daher auf den Hallengleisen aufgestellt, nachgesehen und gereinigt werden. Abgesehen von den dadurch entstehenden Belästigungen der Reisenden ist es wirtschaftlich unrichtig, an Abstellgleisen zu sparen und dafür die Bahnsteiggleise zu vermehren, da diese mehr Platz und eine Überdachung fordern und dadurch bedeutend teurer werden, als gewöhnliche Betriebsgleise.

Sodann ist die in den Bahnhof mündende zweigleisige Bahn kurz vor der Weichenentwicklung an der in Abb. 2, Taf. XLI mit y bezeichneten Stelle auf ein ganz kurzes Stück ohne irgend einen zwingenden Grund in ein Gleis zusammengezogen. Bei dieser in Amerika nicht selten zu beobachtenden Engpafsbildung*), die den Zweck hat, möglichst viele Zugfahrten durch einen kleinen Stellwerkbezirk mit sehr vielen Weichen und bester Übersichtlichkeit zu decken, und so sehr kurze Zugfolgen zu ermöglichen, ist also die gleichzeitige Ein- und Ausfahrt zweier Züge unmöglich, obwohl diese Zugfahrten in den Bahnsteiggleisen und auf der freien Strecke ganz unabhängig voneinander sind. Derselbe Engpafs zeigt sich in der Verbindung mit dem Ortsgüter- und Hafen-Bahnhöfe, die wenigstens zwischen der freien Strecke und den Gleisen 10 und 11, also auf die Länge $x-y$ (Abb. 2, Taf. XLI) zweigleisig sein sollte.

Der Ortsgüterverkehr wird gemeinsam mit einem grossen Teile des Umschlagverkehrs in einem Güter- und Hafenbahnhöfe mitten in der Stadt am Ufer des Mississippi abgewickelt, der in Abb. 6, Taf. XLI dargestellt ist.

Der Bahnhof nimmt eine Reihe von Baublöcken ein und wird kreuz und quer von öffentlichen Strassen durchschnitten. Obwohl diese fast ganz ausschliesslich als Zufuhr und Lade-

*) Organ 1895, S. 169.

strassen für den Eisenbahnverkehr dienen, so dürfen sie doch dem öffentlichen Verkehre nicht entzogen werden, und die Eisenbahn kann daher ihren Bahnhof nicht absperren. Sehr ungünstig ist die Verbindung mit den übrigen Bahnhofsanlagen der Illinois-Zentral-Bahn, besonders dem oben erwähnten äusseren Verschiebebahnhofe*), nach dem Vicepräsidenten der Bahngesellschaft Harrahan-Yard genannt, der die Wagen aus und nach dem Güterbahnhöfe zu ordnen hat. Die Überführungszüge benutzen von dem Verschiebebahnhofe aus die beiden Personenzug-Hauptgleise bis zu dem Kopfbahnhöfe. Hier zweigen sie zunächst in die Abb. 2, Taf. XLI zu ersiehenden und zur vorübergehenden Aufstellung von Güterzügen dienenden Gleise 10 und 11 ab. Von diesen führt eine etwa 2 km lange eingleisige Verbindung mitten in einer Strasse zu dem Güterbahnhöfe. Dieses Verbindungsgleis dient aber nicht nur zur Überführung der Züge, sondern muß ausserdem ständig zum Verschieben benutzt werden, da es wegen der eigentümlichen Gestaltung des Ortsgüterbahnhöfes dessen wichtigstes Ausziehgleis ist. Eine Verdopplung des überlasteten Gleises ist von den städtischen Behörden bisher nicht erlaubt worden.

Wenn wir bei der Beschreibung der Güter- und Hafenbahnhofsanlagen von Westen, von der Stadtseite her beginnen, so finden wir zunächst grosse Schuppen für den Verkehr der angekommenen Güter. Diese sind der dauernden Wärme entsprechend zum Teil nur mit leichter Überdachung ausgeführt und durch die drei Querstrassen von einander getrennt. Eigentliche Ladestraffen für das Strassenfuhrwerk sind nicht vorhanden, als deren Ersatz dient die öffentliche und für den Stadt-Verkehr sehr wichtige Front-Strasse, die ausserdem noch fast durchweg mit drei Eisenbahngleisen belegt ist, aus denen zahlreiche Anschlüsse zu den Nachbargrundstücken abzweigen.

Auf die Empfangschuppen folgt eine Reihe von drei Versandschuppen, von denen zwei seitlich offen, also nur überdachte Laderampen sind. Diese drei Schuppen haben nach Abb. 7, Taf. XLI jeder eine innere in keiner Weise befestigte Ladestraße, die etwa 40 cm höher liegt als die Querstrassen und 60 cm tiefer als die Ladebühne, und durch hohes Seitenlicht gute Beleuchtung erhält. Dem Dache fehlt ein ordentlicher Längsverband; es wird ausser den Pfosten und den doppelten Längszangen nur aus den die Dachschalung unmittelbar tragenden Platten* gebildet, die gemäss Abb. 7, Taf. XLI, Schnitt $g-h$, in der in Amerika üblichen Weise aus hochgestellten und durch Stakung versteiften Bohlen bestehen.

An die Versandschuppen reihen sich vier, durch eine Freiladestraße unterbrochene grosse offene Hallen mit dem in Abb. 8, Taf. XLI dargestellten Querschnitte und ziemlich unregelmässigem Grundrisse. Diese Hallen werden während des grössten Teiles des Jahres nicht benutzt, können aber in der Zeit nach der Baumwollenernte die hier zu lagernden und zu verladenden Ballen kaum fassen.

Zunächst dem Flusse und in diesen zum Teil hineingebaut liegen die Anlagen für den Verkehr von Gemüsen und Früchten. Hier befindet sich eine offene Ladestraße für den Kartoffelverkehr und eine in Abb. 9, Taf. XLI dargestellte Halle mit inneren überdachten Gleisen für die Verladung von Gemüse.

*) Organ 1900, S. 19.

Besondere Beachtung verdienen die Einrichtungen für den Umschlagverkehr in Südfrüchten, Bananen und Cocosnüssen, die von Mittel- und Süd-Amerika zu Schiffe bis Neu-Orleans gebracht werden, um hier auf die Eisenbahn überzugehen. Vor allem ist der Bananen-Verkehr der Illinois-Zentral-Bahn sehr bedeutend; für ihn sind besondere Züge mit Sonderwagen eingerichtet, die mit größter Beschleunigung ohne Umordnung geschlossen bis Chicago auf rund 1500 km durchgeführt werden; andere Züge gehen nach St. Louis und nach den östlichen Bezirken am Ohio.

Die Entladung der Schiffe und Beladung der Eisenbahnwagen geht mit einer bewunderungswürdigen Schnelligkeit vor sich. Während unserer Anwesenheit wurde aus einem Schiffe gleichzeitig aus drei Lucken ausgeladen, aus der vordern und hintern wurden die gewaltigen Fruchtköpfe mit der Hand heraus gereicht, für die mittleren war ein Bagger aufgestellt, dessen Becher zum Schutze der Früchte aus Segeltuch bestanden. Oben rutschten die Fruchtköpfe über eine mit Segeltuch gespannte Fläche auf eine große, etwa 1,3 m über dem Fußboden liegende Matte ab. Hier bestimmte ein auf einer Art Kanzel stehender Mann je nach dem Grade der Reife den Bestimmungsort, worauf sie durch Arbeiter in die auf den drei Gleisen bereit stehenden Wagen für die verschiedensten Stationen verladen wurden. Während der Verladung, die für jeden Fruchtkopf vom Verlassen des Schiffes bis zum Einladen in den Eisenbahnwagen nur wenige Minuten in Anspruch nahm, wurden von hierfür besonders angestellten Leuten alle angefaulten Stücke ausgebrochen. In vier Stunden wurde so von 200 Mann die Ladung eines Seeschiffes entladen, besichtigt, gesichtet und in 65 Eisenbahnwagen eingeladen, von denen jeder mindestens 25 t faßte.

Von den weiteren Anlagen des Güterbahnhofes sind noch eine Halle zur Verladung von Fleisch und die Gleise für ausbesserungsbedürftige Wagen zu nennen. Bemerkenswert und bedingt durch den hohen Grundwasserstand ist die 60 cm erhöhte Anordnung des Wiege-Gleises zur Entwässerung des Wägewerkes. Es ist beiderseits angeschlossen, eine sehr zweckmäßige Anordnung, der leider bei uns nicht immer die notwendige Sorgfalt gewidmet wird.

Da dieser Güterbahnhof für den ganzen Umschlagverkehr

der Illinois-Zentral-Bahn bei weitem nicht ausreicht, so ist etwa 4 km flussaufwärts ein zweiter großer Hafenbahnhof geschaffen worden, der nach dem Präsidenten der Bahn Stuyvesant Fish den Namen Stuyvesant-Docks erhalten hat. Mit dem Ortsgüterbahnhof ist er durch die auf der Levée entlang führende Bahn verbunden, die aber auch von anderen Eisenbahn-Gesellschaften benutzt wird; außerdem ist er durch eine ausen um die Stadt herum führende Verbindungsbahn an den Verschiebebahnhof angeschlossen. Die Stuyvesant-Docks sind große, am Ufer sich hinziehende Schuppen, deren Lage zu den Gleisen und zum Flusse aus Abb. 10, Taf. XLI zu ersehen ist. Auf den Verkehr von Landfuhrwerk ist sehr wenig Rücksicht genommen, da sich der Verkehr fast ganz im Umschlage zwischen Eisenbahn und Schiff abspielt. Den Schuppen, von denen Abb. 11, Taf. XLI einen Querschnitt zeigt, fehlt wieder jeglicher Längsverband; sie sind in den Teilen, in denen nur geringwertige Güter lagern, seitlich offen oder nur durch Matten abgeschlossen. Abseits vom Flusse, von diesem durch die Lagerschuppen und zahlreiche Aufstellgleise getrennt, liegen zwei gewaltige Getreidespeicher, die mit dem Ufer und den Schiffen durch hohe, über alle anderen Anlagen hinwegführende und die Maschinen zur Beförderung des Getreides enthaltende Brücken verbunden sind.

Bei allen Güteranlagen fällt auf, daß sie äußerst feuergefährlich sind. Die Beamten sind sich über diese Gefahr auch gar nicht im Zweifel, und die Löscheinrichtungen sind daher sehr sorgfältig durchgebildet; sehr hohe Wassertürme sorgen für den zum Löschen erforderlichen Druck, selbsttätige Not-signale und selbsttätige wassergebende Feuerhähne sind reichlich vorhanden, auch ist eine besondere Feuerwache ständig in Dienst.

Wenn die Feuergefährlichkeit und manche anderen noch recht einfachen Einrichtungen die Anlagen auch weit entfernt von dem Zustande erscheinen lassen, den wir von unseren Bahnhöfen erwarten, so darf man doch nicht vergessen, daß die zuerst geschaffenen Anlagen möglichst billig hergestellt werden mußten, weil sie bestimmt waren, den noch nicht vorhandenen Verkehr erst zu wecken, und daß dann die Fortentwicklung dem riesenhaft anwachsenden Verkehre bei der unglücklichen, in das Straßennetz eingekleiteten Lage nicht mit gleicher Schnelligkeit folgen konnte.

Über einige Anordnungen der Blockwerke und Stellwerksteile zum Ersatze der Hebel- und Unterweg-Sperre bei den Stellhebeln der Ausfahrtsignale in Stationen.

Von R. Edler, Ingenieur, Professor der Elektrotechnik am k. k. Technologischen Gewerbe-Museum in Wien.

(Schluß von Seite 209.)

Beispiel der Handhabung.

Für das Zusammenwirken der einzelnen Teile und die Vorgänge an den Blockwerken ergibt sich nach den vorliegenden Erklärungen nachstehende Übersicht, welche mit Bezugnahme auf Textabb. 4 für eine Ausfahrt angegeben werden möge:

Ruhelage der Blockfenster: A weiß, Fr rot, T₂ weiß.

1. Station: Der Fahrstrafsenknebel wird für das betreffende Gleis, etwa II, eingestellt und der Wecktaster t₁ gedrückt, wodurch im Stellwerke die Gleisnummer auf a_{II} vorfällt und der Wecker W₂ ertönt.

2. Station: Der Beamte drückt T₁, A—Fr, und sendet Wechselströme von C₁ über m₁ nach m₂ und dann zurück nach K₁; A und Fr werden verschlossen, und der umgelegte Fahrstrafsenknebel der Station wird verriegelt; z und s sind nach beendeter Blockung geschlossen, während der Widerruf-Knebel WK bewegt werden könnte.
Blockfenster: A rot, Fr weiß.

3. Stellwerk: Der Wärter stellt die Fahrstrafse für Gleis II und verriegelt sie mechanisch durch Umlegen des Fahrstrafsenknebels; dadurch wird der Druckknopf T₄

frei. Der Wärter drückt nun T_1 und dreht die Induktorkurbel, so daß Wechselströme auf folgendem Wege fließen: Von C_2 , dem Induktor, über T_4 , m_4 , über den umgelegten Fahrstrafsenknebel in die Leitung l_{II} und zum Stationsblockwerke, dort über den gleichfalls umgelegten und durch Fr gesperrten Fahrstrafsenknebel nach s und z , und weiter in die Leitung l_0 , um dann im Stellwerke zum Induktorkörper K_2 zurück zu gelangen. Die Erdrückleitung ist dabei von K_2 ganz abgeschaltet.

Solange T_4 gedrückt ist, kann der umgelegte Fahrstrafsenknebel nicht bewegt werden; vorzeitiges Loslassen von T_4 ist aber ungefährlich, weil dann das Signal noch verschlossen bleibt; es kann dann T_4 anstandslos nochmals gedrückt werden, weil ja keine Sicherheitsklinke vorhanden ist, um die Auflösung des Signalverschlusses S zu beendigen; die hochspringende Riegelstange von S sperrt aber den umgelegten Fahrstrafsenchieber früher, als sie den Verschluss des Signalhebels oder Signal-Knebels frei gibt. Wird T_4 jetzt losgelassen, so bleibt doch der Fahrstrafsenchieber nebst dem Fahrstrafsenknebel durch die hochgegangene Sperrstange des Signalverschlusfeldes S dauernd gesperrt.

Sollte aber diese Sperrstange von S zufälligerweise stecken geblieben sein, so wird zwar die Fahrstraße nicht gesperrt, aber dafür bleibt das Signal noch verschlossen.

4. Stellwerk: Der Wärter legt den Signalknebel und den Signalhebel nach dem Freiwerden des Signalverschlusfeldes S um, so daß der Zug das Fahrsignal erhält.
5. Bei der Ausfahrt des Zuges wird in bekannter Weise durch die letzte Achse das Gleichstrom-Sperrfeld Sp ausgelöst, das schwarze Blockfenster wird weiß, so daß also die elektrische Druckknopfsperre beseitigt ist.

Dadurch wird aber auch die Kuppelbatterie und zugleich die Auslösebatterie unterbrochen, so daß das Signal auf »Halt« zurückfällt, vorausgesetzt, daß es nicht schon vorher vom Stellwerkswärter mittels des Stellhebels zwangsläufig in die »Halt«-Stellung gebracht wurde.

6. Stellwerk: Der Wärter legt den Signalhebel auf »Halt« zurück, wodurch die Hebelstellung mit der Stellung des Signalarmes wieder in Einklang gebracht wird. Dem Wächter wäre es jetzt aber nicht mehr möglich, das Signal wieder auf »Fahrt« zu ziehen, weil der Kuppelstrom im Sperrfelde unterbrochen bleibt. Er muß daher den Doppeltaster T_3 , $S—Sp$, drücken, der aber wegen des Selbstverschlusses des Signalfeldes S erst dann wieder in seine obere Ruhelage zurückkehren kann, wenn der Blockverschlufs in S vollständig beendet ist.

Die mechanische Unterweg- und Hebel-Sperre ist also überflüssig geworden. Wenn nun der Wärter beim Drücken von T_3 , $S—Sp$, die Induktorkurbel dreht, so fließen die Wechselströme einerseits von K_2 , dem Induktor, durch L' über den Umschalter u in der Station, in die Leitung L , um im nächsten Streckenblocke durch den Vormeldebloc zur Erde abzufließen, andererseits gehen sie aber von C_2 , dem Induktor, in die Leitung SL und

in das Stationsblockwerk, wo sie durch m_2 über den Tellerstromschließer und zwar zunächst über $\alpha \beta$ zur Erde abfließen; dadurch wird Fr frei, das Blockfenster verwandelt sich von weiß wieder in rot, und zugleich wird im Streckenblocke das Vormeldefenster die Farbe wechseln. Sobald dann aber die Sperrstange von Fr hochgegangen ist, und dabei den Fahrstrafsenknebel im Stationsblockwerke wieder freigegeben, zugleich aber auch den Zustimmungstromschließer z wieder unterbrochen hat, wird $\alpha \beta$ unterbrochen und dafür $\alpha \gamma$ geschlossen, so daß der von C_2 ausgehende Strom über SL , m_2 , α , γ in die Leitung L_0 gelangt, um dann im Stellwerke über m_4 , das Blockfeld S , zur Erde E_2 abzufließen; daher läuft jetzt auch der Rechen des Signalfeldes S nach unten, das Fenster wird rot, so daß der Fahrstrafsenchieber im Stellwerke nach Loslassen der Doppeltaste T_3 , $S—Sp$, wieder frei wird, der Signalschieber dagegen durch S gesperrt bleibt. Dabei hat auch Sp die Farbe gewechselt und die Ruhelage erreicht. Während des Blockens von S muß die Druckstange in den Fahrstrafsenchieber eingreifen und diesen festhalten, was in bekannter Weise bewirkt wird.

7. Stellwerk: Der Wärter legt jetzt den Fahrstrafsenknebel in die Ruhelage zurück und bringt auch die Weichenhebel in die Ruhestellung.
8. Station: Der Beamte kann den umgelegten Fahrstrafsenknebel, sobald Fr wieder rot geworden ist, in die Ruhestellung zurück bringen, ist aber nicht in der Lage, das Signal für einen Folgezug freizugeben, weil das Anfangsfeld der Blocklinie A noch verschlossen, also rot ist. Erst bis der soeben abgefahrene Zug vom nächsten Streckenblockposten geblockt ist, wird A frei und weiß, und nun kann wieder eine Ausfahrt für dasselbe oder für ein anderes Gleis angeordnet werden.

Vorgänge beim Widerruf einer Ausfahrt-Erlaubnis.

Die Vorgänge beim Widerruf einer irrtümlich erteilten Ausfahrt-Erlaubnis sind nun leicht zu übersehen.

Der Beamte löst zu beliebiger Zeit, jedenfalls aber nach Bedienung von T_1 , $A—Fr$, also nach erteilter Ausfahrt-Erlaubnis und vor erfolgter Abfahrt des Zuges, spätestens aber bevor der Zug das vielleicht schon auf »Fahrt« stehende Signal erreicht hat, das Bleisiegel des Widerrufknebels WK , legt diesen um, wodurch der Schieber WS nach links verschoben und der Widerruftaster T_2 zur Bedienung frei wird. Wird jetzt T_2 gedrückt, so wird zunächst die Kuppelbatterie unterbrochen und dadurch unter allen Umständen das Ausfahrtsignal in die »Halt«-Lage gebracht oder in ihr festgehalten; sodann wird die Auslösebatterie geschlossen, und diese sendet dann ihren Strom über die Widerrufsklingel zum Elektromagneten m_5 des Sperrfeldes Sp , welches dadurch ausgelöst wird, so daß die elektrische Druckknopfsperre beseitigt ist.

Dreht nun der Beamte die Induktorkurbel, während er T_2 niedergedrückt hält und dadurch den Widerrufknebel in der umgelegten Lage sperrt, so fließen die Wechselströme von C_1

nach m_1 und zurück nach K_1 ; das Anfangsfeld A wird also frei, das Blockfenster weifs. Der Doppeltaster T_1 ist aber noch gesperrt, weil Fr noch geblockt, das Blockfenster weifs ist. Die hochspringende Sperrstange des Anfangsfeldes A verschließt aber den Widerrufsschieber WS zum zweiten Male, so daß der Knobel WK und damit auch der Umschalter u in der umgelegten Lage gesperrt bleibt, auch wenn der Beamte den Druckknopf T_2 wieder losläßt.

Der Stellwerkswärter hat mittlerweile von dem erfolgten Widerrufe durch die Klingel Kenntnis erhalten; sollte das Signal schon auf »Fahrt« gezogen worden sein, so ist es mittlerweile durch die Unterbrechung des Kuppelstromes beim Drücken von T_2 auf »Halt« zurückgefallen. Jedenfalls hat aber der Wärter das Klingelsignal »Widerruf« als strengsten Auftrag für die Blockung des Signales aufzufassen. Sollte der Wärter das Signalverschlusfeld S mittels des Druckknopfes T_4 noch nicht freigemacht haben, so muß er dies jetzt nachholen, dann aber sofort den Doppeltaster T_3 , S—Sp, drücken und das Signalfeld und das Sperrfeld wieder verschließen; die Ströme nehmen dabei folgenden Weg: Vom Induktor C_2 über SL nach m_2 , dann zunächst über $\alpha \beta$ zum Umschalter u des Widerrufsknebels und dann über L' zurück zum Stellwerke nach K_2 ; sobald Fr frei wird, springt die Sperrstange hoch und schaltet auf $\alpha \gamma$ um, so daß jetzt folgender Stromweg entsteht: von C_2 über SL nach m_2 , dann über $\alpha \gamma$ nach L_0 , weiter im Stellwerke über m_4 zur Rückleitung oder Erde; anderseits ist aber K_2 , der Induktor, über L' und über den Umschalter u der Station auch an die Rückleitung gelegt.

In die Leitung L zum Streckenblocke kann kein Strom fließen, weil der Umschalter u der Station diese Leitung unterbrochen hält; vorläufig darf das Vormeldefeld des Streckenblockes auch noch nicht frei werden, weil der Zug die Station noch nicht verlassen hat.

Da nun der Fahrstraßenknebel in der Station wieder frei ist, so kann der Beamte jetzt die Einstellung einer neuen Fahrstraße veranlassen und dann, wie bei einer ordnungsmäßigen Freigabe, den Doppeltaster T_1 , A—Fr, bedienen; ist dann der Verschluss von A und Fr für die neue Fahrstraße im Kurzschlusse des Induktors C_1 K_1 durchgeführt, so wird der Widerrufsschieber WS beim Loslassen des Druckknopfes T_1 ganz frei und kehrt mit dem Widerrufsknebel WK unter dem Einflusse der Feder f in seine Ruhelage zurück. Dadurch wird auch der Druckknopf T_2 wieder gesperrt. An WK wird dann wieder ein Bleisiegel gelegt.

Es sei nur kurz erwähnt, daß der Beamte allerdings bei der zweiten Bedienung von T_1 , A—Fr, ohne Veranlassung, aus Verwirrung oder bösem Willen auch gleichzeitig T_2 drücken könnte; dieser ungehörige Vorgang, der sich irrtümlich wohl kaum ereignen wird, hat aber keine nachteiligen Folgen, bleibt vielmehr wirkungslos, wie man aus Textabb. 4 sehen kann. Der Verschluss der beiden Blockfelder A und Fr erfolgt eben ganz ungestört, wenn auch T_2 nebenbei gedrückt wird. Übrigens kann man sich gegen eine derartige vorschriftwidrige und böswillige Handlung des Beamten dadurch schützen, daß man die verlängerten Druckstangen von A und T_2 in einen Schieber eingreifen läßt, welcher das gleichzeitige

Drücken von T_1 und T_2 unmöglich macht. Auch im Stellwerke kann man einen derartigen Schieber für die Druckstangen von S und T_4 anordnen; nötig ist dies jedoch nicht, da bei gleichzeitigem Drücken der Doppeltaste T_3 , S—Sp, und der Freigabetaste T_4 zum Verschlusse der Fahrstraße keine Störung in den Stromwegen eintritt, vielmehr der Verschluss des Signalblockfeldes S in ordnungsgemäßer Weise bewirkt wird.

Die Wecker und Wecktasten.

Die Wecktaste t_1 dient im Stationsblockwerke im Vereine mit dem Gleisanzeiger a_{II} , a_{III} , a_{IV} , a_V und dem Wecker W_2 im Stellwerke zur Ankündigung der betreffenden Fahrstraße; man kann statt des Gleisanzeigers auch ebenso viele Wecker verwenden, wie Fahrstraßen vorhanden sind. Sobald nun der Stellwerkswärter den richtigen Fahrstraßenknebel umgelegt hat, ist der Wecker W_2 von der Fahrstraßenleitung, etwa l_{II} , getrennt, und nun könnte der Beamte das Stellwerk nicht mehr anläuten. Um dies zu jeder Zeit möglich zu machen, kann man im Stationsblockwerke noch einen zweiten Wecktaster t_3 anordnen, welcher den Strom auf einer besondern Weckerleitung zum Wecker W_2 führt. Dann dient t_3 für alle Weckersignale, die von der Station an das Stellwerk abgegeben werden, um den Wärter zu den einzelnen Verrichtungen am Stellwerke zu veranlassen, während mit t_1 nur die Anzeige der betreffenden Fahrstraße bewirkt wird.

Der Wecktaster t_2 im Stellwerke und der Wecker W_3 im Stationsblockwerke dienen dazu, dem Stellwerkswärter die Möglichkeit zu geben, Weckersignale an die Station zu senden; dazu wird die soeben erwähnte Weckerleitung mitbenutzt.

Ferner muß noch dafür gesorgt werden, daß der Streckenblockwärter die Station auch im Falle des Widerrufs einer irrtümlich erfolgten Signalfreigabe bei Blocklinien mit Vormeldung auf der Leitung L anläuten kann; da nun beim Widerruf die Leitung L mit Hilfe des Umschalters u am Widerrufsknebel WK vom Stationsblockwerke abgetrennt wird, so muß die Leitung L gleichzeitig durch den Stromschließer u_1 , der mit u an WK gekuppelt wird, an Rückleitung gelegt werden; diese Verbindung L—Erde muß solange bestehen bleiben, als WK umgelegt ist, also bis eine wirkliche Zugausfahrt vorbereitet und nicht mehr widerrufen ist.

Nun ist noch der Stromlauf zu verfolgen, der bei der Bedienung der Fahrstraßen-Ankündigungstaste t_1 und der Wecktaste t_3 geschlossen wird. Beim Drücken von t_1 geht der Strom von der Gleichstromfeder des Stationsinduktors über die Arbeitsklemme und Achse von t_1 zu dem umgelegten Fahrstraßenknebel des Stationsblockwerkes, etwa II, dann in die Fahrstraßenleitung l_{II} und zum Stellwerke, dort durch den Gleismelder a_{II} zum Wecker W_2 , dann in die Erde E_2 oder in die Rückleitung und zurück zum Stations-Induktor nach K_1 .

Im Stellwerke findet aber der Strom noch einen zweiten Weg, der zwischen a_{II} und W_2 abzweigt und über x zur Klemme y des Wecktasters t_2 führt um über dessen Achse in die Weckerleitung zu gelangen, und dann in der Station über den Wecktaster t_3 und Wecker W_3 den Rückweg zum Induktorkörper K_1 zu finden.

Diese Stromverzweigung, welche bei der Anzeige der Fahrstraße mit Hilfe des Tasters t_1 den Stellwerkwecker W_2 und zugleich den Stationswecker W_3 ertönen läßt, erscheint vielleicht im ersten Augenblicke nicht zweckmäßig. Das Mitläuten auf W_3 in der Station hat aber den Wert, daß der Beamte unzweifelhaft davon Kenntnis erhält, daß der Fahrstraßenanzeiger, etwa a_{11} , tatsächlich Strom bekommt, da die Stromverzweigung erst hinter diesem eintritt.

Sobald aber der richtige Fahrstraßenknebel im Stellwerke umgelegt ist, bleibt das Niederdrücken von t_1 wirkungslos, auch der Wecker W_3 kann dann nicht mehr mitläuten.

Wenn nun der Beamte den Wecktaster t_3 drückt, was immer von Erfolg begleitet ist, wenn nicht zufällig gerade der Stellwerkswärter mit dem Wecktaster t_2 zurückkläuten will, so geht der Gleichstrom vom Stationsinduktor über t_3 in die Weckerleitung und über t_2 y und x zum Wecker W_2 und dann über die Rückleitung E_2 E_1 zum Induktorkörper K_1 zurück.

Wenn endlich der Stellwerkswärter auf t_2 drückt, so gehen die Gleichströme vom Stellwerksinduktor über t_2 in die Weckerleitung und dann in der Station über t_3 und W_3 zur Erde E_1 , um dann von E_2 zum Induktorkörper K_2 zurückzugelangen.

Unter keinen Umständen gehen aber die Weckerströme über die Wechselstromblockwerke, so daß auch ein möglicherweise am Induktor auftretender Fehler, der die Abgabe von Wechselströmen statt der Gleichstromstöße verursachen könnte, keine Gefahren durch unbeabsichtigte Auflösung von Verschlüssen nach sich ziehen kann.

Wie man sich an Hand der Schaltungen leicht überzeugen kann, ist auch zufälliges oder böswilliges Abfangen der Wechselströme durch unzeitgemäßes Niederdrücken von Tasten während der Blockungsvorgänge unmöglich; auch das Niederdrücken von Wecktasten, wodurch Störungen beabsichtigt werden könnten, ist erfolglos. Bei den Blocktasten ist die Möglichkeit unzeitigen Drückens schon durch die Kuppelung von A und Fr, sowie von S und Sp sehr weit hinausgerückt. Jedenfalls aber hat

im schlimmsten Falle der Versuch des Abfangens der Entblockungströme nur eine Unterbrechung der Blockungsvorgänge zur Folge, wobei aber durch die bekannte Druckstangensperre, Hilfsklinke, ohne weiteres die nachträgliche Beendigung der unterbrochenen Blockung erzwungen werden kann.

Zum Schlusse mögen das Wesen und die Vorteile der vorgeschlagenen Neuerung mit Bezug auf Textabb. 4 kurz zusammengefaßt werden.

Mit der geringsten denkbaren Anzahl von Blockeinrichtungen, Anfangsfeld der Blocklinie und Signalfreigabefeld in der Station, Signalverschlusfeld und Gleichstromsperrfeld, elektrischer Druckknopfsperre, im Stellwerke, ist unter vollständiger Abhängigkeit des Stellwerkswärters vom Willen des für den Zugverkehr verantwortlichen Beamten nicht nur eine vollkommen sichere Fahrstraßenfestlegung, sondern auch eine Zurücknahme einer irrtümlich erteilten Ausfahr-Erlaubnis möglich, und zwar zu jeder Zeit, solange der Zug die Station noch nicht verlassen hat.

Die Blockung des Anfangsfeldes der Blocklinie ist durch das Sperrfeld und durch Verwendung von »Halt«-Fall-Signalen erzwungen, ohne daß die mechanische Unterweg- und Hebel-Endsperre erforderlich wäre; daher läßt sich die Einrichtung erforderlichen Falles auch nachträglich an bestehenden Anlagen anbringen und kann bei allen Bauarten der Stellwerke hinzugefügt werden, ohne daß an den Stellhebeln etwas geändert werden mußte.

Irrtümliche oder böswillige Handhabungen an den Blockwerken sind entweder unmöglich oder doch unschädlich, und auch bei Störungen an der Gleichstromklemme des Induktors können die Verschlüsse nicht unbeabsichtigt oder böswillig gelöst werden.

Die Vormeldung, Vorblockung, findet nur dann statt, wenn der Zug wirklich in die Blockstrecke einfährt; ein Widerruf kann erst nach Lösung des Bleisiegels bewirkt werden, ist also überwacht.

Theorie der Verbundbauten in Eisenbeton und ihre Anwendung.

Von G. Barkhausen, Professor, Geheimem Regierungsrate in Hannover.

(Schluß von Seite 224.)*

VII. Anwendungsbeispiele mit Zahlenrechnung.

Die nachfolgenden Zahlenbeispiele sind so gewählt, daß sie für das Eisenbahnwesen bedeutungsvolle Aufgaben behandeln, eine möglichst vielseitige Verwendung der mitgeteilten Formeln ergeben und vielfache Hinweise auf für die Ausführung wichtige Umstände zulassen.

VII. A. Volle Verbunddecke.

Eine flache Verbunddecke ist für $p = 400 \text{ kg/qm} = 0,4 \text{ kg/qcm}$ Nutzlast auf zwei gleichlaufenden Tragwänden herzustellen, die $l = 470 \text{ cm}$ Stützweite ergeben. Zunächst soll angenommen werden, daß es möglich sei, die Decke in beiden Wänden völlig fest einzuspannen. Bei 18 cm geschätzter mittlerer Dicke

*) Berichtigung. S. 227, Zeile 3 von unten muß statt $\varphi' = D = 0$ stehen: $\varphi' = D = 0$.

wird die später nachzuprüfende Eigenlast zu $g = 0,01 \cdot 0,01 \cdot 0,18 \cdot 2400 = 0,043 \text{ kg/qcm}$ bei 2400 kg/cbm Gewicht des Kiesbeton mit Eiseneinlage eingeführt. Das Moment eines 1 cm tiefen Streifens ist mitten für die ganze Last $q = 0,04 + 0,043 = 0,083 \text{ kg/qcm}$ $M_m = \frac{q l^2}{24} = \frac{0,083 \cdot 470^2}{24} = 765 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$ und an der Auflagerung $M_a = -\frac{q l^2}{12} = -\frac{0,083 \cdot 470^2}{12} = -1530 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$.

Als zulässige Spannungen werden zur Vermeidung großer Durchbiegungen eingeführt: $s_b = 35 \text{ kg/qcm}$, $s_a = 1000 \text{ kg/qcm}$, dementsprechend $E_c = 2100000 \text{ kg/qcm}$, $E_b = 170000 \text{ kg/qcm}$, also $n = \frac{2100000}{170000} = 12,4$, $m = \frac{1000 \cdot 170000}{35 \cdot 2100000} = 2,3$,

$$m + 1 = 3,3, \quad 2 + 3 m = 8,9, \quad r = \frac{3^5}{1000} = 0,035.$$

Da es sich um schwache Einlagen handelt, wird $a = 2$ cm gesetzt, um noch sichere Einhüllung zu erzielen.

Die Platte soll ohne Druckeinlagen gebildet werden, Druck hat sie nicht aufzunehmen, also entspricht sie mit $D = \varphi' = 0$ dem Falle IV A. a. α) und liefert für die Mitte:

$$x = \sqrt{\frac{6 \cdot 765}{8,9 \cdot 35}} = 3,84 \text{ cm}; \quad h = 2 + 3,3 \cdot 3,84 = \underline{14,65 \text{ cm}}$$

$$\text{und } \varphi = 0,035 \cdot \frac{3,84}{2} = 0,067 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}. \quad \underline{1 \text{ cm}} \text{ dicke runde Ein-}$$

$$\text{lagen haben } f = \frac{1^2 \pi}{4} = 0,785 \text{ qcm, die Teilung dieser Ein-}$$

$$\text{lagen muß sein } b = \frac{0,785}{0,067} = \underline{11,7 \text{ cm}}.$$

In der Einspannung am Wandaufleger wird:

$$x = \sqrt{\frac{6 \cdot 1530}{8,9 \cdot 35}} = 5,42 \text{ cm}; \quad h = 2 + 3,3 \cdot 5,42 = \underline{19,9 \text{ cm}};$$

$$\varphi = 0,035 \cdot \frac{5,42}{2} = 0,095 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}, \text{ sodafs die Teilung der } \underline{1 \text{ cm}}$$

$$\text{dicken Einlagen hier } b = \frac{0,785}{0,095} = \underline{8,3 \text{ cm}} \text{ wird. Diese Teilung}$$

ist entweder unter zu starkem Eisenaufwande ganz beizubehalten, oder es sind an den Einspannrändern Eisen zwischen die der Teilung von 11,7 cm einzulegen, die etwa im Viertel der Spannweite umgebogen werden und aufhören.

Die durchschnittliche Dicke der Decke ist kleiner, als $\frac{14,65 + 19,9}{2} = 17,275$ cm, also ist das Eigengewicht reichlich hoch eingeführt.

$$\text{Die größte Querkraft am Auflager ist } Q = \frac{0,083 \cdot 470}{2} =$$

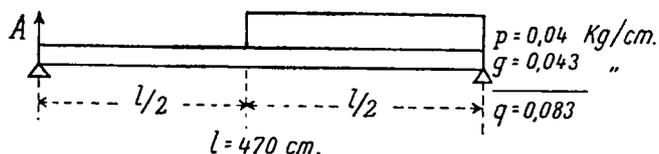
19,5 kg/cm; da keine Druckeinlage vorhanden ist, folgt nach

$$V \text{ am Schlusse } d = h - a - \frac{x}{3} = 19,9 - 2 - \frac{5,42}{3} =$$

$$16,1 \text{ cm, somit die Scherspannung im Beton V. A. 2) } \tau_1 = \frac{19,5}{16,1} = 1,21 \text{ kg/qcm}$$

die vom Beton ohne Hülfe des Eisens aufgenommen wird. Trotzdem müssen alle in der Mitte unten liegenden Eisen nach den Enden hin nach oben gezogen werden, da die Zugspannungen der Einspannung oben wirken. Die größte Quer-

Abb. 2.



$$\text{kraft in der Mitte ist bei der Belastung nach Textabb. 2: } Q = A = \frac{3}{32} pl = \frac{3 \cdot 0,04 \cdot 470}{32} = 1,76 \text{ kg/cm, hier ist } d = h - a - \frac{x}{3} =$$

$$14,65 - 2 - \frac{3,84}{3} = 11,37, \text{ somit die Scherspannung im}$$

$$\text{Beton V. A. 2) } \tau_1 = \frac{1,76}{11,37} = 0,155 \text{ kg/qcm, und bei } u =$$

$$1 \cdot \pi = 3,14 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}} \text{ nach V. A. 1) } \tau_2 = \frac{0,785 \cdot 1,76}{0,067 \cdot 11,37 \cdot 3,14} =$$

0,058 kg/qcm. Die Scher- und Haft-Spannungen fallen in der vollen Platte somit überall sehr gering aus.

Diese Berechnung setzt völlig feste Einspannung der Platte an beiden Tragwänden voraus. Dies kann aber mittels der Gebäudemauern wegen der Nachgiebigkeit gegen verbiegende Momente bei irgend erheblicher Höhe, und wegen der Unmöglichkeit, die Enden der Zugeisen in annähernd unnachgiebige Verbindung mit den Mauern zu bringen, fast nie auch nur annähernd erzielt werden. Die unvermeidliche Nachgiebigkeit hoher Mauern und selbst der sorgfältigsten Befestigungen der Zugeisen in den Mauern entfernt das Plattenende soweit vom Zustande fester Einspannung, daß von einer solchen kaum die Rede sein kann.

Ein sicherer Grad der Einspannung, nämlich der des durchlaufenden Trägers, ist zu erzielen, wenn man die Decke bei Anordnung mehrerer Räume neben einander durch die stützenden Mauern ununterbrochen durchlaufen lassen kann, aber auch dann ist eben nur der Grad der Einspannung eines durchlaufenden Trägers, nicht völlig feste Einspannung erzielt, die oben angenommen wurde.

Da hiernach die Annahme völliger Einspannung auf sehr schwachen Füßen steht, namentlich, wenn es sich um bloß einen Raum überspannende Decken handelt, so soll nun an diesem Beispiele gezeigt werden, um wieviel zu schwach die Decken unter der fälschlich gemachten Annahme der festen Einspannung werden.

Ist die Decke frei aufgelagert, so hat sie in der Mitte das Moment $\frac{0,083 \cdot 470^2}{8} = 2290 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$ aufzunehmen. Würde sie

also nach vorstehender Rechnung mitten mit $h = 14,65$ cm,

$$\varphi = 0,067 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}, \quad \varphi' = 0, \quad D = 0, \quad M = 2290 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}} \text{ ausgeführt,}$$

so ergäben sich nach IV A. b. α) die Größen:

$$x = 12,4 \cdot 0,067 \left\{ \sqrt{1 + 2 \frac{14,65 - 2}{12,4 \cdot 0,067}} - 1 \right\} = 3,84 \text{ cm};$$

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot 2290}{3,84 (14,65 - 2 - \frac{3,84}{3})} = 105 \text{ kg/qcm}; \quad \sigma_o = 12,4 \cdot 105$$

$$\frac{14,65 - 2 - 3,84}{3,84} = 3000 \text{ kg/qcm, also wegen des dreifachen}$$

Momentes dreifach zu hohe Spannungen. Mit der Annahme der Endeinspannung soll man also sehr vorsichtig sein, sonst rechnet man verdeckt mit zu hohen Spannungen.

Ist die Platte frei aufgelagert, so muß g wegen der größern Dicke schätzungsweise mit $0,01 \cdot 0,01 \cdot 0,27 \cdot 2400$

$$= 0,065 \text{ kg/qcm, also } q \text{ mit } 0,105 \text{ und } M = \frac{0,105 \cdot 470^2}{8}$$

$$= 2910 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}} \text{ eingeführt werden. Demnach wird nach IV A. a. } \alpha$$

$$\text{nun } x = \sqrt{\frac{6 \cdot 2910}{8,9 \cdot 35}} = 7,48 \text{ cm, } h = 2 + 3,3 \cdot 7,48 = \underline{26,6 \text{ cm,}}$$

$$\varphi = 0,035 \cdot \frac{7,48}{2} = 0,131 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}. \text{ Drähte von } \underline{1 \text{ cm}} \text{ Dicke}$$

$$\text{müssen also in } b = \frac{0,785}{0,131} = \underline{6 \text{ cm}} \text{ Teilung liegen.}$$

Bezüglich der Scher- und Haftspannungen ist diese Platte nun wegen der größern Dicke noch gesicherter, als die unter der Annahme der Einspannung berechnete.

Es gibt aber ein anderes Mittel, zu geringerer Dicke zu kommen, ohne die Spannungen zu erhöhen, das ist namentlich bei Platten, deren Grundriss sich nicht allzuweit vom Quadrate entfernt, die vierseitige freie Auflagerung. Für solche Platten kann man mit genügender Schärfe annehmen, daß die Lasten sich auf die beiden Tragwirkungen im umgekehrten Verhältnisse der dritten Potenzen der Seitenlängen verteilen.

Böte der oben angenommene Raum in der zweiten Richtung 700 cm Stützweite, und wird das Eigengewicht der nun entstehenden Platte mit $g = 0,01 \cdot 0,01 \cdot 0,23 \cdot 2400 = 0,055 \text{ kg/qcm}$, also $q = 0,095 \text{ kg/qcm}$ eingeführt, so kommt auf die kurze Traglänge $0,095 \frac{7^3}{7^3 + 4,7^3} = 0,073 \text{ kg/qcm}$, auf die lange

$0,095 \frac{4,7^3}{7^3 + 4,7^3} = 0,022 \text{ kg/qcm}$, daraus folgt das Moment

der kurzen Traglänge bei freier Lagerung mit $\frac{0,073 \cdot 470^2}{8} = 2010 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$, der langen mit $\frac{0,022 \cdot 700^2}{8} = 1350 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$.

Für die kurze Tragrichtung folgt also nach IV A. a. a)

$x = \sqrt{\frac{6 \cdot 2010}{8,9 \cdot 35}} = 6,21 \text{ cm}$; $h = 2 + 3,3 \cdot 6,21 = 22,5 \text{ cm}$;

$\varphi = 0,035 \cdot \frac{6,21}{2} = 0,109 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$ und bei 1 cm dicken Einlagen

$b = \frac{0,785}{0,109} = 7,2 \text{ cm}$, für die lange Tragrichtung $x = \sqrt{\frac{6 \cdot 1350}{8,9 \cdot 35}}$

$= 5,09 \text{ cm}$; $h = 2 + 3,3 \cdot 5,09 = 18,8 \text{ cm}$; $\varphi = 0,035 \cdot \frac{5,09}{2}$

$= 0,089 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$, also bei 1 cm Durchmesser der Einlagen $b =$

$\frac{0,785}{0,089} = 8,8 \text{ cm}$. Die Platte ist also mit 22,5 cm Dicke und

1 cm starken Einlagen mit 7,2 cm Teilung nach der kurzen, mit 8,8 cm Teilung nach der langen Seite zu bilden, in letzterer Richtung ist sie dann etwas zu stark, da sie nur 18,8 cm dick zu sein brauchte.

Die vierseitig frei gelagerte Platte ist also gegen die zweiseitig frei gelagerte von 26,6 cm auf 22,5 cm verschwächt, sie enthält nun aber in 1 qm Grundfläche $\frac{100}{7,2} + \frac{100}{8,8} = 25,3 \frac{\text{m}}{\text{qm}}$ an gekreuzten Einlagen, während die zweiseitig gelagerte $\frac{100}{6} = 16,7 \frac{\text{m}}{\text{qm}}$ Einlagen nach einer Richtung erfordert. Über die Ausführung der einen oder andern Lösung entscheidet, wenn vierseitige Lagerung überhaupt möglich ist, der Kostenvergleich.

VII. B. Rechteckiger Plattendurchlaß in einem Eisenbahndamme.

Für den rechteckigen Durchlaß soll höchstens die Sohle an Ort und Stelle eingestampft werden, übrigens besteht er aus fertig einzubringenden seitlichen und Deck-Platten (Textabb. 6). Die Oberkante liegt 40 cm unter Schwellen-Unterkante oder 70 cm unter Schienen-Oberkante. Die ständige Last des Gleises

und der Überfüllung kann mit $g = 0,01 \cdot 0,01 \cdot 0,7 \cdot 2000 = 0,14 \text{ kg/qcm}$ eingeführt werden. Die Verkehrslast besteht aus einem Schwellendrucke von 10 t, der sich mittels der Querschwellen und Bettung auf $23 + 2 \cdot 40 = 103 \text{ cm}$ Länge und $270 + 2 \cdot 40 = 350 \text{ cm}$ Breite verteilt, also eine Belastung

von $p = \frac{10000}{103 \cdot 350} = 0,277 \text{ kg/qcm}$ gibt. Die ganze Auflast $q =$

$0,417 \text{ kg/qcm}$ entspricht einer Überschüttung aus gewöhnlichem Boden von $\frac{0,417}{0,01 \cdot 0,01 \cdot 1400} = 3,0 \text{ m}$ über dem Durchlasse.

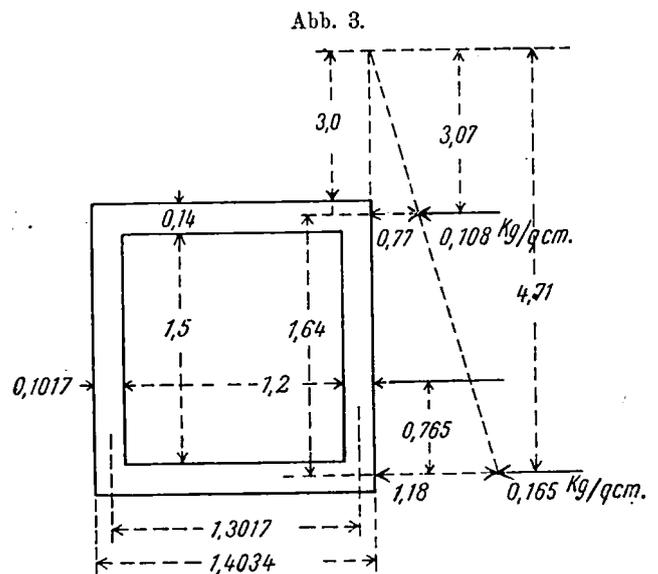
Die Deckplatte wird zunächst zur annähernden Maßbestimmung ohne Berücksichtigung der Eigenlast nach IV A. a. a) berechnet. Wegen der vergleichsweise ruhigen Belastung werden eingeführt: $s_b = 45 \text{ kg/qcm}$, $s_o = 1200 \text{ kg/qcm}$, $E_e = 2100000 \text{ kg/qcm}$, $E_b = 160000 \text{ kg/qcm}$, $n = 13,1$, $n - 1 = 12,1$, $r = 0,0375$, $m = \frac{1}{r \cdot n} = 2,04$, $m + 1 = 3,04$, $m + 2 = 4,04$, $2 + 3 m = 8,12$, $a = 1,5 \text{ cm}$, $(n - 1) \cdot r = 0,454$.

Bei $l = 1,3 \text{ m}$ gegebener Stützweite der Deckplatte ist

$M = \frac{0,417 \cdot 130^2}{8} = 880 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$; $x = \sqrt{\frac{6 \cdot 880}{8,12 \cdot 45}} = 3,8$;

$h = 1,5 + 3,04 \cdot 3,8 = 13,1 \text{ cm}$. Das Eigengewicht ist also $g = 0,01 \cdot 0,01 \cdot 0,14 \cdot 2400 = 0,0335$, folglich $q = 0,45 \text{ kg/qcm}$.

Der Durchlaß soll im Lichten 1,5 m hoch, 1,2 m breit sein, die Bauhöhe ist also $1,5 + 2 \cdot 0,14 = 1,78 \text{ m}$. Der Erdschub wird dargestellt durch das Gewicht eines 1400 kg/cbm wiegenden Erdkörpers, der ein Viertel der Höhe zur Grundlinie hat, er beträgt also nach Textabb. 3 in der Mitte der Decke



$0,01 \cdot 0,01 \cdot 0,77 \cdot 1400 = 0,108 \text{ kg/qcm}$, in Mitte des Bodens $0,01 \cdot 0,01 \cdot 1,18 \cdot 1400 = 0,165 \text{ kg/qcm}$. Der ganze Erddruck gegen die Seitenwand ist $\frac{0,108 + 0,165}{2} \cdot 1,64 = 22,4 \text{ kg/cm}$,

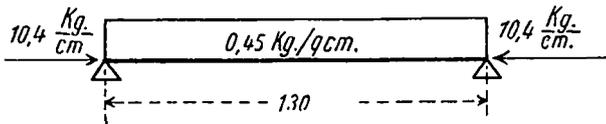
er greift $\frac{164}{3} \frac{2 \cdot 1,18 + 0,77}{1,18 + 0,77} = 88 \text{ cm}$ unter der Oberkante

des Trapezes an, folglich erhält die Decke einen Längsdruck von $22,4 \frac{164 - 88}{164} = 10,4 \text{ kg/cm}$, der Boden von $22,4 \cdot \frac{88}{164}$

= 12 kg/qcm. Das Biegemoment der Decke ist bei 130 cm Stützweite nun $\frac{0,45 \cdot 130^2}{8} = 954 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$.

Die Deckplatte ist also in dem in Textabb. 4 dargestellten

Abb. 4.



Zustande. Wegen des Längsdruckes soll die Decke eine Druckeinlage erhalten, die zu $\varphi' = 0,05 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$ bei $a = 1,5 \text{ cm}$ festgesetzt wird. Die doppelte Einlage ist für die Handhabung der fertigen Platten günstig. Es handelt sich also nun um den Fall IV A. a), für den sich ergibt:

$$-x^3 \frac{8,12}{6} + x^2 \cdot 3,04 \left\{ \frac{10,4}{2 \cdot 45} - 12,1 \cdot 0,05 \right\} + x \left\{ \frac{2 \cdot 954 - 10,4 \cdot 1,5}{2 \cdot 45} + 4,04 \cdot 12,1 \cdot 1,5 \cdot 0,05 \right\} = 12,1 \cdot 0,05 \cdot 1,5^2$$

oder $-x^3 \cdot 1,37 - x^2 \cdot 1,49 + x \cdot 21 = 1,36$,
 oder $-x^3 - x^2 \cdot 1,085 + x \cdot 15,3 = 0,99$.

Setzt man $x = 3$ ein, so ist die linke Seite $+ 9,15$, für $x = 4$ wird sie $- 20,2$, sie soll aber $+ 0,99$ sein. Eine einfache Zwischenrechnung gibt die Lösung der Gleichung mit $x = 3,37 \text{ cm}$; $h = 1,5 + 3,04 \cdot 3,37 = 11,7 \text{ cm}$; $\varphi = 0,0375 \left(\frac{3,37}{2} + 12,1 \frac{3,37 - 1,5}{3,37} \cdot 0,05 \right) - \frac{10,4}{1200} = 0,067 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$.

Die Druckkräfte sind im Beton $\frac{45 \cdot 3,37}{2} = 76 \text{ kg/cm}$, im Druckeisen $12,1 \cdot 0,05 \cdot \frac{3,37 - 1,5}{3,37} \cdot 45 = 15,1 \text{ kg/cm}$, erstere Kraft liegt $\frac{3,37}{3} = 1,12 \text{ cm}$, letztere $1,5 \text{ cm}$ unter Oberkante, die Mittelkraft beider beträgt $91,1 \text{ kg/cm}$ und liegt:

$\frac{76 \cdot 1,12 + 15,1 \cdot 1,5}{91,1} = 1,18 \text{ cm}$ unter Oberkante. d beträgt also $11,7 - 1,18 - 1,5 = 9,02 \text{ cm}$, φ_{s_0} ist $= 0,067 \cdot 1200 = 80,5 \text{ kg/cm}$, somit $D + \varphi_{s_0} = 10,4 + 80,5 = 90,9 \text{ kg/cm}$, was genügend genau mit $91,1 \text{ kg/cm}$ Druck übereinstimmt.

Die größte Querkraft am Auflager ist $Q = \frac{130 \cdot 0,45}{2} = 29,2 \text{ kg/cm}$, wegen zu großen Eigengewichtes etwas zu hoch berechnet. Demnach ist die Scherspannung im Beton nach V. A. 2) $\tau_1 = \frac{29,2}{9,02} = 3,25 \text{ kg/qcm}$. Da das $2,5 \text{ kg/qm}$ übersteigt, ist das Herausziehen einiger der unteren Eisen nach oben zu empfehlen, nach V. B. 1) ist der Querschnitt der herausziehenden Eisen $q'' = \frac{1,414 (29,2 - 2,5 \cdot 9,02)}{1200} = 0,0079 \text{ qcm/cm}$. Für Drähte von 8 mm Durchmesser ist: $f = \frac{0,8^2 \cdot \pi}{4} = 0,5 \text{ qcm}$, dabei erhalten die oberen Druckeisen die Teilung $b = \frac{0,5}{0,05} = 10 \text{ cm}$, die unteren Zugeisen b

$= \frac{0,5}{0,067} = 7,5 \text{ cm}$ und die herausgezogene Eisen von $\frac{0,5}{0,0079} = 63,5 \text{ cm}$, also braucht nur jedes $\frac{63,5}{7,5} = 8,5$ Zugeisen nach oben gezogen zu werden. Die Querkraft am Ende der ersten Schrägziehung ist noch $29,2 - 9,02 \cdot 0,45 = 25,15 \text{ kg/cm}$, nach V. A. 2) ist also hier die Scherspannung $\tau_1 = \frac{25,15}{9,02} = 2,78 \text{ kg/qcm}$, für eine zweite Schrägziehung wäre daher nach V. B. 1):

$$\varphi'' = \frac{1,414 (25,15 - 2,5 \cdot 9,02)}{1200} = 0,0031 \text{ qcm/cm}$$

Die Teilung dieser zweiten Herausziehung müfste also $b = \frac{0,5}{0,0031} = 162 \text{ cm}$ sein, also wäre jedes $\frac{162}{7,5} = 21,5$ te Zugeisen hinaufzuziehen, was kaum noch lohnt.

Am Ende der zweiten Schrägziehung ist die Querkraft noch $Q = 29,2 - 2 \cdot 9,02 \cdot 0,45 = 21,1 \text{ kg/cm}$, somit beträgt hier die Haftspannung der Zugeinlagen nach V. A. 1)

$$\tau_2 = \frac{0,5 \cdot 21,1}{0,067 \cdot 9,02 \cdot 0,8 \cdot 3,14} = 6,95 \text{ kg/qcm}$$

was zu hoch ist.

Für die Verminderungen der Haftspannungen kommen vier Mittel in Frage:

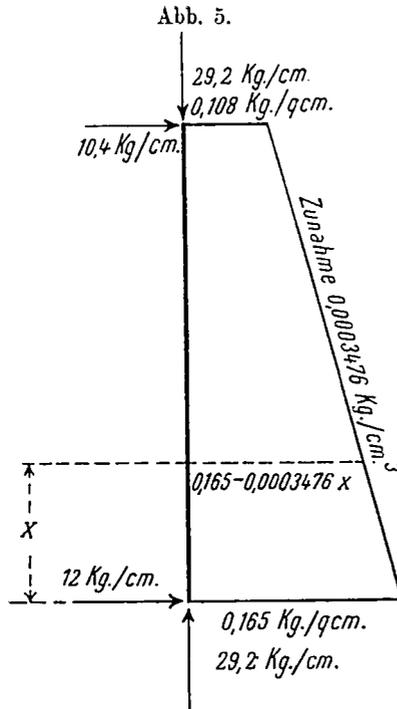
- 1) Vermehrung und Verschwächung der Eiseninlagen, um bei Aufrechterhaltung des Querschnittes mehr Umfangsfläche zu erhalten; da die Teilung der Zugeinlagen aber schon $7,5 \text{ cm}$ beträgt, so ist auf diesem Wege nichts Wesentliches zu erreichen, die Teilung würde für die Einbringung des Beton zu eng werden.
- 2) Die vorhandenen Eisen an den Enden durch Anbinden neuer zu gabeln, empfiehlt sich auch nicht, weil die Verbindungen teuer und zeitraubend sind, die Teilung wenigstens an den Seiten auch wieder zu eng werden würde.
- 3) Die Verwendung mechanischer Mittel zur Erhöhung des Haftwiderstandes durch Anlöten, Ankerben, Durchstecken und dergleichen ist bezüglich vieler Mittel zu umständlich und teuer, bezüglich anderer unzuverlässig. Zur Verwendung dieses Mittels müfste man von vorn herein zu anderen Einlagen greifen, als Rund- oder Quadrat-Eisen.
- 4) Vergrößerung des Widerstandshebels d , also der Plattendicke. Dieses Mittel ist vergleichsweise einfach und sicher wirksam. Um von $6,95 \text{ kg/qcm}$ auf 4 kg/qcm zu kommen, müfste d auf $9,02 \frac{6,95}{4,5} = 14 \text{ cm}$ gebracht werden, was bei $h = 14 + 1,5 + 1,18 = 16,7 \text{ cm}$ Plattendicke genügend genau erreicht wird.

Die zulässige Querkraft der Stelle, wo $d = 9,02 \text{ cm}$ bleiben kann, wenn $\tau_2 = 4,5 \text{ kg/qcm}$ werden soll, folgt nach V. A. 1) aus $4,5 = \frac{0,5 \cdot Q}{0,067 \cdot 9,02 \cdot 0,8 \cdot 3,14}$ mit $Q = 13,6 \text{ kg/cm}$, und die Länge z der Stelle, wo diese Querkraft erreicht wird, aus $29,2 - z \cdot 0,45 = 13,6$ mit $z = 35 \text{ cm}$.

Nach Vergrößerung von d auf 14 cm ist nun aber nach

V. A. 2) τ_1 nur noch $= \frac{29,2}{14,0} = 2,1 \text{ kg/qcm}$, und die Haftspannung nach V. A. 1) $\tau_2 = \frac{0,5 \cdot 29,2}{0,067 \cdot 14 \cdot 0,8 \cdot \pi} = 6,25 \text{ kg/qcm}$, folglich überhaupt keine Schrägziehung der Eiseneinlagen mehr nötig, wenn man zur Verminderung von τ_2 auf $4,5 \text{ kg/qcm}$ noch d auf $14 \cdot \frac{6,25}{4,5} = 19,4 \text{ cm}$, also h auf $19,4 + 1,5 + 1,18 = 22,1 \text{ cm}$ verstärkt. Die Deckplatte muß also von beiden Enden her auf etwa 25 cm Länge $22,1 \text{ cm}$ dick sein, und ist dann auf weiteren 10 cm Länge auf $11,7 \text{ cm}$ Dicke einzuschragen.

Die Seitenplatte erhält aus der Deckplatte einen Längsdruck von $D = 29,2 \text{ kg/cm}$ und die aus Textabb. 3 hervorgehenden Erd-drucke, welche nach der obigen Ermittlung $10,4 \text{ kg/cm}$ Gegen-druck der Decke und 12 kg/cm Gegen-druck der Sohle bewirken. Die Zunahme des Druckes ist $\frac{0,165 - 0,108}{164} = 0,0003476 \text{ kg/cm}^3$, also der Belastungszu-



stand der Seitenplatte der in Textabb. 5 dargestellte. Nach der Regel, daß das Moment da am größten wird, wo die Querkraft verschwindet, folgt die Stelle des größten Biegemomentes Textabb. 5 aus:

$$0 = 12 - \frac{0,165 + 0,165 - 0,0003476 x}{2} x$$

oder $x^2 - 2 \cdot x \cdot 475 = -69200$ mit $x = 80 \text{ cm}$. Das Moment selbst beträgt demnach

$$M = 12 \cdot 80 - \frac{2 \cdot 0,165 + 0,165 - 0,0003476 \cdot 80}{0,165 + 0,165 - 0,0003476 \cdot 80} \cdot \frac{80}{3} \cdot \frac{0,165 + 0,165 - 0,0003476 \cdot 80}{2} \cdot 80$$

$$= 960 - \frac{80^2}{6} \cdot 0,4672 = 460 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$$

Die Seitenplatte soll zwei gleiche Eiseneinlagen mit $a = 1,5 \text{ cm}$ erhalten, um sie einfach herstellen und sicher zur Baustelle bringen zu können, also tritt der Fall IV. B. a), und zwar mit $D = 29,2 \text{ kg/cm}$, $M = 460 \text{ kgcm/cm}$, $a = 1,5 \text{ cm}$, sonst mit den Werten der Deckplatte ein.

$$x^3 \cdot 45 \{8,12 + 0,454\} - x^2 \{3 \cdot 3,04 \cdot 29,2 \cdot 1,454 + 4 \cdot 0,454 \cdot 45 \cdot 1,5\} - x \{6 \cdot 460 (1 - 0,454) - 3 \cdot 29,2 \cdot 1,5 (1 + 0,454 \cdot 4,04) - 3 \cdot 0,454 \cdot 45 \cdot 1,5^2\} = 3 \cdot 0,454 \cdot 1,5 \{2 \cdot 460 + 29,2 \cdot 1,5\} \text{ oder } x^3 \cdot 386 - x^2 \cdot 509 - x \cdot 995 = 1970 \text{ oder } x^3 - x^2 \cdot 1,317 - x \cdot 2,57 = 5,1.$$

$x = 3 \text{ cm}$ macht die linke Seite zu $7,44$, $x = 2$ zu $-2,41$, Zwischenrechnung liefert die Wurzel $x = 2,85 \text{ cm}$;

$$h = 1,5 + 2,85 \cdot 3,04 = 10,17 \text{ cm},$$

$$\varphi = \frac{45 \cdot 2,85 - 2 \cdot 29,2}{2 \cdot 1200 \left[1 - 0,454 \frac{2,85 - 1,5}{2,85} \right]} = 0,0372 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$$

Werden Drähte von 6 mm Durchmesser mit $f = \frac{0,6^2 \pi}{4} = 0,283 \text{ qcm}$ verwendet, so muß die Teilung $b = \frac{0,283}{0,0372} = 7,6 \text{ cm}$ sein.

Die größte Querkraft tritt mit $Q = 12 \text{ kg/cm}$ unten auf. Der Widerstandshebel d folgt aus folgender Rechnung. Die Summe der Betondrücke ist $2,85 \cdot 45 \cdot \frac{1}{2} = 64,2 \text{ kg/cm}$, die Kraft im Druckeisen nach Textabb. 1 $12,1 \cdot 0,0372 \cdot 45 \frac{2,85 - 1,5}{2,85} = 9,55 \text{ kg/cm}$, beider Mittelkraft wirkt von Betonaufsenkante um $64,2 \cdot \frac{2,85}{3} + 9,55 \cdot 1,5 = 1,02 \text{ cm}$, folglich ist $d = 10,17 - 1,5 - 1,02 = 7,65 \text{ cm}$. Nach V. A. 2) ist die Scherspannung im Beton ohne Schrägeisen $\tau_1 = \frac{12}{7,65} = 1,57 \text{ kg/qcm}$, und die Haftspannung nach V. A. 1) $\tau_2 = \frac{12 \cdot 0,283}{0,0372 \cdot 7,65 \cdot 0,6 \cdot \pi} = 6,3 \text{ kg/qcm}$; soll τ_2 nur $4,5 \text{ kg/qcm}$ betragen, so ist d auf $\frac{7,65 \cdot 6,3}{4,5} = 10,7 \text{ cm}$, also h auf $10,7 + 1,5 + 1,02 = 13,2 \text{ cm}$ zu vergrößern.

Soll $\tau_2 = 4,5 \text{ kg/qcm}$ bei $d = 7,65 \text{ cm}$ eingehalten werden, so folgt die dabei zulässige Querkraft Q nach V. A. 1) aus $4,5 = \frac{Q \cdot 0,283}{0,0372 \cdot 7,65 \cdot 0,6 \cdot \pi}$, sie ist $Q = 8,5 \text{ kg/cm}$, und der Abstand x vom Unterende, wo diese Querkraft wirkt, ergibt sich aus (Textabb. 5) $12 - \frac{0,165 + 0,165 - 0,0003476 x}{2} x = 8,5$ oder $x^2 - 2 \cdot x \cdot 476 = -20150$ mit $x = 23 \text{ cm}$.

Die Seitenplatte muß also am Unterende $13,2 \text{ cm}$ dick sein und auf 23 cm Höhe auf $10,17 \text{ cm}$ eingeschrägt werden. Wird sie am obern Ende freien Umkehrens wegen ebenso geformt, so ist sie hier bei der etwas kleinern Querkraft von $10,4 \text{ kg/cm}$ (Textabb. 5) etwas zu stark.

Die Bodenplatte hat auf ihren Rändern zu tragen $2 \cdot 29,2 + 2 \cdot 0,01 \cdot 0,1017 \cdot (1,64 + 0,14) 2400 = 67,1 \text{ kg/cm}$, wenn von dem Gewichte der geringen Endverstärkungen abgesehen wird. Der Bodengegendruck ist bei gleichmäßiger Verteilung $\frac{67,1}{140,34} = 0,48 \text{ kg/qcm}$ (Textabb. 3), das Biegemoment in der Mitte ist $M = \frac{0,48 \cdot 130^2}{8} = 1015 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$, das

Eigengewicht der Bodenplatte ruht auf dem Boden auf, ohne Biegung zu erzeugen, der Längsdruck aus den Seitenwänden ist $D = 12 \text{ kg/cm}$.

Da sich die Anordnung zweier Einlagen bei dünnen Platten als nicht besonders wirksam erweist, die Bodenplatte auch an Ort und Stelle hergestellt werden kann, so soll sie nur eine

Einlage oben in der Zugzone erhalten, somit liegt bei $\varphi^1 = 0$, $D > 0$ der Fall IV. A. a. β) mit $M = 1015 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$, $D = 12 \text{ kg/cm}$, $a = 1,5 \text{ cm}$ vor:

$$x = \frac{3}{2} \frac{3,04}{8,12 \cdot 4,5} \left\{ 12 + \sqrt{12^2 + \frac{4 \cdot 8,12 \cdot 4,5 (2 \cdot 1015 - 12 \cdot 1,5)}{3 \cdot 3,04^2}} \right\}$$

$$= 4,22 \text{ cm}; \quad h = 1,5 + 4,22 \cdot 3,04 = 14,3 \text{ cm}, \quad \varphi = 0,0375$$

$$\frac{4,22}{2} - \frac{12}{1200} = 0,069 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}. \quad \text{Bei 8 mm Durchmesser der Ein-$$

lagen ist $f = 0,5 \text{ qcm}$ und die Teilung $b = \frac{0,5}{0,069} = 7,25 \text{ cm}$.

Die Querkraft am Ende ist $\frac{0,48 \cdot 130}{2} = 31,2 \text{ kg/cm}$ und der

Hebel $d = 14,3 - 1,5 - \frac{4,22}{3} = 11,4 \text{ cm}$. Soll nun wieder

nach V. A. 1) die Haftspannung τ_2 $4,5 \text{ kg/qcm}$ sein, so folgt das erforderliche Maß d aus $4,5 = \frac{0,5 \cdot 31,2}{0,069 \cdot d \cdot 0,8 \cdot \pi}$ mit

$d = 20 \text{ cm}$, die Plattenenden sind also auf $20 + 1,5 + \frac{4,22}{3}$

$= 22,9 \text{ cm}$ zu verstärken, die Scherspannung im Beton ist dann nach V. A. 2) $\tau_1 = \frac{31,2}{20} = 1,56 \text{ kg/qcm}$. Bei $d =$

$11,4$ kann die aus V. A. 1) nach $4,5 = \frac{0,5 \cdot Q}{0,069 \cdot 11,4 \cdot 0,8 \cdot \pi}$

mit $Q = 17,7 \text{ kg/cm}$ folgende Querkraft aufgenommen werden. Die Stelle, wo diese wirkt, folgt aus $31,2 - x \cdot 0,48 = 17,7$ mit $x = 28 \text{ cm}$. Die Bodenplatte ist also an den Rändern $22,9 \text{ cm}$ dick zu machen, und auf 28 cm Länge von jeder Seite auf $11,4 \text{ cm}$ Dicke einzuschragen.

Hiernach erhält der ganze Durchlaß die in Textabb. 6 dargestellte Anordnung. Die Ecken sind so ausgebildet, da die vier Platten die Kräfte richtig auf einander übertragen.

VII. C. Rippenplatten-Brücke auf fünf Stützen.

Die Brücke für Straßerverkehr hat die in Textabb. 7 und 8 in Quer- und Längs-Schnitt dargestellte Anordnung. Die Fahrbahndecke ruht beiderseits überkragend auf fünf Rippen, jede Rippe auf fünf stützenden Pfählen. Auch die Rippen kragen beiderseits über, um den Straßendamm ohne Endstützmauer mit Böschung gegen die Brückenenden schütten zu können. Ungünstigste Aufstellung einer Walze und von Menschengedränge hat bei Einsetzung des 1,5 fachen der Nutzlast die in Textabb. 7 und 8 angegebenen Einheitsbelastungen q , Momente M und Querkräfte Q geliefert; von letzteren sind nur die größten Werte eingeschrieben, da die

Abb. 6.

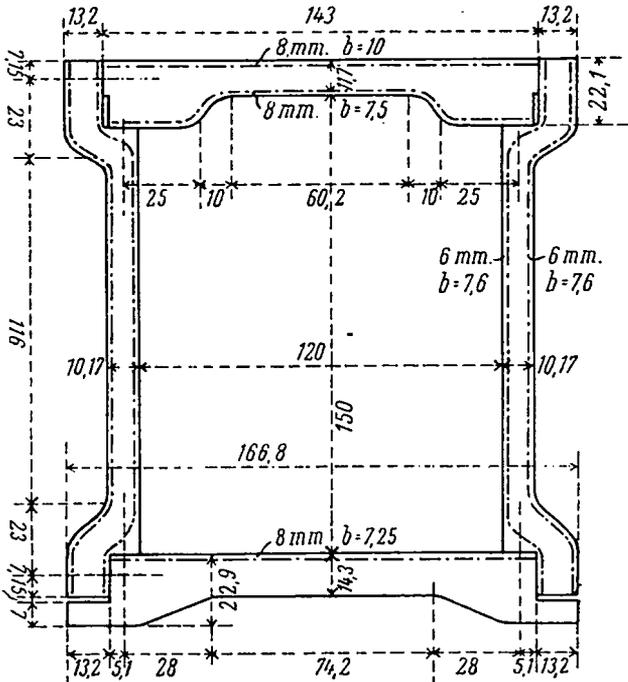


Abb. 7.

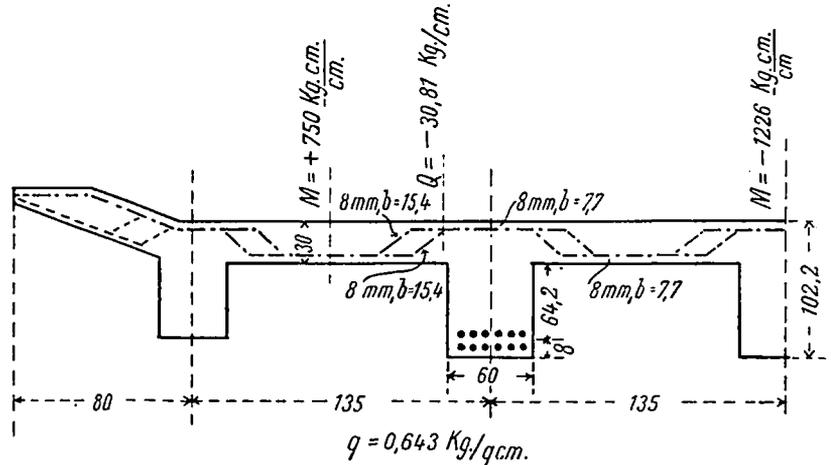
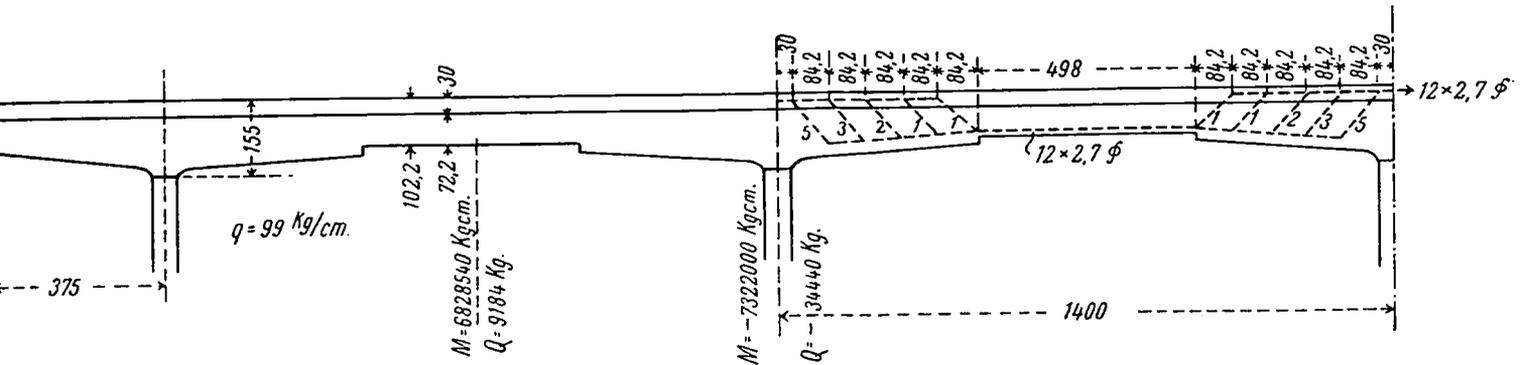


Abb. 8.



Querschnitte der Quere und Länge nach unveränderlich durchgeführt werden sollen*).

C. 1) Die Fahrbahndeckplatte.

Wegen der unmittelbaren Belastung werden folgende Werte eingeführt. $s_b = 35 \text{ kg/qcm}$, $s_o = 1000 \text{ kg/qcm}$, $E_e = 2100000 \text{ kg/qcm}$, $E_b = 180000 \text{ kg/qcm}$, $n = 11,6$, $m = \frac{1000 \cdot 180000}{35 \cdot 2100000} = 2,45$, $n - 1 = 10,6$, $m + 1 = 3,45$, $m + 2 = 4,45$, $2 + 3m = 9,35$, $r = 0,035$, $a^1 = 2 \text{ cm}$, D^1 und φ'^1 sind beide $= 0$, also liegt der Fall A. a. α) vor und gibt für $M^1 = 750 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$ in der Platte zwischen den Rippen:

$$x_1^1 = \sqrt{\frac{6 \cdot 750}{9,35 \cdot 35}} = 3,72 \text{ cm}; h_1^1 = 2 + 3,72 \cdot 3,45 = 14,8 \text{ cm}$$

$$\varphi^1 = 0,035 \cdot \frac{3,72}{2} = 0,065 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}. \text{ Einlagen von } 8 \text{ mm Durchmesser}$$

und $f^1 = 0,5 \text{ qcm}$ Querschnitt erhalten $b^1 = \frac{0,5}{0,065} = 7,7 \text{ cm}$ Teilung. Da nur eine Einlage angeordnet ist, wird

$$d^1 = 14,8 - 2 - \frac{3,72}{3} = 11,56 \text{ cm}. \text{ Aus der größten Querkraft der Öffnung von } -30,81 \text{ kg/cm unmittelbar neben der}$$

Rippe folgt nach V. A. 2) die Scherspannung $\tau_1 = \frac{30,81}{11,56} = 2,67 \text{ kg/qcm}$. Da das über $2,5 \text{ kg/qcm}$ hinausgeht, sollen nach

$$\text{V. B. 1) Eisen des Querschnittes } \varphi'^1 = \frac{1,414 \cdot (30,81 - 11,56 \cdot 2,5)}{1000}$$

$$= 0,002828 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}} \text{ schräg hinaufgezogen werden, also Eisen}$$

$$\text{von } 8 \text{ mm Durchmesser in der Teilung } b^1 = \frac{0,5}{0,002828} = 177 \text{ cm,}$$

das heißt jedes $\frac{177}{7,7} = 23$ ste Eisen wäre hinaufzuziehen. Bei

der Last $q = 0,643 \text{ kg/qcm}$ für die Einheit wäre die Haftspannung der schräg gezogenen Eisen nach V. B. 2) $\tau_2'^1 =$

$$\frac{0,5 \cdot 0,643 (30,81 - 2,5 \cdot 11,56)}{0,002828 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 30,81} = 2,93 \text{ kg/qcm}.$$

Am Ende der ersten Aufziehung ist noch $Q = 30,81 - 11,56 \cdot 0,643 = 23,4 \text{ kg/cm}$, somit nach V. A. 2) die Betonscherspannung $\tau_1^1 =$

$$\frac{23,4}{11,56} = 2,03 \text{ kg/qcm, und nach V. A. 1) die Haftspannung } \tau_2^1 =$$

$$\frac{0,5 \cdot 23,4}{0,065 \cdot 11,56 \cdot 0,8 \cdot 3,14} = 6,2 \text{ kg/qcm.}$$

Um diese Spannung auf $4,5 \text{ kg/qcm}$ zu vermindern, müßte

$$d^1 = \frac{11,56 \cdot 6,2}{4,5} = 15,9 \text{ cm gemacht werden, welches Maß}$$

weiter unten aus anderen Gründen noch vergrößert wird. Übrigens müssen tatsächlich nicht die 23sten Eisen, sondern alle hinaufgezogen werden, weil sie wegen der über den Rippen negativen Momente hier alle oben liegen müssen. Dieses negative Moment ist auf der Mittelrippe am größten mit $M_1^1 =$

*) Die vollständige Vorführung der Ermittlung der Werte von M und Q verbietet der Platzmangel. Sie folgt den allgemeinen Regeln der Statik und hat mit den Besonderheiten der Verbundbauweise, die hier zu behandeln sind, nichts zu tun.

$-1226 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$. Da $D^1 = \varphi'^1 = 0$ ist, so trifft VI. A. α) zu, und es muß sein:

$$x_1^1 = \frac{2}{3} \cdot 11,6 \cdot 0,065 \left\{ \sqrt{1 + \frac{9 \cdot 1226}{2 \cdot 11,6 \cdot 0,065^2 \cdot 1000}} - 1 \right\} =$$

$$4,86 \text{ cm}; \sigma_b^1 = \frac{2 \cdot 0,065 \cdot 1000}{4,86} = 26,8 \text{ kg/qcm}; h_1^1 = 2 + 4,86$$

$(1 + \frac{1000}{11,6 \cdot 26,8}) = 22,5 \text{ cm}$. Die obere Platte muß also so geformt werden, daß ihre Stärke mitten über den Rippen mindestens $22,5 \text{ cm}$ beträgt, welches Maß unten noch vergrößert wird.

C. 2) Die Rippen.

Die drei mittleren Rippen sind bei ungünstigster Lastverteilung fast gleich, und so belastet, daß die in Textabb. 8 angegebenen Momente und Querkräfte entstehen. Die äußere Rippe hat weniger zu tragen, wird daher schwächer, doch sollen hier nur die drei gleichen mittleren berechnet werden. Die angegebenen Momente und Querkräfte beziehen sich auf eine ganze Rippenteilung von $b = 135 \text{ cm}$, müssen also bei Anwendung der Formeln aus IV und V durch dieses Maß beziehungsweise durch die Rippenbreite b_0 geteilt werden.

Wegen der mehr mittelbaren Belastung wird hier eingeführt: $s_b = 40 \text{ kg/qcm}$, $s_o = 1200 \text{ kg/qcm}$, $E_e = 2100000 \text{ kg/qcm}$, $E_b = 150000 \text{ kg/qcm}$, $r = 0,0333$, $n = 14$, $n - 1 = 13$

$$m = \frac{1200 \cdot 150000}{40 \cdot 2100000} = 2,14, m + 1 = 3,14, m + 2 = 4,14,$$

$2 + 3m = 8,42$. Da hier starke Einlagen nötig werden, wird $a = 8 \text{ cm}$ angenommen, eine Druckeinlage φ' wird nicht eingeführt, um beim Stampfen der Rippen nicht behindert zu sein, ebenso ist $D = 0$, also tritt der Fall IV. A. a. α) ein.

$$\text{In den Öffnungen ist: } x = \sqrt{\frac{6 \cdot 6828540}{135 \cdot 8,42 \cdot 40}} = 30 \text{ cm};$$

$$h = 8 + 3,14 \cdot 30 = 102,2 \text{ cm}; \varphi = 0,0333 \frac{30}{2} = 0,5 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$$

Da die Einlagen nur in 135 cm Teilung in den Rippen wiederkehren, ist $f = 135 \cdot 0,5 = 67,5 \text{ qcm}$; 12 Eisen von $2,7 \text{ cm}$

Durchmesser in zwei Reihen von sechs Eisen geben: $12 \frac{2,7^2 \cdot \pi}{4} =$

$68,5 \text{ qcm}$. Werden diese Eisen in 10 cm Teilung gelegt, so müssen die Rippen mindestens $b_0 = 6 \cdot 10 = 60 \text{ cm}$ breit sein.

Da eine Druckzone von 30 cm erforderlich ist, muß die obere Platte statt $14,8 \text{ cm}$ beziehungsweise $22,5 \text{ cm}$ (VII. C. 1) 30 cm dick gemacht werden, womit die oben schon als nötig nachgewiesenen Verstärkungen reichlich angebracht sind.

$$\text{Bei fehlender Druckeinlage ist: } d = 102,2 - 8 - \frac{30}{3} =$$

$84,2 \text{ cm}$, u ist $= 12 \cdot 2,7 \cdot \pi = 102 \text{ qcm/cm}$. An der Stelle des größten Momentes in der Öffnung ist die größte Querkraft:

$Q = 9184 \text{ cm}$, also nach VI. 2) die Betonscherspannung:

$$\tau_1 = \frac{9184 \cdot 67,5}{135 \cdot 0,5 \cdot 84,2 \cdot 60} = 1,82 \text{ kg/qcm, die Haftspannung}$$

$$\text{nach V. A. 1) } \tau_2 = \frac{67,5 \cdot 9184}{0,5 \cdot 135 \cdot 84,2 \cdot 102} = 1,07 \text{ kg/qcm.}$$

Für die Aufnahme der Querkraft von 34440 kg an der Stütze müssen Eisen des Querschnittes VI. 4) $f'' = 1,414$

$$\frac{34440 \cdot 67,5}{135 \cdot 0,5} - 84,2 \cdot 60 \cdot 2,5 = 25,6 \text{ qcm schräg hinauf gezogen}$$

werden. Eines der Eisen hat $\frac{2,7^2 \pi}{4} = 5,7 \text{ qcm}$, also müssen

neben der Stütze $\frac{25,6}{5,7} = 4,5$ rund 5 Eisen schräg gezogen

werden (Textabb. 8). Diese haben $u'' = 5 \cdot 2,7 \cdot \pi = 42,4 \text{ qcm}$

Umfang, folglich ist ihre Haftspannung bei $q = \frac{99}{135}$ nach VI. 5)

$$\tau_2'' = \frac{99 \cdot 67,5}{135 \cdot 0,5} \cdot \frac{34440 \cdot 67,5}{135 \cdot 0,5} - 84,2 \cdot 60 \cdot 2,5 = 1,49 \text{ kg/qcm}$$

Am Ende der ersten Schrägziehung ist die Querkraft etwas größer, als $34440 - 84,2 \cdot 99 = 26000 \text{ kg}$, etwa 28000 kg . Der Eisenquerschnitt der zweiten Aufziehung ist nach VI. 4)

$$f'' = 1,414 \frac{28000 - 84,2 \cdot 60 \cdot 2,5}{1200} = 12,9 \text{ qcm, folglich müssen}$$

in der zweiten Aufbiegung: $\frac{12,9}{5,7} = 2,25$ oder 3 Eisen liegen.

u'' ist dann $= 3 \cdot 2,7 \cdot \pi = 25,4 \text{ qcm}$ und die Haftspannung wird

$$\text{nach VI. 5): } \tau_2'' = 99 \cdot \frac{28000 - 12600}{28000 \cdot 25,4} = 2,14 \text{ kg/qcm}$$

Weiter werden der Reihe nach 2, 1, 1 Eisen heraufgezogen, sodafs über der Stütze $5 + 3 + 2 + 1 + 1$, also alle 12 Eisen oben liegen (Textabb. 8).

Über der Stütze steht als Breitenmafs des Betondruckgurtes nur die Breite $b_0 = 60 \text{ cm}$ der Rippe zur Verfügung, die für den Fall, dafs nicht zu grofse Höhe nötig wird, ungeändert durchgeführt werden soll; wie früher durch 135 ist das Moment nun durch 60 zu teilen. Da $D = 0$ und unten keine Druckeinlage vorhanden ist, liegt der Fall IV. A. a. α) vor, welcher liefert:

$$x = \sqrt{\frac{6 \cdot 7322000}{60 \cdot 8,42 \cdot 40}} = 46,7 \text{ cm; } h = 8 + 3,14 \cdot 46,7 = 155 \text{ cm;}$$

$$\varphi = 0,0333 \frac{46,7}{2} = 0,777 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}, \text{ also mufs die Einlage oben}$$

in der Rippe $f = 60 \cdot 0,777 = 46,5 \text{ qcm}$ betragen, während sie tatsächlich $68,5 \text{ qcm}$ ist, denn man wird hier keines der in den Öffnungen vorhandenen Eisen fehlen lassen. In Textabb. 8 ist die Anordnung der Einlagen einmal eingetragen.

VII. D. Rippendecke für 800 kg/qm Last.

In einem Lagerhause soll eine Rippendecke auf zwei tragenden Wänden mit $l = 725 \text{ cm}$ Stützweite für 800 kg/qm Nutzlast so hergestellt werden, dafs die obere durchgehende Platte als Tragplatte zwischen den Rippen und als Druckgurt des Rippenquerschnittes grade voll ausgenutzt wird. Wird die Platte vorläufig 12 cm dick, und sonst angenommen, dafs alle 200 cm eine Rippe mit 40 cm Breite und Höhe vorspringt, so ist anzusetzen: $g^1 = 0,01 \cdot 0,01 \cdot 0,12 \cdot 2400 = 0,029 \text{ kg/qcm}$, $g = 0,029 + \frac{0,01 \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 2400}{200} = 0,048 \text{ kg/qcm}$, $p = 0,08 \text{ kg/qcm}$, $q^1 = 0,029 + 0,08 = 0,109 \text{ kg/qcm}$, $q = 0,048 + 0,08 = 0,128 \text{ kg/qcm}$. Ferner gelten die Werte des

Beispiels C. 2) mit $a = 4 \text{ cm}$. Die Rippen sollen eine Druckeinlage $\varphi^1 = 0,15 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$ erhalten, da die Druckeinlagen bei

starken Körpern zur Wirkung zu bringen sind, D ist $= 0$,

$$M = \frac{0,128 \cdot 725^2}{8} = 8430 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}. \text{ Nach IV A. a. } \gamma) \text{ ist: } -x^3$$

$$\frac{8,42}{6} - x^2 \cdot 3,14 \cdot 13 \cdot 0,15 + x \left\{ \frac{8430}{40} + 4,14 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 0,15 \right\}$$

$$= 13 \cdot 4^2 \cdot 0,15 \text{ oder } -x^3 \cdot 1,403 - x^2 \cdot 6,12 + x \cdot 243 = 31,2$$

$$\text{oder } -x^3 - x^2 \cdot 4,35 + x \cdot 173 = 22,2. \text{ } x = 11 \text{ cm macht die}$$

linke Seite zu 46 , $x = 11,1$ zu 19 , also liegt die Lösung genau

genug bei $x = 11,08 \text{ cm}$; $h = 4 + 3,14 \cdot 11,08 = 39 \text{ cm}$;

$$\varphi = 0,0333 \left\{ \frac{11,08}{2} + 13 \frac{11,08 - 4}{11,08} \cdot 0,15 \right\} = 0,226 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$$

Die Plattendicke ist nach VI $h^1 = x = 11,08 \text{ cm}$. Wird $a^1 = 1,5 \text{ cm}$ neben den obigen Spannungswerten eingesetzt, und

$$D^1 = \varphi^1 = 0 \text{ beachtet, so ist nach VI 6) } x^1 = \frac{11,08 - 1,5}{3,14}$$

$$= 3,05 \text{ cm, ferner nach IV A. a. } \alpha) \varphi^1 = 0,0333 \cdot \frac{3,05}{2} =$$

$$0,0508 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}} \text{ und nach IV A. c. } \alpha) \sigma_0^1 = 14 \cdot 40 \frac{11,08 - 1,5 - 3,05}{3,05}$$

$$= 1200 \text{ kg/qcm, } M^1 = \frac{40 \cdot 3,05}{2} \left(11,08 - 1,5 - \frac{3,05}{3} \right) =$$

$$520 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$$

Für eine Mittelöffnung der Platte ist nach VI 7) und 9) $k = 1 : 40$, die einzuführende Last $q^1 + 2p = 0,109 + 2 \cdot$

$$0,08 = 0,269 \text{ kg/qcm, also } b = \sqrt{\frac{520 \cdot 40}{0,269}} = 278 \text{ cm, für}$$

ein Seitenfeld $k = 1 : 50$ und die Last $4q^1 + p = 4 \cdot 0,109 +$

$$0,08 = 0,516, b = \sqrt{\frac{520 \cdot 50}{0,516}} = 224 \text{ cm.}$$

Die angenommene Druckeinlage der Rippen mufs $f^1 = 278 \cdot 0,15 = 42 \text{ qcm}$, die Zugeinlage $f = 278 \cdot 0,226 = 63 \text{ qcm}$ betragen.

$$\underline{9 \text{ Quadrateisen von } 2,20 \text{ cm Seite geben oben } f^1 = 9 \cdot 2,2^2 = 43,5 \text{ qcm.}}$$

$$\underline{13 \text{ Quadrateisen von } 2,20 \text{ cm Seite geben unten } f = 13 \cdot 2,2^2 = 63,0 \text{ qcm.}}$$

Die Platte erhält Einlagen aus Drähten von 6 mm Durchmesser, also ist $f^1 = \frac{0,6^2 \pi}{4} = 0,282 \text{ qcm}$ und nach VI 8)

$$b = \frac{f^1}{\varphi^1} = \frac{0,282}{0,0508} = 5,6 \text{ cm.}$$

Der in Textabb. 9 dargestellte Lastzustand liefert, wenn von der Verschiedenheit der Weite des Seitenfeldes abgesehen wird,

$$\text{rechts von der zweiten Stütze die Querkraft } Q = 1,98 + 21,9$$

$$- 278 \cdot 0,029 = 15,83 \text{ kg/cm, d beträgt: } 11,08 - 1,5 - \frac{3,05}{3}$$

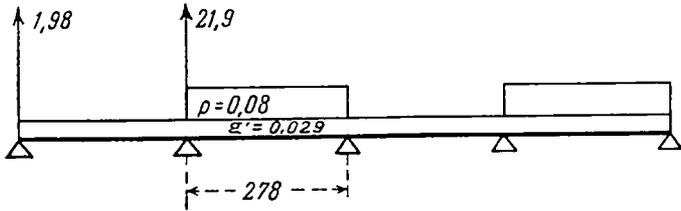
$$= 8,56 \text{ cm, also ist nach V A 2) } \tau_1^1 = \frac{15,83}{8,56} = 1,56 \text{ kg/qcm,}$$

$$\text{aber nach V A 1) } \tau_2^1 = \frac{0,282}{0,0508} \frac{15,83}{8,56 \cdot 0,6 \cdot \pi} = 5,47 \text{ kg/qcm.}$$

Da letzte Spannung zu hoch ist, mufs die Querkraft durch Schrägziehen aufgenommen werden, das übrigens doch nötig ist,

um die Eisen über der Rippe oben zu haben. Bei der Berechnung der Haftspannung der Schrägeisen nach V B. 2) ergibt sich aber, daß $2,5 \cdot d = 2,5 \cdot 8,56 = 21,4 \text{ kg/cm}$ schon

Abb. 9.



größer ist, als Q , folglich brauchten die Schrägeisen gar nicht in Anspruch genommen zu werden, der Beton nimmt die Querkraft allein schon auf.

Die Querkraft, die von der Haftspannung der wagerechten Zugeinlage aufgenommen werden kann, folgt nach V A 1) aus $4,5 = \frac{0,282 \cdot Q}{0,0508 \cdot 8,56 \cdot 0,6 \cdot \pi}$ mit $Q = 13 \text{ kg/cm}$, und der Abstand z von der Rippe, in dem diese Querkraft erreicht wird genügend genau nach Textabb. 9 aus $15,81 - z \cdot 0,109 = 13$ mit $z = 25,7 \text{ cm}$. In dieser Länge sind $\frac{25,7}{8,56} = 3$ Schrägziehungen möglich, also werden die Einlagen der Platte nach Textabb. 10 in drei Feldern nach oben zu ziehen sein.

Die Mäße der Platte über der Rippenmitte folgen aus dem Momente nach VI. 9) $\frac{0,109 \cdot 278^2}{10} = 842 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$, da keine Druckeinlage da ist, aus VI. A. α) mit:

$$x_1^1 = \frac{2}{3} \cdot 14 \cdot 0,0508 \left\{ \sqrt{1 + \frac{9 \cdot 842}{2 \cdot 14 \cdot 0,0508^2 \cdot 1200}} - 1 \right\} = 3,97 \text{ cm};$$

$$\sigma_b^1 = \frac{2 \cdot 0,0508 \cdot 1200}{3,97} = 30,7 \text{ kg/qcm};$$

$$h_1^1 = 1,5 + 3,97 \left(1 + \frac{1200}{14 \cdot 30,7} \right) = 16,5 \text{ cm. (Textabb. 10).}$$

Für die Rippe ist am Lagerende:

$$Q = \frac{725 (0,048 + 0,08)}{2} = 46,3 \text{ kg/cm},$$

der Betondruck des Druckgurtes ist:

$$\frac{40 \cdot 11,08}{2} = 221,6 \text{ kg/cm},$$

der Druck des Druckeisens

$$13 \cdot 40 \cdot 0,15 \frac{11,08 - 4}{11,08} = 49,6 \text{ kg/cm}$$

der Hebel des erstern bezüglich Betonoberkante ist (Textabb. 1)

$$\frac{11,08}{3} = 3,69 \text{ cm}, \text{ der des letztern } 4 \text{ cm}, \text{ der Abstand der}$$

Mittelkraft von $221,6 + 49,6 = 271,2 \text{ kg/cm}$ von der Oberkante ist also: $\frac{221,6 \cdot 3,69 + 49,6 \cdot 4}{271,2} = 3,73 \text{ cm}$, folglich:

$d = 39 - 4 - 3,73 = 31,27 \text{ cm}$. Der erforderliche Querschnitt der Schrägeisen am Plattenende ist nach VI. 4)

$$f'' = 1,414 \frac{46,3 \cdot \frac{63}{0,226} - 31,27 \cdot b_0 \cdot 2,5}{1200}$$

Wird darin b_0 zunächst = 45 cm gesetzt, um 6 von den 13 Zugeisen neben einander legen zu können, so folgt $f'' = 11 \text{ qcm}$, am Ende sind also 2 Quadrateisen von 2,2 cm hinaufzuziehen und eines von oben nach unten (Textabb. 12), zusammen mit $3 \cdot 2,2^2 = 14,5 \text{ qcm}$ Fläche, deren Haftspannung nach VI. 5) beträgt

$$0,128 \cdot \frac{63}{0,226} \cdot \frac{146,3 \cdot \frac{63}{0,226} - 31,27 \cdot 45 \cdot 2,5}{46,3 \cdot \frac{63}{0,226}}$$

$$\tau_2'' = \frac{3 \cdot 4 \cdot 2,2}{= 0,98 \text{ kg/qcm.}}$$

Nach Textabb. 11 ist die Querkraft am Ende der ersten

Abb. 10.

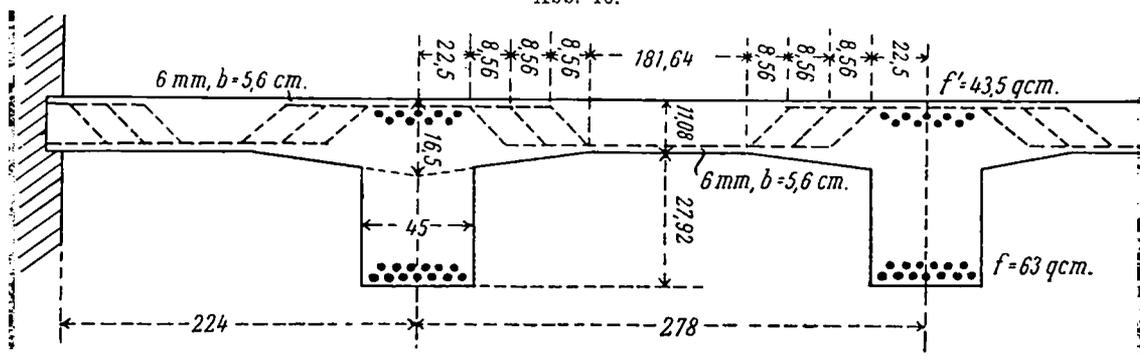
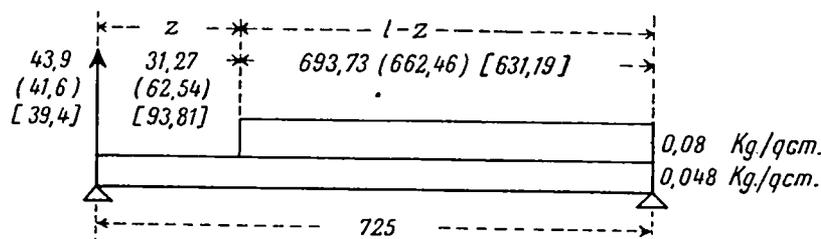


Abb. 11.



Aufziehung $Q = 43,9 - 31,27 \cdot 0,048 = 42,4 \text{ kg/cm}$, somit für eine zweite Aufziehung nach VI. 4)

$$f'' = 1,414 \frac{42,4 \cdot 278 - 31,27 \cdot 45 \cdot 2,5}{1200} = 9,8 \text{ qcm},$$

wofür die Herauf- und Herabziehung je eines Eisens genügt, deren Haftspannung nach VI. 5) beträgt:

$$\tau_2'' = \frac{0,128 \cdot 278 \cdot \frac{42,4 \cdot 278 - 31,27 \cdot 45 \cdot 2,5}{42,4 \cdot 278}}{2 \cdot 4 \cdot 2,2} = 1,42 \text{ kg/qcm}.$$

Am Ende der zweiten Aufziehung ist nach Textabb. 11 $Q = 41,6 - 62,54 \cdot 0,048 = 38,6 \text{ kg/cm}$ folglich nach VI. 4):

$$f'' = 1,414 \frac{38,6 \cdot 278 - 31,27 \cdot 45 \cdot 2,5}{1200} = 8,5 \text{ qcm},$$

also ist wieder je ein Eisen herauf und herunter zu ziehen. Am Ende dieses dritten Feldes ist nach Textabb. 11 $Q = 39,4 - 93,81 \cdot 0,048 = 34,9 \text{ kg/cm}$ und

$$f'' = 1,414 \frac{34,9 \cdot 278 - 3500}{1200} = 7,25 \text{ qcm},$$

folglich ist im 4. Felde wieder ein Eisenpaar zu kreuzen.

Von der wagerechten Betonscherspannung kann nach VI. 2) eine Querkraft aufgenommen werden, die aus

$$2,5 = \frac{63 \cdot Q}{0,226 \cdot 31,27 \cdot 45} \text{ mit } Q = 12,6 \text{ kg/cm folgt.}$$

Ebenso liefert V. A. 1) eine zulässige Querkraft aus:

$$4,5 = \frac{63 \cdot Q}{0,226 \cdot 31,27 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 2,2} = 58 \text{ kg/cm},$$

demnach kann die Rippe nur bis zu der Stelle z (Textabb. 11) von Schrägeisen frei bleiben, wo die Querkraft noch $12,6 \text{ kg/cm}$ beträgt. Diese folgt aus:

$$\frac{725}{2} \cdot 0,048 + \frac{(725 - z)^2}{2 \cdot 725} \cdot 0,08 - z \cdot 0,048 = 12,6$$

Abb. 12.

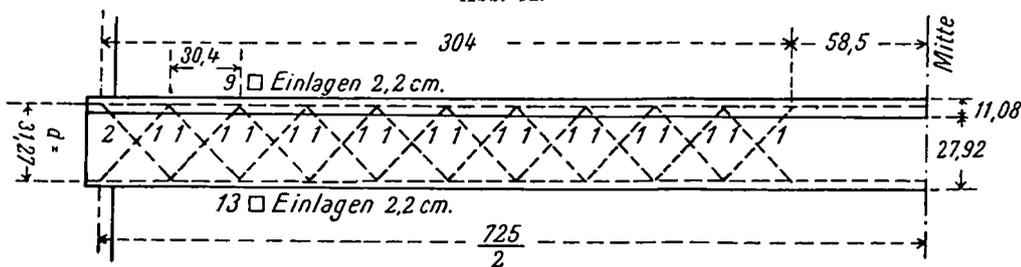
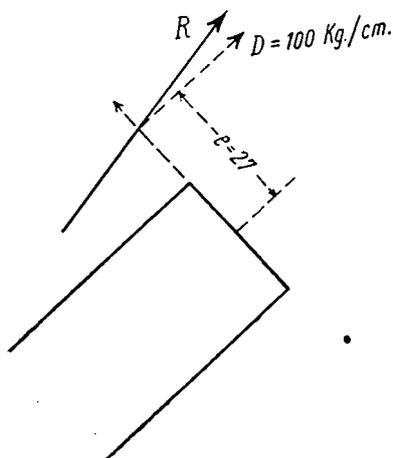


Abb. 13.



mit $z = 304 \text{ cm}$. $\frac{304}{31,27}$ gibt $9,75 = \text{rund } 10$ Felder von $30,4 \text{ cm}$ Länge mit gekreuzten Schrägeisen, mitten erhalten $725 - 2 \cdot 304 = 117 \text{ cm}$ der Rippe nur die wagerechten Einlagen.

Die Hälfte einer Rippe ist in Textabb. 12 dargestellt.

VII. E. Gewölbe-Querschnitt.

Auf einen Gewölbe-Querschnitt (Textabb. 13) wirkt die Mittelkraft R aller äußeren Kräfte ein, die einen Längsdruck $D = 100 \text{ kg/cm}$ und ein Moment für die Querschnittsmitte $M = 100 \cdot 27 = 2700 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$ gibt. Da ein Gewölbe bei den ungünstigsten Belastungen in demselben Querschnitte annähernd gleiche positive und negative Momente aufzunehmen hat, so sollen zwei gleiche Einlagen angeordnet werden. Die Elastizitäts- und Spannungs-Zahlen sind die der Beispiele C. 2) und D, a wird $= 3 \text{ cm}$ angenommen, $(n - 1) \cdot r$ ist $= 13 \cdot 0,0333 = 0,433$. Hier liegt der Fall IV. B. a) vor, welcher liefert:

$$x^3 \cdot 40 \{8,42 + 0,433\} - x^2 \{3 \cdot 3,14 \cdot 100 (1 + 0,433) + 4 \cdot 0,433 \cdot 40 \cdot 3\} - x \{6 \cdot 2700 (1 - 0,433) - 3 \cdot 100 \cdot 3 (1 + 0,433 \cdot 4,14) - 3 \cdot 0,433 \cdot 40 \cdot 3^2\} = 3 \cdot 0,433 \cdot 3 \{2 \cdot 2700 + 3 \cdot 100\} \text{ oder } x^3 \cdot 354,1 - x^2 \cdot 1558 - x \cdot 6200 = 22200 \text{ oder } x^3 - x^2 \cdot 4,4 - x \cdot 17,5 = 62,5.$$

$x = 6$ macht die linke Seite zu -47 , $x = 10$ gibt links $+385$ und $x = 8$ liefert: 90 . In Textabb. 14 sind die drei so erhaltenen Punkte durch eine krumme Linie verbunden, der bei der Höhe $+62,5$ die Lösung $x = 7,7 \text{ cm}$ entspricht. $h = 3 + 7,7 \cdot 3,14 = 27,2 \text{ cm}$,

$$q = \frac{40 \cdot 7,7 - 2 \cdot 100}{2 \cdot 1200 \left(1 - 0,433 \frac{7,7 - 3}{7,7}\right)} = 0,0613 \text{ qcm/cm}.$$

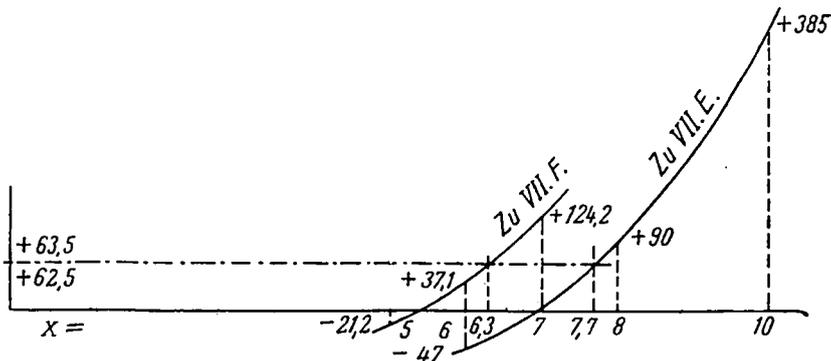
Werden also Rundeisen von $1,2 \text{ cm}$ Durchmesser eingelegt, was bei $a = 3 \text{ cm}$ zweckmäßig ist, so wird

$$f = \frac{1,2^2 \pi}{4} = 1,13 \text{ qcm},$$

folglich die Teilung der Einlagen

$$b = \frac{1,13}{0,0613} = 18,4 \text{ cm}.$$

Abb. 14.



Die Querkräfte fallen bei Gewölben regelmäÙig so klein aus, daÙ sie vom Beton allein aufgenommen werden können und besondere Maßnahmen bezüglich der Eisen nicht erfordern. Letztere laufen also gleichmäÙig entlang der innern und äußern Laibung.

Wird die Lösung zur Prüfung der Richtigkeit nach IV. B. c) umgekehrt, so folgt:

$$x = \frac{27,2 - 3,0}{3,14} = 7,7 \text{ cm}; D = \frac{40 \cdot 7,7}{2} + 0,0613.$$

$$\left(13 \cdot 40 \frac{7,7 - 3}{7,7} - 1200\right) = 100 \text{ kg/cm}; M = 0,0613 \cdot 1200$$

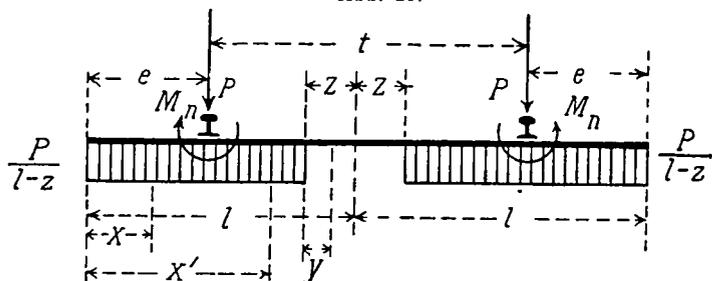
$$(27,2 - 2 \cdot 3) + \frac{40 \cdot 7,7}{6} (3 \cdot 3 - 7,7) + \frac{100}{2} (27,2 - 2 \cdot 3)$$

$$= 2697 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}} \text{ statt } 2700 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}, \text{ die Probe trifft also zu.}$$

VII. F. Die Eisenbahn-Verbundschwelle.

Eine Eisenbahnquerschelle der Länge 2l hat den Schienendruck P unter jeder Schiene zu tragen, sie ist mitten auf solche Länge 2z (Textabb. 15) nicht gestopft, daÙ die

Abb. 15.



Berührende der verbogenen Schwelle unter der Schiene wagrecht bleibt. Die Verteilung der Pressung soll gleichmäÙig angenommen werden. Das widerspricht zwar der von Zimmermann ausgebildeten Annahme Winkler's, nach der die Bodenpressungen in geradem Verhältnisse zu den Höhen der Biegungslinie der Schwelle stehen, aber einerseits ergeben sich die größten Momente bei dieser Annahme in der Regel kleiner, als bei gleichmäÙiger Lastverteilung, und andererseits weist Bastian*) nach, daÙ eine starre Platte an den Rändern erheblich größern Bodendruck erzeugen muß, als im Innern der Fläche, wodurch die Grundlagen der Winkler'schen Annahme teilweise aufgehoben werden. Der Lastzustand ist also der in Textabb. 15 dargestellte.

Die Bedingung der unveränderlichen Lage der Berührenden unter der Schiene findet ihren Ausdruck, wenn man den Differentialquotienten der Formänderungsarbeit nach den hinzugefügt gedachten Drehmomenten M_n gleich Null setzt, und in der so entstehenden Gleichung M_n verschwinden läÙt.

Für die Stelle x ist das Moment $M_x = \frac{P}{1-z} \frac{x^2}{2}$, folglich der Differentialquotient der Formänderungsarbeit nach M_n genommen = 0.

Für die Stelle x' ist $M_{x'} = \frac{P}{1-z} \frac{x'^2}{2} + M - P(x' - e)$,

*) Organ 1906. Ergänzungsheft Seite 303.

also $\frac{dM_{x'}}{dM_n} = 1$ und der ganze Differentialquotient der Form-

änderungsarbeit $\frac{dA_i}{dM_n} = \int_{x'=0}^{x'=1-z} M_{x'}' \frac{dM_{x'}}{dM_n} dx$ für $M_n = 0$ und das

gibt:

$$\frac{dA_i}{dM_n} = 2 \int_{x'=0}^{x'=1-z} \left(\frac{Px'^2}{2(1-z)} - Px' + Pe \right) 1 \cdot \frac{dx'}{EJ}, \text{ woraus folgt}$$

$$\frac{1A_i}{dM_n} = \frac{2P}{EJ} \left[\frac{(1-z)^3}{6(1-z)} - \frac{e^3}{6(1-z)} - \frac{(1-z)^2}{2} + \frac{e^2}{2} + e(1-z) - e^2 \right]$$

Für die ununterstopfte Strecke ist:

$$M_y = -P(1-z - e + y) + \frac{P(1-z)}{1-z} \left(\frac{1-z}{2} + y \right) + M_n =$$

$$P \cdot \left(e - \frac{1-z}{2} \right) + M_n, \text{ also } \frac{dM_y}{dM_n} = 1 \text{ und } \frac{dA_i}{dM_n} \text{ für } M_n = 0 \text{ gleich}$$

$$2 \int_{y=0}^{y=z} \left(Pe - P \frac{1-z}{2} \right) \cdot 1 dy \text{ oder } \frac{dA_i}{dM_n} = \frac{2P}{EJ} \left(ez - \frac{1-z}{2} z \right).$$

Wird nun die ganze Summe des Differentialquotienten

$\frac{dA_i}{dM_n} = 0$ gesetzt, und dabei $\frac{2P}{EJ}$ weggeteilt, so folgt:

$$0 = -\frac{(1-z)^2}{3} - \frac{e^3}{6(1-z)} - \frac{e^2}{2} + e(1-z) + ez - z \cdot \frac{1-z}{2}$$

$$\text{oder } 0 = z^3 - 3z(1-e) + (1-e)(2l^2 - 4el - e^2).$$

Wird nun noch der Mittenabstand der Schienen t eingeführt, so ist $1-e = \frac{t}{2}$ und $e = 1 - \frac{t}{2}$, daher $0 = z^3 -$

$$3z \frac{t}{2} + \frac{t}{2} \left(3l(t-1) - \frac{t^2}{4} \right), \text{ wonach } z \text{ für alle Werte von}$$

l und t, also für alle Spurweiten und Schwellenlängen zu bestimmen ist. Soll nun die Schwelle unter Einhaltung der Bedingung, daÙ sie unter den Schienen stets wagrecht bleiben muß, auf der ganzen Länge gleichmäÙig gestopft werden, was die Aufsicht über das Stopfen erleichtert, so ist l so zu bestimmen, daÙ die letzten Gleichungen $z = 0$ liefern. Das tritt ein für $1-e = 0$, also $l = e$ oder $\frac{t}{2} = 0$. Diese

Lösung ist aber unmöglich, weil dann zwei Schienen in der Schwellenmitte ständen. Die Bedingung $z = 0$ wird aber nach der letzten Gleichung auch erfüllt durch $3l(t-1) - \frac{t^2}{4} = 0$,

was liefert: $l = \frac{t}{2} \frac{\sqrt{1,5} \pm 1}{\sqrt{1,5}}$. Das - Zeichen hat keine

Bedeutung, denn dafür würde $l < \frac{t}{2}$, was unmöglich ist. Mit dem + Zeichen folgt $l = 0,91t$. Bei $t = 1,5$ m Schienenmittenabstand müÙte also die Schwellenlänge $2l = 2 \cdot 0,91 \cdot 1,5 = 2,73$ m gemacht werden, was mit bewährten Ausführungen übereinstimmt.

Das Moment unter der Schiene beträgt für $z = 0$

$$M_s = \frac{P}{1} \frac{\left(1 - \frac{t}{2}\right)^2}{2}, \text{ oder für } l = 0,91t \text{ } M_s = 0,0925 P \cdot t$$

und in der Schwellenmitte $M = P \left(\frac{1}{2} - \frac{t}{2} \right) = 0,045 P \cdot t$.

Wird nun der Schienenendruck für schweren Betrieb $P = 5000 \text{ kg}$, $t = 150 \text{ cm}$, die Schwellenbreite $= 24 \text{ cm}$ gesetzt, so wird: $M_s = \frac{0,0925 \cdot 5000 \cdot 150}{24} = 2880 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$. Werden

die Elastizitäts- und Spannungs-Zahlen der Beispiele C. 2), D und E wieder beibehalten, ferner bestimmt, daß die Schwelle zwei gleiche Einlagen mit $a = 3 \text{ cm}$ erhalten soll, damit sie beliebig gehandhabt werden kann, schließlich $D = 0$ berücksichtigt, so ist nach IV. B. a. $\alpha) x^3 \left[1 + \frac{8,42}{0,433} \right] - x^2 \cdot 4 \cdot 3 - x \left[6 \frac{2880}{40} \right]$

$\left(\frac{1}{0,433} - 1 \right) - 3 \cdot 3^2 = 6 \cdot 3 \cdot \frac{2880}{40}$ oder $x^3 \cdot 20,45 - x^2 \cdot 12 - x \cdot 537 = 1300$ oder $x^3 - x^2 \cdot 0,587 - x \cdot 26,3 = 63,5$
 $x = 5, 6, 7$ gibt links der Reihe nach $-21,2, +37,1, +121,2$. Diese drei Punkte sind wieder in Textabb. 14 aufgetragen und verbunden, die Höhe $63,5$ gibt genau genug die Lösung $x = 6,3$;
 $h = 3 + 6,3 \cdot 3,14 = 22,8 \text{ cm}$; $\varphi = \frac{40 \cdot 6,3}{2 \cdot 1200 \left(1 - 0,433 \frac{6,3}{6,3} \right)}$

$= 0,136 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$, also muß für die 24 cm breite Schwelle $f = 24 \cdot 0,136 = 3,25 \text{ qcm}$ sein. 9 mm starke Quadrateisen haben $0,81 \text{ qcm}$, also sind 4 Quadrateisen von 9 mm Seite nötig.

Das Mittelmoment ist: $M_m = \frac{0,045 \cdot 5000 \cdot 150}{24} = 1415 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$, also folgt für die Mitte nach IV. B. a. $\alpha)$:

$x^3 \left[1 + \frac{8,42}{0,433} \right] - x^2 \cdot 12 - x \left[6 \frac{1415}{40} \right] = 0,15 \cdot 1415$
 oder $x^3 \cdot 20,45 - x^2 \cdot 12 - x \cdot 248 = 637$ oder $x^3 - x^2 \cdot 0,587 - x \cdot 12,15 = 31,1$, daraus folgt mittels der Auftragung wie in Textabb. 14 $x = 4,65$; $h = 3 + 3,14 \cdot 4,65 = 17,6 \text{ cm}$;
 $\varphi = \frac{40 \cdot 4,65}{2 \cdot 1200 \left(1 - 0,433 \frac{4,65}{4,65} \right)} = 0,0915 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$. In der

Mitte beträgt der Eisenquerschnitt $f = 24 \cdot 0,0915 = 2,2 \text{ qcm}$, also sind hier noch 3 Quadrateisen von 9 mm Seite mit $2,43 \text{ qcm}$ nötig.

Die Bodenpressung ist nun $q = \frac{2 \cdot 5000}{273 \cdot 24} = 1,525 \text{ kg/qcm}$, somit Q an der Außenkante des 11 cm breiten Schienenfußes:
 $Q = 1,525 \cdot \left(\frac{273}{2} - 75 - 5,5 \right) = 85,4 \text{ kg/qcm}$.

Der ganze Betondruck unter der Schiene beträgt $\frac{40 \cdot 6,3}{2} = 126 \text{ kg/cm}$, er wirkt $2,1 \text{ cm}$ von Oberkante, der Eisendruck ist $13 \cdot 0,136 \cdot 40 \frac{6,3}{6,3} = 37 \text{ kg/cm}$, er wirkt 3 cm von Oberkante, die Mittelkraft beider von 163 kg/cm wirkt $\frac{126 \cdot 2,1 + 37 \cdot 3}{163} = 2,22 \text{ cm}$ unter

Oberkante, folglich ist d unter der Schiene: $d = 22,8 - 2,22 - 3 = 17,58 \text{ cm}$.

Die Betonscherspannung ist demnach nach V. A. 2) mit $\tau_1 = \frac{85,4}{17,58} = 4,86 \text{ kg/qcm}$ zu hoch. Nach V. B. 1) muß der

Querschnitt der Schrägeisen $\varphi'' = \frac{1,414 (85,4 - 2,5 \cdot 17,58)}{1200} = 0,0488 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$, der Querschnitt der Schrägeisen einer Schwelle also $f'' = 24 \cdot 0,0488 = 1,17 \text{ qcm}$ sein, also sind zwei der vorhandenen Eisen zu kreuzen. Die Haftspannung wird nach V. B. 2) dabei

$\tau_2'' = \frac{1,17 \cdot 1,525}{0,0488 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,9} \frac{85,4 - 2,5 \cdot 17,58}{85,4} = 2,45 \text{ kg/qcm}$. Diese paarweise Kreuzung je zweier Eisen wird bis zum Schwellenende durchgeführt, also in $\left(\frac{273}{2} - 75 - 5,5 \right) \frac{1}{17,58} = 3,2$ rund 3 Feldern.

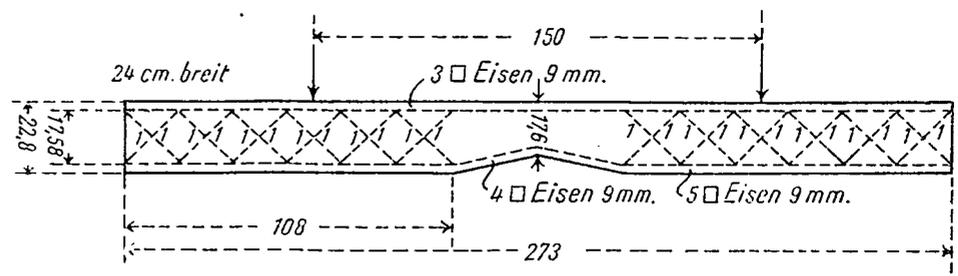
Innerhalb der Schiene ist die Querkraft $-\frac{5000}{24} + 85,4 + 11 \cdot 1,525 = -106 \text{ kg/cm}$. Hier muß nach V. B. 1) sein: $\varphi'' = \frac{1,414 (106 - 2,5 \cdot 17,58)}{1200} = 0,073 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$, oder für die ganze Schwelle $f'' = 24 \cdot 0,073 = 1,75 \text{ qcm}$. Hier müssen also auch je zwei Eisen gekreuzt werden, die Haftspannung ist dann nach V. B. 2):

$\tau_2'' = \frac{1,75 \cdot 1,525}{0,073 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,9} \frac{106 - 2,5 \cdot 17,58}{106} = 2,97 \text{ kg/qcm}$.

Die Querkraft, die mit Rücksicht auf die Scherspannung im Beton ohne Schrägeisen aufgenommen werden kann, folgt nach V. A. 2) aus $2,5 = \frac{Q}{17,58}$ mit $Q = 44 \text{ kg/cm}$, und die mittels der Haftspannung nur wagerechter Einlagen aufzunehmende nach V. A. 1) aus $4,5 = \frac{3,25 \cdot Q}{0,136 \cdot 17,58 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 0,9}$ mit $Q = 47,5$. Die Stelle, wo die kleinere von beiden erreicht wird, folgt nach dem Abstände w vom Schwellenende aus $5000 - w \cdot 1,525 = 44$ mit $w = 108 \text{ cm}$, von hier nach der Mitte hin sind keine Schrägeisen mehr nötig, von hier beginnt dann auch die Einschrägung auf die geringere Stärke von $17,6 \text{ cm}$ in der Mitte. Vom Schwellenende her sind also im Ganzen $\frac{108}{17,50} = 6,1$ rund 6 Kreuzfelder nötig.

Da je ein oberes und ein unteres Eisen zu diesen Kreuzungen verwendet werden muß, und dann als Zugeisen fehlt, so muß

Abb. 16.



die untere Einlage wegen des Momentes unter den Schienen in den Schwellenteilen mit Kreuzfeldern auf 5 Quadrateisen von 9 mm Seite gebracht werden. Die obere Einlage genügt durchweg mit 3 solchen Eisen, da sie als Druckeinlage sehr wenig Wirkung hat und als Zugeinlage des Mittelquerschnittes nur dreier Eisen bedarf.

Die so festgelegte Schwelle ist in Textabb. 16 gezeichnet.

VIII. Berechnung von Durchbiegungen der Verbundkörper.

Bei den zu Grunde gelegten Annahmen ist die Festlegung der Spannungsnulllinie des Querschnittes durch Berechnung von x nur ein geometrischer Vorgang. Denn die Durchbiegungen sind für Träger und Platten ganz, für Bogen fast ganz unabhängig vom Längsdrucke D , der nur gleichförmig verteilte Druckspannung, also nur gleichmäßige Verkürzung und keine Verbiegung erzeugt. Selbst der Umstand, daß D bei ungleichen oberen und unteren Einlagen und bei Rippenkörpern außerhalb des Schwerpunktes wirkt, hat hierauf nur geringen Einfluß. Die Verbiegungen hängen fast, oder ganz allein von den Momenten ab, und unter dieser Annahme ist x unabhängig von der Größe der Momente, die Nulllinie liegt demnach in einem Körper überall gleicher Stärke, auch überall an derselben Stelle. Richtig ist diese Grundlage nicht, denn wenn man die Veränderlichkeit der Elastizitätszahl mit der Spannung berücksichtigt, so erkennt man, daß sich die Nulllinie mit der Größe der Momente verschieben muß. Nachdem aber diese ganze Abhandlung auf der Annahme unveränderlicher Elastizitätszahl aufgebaut ist, was sich für die Bauausführung auch als genügend herausgestellt hat, wäre es folgeunrichtig, nun von dieser Grundlage abzugehen. Auch ist der Einfluß der Veränderlichkeit der Elastizitätszahl gering, weil eben der Einfluß auf die Größe der Spannungen in den für Bauzwecke bedeutungsvollen Fällen gering ist.

Wird nun hiernach die Ermittlung der Durchbiegungen unter Vernachlässigung von D für die tatsächlich wirkenden Momente ausgeführt, so trifft jedenfalls einer der Formelsätze IV A. b. α), IV A. b. γ) oder IV B. b. α) zu, da stets x und die Spannungen σ_b und σ_e aus dem gegebenen Momente und den gegebenen Abmessungen des auf die Durchbiegung zu untersuchenden Verbundkörpers zu berechnen sind. Diese Formelsätze zeigen aber, daß man stets $\sigma_b = \mu M$ und $\sigma_e = \nu M$ setzen kann, worin μ und ν als die M anhaftenden Zahlenwerte aus den Formelsätzen abgelesen werden können.

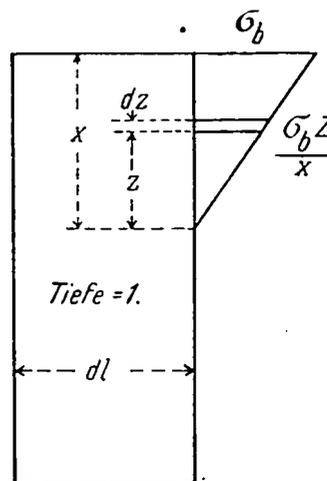
Nun ist jede Durchbiegung $\delta = \frac{d A_i}{d P_n}$, worin A_i die ganze von den Momentenspannungen verrichtete Formänderungsarbeit, und P_n eine in Richtung der zu ermittelnden Durchbiegung wirklich wirkende, oder in dieser nur angenommene und deshalb am Schlusse der Rechnung wieder $= 0$ zu setzende Last bedeutet. Die Formänderungsarbeit A_i aus den Momentenspannungen ist aber nach der üblichen Bezeichnungswiese $\int_0^1 \frac{M^2 dl}{2 \cdot E J}$, worin dl das Differenzial der Länge, J das Trägheitsmoment des Querschnittes ist für Verbundkörper, namentlich statisch bestimmt gelagerte, bleiben die Momente M dieselben, wie für jeden in gleicher Lage befindlichen Tragkörper,

die Länge ist nur eine geometrische Beziehung; anders, als bei anderen Körpern gestalten sich aber E und J . Deshalb soll die Formänderungsarbeit eines Verbundkörperteiles der Länge dl unter dem Momente M nun wirklich ausgerechnet werden, um zu sehen, welche Größe bei Verbundkörpern an die Stelle von $\frac{1}{EJ}$ treten muß.

1. Formänderungsarbeit des Betondruckes.

Die Spannung auf dem Flächenteilchen dz (Abb. 17) ist

Abb. 17.



$\frac{\sigma_b z}{x}$, die Fläche $dz \cdot 1$ und der Weg, das ist die Verkürzung von $dl = \frac{\sigma_b z}{x E_b} dl$, folglich die Formänderungsarbeit des Teilchens $dl = \int_{z=0}^{z=x} \frac{1}{2} \frac{\sigma_b z}{x} \cdot \frac{\sigma_b z}{x E_b} dz = \frac{\sigma_b^2}{6 E_b} M^2 dl$, also da $\sigma_b = \mu M$ gesetzt wurde:

2. Formänderungsarbeit der Zugeinlage.

Die Kraft ist $\varphi \sigma_e$, der Weg das ist die Verlängerung $\frac{\sigma_e}{E_e} dl$, also bei $\sigma_e = \nu M$ die Formänderungsarbeit: $\frac{\nu^2 \varphi}{2 E_e} M^2 dl$.

3. Formänderungsarbeit der Druckeinlage.

Die noch nicht in Rechnung gestellte Kraft ist nach Textabb. 1 $(n-1) \varphi' \sigma_b \frac{x-a}{x}$, der Weg der Verkürzung ist derselbe, wie der des Beton an der Stelle der Druckeinlage, also $\sigma_b \frac{x-a}{x E_b} dl$, denn die Untersuchung ist von vorn herein so angelegt, daß Beton und Eisen sich um Gleiches verkürzen müssen. Die Formänderungsarbeit ist für $\sigma_b = \mu M$ somit:

$$\frac{(n-1)(x-a)^2 \varphi' \mu^2}{2 \cdot x^2 \cdot E_b} M^2 dl.$$

Werden diese drei Beträge zusammengezogen, so ergibt sich als Formel für die Durchbiegung eines Verbundkörpers:

$$\delta = \frac{d \int_0^1 \left\{ \frac{\mu^2}{E_b} \left(\frac{x}{3} + \frac{(n-1)(x-a)^2 \varphi'}{x^2} \right) + \frac{\nu^2 \varphi}{E_e} \right\} M^2 dl}{d P_n}$$

Hiernach können die üblichen Durchbiegungsformeln mit genügender Genauigkeit verwendet werden, wenn statt $\frac{1}{EJ}$ die GröÙe

$$\nu^2 \frac{\varphi}{E_c} + \frac{\mu^2}{E_b} \left[\frac{x}{3} + (n-1) \frac{x-a}{x} \right]^2 \varphi'$$

eingeführt wird, in der bei zwei gleichen Einlagen statt φ' auch φ zu setzen ist.

Als Beispiel möge die Durchbiegung der Rippendecke VII D für volle Belastung mit einer Probelast von 1200 kg/qcm, der 1,5 fachen Nutzlast, berechnet werden, und zwar sollen die erforderlichen Ermittlungen so angestellt werden, als seien die Maße der Decke noch nicht bekannt: so wird zugleich eine Proberechnung gewonnen.

Da $D = 0$ ist, und zwei Einlagen angeordnet wurden, liegt der Fall IV. A. b. γ) mit $h = 39$ cm, $\varphi = 0,226 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$, $\varphi' = 0,15 \frac{\text{qcm}}{\text{cm}}$, $a = 4$ cm und den sonstigen Werten des Beispiels VII D vor. Danach ist:

$$x = (13 \cdot 0,15 + 14 \cdot 0,226).$$

$$\left(\sqrt{1 + 2 \frac{13 \cdot 4 \cdot 0,15 + 14(39-4) \cdot 0,226 - 1}{(13 \cdot 0,15 + 14 \cdot 0,226)^2}} - 1 \right) = 11,08 \text{ cm,}$$

wie früher, und der Faktor von M aus dem Ausdrucke für σ_b :
 $\mu = 11,08 \left(39 - 4 - \frac{11,08}{3} \right) + 2 \cdot 13 \cdot 0,15 \cdot \frac{11,08 - 4}{11,08} (39 - 2 \cdot 4)$
 $= 0,00472$, der Faktor von M aus dem Ausdrucke für σ_c durch Einsetzen von σ_b :

$$\nu = 14 \cdot 0,00472 \frac{39 - 4 - 11,08}{11,08} = 0,1425.$$

Das bei VII. D ermittelte Moment war $8430 \frac{\text{kgcm}}{\text{cm}}$, also

würde hier folgen $\sigma_b = 8430 \cdot 0,00472 = 39,8 \text{ kg/qcm}$, $\sigma_c = 8430 \cdot 0,1425 = 1200 \text{ kg/qcm}$, die Rückrechnung stimmt also fast ganz genau.

Die als $\frac{1}{JE}$ zu benutzende GröÙe wird somit nach VIII 1)

$$\frac{0,1425^2 \cdot 0,226}{2100000} + \frac{0,00472^2}{150000} \left[\frac{11,08}{3} + 13 \left(\frac{11,08 - 4}{11,08} \right)^2 \cdot 0,15 \right] = 0,00000002851.$$

Die Formel für die Durchbiegung in der Mitte eines voll belasteten Trägers auf zwei Stützen ist $\frac{5 p \cdot l^4}{384 \cdot EJ}$, also wird die

Durchbiegung in diesem Falle für $p = 0,12 \text{ kg/qcm}$ Verkehrslast:
 $\delta = \frac{5 \cdot 0,12 \cdot 725^4 \cdot 0,00000002851}{384} = 1,23 \text{ cm.}$

Da diese Untersuchung den Widerstand der Beton-Zugspannungen nicht berücksichtigt, so muß die gemessene Durchbiegung etwas kleiner bleiben, als diese berechnete.

In Fällen verwickelter Momentengesetzes, in denen keine fertige Durchbiegungsformel zur Hand ist, muß der Wert

$$\frac{d \int_0^l \frac{M^2 dl}{2} = \int_0^l M \frac{dM}{dP_n} dl$$

erst ausintegriert werden, auf den Ausdruck VIII. 1) für $\frac{1}{EJ}$ hat das keinen Einfluß.

Vereins-Angelegenheiten.

Statistische Nachrichten von den Eisenbahnen des Vereines Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen für das Rechnungsjahr 1904.

Aus dem Vereinsberichte für das Jahr 1904 teilen wir nachstehend die wichtigsten Endergebnisse mit, denen vergleichshalber die Ziffern der beiden Vorjahre beigegefügt sind.

Das Rechnungsjahr liegt nicht gleich für alle Bahnen, es bezieht sich für 34 unter den 45 deutschen Eisenbahnen und für die Rumänische Staatseisenbahn auf die Zeit vom 1. April 1904 bis 31. März 1905 und für die Chimay-Bahn auf die Zeit vom 1. Oktober 1903 bis Ende September 1904. Bei allen übrigen Vereins-Bahnen stimmt das Rechnungsjahr mit dem Kalenderjahre überein.

Im ganzen gehörten dem Vereine 79 verschiedene Bahnbezirke an, wobei die einzelnen Verwaltungsbezirke der preussischen Staatseisenbahnen gesondert gezählt sind.

Die Bahnlänge ergibt sich aus Zusammenstellung I.

Zusammenstellung I.

Jahr	Vollspurige Strecken		Schmal-spurige Strecken	Bahn-länge am Ende des Jahres	Von der Bahnlänge sind			
	Hauptbahnen	Nebenbahnen			ein-gleisig	zwei-gleisig	drei-gleisig	vier-gleisig
	Kilometer							
1904	61223	34049	1637	96910	72308	24373	48,81	180,0
1903	60753	33163	1525	95442	71290	23922	54,0	174,9
1902	60430	31885	1488	93803	69918	23674	52,3	158,3

Bezüglich des Oberbaues geben die nachstehenden Zusammenstellungen III und IV Aufschluß:

Die Betriebslänge betrug am Ende der Jahre 1902, 1903 und 1904:

Jahr	Ueberhaupt	Davon dienen	
		dem Personenverkehre	dem Güterverkehre
		Kilometer	
1904	98028	96342	97831
1903	96423	94926	96233
1902	94798	93381	94598

Die Gleislängen sind der Zusammenstellung II zu entnehmen:

Zusammenstellung II.

Jahr	Länge		
	der durchgehenden Gleise	der übrigen Gleise einschließlich der Weichenverbindungen	sämtlicher Gleise
	Kilometer		
1904	120292	42452	162743
1903	118476	41253	159728
1902	116564	39807	156371

Zusammenstellung III.

Jahr	Von der Länge der durchgehenden Gleise bestehen aus			Von der Länge der durchgehenden Gleise auf Einzelunterlagen entfallen auf Gleise mit							
	eisernen Schienen km	Stahlschienen km	Zusammen km	Schiene n					hölzernen Querschwellen km	eisernen Querschwellen km	Steinwürfeln u. s. w. km
				bis einschl. 30 kg/m km	über 30 bis einschl. 35 kg/m km	über 35 bis einschl. 40 kg/m km	über 40 bis einschl. 45 kg/m km	über 45 kg/m km			
1904	4368	115636	120004	18939	61743	22424	14492	763	98821	19479	20
1903	4934	113364	118298	18685	62214	23303	11597	683	97765	18699	19
1902	5471	110825	116296	18122	62618	23756	9292	630	96082	18295	42

Zu den durchgehenden Gleisen wurden verwendet:
Zusammenstellung IV.

Jahr	Hölzerne Querschwellen		Eiserne Querschwellen		Steinwürfel	
	im ganzen	auf 1 km Gleis	im ganzen	auf 1 km Gleis	im ganzen	auf 1 km Gleis
1904	124296351	1258	25291093	1298	27876	1407
1903	122440486	1252	24021576	1285	29055	1727
1902	119819806	1247	23230598	1270	67078	1679

Die Krümmungsverhältnisse sind der Zusammenstellung VI zu entnehmen.

Zusammenstellung VI.

Jahr	Bahnlänge in geraden Strecken		Bahnlänge in gekrümmten Strecken					
	überhaupt km	in % der Gesamtlänge	überhaupt km	in % der Gesamtlänge	R $\frac{1}{\text{VII}}$ 1000	R $\frac{1}{\text{VII}}$ 500	R $\frac{1}{\text{VII}}$ 300	R > 300 ^m
1904	67741	71,09	27539	28,91	8376	8432	6790	3942
1903	66834	71,16	27090	28,84	8294	8291	6635	3570
1902	65743	71,21	26580	28,79	8206	8134	6483	3757

Die Neigungsverhältnisse sind aus Zusammenstellung V zu entnehmen.

Zusammenstellung V.

Jahr	Bahnlängen in wagerechten Strecken		Bahnlänge in Steigungen oder Gefällen					
	überhaupt km	in % der Gesamtlänge	überhaupt km	in % der Gesamtlänge	bis 1: 200 einschl. km	von 1: 200 bis 1: 100 einschl. km	von 1: 100 bis 1: 40 einschl. km	über 1: 40 km
1904	29914	31,39	65366	68,61	38151	16921	9913	381
1903	29510	31,42	64414	68,58	37645	16709	9684	375
1902	28915	31,32	63407	68,68	37230	16418	9392	368

Der ganze Betrag des verwendeten Anlagekapitales ergibt sich aus Zusammenstellung VII.

Zusammenstellung VII.

am Ende des Jahres	im ganzen Mark	auf 1 km Bahnlänge Mark
1904	24 325 590 448	270003
1903	23 874 289 751	270433
1902	22 296 182 467	268387

Im Personenverkehre wurden geleistet:

Zusammenstellung VIII.

Jahr	Personenkilometer. Millionen						Verkehr auf 1 km. Reisende						Vom Verkehre für 1 km kommen in % auf				
	I	II	III	IV	Militär	Im ganzen	I	II	III	IV	Militär	Im ganzen	I	II	III	IV	Militär
1904	651,7	4624,4	18551,9	8157,9	1596,3	33582,2	7089	50803	201803	88739	17364	365104	1,94	13,77	55,25	24,3	4,8
1903	637,2	4437,6	17348,5	7732,2	1546,0	31701,5	7069	49233	192475	85786	17152	351715	2,01	14,0	54,7	24,4	4,9
1902	620,7	4277,1	16838,4	7044,6	1554,4	30335,3	6951	47898	188567	78889	17407	339712	2,05	14,1	55,5	23,2	5,1

Die entsprechenden Leistungen im Güterverkehre sind:

Zusammenstellung IX.

Jahr	Eil- u. Exprefgut			Stückgut*)			Wagenladungen*)			Lebende Tiere			Im ganzen			Frachtfrei Tonnen-Kilometer
	Kilometer-Tonnen	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn in %	Kilometer-Tonnen	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn in %	Tonnen-Kilometer	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn in %	Tonnen-Kilometer	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn in %	Tonnen-Kilometer	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn in %	
1904	556264420	5960	0,99	3043924662	32614	5,44	52611353661	563710	92,25	738507834	7913	1,32	56950050577	610197	100	4419860915
1903	513708624	5621	0,94	2797897173	30613	5,20	50759951167	555396	92,45	761023067	8327	1,41	54832580031	599957	100	4422609263
1902	482827928	5338	0,94	2698715834	29835	5,23	47682050617	527133	92,44	716283443	7919	1,39	51579877822	570225	100	4265959549

*) Einschließlich Militärgut und frachtpflichtigem Dienstgut.

Die Einnahmen aus dem Personenverkehre ausschliesslich der Einnahmen für Beförderung von Gepäck und Hunden und ausschliesslich der Nebeneinnahmen stellten sich in den drei Jahren 1902 bis 1904 wie folgt:

Zusammenstellung X.

Jahr	Gesamteinnahme	Einnahme auf 1 Personen-Kilometer						Von den Einnahmen für 1 km mittlerer Betriebslänge kommen % auf				
		I	II	III	IV	Militär	überhaupt	I	II	III	IV	Militär
		M.	Pf.	Pf.	Pf.	Pf.	Pf.					
1904	868020830	6,65	4,22	2,47	1,87	1,11	2,58	5,00	22,49	52,86	17,60	2,05
1903	831458029	6,71	4,30	2,50	1,90	1,12	2,62	5,15	22,94	52,20	17,65	2,06
1902	789099902	6,66	4,26	2,47	1,89	1,12	2,60	5,24	23,09	52,64	16,84	2,19

Die Gesamteinnahme aus allen Quellen betrug

im Jahre 1904	3 293 751 218	Mark;
« « 1903	3 162 697 962	«
« « 1902	2 997 662 284	«

Davon entfallen auf die Einnahmen:

aus dem Personenverkehre	27,68 %	27,61 %	27,63 %
« « Güterverkehre	65,89 «	65,90 «	65,51 «
« sonstigen Quellen	6,43 «	6,49 «	6,86 «

Die Gesamt-Ausgaben und die Ausgaben für jedes Kilometer mittlerer Betriebslänge betragen:

Zusammenstellung XII.

Jahr	Persönliche Ausgaben		Sachliche Ausgaben		Gesamt-Ausgaben	
	Im ganzen	Für 1 km Betriebslänge	Im ganzen	Für 1 km Betriebslänge	Im ganzen	Für 1 km Betriebslänge
	M.	M.	M.	M.	M.	M.
1904	1013275002	10409	1044653532	10732	2073824081	21142
1903	958001246	10056	1005285785	10552	1978509923	20608
1902	927028602	9869	979321342	10425	1920888653	20294

Betriebsunfälle sind nach Ausweis der Zusammenstellung XIV vorgekommen:

Zusammenstellung XIV.

Jahr	Entgleisungen			Zusammenstöße			Sonstige Unfälle			Im ganzen		
	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen
	1904	316	757	1073	62	582	644	1432	2889	4321	1810	4228
1903	278	681	959	46	484	530	1303	2626	3929	1627	3791	5418
1902	290	793	1083	43	497	540	1347	2645	3992	1680	3935	5615

Über die vorgekommenen Tötungen (t) und Verwundungen (v) gibt die Zusammenstellung XV Auskunft:

Die Einnahmen aus dem Güterverkehre waren:

Zusammenstellung XI.

Jahr	Gesamteinnahme	Einnahmen für 1 Tonnen-Kilometer					Von der Einnahme für 1 km mittlerer Betriebslänge kommen % auf				
		Eil- und Expresgut	Stückgut*)	Wagenladungen*)	lebende Tiere	überhaupt	Eilgut	Stückgut*)	Wagenladungen*)	lebende Tiere	Nebeneinnahmen
		M.	Pf.	Pf.	Pf.	Pf.					
1904	2151756319	16,98	9,75	3,15	7,54	3,69	4,38	13,72	76,90	2,58	2,25
1903	2066330220	16,88	9,74	3,15	7,50	3,68	4,20	13,19	77,43	2,76	2,24
1902	1947268242	16,64	9,72	3,15	7,53	3,68	4,13	13,47	77,18	2,77	2,28

*) Einschliesslich Militärgut und frachtpflichtigem Dienstgut.

Die Überschufsergebnisse zeigt die Zusammenstellung XIII, in welcher die wirklichen Überschüsse und Minderbeträge besonders kenntlich gemacht, auch die Verhältnisse der Betriebsausgabe zur Gesamteinnahme in % angegeben sind:

Zusammenstellung XIII.

Jahr	Einnahme-Ueberschufs		Betriebs-Ausgabe in % der Gesamteinnahme
	Im ganzen	Auf 1 km Betriebslänge	
	M.	M.	
1904	1220002104 - 74967	13033	37,04
1903	1184257559 - 69520	12912	37,44
1902	1076953797 - 180166	11872	35,92

B a h n - O b e r b a u .

Elastischer Keilstoß mit einem oder zwei Keilen.

(Von J. Schuler, Ingenieur in Düsseldorf.)

Hierzu Zeichnungen, Abb. 19 bis 21 auf Tafel XL.

Bei langjähriger Verwendung des Keilstoßes*) auf den badischen Staatsbahnen, der Gotthardbahn und anderen Bahnen stellte sich heraus, daß er am Schienenstoße die den auftretenden Stoßwirkungen angemessene Elastizität entbehrte, was zunächst beim Überfahren der Stoßstelle durch den hohen Ton der schwingenden Schienenenden erkennbar wurde. Die starke Erschütterung, welcher die Verbindung ausgesetzt war, bewirkte als Formänderung zunächst die Abnutzung der Laschenanlageflächen unterhalb der Schienenköpfe an der Stoßlücke. Durch diese Abnutzung war jedoch die für die Stoßwirkungen erforderliche Elastizität an der Stoßstelle noch nicht erreicht, weil die feste Verbindung der wagerechten Laschenschenkel mit den Schienenfüßenden die starre Verbindung der Schienenenden miteinander aufrecht erhielt. Wenn die Abnutzung unterhalb der Schienenköpfe begonnen hatte, war die Verbindung der Laschen mit den Schienenköpfen an der Stoßstelle vollständig unterbrochen. Die Schienenfüße mit den Laschen verharrten gemeinsam weiter in der ihnen gegebenen Schwingungszahl, die abhängig war von den äußeren Stoßwirkungen und dem Gewichte der in Schwingung gesetzten Teile. Die Schienenkopfen dagegen hatten nun das Bestreben, jedes für sich gemäß ihrer äußeren Beanspruchung in eine dieser Beanspruchung entsprechende Schwingungszahl einzutreten. Dieses Bestreben von Kopf und Fuß, ungleiche Schwingungszahlen anzunehmen, verursachte eine so hohe Spannung im Schienenstege, daß bei heftigen Stößen zunächst die Elastizitätsgrenze des Schienenstabes überschritten wurde, worauf bald an der schwächsten und am meisten beanspruchten Stelle, dem Endquerschnitte des Schienenendes, ein Einreißen des Schienensteges folgte.**)

Diese schädliche Wirkung des Keilunterzuges ist beim elastischen Ein- und Zweikeilstoße aufgehoben, dann aber auch durch den elastischen Aufbau aller Teile der Radstoße auf ein Mindestmaß herabgesetzt.

Nach Abb. 19 bis 21, Taf. XL sind die Schienenköpfe und Schienenfüße zur Vermeidung der ungünstigen Zugspannungen in den Endquerschnitten der Schienenenden in lotrechter und wagerechter Richtung im Laschengehäuse freigelegt, unter Zulassung des dadurch an der Stoßlücke entstehenden geringen Höhenunterschiedes der Schienenenden beim Überrollen der Räder. Dies wird erreicht durch Verlegung der Keilauflageflächen zwischen die Schienenenden und das erste Bolzenloch, nämlich durch Erbreiterung des Oberkeiles und Anbringung einer Rille (Abb. 19 und 20, Taf. XL) oder durch Zweiteilung des Keiles Abb. 21; Taf. XL, wobei die Keile die Schienenenden

*) Organ 1898, S. 241; 1900, S. 279; Ergänzungsband XII, 1900, S. 23.

**) Anmerkung der Schriftleitung. Unseres Erachtens ist eine so verwickelte Erklärung der eingetretenen Stegrisse nicht nötig, diese erklären sich aus der Erzeugung einer sehr großen Querkraft aus der schneidenartigen Auflagerung am äußersten Ende des Schienenfußes.

etwa unter dem ersten Bolzenloche unterstützen, sowie durch Aussparung der Laschenanlageflächen unter dem Schienenkopfe und über dem Schienenfüße gegenüber der Stoßlücke, welche Abänderung gleichzeitig das Durchfedern der Schienenenden gegeneinander zuläßt, bevor der Radstoß auf die Schienenverbindung übergegangen ist.

Mit dieser Freilagerung der Schienenenden in der Mitte des Laschengehäuses ist ferner ein Durchfedern der nur etwa zur Hälfte auf den Schienenfüßen auflagernden wagerechten Laschenschenkel ermöglicht und damit die elastische Überführung des Radstoßes von Schiene auf Schiene durchgeführt.

Bei Abb. 19 und 20, Taf. XL, ist schließlich, um die hier durch die Keilbreite gegebene und dadurch begrenzte Beweglichkeit der Schienenenden in dem Laschengehäuse zu erhöhen, der Unterkeil schmaler gemacht, als der Oberkeil, daher den auf dem Oberkeile aufliegenden Schienenfüßen elastische Auflagerung gewährleistet.

Rollt ein Rad über diesen Schienenstoß, so trifft es hinter der Lücke ein lotrecht und wagerecht frei im Laschengehäuse durchfederndes Schienenende, von dem der Stoß mittels des Keilunterzuges und der durchfedernden wagerechten Laschenschenkel auf das rückliegende Schienenende übergeleitet wird, sodafs die lebendige Kraft des Radstoßes in Einzelschwingungen der Schienenendquerschnitte und in Schwingungen der wagerechten Laschenschenkel gemäß der diesen Teilen gegebenen Elastizität verbraucht wird, also Formänderungen ausgeschlossen sind. Derselbe Vorgang wiederholt sich beim Rücklaufe der lebendigen Kraft.

Hierbei können die einzelnen Teile so widerstandsfähig ausgeführt werden, daß an keiner Stelle Überschreitungen der Elastizitätsgrenze eintreten.

Nun steht erfahrungsgemäß beim Fabren über die Stoßlücke das unbelastete Anlaufende auch bei festem Laschenschlusse stets höher, als das belastete Ablaufende, das früher bei gleicher Höhenlage angenommene Fallen des Rades in die Schienenlücke fällt hier und auch beim festen Stoße fort. Das rollende Rad stößt also stets vor den Kopf der Anlaufschiene. Dieser Stoß dürfte in vorliegendem Falle aber sehr schwach ausfallen, weil zunächst die Höhenstufe sehr gering ist und der Keilunterzug dauernd keine höhere zuläßt. Dann aber schließt sich die Stufe an der Lücke der Rundung der Räder an, während das vom Radstoße etwa getroffene Schienenende wegen seiner elastischen Lagerung nachgibt, nahezu gleichzeitig mit dem Rade sinkt und das nachgiebige Ablaufende das Rad auf die Anlaufschiene hinaufhebt, sodafs ein nahezu stoßloser Radübergang erfolgt.

Die meisten Stoßverbindungen verdanken ihre Misserfolge der Lockerung der Verbindungsteile, welche die Formänderung einleitet, die als Folge der Stoßwirkungen eintreten muß, wenn nicht nach dem Überrollen jedes Zuges die Verbindungsschrauben nachgezogen werden, oder die Einrichtung getroffen ist, daß jeder Zug dieses Nachstellen der Schrauben während des Überrollens selbst vornimmt. Diese Eigenschaft hat die Keilstoßverbindung vor allen anderen Stoßverbindungen voraus.

B a h n h o f s - E i n r i c h t u n g e n .

Verschiebebahnhof Silvis. - Chicago, Rock Island und Pacific-Bahn.

(Railroad Gazette 1906, Mai, Band XL, S. 448.)

Hierzu Zeichnung Abb. 2 auf Tafel XLII.

Der Verschiebebahnhof Silvis, welcher von der Chicago, Rock Island und Pacific-Bahn bei East Moline, Illinois, an der Stelle des früher als New Shops bekannten Bahnhofes neu angelegt ist, ist ungefähr 2,5 km lang und 150 m breit und kann bei rund 51 km Gleislänge ungefähr 3000 Wagen aufnehmen. Die Ostgruppe hat 18 Gleise für 1200 Wagen, die Westgruppe 12 Gleise für 1030 Wagen. Das Aufstellungsgleis faßt ungefähr

500 Wagen. Alle Hauptgleis- und Verschiebe-Weichen sind durch Stellwerke gesichert. Es ist eine vollständige Preßluft-Anlage hergestellt, aus den nahe liegenden Werkstätten ist stets reichlicher Preßluftvorrat vorhanden.

Der Bahnhof hat am Westende einen großen Lokomotivschuppen. Die Zufahrt zu diesem ist am äußersten Westende der Westgruppe, während die Lokomotiven von und nach der Ostgruppe das unmittelbar nördlich von den Aufstellungsgleisen liegende Verkehrsgleis benutzen. Diese Anordnung gestattet freie Bewegung der Lokomotiven von und nach dem Schuppen. Die Kohlenrutschen haben an jeder Seite ein Gleis, von welchem

die Lokomotiven nach den Löschruben und dann nach der Drehscheibe, oder um die Löschruben herum unmittelbar nach der Drehscheibe gelangen können. Die Bekohlungsanlage hat 80 Rutschen und ein geneigtes Zufuhrgleis. Die Wagen werden auf der schiefen Ebene durch eine elektrische Winde von 25 P. S. heraufgezogen. Zwei doppelte Löschruben sind je 39,6 m lang; acht Lokomotiven können zu gleicher Zeit löschen. Die Gruben haben ein versenktes Gleis und werden mit der Schaufel gereinigt.

Die übrigen Bahnhofsanlagen enthalten ein Eishaus von $9,1 \times 91,7$ m mit Ladebühne und Gebäude für die Eisbrecher, eine überdachte Umladebühne von $9,1 \times 289,6$ m mit Dienstgebäude am Westende, ferner in jeder Gruppe eine 14 m lange selbsttätige Gleiswage von 101,6 t Tragfähigkeit. Der Personbahnhof Silvis liegt an der Südseite der Hauptgleise. Eine eiserne Überführung führt unmittelbar westlich vom Personbahnhof nach den Werkstätten. Nordwestlich vom Lokomotivschuppen befindet sich ein Übernachtungsgebäude aus Fachwerk, welches 511 000 Mark kostete und von der Speisewagen-Abteilung der Bahn unterhalten wird.

Die Gesamtkosten des Bahnhofes, ausschließlich der Einbebnung des Geländes, belaufen sich auf ungefähr 61 Millionen Mark.

B—s.

Blockwerke der Handblocksignale auf der Chicago und Ost-Illinois-Bahn.

(Railroad Gazette 1906, Mai, Band XL, S. 499.)

Hierzu Zeichnung Abb. 1 auf Tafel XLII.

Auf gewissen Strecken der Linien der Chicago und Ost-Illinois Bahn werden Handblocksignale verwendet. Auf ein-

gleisigen Strecken werden diese Signale durch besonders errichtete Blockwerke elektrisch geblockt.

Abb. 1, Taf. XLII zeigt die Stromläufe. Die Blockwerke auf den beiden Stationen A und B sind einander gleich, die Erde dient als Rückleitung. Will A sein Signal für einen Zug nach B ziehen, so benachrichtigt A mittels Fernschreiber, Fernsprecher oder Glockenzeichen B und drückt dann seinen Schlüssel gegen die vordere Anlage k^1 . Wenn B bereit ist, das Signal in A freizugeben, drückt er seinen Schlüssel gegen seine hintere Anlage k^2 . Hierdurch wird der von der Erde kommende Strom geschlossen, E durch B's Batterie B^1 und Schlüssel nach der Strecke und durch A's Schlüssel und Übertrager r nach der Erde. Der Übertrager zieht seinen Anker an, wodurch der durch A's Magnet m gehende Strom der Batterie B^2 geschlossen wird. Der Magnet m zieht die Fallklinke an und gibt A's Hebel frei. A zieht jetzt seinen Hebel, dabei wird der durch den Magnet gehende Strom bei a unterbrochen, die Fallklinke fällt herab und liegt oben auf dem Riegel. Durch die Stromöffnung bei a wird r stromlos, so daß der Stromkreis bei r q ebenfalls unterbrochen wird, so daß das Signal nicht ein zweites Mal gezogen werden kann, ohne Wiederherstellung des von B kommenden Stromes. Der Wärter kann, nachdem er »frei« bekommen hat, das Ziehen des Signales so lange aufschieben, bis ein Zug sich nähert; aber solange er »frei« hat, kann er dem andern Wärter nicht »frei« geben, da seine Batterie bei c abgeschnitten ist. Am Signalmaste ist ein Stromöffner S angebracht, welcher durch den Signalfügel betätigt wird. Wenn der Flügel sich nicht in der »Halt«-Stellung befindet, ist der Stromkreis geöffnet, und keine Station kann der anderen »frei« geben. B—s.

Maschinen- und Wagenwesen.

Wirkung der Schmidt'schen Dampfüberhitzer.

Zu dem Berichte über amerikanische Heißdampf-Lokomotiven nach den Veröffentlichungen der »Master Mechanics Association«, den wir früher*) veröffentlichten, bringen wir auf Ersuchen des Erfinders, W. Schmidt in Cassel-Wilhelmshöhe, zur Vermeidung von mißverständlicher Auffassung der Angaben über die Verschiedenheit der Wirkung von Rohr- und Rauchkammer-Überhitzern, die folgende Ergänzung:

Die geringe Dampfwärme von nur 250° C., die sich bei Versuchen mit Heißdampflokomotiven der »kanadischen Pacific«-Bahn mit Schmidt'schem Rauchröhrenüberhitzer ergeben hat, ist auf die im Verhältnisse zur Kesselheizfläche zu gering bemessene Überhitzerheizfläche zurückzuführen. Im allgemeinen legt der Erfinder ein Viertel der ganzen Heizfläche in den

*) Organ 1906, S. 182.

Überhitzer und erzielt dann auch beim Rauchröhrenüberhitzer stets Dampfärmestufen von 320° bis 350° C., also dieselben, wie beim Rauchkammerüberhitzer. — In dem vorliegenden Falle der »kanadischen Pacific«-Bahn wurde entgegen diesem Erfahrungssatze nur eine Überhitzerheizfläche von 34,7 qm, oder 15% der ganzen Heizfläche von 233,8 qm genommen. Die Überhitzung mußte danach bedeutend geringer sein, als bei dem nach üblichem Verhältnisse gebauten Rauchkammerüberhitzer der Lokomotive Nr. 548, bei der die Überhitzerheizfläche mit 28,5 qm rund 23,4% der ganzen Heizfläche von 121,8 qm ausmachte. Die Betriebsergebnisse der preussischen Staatsbahnen zeigen, daß sich mit einem in richtigen Verhältnissen gebauten Rauchröhrenüberhitzer der Bauart Schmidt, dieselbe Überhitzung erzielen läßt, wie mit dem ältern Rauchkammerüberhitzer.

Technische Litteratur.

Kalender für Eisenbahn-Techniker. Begründet von E. Heusinger von Waldegg. Neu bearbeitet unter Mitwirkung von Fachgenossen von A. W. Meyer, Regierungs- und Baurat in Allenstein. 34. Jahrgang 1907. Nebst einer Beilage. Wiesbaden, J. F. Bergmann. Preis 4 Mk.

Kalender für Straßen- und Wasserbau- und Cultur-Ingenieure. Begründet von A. Rheinhard. Neu bearbeitet unter Mitwirkung von Fachgenossen von R. Scheck, Regierungs- und Baurat in Stettin. 34. Jahrgang 1907. Nebst drei Beilagen. Wiesbaden, J. F. Bergmann. Preis 4 Mk.

Mit Befriedigung können wir dem Leserkreise auch in

diesem Jahre das rechtzeitige Erscheinen der beiden altherrschenden Begleiter des Technikers anzeigen. Beide Kalender sind wieder auf den neuesten Stand der von ihnen vertretenen Fächer gebracht.

Geschäftsberichte und statistische Nachrichten von Eisenbahnverwaltungen.

Statistik des Rollmaterials der schweizerischen Eisenbahnen, Bestand am Ende des Jahres 1905. Herausgegeben vom schweizerischen Post- und Eisenbahn-Departement. Bern, 1906.

DAS
ELASTISCHE VERHALTEN DER GLEISBETTUNG
UND
IHRES UNTERGRUNDES.

VON

R. BASTIAN,

Dr.-Ing., Hauptlehrer an der städtischen Baugewerkschule zu Nürnberg.

Mit 38 Textabbildungen.

ERGÄNZUNGSHEFT ZUM ORGAN FÜR DIE FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS, JAHRGANG 1906.

WIESBADEN.

C. W. KREIDEL's VERLAG.

1906.

Das elastische Verhalten der Gleisbettung und ihres Untergrundes.*)

Von R. Bastian, Dr.-Jug., Hauptlehrer an der städtischen Baugewerkschule zu Nürnberg.

I. Einleitung. — Frühere Versuche.

Das Verhalten der Gleisbettung gegenüber den Einwirkungen des Betriebes, insbesondere die Tatsache, daß die Bettung beim Befahren des Eisenbahnoberbaues Formänderungen erleidet, die mit für die Beanspruchung des Gestänges maßgebend sind, wurde zum erstenmal von Winkler in die Theorie des Eisenbahnoberbaues eingeführt.

M. M. v. Weber, der zuerst auf die Eindrückung der Schwellen in die Bettung hingewiesen und darüber Versuche angestellt hat, maß den durch die Belastung hervorgebrachten augenblicklichen Formänderungen der Bettung noch keine besondere Bedeutung bei.

In seiner grundlegend gewordenen Abhandlung über die Theorie des Langschwellenoberbaues hat Winkler der Beziehung zwischen Bettungsdruck und der Einsenkung der Gleise eine Form gegeben, die heute noch ganz allgemein bei der Berechnung des Oberbaues angewendet wird. Er geht nämlich in seinen Entwicklungen von der Annahme aus, daß in irgend einem Punkte unter der Schwelle der dort herrschende Gegen- druck der Bettung p in geradem Verhältnisse zur Senkung y dieses Punktes steht, daß also

$$\text{Gl. 1.} \quad p \text{ kg/qcm} = C \text{ kg/cm}^3 \cdot y \text{ cm}$$

gesetzt werden kann, wenn unter C ein von der Art der Bettung abhängiger, sonst unveränderlicher Zahlenwert verstanden wird, der heute allgemein Bettungsziffer genannt wird.

Soweit es sich um kleine elastische Formänderungen handelt, erscheint diese Annahme sehr wahrscheinlich, denn sie bildet offenbar ein Gegenstück zu der Grundgleichung der Elastizitätslehre

$$\text{Gl. 2.} \quad \sigma \text{ kg/qcm} = E \text{ kg/qcm} \cdot \varepsilon$$

Ein Beweis ist dieser Vergleich freilich nicht; ein solcher kann nur durch unmittelbare Beobachtung erbracht werden. Die Gl. 2. gilt bekanntlich nur innerhalb gewisser Grenzen; es ist daher anzunehmen, daß dies auch für Gl. 1 zutrifft. Über die Grenzen, innerhalb welcher die Winkler'sche Annahme zutrifft, wie über die Größe von C können nur Versuche Aufschluß geben, die entweder am befahrenen Gleise, oder an Probebettungskörpern unter Verhältnissen angestellt werden, welche die Einwirkungen des Betriebes möglichst getreu nachahmen.

Die Versuche, welche in dieser Richtung unternommen wurden, waren meist und in erster Linie auf die Ermittlung der Bettungsziffer gerichtet, so die von Häntzschel*) und Wasiatyński**). Andere Beobachter, wie Bräuning***),

*) Organ 1889, S. 141, 194, 227.
**) Organ 1899, S. 293.
***) Organ 1898, S. 27.

richteten ihr Hauptaugenmerk auf die bleibenden Veränderungen in der Gleislage, während Schubert's*) Untersuchungen hauptsächlich die Tragfähigkeit des Untergrundes und die Umbildungen der Unterbaukrone und des Bettungskörpers betrafen. Im folgenden sollen diese Versuche und ihre Ergebnisse, soweit sie für das Verhalten der Bettung bezeichnend sind, in gedrängter Kürze wiedergegeben werden.

Versuche von Häntzschel.

Häntzschel**) benützte bei seinen ersten Versuchen im Jahre 1877 ein mit Wasser gefülltes Knierohr, an dessen wagrechttem Schenkel sich ein die Schienenbewegungen aufnehmender Tauchkolben befand, und dessen lotrechter Schenkel ein Wasserstandsglas mit Teilung trug, welches die Ablesungen von Senkungen bis auf etwa $0,1 \text{ mm}$ genau dadurch ermöglichte, daß sein Querschnitt nur $\frac{1}{10}$ von dem des Tauchkolbens betrug. Das Knierohr war an einem eisernen Gestelle senkrecht verschiebbar angebracht, das in 2 m Abstand von der beobachteten Schiene aufgestellt war. Die Beobachtungsfehler, die durch Senkungen des Bodens in der Umgebung des Gleises dadurch entstehen, daß sich das Beobachtungsmittel mit senkt, und die beispielsweise die Versuchsergebnisse M. M. v. Weber's stark beeinträchtigt haben, waren also durch die weite Ausladung der Meßvorrichtung und ihre große Grundfläche bedeutend verringert. Allerdings besaß die Vorrichtung noch den Mangel, daß Schwankungen des Gestelles und Verwindungen des Schienenstranges zu beträchtlichen Beobachtungsfehlern führen konnten. Die Fahrzeuge mußten aber langsam auf den Schienen verschoben werden, da schnelle Bewegung Empörschleudern des Wassers im Standrohre verursachte. Da die Beobachtungen zudem gezeigt hatten, daß die Bettung bei neu hergestellten, wenn auch gut unterstopften Gleisen nicht nur während der Vorwärtsbewegung des Fahrzeuges, sondern auch während seines Ruhezustandes bleibende Senkungen erfährt, so daß die aufgenommenen Biegungslinien mehrere Knicke zeigten, so erschien es zweckmäßig, eine Aufschreibung der Senkungen ohne Halten des Fahrzeuges vorzunehmen.

Bei den neueren, im Jahre 1888 wieder aufgenommenen Versuchen wurden daher die Durchbiegungslinien durch einen auf dem Knierohre befestigten Hebel vom Armverhältnisse $1:10$ auf einen mittels Uhrwerkes bewegten Papierstreifen selbsttätig aufgeschrieben. Die Beobachtungen erstreckten sich auf die vorübergehende und bleibende Senkung von Gleisen auf alter und neuer Kiesbettung in verschiedener Mächtigkeit und auf verschiedenartigem Untergrunde, und lassen den Einfluß des

*) Organ 1897, S. 116, 133; 1899, S. 118, 137.
**) Organ 1888, S. 184; 1889, S. 141, 194, 227.

*) Dr.-Jug.-Arbeit der Technischen Hochschule zu München.

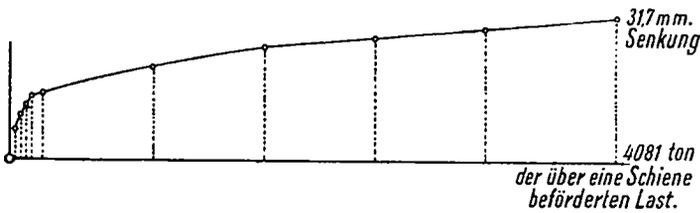
Untergrundes auf die Größe der Bettungsziffer gut erkennen. So ergab Kiesbettung

auf leichtem Lehmboden eine Bettungsziffer	$C = 3 \text{ kg./cm}^3$
« schwerem « « «	$C = 7$ «
« Felsuntergrund « «	$C = 8$ «

Je fester und unnachgiebiger der Untergrund ist, desto größer wird die Bettungsziffer. Die bleibenden Senkungen alter, im Betriebe befindlicher Gleise sind gleichfalls vom Untergrunde sehr abhängig. So gibt Kiesbettung auf Felsen eine dreimal geringere bleibende Senkung als Kiesbettung auf leichtem Lehmboden und eine dreizehnmal geringere, als Kiesbettung auf einem 7^m hohen Damme.

Für neue Kiesbettung auf Packlage und frischem Untergrunde gibt Häntzschel eine Übersicht der bleibenden Senkungen, die während längerer Betriebsdauer beobachtet wurden. In Abb. 1 sind die Ergebnisse dieser Übersicht auf-

Abb. 1.



getragen. Man erkennt aus ihr, daß das fortgesetzte Befahren der Gleise auch fortgesetzt bleibende Senkungen erzeugt, daß diese Senkungen aber nach längerem Befahren wesentlich kleiner werden.

Versuche mit Kleinschlag und Schlackenbettung auf befahrenem, schwerem Lehmboden ergaben für die bleibenden Senkungen günstigere Verhältnisse als Kiesbettung auf gewachsenem Felsen. Der Grund hierfür dürfte in der Form des Kleinschlages zu suchen sein, dessen scharfe Stücke sich gegenseitig stützen, und sich nicht so leicht zusammenschieben lassen, wie die runden Kiesel.

Schuberts Versuche.

Die Versuche, welche Schubert*) an befahrenen Eisenbahngleisen angestellt hat, sollten ein bestimmtes Bild von der Druckverteilung im Bahnkörper und den Nachweis liefern, daß sich der Druck unter den Schwellen gleichmäßig verteilt, in der Tiefe somit geringer wird. Er verfuhr in folgender Weise:

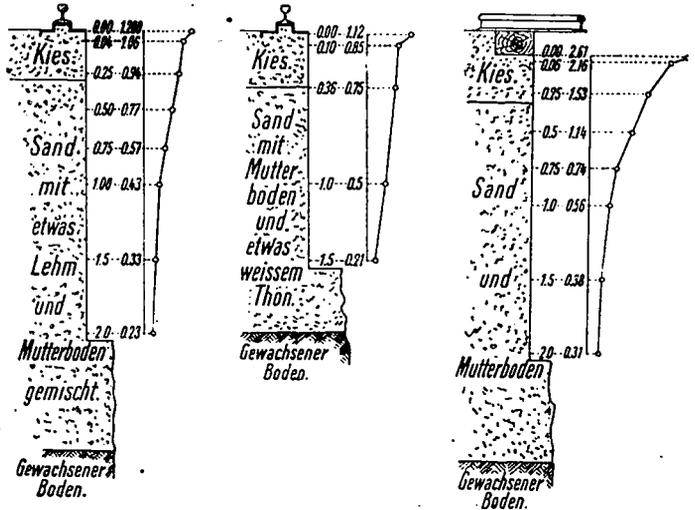
Ein schmaler, 0,30^m breiter Schlitz wurde bis zu 2^m Tiefe rechtwinkelig zur Bahnachse in den Bahnkörper eingetrieben; der Boden wurde soviel als nötig seitlich abgesteift, und in ihn eine Anzahl scharfer, 40 cm langer Flacheisen wagrecht eingeschlagen. Die Flacheisen mußten alle Bewegungen des Bahnkörpers mitmachen; das oberste wurde in 0,11^m Tiefe, die übrigen in 0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,5 und 2^m Tiefe unter der Unterbaukrone in den festgefahrenen Kieskörper eingetrieben. Die Messungen wurden derart vorgenommen, daß in 3^m Entfernung von der Schiene eine starke Bohle fest in die Erde eingeschlagen und der Höhe der Flacheisen ent-

*) E. Schubert, Organ 1897, S. 116, 133; 1899, S. 118, 137. Zeitschrift für Bauwesen, 1889, 1891, 1896. Zentrbl. d. B. 1889.

sprechend mit Nägeln versehen wurde; auf diese Nägel und die Flacheisen wurde eine Wägelatte aufgesetzt, deren Neigung mit einer sehr genauen Mikrometerlibelle gemessen wurde.

Die Messungen wurden mehrfach wiederholt, und jedesmal festgestellt, ob die Libellenblase nach der Entlastung auch wieder in die ursprüngliche Stellung zurückging. Das geschah meist nicht wieder vollständig, es dauerte oft ziemlich lange. Manchmal zeigte sich der vollständige Rückgang erst nach der nächsten Belastung, öfter blieben auch einige Sekunden ganz zurück. Indessen waren, wie Schubert bemerkt, die Unregelmäßigkeiten, die vielleicht auf ungenügende Elastizität oder andere Ursachen zurückzuführen sind, immer nur unbedeutend und ohne wesentlichen Einfluss auf die Endergebnisse. Das Ergebnis der Messungen ist in Textabb. 2 für zwei Lang-

Abb. 2. Senkungen des Untergrundes in verschiedenen Tiefen.



schwollen- und einen Querswellen-Oberbau dargestellt. Man erkennt daraus, daß die elastischen Senkungen im Bahnkörper unter dem belasteten Gleise mit der Tiefe ziemlich rasch abnehmen.

Schubert nahm nun an, daß das gewachsene Erdreich und der aufgeschüttete Erdkörper beide vollkommen elastisch seien, daß also auch entsprechend dem Elastizitätsgesetze aus der beobachteten Senkung unmittelbar auf die Größe des Druckes in der jeweiligen Tiefe geschlossen werden könne. Wurde der Druck unter der Schwelle zu 2 kg/qcm angenommen, so berechnete sich beispielsweise für den ersten Versuch in 2^m Tiefe ein Druck von $2 \times \frac{0,229}{1,28} = 0,36 \text{ kg/qcm}$.

Engesser hat aus diesen Beobachtungen die Größe des Druckes in verschiedenen Tiefen auf andere Weise gerechnet. In seiner Abhandlung über die Theorie des Baugrundes*) weist er nämlich darauf hin, daß die Senkungsgrößen η , welche Schubert fand, jeweils die Zusammenpressung des ganzen unterhalb des beobachteten Punktes liegenden Erdkörpers darstellen, daß also auch

$$\eta = \int_z^\infty \epsilon \cdot dz \text{ und } \epsilon = \frac{d\eta}{dz}, \text{ daher auch der Druck}$$

*) Engesser, Die Theorie des Baugrundes, Zentrbl. d. B. 1893.

Gl. 3) $\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{d\eta}{dz}$ ist.

Für die erste Beobachtungsreihe ergibt sich nach Engesser's
Berechnung für

Zusammenstellung I.

$z = 0$	0,04	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0 m
$\eta = 1,28$	1,066	0,938	0,768	0,569	0,427	0,329	0,229 cm
$\varepsilon = 0,0084$	0,0019	0,00064	0,00042	0,00026	0,00022	0,00020	0,00018
$\sigma = 2,2$	0,46	0,154	0,1	0,06	0,053	0,048	0,043 kg/qcm

Hierbei wurde nach dem Vorgange Schubert's für $z = 0$ der Druck unter der Schwelle $\sigma_0 = 2 \text{ Kg/qcm}$ angenommen. Unter dieser Annahme erhält man die Elastizitätszahl

$$E = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = 240 \text{ Kg/qcm}$$

und die Bettungsziffer

$$C = \frac{\sigma_0}{\eta_0} = 15,6 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Zuverlässigkeit dieser Werte wird durch den nur angenähert richtigen Wert von σ_0 eingegrenzt.

Die Versuche, welche die Ermittlung der Umbildungen und der Tragfähigkeit der Unterbaukrone bezwecken, wurden von Schubert in verkleinertem Maßstabe unter möglichst getreuer Nachahmung der Betriebseinwirkungen ausgeführt. Er bediente sich dazu eines rechteckigen oben offenen Kastens aus Eisenblech, in welchem der zu untersuchende Untergrund- und Bettung-Stoff, letzterer meist Schotter, eingebracht wurde. Die eine Langseite konnte abgenommen werden. Durch fortgesetzte Belastung der Schienen und Schwellen, die in entsprechend verkleinertem Maßstabe auf die Bettung aufgebracht waren, wurden die Veränderungen, welche Bettung und Untergrund während des Betriebes erleiden, in kurzer Zeit erzielt. Diese Veränderungen konnten durch eine Glaswand, die hinter der beweglichen Längswand eingeschoben war, bequem beobachtet und aufgezeichnet werden. Schubert fand für den Querschwellenoberbau, daß die Tragfähigkeit der Unterbaukrone zunahm, die bleibenden Senkungen unter den Schwellen, sowie die seitlichen Aufquellungen der Unterbaukrone geringer wurden, wenn die Bettung erhöht wurde, und daß die seitlichen Aufquellungen ganz aufhörten, wenn die Bettungsstärke ungefähr gleich dem lichten Schwellenabstande gemacht wurde. Wurde die Versuchsanordnung mit Wasser übergossen, so nahmen die bleibenden Senkungen bei gleicher Belastung zu, und die Tragfähigkeit verminderte sich bedeutend.

Die Tragfähigkeit wird hier im gleichen Sinn genommen, wie die Tragfestigkeit anderer Baustoffe, und bedeutet die Grenzbelastung, deren Überschreitung den ursprünglichen Zustand der Bettung zerstört, indem größere bleibende Senkungen und seitliches Ausweichen eintreten. Solange es sich um ruhende Lasten handelt, stellt also die Tragfähigkeit die äußerst zulässige Belastung dar. Für Verkehrslasten trifft dies aber nicht mehr zu. Hier tritt eine Zerstörung der Bettung schon bei geringerer Belastung ein, wenn diese nur genügend oft wiederholt wird. In der Festigkeitslehre hat man einer derartigen Beanspruchung durch Einführung der Ursprungsfestigkeit Rechnung getragen, und ganz im gleichen Sinne soll auch die Tragfähigkeit der Bettung aufgefaßt werden.

Sie bildet die Grenze, die von den Belastungen, welche die elastischen, für die Beanspruchung des Gestänges maßgebenden Senkungen erzeugen, nicht überschritten werden darf, und kann nur in diesem Sinn für die Berechnung des Oberbaues als maßgebend angesehen werden. Eine Erweiterung der Grenze für die zulässige Beanspruchung der Gleisbettung, also eine Erhöhung ihrer Tragfähigkeit, bedeutet natürlich eine wünschenswerte Verstärkung des Oberbaues.

Schubert's Versuche haben gezeigt, daß die Tragfähigkeit durch die Mächtigkeit der Gleisbettung wesentlich beeinflusst wird und deshalb bei der Bemessung der Bettung berücksichtigt werden muß. Die Tragfähigkeit hängt auch von der Größe und Gestalt der Druckfläche ab, eine Tatsache, die zuerst Schwedler*) in einer theoretisch entwickelten Formel zur Berechnung der Tragfähigkeit der Bettung berücksichtigt hat, und die durch neuere Versuche Bräunings auch bestätigt worden ist. Schwedler ging in seinen Entwicklungen davon aus, daß bei Überschreitung der Tragfähigkeit sich Gleitflächen und Ablösungskörper ausbilden, deren Verschiebung nur durch Überwindung der Reibungswiderstände möglich ist. Für die Beurteilung der Tragfähigkeit ist also die Rauigkeit des Stoffes maßgebend, die durch dessen natürlichen Böschungswinkel gemessen wird. Dagegen spielt der Reibungswinkel bei Beurteilung des elastischen Verhaltens der Bettung keine Rolle**). Darum ist es auch nicht angängig, wie es schon versucht wurde, die Größe der elastischen Formänderungen aus dem Reibungswinkel herzuleiten.

Bräunings Versuche.

Die Beobachtungen, welche Bräuning***) zur Ermittlung der bleibenden Senkungen an verschiedenen Gleisstrecken vornahm, erstreckten sich auf eine monate- und jahrelange Betriebsdauer. Bräuning maß die Senkungen wiederholt mittels außerhalb der Gleise angebrachter Höhenmarken an einem quer übergespannten Kupferdrahte mit einem keilförmigen Maßstabe und stellte sie zeichnerisch als Abhängige der Betriebsdauer dar. Die so gewonnenen Senkungslinien gestalteten sich für die einzelnen Versuchstrecken sehr verschiedenartig, doch zeigten sie, daß alle Gleise bald nach dem Anstopfen einen nicht unbedeutenden Teil ihrer Höhenlage wieder einbüßten. Die ersten Senkungen erfolgten bei allen Oberbauarten ziemlich

*) Schwedler, Über den eisernen Oberbau, Zentrbl. d. B. 1891.

**) Zimmermann, Das Verhalten der Gleisbettung in statischer Beziehung nach den Versuchen der Reichseisenbahnen. Organ 1888.

***) Bräuning, Veränderungen in Form und Lage des Eisenbahngestänges, Zeitschrift für Bauwesen, 1896. Der Kies als Gleisbettung. Ebenda 1904.

gleichmäÙig, selbst die ganz verschiedenen MafÙe der vorangegangenen Hebung der Gleise hatten auf diese Gleichförmigkeit keinen EinfluÙ. Hatte nun die Bettung ihre volle Dichtigkeit wieder erreicht, so ging die weitere Senkung des Gleises langsamer und gleichmäÙiger vor sich.

Ein Vergleich der bleibenden Senkungen nach den Jahreszeiten ergab für die Monate April bis Juli außerordentlich geringe, für den Spätsommer und Herbst aber gröÙere Senkungen. Hebungen des Gleises durch Frost wurden hauptsächlich an mangelhaft entwässerten Stellen bei eiserner wie bei hölzerner Unterschwellung beobachtet. Jeder Hebung durch Frost folgte bei Frostaußgang eine starke Senkung des Gleises.

Nachdem für die Herstellung der Eigenschaften des Schotterbettes durch Schubert's Untersuchungen reichliche Unterlagen geschaffen waren, hat Bräuning in seinen neueren Versuchen noch die wesentlichsten Bedingungen erörtert, welche beim Gleisbaue im Kiesbette zur Gewinnung einer möglichst regelmäÙigen und dauerhaften Gleislage in Betracht kommen. Die Messungen wurden zwei Jahre lang in derselben, nur im Einzelnen verbesserten Weise, wie früher, jedoch an neuen Versuchstrecken mit wechselreicheren Eigenschaften vorgenommen. Am wichtigsten erwies sich die Beobachtung in der Zeit vor dem Eintritte des Frostes, in der Zeit des stärksten Frostes und des vollständigen Frostaußganges.

In diesen Zeiten fiel vor allem der EinfluÙ des Untergrundes in die Augen, während in frostfreien Zeiten ein so bedeutender EinfluÙ der unteren Bodenarten auf die Gleislage nicht bemerkbar war. Reiner, auch feiner Sand erwies sich als ziemlich frostbeständig; ebensowenig wurden Frostauftreibungen im Kiesbette selbst festgestellt, obwohl es nicht frei von erdigen Beimengungen war. Soll das Gleis also in seiner Lage durch Frost nicht beeinflusst werden, so muß es bis zur gewöhnlichen Frostgrenze hinab auf frostbeständiger Unterlage ruhen. Als solche kann jeder reine Sandboden auch bei feinem Korne gelten. Erst wenn das Kiesbett den umgestaltenden Einflüssen des Untergrundes und der Witterung entzogen ist, kommen die dem Bettungstoffe selbst innewohnenden Eigenschaften zur vollen Geltung.

Die dauernden Formänderungen der Bettung gehen teilweise durch Zusammenpressung des Bettungstoffes, daneben aber auch durch seitliche Wanderungen vor sich. Die möglichen Formen dieser seitlichen Wanderung haben Zimmermann*) und Schwedler**) theoretisch behandelt. Bräuning suchte unmittelbar durch Versuche ein Bild von diesen Bewegungen zu gewinnen. Zu dem Zwecke wurde in einen Kasten, ähnlich wie ihn schon Schubert zu seinen Versuchen verwendete, eine trockene Sandschüttung aus verschiedenartig gefärbten Lagen hergestellt und mit Schwellen in verkleinertem Maßstabe so lange belastet, bis deutliche Verschiebungen in der Bettung entstanden. Die seitlichen Wanderungen äußerten sich, nachdem das Sandbett fest in sich zusammengedrückt war, in der Weise, daß sich auf ruhender Lage ein Sandkörper ablöste; zuerst verschwommen, dann deutlicher, bis schließlich eine Ablösungslinie gut erkennbar wurde. Die Ablösungslinien

*) Zimmermann, Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues, 1888.

**) Schwedler, Über den eisernen Oberbau, Zentrbl. d. B. 1891.

lassen die Grundform der von Schwedler theoretisch entwickelten logarithmischen Spirale gut erkennen.

MäÙige, bis zum Zustande der Bergfeuchtigkeit vorhandene Nässe, wie sie sich meistens in dem untern tragenden Teile des Bettungskörpers findet, vermehrt den Zusammenhang und die Tragfähigkeit der feineren Kiesmassen. So wurde für Kies mit viel Feingehalt in bergfeuchtem Zustande eine zwei bis viermal so große Tragfähigkeit gefunden, als für Kies in trockenem Zustande, während für ein grobes Korn kein bemerkenswerter Unterschied zu erkennen war. Eine Übersättigung mit Wasser lockert dagegen den Zusammenhang namentlich des feineren Bettungstoffes, wenn dieser einem schnellen Wechsel zwischen Belastung und Entlastung ausgesetzt wird.

Die Schwellenbreite ist nach Bräunings Beobachtungen für die Beanspruchung der Bettung gleichfalls von Bedeutung, denn einerseits wird die Einheitsbelastung bei wechselnder Schwellenbreite verringert, andererseits nimmt die Tragfähigkeit der Flächeneinheit in geradem Verhältnisse mit der Schwellenbreite zu.

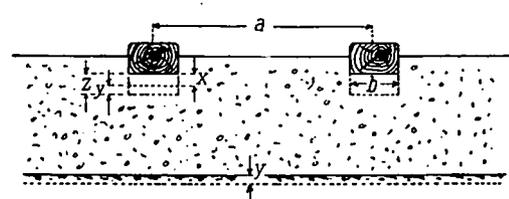
Die Beobachtungen von Wasiutyński.

Im Auftrag der Warschau-Wiener Eisenbahn hat A. Wasiutyński*) in den Jahren 1897/8 eine Reihe sehr gründlicher Beobachtungen an befahrenen Gleisen vorgenommen. Er bediente sich dazu der von W. Ast erdachten, jedoch etwas abgeänderten Meßvorrichtung, welche die Bewegungen der Gleise unter den darüber hineilenden Zügen auf photographischem Wege, also ohne jede Kraftübertragung und ohne die aus ihr entstehenden Mängel aufzeichnet.

Wasiutyński hat unter anderm die Senkungen der Schwellen unter den mit verschiedenen Geschwindigkeiten darüberfahrenden Zügen sehr genau gemessen und gleichzeitig auch die Senkungen des Untergrundes beobachtet. Zu letztem Zwecke stellte er zwischen zwei Querschwellen dicht bei der Schiene drei Bohrlöcher von 0,5, 1,0 und 1,5 m Tiefe her, in welche eiserne Rohre eingelassen wurden. In die so gebildeten Brunnen wurden Gasrohre 0,4 m tief unter der jeweiligen Sohle eingerammt und darauf kleine Kugelspiegel befestigt, deren Bewegungen beim Vorbeifahren der Züge aufgezeichnet wurden. Aus den beobachteten Senkungen hat Wasiutyński die für die Bettung und den Untergrund maßgebenden Ziffern in folgender Weise gerechnet.

Die Senkung einer Schwelle setzt sich zusammen aus der Verdrückung x , die die Bettung erfährt und aus der Senkung y des Untergrundes (Textabb. 3). Nimmt man an, daß sich der

Abb. 3.



Untergrund überall unter den Schwellen um das gleiche Maß senkt, was in 50 cm Tiefe schon der Fall sein dürfte, so ist

*) A. Wasiutyński, Beilage zum Organ 1899.

der Druck der Schwellen auf den Untergrund durch die vertheilende Wirkung der Bettung im Verhältnisse $\frac{b}{a} = \frac{1}{n}$ geringer geworden. Die Senkung des Untergrundes beträgt daher für eine Last P, wenn N die Untergrundziffer ist,

$$y = \frac{P}{n} \cdot \frac{1}{N}$$

Wäre der Untergrund starr, so würde sich die Schwelle um einen Betrag $x = P : K$ nur wegen der Verdrückung der Bettung senken, wenn K die Bettungsziffer bedeutet. Die Senkung der Schwelle bei elastischem Untergrunde beträgt also:

$$z = \frac{P}{K} + \frac{P}{n \cdot N} = \frac{P}{C}$$

wenn C die Ziffer bedeutet, die dem Untergrunde und der Bettung zusammengenommen entspricht.

Wasiutyński schlägt vor, diese Ziffer Schwellenunterlageziffer zu nennen. Aus der eben angeschriebenen Gleichung folgt

$$\text{Gl. 4). } \frac{1}{C} = \frac{1}{K} + \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{N}$$

Aus Gl. 4 läßt sich auch die Unterbauziffer N berechnen, nachdem C und K aus den beobachteten Senkungsgrößen abgeleitet sind. Nachstehend sind die für die verschiedenen Oberbauarten gefundenen Ziffern verzeichnet.

Zusammenstellung II.

Oberbau	Schwellen- Teilung a	Sohlenbreite der Schwellen b	$n = \frac{a}{b}$	Ziffern		
				der Schwellen- unterlage: C	der Bettung: K	des Unter- baues: N
Oberbau II, 2,44 m lange Schwellen, Kiesbettung	80	25	3,2	4,7	6,9	4,6
Oberbau III, 2,7 m lange Schwellen, Kiesbettung	80	25	3,2	6,1	9,0	5,9
Oberbau IVa, 2,7 m lange Schwellen, verstärkter Stofs, Granitschotter-Bettung	85	25	3,4	4,8	9,5	5,4
Oberbau V, statt 12 m langer 9 m lange Schienen, sonst wie Oberbau IVa	75	25	3,0	3,4	4,6	4,4

An den Ergebnissen fällt auf, dafs der Widerstand des Unterbaues nur unerheblich kleiner ist, als der Widerstand einer 53 cm starken Schotterlage. Die Unterbauziffer für die verschiedenen an gleicher Stelle nacheinander verlegten Oberbauarten schwankt innerhalb enger Grenzen und kann annähernd gleich 5 gesetzt werden.

Die bleibenden Formänderungen und Senkungen der verschiedenen Bettungsarten wurden von Wasiutyński nicht gemessen und berücksichtigt. Aber hierin liegt grade die Überlegenheit des Schotters gegenüber der Kiesbettung, welche sich bezüglich der elastischen Senkungen günstiger verhält. Durch die Beobachtungen Häntschel's, Bräuning's, Schubert's ist festgestellt, dafs das Schotterbett bleibenden Formänderungen einen gröfsern Widerstand entgegengesetzt, als eine Kiesbettung, und zwar gewinnt es seine gröfsere Tragfähigkeit vornehmlich durch die scharfkantige Form des Kornes, die dem Bettungskörper einen hohen innern Reibungswiderstand verleiht, der auch durch Erschütterungen nicht sehr beeinträchtigt wird. Die abgerundeten Kieskörner weichen dem Drucke leicht aus und verlieren durch Erschütterungen ganz erheblich an Reibungswiderstand.

Wasiutyński weist darauf hin, dafs die Schwellen bei Verwendung von Grubenkies sehr häufig, insbesondere am Stofse nachgestopft werden mußten, während an den auf Schotter gelegten Schwellen innerhalb zwei Monate keine Veränderung in der Höhenlage, in der Spurweite und der Gleichmäßigkeit der Unterstopfung wahrgenommen werden konnte. Wenn also die Beobachtungen wider Erwarten eine gröfsere elastische Nachgiebigkeit des Granitschotters ergeben haben, so deutet dies darauf hin, dafs die Vorzüge dieser Bettungsart anderen Eigenschaften zuzuschreiben sind.

Schließlich seien hier noch die Versuche erwähnt, die Stecewicz auf der Tambow-Saratower und auf der baltischen Bahn angestellt hat. Er fand für eine Bettung aus Grubensand mit Kies folgende Ziffern:

An Stellen ohne Auf- und Abtrag bei nachgiebigem Boden C = 3,5
bei festem Tonboden in Einschnitten . . . C = 5
und bei sehr festem Tonboden in Einschnitten C = 9

Stecewicz gibt an, dafs sich bei den Beobachtungen auf der baltischen Bahn manche Schwellen fast gar nicht senkten, und glaubt daher die Möglichkeit einer Vergrößerung der Bettungsziffer bis zu C = 45 annehmen zu können.

II. Die Versuchsanordnung von Föppl.

Die bisher betrachteten Versuche liefsen noch manche Frage über das Verhalten der Bettung offen. Die dafür bezeichnende Bettungsziffer wurde zwar wiederholt und unter verschiedenen Umständen ermittelt; es ist aber nicht möglich, aus diesen Beobachtungen den Schluss zu ziehen, ob und wie weit die allen Oberbauberechnungen zu Grunde liegende Annahme, dafs die Senkung der Bettung an jeder Stelle zu dem dort herrschenden Drucke in geradem Verhältnisse stehe, auch wirklich zutreffend ist. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser durch Gl. 1 ausgedrückten Annahme konnte durch unmittelbare Messungen noch nicht erbracht werden, und man hat bis jetzt die Übereinstimmung, welche sich zwischen den beobachteten und den auf theoretischem Wege aus Gl. 1 gefolgerten Formänderungen ergab, als genügenden Beweis für ihre Zulässigkeit angesehen.

Ferner wurde von mehreren Beobachtern darauf hinge-

wiesen, daß die Größe und die verschiedenartige Form der Schwellen nicht ohne Einfluss auf die beobachteten Senkungen und die daraus abgeleitete Bettungsziffer sein könne. Die Versuche liefen jedoch das Maß der Abhängigkeit nicht deutlich zum Ausdruck kommen. Das wird erklärlich, wenn man bedenkt, in welcher vielgestaltiger Weise die Senkungen der Bettung beeinflusst werden können. Da sind vor allem die unvermeidlichen Schwankungen in den Belastungen und die verschiedenartigen Achsstände der Fahrzeuge, die Fahrgeschwindigkeit, die Güte der Schwellenunterstopfung, die unter den Witterungseinflüssen wechselnde Beschaffenheit des Untergrundes und der Bettung, die Beschaffenheit des Gestänges, die neben der Größe und Form der Schwellen die Versuchsergebnisse offenbar beeinflussen, ohne daß sich dieser Einfluss zahlenmäßig angeben ließe.

Wenn man trotzdem über das Verhalten der Bettung genauere Aufschlüsse erlangen will, so ist dies nicht anders möglich, als verschiedene Bettungskörper unter vereinfachten Verhältnissen zu untersuchen, bei denen alle die erwähnten, unsicheren Mifsstände ausgeschieden sind. Die Beobachtungen müssen unter ruhenden Lasten vorgenommen, den ebengenannten, wechselnden Einflüssen entzogen und auf Schwellen einfachster Gestalt, kreisrunden oder quadratischen Platten, vorgenommen werden.

Diesen Erwägungen folgend, schien mir das Beobachtungsverfahren, das Herr Professor Föppl in seinen Vorlesungen über technische Mechanik zum erstenmal veröffentlicht hat, sehr geeignet, um das elastische Verhalten der Bettung und ihres Untergrundes auf dem Wege des Versuches zu prüfen.

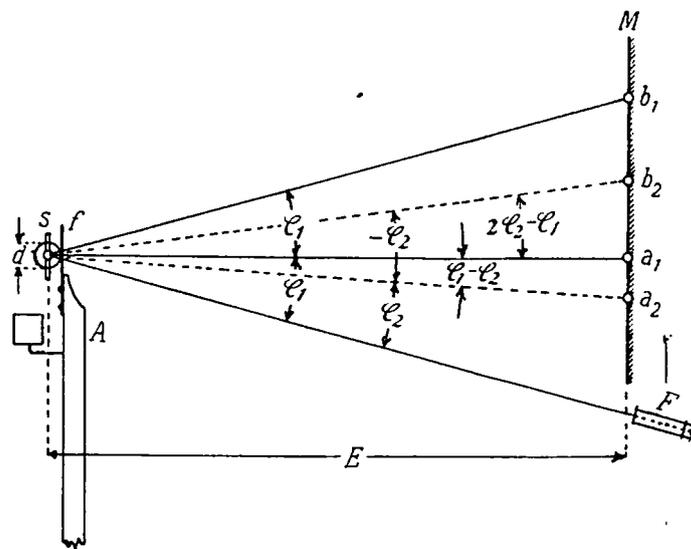
Die einfache Versuchsvorrichtung, die überaus feine Messungen gestattet, besteht im wesentlichen aus zwei Pfählen, die im Abstand von 3 m in den Boden gerammt sind und eine Eisenschiene tragen, die sich etwa 70 cm über dem Boden befindet. Unterhalb der Schiene sind kleine Holzpfähle eingeschlagen, die fest im Boden sitzen und dessen Bewegungen mitmachen. Um die Verschiebungen der Holzpflocke gegen die in fester Lage beharrende Eisenschiene zu messen, wird an der Schiene ein Spiegelgerät befestigt. Dieses Gerät besteht aus einem kleinen Spiegel, der auf Spitzen in einer Fassung gelagert ist und auf seiner Drehachse ein Hartgummiröllchen trägt.

An dem lotrecht unter der Spiegelvorrichtung im Boden befindlichen Holzpflocke wird durch zwei Schrauben eine lotrecht stehende Stange leicht drehbar befestigt, deren oberes, besonders zugereichtes Ende auf dem Hartgummiröllchen des Spiegelgerätes aufruhet und durch ein kleines Übergewicht an dasselbe angeedrückt wird. Jede Verschiebung des Holzpflockes bewirkt so eine Drehung des Spiegels, die durch ein Fernrohr beobachtet wird.

In Abb. 4 ist F das Fernrohr, das mittels eines Stativs auf einer unbeweglichen Unterlage in der Entfernung E vom Spiegel aufgestellt wird. An dem Stativ ist noch der Maßstab M fest angebracht, dessen Bild in dem Spiegel S durch das Fernrohr F beobachtet wird.

Ist Sa_1 das Einfallslot des Spiegels, φ_1 der Winkel, den das Lot mit der Fernrohrachse einschließt, so erblickt man an

Abb. 4.



dem Fadenkreuz des Fernrohres den Punkt b_1 des Maßstabes. Tritt eine Senkung des Bodens ein, so senkt sich mit dem Pflocke die daran befestigte Stange A, und bewirkt durch die auf dem Hartgummiröllchen aufliegende Feder F vermöge der Reibung, die durch einen auf die Feder aufgeklebten Streifen Schmiergelpapier gesichert ist, eine Drehung des Spiegels um seine Achse. Das Einfallslot gelangt in die Lage Sa_2 , sein Winkel mit der Fernrohrachse ist φ_2 , und man erblickt am Fadenkreuz den Punkt b_2 der Teilung. Die Drehung des Spiegels um den Winkel $\varphi_1 - \varphi_2$ wird im Fernrohre als Unterschied der zwei Ablesungen b_1 und b_2 beobachtet.

Die erzielte Vergrößerung ist in folgender Weise zu berechnen:

Bedeutet d den Durchmesser des Röllchens, φ_1 und φ_2 die Winkel, welche die Rechtwinkeligen zum Spiegel mit der Fernrohrachse vor und nach der Senkung einschließen, so ist die der Drehung $\varphi_1 - \varphi_2$ entsprechende Senkung der Feder F gleich $\frac{d}{2} \arccos(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Die Drehung des Spiegels wird im Fernrohre als das Maß $b_1 b_2$ beobachtet. Nun ist

$b_1 b_2 = a_1 b_1 - a_1 b_2 = E \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - E \cdot \operatorname{tg} (2\varphi_2 - \varphi_1)$,
und die Vergrößerung folgt aus dem Verhältnisse der beobachteten und der tatsächlich erfolgten Bewegung zu:

$$\frac{E \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - E \cdot \operatorname{tg} (2\varphi_2 - \varphi_1)}{\frac{d}{2} \cdot \arccos(\varphi_1 - \varphi_2)} = \frac{2 E \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} (2\varphi_2 - \varphi_1)}{d \cdot \arccos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Für die sehr kleinen zu beobachtenden Formänderungen kann der Bogen statt der Tangente gesetzt werden:

$$\frac{\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} (2\varphi_2 - \varphi_1)}{\arccos(\varphi_1 - \varphi_2)} = \frac{\arccos \varphi_1 - \arccos (2\varphi_2 - \varphi_1)}{\arccos(\varphi_1 - \varphi_2)} = 2.$$

Die Vergrößerung ergibt sich demnach zu $\frac{2E}{d} \cdot 2 = \frac{4E}{d}$

Wurde das Fernrohr beispielsweise in 2 m Entfernung vom Spiegel aufgestellt, und betrug der Röllchendurchmesser etwa 6,3 mm, so ergab sich die Vergrößerung zu $\frac{4 \times 2000}{6,3} = 1200$.

Da am Bilde des Maßstabes 0,1 mm noch geschätzt werden

kann, beträgt die Genauigkeit dieser Messung etwa $\frac{1}{10\,000}$ mm.

Professor Föppl stellte diese Versuchsvorrichtung zur Vornahme von Beobachtungen zur Verfügung. Die ganze Einrichtung war im Hofe des mechanisch-technischen Laboratoriums der Münchener Hochschule aufgestellt, wo ich auch die anfänglichen Beobachtungen in der gegebenen Anordnung ohne jede Abänderung vornahm.

Diese Versuche führten zu denselben Ergebnissen, die Professor Föppl schon veröffentlicht hat. Wurde nämlich ein Gufsstück von 100 kg Gewicht in verschiedenen Entfernungen von dem beobachteten Holzpflock auf den Boden aufgesetzt und wieder weggenommen, so ergaben sich die elastischen Senkungen

Zusammenstellung III.

in einer Entfernung von	20	40	60	80 cm	
	zu	18,3	4,1	1,4	0,6 μ

worin $\mu = 0,001$ mm ist.

Die Senkungen nehmen also mit der Entfernung von der belasteten Stelle sehr rasch ab, man kann die wenigstens 1,5 m von der Last entfernten Pfähle, welche die Eisenschiene und Spiegelgeräte trugen, in der Tat als unbeweglich annehmen.

Außerdem ergaben die Beobachtungen die bemerkenswerte Tatsache, daß nach Regengüssen die elastischen Senkungen kleiner waren, als bei trockenem Boden.

Beobachtungen mit Gewichten von 25 kg und 50 kg ließen erkennen, daß die Senkungen angenähert gradlinig mit den Lasten zunehmen.

Eine etwas veränderte Vorrichtung gestattete, die Einsenkungen des Bodens unter dem Gewichte selbst zu beobachten. Dabei zeigte sich, daß diese Senkungen rascher zuzunehmen scheinen, als der vermehrten Belastung entspricht.

Weitere zuverlässige Ergebnisse waren jedoch mit Rücksicht auf die örtlichen Verhältnisse nicht zu erzielen. Der Boden des Hofes war nämlich, wie sich erst nach Aufstellung der Vorrichtung ergab, wiederholt umgearbeitet und mit Rohrleitungen durchzogen, so daß die erforderliche gleichartige Beschaffenheit des Bodens gestört war.

Die Beobachtungen wurden zudem durch die in der Nähe des Hofes verkehrenden Fuhrwerke sehr stark beeinträchtigt. Die durch die Fuhrwerke bewirkten starken Erschütterungen pflanzten sich nämlich bis zur Beobachtungsstelle fort und brachten dort eine schnell und zuweilen sehr heftig schwingende Bewegung hervor. Die Schwingungen, welche die Ablesungen ungenau erschwerten und ihre Genauigkeit stark beeinträchtigten, traten auch immer dann auf, wenn der Wind gegen die Beobachtungsvorrichtung wehte. Die Eisenschiene, welche das Spiegelgerät trug, war zwar ebenso, wie die eingerammten Pfähle, durch einen Windschirm geschützt; dagegen konnte der Wind von der vom Boden zum Spiegelgeräte geführten Stange nicht ganz abgehalten werden, so daß jeder Windstoß eine geringe Verbiegung der Stange und damit eine Drehung des Spiegels bewirkte.

Da die Versuchseinrichtung nicht überdacht war, mußten die Beobachtungen bei Regen unterbrochen werden. Das gleiche

war der Fall, wenn die Sonne unmittelbar auf die Vorrichtung schien.

Das war besonders bei Untersuchung der elastischen Nachwirkung des Bodens unangenehm, wozu Beobachtungen von längerer Dauer nötig waren, die aber selten ohne eine der vorgenannten Störungen blieben.

Aus diesen Gründen wurde es nötig, die Versuche in einem abgeschlossenen Raum vorzunehmen und an einen Ort zu verlegen, wo der Boden noch unberührt, in seinem Gefüge gleichartig und den im Getriebe der Großstadt unvermeidlichen Erschütterungen nicht ausgesetzt ist.

III. Die neue Versuchsanordnung.

In Utting, einem stillen Dorfe am westlichen Ufer des Ammersees, fand ich einen für die Versuche gut geeigneten Ort. Der Boden besteht dort meist aus Kies- und Schotterbänken, welche auf tertiären Schichten, dem Flinz, ruhen. An den höheren Stellen liegt auf dem Kiese eine meist dünne Schicht Ackererde, an den tieferen Stellen finden sich unter dem Ackerboden oft starke Lagen von Seekreide, auch Alm- und Weißerde genannt.

Diese Seekreide, die in Moorgegenden häufig den Untergrund der Wiesen bildet, entsteht dadurch, daß stark kalkhaltiges Wasser an diesen Stellen reichlich Kalk ausscheidet. Sie besteht daher im wesentlichen aus einem Kalksande, dessen Beschaffenheit derart ist, daß er gerne als Putz- und Poliermittel verwendet wird.

Derart war auch der Untergrund der Wiese, auf der der Schuppen für die Versuchseinrichtung aufgestellt wurde.

An der für die Beobachtungen ausgewählten Stelle war nach Abhebung des Rasens mit den Wurzeln die Mutterbodenschicht ungefähr noch 30 cm stark. In dieser Tiefe ging die Ackerkrume allmähig in die Seekreide über, die sich ungefähr bis in 1 m Tiefe erstreckte, wo sie dann reichlicher von Kies durchsetzt war, bis sie sich schließlich ganz im Schotter verlor.

Nachdem der Boden im Innern des Schuppens lediglich durch Abtragen der Erhöhungen ohne Auffüllung von Vertiefungen geebnet war, so daß die Grundfläche ganz aus gewachsenem Boden bestand, wurde die Versuchseinrichtung nach Textabb. 5 angeordnet.

A sind die in 2,7 m Abstand etwa 60 cm tief im Boden festgestampften Pfähle, die bei $3,8 \times 3,1$ m Schuppengröße ziemlich nahe an die Längswände zu stehen kamen. Daher war zu befürchten, daß sie bei starkem Winde kleine Senkungen erfahren hätten, wenn die Grundswellen des Schuppens dort auf dem Boden auferuht und ihn entsprechend dem Winddrucke mehr oder weniger belastet hätten. Diese wurden deshalb an den vier Ecken auf starke Steinplatten so gelagert, daß sie den Boden an keiner Stelle berührten. So wurde der Winddruck ausschließlich an den Ecken auf den Boden übertragen, deren Entfernung von den Pfählen und der Beobachtungsstelle auch bei stärkstem Winde jede Einwirkung auf den Spiegel ausschloß.

An den Pfählen AA war ein Winkeleisen 50×50 für die beiden, mit Klemmschrauben festgeklemmten Spiegelvorrichtungen S befestigt.

Zur Belastung des Bodens befand sich auf einem kräftigen Pfosten B ein hölzernes Lager L, in dem der Hebel H ruhte.

Der Hebel war etwa 5 m lang, so daß die bei C aufgehängten, bis zu 0,25 t schweren Gewichte von einem Manne noch bequem gehoben und gesenkt werden konnten.

Die Hebel-Öffnung in der Wand bei E war durch Tücher verhängt, so daß der Wind abgehalten, dem Hebel aber Spiel für die erforderlichen Bewegungen gegeben war.

An dem Haken bei C war das Gewicht G aufgehängt, daß sich beim Niedergehen des Hebels auf den hölzernen Schemel K aufsetzte und dadurch eine eiserne Druckplatte D belastete, die auf dem Boden satt aufgelagert war. Auf die satte Lagerung der Platte wurde wegen der dadurch bedingten gleichmäßigen Verteilung des Druckes auf den Boden die größte Sorgfalt verwendet. Die etwas mühsame Arbeit, den Boden solange abzurichten, bis die Platte an allen Punkten aufsetzt, machte sich durch die gute Übereinstimmung der Versuchsergebnisse bezahlt.

Zur Übertragung der Hebungen und Senkungen der Druckplatte auf den Spiegel war auf die Platte ein T-Eisen aufgeschraubt, auf dessen Steg zwei Klötzchen befestigt wurden, welche die beiden in die Höhe geführten Stäbe trugen. Die Stäbe waren an ihrem unteren Ende mit Pfanne und Stellschrauben auf den Klötzchen drehbar gelagert und ruhten an ihrem oberen Ende mit einer Stahlfeder auf dem Hartgummiröllchen des Spiegels.

Durch Verwendung zweier Spiegel wurde den Beobachtungsfehlern, die durch einseitige Senkungen der Druckplatte entstehen können, vorgebeugt, und stets das Mittel aus den Ablesungen an beiden Spiegeln als das Maß der erfolgten Bewegung betrachtet.

Die Druckplatte erhielt im Laufe der Untersuchungen verschiedene Gestalt. Bei den ersten Versuchen wurde eine 10 mm starke, quadratische Platte verwendet, die bei 23 cm Kantenlänge 550 qcm Druckfläche hatte.

Um die Stöße und Erschütterungen beim Aufsetzen der Gewichte auf den Schemel möglichst zu verringern, wurden auf dem letzteren mit gutem Erfolge Filzpolster befestigt.

Außerdem war der Holzchemel so eingerichtet, daß er die eiserne Druckplatte immer nur in drei Punkten belastete. Dadurch wurde bewirkt, daß die Last bei den zahlreichen aufeinander folgenden Belastungen immer wieder in der gleichen Weise auf die Platte verteilt und auf den Erdboden übertragen wurde. Anscheinend hat auch diese Anordnung auf die gute Übereinstimmung der Versuchsergebnisse günstigen Einfluß ausgeübt.

Obwohl die Beobachtungstelle etwa 50 m von der Fahrstraße entfernt war, wurde durch die nicht zahlreichen vorbeifahrenden Fuhrwerke eine immerhin bemerkbare Störung der Beobachtungen verursacht. Die elastischen Schwingungen des Bodens pflanzten sich bis zur Beobachtungstelle fort und bewirkten hier noch deutlich wahrnehmbare Bewegungen der Spiege. Da die Übertragung der Bewegung vom Boden auf den Spiegel keine zwangläufige ist, sondern durch Reibung geschieht, so vermag der Spiegel, dessen Masse immerhin beträchtlich ist, den ungemein schnellen Schwingungen des Bodens nicht

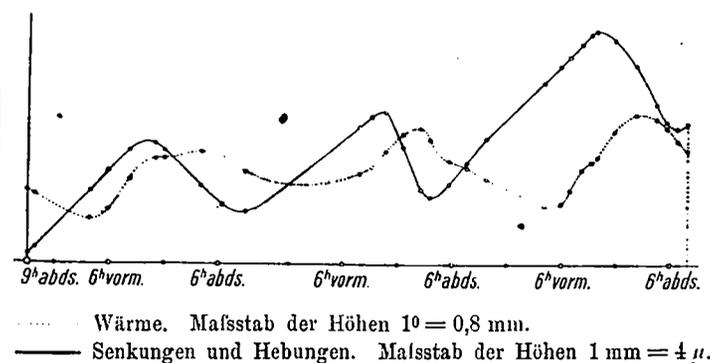
vollkommen zu folgen, daher tritt Gleiten des Röllchens auf der Stahlfeder ein.

Die große Genauigkeit der Messungen bedingte eine oft unangenehme Empfindlichkeit der Versuchsvorrichtung. So brachten die Schritte eines an dem Schuppen vorbeigehenden Menschen an der Beobachtungstelle deutlich wahrnehmbare Senkungen des Bodens hervor. Sogar die Züge der 1 km entfernten Eisenbahn erzeugten noch Schwingungen des Spiegels. Aber selbst bei völliger Ruhe waren noch Bewegungen des Spiegels wahrnehmbar, die durch Formänderungen des Messgerätes infolge von Wärmeschwankungen hervorgerufen wurden. Eine Ausdehnung der vom Boden zum Spiegel geführten Stange erschien als Hebung, eine Verkürzung als Senkung des Bodens.

Diese scheinbaren Bodenbewegungen machten sich insbesondere bei Dauerversuchen zur Feststellung der elastischen Nachwirkung bemerkbar und erreichten bei längerer Beobachtungsdauer eine Größe, welche den Betrag der elastischen Nachwirkung in der gleichen Zeit oft überstieg. Daher mußten die scheinbaren Hebungen und Senkungen des unbelasteten Bodens festgestellt werden.

Das Ergebnis der Beobachtungen ist in Textabb. 6 dar-

Abb. 6. Bewegungswellen der Messvorrichtung.



gestellt. Die gestrichelte Linie gibt den Verlauf der Wärmeänderungen, die ausgezogene die beobachteten Hebungen und Senkungen an. Die Beobachtungsdauer war etwa 70 Stunden, die Zeiten sind als Längen aufgetragen.

Man ersieht aus den Schaulinien deutlich, daß einer Zunahme der Luftwärme eine scheinbare Senkung, der Abkühlung eine Hebung des Bodens entspricht. Dadurch, daß sich die Wirkung der Wärmeänderung erst nach einiger Zeit bemerkbar macht, tritt eine gewisse Verschiebung der beiden Linien ein.

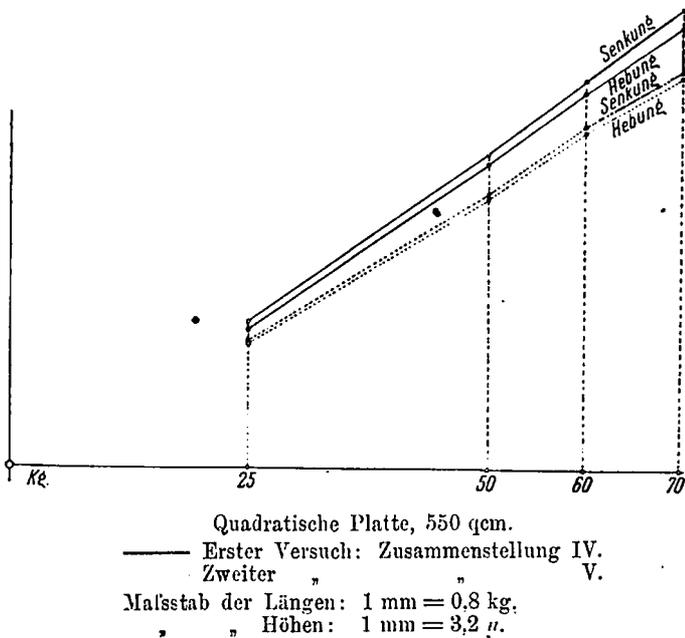
Obwohl nun Ursache und Wirkung im Verlaufe der Linien gut zu erkennen sind, ist ihre gegenseitige Abhängigkeit doch nicht derart, daß aus der Beobachtung der Wärmeänderung allein auf die zahlenmäßige Größe der durch sie bewirkten Hebung oder Senkung geschlossen werden könnte. Die wegen der Wärmeschwankungen nötige Berichtigung der Beobachtungen mußte daher in anderer Weise vorgenommen werden, und zwar für Beobachtungen von kurzer Dauer dadurch, daß für Belastung und Entlastung gleiche Zeitdauer eingehalten wurde. Aus der beobachteten Senkung und Hebung wurden die Mittelwerte gebildet und als das Maß der erfolgten Bewegung angesehen.

Beobachtungen von längerer Dauer wurden dagegen von vornherein nur in den Stunden vorgenommen, in welchen die durch Wärme bewirkte Veränderung nach Maßgabe der Zeit erfolgte, der Verlauf die Linie in Textabb. 6 also nahezu geradlinig war. Das Maß der Veränderung wurde dabei durch einige, dem eigentlichen Versuche vorausgehende Beobachtungen ermittelt und der nachträglichen Berichtigung der Versuchszahlen zu Grunde gelegt. Diese Zeit gradlinigen Verlaufes lag zwischen 9 Uhr abends und 9 Uhr vormittags, die Dauerbeobachtungen mußten daher nachts vorgenommen werden.

IV. Vorversuche. Die elastische Nachwirkung.

Die ersten Versuche wurden mit einer quadratischen Platte von 10^{mm} Stärke und 550 qcm Druckfläche vorgenommen, die auf den sorgfältig geebneten Erdboden gelegt und mit Gewichten von 25 bis 70 kg belastet wurde. Die Ergebnisse dieser ersten Versuchsreihen sind in den Zusammenstellungen IV und V aufgeführt und in Textabb. 7 aufgezeichnet.

Abb. 7. Abhängigkeit der Formänderungen von den Lasten.



Die durch die Belastung bewirkte Senkung des Bodens bedarf ebenso, wie die der Entlastung folgende Hebung zu ihrer Ausbildung einer gewissen Zeit. Diese Erscheinung der allmähigen Ausbildung und Rückbildung der Formänderung, die elastische Nachwirkung genannt wird, machte Zeitbeobachtungen erforderlich. Der Boden wurde wiederholt mit demselben Gewichte und zwar jedesmal 3,5 Minuten lang belastet, in derselben Zeit wurde entlastet. Die an den Spiegeln beobachteten Senkungen und Hebungen der Platte wurde in 0,001^{mm} = μ eingetragen. Während der 3,5 Minuten dauernden Belastungen und Entlastungen wurden Ablesungen nach 0,5 Minuten und dann viermal nach weiteren je 0,75 Minuten gemacht. Die Mittelwerte aus den nach einer halben Minute beobachteten Senkungen und Hebungen wurden in Textabb. 7 als Höhen, die zugehörigen Lasten als Längen aufgetragen.

Die Formänderungen erscheinen so als Abhängige der

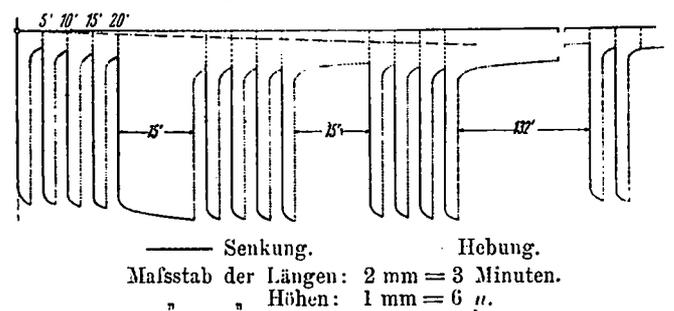
Lasten. Die Hebungen bleiben hinter den Senkungen um so mehr zurück, je größer die Belastungen sind, die bleibende Verdrückung wächst also mit der Last. Ferner nehmen die Formänderungen innerhalb der Versuchsgrenzen rascher zu, als die Lasten, das Verhältnis ist aber bei der ersten Versuchsreihe ein anderes, als bei der zweiten, die 3,5 Stunden nach der ersten aufgenommen wurde. Dies ist auf den Umstand zurückzuführen, daß sich die elastische Nachwirkung verschieden bemerkbar gemacht hat, da bei der ersten Versuchsreihe zuerst mit 70 kg belastet und dann bis 25 kg herabgegangen wurde, während bei der zweiten Reihe die Belastung von 25 kg bis 70 kg stieg.

Nähere Betrachtung der Zusammenstellungen IV und V zeigt außerdem, daß die Senkung innerhalb derselben Laststufe nach jeder Wiederholung der Belastung geringer wird, während dies bei den Hebungen nicht in gleichem Maße der Fall ist. Zusammenstellung V läßt sogar durchweg eine Zunahme der Hebung erkennen. Dieser Versuch zeigt erst, daß sowohl die Festigkeit des Bodens als auch seine Elastizität mit der Zahl der erfolgten Belastungen zunimmt. Diese Erscheinung ist teilweise auf die allmähige Verdichtung und erhöhte Festigkeit durch bleibende Formänderungen des Bodens, teilweise auf die elastische Nachwirkung des Bodens zurückzuführen.

Mit Rücksicht auf die späteren Untersuchungen war es daher nötig, die elastische Nachwirkung, insbesondere die Abhängigkeit des elastischen Verhaltens von den vorausgegangenen Belastungen, für den Erdboden vorher noch genauer festzustellen. Das geschah durch folgenden Versuch.

Eine kreisförmige Platte von 10^{mm} Stärke und 550 qcm Druckfläche wurde wiederholt mit demselben Gewichte von 70 kg belastet. Die Senkungen und Hebungen wurden 0,5, 1,25 und 2 Minuten nach erfolgter Belastung und Entlastung abgelesen. Das Ergebnis der Beobachtungen ist in Textabb. 8 veranschaulicht.

Abb. 8. Darstellung der Senkungen und Hebungen einer kreisrunden Platte, 550 qcm, bei einer Belastung von 70 kg.



Da die elastische Nachwirkung während längerer Beobachtungszeiten ermittelt werden sollte, waren vor dem Versuche die aus den Wärmeänderungen zu erwartenden Bewegungen des Spiegels festzustellen. Zu dem Zwecke wurde der Stand der Spiegel von 9 Uhr abends bis 3¹⁵ früh verfolgt, nachdem 48 Stunden lang keine Belastung erfolgt war, und daraus eine mittlere Hebung von 7,5 μ in der Stunde ermittelt. Dieses Maß wurde als für den unmittelbar anschließenden Versuch maßgebend angesehen. In dem Achsenkreuze (Textabb. 8), dessen Längen die Beobachtungszeiten und dessen Höhen die

Zusammenstellung IV.

Nr.	Belastung	Boden belastet:						Boden entlastet:					
		Senkung nach $\frac{1'}{2}$	weitere Senkung nach				zusammen nach $\frac{3 \cdot 1'}{2}$	Hebung nach $\frac{1'}{2}$	weitere Hebung nach				zusammen nach $\frac{3 \cdot 1'}{2}$
			$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$			$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	
1	70 kg	197,4	5,8	3,4	3,0	1,8	211,4	187,8	4,8	2,3	1,8	0,8	197,4
2	" "	192,6	6,8	4,0	2,1	2,2	207,7	185,4	5,1	2,0	1,7	1,3	195,5
3	" "	192,1	5,2	2,7	2,2	1,0	203,2	184,8	4,1	2,2	1,0	0,8	192,9
4	" "	188,9	5,0	3,0	2,4	1,6	200,9	182,8	5,2	2,9	1,5	0,9	193,3
	Im Mittel . . .	192,7	5,7	3,3	2,4	1,6	205,8	185,2	4,8	2,3	1,5	0,9	194,8
5	60 kg	167,0	6,2	2,8	1,7	1,7	179,4	159,9	3,1	2,1	2,1	1,1	168,3
6	" "	163,6	4,3	1,8	2,8	1,8	174,3	158,6	4,6	1,8	1,0	1,1	167,1
7	" "	160,7	4,0	3,2	1,6	0,6	170,1	157,2	4,1	1,8	1,2	0,9	165,2
8	" "	160,8	3,8	2,5	1,5	1,6	170,2	156,2	4,5	1,7	1,8	0,8	165,0
	Im Mittel . . .	163,0	4,6	2,6	1,9	1,4	173,5	158,0	4,1	1,9	1,3	1,0	166,4
9	50 kg	136,0	4,0	2,9	1,9	1,3	146,1	130,1	3,2	1,8	1,0	0,7	136,8
10	" "	133,1	3,5	2,2	1,6	1,2	141,6	129,2	3,5	1,4	1,0	1,0	136,1
11	" "	131,8	3,0	2,2	1,0	1,2	139,2	127,2	4,1	1,8	1,0	0,8	134,9
12	" "	130,1	3,6	2,4	1,6	1,1	138,8	126,6	3,4	2,1	1,2	0,4	133,7
13	" "	129,9	3,4	2,3	1,7	1,3	138,6	125,0	3,5	1,9	1,3	0,6	132,3
	Im Mittel . . .	132,2	3,5	2,4	1,6	1,2	140,9	127,6	3,5	1,8	1,1	0,7	134,8
14	25 kg	63,0	2,2	1,8	1,1	1,4	69,5	60,2	1,4	0,8	0,5	0,5	63,4
15	" "	61,8	2,4	1,7	1,5	1,0	68,4	58,8	2,1	0,8	0,6	0,2	62,5
16	" "	60,0	2,0	1,3	1,4	1,2	65,9	58,1	2,2	0,5	0,5	0,3	61,6
17	" "	59,5	2,2	1,6	1,0	1,1	65,5	56,8	2,5	1,5	0,5	0,2	61,5
18	" "	59,4	1,9	1,5	0,9	1,0	64,7	57,4	1,8	0,3	0,7	0,2	60,4
	Im Mittel . . .	60,8	2,1	1,6	1,2	1,1	66,8	58,3	2,0	0,8	0,5	0,3	61,9

Zusammenstellung V.

Nr.	Belastung	Boden belastet:						Boden entlastet:					
		Senkung nach $\frac{1'}{2}$	weitere Senkung nach				zusammen nach $\frac{3 \cdot 1'}{2}$	Hebung nach $\frac{1'}{2}$	weitere Hebung nach				zusammen nach $\frac{3 \cdot 1'}{2}$
			$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$			$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	$\frac{3'}{4}$	
1	25 kg	57,4	2,6	1,9	1,1	0,8	63,8	49,8	2,0	0,9	0,5	0,5	53,7
2	" "	52,4	1,9	1,1	0,7	0,8	56,9	53,0	1,2	0,9	0,6	0,7	56,4
3	" "	51,4	1,9	0,8	0,6	0,7	55,4	52,6	1,4	1,0	0,6	0,5	56,1
4	" "	51,8	1,8	1,1	0,5	0,6	55,8	51,8	2,0	0,9	1,0	0,8	56,5
	Im Mittel . . .	53,2	2,1	1,2	0,7	0,7	58,0	51,8	1,7	0,9	0,7	0,6	55,7
5	50 kg	114,2	5,4	3,0	1,8	1,3	125,7	112,1	4,2	1,8	1,1	0,7	119,9
6	" "	114,2	3,8	1,7	1,5	0,6	121,8	113,5	3,3	1,8	1,2	1,1	120,9
7	" "	113,8	3,1	1,7	1,0	1,0	120,6	114,5	3,1	2,0	1,6	0,2	121,4
8	" "	115,0	2,7	2,0	1,1	0,9	121,7	113,6	3,3	1,7	1,0	1,0	120,6
	Im Mittel . . .	114,3	3,7	2,1	1,4	0,9	122,4	113,4	3,5	1,8	1,2	0,7	120,7
9	60 kg	144,9	4,2	2,4	1,8	1,2	154,5	141,6	4,3	1,9	1,4	1,0	150,2
10	" "	144,8	3,3	2,2	1,2	1,6	153,1	141,8	4,3	2,1	1,4	0,9	150,5
11	" "	142,1	3,8	1,8	1,4	1,3	150,4	140,7	4,0	2,2	1,2	0,9	149,0
12	" "	143,7	3,0	1,4	1,3	1,0	150,4	141,0	4,4	2,0	1,3	1,4	150,1
	Im Mittel . . .	143,9	3,6	1,9	1,4	1,3	152,1	141,3	4,3	2,1	1,3	1,0	150,0
13	70 kg	165,9	5,0	3,2	2,2	1,6	177,9	163,6	3,4	2,2	1,3	1,3	171,8
14	" "	163,3	4,1	2,5	1,4	1,4	174,7	163,4	4,5	2,3	2,0	1,0	173,2
15	" "	165,6	3,9	2,0	1,5	1,4	174,4	163,9	4,1	2,5	1,8	1,0	173,3
16	" "	164,9	3,8	2,4	1,4	1,4	173,9	163,2	4,5	2,4	1,7	1,3	173,1
	Im Mittel . . .	165,4	4,2	2,5	1,6	1,4	175,2	163,5	4,1	2,2	1,7	1,1	172,8

beobachteten Formänderungen darstellen, sind die Wärmebewegungen durch eine Linie angegeben, von der aus als Längsachse die beobachteten Senkungen und Hebungen aufgetragen sind. Die Höhen der tatsächlich erfolgten Senkungen und Hebungen sind von der ausgezogenen Längsachse auszunehmen.

Man erkennt aus der erhaltenen Schaulinie folgendes. Die erste Belastung ruft eine erheblich grössere Senkung hervor, als alle nachfolgenden. Die ihr folgende Hebung bleibt dagegen so beträchtlich hinter dieser Senkung zurück, daß augenscheinlich die größte bleibende Verdrückung durch die erste Belastung hervorgerufen wird. Bei jeder folgenden Belastung erfährt der Boden wieder eine bleibende Verdrückung. Die elastischen Verdrückungen werden aber geringer, die Festigkeit des Bodens nimmt mit jeder neuen Belastung zu.

Die fünfte Belastung, die 15 Minuten statt 2,5 dauerte, brachte eine grössere bleibende Senkung hervor, die teilweise bei der folgenden Entlastung wieder verschwand, sich teilweise auch in kleineren bleibenden Senkungen bei den folgenden Belastungen bemerkbar machte. Die Wirkung der länger dauernden Belastung macht sich außerdem noch dadurch geltend, daß die elastischen Formänderungen der drei folgenden Belastungen nicht mehr in gleichem Maße geringer werden, die Festigkeit des Bodens also langsamer zunimmt.

Der achten Belastung folgte eine Entlastung von gleichfalls 15 Minuten Dauer. Diese brachte einen Teil der bislang erfolgten bleibenden Verdrückungen wieder zum Verschwinden und bewirkte außerdem, daß sich die elastischen Formänderungen für die folgenden Belastungen wieder um das anfängliche Maß bei jeder Belastung verminderten.

Die nun folgende, zweistündige Entlastung veranlaßte eine fortdauernde Hebung des Bodens, welche die zuvor erfolgten, scheinbar bleibenden Senkungen zum großen Teile wieder verschwinden ließ. Eine nach dieser längeren Entlastung vorgenommene neue Belastungsreihe ließ wieder eine grössere Senkung nach der ersten Belastung, also dieselbe Erscheinung, wie zu Beginn des Versuchs, erkennen.

Das Eintreten einer verhältnismäßig großen, erstmaligen Senkung konnte man auch sonst immer bei dem Wechsel einer Belastungsstufe beobachten. Da die Aufbringung einer veränderten Last aber immer nur kurze Zeit dauerte, der Boden also nicht lange genug entlastet blieb, um die vermehrte Senkung durch die elastische Nachwirkung erklären zu können, muß die Ursache in einem andern Umstande gesucht werden. Die Ursache dieser Erscheinung liegt wahrscheinlich darin, daß ein Lastwechsel eine neue Spannungsverteilung im Boden bedingt und Teile davon zum Mittragen bringt, die vorher wenig oder noch nicht belastet waren, infolgedessen auch eine grössere erstmalige Verdrückung erfahren.

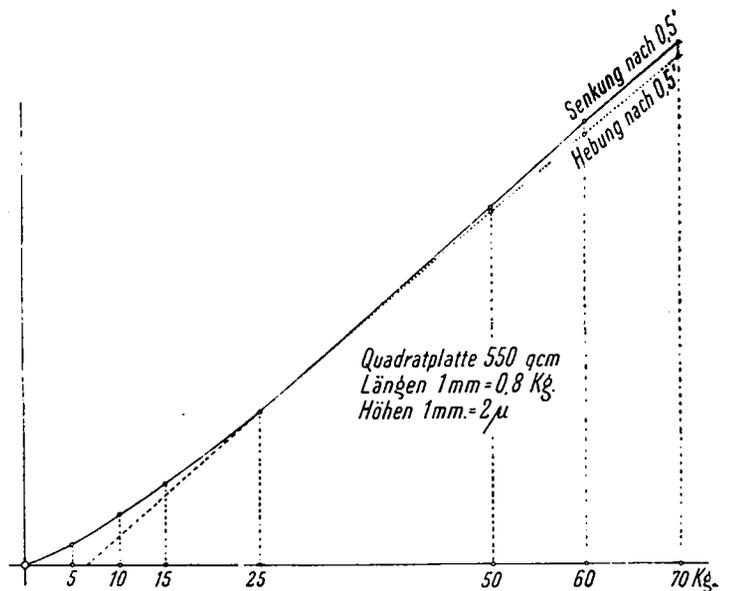
V. Die Abhängigkeit der Formänderungen von den Lasten.

Im Abschnitte IV wurde gezeigt, welchen Einfluß die elastische Nachwirkung bei wiederholten Belastungen auf die Beobachtungsergebnisse ausübt. Mit Rücksicht auf diesen Umstand wurde den Versuchen zur Feststellung der Abhängigkeit der Formänderungen von den Lasten und der Verlässlichkeit

der grundlegend gewordenen Annahme Winkler's folgende Anordnung gegeben.

Unter genauer Einhaltung gleicher Zeiten für jede Belastung und Entlastung wurde eine Reihe von Beobachtungen derart durchgeführt, daß die Belastung für jede Laststufe viermal wiederholt und die Belastung selbst von 70 kg allmählig bis 5 kg herabgemindert wurde. Im unmittelbaren Anschlusse hieran wurde eine zweite Beobachtungsreihe in derselben Weise, jedoch in umgekehrter Reihenfolge von 5 kg aufwärts bis 70 kg, ausgeführt. Die Zusammenstellungen VI und VII enthalten die Ergebnisse zweier solcher Versuchsreihen mit der quadratischen Platte von 550 qcm Druckfläche. Die Mittelwerte aus den Senkungen und aus den Hebungen nach einer halben Minute wurden diesen Zusammenstellungen entnommen und als Höhen mit den Laststufen als Längen aufgetragen (Textabb. 9).

Abb. 9.



Die Annahme eines geradlinigen Gesetzes für die Abhängigkeit der Senkungen und Hebungen von den Lasten wird hiernach nicht bestätigt, vielmehr ist das Gesetz der Zunahme der Formänderungen mit den Lasten durch eine Gleichung der Form

$$\text{Gl. 5) } \dots \dots y^{\text{cm}} = \alpha (p^{\text{kg/qcm}})^m$$

auszudrücken, in der y die lotrechte Bewegung der Druckplatte, p den Druck auf die Flächeneinheit, m und α aus dem Versuche abzuleitende Festwerte angeben, die zur Erzielung guten Ausgleiches wie folgt berechnet werden.

Gemäß der Bedingung, daß die Summe der Quadrate der Beobachtungsfehler eine kleinste werden muß, besteht die Beziehung:

$$\text{Gl. 6) } \dots \dots \frac{\sum y \cdot p^m \cdot \sum p^{2m} \cdot \lg p}{\sum p^{2m} \cdot \sum y \cdot p^m \lg p} = 1.$$

Daraus läßt sich durch einige Versuchsrechnungen und Auftragung m bestimmen, indem man für verschiedene Werte von m mit den beobachteten y und den zugehörigen p die vier Summenausdrücke bildet. Aus dem gefundenen Werte von m folgt dann

$$\text{Gl. 7) } \dots \dots \alpha = \frac{\sum y \cdot p^m}{\sum p^{2m}}$$

Zusammenstellung VI.
Quadratische Platte 550 qcm.

Nr.	Belastung	Boden belastet:				Boden entlastet:			
		Senkung nach	weitere Senkung nach			Hebung nach	weitere Hebung nach		
			0,5'	0,75'	0,75'		1'	0,5'	0,75'
1	70 kg	150,4	6,6	4,0	4,2	137,5	3,3	1,1	1,3
2	" "	136,8	2,4	—	1,4	135,0	3,3	1,8	1,2
3	" "	137,3	4,6	2,7	3,0	134,6	3,6	1,8	1,8
4	" "	135,9	4,4	2,1	2,4	132,9	4,2	1,6	1,0
	Im Mittel	140,1	4,5	2,9	2,7	135,0	3,6	1,6	1,3
5	60 kg	121,2	3,1	1,9	1,7	114,6	3,6	2,4	0,8
6	" "	116,2	3,8	1,5	1,3	114,0	3,2	1,4	1,3
7	" "	115,9	2,8	1,9	1,0	112,3	3,8	1,6	1,7
8	" "	115,1	2,8	1,5	1,3	113,0	3,4	2,2	1,3
	Im Mittel	117,1	3,1	1,7	1,3	113,5	3,5	1,9	1,3
9	50 kg	96,3	3,5	1,7	1,4	93,7	3,4	1,3	1,4
10	" "	93,9	2,6	1,1	1,2	92,6	3,0	1,7	1,0
11	" "	93,7	2,4	1,4	0,6	92,9	3,3	2,0	1,0
12	" "	93,5	2,6	1,1	0,6	92,9	3,0	1,6	1,0
	Im Mittel	94,3	2,8	1,3	0,9	92,9	3,2	1,6	1,1
13	25 kg	45,2	2,0	1,1	0,7	40,7	2,0	0,9	1,2
14	" "	44,3	1,7	1,0	0,7	44,1	1,8	1,0	0,5
15	" "	44,2	1,4	0,8	0,4	44,2	1,5	1,1	0,5
16	" "	43,0	1,7	0,7	0,7	43,8	1,8	1,0	1,0
17	" "	43,4	1,0	1,0	0,4	43,5	1,5	1,0	0,6
	Im Mittel	44,0	1,6	0,9	0,6	43,3	1,7	1,0	0,8
18	15 kg	21,9	0,9	0,2	—	21,9	1,0	0,3	—
19	" "	19,8	0,6	0,3	—	21,8	0,9	0,4	—
	Im Mittel	20,9	0,7	0,2	—	21,8	0,9	0,3	—
20	10 kg	13,7	0,2	0	—	13,7	0,6	0,3	—
21	" "	13,0	0,2	0,1	—	13,1	0,5	0,5	—
	Im Mittel	13,4	0,2	0,1	—	13,4	0,6	0,4	—
22	5 kg	5,2	0,1	0	—	5,5	0,2	0	—
23	" "	4,9	0,2	0	—	5,4	0,4	0	—
	Im Mittel	5,1	0,2	0	—	5,5	0,3	0	—

Zusammenstellung VII.
Quadratische Platte 550 qcm.

Nr.	Belastung	Boden belastet:				Boden entlastet:			
		Senkung nach	weitere Senkung nach			Hebung nach	weitere Hebung nach		
			0,5'	0,75'	0,75'		1'	0,5'	0,75'
24	5 kg	5,4	0,2	0	—	5,8	0,2	0	—
25	" "	5,4	0,2	0	—	5,8	0,6	0	—
	Im Mittel	5,4	0,2	0	—	5,8	0,4	0	—
26	10 kg	12,8	0,6	0	—	13,4	0,1	0	—
27	" "	13,0	0,2	0	—	13,0	0,3	0	—
	Im Mittel	12,9	0,4	0	—	13,2	0,2	0	—
28	15 kg	20,9	0,9	0	—	20,6	0,8	0	—
29	" "	20,6	0,8	0	—	21,0	0,6	0	—
	Im Mittel	20,8	0,8	0	—	20,8	0,7	0	—
30	25 kg	41,5	1,8	0,9	1,2	41,4	—	0,9	0,2
31	" "	40,8	1,5	0,9	0,5	40,9	1,4	1,0	0,6
32	" "	40,0	1,1	0,9	0,3	40,8	1,5	1,0	0,8
33	" "	40,1	1,1	0,7	—	41,8	1,5	0,9	0,9
	Im Mittel	40,6	1,4	0,8	0,7	41,2	1,5	0,9	0,6
34	50 kg	96,6	3,0	1,6	1,5	96,9	2,5	1,5	1,2
35	" "	93,8	2,2	1,3	1,3	93,5	2,8	1,3	1,4
36	" "	94,2	2,2	1,0	1,0	93,9	2,6	1,4	1,4
37	" "	93,8	2,3	1,1	0,8	93,7	3,0	1,9	1,4
	Im Mittel	94,6	2,4	1,2	1,1	94,5	2,7	1,5	1,3
38	60 kg	117,3	3,6	1,4	1,8	113,4	3,6	1,5	1,3
39	" "	114,6	3,2	1,4	1,1	114,6	3,3	1,6	1,5
40	" "	115,1	2,6	1,3	1,3	114,2	3,2	1,7	1,8
41	" "	115,2	3,2	1,1	1,1	114,1	3,4	1,8	1,8
	Im Mittel	115,5	3,1	1,3	1,3	114,1	3,4	1,6	1,6
42	70 kg	136,6	4,3	2,2	1,9	134,6	3,0	2,2	—
43	" "	136,2	3,4	1,8	1,6	135,0	3,4	1,7	1,7
44	" "	135,4	3,0	1,6	1,8	134,2	4,1	1,9	1,7
45	" "	136,7	2,9	2,0	1,3	134,7	4,2	2,2	1,6
	Im Mittel	136,2	3,4	1,9	1,6	134,6	3,7	2,0	1,6

So wurde für die Versuchsreihe der Zusammenstellungen VI und VII für die Mittelwerte aus Senkung und Hebung

$$m = 1,174; \quad a = 0,1548$$

gefunden, das Gesetz lautet also:

$$\text{Gl. 8) } \dots \quad y = 0,1548 \cdot p^{1,174}.$$

Zusammenstellung VIII enthält neben den Versuchsmittelwerten die nach dieser Gleichung gerechneten Formänderungen.

Zusammenstellung VIII.

Belastung in kg	5	10	15	25	50	60	70
Belastung in kg/qcm	0,0091	0,0182	0,0273	0,0455	0,0910	0,1092	0,1274
Beobachtete Formänderung in "	5,5	13,2	21,1	42,3	94,1	115,1	136,5
Berechnete Formänderung in "	6,2	14,0	22,5	41,1	92,7	114,9	137,6

Die Übereinstimmung befriedigt.

Zusammenstellung IX.
Kreisrunde Platte 550 qcm.

Nr.	Belastung	Boden belastet:			Boden entlastet:		
		Senkung nach 0,5'	weitere Senkung nach 0,75'	0,75'	Hebung nach 0,5'	weitere Hebung nach 0,75'	0,75'
1	70 kg	145,8	5,5	3,0	130,2	2,8	1,4
2	" "	135,1	4,1	1,7	126,2	3,7	1,2
3	" "	129,5	3,1	2,2	125,4	3,4	1,8
4	" "	127,7	2,9	1,8	124,0	4,0	1,8
	Im Mittel	134,5	3,9	2,2	126,5	3,5	1,5
5	60 kg	115,0	3,1	1,2	107,9	3,5	1,6
6	" "	110,1	2,6	1,3	107,8	3,4	1,2
7	" "	109,1	2,4	1,2	107,0	3,3	1,6
8	" "	108,6	2,2	1,2	106,5	3,4	1,4
	Im Mittel	110,7	2,6	1,2	107,3	3,4	1,5
9	50 kg	93,9	2,6	1,4	89,2	3,4	1,5
10	" "	90,6	2,2	1,0	88,6	2,8	1,6
11	" "	89,3	2,1	0,9	88,2	2,9	1,0
12	" "	88,8	1,8	1,0	87,8	2,8	1,2
	Im Mittel	90,6	2,2	1,1	88,5	3,0	1,3
13	25 kg	42,2	1,8	0,8	42,1	1,3	1,0
14	" "	42,2	1,0	1,0	41,8	1,6	1,8
15	" "	42,1	1,5	0,6	41,0	1,0	0,9
16	" "	39,9	1,1	1,0	39,9	1,6	1,0
	Im Mittel	41,6	1,4	0,9	41,2	1,4	1,2
17	15 kg	25,3	0,8	0,3	22,2	0,8	0,8
18	" "	22,3	0,5	0,2	22,1	1,0	0,4
	Im Mittel	23,9	0,7	0,3	22,1	0,9	0,6
19	10 kg	12,9	1,0	0,3	11,0	0,4	0,3
20	" "	12,5	0,5	0,2	13,4	0,6	0,2
	Im Mittel	12,7	0,8	0,3	13,7	0,5	0,2
21	5 kg	4,9	0,1	0	5,2	0,6	0,3
22	" "	4,6	0,2	0,2	5,4	0,2	0,1
	Im Mittel	4,8	0,2	0,1	5,3	0,4	0,2

Zusammenstellung X.
Kreisrunde Platte 550 qcm.

Nr.	Belastung	Boden belastet:			Boden entlastet:		
		Senkung nach 0,5'	weitere Senkung nach 0,75'	0,75'	Hebung nach 0,5'	weitere Hebung nach 0,75'	0,75'
23	5 kg	4,3	0,3	0	5,3	0,1	0,2
24	" "	4,6	0,1	0	5,0	0,2	0,2
	Im Mittel	4,4	0,2	0	5,2	0,5	0,2
25	10 kg	12,3	0,2	0,2	12,2	0,5	0,2
26	" "	11,8	0,2	0,2	12,6	0,6	0,5
	Im Mittel	12,1	0,2	0,1	12,4	0,5	0,3
27	15 kg	20,6	0,7	0,3	20,2	0,6	0,5
28	" "	20,9	0,2	0,2	20,9	0,7	0,7
	Im Mittel	20,8	0,5	0,3	20,5	0,6	0,6
29	25 kg	38,4	1,3	1,0	38,0	1,3	0,6
30	" "	38,2	1,4	0,7	38,3	1,4	0,6
31	" "	37,8	1,4	0,6	38,5	1,3	0,4
32	" "	38,1	1,1	0,4	38,3	1,5	0,4
	Im Mittel	38,1	1,3	0,7	38,3	1,4	0,5
33	50 kg	83,1	3,1	1,4	82,3	2,3	0,9
34	" "	83,5	2,2	1,1	83,0	2,5	1,1
35	" "	83,1	2,2	1,2	82,9	2,6	1,0
36	" "	83,3	2,6	0,5	82,8	2,5	2,2
	Im Mittel	83,2	2,5	1,0	82,8	2,5	1,3
37	60 kg	103,6	2,7	1,8	99,8	3,4	1,0
38	" "	100,9	2,7	1,3	99,2	3,4	1,1
39	" "	101,1	2,5	1,0	99,8	3,9	1,2
40	" "	100,6	2,2	1,4	99,0	2,8	1,1
	Im Mittel	101,5	2,5	1,4	99,5	3,1	1,1
41	70 kg	118,5	3,4	2,4	114,3	3,1	1,2
42	" "	116,4	3,0	1,6	114,7	3,7	1,5
43	" "	116,5	2,9	1,8	115,1	3,5	1,5
44	" "	117,6	2,9	1,0	115,5	3,3	1,6
	Im Mittel	117,2	3,1	1,7	114,9	3,4	1,4

Abb. 10.

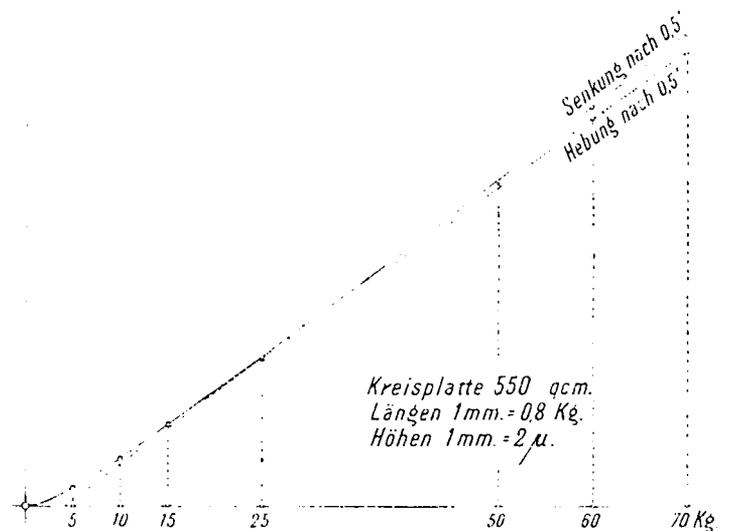
Die Zusammenstellungen IX und X enthalten die Ergebnisse der mit einer kreisrunden Platte von 550 qcm Druckfläche aufgenommenen Beobachtungsreihe, die ebenso durchgeführt wurde, wie die mit der quadratischen Platte.

Textabb. 10 stellt wieder die Abhängigkeit der Formänderungen von den Lasten dar. Die oben angegebene Ausgleichung liefert

$$m = 1,122 \text{ und } a = 0,1254.$$

der Zusammenhang zwischen den Belastungen und den beobachteten Formänderungen des Erdbodens ist also gegeben durch Gl. 9) $y = 0,1254 \cdot p^{1,122}$.

Werden nach Gl. 9) die Formänderungen für die verschiedenen Laststufen des Versuches gerechnet, so ergeben sich die Werte, welche in Zusammenstellung XI neben den beobachteten angegeben sind.



Zusammenstellung XI.

Belastung in kg	5	10	15	25	50	60	70
Belastung in kg/qcm	0,0091	0,0182	0,0273	0,0455	0,0910	0,1092	0,1274
Beobachtete Formänderung in μ	4,9	12,8	21,8	39,8	86,3	104,7	123,3
Berechnete Formänderung in μ	6,4	13,9	22,0	39,1	85,2	104,5	124,2

Die Übereinstimmung befriedigt auch hier.

Die Druckplatte, mit der die in den Zusammenstellungen XII und XIII verzeichneten Beobachtungen gemacht wurden, war wieder von quadratischer Form, hatte aber nur die halbe Kantenlänge der zuerst verwendeten quadratischen Platte, der

mit derselben Höchstbelastung von 70 kg erzielte größte Druck auf die Flächeneinheit war also viermal so groß wie bisher. Die mit diesen Belastungen bewirkten elastischen und bleibenden Formänderungen waren daher entsprechend größer.

Zusammenstellung XII.
Quadratische Platte 137,5 qcm.

Nr.	Belastung	Boden belastet:			Boden entlastet:		
		Senkung nach 0,5'	weitere Senkung nach		Hebung nach 0,5'	weitere Hebung nach	
			0,75'	0,75'		0,75'	0,75'
1	5 kg	12,4	1,1	—	12,3	0,6	—
2	" "	13,4	—	—	13,0	—	—
3	" "	12,0	—	—	12,0	—	—
4	" "	12,6	—	—	12,7	—	—
	Im Mittel	12,6	1,1	—	12,5	0,6	—
5	15 kg	46,6	2,0	1,4	44,3	1,4	0,5
6	" "	44,8	1,3	0,7	44,0	1,1	0,9
7	" "	44,0	1,5	0,4	44,2	1,5	0,6
8	" "	46,1	1,2	0,9	45,9	1,2	0,6
	Im Mittel	45,4	1,5	0,8	44,6	1,3	0,6
9	25 kg	76,8	3,0	2,6	74,8	2,6	0,8
10	" "	76,0	2,2	1,3	74,3	2,2	1,1
11	" "	75,6	1,9	1,2	74,6	2,0	1,0
12	" "	75,0	2,2	1,0	74,2	2,3	1,0
	Im Mittel	75,8	2,3	1,5	74,5	2,3	1,0
13	50 kg	170,9	7,4	3,5	163,0	4,0	2,2
14	" "	168,5	5,5	3,0	163,7	4,7	1,7
15	" "	165,0	5,4	2,1	162,4	4,6	1,8
16	" "	164,4	4,1	2,4	160,9	4,9	1,9
	Im Mittel	167,2	5,6	2,7	162,5	4,6	1,9
17	60 kg	202,7	7,3	4,3	196,7	5,4	2,6
18	" "	202,6	5,6	3,2	197,6	5,6	3,2
19	" "	201,5	5,4	3,0	197,9	5,2	2,7
20	" "	202,0	4,6	2,2	197,4	5,4	3,2
	Im Mittel	202,2	5,7	3,2	197,4	5,4	2,9
21	70 kg	240,4	7,9	5,2	231,8	6,7	2,3
22	" "	244,8	7,8	4,7	239,2	5,3	3,4
23	" "	241,4	5,8	3,7	234,0	7,4	3,7
	Im Mittel	242,2	7,2	4,5	235,0	6,5	3,1

Die Zusammenstellungen XII und XIII bringen den Einfluss der elastischen Nachwirkung nochmals deutlich zum Ausdrucke. Hier ist nämlich die Reihenfolge der Belastungen eine andere, als bei den Versuchen der Zusammenstellungen VI,

Zusammenstellung XIII.
Quadratische Platte 137,5 qcm.

Nr.	Belastung	Boden belastet:			Boden entlastet:		
		Senkung nach 0,5'	weitere Senkung nach		Hebung nach 0,5'	weitere Hebung nach	
			0,75'	0,75'		0,75'	0,75'
24	70 kg	240,7	5,8	3,8	234,4	7,4	3,6
25	" "	241,0	5,8	2,8	234,5	6,4	3,4
26	" "	238,7	5,2	3,5	234,7	6,6	3,1
	Im Mittel	240,1	5,6	3,4	234,5	6,8	3,4
27	60 kg	217,6	4,9	2,6	207,8	6,4	2,4
28	" "	210,1	3,8	2,6	206,6	6,0	3,1
29	" "	210,2	3,7	2,6	205,4	6,4	2,6
30	" "	209,1	3,9	2,7	205,0	6,0	2,5
	Im Mittel	211,8	4,1	2,6	206,2	6,2	2,6
31	50 kg	177,8	4,2	1,9	171,4	5,9	2,0
32	" "	174,0	3,3	1,9	169,4	4,2	2,5
33	" "	172,2	5,7	1,5	169,0	4,7	3,3
34	" "	171,7	4,5	1,8	169,2	5,1	3,4
	Im Mittel	173,9	4,4	1,8	169,8	5,0	2,8
35	25 kg	87,0	2,7	1,6	84,6	3,0	1,3
36	" "	83,4	3,0	1,1	82,2	3,8	1,1
37	" "	81,5	2,4	1,3	82,0	2,7	1,5
38	" "	81,5	2,4	0,8	81,0	3,2	1,0
	Im Mittel	83,4	2,6	1,2	82,4	3,2	1,2
39	15 kg	48,3	1,8	0,6	48,0	1,7	1,2
40	" "	47,0	1,4	1,2	47,9	2,0	1,3
41	" "	46,2	1,6	1,3	46,2	2,6	0,3
42	" "	46,2	1,9	0,5	47,0	1,5	1,1
	Im Mittel	46,9	1,7	0,9	47,3	2,0	1,0
43	5 kg	13,6	—	—	15,0	—	—
44	" "	14,9	—	—	15,1	—	—
45	" "	13,6	—	—	13,6	—	—
46	" "	13,4	—	—	13,8	—	—
	Im Mittel	13,9	—	—	14,4	—	—

VII, IX und X. Dort war die Reihenfolge 70, 60, 50 50, 60, 70 kg, und die Formänderungen wurden am Ende des Versuches für ein und dieselbe Laststufe erheblich kleiner gefunden, als zu Beginn. Bei den Versuchen der Zusammenstel-

Abb. 11.

lungen XII und XIII war die Reihenfolge der Belastungen 5, 15, 25, 50 . . . 50, 25, 15, 5 kg, und nun waren die beobachteten Formänderungen für ein und dieselbe Laststufe zuletzt viel größer, als zu Beginn des Versuches.

Man erkennt hieraus, daß die Formänderungen kleiner erscheinen, wenn die Lasten einander in ansteigender Reihe folgen, und daß die Formänderungen größer werden, wenn die Lasten in fallender Reihe einander folgen. Diese Erscheinung kam auch noch bei andern Versuchsreihen unzweideutig zum Ausdrucke.

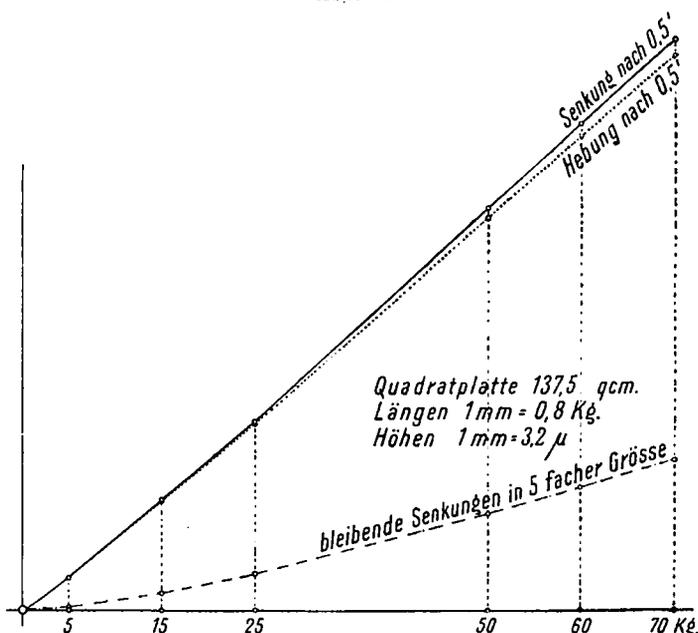
In Textabb. 11 sind die den Zusammenstellungen XII und XIII entnommenen Mittelwerte wieder als Höhen aufgetragen. Die Schaulinien dieser Abbildung haben einen ähnlichen Verlauf und lassen das frühere Gesetz erkennen. Gleichet man die Mittelwerte der beobachteten Hebungen und Senkungen aus, so ergibt sich

$$m = 1,070, \quad \alpha = 0,04934,$$

sodafs die Abhängigkeit der Formänderungen des Erdbodens von den Lasten durch

Gl. 10) . . . $y = 0,04934 \cdot p^{1,070}$ gegeben ist.

Die Zusammenstellung XIV enthält die auf Grund dieser Gleichung 10) gerechneten Formänderungen neben den Mittelwerten aus Hebung und Senkung, die den Zusammenstellungen XII und XIII entnommen wurden.



Zusammenstellung XIV.

Belastung in kg	5	15	25	50	60	70
Belastung in kg/qcm	0,0364	0,1092	0,1820	0,3640	0,4368	0,5096
Beobachtete Formänderung in μ	13,4	46,1	79,1	168,3	204,4	238,0
Berechnete Formänderung in μ	14,2	46,1	79,6	167,2	203,2	239,6

Die Übereinstimmung befriedigt auch hier.

Bisher wurde die Abhängigkeit der Formänderung von den Lasten stets nur für das Mittel aus Hebung und Senkung festgestellt. Man kann diese Abhängigkeit auch getrennt für die Senkungen und für die Hebungen ermitteln. Für die Beobachtungen der Zusammenstellungen XII und XIII wurde die Rechnung derart durchgeführt und ergab

für die Senkungen: $m = 1,075, \quad \alpha = 0,050186$;

für die Hebungen: $m = 1,064, \quad \alpha = 0,04768$.

Das Gesetz der Abhängigkeit von den Lasten wird also dargestellt:

für die Senkungen durch

Gl. 11) . . . $y' = 0,050186 \cdot p^{1,075}$,

und für die Hebungen durch

Gl. 12) . . . $y'' = 0,04768 \cdot p^{1,064}$.

Stellt man die nach Gl. 11) und 12) gerechneten Formänderungen den Mittelwerten aus den Zusammenstellungen XII und XIII gegenüber, so gelangt man zu Zusammenstellung XV.

Zusammenstellung XV.

Belastung in kg	5	15	25	50	60	70
Belastung in kg/qcm	0,0364	0,1092	0,1820	0,3640	0,4368	0,5069
Beobachtete Senkung in μ	13,3	46,2	79,6	170,5	207,0	241,2
Berechnete Senkung in μ	14,2	46,3	80,3	169,2	205,8	242,9
Beobachtete Hebung in μ	13,5	45,9	78,5	166,1	201,8	234,8
Berechnete Hebung in μ	14,1	45,6	78,7	165,1	200,6	236,5
Unterschied der berechneten Senkungen und Hebungen	0,12	0,74	1,55	4,08	5,20	6,41
Bleibende Formänderungen nach Gl 13) berechnet in μ	0,18	0,82	1,62	4,08	5,20	6,39

Die Zahlen der vorletzten Reihe stellen die Unterschiede zwischen den nach Gl. 11) und Gl. 12) berechneten Gröfsen, also die bleibenden Formänderungen dar. Diese sind in Textabb. 11 in fünffacher Gröfse dargestellt, und man erkennt schon aus dem Verlaufe der Schaulinie, dafs die bleibenden Formänderungen demselben Gesetze gehorchen wie die elastischen.

Um dieses Gesetz zu finden, wurden die Werte α und m in derselben Weise ermittelt wie bisher. Es ergab sich

$$m = 1,334, \quad \alpha = 0,00157,$$

sodafs die Abhängigkeit der bleibenden Formänderungen von den Lasten gegeben ist durch

$$\text{Gl. 13)} \quad y''' = 0,00157 \cdot p^{1,334}.$$

Die nach Gl. 13) gerechneten Werte sind zum Vergleiche in die letzte Zeile der Zusammenstellung XV eingeschrieben, sie stimmen mit den Ausgangswerten in der vorletzten Zeile ziemlich überein.

Die vorausgegangenen Betrachtungen haben gezeigt, dafs die Abhängigkeit der Formänderungen des Erdbodens von den Lasten durch die Winkler'sche Annahme der Gl. 1)

$$y = \frac{p}{C}$$

nicht richtig zum Ausdrucke gebracht wird. Das Verhalten des Erdbodens wird durch die Bettungsziffer allein nur dann genügend gekennzeichnet, wenn in der Gl. 5)

$$y = a \cdot p^m$$

$m = 1$ geworden ist.

Die durch die Versuche gefundene Gesetzmäfsigkeit ist freilich in der Anwendung unbequemer, als das ursprüngliche geradlinige Gesetz. Daher wird es oft von Vorteil sein, das Potenzgesetz der Gl. 5) durch eine angenäherte Formel zu ersetzen. Die Linien der Abb. 9, 10 und 11, welche die Abhängigkeit der Formänderungen von den Lasten darstellen, lassen sich nämlich mit ziemlicher Annäherung durch gerade Linien ersetzen, welche nicht durch den Ursprung gehen und deren Gleichung allgemein lautet:

$$\text{Gl. 14)} \quad y = \frac{p}{C} - c,$$

wenn C die Cotangente des Neigungswinkels der Geraden und c den Abschnitt bedeutet, den die Gerade auf der Y -Achse abschneidet. Diese Gröfsen lassen sich aus den Schaulinien entnehmen, und so ergeben sich für die Beziehung zwischen der Formänderung und den Lasten die folgenden Gleichungen:

Für die quadratische Platte mit 550 qcm Druckfläche

$$\text{Gl. 15)} \quad y = \frac{1}{8,8} \cdot p - 0,0015,$$

für die quadratische Platte mit 137,5 qcm Druckfläche

$$\text{Gl. 16)} \quad y = \frac{1}{20,4} \cdot p - 0,0008,$$

für die kreisrunde Platte mit 550 qcm Druckfläche

$$\text{Gl. 17)} \quad y = \frac{1}{9,8} \cdot p - 0,0007.$$

Schließlich kann man zur Kennzeichnung des elastischen Verhaltens des Erdbodens Gl. 1) in ihrer einfachen Form beibehalten, wenn man nur ihre Gültigkeit in gewisse Lastgrenzen einschließt, also die die Abhängigkeit der Formänderungen von

den Lasten darstellende Linie in Abschnitte zerlegt und durch gerade Linien ersetzt. Das Verfahren ist um so genauer, je kleiner die Abschnitte gewählt werden, und die Bettungsziffer ist dann gegeben durch

$$\text{Gl. 18)} \quad C = \frac{y_2 - y_1}{p_2 - p_1},$$

wenn p_1 und p_2 die Belastungen der Flächeneinheit bedeuten, bei denen die Formänderungen y_1 und y_2 beobachtet wurden. Natürlich muß man der Bettungsziffer die Lasten p_1 und p_2 beifügen, für die sie nach Gl. 18) berechnet ist, innerhalb deren sie also nur gilt.

Verfährt man derart mit den Beobachtungsergebnissen der mit verschiedenen Platten angestellten Versuche, so findet man beispielsweise für die Belastungsstufe von 0,05 bis 0,10 kg/qcm:

$C = 8,8$	für die quadratische Platte	von 550 qcm	Druckfläche,
$C = 9,8$	< < kreisrunde	< < 550	< <
$C = 20,4$	< < quadratische	< < 137,5	< <
$C = 19,0$	< < kreisrunde	< < 137,5	< <

Diese Bettungsziffern sind gegenüber den bis jetzt bekannten insbesondere für den gewöhnlichen Erdboden überraschend hoch. Besonders bemerkenswert ist noch, dafs sich für die Platten mit den halben Abmessungen ungefähr doppelt so grofse Bettungsziffern ergeben haben, als für die gröfseren Platten.

Aus den angegebenen vier Zahlen liefs sich der Zusammenhang der beobachteten Formänderungen mit Form und Gröfse der Platte nicht nachweisen. Es war nötig, hierüber eine besondere Untersuchung anzustellen.

VI. Der Einflufs von Form und Gröfse der Druckplatten auf die Formänderungen.

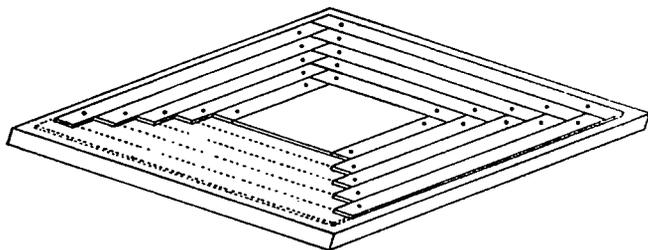
Die Versuche, welche den Einflufs von Form und Gröfse der Druckplatten auf die Formänderungen des Erdbodens klarlegen sollten, wurden zuerst in der Weise unternommen, dafs vier quadratische und vier kreisrunde Platten von verschiedener Gröfse nacheinander auf den Boden aufgebracht und mit derselben Last beschwert wurden. Obwohl der Boden sehr sorgfältig geebnet war und streng darauf geachtet wurde, dafs jede Platte satt auflag, befriedigten die Versuchsergebnisse doch nicht. Die beobachteten Formänderungen ergaben, wenn man sie mit den zugehörigen Platten zeichnerisch in Beziehung brachte, keine stetige Linie.

Es ist eben nicht möglich, immer wieder dieselbe gute Auflagerung herzustellen. Dafs es hierauf ankommt, konnte man daraus entnehmen, dafs dieselbe Platte, vom Boden aufgenommen und sorgfältig wieder aufgelegt, für die frühere Belastung oft um 10% abweichende Formänderungen ergab.

Ich liefs daher eine besondere Platte anfertigen, deren Druckfläche sich verkleinern liefs, ohne dafs man die Platte vom Boden wegzunehmen brauchte. In Textabb. 12 ist ihre verhältnismäfsig einfache Einrichtung, von unten gesehen, dargestellt. Auf einer starken quadratischen Platte von 25 cm Kantenlänge wurde eine 3 mm dicke kleinere Platte von etwa 8 cm Kantenlänge mit Schrauben gut befestigt. Um diese herum sind 15 mm breite Leisten von genau gleicher Dicke angeordnet,

die mit Rundkopfschrauben von oben auf die Platte festgespannt werden. Man konnte also, während die Platte ruhig auf dem Boden liegen blieb, die jeweiligen vier äußeren Leisten

Abb. 12.

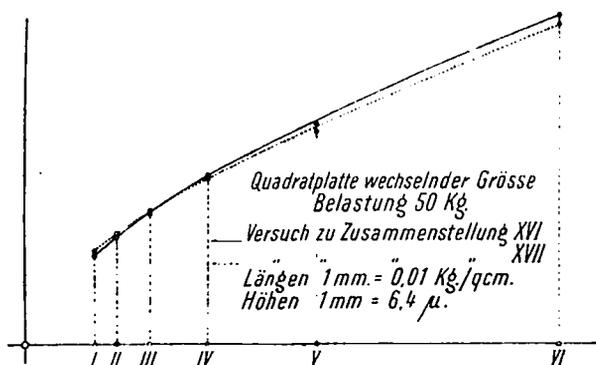


von der Platte lösen und unter ihr wegschieben. Da auf der Platte 5×4 Leisten angebracht waren, konnte man ihre Druckfläche fünfmal verkleinern, und sie dabei stets an Ort und Stelle lassen.

Mit dieser Platte wurde zunächst eine Versuchsreihe in der Weise durchgeführt, daß jede der verschiedenen Druckflächen wiederholt mit demselben Gewichte von 50 kg belastet wurde. Die beobachteten Formänderungen sind in Zusammenstellung XVI angegeben.

Trägt man die Mittelwerte der nach einer halben Minute beobachteten Senkungen und Hebungen als Höhen, die zugehörigen Belastungen der Einheit der verschiedenen Druckflächen als Längen auf, so erhält man die stark ausgezogene Schaulinie der Textabb. 13.

Abb. 13.



Der Verlauf dieser Schaulinie zeigt, daß sich die Formänderungen des Erdbodens nicht geradlinig mit dem Drucke auf die Flächeneinheit ändern, sie hängen vielmehr bei Druckplatten von verschiedener Größe und ähnlicher Gestalt von der Druckfläche ab und nehmen mit der Flächengröße zu. Die Erklärung hierfür kann wegen der sonst ganz gleichen Bedingungen, unter denen die Versuche mit den verschiedenen Platten stattfanden, in dem veränderlichen Verhältnisse der Fläche zum Umfange gesucht werden; während die Flächen im Quadrate zunehmen, ändert sich der Umfang nur in linearem Verhältnisse.

Die Linie, welche die Beziehung zwischen Fläche und Umfang für die verschiedenen Druckplatten zum Ausdruck

Zusammenstellung XVI.

Nr.	Druckfläche F qcm	Belastung $\frac{P}{F}$ kg/qcm	Boden belastet, Senkung nach			Boden entlastet, Hebung nach		
			0,5'	0,75'	0,75'	0,5'	0,75'	0,75'
I.	541,5	0,0925	76,6	2,8	1,3	74,1	3,0	1,1
			76,0	2,1	1,6	73,3	2,3	1,4
			74,5	2,2	1,0	72,6	2,4	1,3
			73,7	2,0	1,4	71,8	2,8	1,1
			73,0	2,2	1,0	71,6	2,5	1,1
			Im Mittel . .	74,8	2,3	1,3	72,7	2,6
II.	412,5	0,1212	92,0	3,0	1,2	88,8	3,1	1,1
			90,4	3,1	1,8	89,0	2,6	1,5
			89,8	2,6	1,5	87,3	3,0	1,4
			89,0	2,7	1,3	87,1	2,6	1,1
			87,9	2,5	1,3	86,0	2,8	1,6
			Im Mittel . .	89,8	2,8	1,4	87,6	2,8
III.	298,4	0,1676	112,2	3,4	2,1	108,4	3,5	1,3
			109,8	3,4	1,8	107,5	3,4	1,8
			109,8	2,9	1,4	106,5	3,9	1,9
			106,9	3,2	1,4	106,0	3,0	2,5
			108,6	3,4	2,0	105,5	3,3	1,7
			Im Mittel . .	109,5	3,3	1,7	106,8	3,4
IV.	204,4	0,2445	144,8	4,6	2,7	142,2	4,4	3,0
			145,7	4,0	2,4	141,4	4,3	2,2
			143,8	4,6	1,9	139,8	4,4	2,4
			143,4	3,5	2,2	139,0	4,7	2,3
			140,2	4,0	1,9	137,0	3,7	1,8
			Im Mittel . .	143,6	4,1	2,2	139,9	4,3
V.	128,0	0,3906	193,0	6,6	3,6	182,8	6,3	2,7
			186,2	5,3	3,1	180,0	5,7	2,8
			184,1	5,8	2,9	178,8	5,9	3,0
			182,1	4,3	2,5	176,1	7,7	2,6
			183,8	4,1	2,4	176,0	6,9	2,6
			Im Mittel . .	185,8	5,2	2,9	178,7	6,5
VI.	69,7	0,7170	286,5	7,9	4,6	275,7	8,0	4,6
			281,9	7,8	4,5	272,3	9,1	4,0
			279,1	7,9	2,7	271,4	8,2	4,2
			278,8	5,8	3,5	268,6	7,0	4,1
			272,2	7,4	4,0	266,0	6,8	4,2
			Im Mittel . .	279,7	7,4	3,9	270,8	7,8

bringt, ist eine Parabel. Augenscheinlich folgt die Schaulinie der beobachteten Formänderungen demselben Gesetze. Die Schaulinie bringt aber nicht nur dieses Gesetz allein zum Ausdruck, sondern ihr Verlauf wird auch noch durch die Abhängigkeit der Formänderungen von dem wechselnden Drucke auf die Flächeneinheit beeinflusst. Diese Abhängigkeit ist zwar in Gl. 5) $y = a \cdot p^m$ gegeben, die Berichtigung der Linie macht, jedoch wegen der wechselnden Werte a und m Schwierigkeiten, die für jede Platte gesondert ermittelt werden müßten.

Eine zweite, ganz in derselben Weise durchgeführte Versuchsreihe führte zu demselben Ergebnisse, wie die erste. In der Zusammenstellung XVII sind davon der Kürze halber nur die Mittelwerte für die nach 0,5' beobachteten Formänderungen angegeben, die sich aus fünf wiederholten Belastungen ergeben

haben. In Textabb. 13 wird das Ergebnis dieser Beobachtungsreihe durch die gestrichelte Linie dargestellt.

Zusammenstellung XVII.

Druckplatte Nr.	I	II	III	IV	V	VI
Druckfläche F qcm	541,5	412,5	298,4	204,4	128,0	69,7
Spez. Belastung $\frac{P}{F}$ kg/qcm	0,0925	0,1212	0,1676	0,2445	0,3906	0,717
Boden belastet, Senkung nach 0,5' "	79,0	93,9	107,8	140,1	178,4	272,3
Boden entlastet, Hebung nach 0,5' "	77,0	91,0	105,0	136,6	174,6	264,3

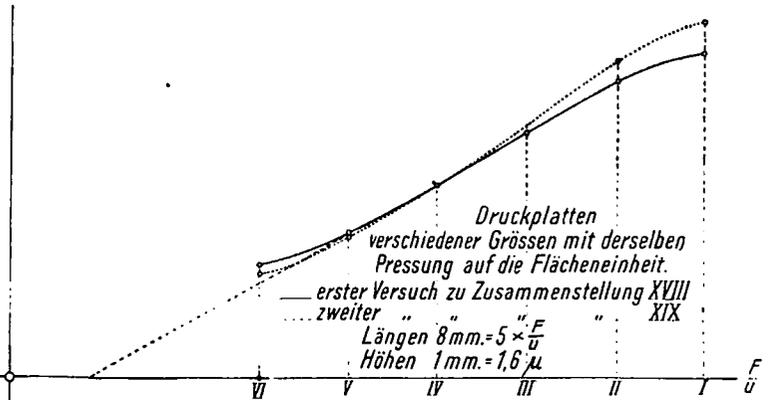
Zusammenstellung XVIII.

Nr.	Bela- stung kg	Druck- fläche F qcm	Um- fang U cm	$\frac{F}{U}$	Boden belastet, Senkung nach			Boden entlastet, Hebung nach						
					0,5'	0,75'	0,75'	0,5'	0,75'	0,75'				
I	54,18	541,8	93,0	5,83	70,2	2,6	1,4	67,8	2,2	0,6				
					69,7	1,8	1,2	67,5	2,1	0,8				
					69,1	1,9	0,9	67,7	1,4	0,7				
					68,6	1,9	1,2	67,6	2,2	1,2				
					68,6	1,5	1,0	66,6	1,6	0,8				
					Im Mittel . .				69,2	1,9	1,1	67,4	1,9	0,8
					II				41,25	412,5	81,3	5,08	64,5	2,2
								63,3	2,2	0,3	62,2	1,4	0,9	
								63,2	2,0	1,2	61,6	1,5	0,7	
								62,5	1,5	1,1	61,4	1,8	0,2	
								62,9	1,7	1,3	61,4	1,7	0,7	
Im Mittel . .								63,3	1,9	1,0	61,8	1,6	0,6	
III	29,84	298,4	69,1	4,32	52,3	2,2	1,9	52,2	1,1	1,0				
					52,6	2,0	2,0	51,8	1,7	0,6				
					52,2	1,7	0,6	50,6	1,6	0,6				
					51,8	1,5	1,0	51,6	2,0	0,2				
					51,2	1,7	1,2	50,1	1,4	0,4				
					Im Mittel . .				52,1	1,8	1,3	51,3	1,6	0,6
					IV				20,44	204,4	57,2	3,58	42,2	1,7
								41,0	1,8	0,7	40,4	1,2	0,4	
								40,9	1,3	0,9	40,3	1,4	0,6	
								40,9	2,0	1,0	40,3	1,2	0,7	
								40,8	1,2	0,6	40,3	1,3	0,2	
Im Mittel . .								41,2	1,6	0,8	40,4	1,2	0,5	
V	12,8	128,0	45,3	2,83	32,1	1,0	0,8	30,6	1,0	0,4				
					31,3	1,1	0,6	30,1	0,9	0,4				
					31,0	0,9	0,4	30,1	1,0	0,5				
					30,8	1,0	0,6	29,7	0,9	0,3				
					30,2	0,8	0,8	29,7	1,0	0,3				
					Im Mittel . .				31,1	1,0	0,6	30,0	1,0	0,4
					VI				6,97	69,7	33,4	2,08	25,1	1,3
								24,6	1,0	0,6	23,7	0,6	0,2	
								24,1	0,9	0,4	23,2	0,9	0,6	
								24,0	1,0	0,4	23,4	0,7	0,6	
								23,8	0,9	0,6	23,4	0,6	0,2	
Im Mittel . .								24,3	1,0	0,6	23,6	0,7	0,4	

Um den Einfluß der Pressung auf die Flächeneinheit auf die mit den verschiedenen großen Druckflächen erzielten Formänderungen des Bodens auszuscheiden, und deren Abhängigkeit von dem Verhältnisse der Druckfläche zum Umfange für sich gesondert zum Ausdruck zu bringen, wiederholte ich den Versuch, veränderte aber die Belastung so, dass alle Druckflächen denselben Druck auf die Flächeneinheit, nämlich 0,1 kg/qcm erhielten. Hierbei wurden die Beobachtungen gemacht, welche in Zusammenstellung XVIII angegeben sind.

In Textabb. 14 ist das Ergebnis des Versuches durch die

Abb. 14.



stark ausgezogene Schaulinie bildlich dargestellt, die dadurch erhalten wurde, dass die Mittelwerte aus den nach 0,5' beobachteten Formänderungen als Höhen, und die Verhältnisse $\frac{F}{U}$ für die verschiedenen Druckflächen als Längen aufgetragen wurden.

Die erhaltene Linie kann wenigstens für den zwischen II und V liegenden Abschnitt mit genügender Annäherung durch eine Gerade ersetzt werden, bei gleichbleibendem Flächendrucke stehen also die Formänderungen des Erdbodens unter Platten ähnlicher Gestalt zum Verhältnisse der Druckfläche zum Plattenumfange in geradlinigem Verhältnisse.

Die Gleichung, welche diese Beziehung ausdrückt, lautet entsprechend der allgemeinen Geradengleichung $y = ax - b$:

$$\text{Gl. 19) } \dots y = a \cdot \frac{F}{U} - b.$$

Für die Werte a und b folgt aus Textabb. 14:

$$a = 0,00139, \quad b = 0,0008,$$

so dass Gl. 19) für diesen Fall lautet:

$$\text{Gl. 20) } \dots y_{cm} = 0,00139 \frac{F_{qcm}}{U_{cm}} - 0,0008.$$

Das Ergebnis dieses Versuches wurde durch eine zweite Beobachtungsreihe bestätigt. Die Mittelwerte aus den nach 0,5' beobachteten Senkungen und Hebungen sind in Zusammenstellung XIX angegeben, sie geben die gestrichelt gezeichnete Schaulinie der Textabb. 14, welche mit der zuerst gefundenen ausgezogenen gut übereinstimmt.

Zusammenstellung XIX.

Druckplatte Nr.	I	II	III	IV	V	VI
Belastung kg	54,18	41,25	29,84	20,44	12,80	6,97
F:U	5,83	5,08	4,32	3,58	2,83	2,08
Boden belastet, Senkung nach 0,5' "	75,5	67,4	52,0	41,1	29,9	22,1
Boden entlastet, Senkung nach 0,5' "	74,5	66,1	50,9	40,5	29,4	21,7

Ersetzt man die Linie der Textabb. 14 wieder durch eine Gerade, so ergeben sich:

$$a = 0,00158, \quad b = 0,00145,$$

also für diesen Versuch [Gl. 19)] die Gleichung:

$$\text{Gl. 21) } \dots y^{\text{cm}} = 0,00158 \cdot \frac{F^{\text{qcm}}}{U^{\text{cm}}} - 0,00145.$$

Die Beziehung zwischen den Formänderungen und dem Drucke auf die Flächeneinheit ist für dieselbe Druckplatte nach Gl. 14) gegeben durch

$$y_0 = \frac{p}{C_0} - c_0,$$

worin C_0 und c_0 die Werte bedeuten, welche für eine Platte von der Druckfläche F_0 und dem Umfange U_0 gefunden worden sind. Nach Gl. 19) ist für diese Platte auch

$$y_0 = a \cdot \frac{F_0}{U_0} - b,$$

und für eine andere Platte von ähnlicher Gestalt, mit der Druckfläche F und dem Umfange U

$$y = a \cdot \frac{F}{U} - b.$$

Daher ist auch

$$\frac{y}{y_0} = \frac{a \cdot \frac{F}{U} - b}{a \cdot \frac{F_0}{U_0} - b}$$

und durch Einsetzen des Wertes für y_0 schliesslich

$$\text{Gl. 22) } y = \frac{a \cdot \frac{F}{U} - b}{a \cdot \frac{F_0}{U_0} - b} \left(\frac{p}{C_0} - c_0 \right).$$

Gl. 22) kann nun wieder in der Form der Gl. 14)

$$y = \frac{p}{C} - c$$

geschrieben werden, wenn

$$\text{Gl. 23) } \dots \left\{ \begin{array}{l} C = C_0 \cdot \frac{a \cdot \frac{F_0}{U_0} - b}{a \cdot \frac{F}{U} - b} \\ c = c_0 \cdot \frac{a \cdot \frac{F_0}{U_0} - b}{a \cdot \frac{F}{U} - b} \end{array} \right.$$

gesetzt werden. Danach lassen sich die einer Platte vom Umfange U und der Druckfläche F zugehörigen Werte C und c berechnen, wenn für eine andere Platte ähnlicher Gestalt, der Fläche F_0 und des Umfanges U_0 die Werte C_0 und c_0 aus einem Versuche gegeben sind.

Damit möge das Ergebnis eines frühern Versuches verglichen werden. Für die quadratische Druckplatte von 550 qcm hatte sich ergeben, dass die Beziehung zwischen der Formänderung und dem Flächendrucke innerhalb der dort festgestellten Grenzen nach Gl. 15) gegeben ist durch

$$y = \frac{p}{8,8} - 0,0015.$$

Für eine halb so grosse Platte wurde nach Gl. 16) diese Beziehung für dieselben Grenzen gefunden zu

$$y = \frac{p}{20,4} - 0,0008.$$

Nun lassen sich die Bettungsziffern C und c für die kleinere Platte nach Gl. 23) auch aus den für die grosse Platte gefundenen Ziffern ableiten.

$$\text{Für die grosse Platte ist } \frac{F}{U} = \frac{550}{94} = 5,86,$$

$$\text{für die kleine } \frac{F}{U} = \frac{137,5}{47} = 2,93.$$

Die Werte a und b folgen aus dem zuletzt beschriebenen Versuche

$$\text{das einamal } \dots a = 0,00139, \quad b = 0,0008;$$

$$\text{das anderemal } \dots a = 0,00158, \quad b = 0,00145;$$

$$\text{also im Mittel } \dots a = 0,00148, \quad b = 0,00112.$$

Auf Grund der Mittelwerte von a und b erhält man nach Gl. 23) für die kleine Platte

$$C = 8,8 \cdot \frac{0,00148 \cdot 5,86 - 0,00112}{0,00148 \cdot 2,93 - 0,00112} = 8,8 \cdot 2,34 = 20,6,$$

$$c = 0,0015 \cdot \frac{1}{2,34} = 0,00064,$$

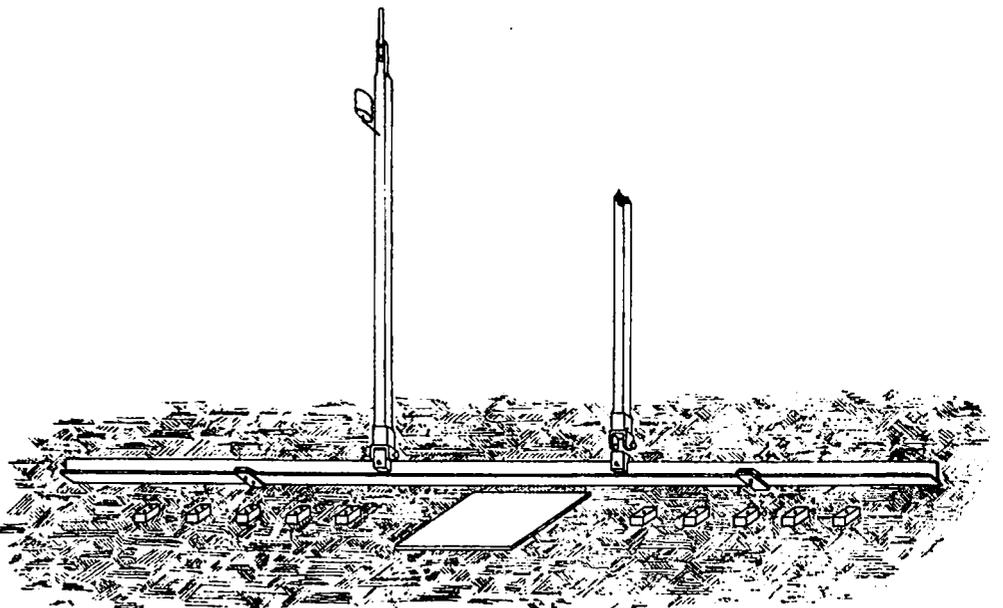
welche Werte mit den durch den Versuch gefundenen Ziffern der Gl. 16) ganz gut übereinstimmen.

VII. Die Formänderung in der Umgebung der belasteten Flächen.

A. In lotrechttem Sinne.

Zur Bestimmung der Einsenkungen in der Umgebung der belasteten Bodenfläche wurde die in Textabb. 15 dargestellte

Abb. 15.



Versuchseinrichtung benutzt.

An den Stellen, wo die Einsenkungen gemessen werden sollten, waren Klötzchen aus Hartholz von $35 \times 25 \times 20$ mm auf den Boden gesetzt. Auf diesen ruhte mittels zwei besonders ausgestalteter Auflager ein T-Eisen, 25×25 mm von 2,20 m Länge, das in Textabb. 15 von den Unterlagen abgehoben dargestellt ist. Auf dem Stege des T-Eisens waren zwei Holzklötzchen befestigt, von denen aus die in Spitzen drehbar gelagerten Stangen zu den Spiegeln in die Höhe geführt waren. Die Auflager, mit denen das T-Eisen aufzuliegen kam, waren als Schieber mit Schleppfedern ausgebildet, die sich beliebig dahin verschieben liessen, wo die Einsenkungen gemessen werden sollten. Diese Schlepper waren mit einer oder zwei Stahlspitzen versehen, sodass das T-Eisen nur in drei Punkten auf

jeweils zwei Klötzchen auflag. Wo die Stahlspitzen aufzuliegen kamen, waren die Hartholzklötzchen mit flach gerundeten und gut geglätteten Metallplättchen versehen.

Mittels dieser Einrichtung konnten durch zwei Meßwerkzeuge die Einsenkungen beliebig vieler Punkte nacheinander aufgenommen werden, ohne dafs dazu zeitraubende Umstellungen erforderlich waren, die Verschiebung der beiden Schlepper genügte, was bei einiger Vorsicht immer leicht und rasch von statten ging. Die Belastung wurde in derselben Weise wie früher mittels des Holzschemels bewirkt, auf den die Gewichte aufgesetzt wurden, und unter dem das T-Eisen frei durchging.

Falls sich der Boden zu beiden Seiten der belasteten Platte ungleichmäfsig senkte, konnte durch eine einfache Rechnung aus dem beobachteten Unterschiede die tatsächliche Senkung auf jeder Seite genau ermittelt werden. Die Unterschiede waren jedoch nur unbedeutend, und das Mittel aus den beiderseitigen Ablesungen wurde daher stets als maßgebend für beide Hälften der Einsenkungslinie angesehen. Hierbei ist unter Einsenkungslinie die Schnittlinie einer lotrechten, durch den Lastmittelpunkt gehenden Ebene mit der Mulde verstanden, die in der Bodenfläche unter und in der Umgebung der belasteten Platte entsteht, und deren Begrenzung bei gleichmäfsiger Belastung der Platte und bei gleichartiger Bodenbeschaffenheit eine Gestalt besitzt, die der der Platte ähnlich ist.

In der Nähe der Druckplatte machte sich noch eine geringfügige elastische Nachwirkung geltend, die in gröfserer Entfernung nicht mehr genau festgestellt werden konnte, da sie nicht einmal die Gröfse der in derselben Zeit durch die Wärme bewirkten scheinbaren Senkung oder Hebung erreichte.

Die durch die Wärmeänderung entstehenden Fehler wurden dadurch ausgeschlossen, dafs für die Belastung wie für die Entlastung gleiche Zeitabschnitte eingehalten und die Mittel aus beiden Beobachtungen als Maß der tatsächlich erfolgten elastischen Formänderung verzeichnet wurden. Die Zeitdauer der Belastungen und Entlastungen war stets 0,5'.

Bemerkenswert ist noch die Verschiedenheit der Zeiträume, die für die Ausbildung der Formänderung in verschiedener Entfernung von der Druckplatte erforderlich waren, und die sich deutlich wahrnehmen liefs. So bedurfte die Formänderung in 20 cm Entfernung vom Lastmittelpunkte etwa 2'' bis 3'' zu ihrer Ausbildung, während sie in einer Entfernung von 70 cm erst nach 8'' bis 10'' beendet war.

Wegen der zarten Auflagerung war die ganze Anordnung gegen Stöße und Erschütterungen noch empfindlicher, als die frühere, die Beobachtungen wurden daher leichter und häufiger gestört. Die wahrnehmbaren äußeren Einflüsse, welche derartige Störungen veranlafsten, wurden im Beobachtungshefte vermerkt und die entsprechenden Zahlen in den Zusammenstellungen eingeklammert.

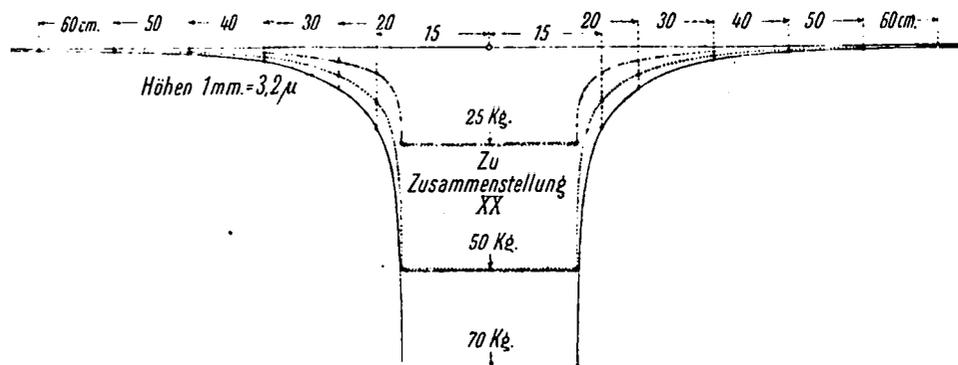
In der Weise wurden zunächst wieder mit der quadratischen Platte von 550 qcm Druckfläche Beobachtungen mit verschiedenen Belastungen aufgenommen, und dabei die in Zusammenstellung XX aufgezeichneten Ergebnisse erzielt.

Zusammenstellung XX.
Quadratische Platte 550 qcm.

Nr.	Belastung	Abstand vom Lastmittelpunkte in cm.						
		15	20	30	40	50	60	70
1	70 kg	34,7	17,2	5,8	2,4	1,4	1,3	0,6
2	" "	34,4	17,6	5,8	2,1	1,4	0,7	0,6
3	" "	33,3	17,1	5,7	2,1	1,2	1,0	0,8
4	" "	34,2	17,4	5,8	2,2	1,4	1,0	0,6
	Im Mittel . . .	34,2	17,4	5,8	2,2	1,4	0,9	0,6
	Berechnet nach Gl. 25)	34,2	17,4	6,2	2,9	1,5	0,9	0,6
	Berechnet nach Gl. 27)	34,2	17,4	6,2	2,9	1,5	0,9	0,6
5	50 kg	23,5	11,8	4,1	1,5	1,1	—	—
6	" "	23,1	12,0	3,8	1,3	1,0	—	—
7	" "	23,0	11,6	4,4	1,4	1,0	—	—
8	" "	23,1	11,7	3,7	1,4	0,9	—	—
	Im Mittel . . .	23,2	11,8	4,0	1,4	1,0	—	—
	Berechnet nach Gl. 25)	23,2	11,6	4,1	1,9	1,0	—	—
	Berechnet nach Gl. 27)	23,2	11,6	4,1	1,9	1,0	—	—
9	25 kg	11,0	5,9	1,4	—	—	—	—
10	" "	10,9	5,8	2,0	—	—	—	—
11	" "	10,5	5,9	2,0	—	—	—	—
12	" "	11,0	5,9	2,0	—	—	—	—
	Im Mittel . . .	10,8	5,9	1,9	—	—	—	—
	Berechnet nach Gl. 25)	10,8	5,4	1,9	—	—	—	—
	Berechnet nach Gl. 27)	10,3	5,2	1,8	—	—	—	—

Um ein Bild von den Einsenkungslinien unter verschiedenen Belastungen zu erhalten, wurden die Mittelwerte aus Zusammenstellung XX als Höhen unter den entsprechenden Bodenpunkten in ursprünglicher Lage aufgetragen. Dadurch, dafs die Höhen 625 fach, die Längen aber 0,2 fach aufgetragen wurden, erhielt man stark verzerrte Bilder der Einsenkungslinien (Textabb. 16), in der die angestrichelten, wagerechten

Abb. 16.



geraden Stücke die Senkungen angeben, welche der Erdboden unmittelbar unter der Druckplatte erfährt. Diese wurden jetzt nicht mehr eigens gemessen, sondern nach Gl. 14)

$$y = \frac{p}{C} - c$$

gerechnet, wobei die Werte den vorausgegangenen Versuchen entnommen wurden.

Man findet bei Prüfung der Ergebnisse in Zusammenstellung XX, daß das Verhältnis der Einsenkungstiefen für eine bestimmte Linie durch die Beziehung gegeben ist:

Gl. 24) $\frac{y}{y_1} = \frac{(k + x_1)^3}{(k + x)^3}$

Hierin bedeutet k einen von der Beschaffenheit des Erdbodens, von Form und Größe der Druckplatte abhängigen Wert; x und x₁ sind die Längen der Punkte, an welchen die Einsenkungen y und y₁ beobachtet wurden. Für die quadratische Platte von 550 qcm Druckfläche und die Bedingungen, unter denen der mit ihr unternommene Versuch stattfand, ist k = 4,3 cm,

sodafs die Gleichung der Einsenkungslinie für eine bestimmte Belastung lautet:

Gl. 25) $\frac{y}{y_1} = \frac{(4,3 + x_1)^3}{(4,3 + x)^3}$

Nach dieser Gleichung wurden die Höhen für die Stellen, wo die Einsenkungen gemessen wurden, gerechnet, sie sind zum Vergleiche in Zusammenstellung XX eingeschrieben. Die Übereinstimmung mit den Versuchszahlen ist gut.

Die am Umfange der Druckplatte und unter ihr auftretende Senkung genügt dem durch Gl. 25) ausgedrückten Gesetze nicht: sie ist vielmehr größer, als der zugehörigen Länge, dem halben Plattendurchmesser, entspricht. Denkt man sich die Linie bis zum Plattenumfange nach Gl. 25) fortgesetzt, so tritt hier wegen der plötzlich vermehrten Senkung ein unvermittelter Übergang in eine lotrecht nach abwärts gehende Gerade ein. Eine solche Unstetigkeit ist nun sehr unwahrscheinlich; der tatsächliche Verlauf zwischen dem Plattenumfange und dem ersten Beobachtungspunkte kann aber dem Versuche nicht entnommen werden, da es nicht tunlich war, mit der Messvorrichtung noch näher an die Platte heranzugehen. Deshalb bleibt hier für die Vermutung leider ein kleiner Spielraum über. In der Darstellung der Einsenkungslinie wurde ein allmäliger Übergang in die lotrechte Gerade angenommen, die Linien nach Gl. 25) sind möglichst nahe an die Platte herangeführt.

Untersucht man nun noch die Abhängigkeit der Einsenkungen von den Lasten, welche auf die Druckplatte wirken, so findet man, daß die Einsenkungen in der Umgebung der Druckplatte im Verhältnisse der Belastung zunehmen, wie die Senkungen der Druckplatte selbst. Es ist also

$$y = \mathfrak{R} \cdot y_0,$$

wenn mit y₀ die Senkung der Druckplatte, mit \mathfrak{R} eine dem Versuche zu entnehmende Wertziffer bezeichnet wird. Nach Gl. 14) ist die Senkung der Druckplatte

$$y_0 = \frac{p}{C} - c,$$

folglich auch

$$y = \mathfrak{R} \left(\frac{p}{C} - c \right).$$

Für einen beliebigen Punkt im Abstände x₁ vom Lastmittelpunkte ergibt sich also die Einsenkungstiefe

$$y_1 = \mathfrak{R}_1 \left(\frac{p}{C} - c \right),$$

und aus Gl. 24) zu

$$y_1 = y \cdot \frac{(k + x)^3}{(k + x_1)^3}$$

Durch Gleichsetzen der beiden Werte von y₁ erhält man

$$\mathfrak{R}_1 \cdot \left(\frac{p}{C} - c \right) = y \cdot \frac{(k + x)^3}{(k + x_1)^3}$$

oder

$$y = \mathfrak{R}_1 \cdot \frac{(k + x_1)^3}{(k + x)^3} \cdot \left(\frac{p}{C} - c \right).$$

Setzt man

$$\mathfrak{R}_1 \cdot (k + x_1)^3 = K,$$

so ergibt sich

Gl. 26) $y = \frac{K}{(k + x)^3} \cdot \left(\frac{p}{C} - c \right),$

womit die allgemeine Gleichung der lotrechten Formänderungen in der Umgebung der Druckplatte gegeben ist.

Für die in Zusammenstellung XX verzeichneten Beobachtungsergebnisse folgt K = 1899, sodafs Gl. 26) für diesen Fall unter Berücksichtigung der früher ermittelten Werte geschrieben werden kann:

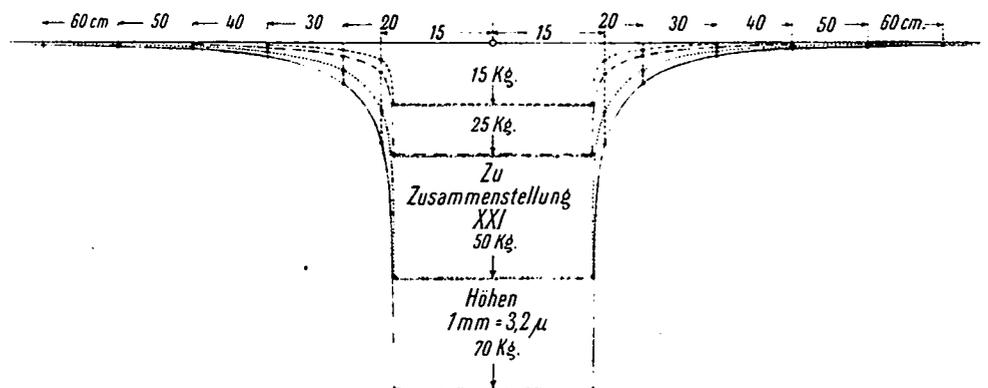
Gl. 27) $y = \frac{1899}{(4,3 + x)^3} \cdot \left(\frac{p}{8,8} - 0,0015 \right),$

wonach die Einsenkungstiefen für die verschiedenen Belastungen und Abstände gerechnet und gleichfalls in Zusammenstellung XX eingeschrieben sind. Der Vergleich mit den Versuchszahlen liefert befriedigende Übereinstimmung; mathematische Übereinstimmung kann schon wegen des sich mit jeder neuen Belastung ändernden Verhaltens des Erdbodens nicht erwartet werden.

Das Ergebnis der mit Zusammenstellung XX und Abb. 16 angestellten Untersuchung wurde durch die Versuche mit anderen Druckplatten durchaus bestätigt. Diese sind in den Zusammenstellungen XXI bis XXIII und in den Textabb. 17 bis 19 wiedergegeben.

Zusammenstellung XXI enthält die mit der kreisförmigen Platte von 550 qcm Fläche gemachten Beobachtungen. Die Mittelwerte aus ihr ergaben die Einsenkungslinien der Textabb. 17, die ganz wie die in Textabb. 16 dargestellten ver-

Abb. 17.

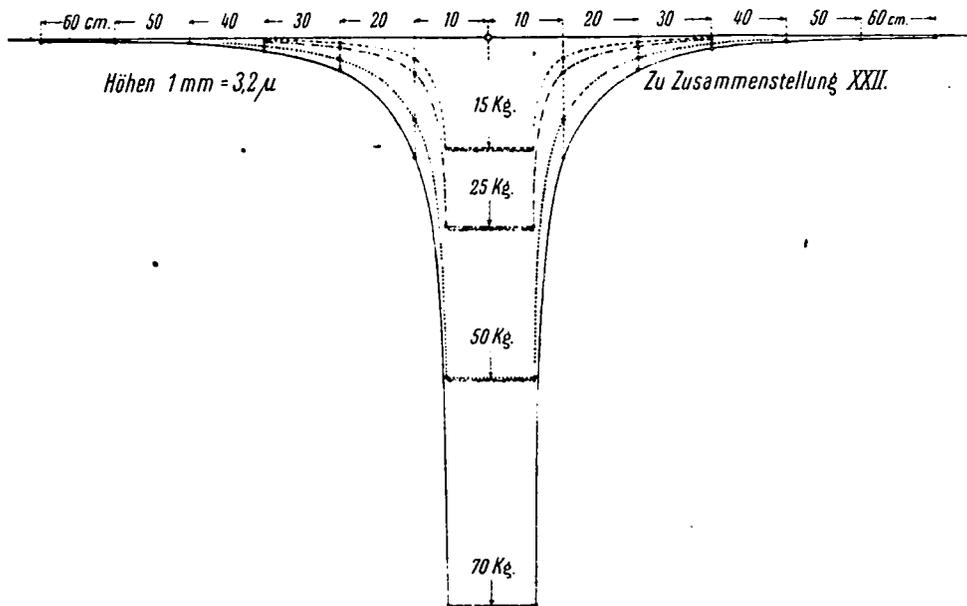


Zusammenstellung XXI.
Kreisplatte 550 qcm.

Nr.	Belastung	Abstand vom Lastmittelpunkte in cm:						
		15	20	30	40	50	60	70
1	70 kg	43,8	17,3	6,2	2,6	1,8	1,4	0,4
2	"	41,0	16,6	6,1	2,7	2,0	1,1	0,4
3	"	41,8	16,3	5,8	2,6	2,0	1,0	0,4
4	"	41,5	16,4	6,3	2,6	1,0	1,4	0,5
Im Mittel		42,0	16,7	6,1	2,6	1,7	1,2	0,4
Berechnet nach Gl. 28)		42,0	16,7	4,8	1,9	1,0	0,6	0,3
Berechnet nach Gl. 29)		42,0	16,7	4,8	1,9	1,0	0,6	0,3
5	50 kg	29,2	11,8	4,0	1,9	1,3	0,7	—
6	"	28,6	11,6	4,2	2,0	0,8	0,6	—
7	"	28,3	11,0	3,7	1,4	0,9	0,6	—
8	"	28,3	11,4	4,1	2,2	1,2	0,6	—
Im Mittel		28,6	11,5	4,0	1,8	1,0	0,6	—
Berechnet nach Gl. 28)		28,6	11,6	3,3	1,3	0,7	0,4	—
Berechnet nach Gl. 29)		29,0	11,0	3,3	1,3	0,7	0,4	—
9	25 kg	12,6	4,9	1,8	0,7	0,6	—	—
10	"	12,6	4,9	2,0	0,9	0,5	—	—
11	"	12,6	5,0	1,5	0,6	0,6	—	—
12	"	12,5	5,0	1,8	0,9	0,6	—	—
Im Mittel		12,6	5,0	1,8	0,8	0,6	—	—
Berechnet nach Gl. 28)		12,6	5,0	1,4	0,6	0,4	—	—
Berechnet nach Gl. 29)		13,5	5,4	1,5	0,6	0,4	—	—
13	15 kg	6,6	2,8	1,0	—	—	—	—
14	"	6,6	2,7	1,0	—	—	—	—
15	"	6,6	2,6	1,0	—	—	—	—
16	"	6,7	2,6	0,7	—	—	—	—
Im Mittel		6,6	2,7	0,9	—	—	—	—
Berechnet nach Gl. 28)		6,6	2,6	0,8	—	—	—	—
Berechnet nach Gl. 29)		7,1	2,8	0,8	—	—	—	—

laufen. In der Tat gelten dafür dieselben Gleichungen, und zwar sind die Wertziffern:

Abb. 18.



Zusammenstellung XXII.
Quadratplatte 137,5 qcm.

Nr.	Belastung	Abstand vom Lastmittelpunkte in cm:						
		10	20	30	40	50	60	70
1	70 kg	50,4	13,7	5,4	2,1	1,4	0,6	0,5
2	"	50,2	13,7	5,4	1,8	1,3	0,6	0,4
3	"	50,5	13,6	5,4	1,8	1,4	0,6	0,5
4	"	50,7	13,6	5,4	1,7	1,4	0,6	0,5
Im Mittel		50,4	13,6	5,4	1,9	1,4	0,6	0,5
Berechnet nach Gl. 30)		50,4	13,6	5,5	2,7	1,5	0,9	0,6
Berechnet nach Gl. 31)		50,4	13,6	5,5	2,7	1,5	0,9	0,6
5	50 kg	35,4	9,4	3,5	1,6	0,8	0,3	—
6	"	34,6	8,8	3,5	1,4	0,8	0,3	—
7	"	34,3	8,8	3,5	1,3	0,6	0,3	—
8	"	34,6	8,8	3,6	1,2	0,7	0,3	—
Im Mittel		34,7	9,0	3,5	1,4	0,7	0,3	—
Berechnet nach Gl. 30)		34,7	9,3	3,8	1,9	1,0	0,6	—
Berechnet nach Gl. 31)		35,3	9,5	3,8	1,9	1,1	0,7	—
9	25 kg	15,0	4,2	1,5	0,8	0,4	0,2	—
10	"	14,9	4,1	1,6	0,6	0,3	0,2	—
11	"	14,6	4,1	1,5	0,8	0,3	0,2	—
12	"	14,8	4,1	1,6	0,6	0,4	0,2	—
Im Mittel		14,8	4,1	1,6	0,7	0,4	0,2	—
Berechnet nach Gl. 30)		14,8	4,0	1,6	0,8	0,4	0,3	—
Berechnet nach Gl. 31)		16,6	4,5	1,8	0,9	0,5	0,3	—
13	15 kg	9,0	2,3	0,6	0,4	0,3	—	—
14	"	8,9	2,4	0,7	0,3	0,2	—	—
15	"	9,1	2,6	0,8	0,3	0,3	—	—
16	"	9,0	2,5	0,6	0,3	0,2	—	—
Im Mittel		9,0	2,5	0,7	0,4	0,3	—	—
Berechnet nach Gl. 30)		9,0	2,4	1,0	0,5	0,3	—	—
Berechnet nach Gl. 31)		9,1	2,5	1,0	0,5	0,3	—	—

$C = 9,8, \quad K = 917,$
 $c = 0,0007, \quad k = -1,1,$

sodafs das Verhältnis der Einsenkungstiefen entsprechend Gl. 24) gegeben ist durch

Gl. 28)
$$y = \frac{(x_1 - 1,1)^3}{(x - 1,1)^3}$$

und die Gleichung der Einsenkungslinie durch:

Gl. 29)
$$y = \frac{917}{(x-1,1)^3} \left(\frac{p}{9,8} - 0,0007 \right)$$

Die nach Gl. 28) und Gl. 29) gerechneten Werte sind in Zusammenstellung XXI eingeschrieben. Die Übereinstimmung mit den beobachteten Werten befriedigt.

Zusammenstellung XXII enthält die mit der quadratischen Platte von 137,5 qcm Druckfläche gemachten Beobachtungen. Textabb. 18 stellt die Einsenkungslinien dar, die sich aus den Mittelwerten ergaben.

Die Wertziffern sind diesmal:

$C = 20,4, \quad K = 1289,$
 $c = 0,0010, \quad k = 8,3.$

Daher die Gleichungen

Gl. 30) $y = \frac{(8,3 + x_1)^3}{(8,3 + x)^3},$

Gl. 31) $y = \frac{1289}{(8,3 + x)^3} \cdot \left(\frac{p}{20,4} - 0,0010 \right).$

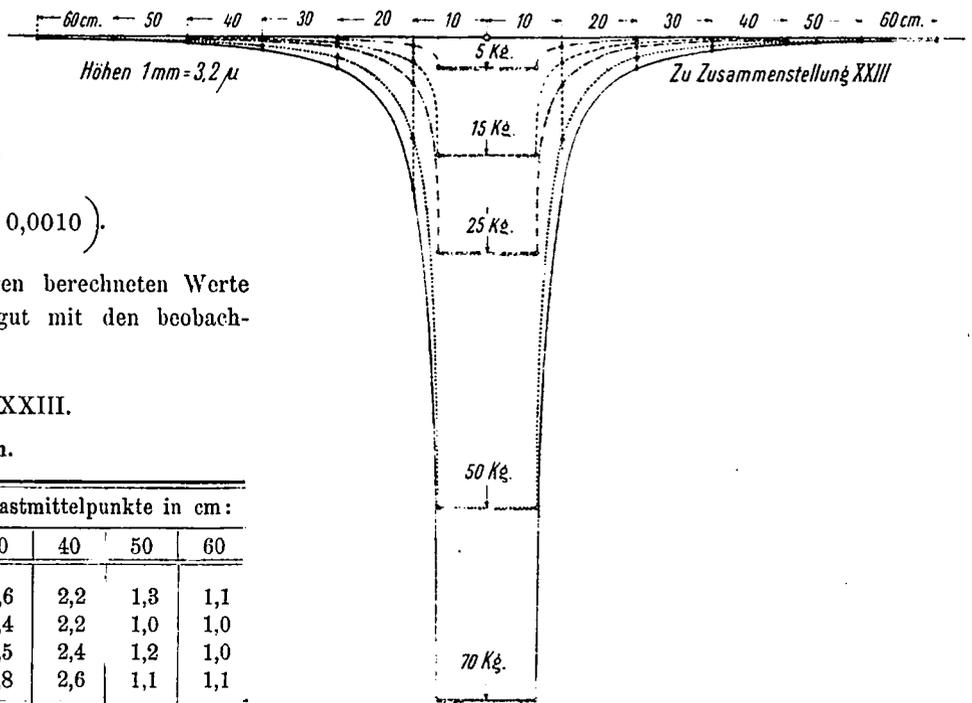
Die nach diesen beiden Gleichungen berechneten Werte stimmen nach Zusammenstellung XXII gut mit den beobachteten überein.

Zusammenstellung XXIII.

Kreisplatte 137,5 qcm.

Nr.	Belastung	Abstand vom Lastmittelpunkte in cm:					
		10	20	30	40	50	60
1	70 kg	64,5	13,2	5,6	2,2	1,3	1,1
2	" "	64,2	13,0	5,4	2,2	1,0	1,0
3	" "	64,1	13,0	5,5	2,4	1,2	1,0
4	" "	64,6	12,9	5,8	2,6	1,1	1,1
	Im Mittel	64,3	13,0	5,6	2,3	1,2	1,0
	Berechnet nach Gl. 32)	64,3	13,0	4,6	2,2	1,2	0,7
	Berechnet nach Gl. 33)	64,3	13,0	4,6	2,2	1,2	0,7
5	60 kg	54,3	10,8	4,9	1,9	0,8	0,8
6	" "	53,5	10,9	4,9	2,1	1,1	0,6
7	" "	53,8	10,8	4,6	2,0	1,3	0,9
8	" "	53,7	10,9	4,7	1,9	0,6	0,7
	Im Mittel	53,8	10,9	4,8	2,0	1,0	0,7
	Berechnet nach Gl. 32)	53,8	10,9	3,9	1,8	1,0	0,6
	Berechnet nach Gl. 33)	54,0	10,9	3,9	1,8	1,0	0,6
9	50 kg	43,8	8,3	4,1	1,7	0,7	0,5
10	" "	43,0	8,4	3,8	1,4	0,7	0,5
11	" "	42,6	8,5	3,1	1,6	0,9	0,5
12	" "	42,4	8,4	3,2	1,4	0,6	0,5
	Im Mittel	43,0	8,4	3,5	1,5	0,7	0,5
	Berechnet nach Gl. 32)	43,0	8,7	3,1	1,4	0,8	0,5
	Berechnet nach Gl. 33)	44,7	9,0	3,2	1,5	0,8	0,5
13	25 kg	20,5	3,8	1,4	0,6	—	—
14	" "	19,2	3,5	1,4	0,7	—	—
15	" "	19,5	3,7	1,3	0,7	—	—
16	" "	19,6	3,8	1,5	1,0	—	—
	Im Mittel	19,7	3,7	1,4	0,7	—	—
	Berechnet nach Gl. 32)	19,7	4,0	1,4	0,7	—	—
	Berechnet nach Gl. 33)	20,1	4,0	1,4	0,7	—	—
17	15 kg	10,9	2,2	0,8	0,6	—	—
18	" "	10,1	2,0	0,6	0,5	—	—
19	" "	10,6	2,1	0,6	0,4	—	—
20	" "	10,1	2,0	0,6	0,5	—	—
	Im Mittel	10,4	2,1	0,6	0,5	—	—
	Berechnet nach Gl. 32)	10,4	2,1	0,7	0,4	—	—
	Berechnet nach Gl. 33)	10,3	2,1	0,7	0,3	—	—

Abb. 19.



Bei der in Zusammenstellung XXIII wiedergegebenen Versuchsreihe wurden die Einsenkungen auch für eine Belastung von 60 kg ermittelt. Die dieser entsprechende Einsenkungslinie wurde jedoch in Textabb. 19 nicht eingezeichnet, weil sie den übrigen Linien zu nahe lag.

Für die in Zusammenstellung XXIII aufgetragenen Beobachtungen ergeben sich die Wertziffern:

$C = 19,0, \quad K = 736,$
 $c = 0,0017, \quad k = 4,2,$

daher die Gleichungen:

Gl. 32) $y = \frac{(4,2 + x_1)^3}{(4,2 + x)^3},$

Gl. 33) $y = \frac{736}{(4,2 + x)^3} \cdot \left(\frac{p}{19,0} - 0,0017 \right).$

Auch hier stimmen die beobachteten Werte gut mit den nach Gl. 32) und Gl. 33) gerechneten überein.

Im Anschluss an diese Betrachtung ist es auch am Platze, die von Herrn Prof. Föppel gefundenen und veröffentlichten Versuchswerte*) auf Gl. 24) hin zu prüfen.

Setzt man in dieser Gleichung $k = 10$, also

Gl. 34) $y = \frac{(10 + x_1)^3}{(10 + x)^3},$

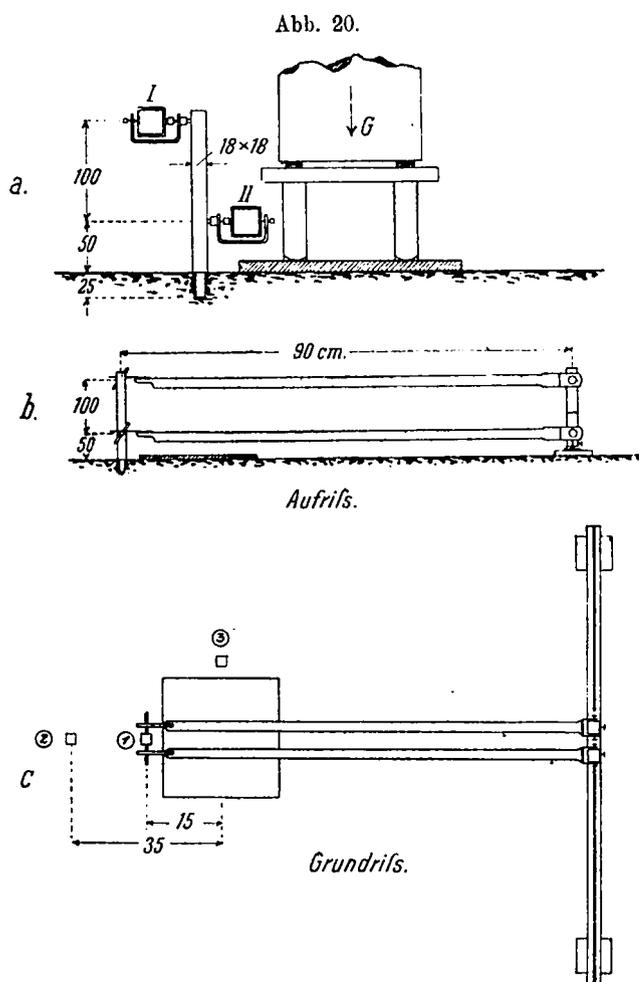
so ergeben sich für die Längen von: 20 40 60 80 cm die nach Gl. 34) gerechneten Werte zu 18,5 4,0 1,4 0,6 μ Beobachtet wurden 18,3 4,1 1,4 0,6 μ

Also auch hier stimmen die beobachteten und die berechneten Werte gut.

*) Siehe S. 275.

B. In wagerechtem Sinne.

Auf Anregung des Herrn Professor Föppl untersuchte ich noch die Formänderungen, welche der Erdboden in wagerechtem Sinne in der Umgebung der belasteten Druckplatte erfährt. Zu dem Zwecke wurde die Versuchseinrichtung in folgender Weise abgeändert. An den Stellen, wo die wagerechten Verschiebungen oder Verdrehungen des Bodens gemessen werden sollten, wurde ein hölzerner Stab von 20 cm Länge und 18×18 mm Querschnitt $2\frac{1}{2}$ cm tief in den Boden gesteckt. An dem Stabe waren zwei Spiegelgeräte befestigt (Textabb. 20),



auf deren Hartgummiröllchen die an zwei Holzstäben befestigten Stahlfedern auflagen. Die Holzstäbe waren, zwischen Spitzen drehbar gelagert, an hölzernen Lagern festgehalten, die an dem Stege eines 2 m langen T-Eisens festgeschraubt waren. Das T-Eisen ruhte in genügender Entfernung von der belasteten Platte auf dem Boden, sofalls es von der Belastung nicht beeinflusst und als festliegend angesehen werden konnte.

Die Bewegung, welche der im Boden steckende Stab erfuhr, hatte durch das Abwälzen der Hartgummiröllchen auf den Stahlfedern der durch das T-Eisen festgehaltenen Holzstäbe eine Drehung der Spiegel zur Folge, die wieder in den Fernrohren beobachtet wurde.

Dadurch, dass die Spiegel in verschiedener Höhe, 5 und 15 cm vom Boden entfernt, befestigt waren, bewirkte jede Verdrehung des Bodens an Spiegel I (Textabb. 20) eine gröfsere Drehung als an Spiegel II, aus dem beobachteten Unterschiede

konnte auf die Gröfse der Bodenverdrehung und damit auch auf die Gröfse der wagerechten Verschiebung des Bodens geschlossen werden.

Zusammenstellung XXIV enthält die Versuchswerte, die mit der quadratischen Platte von 541,8 qcm Druckfläche zunächst an einer Stelle 1 (Textabb. 20c) 15 cm vom Platten- und Last-Mittelpunkte für drei verschiedene Laststufen erhalten wurden.

Zusammenstellung XXIV.

Nr.	Entfernung des Punktes vom Lastmittelpunkte	Belastung	Spiegel I	Spiegel II	δ	Δ	φ'	φ	γ_0	γ
			15 cm vom Boden	5 cm vom Boden						
			α	β	(μ)	(μ)	(Sek)	(Sek)	(μ)	(μ)
1	15 cm	0,125 kg/qcm	33,7	23,5	—	—	—	—	—	—
2			36,4	23,3	—	—	—	—	—	—
3			36,5	23,8	—	—	—	—	—	—
4			36,4	23,3	—	—	—	—	—	—
5			36,4	23,1	—	—	—	—	—	—
6			36,9	23,5	—	—	—	—	—	—
Mittel . .			36,0	23,4	6,3	17,1	27"	81"	95,5	25,2
7	15 cm	0,100 kg/qcm	28,3	18,1	—	—	—	—	—	—
8			27,1	18,5	—	—	—	—	—	—
9			24,4	16,6	—	—	—	—	—	—
10			25,0	17,0	—	—	—	—	—	—
11			25,6	16,7	—	—	—	—	—	—
12			24,0	16,0	—	—	—	—	—	—
Mittel . .			25,7	17,1	4,3	12,8	18"	63"	75	19,8
13	15 cm	0,050 kg/qcm	9,3	6,3	—	—	—	—	—	—
14			7,4	5,4	—	—	—	—	—	—
15			7,6	5,5	—	—	—	—	—	—
16			7,6	5,6	—	—	—	—	—	—
17			7,5	5,3	—	—	—	—	—	—
18			7,3	5,8	—	—	—	—	—	—
Mittel . .			7,8	5,6	1,1	4,5	5"	27"	31,5	8,8
19	35 cm	0,125 kg/qcm	0,6	1,5	—	—	—	—	—	—
20			0,6	1,5	—	—	—	—	—	—
21			1,0	1,2	—	—	—	—	—	—
22			0,6	1,4	—	—	—	—	—	—
Mittel . .			0,7	1,4	-0,3	1,7	-1,5"	4,5"	95,5	3,0

Wird die Ablesung am Spiegel I mit α , am Spiegel II mit β und die am Spiegel II durch die Verdrehung allein hervorbrachte Bewegung mit δ bezeichnet, so ergibt sich dessen wagerechte Verschiebung Δ aus der einfachen Beziehung:

$$\Delta + \frac{15}{5} \cdot \delta = \alpha$$

$$\Delta + \delta = \beta.$$

Daraus

$$\delta = \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\Delta = \beta - \delta = \frac{3\beta - \alpha}{2}.$$

Der Drehwinkel φ' ergibt sich aus

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{\delta (\mu)}{5 (\text{cm})} = \frac{\delta}{5 \cdot 10^4} = \frac{\alpha - \beta}{10^5}.$$

Derart wurden die Werte für δ , Δ und φ' bestimmt und in

Zusammenstellung XXIV eingeschrieben. Die erhaltenen Drehwinkel sollen nun noch mit jenen verglichen werden, die sich aus der Gleichung für die Einsenkungslinie rechnen lassen. Differenziert man Gl. 26)

$$y = \frac{K}{(k+x)^3} \left(\frac{p}{C} - c \right) = \frac{K \cdot y_0}{(k+x)^3}$$

nach x , so erhält man den Neigungswinkel

$$\text{Gl. 35) } \dots \text{tg } \varphi = - \frac{3 \cdot K \cdot y_0}{(k+x)^4}$$

Für die Tangente des Neigungswinkels φ' der Rechtwinkligen gegen die Lotrechte folgt derselbe Wert mit umgekehrtem Vorzeichen.

Führt man in Gl. 35) die Werte ein, die für die Einsenkungslinie mit der quadratischen Platte von 550 qcm Druckfläche gefunden sind, so ergibt sich der Drehwinkel der Rechtwinkligen zur Einsenkungslinie in dem 15 cm vom Lastmittel entfernten Punkte aus

$$\text{Gl. 36) } \dots \text{tg } \varphi = \frac{3 \cdot 1899}{(4 \cdot 3 + 15)^4} \cdot y_0$$

Die Senkung der Druckplatte y_0 wurde hier nicht eigens gemessen, liefs sich aber dem unmittelbar vorausgegangenen Versuche zur Bestimmung der Abhängigkeit der Senkungen von der Platten-Form und -Gröfse entnehmen. Mit derselben Druckplatte war nämlich für 0,1 kg/qcm die Senkung zuletzt zu 75 μ gefunden worden. Daraus wurden unter der Annahme, dafs die C und c dieselben geblieben sind, die Werte von y_0 auch für die anderen Belastungen gerechnet.

Setzt man diese Werte in Gl. 36) ein, so ergeben sich die Drehwinkel, die in Zusammenstellung XXIV in der Spalte φ eingetragen sind. Ein Vergleich mit den vorher gefundenen Winkelgröfsen φ' läfst die letzteren durchweg zu klein erscheinen. Da der Beobachtungspunkt nur 15 cm von der Lastmitte entfernt war, sich also schon in der Nähe der Platte befand, wo Gl. 25) gerade noch brauchbar, die durch Differenzieren daraus abgeleitete Gleichung aber bereits unzutreffende Werte liefert, so ist auf diesen Unterschied nicht sonderlich viel Gewicht zu legen.

Anders ist es mit der Beobachtung, die in 2 Textabb. 20 c in 35 cm Entfernung von Lastmittel gemacht wurde. Hier ergaben sich am Spiegel II gröfsere Ablesungen als am Spiegel I, also Verdrehungen im entgegengesetzten Sinn wie bei 1, die an sich unmöglich und unverständlich scheinen. Der beobachtete Drehwinkel φ' ergibt sich nach Zusammenstellung XXIV zu $-1,5''$, der nach Gl. 36) gerechnete zu $+4,5''$. Nach eingehender Prüfung aller in Betracht kommenden Fehlerquellen bleiben nur zwei Erklärungsmöglichkeiten.

Die Verdrehung des im Boden steckenden Stabes ist nur von dem Unterschiede in der Dehnung der oberen Bodenschichten gegenüber den unteren abhängig. Nimmt der Unterschied nicht in geradem Verhältnisse mit der Tiefe zu, so hängt der zum Ausdrucke gebrachte Drehwinkel von der Länge des im Erdboden steckenden Stabendes ab. Da diese Länge bei dem Versuche nur $2\frac{1}{2}$ cm betrug, so ist von diesem Umstande wohl ein ins Gewicht fallender Einfluss auf den Drehwinkel nicht zu erwarten.

Man gelangt daher zu der Annahme, die Ursache der zu klein gefundenen Drehwinkel in geringen Verdrückungen zu

suchen, welche die das Stabende umschliessenden Erdteilchen an der Oberfläche des Bodens und in deren Nähe erfahren haben. Diese Verdrückungen können teils schon vor dem eigentlichen Versuche stattgefunden haben, teils auch erst während des Versuches dadurch entstanden sein, dafs die Bewegungswiderstände, welche die Hartgummiröllchen auf den Stahlfedern erfuhren, hingereicht haben, die Mitteilung der an der Oberfläche stattfindenden gröfseren Bewegung an den Stab teilweise zu verhindern.

Die Gröfse der Verdrehung δ folgt aus den Ablesungen I und II wie zuvor, nur mit entgegengesetzten Vorzeichen; man erhält dann die wagerechte Verschiebung Δ , indem man die Verdrehung δ zur Ablesung am Spiegel II hinzuzählt. Die so erhaltenen Werte sind jedoch nach den vorausgegangenen Betrachtungen mit einiger Vorsicht aufzunehmen; jedenfalls wäre für die Beobachtung der wagerechten Verschiebung eine Nachprüfung am Platze.

Schliesslich wurde die Spiegelvorrichtung auch noch an der in Textabb. 20 c mit 3 bezeichneten Stelle angebracht, um zu untersuchen, ob die Belastung der Druckplatte auch eine Verschiebung des Bodens in der Richtung der zunächst liegenden Quadratseite eintritt. Eine nennenswerte Bewegung konnte hierbei nicht festgestellt werden.

Um einen Vergleich der vorstehend ermittelten wagerechten Verschiebungen mit den an derselben Stelle und zu gleicher Zeit erfolgten Einsenkungen zu ermöglichen, wurden letztere nach Gl. 26) gerechnet und ebenfalls in Zusammenstellung XXIV eingeschrieben. Man sieht, dafs die wagerechten Verschiebungen etwa um 30 bis 40% hinter den lotrechten Formänderungen zurückbleiben; immerhin sind sie nicht unbedeutend. Freilich läfst der Vergleich der nach Gl. 36) berechneten und der unmittelbar beobachteten Drehwinkel φ , wonach die letzteren zu klein gefunden worden sind, darauf schliessen, dafs die wagerechten Verschiebungen in Wirklichkeit etwas kleiner sein werden, als in Zusammenstellung XXIV angegeben.

VIII. Das Verhalten einer auf den Erdboden geschütteten Kiesbettung.

Um die bisherigen Versuchsergebnisse mit dem Verhalten einer Kiesbettung zu vergleichen, und um gleichzeitig die Bewegungen und Vorgänge in verschiedenen Tiefen des Bodens zu beobachten, wurden nach einander Kiesschichten von 15, 25, 35, 45 und 55 cm Höhe auf den bislang untersuchten Erdboden gebracht.

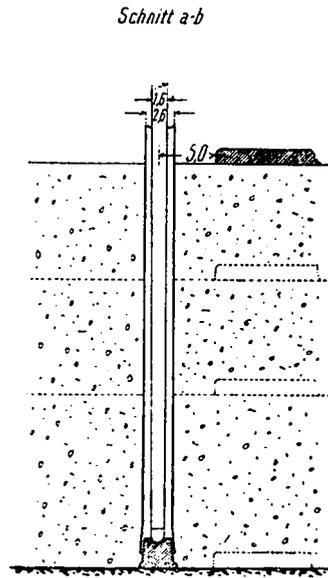
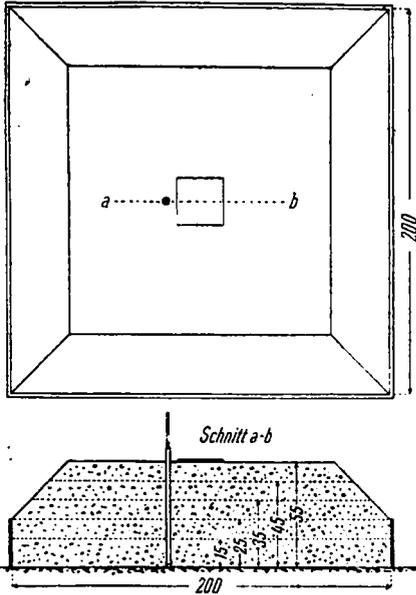
Der Kies wurde, um alle groben Stücke auszuschneiden, durch ein Sieb von 3 cm Maschenweite, und um auch den reichlich vorhandenen Sand zu entfernen, nochmals auf ein feinsmaschiges Sieb geworfen. Der Boden, der bei andauernder Hitze an der Oberfläche ausgetrocknet und hart geworden war, wurde erst mit Wasser begossen; dann wurde der Kies aufgebracht und in Schichten von 5 zu 5 cm mit einem etwa 10 kg schweren Stampfer leicht überstampft.

Aus Textabb. 21 ist die Gestalt des aufgeschütteten Kiesbettes ersichtlich. Seine Grundfläche, ein Quadrat von 2 m Seitenlänge, war so grofs, dafs alle noch in Betracht kommenden Bewegungen innerhalb ihrer Begrenzung erfolgten. In Mitte

dieses Kiesbettes wurde die quadratische Platte von 541,8 qcm Druckfläche aufgelegt und eine satte Auflagerung dadurch erzielt, daß im Auflager der Platte ganz feiner Kies aufgestreut und die Fläche durch wiederholtes Aufsetzen der Druckplatte

Abb. 21.
Grundriss.

Abb. 22.



geeignet wurde. Die so geschaffene Auflage war der einer unterstopften Eisenbahnschwelle nicht unähnlich. Auf die Platte wurde wieder das T-Eisen aufgeschraubt, an diesem wurden wie früher die Holzstäbe befestigt und zu den Spiegelgeräten geführt, die ihrerseits an dem nach Bedarf höher gestellten, wagerechten Winkeleisen befestigt waren.

Um die bei der Belastung der Druckplatte entstehenden Senkungen des Bodens unter der Kiesbettung zu messen, war ein 25 mm weites Rohr aus Weißblech vom Boden aus durch den Kies hochgeführt (Textabb. 21 und 22). In dem Rohre befand sich ein runder, 16 mm starker Holzstab, an dessen unterm Ende eine metallene Halbkugel befestigt war, während das obere Ende durch eine Stahlfeder mit einem der Spiegelgeräte in Verbindung gebracht werden konnte. Der Stab ruhte mittels eines besondern Auflagers auf dem Boden, das aus einem Stücke Tonschiefer schwach kegelförmig herausgearbeitet und oben mit einer kugelförmigen Vertiefung versehen war. In der Vertiefung befand sich ein kleines, ein wenig abgerundetes Metallplättchen, auf das sich der durch das Rohr herabgelassene Stab aufsetzte. Das Rohr war an seinem untern Ende gleichfalls kegelförmig erweitert, und saß, solange der Kies aufgeschüttet und überstampft wurde, fest auf dem Auflager auf. Dann wurde es etwas hochgezogen, was bei der glatten Außenfläche leicht war, worauf das Auflager völlig frei stand.

Nachstehend sind nun die Beobachtungsergebnisse für die verschiedenen Kieshöhen angeführt.

15 cm Kieshöhe.

Die Druckplatte wurde wieder erst mit 12,5 kg, dann mit 25, 50, schließlich mit 70 kg wiederholt belastet, dabei wurden zuerst die Senkungen der Platte selbst, hierauf die des Untergrundes gemessen. Die Dauer einer jeden Belastung und Entlastung betrug wieder 45 Sekunden. Die beobachteten

Nr.	Belastung	1. Versuchsreihe				2. Versuchsreihe			
		Platte		Untergrund		Platte		Untergrund	
		Senkung	Hebung	Senkung	Hebung	Senkung	Hebung	Senkung	Hebung
1	12,5 kg	10,6	10,3	2,6	2,6	8,2	7,4	2,2	2,1
2	" "	10,6	10,4	2,8	2,6	7,5	7,0	2,0	2,0
3	" "	10,5	10,2	2,8	2,6	7,4	7,8	2,0	2,0
4	" "	10,3	10,3	2,8	2,8	7,6	7,3	2,0	2,0
5	" "	10,2	10,0	2,8	2,8	7,5	7,7	1,8	2,0
6	" "	—	—	2,8	2,8	7,7	8,1	2,0	2,0
7	" "	—	—	2,8	2,8	7,8	7,5	1,9	1,8
8	" "	—	—	3,0	2,8	8,2	8,2	2,0	2,0
	Mittel	10,4	10,2	2,8	2,8	7,7	7,6	2,0	2,0
9	25 kg	23,2	23,1	6,6	6,6	21,5	19,5	5,2	5,2
10	" "	23,0	22,7	6,8	6,6	20,5	20,2	5,2	5,0
11	" "	22,8	22,6	6,6	6,4	21,5	22,5	5,0	5,1
12	" "	22,7	22,6	6,8	6,5	20,8	20,2	5,1	5,0
13	" "	22,9	22,7	6,7	6,4	20,0	19,8	5,2	6,0
14	" "	22,7	22,6	6,8	6,6	19,8	19,9	5,2	5,2
15	" "	—	—	6,8	6,6	19,9	20,2	5,0	5,0
16	" "	—	—	6,8	6,6	19,7	20,0	4,8	5,2
	Mittel	22,9	22,7	6,8	6,6	20,4	20,3	5,0	5,2
17	50 kg	50,4	49,8	15,0	14,6	48,9	44,1	12,2	11,6
18	" "	49,8	49,0	14,9	14,6	43,6	43,9	11,0	10,8
19	" "	49,8	49,4	14,8	14,6	44,2	43,8	10,8	11,5
20	" "	49,2	48,9	14,6	14,5	43,6	43,7	11,1	11,2
21	" "	49,0	48,8	14,8	14,4	43,4	43,2	11,2	11,1
22	" "	48,9	48,8	14,8	14,2	43,1	43,1	11,6	11,4
23	" "	—	—	14,8	14,0	43,4	43,2	10,8	11,2
24	" "	—	—	14,8	14,4	42,9	42,9	11,0	11,2
	Mittel	49,5	49,1	14,8	14,4	44,1	43,5	11,2	11,2
25	70 kg	71,6	69,4	23,6	22,6	70,5	63,1	17,2	16,4
26	" "	70,3	69,6	22,6	22,0	66,9	65,4	16,8	16,8
27	" "	70,9	69,5	22,4	22,0	63,9	63,1	16,0	16,8
28	" "	70,3	69,4	22,3	22,2	63,9	63,4	17,2	17,3
29	" "	70,2	70,0	22,0	21,5	63,6	63,4	16,2	16,4
30	" "	—	—	22,3	21,9	63,2	62,6	17,2	17,3
31	" "	—	—	22,2	21,8	63,0	62,4	16,3	16,6
32	" "	—	—	22,4	22,0	62,6	62,5	16,0	16,2
	Mittel	70,7	69,6	22,4	22,0	64,7	63,2	16,6	16,8
33	105 kg	—	—	—	—	103,8	96,5	28,6	27,4
34	" "	—	—	—	—	97,4	96,2	27,8	27,8
35	" "	—	—	—	—	96,6	96,6	27,7	27,7
36	" "	—	—	—	—	96,5	95,2	27,2	26,8
37	" "	—	—	—	—	95,9	95,0	27,2	27,1
38	" "	—	—	—	—	95,2	94,9	27,3	27,6
39	" "	—	—	—	—	95,0	94,8	27,0	26,6
40	" "	—	—	—	—	94,2	94,2	27,2	26,8
	Mittel	—	—	—	—	96,8	95,4	27,6	27,2
41	125 kg	—	—	—	—	120,7	111,1	32,6	30,0
42	" "	—	—	—	—	115,0	113,2	31,0	30,2
43	" "	—	—	—	—	116,0	113,2	31,4	30,2
44	" "	—	—	—	—	115,0	112,4	31,2	30,1
45	" "	—	—	—	—	114,5	112,7	30,4	29,6
46	" "	—	—	—	—	115,0	113,4	30,8	30,0
47	" "	—	—	—	—	104,4	115,3	30,4	30,1
48	" "	—	—	—	—	—	—	31,1	30,4
	Mittel	—	—	—	—	114,4	113,0	31,2	30,0

Formänderungen sind in Zusammenstellung XXV unter »1. Versuchsreihe« angegeben und zwar enthalten die »Platte« überschriebenen Spalten die Senkungen und Hebungen der Druckplatte selbst, die nächsten beiden die Formänderungen des Untergrundes 15 cm tief unter der Platte an einem Punkte, der 5 cm vom Rande der Druckplatte oder 16,5 cm von Lastmitte entfernt war (Textabb. 22).

Man sieht aus der Zusammenstellung, daß die Hebung bei jeder Belastung hinter der Senkung zurückbleibt, sodafs jedesmal an der Platte und am Untergrunde eine bleibende Formänderung entsteht. Man erkennt ferner, daß die bleibende Verdrückung mit der Belastung zunimmt und bei der erstmaligen Belastung ein und derselben Laststufe stets am größten ist, ganz so, wie dies am Erdboden selbst gefunden und genauer untersucht ist. Man erkennt auch, daß die bleibenden Verdrückungen, ebenso wie die elastischen am Untergrunde wesentlich kleiner sind, als an der Platte.

Trägt man in einem Achsenkreuze die Belastungen wieder als Längen, die Mittelwerte aus den beobachteten Senkungen und Hebungen derselben Laststufe als Höhen auf, so erhält man die in Textabb. 22 wiedergegebenen, stark ausgezogenen Schaulinien, welche die Abhängigkeit der Formänderungen von den Lasten für den Untergrund und die Platte darstellen. Man sieht, daß die Schaulinien mit ziemlicher Annäherung durch eine Gerade ersetzt werden können, sodafs ihre Gesetzmäßigkeit nach Gl. 14) gegeben ist durch

$$y = \frac{p}{C} - c.$$

Für die erste Versuchsreihe ergeben sich:
an der Platte

die Werte $C_1 = 17,5; c_1 = 0,00033,$

daher $y_1 = \frac{p}{17,5} - 0,00033,$

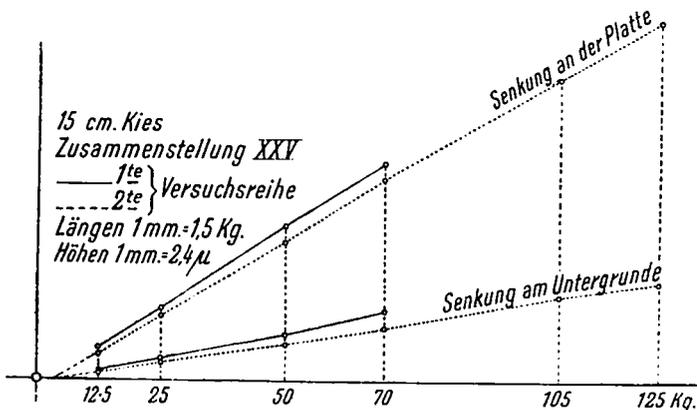
am Untergrunde

die Werte $C_1' = 56,8; c_1' = 0,00012,$

daher $y_1' = \frac{p}{56,8} - 0,00012.$

Bei der zweiten Versuchsreihe wurden die Belastungen bis auf 125 kg vermehrt. Die beobachteten Formänderungen sind in die übrigen Spalten der Zusammenstellung XXV eingetragen. Die Mittelwerte aus den Senkungen und Hebungen derselben Laststufe ergaben in Textabb. 23 die gestrichelten Schaulinien,

Abb. 23.



die wieder mit genügender Annäherung durch Gerade ersetzt werden können.

Für die Platte folgt

$$C_2 = 19,5; C_2 = 0,00038;$$

daher

$$y_2 = \frac{p}{19,5} - 0,00038;$$

für den Untergrund

$$C_2' = 72,5; c_2' = 0,00011.$$

daher

$$y_2' = \frac{p}{72,5} - 0,00011;$$

Aus den für die erste und zweite Versuchsreihe gefundenen Werten lassen sich Mittelwerte berechnen nach der geometrischen Beziehung:

$$C_m = \frac{c_1 C_1 + c_2 C_2}{c_1 + c_2} \quad \text{und} \quad c_m = \frac{c_1 + c_2}{2}.$$

Danach folgt für das Planum als Mittel beider Versuchsreihen:

$$C = 18,5; c = 0,00036.$$

Gl. 37) $y = \frac{p}{18,5} - 0,00036,$

für den Untergrund

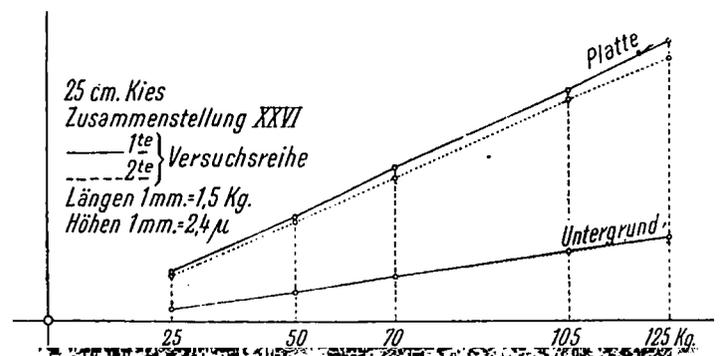
$$C' = 64,2; c' = 0,00012,$$

Gl. 38) daher $y' = \frac{p}{64,2} - 0,00012.$

25 cm hohe Kiesbettung.

Auch hier wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, deren Ergebnisse in Zusammenstellung XXVI verzeichnet sind. Die Mittelwerte aus den Senkungen und Hebungen ergeben in Textabb. 24 die stark ausgezogenen Schaulinien für die erste, die gestrichelten für die zweite Versuchsreihe.

Abb. 24.



Werden die Schaulinien wieder durch Gerade ersetzt, so erhält man für die

1. Versuchsreihe

an der Platte $C_1 = 25,6; c_1 = 0,00028.$

am Untergrunde $C_1' = 82,8; c_1' = 0,00020;$

2. Versuchsreihe

an der Platte $C_2 = 26,6; c_2 = 0,00032,$

am Untergrunde $C_2' = 81,5; c_2' = 0,00024.$

Daraus ergeben sich die mittlern Werte:

an der Platte $C = 26,2; c = 0,00030,$

Gl. 39) daher $y = \frac{p}{26,2} - 0,00030;$

am Untergrunde $C' = 82,1; c' = 0,00022,$

Gl. 40) daher auch $y' = \frac{p}{82,1} - 0,00022.$

Zusammenstellung XXVI.

Nr.	Be- lastung	1. Versuchsreihe				2. Versuchsreihe			
		Platte		Untergrund		Platte		Untergrund	
		Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung
1	25 kg	16,4	15,6	3,8	3,4	16,8	14,6	3,6	3,6
2	" "	15,5	15,5	3,0	3,6	14,2	13,6	3,6	3,6
3	" "	15,4	15,0	3,7	4,0	14,0	13,8	3,5	3,4
4	" "	15,1	15,5	3,6	3,6	14,2	13,7	3,6	3,5
5	" "	15,5	15,4	3,3	3,2	13,8	13,5	3,6	3,4
6	" "	15,3	15,2	3,6	3,5	13,7	13,5	3,6	3,4
7	" "	15,1	14,9	3,4	3,4	13,7	13,4	3,6	3,4
8	" "	15,3	15,0	3,2	3,2	13,6	13,3	3,4	3,2
	Mittel	15,4	15,3	3,4	3,4	14,2	13,7	3,6	3,4
9	50 kg	34,5	33,3	9,2	8,6	33,3	31,5	9,4	8,8
10	" "	33,7	33,2	9,0	9,0	31,6	31,3	9,2	8,8
11	" "	33,0	33,0	9,1	9,0	31,7	31,0	9,2	9,0
12	" "	33,1	33,0	8,8	8,8	31,4	30,8	9,1	8,7
13	" "	33,1	33,0	8,8	8,9	31,1	31,0	9,0	8,6
14	" "	32,9	32,7	9,1	9,3	31,1	30,9	8,8	8,4
15	" "	32,7	32,6	8,8	8,8	30,8	30,3	9,0	8,8
16	" "	32,7	32,6	9,0	9,0	30,6	30,2	9,0	9,0
	Mittel	33,2	32,9	9,0	9,0	31,4	30,9	9,0	8,8
17	70 kg	54,1	48,7	15,2	14,0	46,8	44,9	15,2	13,6
18	" "	49,6	48,2	14,2	14,0	46,2	45,0	14,8	13,6
19	" "	48,8	48,1	14,1	13,9	46,4	45,4	14,4	14,0
20	" "	48,5	47,7	13,8	13,6	46,1	45,0	14,2	13,7
21	" "	47,8	47,4	13,9	14,0	45,5	44,9	14,3	13,8
22	" "	47,4	47,4	14,2	14,0	45,0	44,2	14,2	14,0
23	" "	48,0	47,2	13,8	13,8	45,1	44,1	14,4	14,0
24	" "	47,3	47,8	14,0	14,0	44,8	44,2	14,2	13,9
	Mittel	48,9	47,8	14,2	14,0	45,7	44,7	14,4	13,8
25	105 kg	76,8	73,0	22,0	21,2	73,0	69,5	20,8	21,2
26	" "	74,0	72,6	21,4	21,2	70,9	69,5	21,8	21,2
27	" "	73,4	72,2	21,2	21,3	70,1	69,0	22,0	21,4
28	" "	72,7	71,8	21,2	21,2	70,2	68,8	21,6	21,2
29	" "	72,6	71,7	21,2	21,2	69,5	68,9	21,6	21,0
30	" "	71,9	71,6	21,3	21,4	69,7	68,5	21,6	21,2
31	" "	72,2	71,6	21,4	21,4	69,3	68,2	22,0	21,0
32	" "	72,0	70,0	21,8	21,8	69,3	68,9	21,6	21,2
	Mittel	73,2	71,9	21,4	21,4	70,2	68,9	21,6	21,2
33	125 kg	99,5	91,1	27,2	26,0	91,2	80,2	27,0	25,6
34	" "	90,0	85,9	26,4	25,6	83,6	80,0	26,8	25,8
35	" "	89,4	86,3	26,0	26,0	83,0	80,4	27,0	26,0
36	" "	88,3	85,9	26,0	26,0	83,0	80,9	26,2	26,0
37	" "	89,0	86,3	26,0	26,0	83,0	80,7	26,4	26,0
38	" "	87,0	85,2	26,0	26,0	82,6	80,7	26,4	25,6
39	" "	87,2	85,4	26,0	25,9	82,6	81,3	26,6	26,0
40	" "	87,0	85,7	25,8	25,8	82,6	81,1	26,8	25,8
	Mittel	89,7	86,5	26,2	26,0	83,9	80,7	26,6	25,8

35 cm hohe Kiesbettung.

Die Ergebnisse mit 35 cm Kies sind in Zusammenstellung XXVII angegeben. Die Mittelwerte führten zu den Schaulinien der Textabb. 25. Für die Gleichungen der angenommenen Geraden erhält man aus der

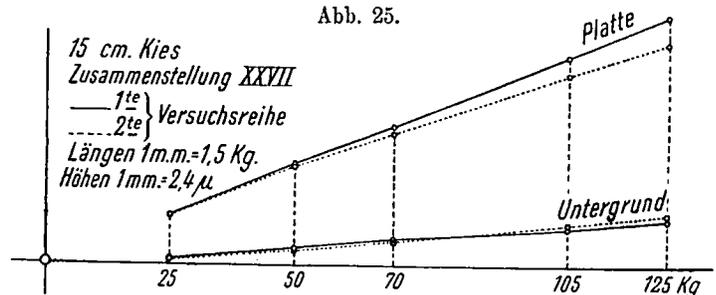
1. Versuchsreihe

an der Platte $C_1 = 28,8$; $c_1 = 0,00004$,
 am Untergrunde $C_1' = 143$; $c_1' = 0,00015$;

Zusammenstellung XXVII.

Nr.	Be- lastung	1. Versuchsreihe				2. Versuchsreihe			
		Platte		Untergrund		Platte		Untergrund	
		Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung
1	25 kg	17,1	15,5	2,0	2,0	17,7	15,8	1,6	1,5
2	" "	15,8	15,6	1,8	1,8	15,8	15,6	1,6	1,6
3	" "	15,8	15,8	1,8	1,8	15,8	15,8	1,6	1,4
4	" "	15,5	15,1	1,8	1,8	15,7	15,5	1,4	1,4
5	" "	15,3	15,4	1,8	1,8	15,5	15,4	1,4	1,6
6	" "	15,4	15,3	1,8	1,8	15,6	15,6	1,2	1,4
7	" "	15,3	15,6	1,8	1,8	15,7	15,6	1,4	1,3
8	" "	15,7	15,4	1,8	1,8	15,2	15,4	1,2	1,2
	Mittel	15,7	15,5	1,8	1,8	15,9	15,6	1,4	1,4
9	50 kg	33,7	32,3	6,2	5,2	32,6	31,4	4,6	4,4
10	" "	32,6	32,1	5,2	4,8	31,3	31,0	4,4	4,2
11	" "	32,0	32,0	4,8	4,8	31,0	30,7	4,3	4,0
12	" "	32,0	31,8	5,0	4,8	30,6	30,7	4,4	4,1
13	" "	31,8	31,7	5,0	5,0	30,6	30,5	4,2	4,0
14	" "	31,8	31,8	5,0	5,0	30,4	30,5	4,4	4,0
15	" "	31,8	31,6	5,0	4,8	30,5	30,5	4,4	4,2
16	" "	31,8	31,4	5,0	5,0	30,4	30,3	4,4	4,0
	Mittel	32,2	31,8	5,2	5,0	30,9	30,7	4,4	4,0
17	70 kg	47,7	44,2	9,4	7,6	43,5	42,2	8,6	7,0
18	" "	45,1	44,0	8,4	7,6	42,7	41,5	8,4	7,0
19	" "	44,6	44,0	8,4	7,6	42,2	41,9	8,3	7,4
20	" "	44,3	43,9	8,0	7,6	42,2	41,6	8,6	7,4
21	" "	44,2	43,9	8,2	8,0	41,8	41,4	8,2	6,8
22	" "	44,2	43,7	8,1	7,8	41,2	41,4	8,2	7,4
23	" "	43,9	43,8	8,4	8,0	41,7	41,6	8,1	7,2
24	" "	43,6	43,4	7,8	7,8	41,0	41,4	8,0	7,6
	Mittel	44,7	43,9	8,4	7,8	42,0	41,6	8,2	7,2
25	105 kg	68,7	67,4	12,6	11,6	62,4	61,2	12,8	12,8
26	" "	68,2	66,7	11,8	11,5	61,0	60,2	13,0	12,8
27	" "	66,7	66,6	12,1	11,8	61,0	60,6	13,2	13,2
28	" "	67,0	66,7	11,6	11,5	60,8	61,0	13,5	12,6
29	" "	67,2	66,1	11,4	11,4	60,4	60,9	12,8	12,2
30	" "	65,8	65,4	11,4	11,4	60,7	60,7	12,8	12,8
31	" "	65,6	65,5	11,5	11,4	60,3	59,9	12,4	12,4
32	" "	65,6	65,3	11,6	11,4	59,5	59,8	13,1	13,0
	Mittel	66,8	66,1	11,8	11,4	60,8	60,5	13,0	12,8
33	125 kg	90,6	79,4	17,0	14,4	83,7	68,9	18,0	16,4
34	" "	81,2	79,0	15,2	14,6	71,3	69,4	17,2	15,2
35	" "	81,0	78,2	15,3	14,4	69,4	68,4	17,1	15,2
36	" "	80,5	79,0	15,0	14,4	70,6	69,8	17,2	15,6
37	" "	80,1	78,6	15,4	14,6	70,6	70,6	17,0	15,6
38	" "	78,7	77,2	14,8	14,5	70,3	69,6	17,2	16,6
39	" "	78,0	77,0	14,8	14,2	70,0	69,7	16,8	15,6
40	" "	78,3	76,9	14,8	14,2	70,1	69,4	15,6	15,4
	Mittel	81,0	78,2	15,2	14,4	72,0	69,5	17,0	15,8

Abb. 25.



2. Versuchsreihe

an der Platte $C_2 = 33,3; c_2 = -0,00030,$
 am Untergrunde $C_2' = 128; c_2' = 0,00022.$

Aus beiden Versuchsreihen ergeben sich die Mittelwerte:
 an der Platte $C = 32,8; c = -0,00013,$

Gl. 41) daher $y = \frac{p}{32,8} + 0,00013,$

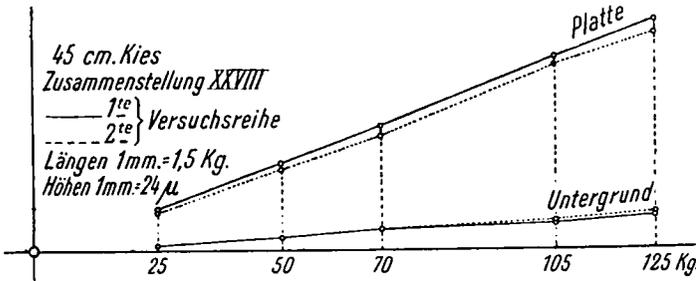
am Untergrunde $C' = 134; c' = 0,00018,$

Gl. 42) daher $y' = \frac{p}{134} - 0,00018.$

45 cm hohe Kiesbettung.

Zusammenstellung XXVIII enthält die Beobachtungsergebnisse der beiden mit 45 cm Kies ausgeführten Versuchsreihen.

Abb. 26.



Textabb. 26 zeigt ihre Auftragung. Für die Geradengleichungen erhält man diesmal für die

1. Versuchsreihe

an der Platte $C_1 = 31,4; c_1 = 0,00020,$
 am Untergrunde $C_1' = 228; c_1' = 0,00004;$

2. Versuchsreihe

an der Platte $C_2 = 32,8; c_2 = 0,00028,$
 am Untergrunde $C_2' = 190; c_2' = 0,00010.$

Daraus ergeben sich die Mittelwerte:

an der Platte $C = 32,2; c = 0,00024,$

Gl. 43) daher $y = \frac{p}{32,2} - 0,00024,$

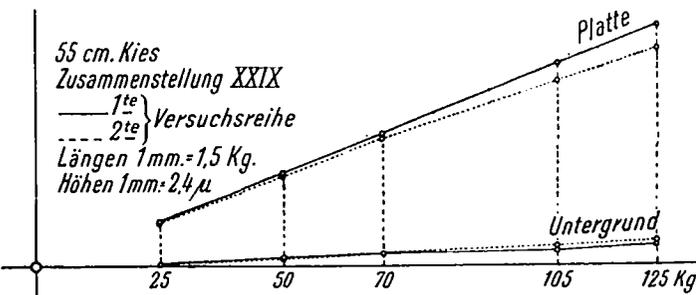
am Untergrunde $C' = 201; c' = 0,00007,$

Gl. 44) daher $y' = \frac{p}{201} - 0,00007.$

55 cm hohe Kiesbettung.

Die mit 55 cm Kies gemachten Beobachtungen sind in Zusammenstellung XXIX aufgeführt und haben die Schaulinien:

Abb. 27.



der Textabb. 27 ergeben. Die Werte in den Gleichungen der Geraden sind für die:

Zusammenstellung XXVIII.

Nf.	Be- lastung	1. Versuchsreihe				2. Versuchsreihe			
		Platte		Untergrund		Platte		Untergrund	
		Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung
1	25 kg	13,6	13,3	2,0	1,2	12,3	11,9	1,6	1,2
2	" "	13,2	13,5	1,2	1,2	11,6	11,6	1,0	1,4
3	" "	13,4	13,5	1,2	1,4	11,4	11,8	1,4	1,4
4	" "	13,3	13,0	1,2	1,4	11,3	11,3	1,4	1,6
5	" "	12,9	12,9	1,2	1,2	11,8	11,5	1,4	1,4
6	" "	13,0	13,3	1,2	1,2	11,3	11,9	1,4	1,4
7	" "	13,3	13,1	1,2	1,2	11,9	12,4	1,4	1,4
8	" "	13,0	12,6	1,2	1,2	11,8	12,1	1,2	1,4
	Mittel	13,2	13,2	1,2	1,2	11,7	11,8	1,4	1,4
9	50 kg	29,0	27,6	3,4	3,4	25,7	25,4	4,0	3,8
10	" "	27,4	27,2	3,4	3,4	24,9	25,5	3,6	3,8
11	" "	27,3	27,2	3,2	3,4	25,4	25,2	3,4	3,6
12	" "	27,3	27,1	3,4	3,6	24,8	24,4	3,6	3,6
13	" "	27,0	26,9	3,4	3,4	24,2	24,5	3,6	3,6
14	" "	26,7	26,6	3,4	3,5	24,2	25,0	3,6	3,6
15	" "	26,7	26,7	3,4	3,5	24,6	24,9	3,6	3,6
16	" "	26,6	26,6	3,5	3,4	24,6	25,0	3,6	3,6
	Mittel	27,2	27,0	3,4	3,4	24,8	25,0	3,6	3,6
17	70 kg	43,3	38,6	7,0	5,2	37,4	35,9	5,2	5,6
18	" "	39,2	38,6	6,0	5,4	36,0	35,8	5,8	5,6
19	" "	39,0	39,0	6,0	5,6	35,7	35,6	5,4	5,4
20	" "	39,6	38,6	5,8	5,6	35,5	35,4	5,6	5,4
21	" "	38,2	38,5	6,0	5,4	35,6	35,7	5,6	5,6
22	" "	38,6	37,9	5,6	5,4	35,4	35,0	6,0	5,8
23	" "	38,1	38,4	5,4	5,4	34,8	35,0	5,8	5,8
24	" "	38,3	38,4	5,6	5,4	34,6	34,8	6,0	6,0
	Mittel	39,3	38,5	6,0	5,4	35,6	35,4	5,6	5,6
25	105 kg	64,2	60,2	7,8	7,8	62,6	58,5	9,0	8,8
26	" "	61,4	60,2	7,4	7,6	58,2	57,8	8,8	9,0
27	" "	60,9	59,8	7,0	7,4	58,6	58,0	9,2	9,2
28	" "	60,5	59,9	7,2	7,3	57,8	57,8	8,4	8,8
29	" "	59,9	60,4	7,4	7,6	58,0	58,0	8,8	9,0
30	" "	61,0	59,4	7,2	7,6	58,0	57,6	8,4	8,6
31	" "	60,0	59,4	7,3	7,6	57,5	57,4	8,6	8,6
32	" "	59,9	59,3	7,2	7,4	57,3	57,4	8,4	8,4
	Mittel	61,0	59,8	7,4	7,6	58,5	57,8	8,8	8,8
33	125 kg	84,6	70,6	11,6	9,8	77,1	64,9	12,4	10,8
34	" "	74,2	71,0	10,0	9,6	67,9	65,8	11,6	11,2
35	" "	73,4	70,6	10,1	9,8	67,8	66,0	11,6	11,2
36	" "	72,2	69,8	10,0	9,8	67,5	65,9	11,6	11,0
37	" "	71,6	69,8	9,8	9,7	67,1	66,0	11,4	11,0
38	" "	71,2	69,3	10,0	10,0	66,8	66,6	11,0	10,8
39	" "	70,5	69,0	9,9	9,8	67,6	65,8	11,2	11,2
40	" "	71,0	69,3	9,6	9,8	67,8	66,2	11,2	10,8
	Mittel	73,6	69,9	10,2	9,8	68,7	65,9	11,4	11,0

1. Versuchsreihe

an der Platte $C_1 = 29,8; c_1 = 0,00017,$
 am Untergrunde $C_1' = 385; c_1' = 0,0;$

2. Versuchsreihe

an der Platte $C_2 = 32,9; c_2 = 0,00012,$
 am Untergrunde $C_2' = 254; c_2' = 0,00015.$

Aus den beiden Versuchsreihen erhält man die Mittelwerte:

Zusammenstellung XXIX.

Nr.	Be- lastung	1. Versuchsreihe				2. Versuchsreihe			
		Platte		Untergrund		Platte		Untergrund	
		Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung	Sen- kung	He- bung
1	25 kg	14,9	13,7	0,6	0,8	14,0	13,2	0,6	0,4
2	" "	13,7	14,2	0,7	1,0	12,7	12,6	0,4	0,4
3	" "	14,5	14,2	0,8	1,0	12,3	12,9	0,4	0,4
4	" "	14,2	14,0	0,6	1,0	12,7	12,5	0,4	0,4
5	" "	13,6	14,0	0,6	0,6	12,8	13,1	0,6	0,4
6	" "	13,9	13,8	0,6	0,8	13,2	12,9	0,4	0,4
7	" "	13,9	13,4	0,6	0,6	12,7	13,0	0,4	0,4
8	" "	13,5	13,8	0,6	0,8	12,9	13,5	0,4	0,4
	Mittel	14,0	13,9	0,6	0,8	12,9	13,0	0,4	0,4
9	50 kg	30,7	29,8	2,8	2,8	29,7	28,3	2,2	2,0
10	" "	29,4	29,4	2,2	2,6	28,4	28,5	2,2	2,0
11	" "	29,4	29,4	2,6	2,4	28,3	28,7	2,0	2,0
12	" "	29,4	29,3	2,2	2,6	29,0	28,7	1,8	1,8
13	" "	29,4	29,4	2,6	2,6	27,9	27,8	2,2	2,0
14	" "	29,1	29,0	2,4	2,8	27,8	27,7	1,6	2,0
15	" "	29,0	28,9	2,2	2,4	27,8	27,6	2,0	1,8
16	" "	28,8	28,9	2,2	2,2	27,7	27,6	1,7	1,8
	Mittel	29,4	29,3	2,4	2,6	28,0	28,1	2,0	2,0
17	70 kg	43,8	41,8	4,2	3,6	40,7	39,9	5,2	3,4
18	" "	42,3	42,0	4,4	3,8	40,1	39,7	3,8	3,2
19	" "	42,0	41,5	4,4	3,6	39,8	39,6	3,7	3,2
20	" "	41,5	41,4	4,0	3,6	40,0	39,6	4,0	3,0
21	" "	41,5	41,4	3,8	3,6	39,5	40,2	3,8	3,2
22	" "	41,3	41,1	3,8	3,6	40,3	39,9	3,6	3,4
23	" "	41,2	40,9	3,6	3,8	39,7	38,9	3,6	3,4
24	" "	40,9	40,7	3,6	3,6	39,4	39,8	3,6	3,2
	Mittel	41,8	41,4	4,0	3,6	39,9	39,7	3,8	3,2
25	105 kg	69,0	64,6	5,0	5,0	60,3	58,1	6,8	5,6
26	" "	65,0	64,2	3,6	4,4	58,7	58,2	6,2	6,0
27	" "	64,5	63,8	4,4	4,6	59,3	58,6	6,6	6,0
28	" "	64,0	63,4	4,4	4,4	59,1	58,9	6,2	6,0
29	" "	64,0	63,3	5,2	4,0	57,8	57,4	6,0	6,0
30	" "	63,6	63,2	3,6	4,4	58,0	57,7	6,2	6,0
31	" "	64,0	63,0	4,4	4,6	58,0	57,4	6,2	6,2
32	" "	61,9	61,8	4,4	4,8	57,8	57,4	6,2	6,2
	Mittel	64,5	63,4	4,4	4,6	58,6	58,0	6,4	6,0
33	125 kg	85,0	74,1	6,8	5,8	73,6	66,2	9,1	6,9
34	" "	80,0	74,9	6,2	6,0	68,5	66,1	9,0	6,8
35	" "	75,9	74,6	6,6	6,6	67,6	66,5	8,3	7,0
36	" "	76,3	74,2	6,0	6,0	67,5	66,4	8,5	7,0
37	" "	75,1	73,9	6,2	6,2	68,0	67,0	8,3	7,4
38	" "	75,1	73,4	5,2	6,0	67,6	66,8	8,6	7,4
39	" "	74,0	73,2	5,6	6,0	67,8	67,0	8,3	7,4
40	" "	74,5	73,0	5,8	6,0	67,2	66,4	8,2	7,6
	Mittel	77,0	73,9	6,0	6,0	68,5	66,6	8,5	7,2

an der Platte $C = 31,1$; $c = 0,00015$,

$$\text{Gl. 45) daher } y = \frac{p}{31,1} - 0,00015,$$

am Untergrunde $C' = 326$; $c' = 0,00007$,

$$\text{Gl. 46) daher } y' = \frac{p}{326} - 0,00007.$$

Man kann die für verschiedene Lasten und Kieshöhen beobachteten Formänderungen nach den Zusammenstellungen XXV bis XXIX noch zu einer andern Darstellung

verwenden, so daß sie als Abhängige von den verschiedenen Kieshöhen erscheinen.

Dies ist in Textabb. 28 für die an der Platte, in Textabb. 29 für die am Untergrunde beobachteten Formänderungen geschehen. Hier sind die Kieshöhen als Längen, die Mittelwerte aus Senkung und Hebung als Höhen aufgetragen. Durch Verbindung der Punkte, die den Formänderungen ein und derselben Last bei verschiedener Kieshöhe entsprechen, erhielt man die aus geraden Stücken zusammengesetzten Schaulinien der Textabb. 28 und 29, welche zeigen, wie die Formänderungen an der Platte und am Untergrunde mit zunehmender Höhe der Kiesbettung abnehmen.

In Textabb. 28 wurde versucht, die gebrochenen Schaulinien durch stetige zu ersetzen, die dem Verlaufe der gebrochenen Linien zwar möglichst angepaßt, sonst aber ziemlich willkürlich eingezeichnet wurden, so daß es sich nicht empfiehlt, Schlüsse aus ihrer Form zu ziehen. Diese in der Abbildung fein ausgezogenen Linien sind Ellipsenbogen des gemeinsamen Mittelpunktes in $x = 48$ cm, $y = 132 \mu$, während die Hauptachsen der Ellipsen die Richtung der Kreuzachsen haben. Wegen dieser Lage der Bogen erreichen die Höhen alle bei der Länge des Mittelpunktes $x = 48$ cm ihren Kleinstwert. Für jede bestimmte Belastung tritt also die kleinste Formänderung an der Platte bei einer Bettungstärke von 48 cm auf.

Das Ergebnis kann nicht überraschen. Sobald das Kiesbett eine solche Stärke hat, daß die durch die Lasten bewirkten Formänderungen ganz oder zum größten Teile innerhalb des Kiesel erfolgen, kann bei innerlich gleichartigen Stoffe eine weitere Erhöhung des Kiesel die an der Platte erfolgenden Formänderungen nicht mehr beeinflussen. Bemerkenswert ist nur, daß für die Bedingungen, unter denen der Versuch stattfand, dieser Umstand schon bei 48 cm Kieshöhe eingetreten ist, während die Formänderungen am Untergrunde auch bei weiterer Erhöhung des Kieselbettes eine fortgesetzte Verminderung bis auf Null erfahren.

Zu den vorstehenden Versuchen ist noch folgendes zu bemerken. Bevor mit den Beobachtungen begonnen ward, wurden für eine Belastung von 125 kg die Senkungen des Untergrundes gemessen. Dabei zeigte sich, daß die anfänglichen Formänderungen am Untergrunde immer größer waren, als die, welche am Schlusse der beiden Versuchsreihen beobachtet wurden. Eine länger ruhende Belastung zeigte diesen Einfluss nicht, so daß die Verminderung der am Untergrunde erfolgten Formänderungen als eine Folge des Lastwechsels aufgefaßt werden muß.

Sobald die beiden Beobachtungsreihen an einer Kieslage beendet waren, wurde die Druckplatte noch mehr gegen das Rohr zu verschoben, so daß die Stelle, wo die Einsenkungen des Untergrundes gemessen wurden, anstatt 16,5 cm, nur mehr 14 cm von der Lastmitte entfernt war. Dann wurde wieder mit 125 kg belastet. Es zeigte sich, daß der Unterschied zwischen den in 16,5 cm und den in 14 cm Abstand von Lastmittel gemessenen Senkungen des Untergrundes um so geringer wurde, je höher die Kiesbettung war.

Abb. 28.

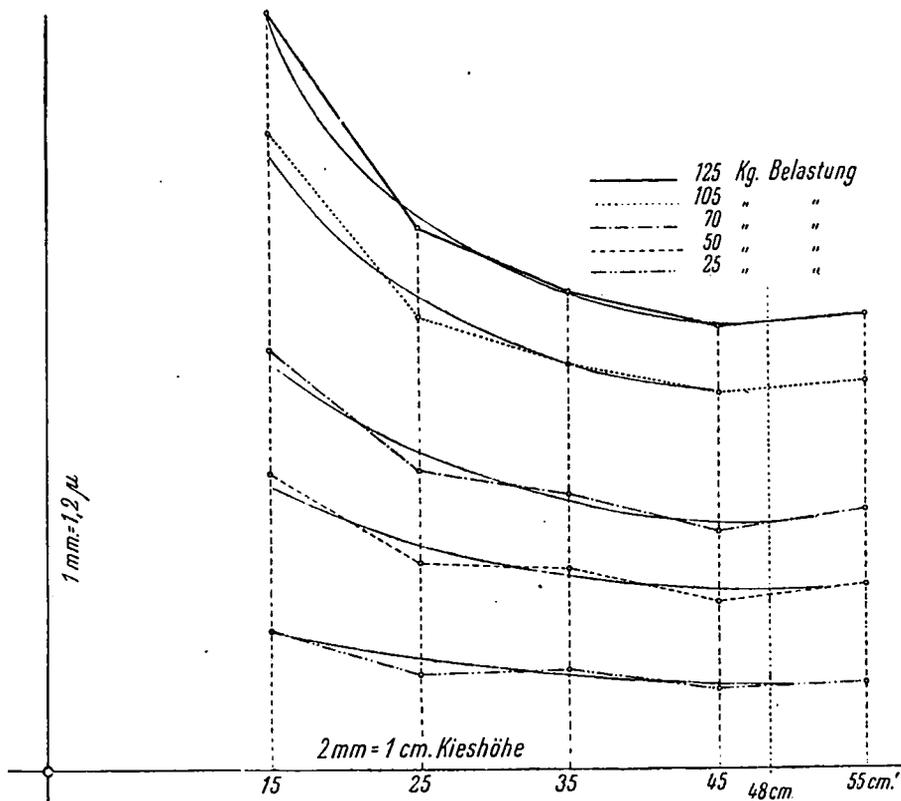


Abb. 29.

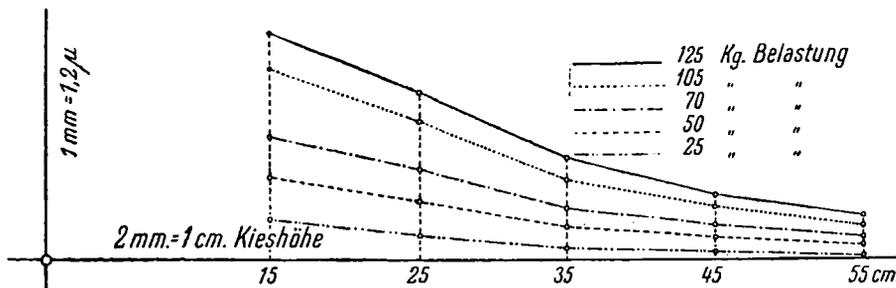
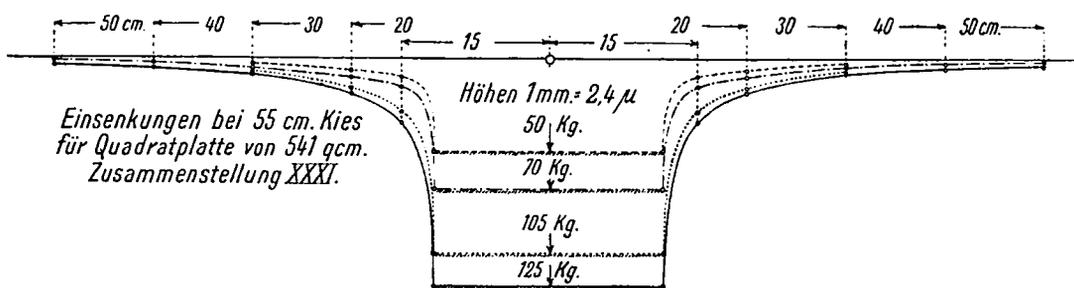


Abb. 30.



Einsenkungen bei 55 cm. Kies für Quadratplatte von 541 qcm. Zusammenstellung XXXI.

Zusammenstellung XXX.

Kieshöhe cm	In 16,5 cm Abstand				In 14 cm Abstand	
	vor den Versuchsreihen:		XXV bis XXIX		nach den Versuchsreihen:	
	Senkung	Hebung	Senkung	Hebung	Senkung	Hebung
15	31,4	30,1	31,2	30,0	39,2	39,2
25	27,2	26,6	26,4	25,9	28,4	27,7
35	17,7	16,8	16,1	15,1	16,2	16,2
45	11,8	11,5	10,8	10,4	11,3	11,3
55	8,3	8,0	7,3	6,6	7,3	6,9

Die Zusammenstellung XXX enthält für eine Belastung von 125 kg die mittleren Senkungen und Hebungen, die vor Beginn der Versuchsreihen festgestellt wurden, daneben die Mittelwerte, die den Zusammenstellungen XXV bis XXIX entnommen sind, beide für 16,5 cm Abstand von der Lastmitte. In den letzten zwei Spalten stehen die Mittel aus den Beobachtungen, die zuletzt in 14 cm Abstand von Lastmitte gemacht wurden.

Um ein Bild von den Formänderungen zu gewinnen, die in der Umgebung der belasteten Platte an der Kiesoberfläche entstehen, wurde dieselbe Vorrichtung wieder verwendet, die zur Ermittlung der Einsenkungslinien am Erdboden gedient hatte, jedoch mit einer kleinen Abänderung. Das T-Eisen, an dem die zu den Spiegeln führenden Holzstäbe befestigt waren (Textabb. 15), konnte nämlich auf den beiden Hartholzklötzchen nicht mehr sicher gelagert werden, da die letzteren zu klein waren, auf den runden Kiesel keine sichere Auflage fanden und daher kanteten, sobald das T-Eisen aufgelegt wurde. Letzteres wurde daher nur mit einem Schieber auf ein Klötzchen aufgesetzt, während es mit dem zweiten auf einem festen Auflager ruhte. Auf diese Weise bekam man allerdings die Einsenkungslinie nur auf einer Seite der Druckplatte, während sie früher zur Vermeidung von Fehlern aus einseitiger Überlastung zu beiden Seiten aufgenommen wurden.

Die so gewonnenen Ablesungen sind in Zusammenstellung XXXI enthalten. Die Mittelwerte hieraus wurden zur Herstellung des stark verzerrten Schaubildes in Textabb. 30 benutzt. Man sieht schon an diesem Schaubild, daß sich die Einsenkungslinien nicht von den für den Erdboden gefundenen unterscheiden. Untersucht man sie näher, so findet man, daß sie ebenfalls dem durch Gl. 24)

ausgedrückten Gesetze folgen, und zwar ist

$$K = 10,$$

das Gesetz der Abnahme der Formänderungen mit der Entfernung von Lastmitte also:

$$\text{Gl. 47). } \frac{y}{y_1} = \frac{(10 + x_1)^3}{(10 + x)^3}$$

Außerdem genügen die in Textabb. 30 wiedergegebenen Einsenkungslinien auch der allgemeineren Gl. 26), und zwar ist

$$K = 4300.$$

Aus Gl. 45) folgt außerdem

$$C = 31,1; \quad c = 0,00015,$$

Zusammenstellung XXXI.

Nr.	Belastung	Abstand von Lastmitte in cm:				
		15	20	30	40	50
1	125 kg	20,1	11,7	5,1	4,0	2,4
2	" "	20,3	10,8	5,1	4,0	2,3
3	" "	20,0	11,4	5,2	4,3	2,5
4	" "	19,6	11,1	4,8	3,8	2,3
5	" "	19,6	10,5	5,0	3,5	2,6
6	" "	19,9	11,1	5,1	3,9	2,3
Mittel		19,9	11,1	5,0	3,9	2,4
Berechnet nach Gl. 47)		19,8	11,4	4,9	2,5	1,5
Berechnet nach Gl. 48)		19,8	11,5	4,8	2,5	1,4
7	105 kg	16,5	9,7	4,1	3,4	1,6
8	" "	16,6	9,3	4,4	3,1	1,5
9	" "	16,5	9,1	4,0	2,7	1,3
10	" "	16,6	9,3	4,4	2,7	1,7
11	" "	16,4	9,3	4,1	2,8	1,6
12	" "	16,9	9,4	4,4	3,1	1,5
Mittel		16,6	9,4	4,2	3,0	1,5
Berechnet nach Gl. 47)		16,6	9,6	4,1	2,1	1,2
Berechnet nach Gl. 48)		16,6	9,6	4,1	2,1	1,2
13	70 kg	8,7	6,1	3,2	1,4	0,8
14	" "	8,1	6,2	3,0	1,3	0,5
15	" "	7,9	6,0	2,9	1,2	0,4
16	" "	7,9	6,2	2,9	1,1	0,4
17	" "	8,0	5,9	2,8	1,1	0,4
18	" "	8,0	5,9	2,8	1,1	0,4
Mittel		8,1	6,0	2,9	1,2	0,5
Berechnet nach Gl. 47)		8,1	4,7	2,0	1,0	0,5
Berechnet nach Gl. 48)		11,1	6,4	2,7	1,3	0,8
19	50 kg	5,4	4,2	1,8	1,1	—
20	" "	5,2	4,2	1,5	1,0	—
21	" "	5,3	4,1	1,8	0,9	—
22	" "	5,1	4,1	1,8	0,8	—
23	" "	5,2	4,0	1,5	0,9	—
24	" "	5,0	4,2	1,5	0,6	—
Mittel		5,2	4,1	1,6	0,9	—
Berechnet nach Gl. 47)		5,2	3,1	1,3	0,8	—
Berechnet nach Gl. 48)		7,7	4,4	1,9	1,0	—

so daß die Gleichung der lotrechten Formänderungen in der Umgebung der Druckplatte für die Kiesoberfläche endgültig lautet

$$\text{Gl. 48) } y = \frac{4300}{(10+x)^3} \left(\frac{p}{31,1} - 0,00015 \right)$$

Nach den Gl. 47) und 48) wurden die Höhen für die Stellen, wo die Einsenkungen gemessen sind, gerechnet und zum Vergleiche in Zusammenstellung XXXI eingeschrieben. Die Übereinstimmung der beobachteten und der gerechneten Werte kann als noch befriedigend bezeichnet werden, zumal mit Rücksicht darauf, daß trotz aller Vorsicht einseitige Überlastungen bei dem Versuche nicht ausgeschlossen waren und die Klötzchen auf den Kieseln keine gute Auflage hatten. Überhaupt erwies sich der Kies wegen seines gröbern und ungleichmässigen Kornes für diese Versuche nicht so günstig, wie der dichte, durchaus gleichartige Ackerboden.

Die vorausgegangenen Beobachtungen, die in Zusammenstellung XXV bis XXVI verzeichnet sind, wurden bei einer Dauer der Belastung und Entlastung von je einer halben

Minute gemacht und konnten daher über die elastische Nachwirkung, die bei der Untersuchung des Ackerbodens ausführlich behandelt ist, keinen Aufschluß geben. Aus dem Grunde wurden zum Schlusse noch Beobachtungen von längerer Dauer gemacht und dabei gleichzeitig die Belastung bis auf 226,3 kg gesteigert, was einem Flächendrucke von 0,42 kg/qcm für die große und von 1,65 kg/qcm für die kleine Platte entspricht. In Zusammenstellung XXXII sind die Ergebnisse dieser Beobachtungen aufgeführt. Die Dauer jeder Belastung und Entlastung war 2 Minuten, wobei wieder nach 30, 75 und 120 Sekunden abgelesen wurde. Man sieht aus den Zahlen, daß sich die Erscheinungen dieses Versuches nicht grundsätzlich von den bei Belastung des Erdbodens beobachteten unterscheiden. Wie früher, ist auch hier die Formänderung unter der ersten Belastung die größte, und auch hier folgt der Belastung und Entlastung eine länger andauernde Senkung und Hebung. Dagegen bleiben die Hebungen hier mehr, als früher hinter den Senkungen zurück, so daß die bleibenden Formänderungen eine beträchtliche Größe erreichen. Es ist dies einmal auf den viel höhern Flächendruck und darauf zurückzuführen, daß die Kiesbettung nicht natürlich gelagert, sondern frisch angeschüttet und nur leicht überstampft war. Bei festgelagertem oder künstlich gedichtetem Kiese, wie bei unterstopften Schwellen, wird die bleibende Verdrückung auch bei demselben Flächendruck nicht die hier beobachtete Größe erreichen.

Hierauf wurde das ganze Kiesbett vorsichtig und langsam mit 120 l oder 5,5 Raumteilen Wasser auf 100 Raumteile Kies übergossen. Dann wurde die Platte von 541,8 qcm wiederholt mit 226,3 kg belastet und die Formänderungen am Untergrunde und an der Platte beobachtet. Aus den in Zusammenstellung XXXII niedergeschriebenen Beobachtungsergebnissen sieht man, daß die Formänderungen an der Platte und am Untergrunde bedeutend größer geworden sind, und zwar sind die elastischen Formänderungen etwa zweimal, die bleibenden an der Platte fünfmal so groß, wie zuvor.

Damit steht freilich die früher beobachtete und auf S. 275 erwähnte Tatsache in Widerspruch, wonach die elastischen Senkungen nach Regengüssen kleiner gefunden wurden. Jedoch läßt sich dieser Widerspruch durch die verschiedenartige Beschaffenheit der untersuchten Kiesarten erklären. Während dort der Kies im Laufe der Jahre festgelagert war und viele feine, erdige und tonhaltige Bestandteile enthielt, die durch Wasseraufnahme sicher eine erhöhte Klebrigkeit erlangten, war der hier untersuchte Kies von erdigen Bestandteilen ganz frei, so daß die Wasseraufnahme die Klebrigkeit oder den Zusammenhalt nicht vermehrte, eher noch die innere Reibung verminderte. Außerdem waren wie beim Wegnehmen des Kiesel gefunden wurde, sehr viele von den feineren Bestandteilen des Kiesel durch das aufgegossene Wasser nach unten geschwemmt, obwohl beim Begießen mit großer Vorsicht verfahren und der Kies mit Tüchern bedeckt war, die das Wasser nur ganz langsam durchsickern ließen.

Nach Verlauf von 2 und 12 Stunden wurden mit derselben Belastung neue Beobachtungen gemacht, deren Ergebnisse wieder in Zusammenstellung XXXII eingetragen sind.

Zusammenstellung XXXII.

Nr.	Flächendruck kg/qcm	P l a t t e						U n t e r g r u n d			
		Senkung nach 30"	weitere Senkung nach		Hebung nach	weitere Hebung nach		21,5 cm von Last- mitte		14,5 cm von Last- mitte	
			75"	120"		75"	120"	Senkung	Hebung	Senkung	Hebung
1	226,3	186,2	2,1	1,5	158,6	0,2	—	17,8	16,5	17,8	16,3
2	$\frac{226,3}{541,8} = 0,42$	175,0	1,5	0,8	148,6	0,2	0,4	17,0	16,6	16,6	16,3
3		159,0	1,0	0,5	147,0	0,8	0,4	16,6	16,5	17,1	16,6
4		155,8	0,9	0,4	147,4	0,4	0,3	16,4	16,3	17,0	16,6
5		153,5	1,4	0,9	143,8	0,8	0,5	16,3	16,2	16,8	16,5
6		149,7	1,3	0,5	145,0	0,4	0,3	16,3	16,2	—	—
	Mittel . .	165,2	1,4	0,8	148,4	0,6	0,4	16,7	16,4	17,1	16,5
7	226,3	265,0	2,6	1,4	225,6	1,5	0,6	17,0	14,7	Kleinere Druckplatte	
8	$\frac{226,3}{197,5} = 1,65$	251,0	1,7	1,3	221,6	1,2	0,6	15,8	15,5		
9		243,5	1,5	0,9	219,0	1,0	0,4	15,7	15,7		
10		240,2	1,7	1,0	218,6	1,0	0,6	15,8	16,0		
11		240,7	1,3	0,7	218,6	1,0	0,4	15,8	15,7		
12		240,2	1,4	0,7	219,6	1,2	0,6	16,6	16,2		
	Mittel . .	246,6	1,7	1,0	220,5	1,2	0,5	16,0	15,6		
13	226,3	398,2	9,0	5,0	308,4	2,6	1,8	30,3	29,5	Kies mit 120 l Wasser über- gossen	
14	$\frac{226,3}{541,8} = 0,42$	393,7	6,9	4,6	311,0	3,3	1,8	29,9	29,9		
15		385,5	6,7	3,9	305,5	4,1	2,2	29,9	30,1		
16		380,3	5,8	3,6	307,8	2,7	2,6	30,1	30,1		
17		373,0	5,4	3,3	301,0	2,9	1,6	30,3	30,4		
	Mittel . .	386,1	6,7	4,1	306,7	3,1	2,0	30,1	30,0		
18	226,3	384,3	4,9	3,2	290,6	2,6	1,4	32,2	30,4	2 Stunden später	
19	$\frac{226,3}{541,8} = 0,42$	324,6	4,4	2,3	287,7	2,5	1,5	31,5	30,3		
20		331,4	3,8	2,5	291,4	3,0	1,0	30,9	30,1		
21		318,5	3,9	2,1	290,4	2,7	1,3	31,9	31,2		
22		—	—	—	—	—	—	31,7	30,7		
	Mittel . .	339,7	4,2	2,5	290,0	2,7	1,5	31,7	30,5		
23	226,3	329,3	5,0	3,1	277,3	2,1	1,0	32,5	30,9	12 Stunden später	
24	$\frac{226,3}{541,8} = 0,42$	307,7	3,0	2,2	280,5	2,0	1,0	31,7	30,6		
25		311,0	2,7	2,2	279,6	1,5	1,0	31,1	30,6		
26		302,1	2,7	2,0	278,4	2,1	1,0	30,8	32,0		
27		300,8	2,5	2,6	278,2	2,5	1,0	30,9	30,6		
	Mittel . .	310,2	3,2	2,4	278,8	2,0	1,0	31,4	30,9		

Man sieht, daß sich in dieser Zeit die ungünstige Wirkung des Begießens zum Teil wieder verloren hatte und die elastischen und bleibenden Verdrückungen an der Platte wieder kleiner geworden sind. Die Senkungen am Untergrunde hatten sich dagegen nur wenig geändert, waren eher größer geworden.

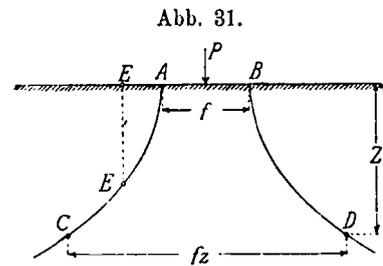
IX. Die Verteilung des Druckes unter der belasteten Platte.

Im Abschnitte VI S. 285 ist gezeigt, welchen Einfluß Form und Größe der Druckplatten auf die elastischen Formänderungen des Erdbodens haben.

Schon im Jahre 1888 hat Engesser*) darauf hingewiesen, daß die Senkung eines belasteten Punktes am Erdboden nicht nur von seiner eigenen Belastung, sondern auch von der der übrigen Punkte abhängt. Man wird daher mit Größe und Form der belasteten Fläche verschiedene Senkungen erhalten, und zwar wird die Senkung eines Punktes bei demselben Flächendrucke um so größer sein, je größer die belastete Fläche ist.

*) Organ 1888, S. 99.

Wird bei einem gleichartigen Erdkörper von unbeschränkter Ausdehnung und ebener Oberfläche und bei ausschließlich elastischer Verdrückung des Erdkörpers nach Textabb. 31 ein Flächenstück f durch eine Last P belastet, so



wird sich der Druck durch Reibung und Zusammenhalt des Bodens mit wachsender Tiefe z auf immer größere Flächen f_z verteilen. Die Linien AC und BD mögen die Begrenzung des durch die Belastung auf Druck beanspruchten Körpers darstellen, wobei sich die Last P im allgemeinen ungleichmäßig über f_z verteilen wird. Wegen der Zusammenpressung des Erdkörpers senkt sich die Oberfläche auch in der Um-

gebung der belasteten Fläche, und zwar ist die Senkung eines beliebigen, außerhalb liegenden Punktes E gleich der Senkung des lotrecht darunter befindlichen Punktes E₁. Die genaue Gestalt der Begrenzungsfläche ABCD und der dazu gehörigen Senkungsfläche kann theoretisch kaum ermittelt werden. Bei kreisrunder Belastungsfläche ist die Senkungsfläche eine Umdrehungsfläche, die sich der ursprünglichen Fläche asymptotisch nähert.

In Textabb. 32 ist für eine unendlich kleine Belastungs-

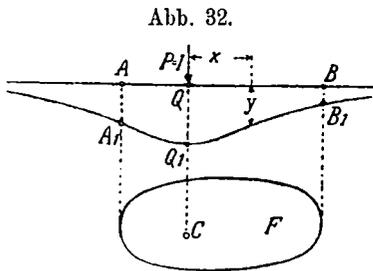


Abb. 32.

fläche die mutmaßliche Gestalt der Querschnittslinie der Senkungsfläche dargestellt. Für eine Last $P = 1$ stellt die Senkungsfläche gleichzeitig die Einflussfläche dar, die Strecke BB_1 gibt dann nicht nur die Senkung des Punktes B aus der in O befindlichen Last $P = 1$, sondern auch die Senkung des Punktes O aus der in B wirkenden Last 1 an. Mit Hilfe der Einflussfläche kann nun in bekannter Weise die Senkung eines beliebigen Punktes C einer beliebig belasteten Fläche bestimmt werden. Sie ist

$$\eta = \int_0^F p \cdot y \cdot dF$$

und für eine gleichmäßig verteilte Last

$$\text{Gl. 49) } \dots \eta = p \cdot \int_0^F y \cdot dF = p \cdot J,$$

worin J den Rauminhalt des Körpers AA_1BB_1 darstellt, dessen Grundfläche F ist. Der betrachtete Punkt liegt hierbei in der Achse der Einflussfläche.

Gewöhnlich liegen aber die Verhältnisse so, dass es sich nicht um eine gleichmäßige Belastung der Fläche F handelt, sondern dass durch eine unnachgiebige Druckplatte allen Punkten der belasteten Fläche eine gleichmäßige Senkung vorgeschrieben wird. Dann müssen die einzelnen Punkte der Druckfläche ungleichen Druck erfahren, und zwar werden die am Umfange, insbesondere die Eckpunkte stärker gedrückt als die in der Mitte.

Bedeutet p_m den mittlern Druck, η die Senkung eines Punktes der Druckfläche, wenn diese gleichmäßig mit p_m belastet ist, bedeutet ferner η_m einen mittlern Wert aller η , um den sich die belastete Druckplatte senkt, so ergibt sich (gemäß Textabb. 33) für den in einem beliebigen Punkte herrschenden Druck p die Bedingungsgleichung

$$\text{Gl. 50) } \dots p = p_m \cdot \frac{\eta_m}{\eta};$$

je kleiner die Senkung η ist, welche ein Punkt durch den Druck p_m erfährt, um so größer ist der Druck, den der

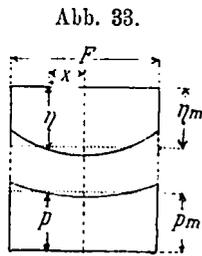


Abb. 33.

Punkt aufnimmt, wenn er sich mit den übrigen um das gleiche Maß η_m senken muß.

Da die Form der Einsenkungslinien aus den Untersuchungen des Abschnittes VII bekannt ist, kann nach der vorstehenden Betrachtung eine vergleichende Rechnung über die Druckverteilung unter verschiedenen großen belasteten Platten angestellt werden.

Nach Gl. 24) ist nämlich die Formänderung in der Umgebung einer belasteten Fläche allgemein gegeben durch

$$\frac{y}{y_1} = \frac{(K + x_1)^3}{(K + x)^3}$$

Setzt man

$$y_1 \cdot (K + x_1)^3 = K_1,$$

so ist

$$y = \frac{K_1}{(K + x)^3}$$

Diese Gleichung legen wir auch den Formänderungen in der Umgebung einer unendlich kleinen Belastungsfläche zu Grunde, so dass die Querschnittslinie der Senkungsfläche etwa die in Textabb. 34 dargestellte Form erhält. Darnach ist

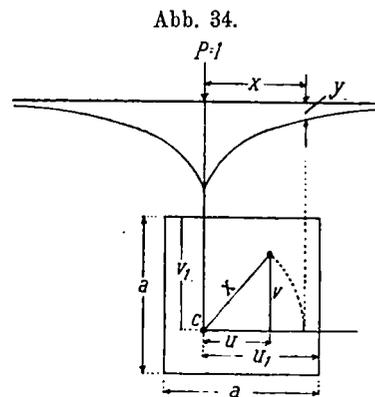


Abb. 34.

$$x^2 = u^2 + v^2$$

und daher

$$y = \frac{K_1}{(K + \sqrt{u^2 + v^2})^3}$$

Dieser Wert gibt in Gl. 49) eingesetzt

$$\eta = p \cdot \int_0^F \frac{K_1}{(K + \sqrt{u^2 + v^2})^3} \cdot dF,$$

oder auch

$$\eta = p \cdot K_1 \cdot \int_{v_1-a}^{v_1} \frac{dv}{(K + \sqrt{u^2 + v^2})^3} \cdot \int_{u_1-a}^{u_1} \frac{du}{(K + \sqrt{u^2 + v^2})^3}$$

Man erhält nun die mittlere Senkung η_m , wenn man die Summe der Senkungen η aller Punkte der Druckfläche F bildet und durch $F = a^2$ dividiert. So ergibt sich

$$\eta_m = \frac{p \cdot K_1}{a^2} \cdot \int_0^F dF \cdot \int_{v_1-a}^{v_1} dv \cdot \int_{u_1-a}^{u_1} \frac{du}{(K + \sqrt{u^2 + v^2})^3}$$

Die Auswertung dieses Ausdrucks bereitet, da schon die erstmalige Integration zu einem sehr umständlichen Ausdrucke führt, Rechenschwierigkeiten, die auf folgendem Wege umgangen werden können. Der Inhalt des in Textabb. 35 gezeichneten Umdrehungskörpers $AA'B'BC$ ist nämlich

$$J = \pi \int_{y_0}^{y_1} x^2 \cdot dy.$$

Da

$$y = \frac{K_1}{(K + x)^3},$$

ist auch

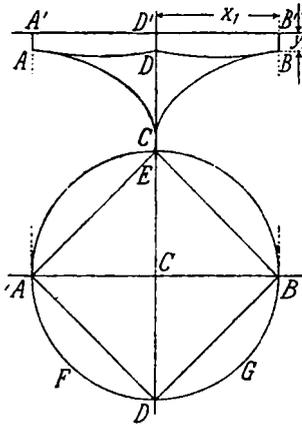
$$J = -3\pi K_1 \cdot \int_{x_0}^{x_1} \frac{x^2}{(K + x)^4} \cdot dx.$$

Die Integration ergibt

$$J = \pi \cdot K_1 \cdot \left[\frac{x_1^3}{3(K+x)} - \frac{3K}{(K+x)^2} + \frac{K^2}{(K+x)^3} \right]$$

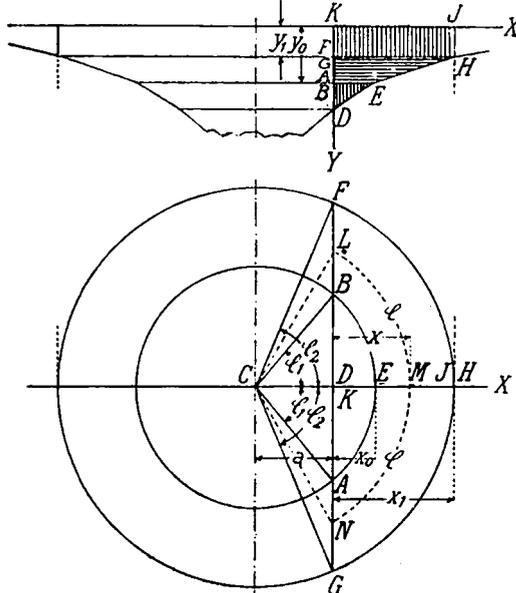
Von dem Umdrehungskörper werden je nach Lage des Punktes C, dessen Senkung berechnet werden soll, durch lotrechte Ebenen in den Kanten der Druckplatte vier Körper abgeschnitten, deren Inhalt, von dem eben berechneten des Umdrehungskörpers abgezogen, den gesuchten Rauminhalt und damit die Senkung η ergibt. So gibt beispielsweise der

Abb. 35.



Inhalt des in Textabb. 35 dargestellten Körpers die Senkung der Plattenmitte. Die Berechnung der abgeschnittenen Körper wie AFD und BGD gestaltet sich unter Berücksichtigung der Textabb. 36 wie folgt. Der im lotrechten Schnitte über-

Abb. 36.



strichelte Körper setzt sich zusammen aus einem Zylinder FKJH und einem Körper, der von der lotrechten Ebene FG, dem Kreisabschnitte FGH und der Senkungsfläche begrenzt ist. Ersetzt man die Umdrehungsfläche durch eine Reihe von auf einander folgenden Kegelflächen, so dass die Querschnittslinie aus lauter geraden Stücken zusammengesetzt erscheint, so ist der Inhalt des von den wagerechten Ebenen FGH und ABE eingeschlossenen Körpers

$$i = \int_{y_0}^{y_1} F \cdot dy.$$

Da EH gerade, ist

$$\frac{dy}{dx} = m$$

und daher auch

$$i = m \int_{x_0}^{x_1} F \cdot dx.$$

Aus dem Unterschiede des Kreisabschnittes CLMN und des Dreieckes CLN ergibt sich die Fläche des Abschnittes

$$F = (a+x)^2 \cdot \text{arc } \varphi - a(a+x) \sin \varphi$$

und daher

$$i = m \cdot \int_{x_0}^{x_1} \left[(a+x)^2 \text{arc } \varphi - a(a+x) \sin \varphi \right] dx.$$

Die Integration liefert

$$i = m \cdot \frac{r^3}{3} \left[\frac{\text{arc } \varphi - \sin 2\varphi}{\cos^3 \varphi} + \lg \frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right] \varphi_2$$

Durch passende Wahl der Schnittebenen gestaltet sich die zahlenmäßige Berechnung der dem Umdrehungskörper zu oder abzusetzenden Körper verhältnismäßig einfach. Derart wurden die Senkungen η für zwei Platten von 12 und 24 cm Seitenlänge gerechnet, wobei der Wert K in Gl. 24) = 10 angenommen wurde. Für die Mittellinien der Platten ergeben sich die in Zusammenstellung XXXIII angegebenen Werte von η bei überall gleichen Flächendrücke p.

Zusammenstellung XXXIII.

Große Platte. a = 24 cm.		
In der Mitte	$\eta_0 = 100$	$p_0 = 0,84 \text{ kg/qcm}$
3 cm von der Mitte	$\eta_1 = 98,2$	$p_1 = 0,856 \text{ "}$
6 " " " "	$\eta_2 = 91,8$	$p_2 = 0,916 \text{ "}$
9 " " " "	$\eta_3 = 80,5$	$p_3 = 1,04 \text{ "}$
12 " " " "	$\eta_4 = 62,8$	$p_4 = 1,34 \text{ "}$
Kleine Platte. a = 12 cm.		
In der Mitte	$\eta_0 = 48,4$	$p_0 = 0,83 \text{ kg/qcm}$
1,5 cm von der Mitte	$\eta_I = 47,6$	$p_I = 0,86 \text{ "}$
3,0 " " " "	$\eta_{II} = 44,8$	$p_{II} = 0,915 \text{ "}$
4,5 " " " "	$\eta_{III} = 40,6$	$p_{III} = 1,010 \text{ "}$
6,0 " " " "	$\eta_{IV} = 34,3$	$p_{IV} = 1,194 \text{ "}$

Die Größen p und K_1 konnten, weil unveränderlich, bei dieser Berechnung außer Betracht gelassen werden. Die angegebenen Werte von η sind daher nur Verhältniszahlen.

In Textabb. 37 sind die für die große und kleine Platte gerechneten Senkungen dargestellt. Die erhaltenen Linien AB und CD können mit großer Annäherung durch Kreise ersetzt werden, deren Halbmesser im Maßstabe der Zeichnung 53,3 mm und 33,8 mm betragen. Nun lassen sich auch die Flächen, welche die Senkungen η unter den Platten darstellen, mit hinreichender Genauigkeit durch Kugelflächen ersetzen, die leicht integrierbar, durch $F = a^2$ dividiert, die gesuchte mittlere Senkung η_m ergeben.

So erhielt man:
 Für die große Platte $\eta_m = 84.$
 Für die kleine Platte $\eta_m = 41.$

Hiermit vergleichen wir die Senkungen, die früher mit quadratischen Platten von annähernd denselben Abmessungen erhalten wurden.

Abb. 37.

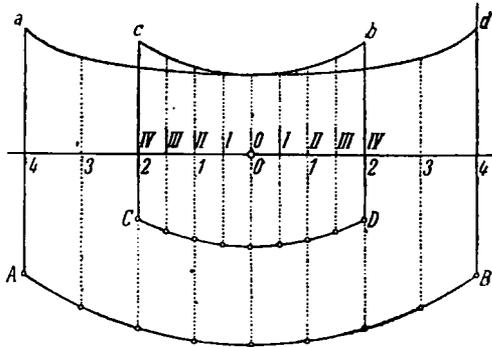
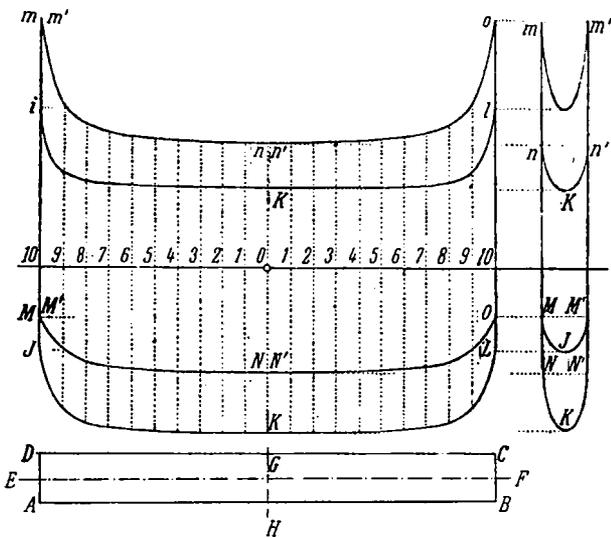


Abb. 38.



Für eine Belastung von $p = 0,1 \text{ kg/qcm}$ ergibt sich für die Platte von 550 qcm Druckfläche nach Gl. 15) die Senkung

$$y = \frac{p}{8,8} - 0,0015 = 98 \mu,$$

und für die Platte von $137,5 \text{ qcm}$ Druckfläche nach Gl. 16)

$$y = \frac{p}{20,4} - 0,0008 = 41 \mu.$$

Demnach ergibt sich für die große und kleine Platte das Verhältnis der beobachteten Senkungen

$$98 : 41 = 84 : 35,$$

während sich die gerechneten Senkungen wie

$$84 : 41$$

verhalten. Das Ergebnis der Rechnung stimmt demnach mit den früheren Versuchen ganz gut überein.

Aus der mittlern Senkung η^m lässt sich nach Gl. 50) nun auch der Druck p berechnen, der durch die Belastung von beispielsweise $p_m = 0,1 \text{ kg/qcm}$ unter der Druckplatte an den verschiedenen Stellen des belasteten Erdbodens hervorgerufen wird. Für die Mittellinien der quadratischen Platten ergeben sich aus dieser Rechnung die Werte für p , welche in Zusammenstellung XXXIII in der Spalte neben den Senkungsgrößen η angegeben sind. In Textabb. 37 sind diese Werte

zu den Linien ab und cd vereinigt, welche ein Bild von der Verteilung des Druckes längs der Mittellinien der großen und kleinen Platte geben.

Wie für die quadratischen Platten sind auch die Senkungsgrößen η für eine rechteckige Platte von $240 \times 24 \text{ cm}$, etwa einer Eisenbahnschwelle zu rechnen. Für die Mittellinie AB (Textabb. 38) der Platte wurden p wieder unter Zugrundlegung des Wertes $K = 10_1$ folgende Zahlen erhalten.

Zusammenstellung XXXIV.

In der Mitte	$\eta_0 = 144,8$	$p_0 = 0,846 \text{ kg/qcm}$
12 cm von der „	$\eta_1 = 144,6$	$p_1 = 0,847$ „
24 cm „ „	$\eta_2 = 144,4$	$p_2 = 0,849$ „
36 cm „ „	$\eta_3 = 144,1$	$p_3 = 0,851$ „
48 cm „ „	$\eta_4 = 143,7$	$p_4 = 0,853$ „
60 cm „ „	$\eta_5 = 143,1$	$p_5 = 0,856$ „
72 cm „ „	$\eta_6 = 142,0$	$p_6 = 0,863$ „
84 cm „ „	$\eta_7 = 139,9$	$p_7 = 0,876$ „
96 cm „ „	$\eta_8 = 135,2$	$p_8 = 0,907$ „
108 cm „ „	$\eta_9 = 122,4$	$p_9 = 1,001$ „
120 cm „ „	$\eta_{10} = 72,4$	$p_{10} = 1,690$ „

In Textabb. 38 gibt die Linie JKL ein Bild von den Senkungen längs der Mittellinie EF , NKN' die Verteilung längs GH an. Die Senkungen an den Kanten AB und CD werden durch die Linie MNO , die Senkungen an den Kanten BC und AD durch MJM' dargestellt. Bestimmt man den Inhalt des von der η -Fläche $MNLOKJ$, von den wagerechten und den lotrechten Ebenen eingeschlossenen Körpers und dividiert ihn durch die Grundfläche $ABCD$, so erhält man wieder die mittlere Senkung, nämlich

$$\eta_m = 122,5.$$

Aus Gl. 50) kann nun der Druck, der durch die Belastung von $0,1 \text{ kg/qcm}$ unter der Platte an verschiedenen Stellen hervorgerufen wird, berechnet werden. Mit den so gerechneten Werten von p , die in der obigen Zusammenstellung neben den Größen η angegeben sind, wurden die Schaulinien der Textabb. 38 erhalten, welche die Fläche $mno l k j$ begrenzen und ein Bild von der eigenartigen Druckverteilung unter der als starr angenommenen Schwelle geben.

Eine derartige starre Schwelle kommt im Eisenbahnbau freilich nicht vor. Die Betrachtung des Schaubildes zeigt aber doch, wie die im Eisenbahnbau geübte Praxis, die Schwellen an den Enden stärker zu stopfen, als in der Mitte mit der tatsächlichen Beanspruchung der Bettung im Einklang steht.

X. Schlufsbetrachtung.

Die folgenden sicheren Ergebnisse sind durch diese Betrachtungen erzielt.

Jede Belastung, auch die kleinste, ruft eine elastische und eine bleibende Senkung am Erdboden hervor. Wegen der elastischen Nachwirkung ist die Größe dieser Senkung nicht nur von der Größe der jeweiligen Belastung, sondern auch von der Zahl und Größe der vorausgegangenen Lasten abhängig.

Die Senkungen nehmen bei derselben Druckplatte mit der Größe der aufgetragenen Lasten zu. Ihre Abhängigkeit ist gegeben durch Gl. 5) und innerhalb gewisser Grenzen auch

durch Gl. 14). Die ganz allgemein als gültig angesehene Winkler'sche Annahme der Gl. 1) ist hier also nicht streng zutreffend, obschon gegen ihre Benutzung zur Ableitung näherungsweise gültiger Schlusfolgerungen innerhalb gewisser Grenzen nichts einzuwenden ist.

Jede Belastung erzeugt eine bleibende Verdrückung des Erdkörpers. Die zulässige Belastung des Gleisbettes muß also davon abhängig gemacht werden, welche bleibende Verdrückung noch als zulässig angesehen werden kann. Da von der Größe der bleibenden Senkung das Maß der am Gleise erforderlichen Unterhaltungsarbeiten abhängt, ist diese Frage für den Eisenbahnbau von Bedeutung. Die Größe der bleibenden Verdrückung ist mit durch die Anzahl der Belastungen bedingt; die zulässige Belastung darf daher für geringen Verkehr größer gewählt werden, als für starken.

Bei Platten verschiedener Größe ergeben sich die Senkungen auch bei gleicher Flächenbelastung ungleich groß. Für die eingehend untersuchten Platten von quadratischer Form lassen sich die Senkungen mit dem Verhältnisse der Druckfläche zum Umfange in eine Beziehung bringen, die durch Gl. 19) gegeben ist. Die Bettungsziffer ändert sich demnach mit der Form und Größe der Schwellen, und man hat es in der Hand, die Gleislage bei schlechten Untergrund- oder Boden-Verhältnissen zu verbessern, indem man beispielsweise die Schwellen verkleinert, ihre Anzahl aber der kleineren Fläche entsprechend vermehrt.

In der Umgebung der belasteten Druckflächen werden an der Oberfläche des Erdkörpers Senkungen hervorgerufen, deren Gesetz durch Gl. 24) gegeben ist. Dieser Umstand gestattet nach dem Vorgange Engessers die Senkungen bei Platten verschiedener Form und Größe zu berechnen und gibt gleichzeitig über die Verteilung des Druckes unter den Druckplatten Aufschluß. Die theoretischen stimmen mit den Versuchsergebnissen gut überein.

Die Beobachtungen, welche an Kieslagen verschiedener Höhe gemacht sind, zeigen, daß die elastischen und bleibenden Verdrückungen an der Oberfläche und am Untergrunde mit wachsender Kieshöhe kleiner werden, aber nur bis zu einer gewissen Grenze. Für die Verhältnisse, unter denen der Versuch stattfand, ergab sich, daß die Senkungen bei 48 cm Kieshöhe an der Oberfläche keine, am Untergrunde eine nur unbedeutende Verringerung erfuhren, so daß für diese Verhältnisse die günstigste Bettungstärke bei 48 cm liegt. Der Versuch tut also dar, daß fortgesetzte Erhöhung der Gleisbettung nicht in demselben Maße eine Verminderung der Senkungen bewirkt und von einer gewissen Grenze an unvorteilhaft wird, da die aufgewendeten Mehrkosten in keinem Verhältnisse zur erzielten Verbesserung stehen. Nur bei ganz schlechtem Untergrunde wird es sich empfehlen, die Bettung über diese Grenze hinaus zu erhöhen. Die Grenze der günstigsten Bettungsstärke kann nur auf dem Wege des Versuches gefunden werden, ähnlich wie es hier gezeigt ist.

SCHNELLFAHRVERSUCHE

MIT

DREI VERSCHIEDENEN LOKOMOTIVGATTUNGEN

AUF DER

STRECKE HANNOVER-SPANDAU.

VON

LEITZMANN,

Geheimem Baurate zu Darmstadt.

Mit Zeichnungen auf den Tafeln XLIII und XLIV.

ERGÄNZUNGSHEFT ZUM ORGAN FÜR DIE FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS, JAHRGANG 1906.

WIESBADEN.

C. W. KREIDEL'S VERLAG.

1906.

Schnellfahrversuche mit drei verschiedenen Lokomotivgattungen auf der Strecke Hannover-Spandau.*)

Von Leitzmann, Geheimm Baurate zu Darmstadt.

Hierzu Zeichnungen auf den Tafeln XLIII und XLIV.

I. Einleitung.

Nach den auf der Militäreisenbahn mit verschiedenen Dampf-Lokomotiven ausgeführten Versuchsfahrten trat das Bedürfnis hervor, diese Versuche auf längeren Strecken zu wiederholen; denn wenn die Versuchsfahrten auch genügten, die Anzugskraft der Lokomotiven und die Zugbeschleunigung festzustellen und allenfalls, wenn auch nur für eine kurze Zeit, eine höhere Geschwindigkeit zu erreichen und den Gang der Lokomotiven und Wagen bei einer solchen zu beobachten, so versagten sie doch vollständig, um über alle diejenigen Dinge ein Urteil zu gewinnen, die mit einer Dauerleistung und den Beharrungszuständen der Dampfbildung und der Lokomotivleistung im Zusammenhange stehen. Hierzu gehört namentlich der Heizstoffverbrauch, denn für diese wichtige Bestimmung ist unter Umständen eine wenigstens einstündige Fahrt erforderlich.

Bei den im folgenden zu beschreibenden Versuchsfahrten auf einer 243,5 km langen Strecke und bei einer mehr als zweistündigen Fahrzeit war die zum Anheizen der Lokomotiven nötige Kohlenmenge immer noch 25% der auf der Fahrt verbrauchten. Wie soll nun die Anheizkohle in Rechnung gestellt werden; denn daß das geschehen müßte, wenn der Zustand der Feuerung am Ende der Fahrt nicht genau derselbe ist, wie bei der Abfahrt, ist zweifellos. Eine gewisse Menge des auf dem Roste kurz vor der Abfahrt teilweise verglühten Heizstoffes kommt erst auf der Fahrt selbst vollständig zum Verbrennen, aber in welchem Verhältnisse die Wärmemenge zu verteilen ist, kann nur schwer festgestellt werden. Es könnte dies annähernd dadurch geschehen, und ist auch vom Verfasser einigemal ausgeführt worden, daß die vorher gewogene Feuerung im Zustande vor der Abfahrt rasch entfernt, abgelöscht, ausgeglüht und hierauf nochmals gewogen, und dies nach dem Ende einer Versuchsfahrt wiederholt wird. Allein auch dieses umständliche Mittel kann für verschiedene Fahrten nicht als gleichwertig gelten.

Die Versuchstrecke der Militärbahn von Marienfelde bis Zossen war aber noch viel kürzer, so daß ein Beharrungszustand nicht erreicht werden konnte, die Fahrzeit würde bei einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 100 km/St. nur 14 Minuten betragen.

Um aber zu untersuchen, ob ein Lokomotivkessel in der Dampfbildung aushält, ist es unerläßlich, die Versuchsfahrten viel weiter auszudehnen. Soll ferner auch ein Urteil über die Leistungen im Beharrungszustande gewonnen werden, so muß dieser mindestens auf 10 Minuten hergestellt werden können. Hierzu gehört eine Versuchstrecke, die innerhalb einer solchen Fahrzeit keine Brechpunkte und Bahnkrümmungen enthält, die also eine Gerade von mindestens 20 km haben muß.

Eine weitere zu erörternde Frage ist die, mit welcher Zugstärke solche Versuche anzustellen sind. Handelt es sich

um die gründliche Ausprobung einer Lokomotivbauart, so müssen die Versuche zwischen den weitesten Grenzen liegen. Liegt aber, wie hier, der Fall vor, daß eine neue Betriebsweise versucht werden soll, so tritt die wirtschaftliche Frage in den Vordergrund, so daß erst festgestellt werden muß, bis zu welcher Zugstärke herab sich ein Eisenbahnzug noch bezahlt macht. Diese beispielsweise bei der französischen Nordbahn gelöste Aufgabe hat zu dem Ergebnisse geführt, daß diese Zugstärke unter den dortigen Verhältnissen 30 Achsen beträgt. Die drei auf der Strecke Paris—Calais verkehrenden Expresszüge, trains rapides, bestehen in der Regel aus sieben vierachsigen Personenwagen und einem Gepäckwagen mit einem Gewichte von etwa $30 \cdot 8,75 = 262,5$ t. Sie werden durch die fast in ganz Frankreich allgemein eingeführten $\frac{2}{5}$ gekuppelten, vierzylindrigen Lokomotiven der Atlantic-Form, Bauart de Glehn, mit einer Grundgeschwindigkeit von 120 km/St. befördert. Um sich von der Dauerleistung dieser Lokomotiven zu überzeugen, hat der Verfasser einer solchen Fahrt von Paris bis Calais auf der Lokomotive beigewohnt, und hierauf auch auf der Paris-Orleans-Bahn. Die Mitfahrt auf der ganzen Strecke ist durchaus nötig, wenn man sehen will, ob die Heizfläche von 215 qm mit Serve-Röhren zu einer solchen Leistung ausreicht, oder ob die Dampfbildung, und mit dieser auch die Lokomotivleistung, durch Flugasche, die sich an der kupfernen Rohrwand ansetzt, oder die Heizrohre innen verstopft, wie dies bei uns wiederholt beobachtet wurde, merklich nachläßt; dies war dort aber nicht der Fall. Hieraus ist schon der Schluß zu ziehen, daß für lange Fahrten ohne Lokomotivwechsel, zur Steigerung des Fahrbereiches der Dampf-Lokomotive durchaus reine Kohle zur Verwendung kommen muß. Besonders kann bei den gerippten Heizrohren unreine Kohle sehr störend wirken. Wenn man die Versuchslokomotive mit zwei Unterdruckmessern an der Rauchkammer und Feuerbuchse ausrüstet, so bemerkt man die Abnahme der Leistung sehr bald an dem Sinken des letztern, während die Luftverdünnung in der Rauchkammer unverändert bleibt. Die nächste Folge ist eine Abnahme der Dampfspannung im Kessel, und ein Sinken des Wasserspiegels. Der regelmäßige Fortgang des Versuches ist dann gestört. Eine für solche Dauerleistungen passende Kohle darf nicht mehr als 7% erdige Bestandteile enthalten. Die chemische Untersuchung der Zusammensetzung dieser Stoffe ergab, daß sie vorzugsweise aus Eisenoxyd- und Tonerde-Silikat bestehen. Setzt sich diese Masse an der Rohrwand an, und verengt die Heizrohröffnungen, so gibt dies Veranlassung, die Rohrwand durch Abstofsen der Masse während der Fahrt wieder frei zu machen, wobei aber die Feuertür viel zu lange geöffnet bleibt. Überhaupt ist das zu lange Öffnen der Feuertür bei Schnellfahrten von höchst nachteiliger Wirkung, da hierdurch, und zwar schon bei der ge-

*) Vergl. Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbefleißes, 1906, S. 61.

Bezüglich der anderweiten Versuche des Verfassers wird auf Organ 1906, S. 131 und 335 verwiesen.

wöhnlichen Rostbeschickung mit Klapptüren, während einem Drittel der Fahrzeit die Saugwirkung und damit die Verdampfung niedriger, und durch den ungewöhnlich starken Zug eine erhebliche überflüssige Luftmenge eingesaugt wird, die eine starke Abkühlung der unmittelbaren Heizfläche und große Wärmeverluste herbeiführt.

Die an der französischen Nordbahn als geringste festgesetzte Zugstärke kann nun aber für unsere Verhältnisse nicht als maßgebend betrachtet werden, sie ist vielmehr aus verschiedenen Gründen zu erhöhen. Denn in unseren meist schwächer besetzten D-Zügen werden oft auch Reisende III. Klasse befördert; wir haben ferner in der Regel einen schweren Gepäckwagen und einen Speise-, Schlaf- und Post-Wagen mitzuführen. Deshalb dürfte eine Zugstärke von mindestens 40 Achsen anzunehmen und die Lokomotivkraft hiernach zu bemessen sein. Aus diesem Grunde sind auch die Versuche vorzugsweise mit dieser Zugstärke ausgeführt und nur deshalb noch mit 20 Achsen wiederholt worden, um mit den jetzt vorhandenen, schwächeren Lokomotiven Geschwindigkeiten von 120 km/St. und darüber überhaupt zu erreichen. Dies war auch von Wichtigkeit für die Untersuchung, in welchem Grade sich die Lokomotivkraft mit der Heizfläche steigert, und ob der gegenwärtige Oberbau solche Geschwindigkeiten zulässt.

Nach dem französischen Vorgange stand also fest, daß Lokomotiven mit 215 qm Heizfläche Züge von 262,5 t Gewicht mit 120 km/St. Grundgeschwindigkeit befördern können. Die Zylinderdruck-Leistung einer Lokomotive kann nun nach eigenen Versuchen des Verfassers bei der günstigsten Geschwindigkeit durch eine Formel $L = A + B \cdot H$ dargestellt werden, worin H die Heizfläche bezeichnet, und die Werte A und B von der Geschwindigkeit abhängen. Für Verbund-Lokomotiven kann ziemlich allgemein die Formel

$$L = a v + b H + c H v = v + 3 H + \frac{H v}{25}$$

zur Anwendung kommen. Für Zwillings-Lokomotiven lautet die Formel angenähert $L = 0,5 \cdot v + 2,5 H + \frac{H v}{30}$.

Die Werte a, b und c hängen eigentlich von den Hauptabmessungen der Lokomotive und der Triebachsreibung ab; sie ändern sich aber nur wenig, da diese Größen in der Regel der Heizfläche und Zuggeschwindigkeit angepaßt sind. Im weitem Verlaufe dieser Abhandlung werde ich nochmals auf diesen Gegenstand zurückkommen. Diese durch Rechnung und bildliche Darstellung aus den Ergebnissen zahlreicher Versuchsfahrten erlangten Formeln geben für einige bekannte Lokomotivbauarten folgende Werte:

Zusammenstellung f.

Nr.	Bauart		Lokomotive	Heizfläche	Geschwindigkeit	Dampfdruck-Leistung	
	gekuppelt	Zylinder		H qm	v km/St.	L in P.S. wirklich	gerechnet
1	3/3	2	Zwillings-Güterzug	125	40	499	500
2	4/4	2	Verbund- „	140	40	650	684
3	3/4	2	Zwillings-Eilgut . .	135	40	544	528
4	2/3	2	„ Personen	95	80	538	550
5	2/4	2	„ „	125	80	676	686

Ferner ergibt sich die Leistung der 2/5 gekuppelten Vierzylinder-Verbund-Schnellzug-Lokomotive

Hannover mit $H = 163$ qm, $v = 100$ km/St., zu 1241 P.S.

Frankreich $\ll H = 215 \ll v = 120 \ll$ zu 1797 \ll

Die letzte Ziffer wird auch durch folgenden unmittelbar erlangten Wert bestätigt: Gewicht der Lokomotive $G_1 = 110$ t, Gewicht des Zuges $G = 262,5$ t, zusammen $G_1 + G = 372,5$ t, mittlerer Eigenwiderstand für den ganzen Zug einschließlich

$$\text{Lokomotive} \quad w = 1,5 + \frac{v^2}{1550} = 10,8 \text{ kg/t,}$$

daher ist die Dampfdruck-Leistung

$$I = \frac{372,5 \cdot 10,8 \cdot 120}{270} = 1788 \text{ P.S.,}$$

was gut mit dem obigen Werte übereinstimmt, während die Zugstärke bei der preussischen, 2/5 gekuppelten, vierzylinderigen Schnellzug-Lokomotive mit 163 qm Heizfläche bei 120 km Geschwindigkeit aus der Formel folgt:

$$1241 = \frac{(100 + G) 10,8 \cdot 120}{270}, \text{ so da\ss}$$

$$G = \frac{1241 \cdot 270}{10,8 \cdot 120} - 100 = 159 \text{ t} = \text{etwa} \frac{159}{8} = 20 \text{ Achsen.}$$

Um das im folgenden zu begründende Versuchsergebnis hier vorweg zu nehmen, sei bemerkt, daß es allerdings tatsächlich gelang, mit der hannoverschen, und annähernd auch mit der grafenstadener und der Heißdampf-Lokomotive, die kleinere Heizflächen besitzen, 20 Achsen mit 120 km/St. Geschwindigkeit zu befördern, aber nur mit der größten Anstrengung.

Eine solche Leistung dürfte also für den Betrieb nicht genügen, und daher ist man bereits mit großer Tatkraft bemüht, die Leistungsfähigkeit der Lokomotiven durch Vergrößerung der Heizfläche und Anwendung des Heißdampfes zu steigern. Daß aber besonders das letztere Mittel einen durchschlagenden Erfolg verspricht, ohne den Kessel und das Gewicht der Lokomotive zu vergrößern, wird sich unverkennbar aus den Versuchen ergeben, zu deren Beschreibung nun übergegangen werden soll.

II. Die Versuchs-Lokomotiven.

In Abb. 1 bis 3, Taf. XLIII sind die Bauarten der drei Versuchs-Lokomotiven dargestellt und in den Zusammenstellungen II und III die wichtigsten Angaben, Abmessungen und Verhältnisse angegeben.

Danach soll zunächst ein kurzer Vergleich und eine Vorausberechnung der Lokomotivkräfte angestellt werden, um ein Urteil zu gewinnen, was von jeder einzelnen Bauart zu erwarten war.

a) Die Zylinderdruck-Zugkraft

$$Z \text{ ist} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (100 \text{ dm})^2}{4} \cdot \frac{2 h}{\pi D} \cdot p_m = 100^2 \times \frac{(\text{dm})^2 h}{D} p_m = 100^2 u p_m,$$

wenn die öfters wiederkehrende Größe $\frac{(\text{dm})^2 h}{D}$ mit u bezeichnet wird.

Der mittlere wirkliche effektive Dampfdruck

$$p_m \text{ ist} = f(p + 1);$$

Zusammenstellung II.

1. Bauart und Abmessungen der Versuchs-Lokomotiven.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	608	58	6
1	Bauart	—	—	{ Nafsdampf 2/5 gekuppelt	Nafsdampf 2/5 gekuppelt	Heißdampf 2/4 gekuppelt
2	Zahl der Zylinder	—	—	4	4	2
3	Erbauer	—	—	Egestorff	Grafenstaden	Borsig
4	Lieferungsjahr	—	—	1908	1902	1903
5	Werk-Nr.	—	—	4099	5819	5215
6	Beschaffungskosten	M	—	74452	80310	69527
7	Dienstzeit seit der Anlieferung	Monate	—	6	2	2
8	Durchlaufene Kilometer	—	—	51500	2046	11560
9	Kolbendurchmesser, Hochdruck	mm	d	360	340	530
10	„ „ Niederdruck	„	d'	560	560	—
11	Kolbenhub	„	h	600	640	600
12	Triebraddurchmesser	„	D	1980	1980	1980
13	Feuerberührte Heizfläche der Feuerbuchse	qm	—	10,0	14,6	10,6
14	„ „ „ Heizrohre	„	—	152,9	140,7	91,1
15	Ganze Heizfläche	„	H	162,9	155,3	101,7
16	Heizfläche des Überhitzers	„	—	—	—	30,75
17	Ganze Rostfläche	„	F	2,70	2,72	2,27
18	Dampfüberdruck	at	p	14	14	12
19	Durchmesser der Heizrohre außen	mm	—	50	50	46
20	„ „ „ innen	„	—	45	45	41
21	Länge der Heizrohre zwischen den Rohrwänden	„	—	4450	4200	3900
22	Zahl der Heizrohre	—	—	243	237	174
23	Lichter Durchmesser des mittlern Kesselschusses	mm	—	1440	1456	1400
24	Blasrohrmündung über Kesselmitte	—	—	—240	270	135
25	Blasrohrquerschnitt	qcm	—	127,49	133,50	108,50
26	Höhe der Kesselmitte über S.O.	mm	—	2500	2550	2500
27	Zulässige Geschwindigkeit	km/St.	v	100	100	100
28	Laufreddurchmesser vorn	mm	—	1000	900	1000
29	„ „ hinten	„	—	1000	1440	—
30	Achsstand des Drehgestells	„	—	2000	1900	2200
31	Fester Achsstand, Trieb- und Kuppel-Achse	„	—	2100	2100	2660
32	Ganzer Achsstand	„	a	9000	8200	7660
33	Ganze Länge der Lokomotive	„	l	11005	11220	10810
34	Länge der Kurbelstangen	„	l ₁	1730	{ HD. 2200 ND. 1800	2600
35	Schädlicher Raum in % des Hubinhaltes	%	—	{ HD. 8 ND. 11	{ HD. 14 ND. 9	10
36	Bauart des Drehgestelles	—	—	Regel	Grafenstaden	Regel
37	Seitliche Verschiebbarkeit des Drehzapfens . . ±	mm	—	40	45	35
38	Drehung des Gestelles ±	Grad	—	10 23'	10 18'	10 3'
39	Mittelstellvorrichtung	doppelt	—	Blattfeder	Schraubenfeder	Blattfeder
40	Anfangsspannung	t	—	2,40	4,32	2,40
41	Endspannung	„	—	6,00	9,18	6,00
Achsdrucke der Lokomotive im Dienste:						
42	Vordere Drehgestellachse	t	—	8,84	9,40	12,00
43	Hintere Drehgestellachse	„	—	8,90	9,40	11,70
44	Triebachse	„	—	15,18	16,00	15,70
45	Kuppelachse	„	—	15,22	16,00	15,10
46	Hintere Laufachse	„	—	11,68	14,20	—
47	Dienstgewicht ohne Tender	„	G'	59,82	65,00	54,50
48	1. Tenderachse	„	—	10,79	10,85	10,50
49	2. „	„	—	10,77	10,85	10,50
50	3. „	„	—	10,81	13,05	10,50
51	4. „	„	—	10,99	13,05	10,50
52	Dienstgewicht	„	—	43,36	47,80	42,00
53	Ganzes Dienstgewicht, Lokomotive und Tender	„	G ₁	103,18	112,80	96,50
54	Triebachsgewicht	„	A	30,40	32,00	30,80
55	Kohlenvorrat	„	—	5,00	5,00	4,00
56	Wasservorrat	„	—	19,00	20,00	16,00

2. Verhältnisse.

Nr.	Gegenstand	Bezeichnung	Lokomotive		
			608	58	6
1	Verhältnis der Kolbenflächen	$\frac{d'^2}{d^2}$	2,42	2,71	—
2	$100^2 u =$	$\frac{100^2 (d^m)^2 h}{D}$	393	374	851
3	$100^2 u (p + 1)$	$\frac{100^2 (d^m)^2 h (p + 1)}{D}$	5895	5610	11063
4	Heizfläche : Rostfläche	H : F	60	57	45
5	" : $100^2 u$	H : $100^2 u$	0,415	0,415	0,120
6	" : $100^2 u (p + 1)$	$\frac{H}{100^2 u (p + 1)}$	0,028	0,028	0,009
7	" : Triebachsgewicht	$\frac{H}{A}$	5,36	4,85	3,30
8	Lokomotivgewicht ohne Tender: ganze Länge . .	$\frac{G'}{l}$	5,44	5,80	5,04
9	" " " Heizfläche	$\frac{G'}{H}$	0,367	0,419	0,536
10	Länge der Kurbelstange: Kurbelhalbmesser . . .	$\frac{l_1}{r}$	5,8	{ H. 6,9 N. 5,6	8,7

Zusammenstellung III.

Die an den Versuchs-Lokomotiven ausgeführten Ausbesserungsarbeiten und Änderungen.

Lokomotive	Gegenstand der Arbeiten
608 Hannover	-----
58 Köln	Heizrohr gedichtet, Kessel ausgewaschen, das linke hintere Laufachslager und beide Kurbelstangenlager der Hochdruckzylinder nachgepaßt. Linkes hinteres Laufachslager neu ausgegossen und Achsschenkel nachgedreht. Einige Heizrohre gedichtet, Feuerloch-Schutzring erneuert, am Kreuzkopfe des linken Niederdruckzylinders die beiden abgebrochenen Stiftschrauben, welche zur Befestigung des Lenkerkolbens der Steuerung dienen, erneuert, sowie die verbogenen Steuerungsteile ausgebessert und die Steuerung nachgeregelt.
6 Elberfeld	Heizrohre gedichtet, Kessel ausgewaschen, die oberen Kreuzkopfschuhe und die Kurbelstangenlager neu ausgegossen. Heizrohre gedichtet, Kessel ausgewaschen, Triebachsreifen abgedreht. Triebachslager neu ausgegossen, Achsstand berichtigt, Dampfkolben untersucht und die schädlichen Räume durch Einlegen von 5 mm starken Ringen zwischen Dampfzylinder und Deckel vergrößert. Überhitzer herausgenommen und gereinigt, Dampfkammern auf der Rauchkammer gedichtet und die Bodenbleche in der Rauchkammer geändert, sowie das Dampfrohr an der Rauchkammer-Rohrwand gedichtet. Links, vordere Kuppelstangenlager neu ausgegossen und 2 Paar Pafsstücke in der Rauchkammer erneuert.

daher ist $u (p + 1)$ ein Maßstab für die Zylinderdruck-Zugkraft.

b) Der Dampfverbrauch

$$M \text{ ist } = \frac{2 \cdot \pi \cdot (d^m)^2 \cdot \varepsilon}{4 \cdot 100} \cdot \frac{2 h \cdot v \cdot 1000}{\pi D} \cdot \gamma$$

$$= \frac{10 (d^m)^2 h}{D} \cdot \varepsilon v \gamma = 10 u \varepsilon v \gamma.$$

Das Gewichtsverhältnis des in den Zylindern zur Verwendung kommenden Dampfes γ ist $= f' (p + 1)$. so daß auch hier $u (p + 1)$ einen Maßstab für den Dampfverbrauch bildet.

c) Die Dampfentwicklung M_3 ist $= H \cdot k$, also geradlinig abhängig von der ganzen Heizfläche.

Man kann daher das rechnungsmäßige Urteil durch

folgende Vergleiche dieser die Lokomotivleistung bestimmenden Größen vorweg nehmen, wobei die Vergleichsziffer der hannoverschen Lokomotive Nr. 603 = 1 gesetzt werden soll.

Zusammenstellung IV.

Lokomotive Nr.	608	58	6
$u = \frac{(d^m)^2 h}{D}$	= 1	- 5	+ 117%
$u (p + 1)$	= 1	- 5	+ 88 <
Heizfläche H	= 1	- 5	- 37 <
Lokomotivgewicht G_1	= 1	+ 8	- 8 <
Reibungsgewicht A	= 1	+ 5	+ 1 <
Beschaffungskosten	= 1	+ 8	- 7 <

In Abb. 4, Taf. XLIV ist auch die Lage des Schwerpunktes der auf den Tragfedern ruhenden Massen angegeben; ferner können die Vorzüge und Nachteile jeder der drei Versuchslokomotiven aus der Lagerung und Verteilung, insbesondere der überhängenden Massen, aus der Länge und Breite der Rad- und Tragfeder-Stützung, sowie aus den Kräften, ihren Hebelarmen und der Übertragung der Seitenkräfte auf die Lokomotivmasse durch die Bauart der Mittelstellvorrichtung und ihrer Kräfte gegeneinander abgewogen werden.

Soweit dies durch das Gefühl des auf dem Führerstande befindlichen Beobachters beurteilt wird, dürfte die Entfernung dieses Standes vom Schwerpunkte der Lokomotive mit in Betracht zu ziehen sein, der bei der Heißdampf-Lokomotive am geringsten war.

Ebenso ist die Entfernung der Bufferbohle, auf der ein Schlingerzeichner angebracht wurde, von diesem Schwerpunkte bei der Beurteilung der schlingernden Bewegungen zu beachten.

Bezüglich des Vergleiches der beiden vierzylindrigen Lokomotiven muß bemerkt werden, daß die Lokomotive Grafenstadener Bauart trotz ihrer unverkennbaren Vorzüge unruhiger ging als die hannoversche, was in der größern Mittelstellkraft des Drehgestelles begründet zu sein scheint, durch die sich die Bewegungen des Gestelles auf die Masse der Lokomotive in höherem Maße und mit heftigeren Stößen übertragen.

Die zweizylindrige Heißdampf-Lokomotive wird bei größeren Geschwindigkeiten bezüglich der schlingernden Bewegungen wegen Mangels von Gegenläufigkeit der Triebwerksmassen in der Güte zurückstehen. Außerdem hat sich erst jetzt bei diesen Versuchen mit höheren Geschwindigkeiten auch noch eine unter Umständen empfindliche zuckende Bewegung bemerklich gemacht, auf die wir im Laufe des Berichtes näher eingehen werden.

Die Beschaffenheit der Versuchs-Lokomotiven.

Die hannoversche Lokomotive Nr. 608 war trotz der ziemlich langen vorangegangenen Dienstzeit bei starker Anstrengung seit ihrer am 29. November 1903 erfolgten Anlieferung von allen am besten im Stande; nur bei der letzten Versuchsfahrt wurden unter einer außergewöhnlich starken Anstrengung die Heizrohre undicht.

• Die Grafenstadener Lokomotive Nr. 58, Köln, war nicht in gutem Zustande. Insbesondere waren die Heizrohre in der Feuerbuchrohrwand sehr undicht und die Kurbelstangenlager, sowie das hintere, linke Laufachslager waren heiß gelaufen. Diese Mängel mußten beseitigt, und das unreine Kesselwasser abgelassen und erneuert werden. Da diese Lokomotive bei hohen Geschwindigkeiten unruhig lief, so wurde sie nach den Versuchsfahrten eingehend untersucht. Die Lager der Triebachsen hatten auf den Schenkeln in der Zugrichtung einen Spielraum von 1,5 bis 2 mm. Das Stichmaß der Achsen stimmte mit dem der Kuppelstangen überein; auch die Stellkeile waren in Ordnung und die Achslager in der Führung ebenfalls. Die Triebachsreifen waren 1,5 bis 2 mm ausgefahren, merkbare Schlaglöcher an ihnen aber nicht vorhanden. Aufser dem geringen Spielraume der Achslager konnten be-

sondere Ursachen für den unruhigen Gang der Lokomotive nicht festgestellt werden.

Die Heißdampf-Lokomotive Nr. 6, Elberfeld, war ebenfalls nicht in gutem Zustande. Die Heizrohre waren undicht und das Kesselwasser mußte erneuert werden. Außerdem waren die Kreuzköpfe und Kurbelstangenlager wegen zu großer Spielräume in den Gradführungen und der viel zu geringen Tragfläche der Lager auszubessern.

Die an den Versuchs-Lokomotiven vor und während der Versuche ausgeführten Ausbesserungen sind in der Zusammenstellung III angegeben.

Bei der Kürze der Zeit und weil die Lokomotiven der Direktionen Köln und Elberfeld nur für einige Tage entbehrt werden konnten, mußte man sich bei der betriebsfähigen Herstellung der Lokomotiven auf das wesentlichste beschränken.

III. Die Versuchstrecke.

Abb. 5, Taf. XLIII enthält den Längenschnitt der Versuchstrecke Hannover—Spandau mit den Steigungs- und Krümmungsverhältnissen. Am Oberbaue sind vor den Versuchen keinerlei Änderungen vorgenommen worden. Er besteht zum größten Teil aus Schienen Nr. 8 und 9 mit 41,0 und 43,4 kg/m Gewicht, er enthält aber auch noch Nr. 6 mit 33,4 kg/m, und hat eichene oder kieferne, stellenweise auch eiserne Querschwellen auf einer Bettung von Steinschlag oder Kies. Spurerweiterung und Schienenüberhöhung in Bahnkrümmungen entsprechen den Vorschriften für 90 km/St. Geschwindigkeit. Er hatte bei den Schnellfahrversuchen insoweit ein günstiges Ergebnis, als seine Lage unverändert blieb, so daß nach der Beendigung der Versuche keine Ausbesserungen nötig waren.

IV. Anordnung und Ausführung der Versuchsfahrten.

Gemäß den gegebenen Vorschriften wurden zwei Fahrpläne aufgestellt, die in Zusammenstellung V beigelegt sind:

- a) für 40 Achsen mit einer Zuggeschwindigkeit von 100 km/St. und
- b) für 20 Achsen und 120 km/St. unter Zulassung einer höhern Geschwindigkeit bis zu 140 km/St. auf gewissen Strecken.

Übrigens mußten die Fahrplanvorschriften beachtet werden, die für die Versuchstrecke einige erhebliche Fahrbeschränkungen enthalten. Hiernach durfte der Bahnhof Lehrte nur mit 40 km/St. Geschwindigkeit durchfahren werden, Isenbüttel, Öbisfelde und Schönhausen mit 90 km/St.; ferner erforderte die Elbbrücke bei Hämerten eine Ermäßigung der Geschwindigkeit bis zu 60 km/St. Auf dem Rückwege von Spandau bis Stendal befanden sich noch zwei Umbaustellen, die mit gemäßigter Geschwindigkeit durchfahren werden mußten.

Da vorauszusehen war, daß die Versuchszüge im Falle eines »Halt«-Signales nicht rechtzeitig zum Stehen gebracht werden würden, sind besondere Bremsversuche angestellt und die strengsten Maßregeln für die Stations- und Strecken-Bedienteten gegeben worden, um Unfälle zu verhüten. Diese Bremsversuche führten zu dem Ergebnisse, daß der Zug bei einer Geschwindigkeit von 130 km/St. und Abbremsung von 100% erst nach etwa 1400 m Bremsweg zum Stehen kam.

Zusammenstellung V.

Fahrplan

für einen Versuchszug mit Schnellzug-Lokomotiven und 5 oder 10 vierachsigen Personenwagen von Hannover nach Spandau H und zurück.

Gültig am 30. Mai und an noch weiteren Tagen 1904.

Grundgeschwindigkeit 140 bis 100 km/St.

Stärke des Zuges etwa 20 und 40 Achsen.

1. Entfernung km	2. Stationen	3. Fahrzeit M.	4. Abfahrt		5. Aufenthalt M.	6. Bei Anwendung der Höchstgeschwindigkeit		7. Kreuzung mit Zug	8. 9. Überholung des durch Zuges Zug		10. Kürzeste Fahrzeit		11. Es sind von 100 Wagenachsen zu bremsen	12. Bemerkungen
			St.	M.		St.	M.				M.	M.		
			a			b								
						1. Hinfahrt.								
8,0	Hannover P . . .		9	25		9	25				8			
7,5	Missburg		9	33		9	33				5 ¹ / ₂	73 (100)		
8,1	Lehrte P		9	38 ¹ / ₂		9	38 ¹ / ₂				3 ³ / ₄	67 (100)	Gz. 7505 wartet in Lehrte G.	
7,2	Immensen-Arpke . .		9	43 ¹ / ₂		9	42 ¹ / ₄				3	100 (100)		
4,2	Dollbergen		9	48		9	45 ¹ / ₄	6213			1 ³ / ₄	"	Bedarfszug 6213 muß in Dollbergen warten, wenn er verkehrt.	
6,0	Dedenhausen . . .		9	50 ¹ / ₂		9	47				2 ¹ / ₂	"		
7,4	Meinersen		9	54		9	49 ¹ / ₂	7207			2 ³ / ₄	"	Gz. 7207 muß in Meinersen warten.	
8,0	Leiferde		9	58 ¹ / ₂		9	52 ¹ / ₄				3 ¹ / ₂	"		
12,7	Isenbüttel		10	3 ¹ / ₂		9	55 ³ / ₄	6245			5 ³ / ₄	"	Bedarfszug 6245 ebenso in Isenbüttel.	
9,1	Fallersleben . . .		10	11 ¹ / ₂		10	11 ¹ / ₂	6885			4	87 ¹ / ₂	"	" 6885 in Fallersleben.
9,3	Vorsfelde		10	17		10	5 ¹ / ₂				6	"		
9,7	Oebisfelde	100	10	23		10	11 ¹ / ₂				6	73 (100)		
6,2	Miesterhorst . . .		10	29		10	17 ¹ / ₂				4	"		
6,2	Mieste		10	33		10	21 ¹ / ₂				4	"		
7,8	Solpke		10	37		10	25 ¹ / ₂				5	"		
6,1	Gardelegen		10	42		10	30 ¹ / ₂				4	"		
7,2	Jävenitz		10	47		10	34 ¹ / ₂	7209			4	"	Gz. 7209 in Jävenitz warten.	
6,3	Uchtsprunge . . .		10	52		10	39 ¹ / ₂				5	"		
5,8	Vinzelberg		10	56		10	43 ¹ / ₂				3 ¹ / ₂	"		
6,9	Gr. Möhringen . .		10	59 ¹ / ₂		10	47	7147			5 ¹ / ₂	"	Gz. 7147 wartet in Groß-Möhringen.	
8,0	Stendal . Ankunft	11,05	11	18	Ank.	10 ⁵² / ₂	11 ¹⁸				6 ¹ / ₂	"		
4,8	Hämerten		11	24 ¹ / ₂		11	24 ¹ / ₂				4	"		
5,7	Schönhausen . . .		11	28 ¹ / ₂		11	28 ¹ / ₂	207			2 ¹ / ₂	"	Pz. 207 muß in Schönhausen warten.	
7,3	Schönhäuser-Damm		11	31 ¹ / ₂		11	31				3 ¹ / ₄	100 (100)		
8,5	Gr. Wudicke . . .		11	36		11	34 ¹ / ₄	6211			3 ³ / ₄	"	Gz. 6211 wartet in Gross-Wudicke.	
5,6	Rathenow		11	41 ¹ / ₂		11	38	6225			2 ¹ / ₂	"	Gz. 6225 wartet in Rathenow.	
4,8	Bamme		11	45		11	40 ¹ / ₂				2	"		
8,0	Nennhausen		11	48		11	42 ¹ / ₂	6730			3 ¹ / ₄	"	Gz. 6730 wartet in Nennhausen.	
8,0	Buschow		11	53		11	45 ³ / ₄				4 ¹ / ₄	"		
8,2	Gr. Behnitz		11	58 ¹ / ₂		11	50				5 ¹ / ₂	100 (100)		
4,9	Neugarten	63 ¹ / ₂	12	04		11	55 ¹ / ₂				3	55 ¹ / ₂	73 (100)	
8,1	Wustermark		12	07		11	58 ¹ / ₂				5 ¹ / ₂	"		
5,6	Dallgow-Döberitz .		12	12		12 ⁰⁴ bis 12 ⁰⁸					3 ¹ / ₂	"	Aufenthalt von 4 Min. Döberitz bei Ank. 12,04 ist wegen Einhaltung des Abstandes von Zug 296 erforderlich.	
4,8	Staaken		12	15 ¹ / ₂		12	15				6	"		
	Spandau H Ankunft	12 ²¹ / ₂	nachm.			12	21					"		

1. Entfernung km	2. Stationen	3. Fahrzeit M.	4. Abfahrt		5. Aufenthalt M.	6. Bei Anwendung der Höchstgeschwindigkeit		7. Kreuzung mit Zug	8. 9. Überholung		10. Kürzeste Fahrzeit		11. Es sind von 100 Wagenachsen zu bremsen	12. Bemerkungen		
			St.	M.		St.	M.		des Zuges	durch Zug	M.	M.				
			a			b										
			2. Rückfahrt													
4,8	Spandau H . . .	Nehm.	3	29		3	29					6				
5,6	Staaken		3	35		3	35						3 1/2	73 (100)		
8,1	Dallgow-Döberitz . . .		3	38 1/2		3	38 1/2						5	"		
4,9	Wustermark		3	43 1/2		3	43 1/2	6212					3 1/2	"	Bedarfszug 6212 muß in Wustermark warten.	
8,2	Neugarten		3	47		3	47						5	"		
8,9	Gr. Lehnitz		3	52		3	52						4	"		
8,0	Buschow		3	57 1/2		3	56						3 1/2	100 (100)		
4,8	Nennhausen		66	4	2 1/2		3	59 1/2					2	55	"	
5,6	Bamme			4	5 1/2		4	1 1/2						2 1/2	"	
8,5	Rathenow			4	09		4	04	{ 224 6236					3 3/4	"	Pz. 224 muß in Rathenow warten.
7,3	Gr. Wudicke	4		14 1/2		4	7 1/4						3 1/4	"		
5,7	Schönhäuser-Damm . . .	4		19		4	11	6214					2 1/2	"	Gz. 6214 ebenso in Schönh.-Damm.	
4,8	Schönhausen	4		22 1/2		4	18 1/2	7216					5	"		
8,0	Hämerten	4		26 1/2		4	18 1/2						5 1/2	73 (100)		
6,9	Stendal Ankunft	433		4	58	Ank.	424	453					5 1/2	"		
5,8	Gr. Möhringen			5	3 1/2		5	3 1/2						4	"	
6,3	Vinzelberg			5	7 1/2		5	7 1/2						4	"	
7,2	Uchtsprünge		5	11 1/2		5	11 1/2						4 1/2	"		
6,1	Jävenitz		5	16		5	16						4	"		
7,8	Gardelegen		5	20		5	20						5	"		
6,2	Solpke		5	25		5	25						4	"		
6,2	Mieste		5	29		5	29	6224					4	"	Gz. 6224 muß in Mieste warten.	
4,7	Miesterhorst		5	33		5	33						6	"		
9,3	Oebisfelde		5	39		5	39	6222					5 1/2	"	Bedarfszug 6222 desgl. in Oebisfelde.	
9,1	Vorsfelde	5	44 1/2		5	44 1/2		7214				4	"	Gz. 7214 muß in Vorsfelde warten.		
12,7	Fallersleben	5	49		5	48 1/2						4	100 (100)			
8,0	Isenbüttel	5	57		5	54 1/2			(6242) (6112)			6	"	Züge 6252 u. 6112 ebenso in Isenbüttel.		
7,4	Leiferde	6	02		5	57 1/2						3	"			
6,0	Meinersen	6	6 1/2		6	0 1/2						3	88	"		
4,2	Dedenhausen	6	10 1/2		6	3 1/4						2 3/4	"			
7,2	Dollbergen	6	13		6	05		7224				1 3/4	"	Gz. 7224 ebenso in Dollbergen.		
7,2	Immensen-Arpke	6	17 1/2		6	8 1/4						3 1/4	"			
8,1	Lehrte P	6	23		6	12		6004				3 3/4	67 (100)	Bedarfszug 7669, Eilg.Z. 6016 u. Eilg.Z. 6024 müssen vor Lehrte warten.		
7,5	Misburg	6	29 1/2		6	18 1/2		242 W				6 1/2	73 (100)	Zug 242 W. wartet in Misburg, wenn Versuchszug 612 durch Lehrte fährt. Bei späterer Durchf. in Lehrte folgt Versuchszug dem Zuge 242 in Abstand.		
8,6	Hannover Ankunft	637	nachm.			6	26					7 1/2				

Bemerkungen zu Zusammenstellung V.

1. Die Versuche werden mit 5 und 10 vierachsigen Personenwagen ausgeführt.
2. Die Lokomotive wird jedesmal von der Betriebswerkmeisterei Hannover gestellt.
Betriebswerkmeisterei Stendal stellt zwischen Stendal und Spandau H einen streckenkundigen Führer.
3. Station Hannover hat die erforderliche Begleitmannschaft zu stellen.
4. Die in Spalte 6 vorstehend angegebenen Zeiten bezeichnen annähernd denjenigen Fahrplan, nach welchem bei Anwendung der kürzesten Fahrzeit die Durchfahrt oder Ankunft auf den Stationen erfolgen kann.
5. Die Bahnmeister haben hiernach die Streckenwärter zu unterweisen und sofort nach Durchfahrt des Versuchszuges die Strecke zu untersuchen. Erforderlichen Falles sind, wenn Schäden vorhanden sind, Halt- oder Langsamfahr-Signale auszustellen und die Schäden schleunigst zu beseitigen. Nach Bedarf ist die Streckenbesetzung zu verstärken.
6. Die Stationen haben für die zu erwartende frühere Ankunft und Durchfahrt des Sonderzuges die erforderlichen Anordnungen zu treffen, damit die ungebinderte Durch- oder Ein-Fahrt des Versuchs-Sonderzuges gesichert ist. Zu dem Zwecke haben die Stationen jede Abweichung vom Fahrplane, also eine frühere oder spätere Ab- oder Durch-Fahrt des Sonderzuges von Station zu Station vorzumelden, damit jede Station über die Fahrzeiten des Sonderzuges rechtzeitig verständigt ist und etwa verspätete Güterzüge zurückgehalten werden können.
7. Damit letzteres mit Sicherheit erfolgen kann, haben außerdem noch die Durchfahrt des Sonderzuges wie folgt zu melden:
 - a. auf der Hinfahrt die Station Isenbüttel an Oebisfelde, Station Oebisfelde an Gardelegen, Station Gardelegen an Stendal, Station Stendal an Schönhausen und Rathenow, Station Rathenow an Station Dallgow-Döberitz und Spandau H;
 - b. auf der Rückfahrt die Station Gr. Behnitz an Bamm, Rathenow und Stendal, Station Stendal an Gardelegen, Station Gardelegen an Oebisfelde, Station Oebisfelde an Isenbüttel, Station Isenbüttel an Lehrte P., und Station Lehrte P. an Misburg und Hannover.
8. Die Güterzüge haben die im vorstehenden Fahrplane angegebenen Überholungen auf den betreffenden Stationen auch dann abzuwarten, wenn der Sonderzug später verkehren sollte.
9. Die Besetzungen der von dem Sonderzuge zu überholenden Züge sind auf das Verkehren des Sonderzuges durch die betreffende Vorstation schriftlich aufmerksam zu machen.
10. Die Stationen Hannover, Isenbüttel, Oebisfelde, Gardelegen, Stendal, Schönhausen, Rathenow, Dallgow und Spandau H, sowie die Betriebswerkmeistereien Hannover und Stendal haben den Empfang dieses Fahrplanes dem Betriebsbüro 7 sofort telegraphisch zu bestätigen.

Der Wagenzug bestand aus vierachsigen AB-, ABC- und C-Wagen, die vorschriftsmäßig und sorgfältig geschmiert und gekuppelt wurden.

Als Heizstoff wurde gewählt: halb und halb Preßkohlen der Zeche Franziska und stückreiche Förderkohle derselben Zeche und der Zeche Minister Stein.

Die Lokomotivmannschaft, die bei dem zu anstrengenden Dienste leider gewechselt werden mußte, wurde beauftragt, möglichst genau den vorgeschriebenen Kesseldruck und den Wasserstand im Kessel zu halten, sowie bei möglichst ganz geöffnetem Regler die Steuerung nur soweit vorzulegen, wie dies der höchsten Dampfentwicklung entspricht, die durch das geschickteste Feuern anzustreben war. Leider zeigten sich hierbei die Mannschaften nicht vollständig gleichwertig.

Während der Fahrt sind von Minute zu Minute unter Benutzung der in den Zusammenstellungen VI und VII beigegebenen Vordrucke alle nötigen Beobachtungen und Messungen aufgezeichnet worden.

In Zusammenstellung VI bezeichnen:

- p den Überdruck des Dampfes im Kessel in at,
 p_1 im Hochdruckschieberkasten in at,
 p_r im Verbinder in at,
 ϵ den Füllungsgrad im Hochdruckzylinder in $\%$ des Kolbenhubes,
 ϵ' im Niederdruckzylinder,
 v die Geschwindigkeit in km/St.,

φ die Saugwirkung in der Rauchkammer in cm Wasserhöhe.

In der Spalte Bemerkungen bezeichnet:

W den Wasserstand im Kessel in mm über dem Nullpunkte,

R die Stellung des Reglers,

i das Anstellen einer Strahlpumpe,

KSpr. das der Kohlenspritze.

Ferner wurde die Wärme der Luft und des Speisewassers, besonders aber Stärke und Rückgang des Windes angemerkt, letztere nach der sechsteiligen Beaufort-Teilung, auf Grund folgender Wahrnehmungen:

Nr. 0 bezeichnet den Zustand, bei dem der Rauch senkrecht in die Höhe steigt,

< 1 bewegt Wimpel,

< 2 < Blätter,

< 3 < kleine Zweige,

< 4 < grofse "

< 5 < Baumstämme und

< 6 bedeutet Orkan mit zerstörenden Wirkungen.

Es wurden überhaupt 20 Versuchsfahrten ausgeführt, 17 mit Zügen und 3 Leerfahrten. Es stellte sich nämlich heraus, daß allerdings die vorgeschriebenen Fahrpläne hinsichtlich der ganzen Fahrzeit sicher eingehalten wurden, daß aber selbst bei der geringen Zugstärke von 20 Achsen eine Geschwindigkeit von 140 km/St. nicht erreicht werden konnte, erstens

Zusammenstellung VI.

Lok. Nr. 608.

Versuchsfahrt Nr. 12.

Tag 7. 6. 1904.

l = Luftpumpe.

W = Wasserstand in cm.

R = Regler.

k = Kohlenspritzen.

i = Strahlpumpe anstellen.

r = Rauchkammerspritzen.

St.	Min.	<i>p</i>	<i>p</i> ₁	<i>p</i> _r	ϵ	ϵ'	<i>v</i>	φ	Be- merkung	St.	Min.	<i>p</i>	<i>p</i> ₁	<i>p</i> _r	ϵ	ϵ'	<i>v</i>	φ	Be- merkung
11	18	14,4	13,5	3,9	Abfahrt Stendal				10	<i>W r</i> 18	11	50	14	13	3,2	40	110	22	<i>W</i> 9
	19	"	"	"	70		—	14	<i>i</i>		51	"	"	"	"		112	"	
	20	14,2	"	3,8	"		53	20			52	"	"	"	"		104	"	
	21	"	"	"	50		—	"	<i>i</i>		53	"	"	3,0	"		100	12	<i>i r</i>
	22	"	"	3,6	"		68	22	<i>W</i> 16		54	"	"	"	"		97	"	
	23	"	"	"	"		79	"	<i>l</i> 3 Min.		55	"	"	"	35		95	"	<i>i</i>
	24	"	"	"	"		86	24	<i>i r</i>		56	13,5	12,5	2,7	"		99	"	<i>i r</i>
	25	"	"	3,4	45		88	22	<i>W</i> 14		57	13,2	12	"	"		97	10	<i>W</i> 7
	26	"	"	3,2	40		90	19	<i>i i r</i>		58	"	"	"	"		"	"	<i>i</i>
	27	"	Elbbrücke		—		60	—	<i>R</i> zu		59	"	"	2,9	"		98	"	
	28	13	—	—	—		70	—	<i>R</i> auf	12	0	"	"	"	"		100	"	
	29	13,5	12,6	3,0	40		83	19	<i>i k r</i>		1	12,5	11,6	"	"		97	"	<i>i W</i> 3
	30	14	13	3,1	"		96	20	<i>l</i> 4 Min.		2	"	"	2,6	"		96	"	
	31	"	"	"	"		100	"	<i>i r</i>		3	"	"	"	"		90	"	<i>i r</i>
	32	"	"	"	"		102	"	<i>i</i>		4	"	"	"	"		94	"	
	33	"	"	"	"		103	"	<i>i W</i> 13		5	"	"	"	"		96	"	<i>i</i>
	34	"	"	"	35		96	19	<i>i W</i> 12		6	13	12	2,9	35		90	12	<i>i W</i> 9 r
	35	"	"	2,6	"		99	"			7	"	"	"	"		89	13	
	36	"	"	"	"		98	"	<i>i r k</i>		8	"	"	"	"		92	"	
	37	"	"	"	"		101	"	<i>i</i>		9	14	13	3,1	"		95	"	<i>i W</i> 3
	38	"	"	2,9	40		103	21	<i>W</i> 10		10	"	"	"	"		98	"	
	39	"	"	"	"		109	"	<i>i r</i>		11	"	"	3,2	40		100	15	<i>i r</i>
	40	"	"	"	"		110	"	<i>l</i> 1 Min.		12	"	"	"	"		93	"	<i>l</i> 1 M.
	41	"	"	"	"		110	25	<i>i</i>		13	"	"	"	48		100	17	<i>i r</i>
	42	14,2	13,1	3,2	42		108	"	<i>i r W</i> 11		14	13	12	3,5	52		103	19	<i>W</i> 1
	43	"	"	"	"		110	"			15	12	11	"	"		105	"	<i>R</i> zu
	44	"	"	"	"		111	28			16	11	—	—	—		—	—	<i>i i</i>
	45	14	13	3,5	45		109	26	<i>i</i>		17	"	—	—	—		—	—	<i>l</i> 2 M.
	46	"	"	"	"		108	25	<i>i r k</i>		18	"	—	—	—		—	—	
	47	"	"	"	"		104	"	<i>l</i> 1 Min.		19	"	—	—	—		—	—	
	48	"	"	"	—		115	23			20	11,5	—	—	—		—	—	<i>W</i> 5
	49	"	"	"	—		110	"	<i>i</i>					an Spandau			—	—	

Zusammenstellung VII.

Fahrt Nr. 12.

Strecke: Stendal—Spandau.

Tag 7. 6. 04.

Achsen: 40 = 317,02 t.

Wetter: NW. Nr. 3.

Durchfahrt der Stationen besonders vermerkt.

Feuertiefe: in Stendal 45 cm; in Spandau 20 cm.

Wasserstand: in Stendal in Spandau

Kohlenverbrauch zum Anheizen 750 kg
auf der Fahrt 3250 "

Im Tender: 1380 mm 610 mm
Im Kessel: 180 " 50 "

Asche: 7 Körbe = 320 kg.
Lösche: 14 " = 460 "

Wasserbrauch: 9845 kg.

$\epsilon = 43$; $\epsilon' = -$; $p = 14$.
 $p_1 = 13$; $p_r = 3,3$; $v = 110$.
 $\varphi = 26$; $\epsilon v = 4730$.

Gepumpt = 32 mal,
Rauchkammerspritze = 14 "
Rostspritze = 3 "
Öler 66 Min.,
Luftpumpe 12 "
Schlabberwasser 190 l
Abblasen —
Dampfneße —
Blashahn —
Thalfahrt —

Beharrungszustand: 43. 110.

Wärme: Luft 20° C. Wasser 18° C.

Bemerkungen.

Kohlenverbrauch:

Zum Anheizen und Zurechtmachen	750 kg	Preiskohlen
Vorrat für die Fahrt	1500 "	"
	2250 "	Förderkohlen
Rest in Berlin	500 "	"
Verbrauch auf der Fahrt	3250 kg	

Schmiermittel-Verbrauch:

a) Mineralöl:	b) Mischöl:
Zum Füllen der Schmiergefäße	Zum Füllen der Schmiergefäße
Vorrat für die Fahrt	Vorrat für die Fahrt
Rest in Hannover	Rest in Hannover
Verbrauch für die Fahrt 12 und 13	Verbrauch für die Fahrt 12 und 13

weil die auf einander folgenden Fahrbeschränkungen bei den ungenügenden Lokomotivkräften dies verhinderten, dann weil die Versuchs-Lokomotiven, mit Ausnahme der hannoverschen, schon bei etwa 120 km/St. anfangen, unruhig zu gehen.

Da also ein Vergleich zwischen den drei Lokomotivbauarten bei diesen hohen Geschwindigkeiten überhaupt nicht angestellt werden konnte, so wurden die Versuche mit noch geringerer Zugstärke nicht wiederholt, sondern auf drei Leerfahrten beschränkt, über deren Ausfall im folgenden ebenfalls berichtet werden wird.

Auf Grund der Versuche stellte sich ferner durch Rechnung heraus, daß auch die hannoversche Lokomotive höchstens 2 Wagen mit 140 km/St. hätte befördern können.

V. Ergebnisse der Versuchsfahrten.

Von den oben erwähnten 17 Versuchsfahrten müssen einige vom Vergleiche ausgeschlossen werden.

Zuerst ist zu berichten, daß der Aufenthalt in Spandau zwischen der Hin- und Rückfahrt öfter nicht zur Instandsetzung der Lokomotiven ausreichte, und da ferner die Rückfahrten auch noch durch die Umbaustellen beeinträchtigt wurden und bei der Lokomotive Nr. 58 zwei solche durch Ausschmelzen eines Kurbelstangenlagers und durch Bruch eines Steuerungsteiles gestört wurden, so haben wir die Rückfahrten außer Acht gelassen und nur die Hinfahrten in Vergleich gestellt. Aber auch von diesen fallen einige aus, nämlich die Nr. 1 der hannoverschen Lokomotive Nr. 601, die nicht im guten Zustande war, und da bei dieser ersten Fahrt auch der Heizstoff nicht genügte, so mußte für die folgenden Fahrten eine andere Lokomotive derselben Bauart und der oben näher bezeichnete Heizstoff ausgewählt werden.

Ferner ist die Fahrt Nr. 5, weil die Rückfahrt mißlang, durch Nr. 10 wiederholt und ergänzt worden, und die Fahrt Nr. 8 der Heißdampf-Lokomotive wurde durch Nr. 16 nach erfolgter Vergrößerung der schädlichen Räume in den Dampfzylindern wiederholt.

Hiernach blieben zur Anstellung des Vergleiches nur die folgenden Versuchsfahrten übrig:

Lokomotive	bei 40	Versuchsnummern	
		Nr. 12	Nr. 14
608	<	<	<
58	<	3	10
6	<	6	8

In Zusammenstellung VIII sind trotzdem die wichtigsten Ergebnisse aller Versuchsfahrten beigelegt, während Zusammenstellung IX die besonderen Angaben über die sechs ausgewählten Vergleichsfahrten enthält, sich daher nur auf diese bezieht.

Die Wirkungen der Fahrbeschränkungen wurden aus den besonders angestellten Bremsversuchen und den bei allen Fahrten beobachteten Beschleunigungen durch Rechnung tunlichst genau ermittelt. Hierbei sind jedoch nur die ungleich aufgetretenen, aufsergewöhnlichen Fahrbeschränkungen berücksichtigt und die nach den Fahrplanvorschriften gleichmäßig zu beachtenden vernachlässigt worden.

Der Zeitverlust durch Langsamfahren auf einer bestimmten Strecke wird herbeigeführt durch eine Verzögerung, eine Beschleunigung und unter Umständen eine dazwischen liegende ermäßigte Geschwindigkeit.

Werden die fahrplanmäßigen Zeiten mit lateinischen und die wirklichen mit deutschen Buchstaben bezeichnet, so ist der ganze zu ermittelnde Zeitverlust

$$t - t' = \Sigma t - \Sigma t' = t_1 + t_2 + t_3 - (t_1' + t_2' + t_3')$$

Wird nun die gleichmäßig angenommene Verzögerung beim Bremsen mit f_1 und die Beschleunigung beim Wiedereingesetzen des Zuges mit f_2 bezeichnet, so ist bei einem Geschwindigkeitsverluste $v - v'$

$$t_1 = \frac{v - v'}{f_1} \quad \text{und} \quad t_2 = \frac{v - v'}{f_2}$$

ferner

$$t_1' = \frac{v + v'}{2v} \cdot t_1 \quad \text{und} \quad t_2' = \frac{v + v'}{2v} \cdot t_2$$

daher der Zeitverlust

$$t_1 - t_1' + t_2 - t_2' = \left(1 - \frac{v + v'}{2v}\right)(t_1 + t_2) \\ = \frac{v - v'}{v} \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Liegt zwischen dem Bremsen und Beschleunigen eine langsam mit gleichförmiger Geschwindigkeit v' durchfahrene Strecke, so tritt noch der Zeitverlust $t_3 - t_3' = t_3 \left(1 - \frac{v'}{v}\right)$

= $\frac{v - v'}{v} \cdot t_3$ hinzu, so daß dann der ganze Zeitverlust

$$t - t' = \frac{v - v'}{v} \left(\frac{t_1 + t_2}{2} + t_3 \right)$$

beträgt.

Zusammenstellung VIII.

Erläuterungen.
 Zuggewicht 40 Achsen = 317,92 t.
 " 20 " = 156,40 t.
 Fahrzeit nach dem Zugführerberichte einschließlich
 aller Aufenthalte Nr. 6.

Wasserverlust: Strahlpumpe anstellen 1 mal = 6 kg
 " Rauchkammerspritze anstellen 1 mal = 10 "
 " Kohlenspritze anstellen 1 mal = 10 "
 Dampfverlust: Luftpumpe 1 Min. = 16 "
 " Öler 1 " = 1,25 "

Nr.	Gegenstand	Einheit	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		
			hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	hin	zurück	
1	Zugrichtung		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																		
2	Versuchsfahrt Nr.		30./5.	30./5.	1./6.	1./6.	2./6.	3./6.	3./6.	4./6.	4./6.	6./6.	6./6.	7./6.	7./6.	8./6.	8./6.	10./6.	10./6.																		
3	Tag		30./5.	30./5.	1./6.	1./6.	2./6.	3./6.	3./6.	4./6.	4./6.	6./6.	6./6.	7./6.	7./6.	8./6.	8./6.	10./6.	10./6.																		
4	Zugstärke	Achsen	40	40	40	40	20	40	40	20	20	20	20	40	40	20	20	20	20																		
5	Lokomotive Nr.		601	601	58	58	58	6	6	6	6	58	58	608	608	608	608	6	6																		
6	Fahrzeit einschließlich aller Aufenthalte	Min.	217	220	195	202	173	179	206	171	183	171	227	176	189	171	183	173	188																		
7	Aufenthalte	"	17	31	25	17	17	15	26	23	31	18	50	19	25	28	35	21	36																		
8	Fahrzeit ohne Aufenthalte	"	200	189	170	185	156	164	180	148	152	153	177	157	164	143	148	152	152																		
9	Durchschnittliche Geschwindigkeit nach Abzug aller Zwischenhalte	km	73,5	77,5	86	79	94	89	86	98	97	96	82	93	90	102	99	96	96																		
10	Größte erreichte Geschwindigkeit	"	95	103	112	112	128	112	110	124	125	129	116	125	109	133	128	120	122																		
11	Kohlenverbrauch zum Anheizen	kg	420	450	750	750	750	500	280	600	300	750	550	750	500	750	570	550	350																		
12	Kohlenverbrauch auf der Fahrt	"	2610	3250	3350	3350	2530	2630	3440	2800	3100	2820	2900	3250	3900	3360	3450	2950	2450																		
13	Wasserverbrauch aus dem Tender	"	24290	25220	25070	27390	20800	17350	19780	17130	16510	23120	21160	25400	28580	25000	23580	16800	15500																		
14	Wasserverbrauch aus dem Kessel	"	1364	490	455	638	660	975	1460	1250	770	576	1717	1182	1635	12700	1817	339	870																		
15	Ölverbrauch Mineralöl	"	nicht	nicht	10	10	11,5	—	—	—	—	11,5	11,5	7,5	7,5	7	7	—	—																		
16	" Mischöl	"	ge-	ge-	3,5	3,5	3,5	5,75	5,75	8,95	8,95	3,5	3,5	4	4	3	3	8,5	8,5																		
17	" Heißdampföl	"	messen	messen	—	—	—	0,95	0,95	1,3	1,3	—	—	—	—	—	—	1,6	1,6																		
18	Talg	"	—	—	2,0	2,0	2,5	—	—	—	—	2,0	2,0	—	—	—	—	—	—																		
19	Rückstände Rauchkammer	"	366	420	405	550	330	330	510	430	660	460	420	460	600	485	700	600	650																		
20	" Aschkasten	"	161	185	184	230	260	230	270	300	410	520	320	320	280	325	320	250	230																		
21	Wind Stärke	Nr.	3	3	2	2	0	2	2	2	2	2	3	3	4	3	3	4	3																		
22	" Richtung		NO.	SO.	NW.	W.	still	SW.	SW.	NW.	NW.	SO.	NW.	NW.	W.	NO.	W.	O.	O.																		
23	Beharrungs-Zustand																																				
	Füllung	%	35	45	50 u. 60	45 u. 75	40 u. 75	32	30	30	30	45 u. 60	40 u. 60	42	40	40	40	30	30																		
24	" Geschwindigkeit	km/St.	89	97,1	106	102	117	108	106	118	116	118	107	108	99	124	122	118	118																		
25	Strahlpumpe angestellt	mal	114	104	102	107	95	94	97	88	90	90	105	86	94	88	97	74	82																		
26	" Wasserverlust	kg	680	624	612	642	570	564	582	530	540	540	630	504	550	530	582	450	490																		
27	Rauchkammerspritze	mal	13	15	13	6	11	12	10	13	11	11	16	32	29	24	31	25	29																		
28	Wasserverlust	kg	130	150	130	60	110	120	100	130	110	110	160	320	290	240	310	250	290																		
29	Luftpumpe	Min.	32	49	39	38	34	25	33	33	29	27	49	31	42	23	39	25	25																		
30	" Dampfverlust	kg	510	780	630	592	540	400	524	524	460	430	780	500	680	370	630	400	400																		
31	Kohlenspritze	mal	13	7	10	16	5	7	8	11	6	9	14	7	9	6	5	11	9																		
32	" Wasserverlust	kg	130	70	100	160	50	70	80	110	60	90	140	70	90	60	50	110	90																		
33	Öler	Min.	204	229	182	189	158	—	geht ohne Dampf				169	208	162	166	147	155	ohne Dampf																		
34	" Dampfverlust	kg	250	290	230	240	200	—	—	—	—	210	265	200	210	180	190	—	—																		

Ist $v' = 0$, hat also der Zug t_3 Sek. gehalten, so ist dieser Verlust $= \frac{t_1 + t_2}{2} + t_3$.

Ist beispielsweise die Bremszeit $t_1 = 1$ Min., und hat der Zug $t_3 = 1$ Min. vor einem Signale gelegen und ist die Zeit der Beschleunigung $t_2 = 6$ Min., so ist der Zeitverlust $\frac{1 + 6}{2} + 1 = 4\frac{1}{2}$ Minuten.

Aus den Bremsversuchen ergab sich die Verzögerung

$$f_1 = \frac{v^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot s} = \frac{v - v'}{3,6 \cdot t_1}; \text{ also } t_1 = \frac{v - v'}{3,6 \cdot f_1}$$

$$f_1 \text{ war} = \frac{130^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot 1400} = 1,7 \text{ km/Sek.}$$

Die Beschleunigung

$$f_2 = \frac{v - v'}{3,6 t_2} \text{ war beispielsweise bei 40 Achsen}$$

$$= \frac{100}{3,6 \cdot 10} \text{ km/Min.} = \frac{100}{3,6 \cdot 10 \cdot 60} = \frac{1}{6} \text{ km/Sek.}$$

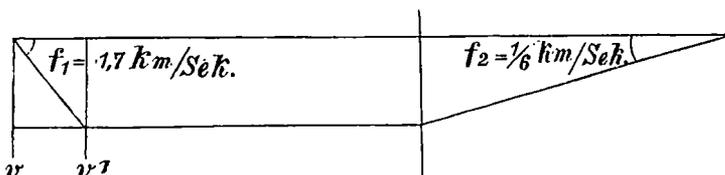
Zusammenstellung IX.

Fahrzeiten und Geschwindigkeiten der 6 Versuchsfahrten.

Nr.	Gegenstand	Zugstärke					
		40 Achsen			20 Achsen		
1	Lokomotiv-Nr.	608	58	6	608	58	6
2	Fahrt Nr.	12	3	6	14	10	8
3	Tag	7./6.	1./7.	3./6.	8./6.	6./6.	4./6.
4	Ganze Fahrzeit einschließlich aller Aufenthalte . Min.	176	195	179	171	171	171
5	Aufenthalt in Stendal . . .	19	15	15	28	18	20
6	Sonstige Aufenthalte . . .	—	10	—	—	—	3
7	Außerdem als Zeitverlust abzuziehen	—	4	2	—	—	3
8	Zeitverluste zusammen . . .	19	29	17	28	18	26
9	Berechnete Fahrzeit	157	166	162	143	153	145
10	Berechnete Geschwindigkeit .	93	88	90	103	95	101
11	Windrichtung	NW	NW	SW	NO	SW	NW
12	Windstärke	3	2	2	2	2	2

Auf diese Weise sind die Fahrbeschränkungen in Rechnung gestellt worden; sie können auch bildlich nach Textabb. 1 ermittelt werden.

Abb. 1.



Auch die Wirkung des Windes konnte in brauchbarer Weise ermittelt werden.

Bei der Fahrt 12 mit der Lokomotive 608 am 7. Juni herrschte bei der Hinfahrt ziemlich heftiger Gegenwind, der bei der Rückfahrt anhielt und hier also nicht nachteilig war. Da die Verhältnisse beider Fahrten sonst gleich waren, auch die Strecken als solche zu betrachten sind, so bot sich hier

Zusammenstellung X.

Förderleistungen.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	Lokomotive Nr.					
				608	58	6	608	58	6
1	Länge der Versuchstrecke	km	s	248,5					
2	Zugstärke	Achsen	n		40			20	
3	Zuggewicht	t	G		320			158	
4	Gewicht einer Achse	t	—		8,0			7,9	
5	Achskm.	—	ns		9740			4870	
6	Nutz-tkm.	—	Gs		77920			38473	
7	Durchschnittliches Lokomotivdienstgewicht . . .	t	G ₁	94	103	89	94	103	89
8	Brutto-tkm.	—	(G ₁ + G)s	100809	103000	99592	61362	63554	60145

eine Gelegenheit, den Einfluss eines Windes von dieser Stärke als Kopfwind zu beurteilen. Der Unterschied beider Fahrzeiten war $2\frac{1}{2}$ Minuten in der Stunde, also 4⁰/₀.

Unter laufender Nr. 24 der Zusammenstellung VIII sind diejenigen Geschwindigkeiten angegeben, die dauernd erhalten werden konnten; die erreichten höchsten Geschwindigkeiten sind in Abb. 6 und 7, Taf. XLIII und Zusammenstellung VIII ebenfalls eingetragen.

Den Wasserstand im Kessel vollständig zu erhalten, wurde nur zeitweise und nicht für die ganze Fahrt erreicht; um nun zu beurteilen, in welchem Verhältnisse die Kesselleistungen in dieser Beziehung zu einander stehen, ist der veränderliche Wasserstand im Kessel in Abb. 8 und 9, Taf. XLIII besonders dargestellt.

Über die Gangart der Versuchslokomotiven gewährten schon die 17, eigentlichen Versuchsfahrten, aber mehr noch die folgenden 3 Leerfahrten ein Urteil. Die bei diesen erreichten höchsten Geschwindigkeiten waren: bei der Lokomotive 608 = 143 km/St., bei der Lokomotive 58 = 132 km/St. und bei der Lokomotive 6 ebenfalls = 132 km/St.

Während die erste bei der höchsten Geschwindigkeit noch ganz ruhig ging, so daß man noch weiter hätte gehen können, wurde der Geschwindigkeit bei der grafenstadener Lokomotive 58 durch zu heftiges Schlingern eine niedrigere Grenze gesetzt, was aber zum Teil dem Zustande der Lokomotive zuzuschreiben sein dürfte.

Die $\frac{2}{4}$ gekuppelte zweizylindrige Heißdampf-Lokomotive schlingerte zwar ebenfalls wenig, sie stauchte jedoch etwas auf dem Führerstande, vielleicht wegen zu harter Tragfedern. Diese Lokomotive zeigte aber außerdem bei Geschwindigkeiten über 115 km/St. ein auffälliges Zucken, das sich später nach Vergrößerung der schädlichen Räume noch verstärkte und sich bereits bei 100 km/St. empfindlich bemerkbar machte.

Die schlingernde Bewegung der Lokomotiven wurde durch ein auf der vordern Bufferbohle angebrachtes Schreibwerk aufgenommen. (Abb. 10, Taf. XLIV.) Diese Vorrichtung ist in Abb. 9 Taf. XLV dargestellt.

Nach diesen unmittelbar aus den Versuchen erlangten Ergebnissen sind die rechnermäßigen in Zusammenstellung XI bis XIV angegeben, die mehr geeignet sind, ein vergleichendes Urteil über die wirklichen und vergleichenden Leistungen der drei Versuchslokomotiven zu geben.

Zusammenstellung XI.
Leistung der Versuchs-Lokomotiven.
a. Im Beharrungszustande.

Nr.	Gegenstand	Lokomotive Nr. Achsenzahl	608		58		6	
			40	20	40	20	40	20
1	Geschwindigkeit	v	108	124	106	118	108	118
2	Eigenwiderstand der Lokomotive kg/t	w_1	15,2	18,4	12,9	14,9	17,2	19,5
3	" " Wagen "	w	7,6	9,7	7,4	8,9	7,6	8,9
4	" " Lokomotive kg	$G_1 w_1$	1429	1730	1329	1535	1531	1736
5	" " Wagen "	$G w$	2432	1533	2368	1406	2432	1406
6	Ganzer Eigenwiderstand	$Z = G_1 w_1 + G w$	3861	3263	3697	2941	3963	3142
7	Dampfdruckleistung	$L = \frac{Zv}{270}$	1544	1499	1451	1285	1585	1373
8	Zugkraft: Triebachslast	$\frac{Z}{A}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{10}$
9	" : Dienstgewicht	$\frac{Z}{G}$ kg/t	64	54	57	45	72	57
10	" : Heizfläche	$\frac{Z}{H}$ kg/qm	23	20	24	19	39	31
11	Leistung der Lokomotive für sich	$\frac{G_1 w_1 v}{270}$	572	795	522	671	612	759
12	" in % der ganzen Leistung	$\frac{G_1 w_1 v}{270 L} \cdot 100$	37	53	36	52	39	56
13	" des Zuges	$\frac{G w v}{270}$	972	704	930	615	972	615
14	" in % der ganzen Leistung	$\frac{G w v}{270 L} \cdot 100$	63	47	64	48	61	44
15	Leistung: Heizfläche	$\frac{L}{H}$ PS/qm	9,5	9,2	9,4	8,2	15,5*	13,5

b. Im Durchschnitt entsprechend der mittleren Leistung.

1	Geschwindigkeit	v'	95	105	91	98	93	100
2	Eigenwiderstand der Lokomotive kg/t	w_1'	12,8	14,6	10,7	11,7	14,1	15,5
3	" " Wagen "	w'	6,2	7,3	5,7	6,5	5,9	6,7
4	" " Lokomotive kg	$Z_1 = G_1' w_1'$	1203	1372	1102	1205	1255	1330
5	" " Wagen "	$Z' = G' w'$	1984	1153	1824	1027	1888	1059
6	Ganzer Eigenwiderstand	Z	3187	2525	2971	2232	3143	2439
7	Dampfdruckleistung	L_m	1121	982	1001	810	1083	903

Zusammenstellung XII.
Verbrauch an Heizstoff.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	L o k o m o t i v e Nr.					
				608		58		6	
				40	20	40	20	40	20
				Achsen		Achsen		Achsen	
1	Zum Anheizen	kg	K'	750	750	750	750	500	600
2	Auf der Fahrt	"	K	3250	3360	3350	2820	2630	2800
3	Rückstände im Aschkasten	"	\mathfrak{R}	320	185	185	520	230	300
4	" in der Rauchkammer	"	\mathfrak{R}'	460	405	405	460	330	430
5	$\mathfrak{R} + \mathfrak{R}'$ im Verhältnisse zu K	%	$\frac{\mathfrak{R} + \mathfrak{R}'}{K} \cdot 100$	24	18	18	35	21	26
6	K für 1 Zugkm.	kg	$\frac{K}{s}$	13,9	13,8	13,8	11,6	10,8	11,5
7	$K' + K$ für 1 Zugkm.	"	$\frac{K' + K}{s}$	16,4	16,9	16,8	14,7	12,8	14,0
8	K für 1 Stunde	"	$k = \frac{K}{t}$	1242	1410	1182	1106	962	1128
9	K für 1 Stunde und 1 qm Rostfläche	"	$\mathfrak{k} = \frac{K}{F}$	460	522	435	407	424	497
10	K " " " " " Heizfläche	"	$\mathfrak{k}_1 = \frac{K}{H}$	7,6	8,7	7,6	7,1	9,5	11,1
11	K für 1000 Achskm.	"	—	333	690	344	580	270	575
12	K für 1000 Brutto-tkm	"	—	32	53	32	43	26	45
13	K für 1000 Nutz-tkm	"	—	42	87	43	73	34	73
14	Verdampfungs-ziffer	kg/kg	ξ	7,8	7,5	7,1	8,2	6,6	6,2
15	K für 1 P. S. St.	kg/P.S.St.	$\kappa = \frac{k}{L_m}$	1,11	1,44	1,18	1,37	0,80	1,25

Hieraus folgt:

$$M = \frac{\pi (d^m)^2}{4} \cdot \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{2 h \cdot v \cdot 1000 \cdot \gamma}{\pi D} = \delta \cdot \frac{(d^m)^2 h}{D} \cdot \varepsilon v \gamma,$$

so daß hier $\varepsilon v = \frac{a + bv}{5 u \gamma}$, wenn die in allen Formeln vorkommende Größe $\frac{(d^m)^2 h}{D}$ wieder mit u bezeichnet wird.

Hieraus folgt die Zugkraft

$$Z = 100^2 \cdot u \cdot \frac{p+1}{100} (\alpha + \beta \varepsilon) \\ = 100 \cdot u (p+1) \left(\alpha + \beta \cdot \frac{a + bv}{5 u \gamma v} \right),$$

also ein Ausdruck von der Form $A + \frac{B}{v}$, der durch eine gleichseitige Hyperbel gekennzeichnet ist.

Hiernach kann also tatsächlich die Lokomotivleistung aus zwei Versuchen ermittelt werden.

Zum Beispiel war für die hannoversche Versuchslokomotive Nr. 608:

1. für 40 Achsen $Z = 3861$ kg bei 108 km/St.
2. « 20 « $Z = 3263$ « « 124 «

Man erhält daher zwei Gleichungen

$$A + \frac{B}{108} = 3861 \text{ und} \\ A + \frac{B}{124} = 3263$$

zur Bestimmung der beiden unbekanntenen Werte A und B . Die gesuchte Formel lautet daher

$$Z = -770 + \frac{500000}{v},$$

aus der nun nicht nur die Dampfdruck-Leistung

$$L = \frac{Zv}{270},$$

sondern auch für jede Steigung und Geschwindigkeit die zu befördernde Zuglast festgestellt werden kann, wie in Abb. 13, Taf. XLIV, in der die betreffenden Formeln aufgetragen sind.

Hieraus folgt beispielsweise, daß diese Bauart nur für Geschwindigkeiten über 73 km/St., also nicht für stärkere Steigungen, als etwa 1:100 geeignet erscheint. Auf dieser Steigung leistet sie an der Reibungsgrenze noch 303 t = 38 Achsen zu 8 t bei 73 km/St. Geschwindigkeit. Auf der Wage-rechten vermag sie aber bei 140 km/St. nur 66 t, also 8 Achsen oder zwei vierachsige Wagen zu befördern, und bei 156 km/St. hört jede Nutzleistung auf.

In Abb. 13, Taf. XLIV sind die Leistungen so übersichtlich dargestellt, daß man darüber ein klares Bild erhält; so stellt die Fläche O A B O die Nutzleistung vor. Die Punkte B, C und D entsprechen dem Nullwert der Nutzleistung, liegen daher auf derselben Höhenlinie für $v = 156$ km/St., senkrecht über einander.

Soll nun eine Lokomotive entworfen werden, die nicht nur 20 Achsen, wie die drei Versuchslokomotiven, sondern 30 Achsen bei 120 km/St. Geschwindigkeit befördern kann, da ein solcher Lokomotivdienst voraussichtlich erst bei dieser Zugstärke wirtschaftlich wird, so kann diese Aufgabe jetzt gelöst werden. Die Zugkraft, die dann die Lokomotive zu entwickeln hätte, ist

$$Z = G_1 w_1 + G w, \\ = G_1 (a_1 + b_1 v + c_1 v^2) + G (a + bv + cv^2), \\ = 94 \left(2,7 + \frac{120}{24} + \frac{120^2}{1454} \right) \\ + 30,8 \left(0,6 + \frac{120}{90} + \frac{120^2}{2000} \right), \\ = 94 \cdot 17,6 + 240 \cdot 9,1 = 1654 + 2184, \\ = 3838 \text{ kg.}$$

Diese würde bei denselben Abmessungen der Maschine einen mittlern wirklichen Dampfdruck ergeben von

$$p_m = \frac{3838}{100^2 u} = 9,8 \text{ at.}$$

Nun sind aber aus den Versuchen zwei Werte bekannt:

1. bei 40 Achsen $= \frac{3861}{393} = 9,8$ at für $\varepsilon = 39\%$ und
2. bei 20 Achsen $= \frac{3263}{393} = 8,3$ at für $\varepsilon = 36,5\%$.

Hieraus ergibt sich die Formel für

$$p_m = \frac{p+1}{100} (-96 + 4,2 \varepsilon);$$

daher muß der Füllungsgrad für $p_m = 9,8$, wie bei dem 40 Achsen starken Zuge der Lokomotive 608 ebenfalls $= 39\%$ werden und die Dampfentwicklung

$$M = \frac{10 \cdot 393 \cdot 39 \cdot 120 \cdot 7,1}{100^2} = 13,1 \text{ cbm/St.}$$

Die Heizfläche der Lokomotive müßte daher um

$$\left(\frac{39,0}{36,5} \cdot \frac{120}{102} - 1 \right) 100 = 26\% \\ = 0,26 \cdot 163 = 42 \text{ qm, also auf } 1,26 \cdot 163 = 205 \text{ qm} \\ \text{erhöht werden.}$$

Die Lokomotiven der französischen Nordbahn leisten dies tatsächlich bei den fahrplanmäßigen »trains rapides« und L-Zügen zwischen Paris und Calais. Die Heizfläche dieser Lokomotiven ist 215 qm mit Serve-Rohren bei 16 at Dampfspannung und einem Durchmesser der Triebäder von 2040 mm.

VII. Beurteilung.

In diesem letzten Abschnitte sollen die Versuchslokomotiven zur endgültigen Beurteilung mit einander verglichen und zugleich soll versucht werden, aus den Ergebnissen einige lokomotivtechnische Lehren zu ziehen.

A. Vergleich zwischen den drei Versuchsbauarten.

a) Die Leistung.

Diese und die folgenden Vergleiche sollen so durchgeführt werden, daß die zur hannoverschen Bauart gehörigen Werte wieder $= 1$ gesetzt, und die anderen beiden durch entsprechende Verhältnisziffern gekennzeichnet werden.

Nach Zusammenstellung XI ist für 40 Achsen:

1. Die Dampfdruck-Zugkraft der

Lokomotive 608	58	6
$Z = 1$	$- 4$	$+ 2\%$

Diese Ziffern sind jedoch nach der Stärke der Bauart zu berichtigen, wozu bezüglich der Maschine das Produkt

$$u(p+1) = \frac{(d^m)^2 h}{D} (p+1)$$

und mit Bezug auf die Dampfbildung, des Füllungsgrades und des mittlern wirklichen Dampfdruckes p_m im Zylinder, der Kessel oder seine Heizfläche den Maßstab bildet. Daher können die Werte von

$$u(p+1)H$$

annähernd beim Vergleiche zu Grunde gelegt werden, die in folgendem Verhältnisse zueinander stehen:

bei Lokomotive 608	58	6
	1	- 9 + 18%

Die endgültigen Werte sind daher $Z = 1 + 5 - 16 <$

Die verhältnismäßig geringe Leistung der Heißdampf-Lokomotive ist in den Zylindermaßen begründet, die indes nur dann zur vollen Geltung kommen, wenn die dazu passende Heizfläche vorhanden ist. Die Füllungsgrade waren zwar bei den Versuchsfahrten immer noch ganz erheblich, aber nur bei starker Drosselung des Dampfes, da die Heizfläche zur Füllung der Zylinder mit höher gespanntem Dampf nicht ausreicht. Das ungewöhnliche Verhältnis geht aus den Werten von

$$\frac{H}{100^2 u} \text{ hervor} = 0,415 \quad 0,414 \quad \text{und} \quad 0,120$$

$$1 \quad \pm 0 \quad - 71\%$$

2. Die Dampfdruckleistung $L . . . = 1 - 6 + 3 <$
und nach der gleichen

$$\text{Berichtigung} . . . 1 + 3 - 15 <$$

3. Die Anzugs- und beschleunigende Kraft hängt vorzugsweise vom Reibungsgerichte ab, das bei den drei Lokomotiven in folgendem Verhältnisse steht:

$$1 + 5 - 1\%$$

während sich die tatsächliche Beschleunigung aus Zusammenstellung XV ergibt:

Zusammenstellung XV.

Zugbeschleunigung $f = \frac{v \text{ km/St.}}{t \text{ Min.}}$ nach 5 Minuten Fahrzeit:

bei Lokomotive 608	58	6
< 40 Achsen	11	12
< 20 <	16	16

und, um Vergleiche mit anderen Versuchen anstellen zu können, auf 100 t Bruttolast des Wagenzuges bezogen:

Lokomotive 608	58	6
f bei 40 Achsen	46	51
f < 20 Achsen	40	42

Die Fahrzeiten, nach denen bei

40 Achsen die Geschwindigkeit von 100 km und bei 20 < < < < 120 <

erreicht wurde, waren

a b Hannover, unter Berücksichtigung der Fahrbeschränkung bei Lehrte (40 km)

26	29	26 Min. und
23	22	25 <

a b Stendal, wo ebenfalls eine Fahrbeschränkung und zwar durch die Elbbrücke vorlag (60 km)

13	21	18 Min. und
16	21	18 <

Die bei den Grafenstadener Lokomotiven sonst schätzbare Einrichtung, das Anfahren mit frischem Dampf in allen vier Zylindern bewirken zu können, hat aber für die Zugbeschleunigung nur dann Wert, wenn die Heizfläche genügend groß ist.

4. Die Geschwindigkeit (Zusammenstellung XVI.).

Zusammenstellung XVI.

Lokomotive 608	58	6
bei . . .	40 20 40 20 40 20	Achsen,

- a) die mittlere $v' . . = 93 \ 103 \ 88 \ 83 \ 90 \ 101 \text{ km/St.}$
- b) im Beharrungszustande $v . . = 108 \ 124 \ 106 \ 118 \ 108 \ 118 <$
- c) die höchste . . . 125 133 112 129 112 124 <

Man könnte nun an jede Ziffer dieser und auch der übrigen Zusammenstellungen Betrachtungen knüpfen und daraus Schlusfolgerungen ziehen; um jedoch den Aufsatz nicht allzu sehr auszudehnen, beschränke ich mich auf die folgenden wichtigsten Punkte.

I. Der Eigenwiderstand der Lokomotiven bezieht sich nur auf die Fahrt ohne Dampf, da zur Aufnahme von Dampfdruck-Schaulinien keine Zeit vorhanden war. Inwieweit nun die Kolbenschieber der Heißdampf-Lokomotive während der Dampfarbeit leichter gehen, also einen geringern Eigenwiderstand der Lokomotive herbeiführen, entzieht sich hier unserer Beurteilung.

II. Die Nutzleistung geht bei 20 Achsen bis auf 44% der Dampfdruck-Leistung zurück, woraus zu schliessen ist, daß es sich vom Standpunkte der Wirtschaftlichkeit nicht empfehlen dürfte, Züge von dieser geringen Stärke zu fahren.

III. Die Leistung der Gewichtseinheit des Dampfes und der Wärme-Wirkungsgrad Nr. 28 und 29 der Zusammenstellung XIII. sind einander fast gleich, weil die theoretische Wärmemenge für 1 P.S./St.

$$= \frac{1}{424} \cdot 75 \cdot 60 \cdot 60 = 637 \text{ WE.}$$

und die zur Entwicklung von 1 kg Dampf bei + 15° C. warmem Speisewasser

$$\lambda - q = 665 - 15 = 650 \text{ WE.}$$

fast ebenso groß ist.

b) Der Verbrauch.

1. Der Heizstoff-Verbrauch.

Der Heizwert der verwendeten Kohle ist durchschnittlich $\zeta = 7748 \text{ W.É./kg.}$ festgestellt.

Der Verbrauch geht aus folgenden Vergleichsziffern hervor:

Achsen	40	20
Lokomotiven Nr. 608	58	6
	608	58
	6	6

1. Während der Fahrt im ganzen . . $\frac{K}{t}$ 1 + 3 - 19 1 - 16 - 17%
2. in der Stunde $\frac{K}{t}$ 1 - 5 - 23 1 - 22 - 20 <
3. < < < für $\frac{K}{tF}$ 1 - 5 - 8 1 - 22 - 5 <
1 qm Rostfläche $\frac{K}{tF}$
4. für 1 P.S./St. $\kappa = \frac{K}{tL}$ 1 + 6 - 20 1 - 5 - 13 <
5. für 1000 Brutto-tkm 1 + 0 - 19 1 - 19 - 15 <
6. für 1000 Nutzkkm . 1 + 2 - 19 1 - 13 - 16 <

Die Rückstände im Aschkasten und in der Rauchkammer waren in % des ganzen Kohlenverbrauches während der Fahrt:

Achsen	40	20
Lokomotiven Nr. 608	58 6 608	58 6
$\eta = 1 - 24 - 28$	$1 + 21 - 10\%$	

Weitere Angaben.

I. Die zum Anheizen erforderliche Kohlenmenge war trotz der ziemlich langen Fahrzeit auch bei diesen Versuchsfahrten immer noch fast 25% des Verbrauches während der Fahrt.

II. Die Rückstände erscheinen durchweg sehr hoch. Diese Ziffern, sowie die auf die Einheit der Rostfläche stündlich bezogenen und die Saugwirkung lassen die Überanstrengung der Lokomotiven erkennen.

III. Der Kohlenverbrauch für 1 Zugkilometer erscheint mit 12 kg/km gegenüber der Zugstärke ebenfalls recht hoch.

2. Der Dampf-Verbrauch.

I. Die höchste Dampfentwicklung in kg für 1 qm Heizfläche und 1 Stunde war

bei der Lokomotive 608	58	6
und 20 Achsen . . .	1 - 11	+ 5.

An sich sind die Werte 56 bis 68 kg/qm ganz erheblich größer, als gewöhnlich.

II. Der Dampfverbrauch η in kg/P.S.St.

bei 40 Achsen . . .	1 - 1	- 32%
< 20 < . . .	1 + 3	- 29 <

Die Ziffern steigerten sich mit der Geschwindigkeit

bei der Lokomotive 608	58	6
um	20	23 und 24%

Während also der Kohlenverbrauch für die Zeit- und Leistungs-Einheit bei der Heißdampf-Lokomotive um 20 und 13% geringer ist, als bei der hannoverschen Nafsdampf-Lokomotive, beträgt die Dampfersparnis 32 und 29%.

Dieses Ergebnis dürfte zu den wichtigsten der hier erlangten zu rechnen sein. Der Vorteil machte sich übrigens während der Fahrt schon durch die bloße Beobachtung ohne Messung auffällig bemerkbar.

III. Bezüglich der unter Nr. 30 der Zusammenstellung XIII angegebenen Ausnutzung der Verbrennungswärme ist folgendes zu bemerken. Sie ist, auf die Leistungs- und Zeit-Einheit bezogen,

= dem Kohlenverbrauche \times der Heizkraft der Kohle = $z \cdot \zeta$.

Da nun der Dampfverbrauch η = dem Kohlenverbrauche \times der Verdampfungsziffer = $z \cdot \xi$, so ist die tatsächliche Verbrennungswärme im Nenner des Verhältnisses

$$= \frac{\eta}{\xi} \zeta;$$

im Zähler steht die theoretische Wärmemenge, die einer P.S.St. entspricht,

$$= \frac{1}{424} \cdot 75 \cdot 60 \cdot 60 = 637 \text{ B.C.}$$

IV. Bezüglich der Ausdauer hielt sich der grafenstadener Lokomotivkessel noch am besten, dem nur 2 bis 3% Wasser entzogen wurden, am wenigsten der allerdings um 50% kleinere Heißdampfkessel.

V. Die Nebenverluste an Wasser und Dampf waren durchschnittlich in % vom ganzen Verbrauche:

a) aus dem Tender, Schlabberwasser der Strahlpumpen	2	2	3%
b) aus dem Kessel, der Kohlen- und Rauchkammer-Spritze	3	2	3 <
c) der Dampfverbrauch für die Luftpumpe und den Sichttöler	2	3	2 <

VI. Der berechnete Dampfverbrauch.

Es muß auffallen, daß hier ganz allgemein der berechnete theoretische Dampfverbrauch größer ist, als der wirkliche, was sonst umgekehrt liegt; dies erklärt sich dadurch, daß trotz der jedenfalls bei den Nafsdampf-Lokomotiven vorhandenen Dampfneße und dem innern Niederschlag die sehr gesteigerte Dampfgeschwindigkeit bei unzureichenden Durchgangsquerschnitten eine ganz ungewöhnliche Druckverminderung durch Drosseln verursacht wird.

Genauere Erhebungen über diesen Druckabfall können aber nur durch Dampfdruck-Schaulinien angestellt werden.

Bei der Heißdampf-Lokomotive liegt die Sache ganz anders; denn bei dieser gibt es weder Dampfneße noch Niederschlag in den Zylindern. Daher soll versucht werden, den dennoch vorliegenden Unterschied durch Rechnung aufzuklären.

Aus den durch den Versuch erlangten Dampfdruck-Zugkräften Z und dem nutzbaren Dampfverbrauche M lassen sich die Werte des mittlern wirklichen Dampfdruckes in den Zylindern $p_m = \frac{Z}{100^2 u}$ und das Gewichtsverhältnis des Dampfes

während der Einströmung $\gamma = \frac{M}{10 u \epsilon v}$ ermitteln.

Diese Werte sind: $p_m = \frac{3143}{851}$ und $\frac{2439}{851}$
 = 3,7 und 2,9 at.

$$\gamma = \frac{6196 \cdot 100^2}{10 \cdot 851 \cdot 32 \cdot 89} \text{ und } \frac{6808 \cdot 100^2}{10 \cdot 851 \cdot 30 \cdot 98}$$

$$= 2,56 \text{ und } 2,72 \text{ kg/cbm.}$$

Hieraus erhält man den Überdruck während der Einströmung

$$p_1 = \frac{p_m}{f(\epsilon, v)} - 1.$$

Die Funktion $f(\epsilon, v)$ des Füllungsgrades ϵ und der Geschwindigkeit v ist allgemein für alle Zwillingslokomotiven vom Verfasser durch die Formel

$$a - \frac{b}{\epsilon} + \frac{c}{\epsilon^2} = 100 \left(1 - \frac{20}{\epsilon} + \frac{130}{\epsilon^2} \right)$$

dargestellt worden; sie entspricht also hier den Werten 0,50 und 0,48;

$$\text{daher ist } p_1 = \frac{3,7}{0,50} - 1 = 6,37 \text{ at und}$$

$$= \frac{2,9}{0,48} - 1 = 5,08 \text{ at.}$$

Die beim Versuche beobachteten Dampfüberdrucke in den Hochdruckschieberkästen waren aber 8,7 und 7,8 kg; diese sind daher beim Einströmen in die Zylinder durch Drosselung bis auf 6,37 und 5,08 kg zurückgegangen.

Die vorhandene gemessene volle Wärme des überhitzten Dampfes $T = 273 + 350 = 623^\circ \text{C}$. scheint bei 100 km/St. Geschwindigkeit ziemlich erhalten zu werden, so daß die Überhitzung wahrscheinlich sogar größer wird; bei höheren Geschwindigkeiten nimmt aber auch diese ab, ohne ganz zu verschwinden.

Die nachfolgende Rechnung bestätigt dies.

Nach den Lehren der Thermodynamik permanenter Gase gilt für den überhitzten Dampf die Gleichung $\frac{p}{\gamma} = R \cdot T$, wenn R unveränderlich $= 46,83$ und T die ganze Wärme bezeichnet. Hiernach ist $T = \frac{p_1 + 1}{R\gamma} = \frac{7,37 \cdot 100^2}{46,83 \cdot 2,56}$ und $\frac{6,08 \cdot 100^2}{46,83 \cdot 2,72} = 616^\circ$ und 477°C .

Diese Versuchsergebnisse drängen also auf eine genauere Untersuchung der Dampfdruckdrosselung, die bei Heißdampf-Lokomotiven nicht die schädliche Wirkung zu haben scheint, sondern vielleicht sogar vorteilhaft ist; denn man kann schon so viel übersehen, daß mit der Drosselung zwar eine geringe Abkühlung, unter Umständen aber auch eine weitere Überhitzung verbunden sein wird. Dies erscheint sehr wichtig für die endgültige Wahl ihrer Höhe und der Zylindergröße.

Aber auch bei den Nafsdampf-Lokomotiven kann die Drosselung nachgewiesen werden; beispielsweise ist bei der Lokomotive 608 und der Zugstärke von 40 Achsen der mittlere wirkliche Dampfdruck in den Zylindern

$$p_m = \frac{\%}{100^2} \frac{u}{a} = \frac{3187}{393} = 8,0 \text{ at,}$$

daher $p_1 + 1$, die Dampfspannung während der Einströmung

$$= \frac{p_m}{f(\varepsilon \cdot v)} = \frac{8,0}{0,042 \varepsilon - 26} = \frac{8,0}{0,68} = 11,8 \text{ at,}$$

während die beobachtete 13,4 at war. Es trat daher auch hier ein Druckabfall von 12% ein.

3. Der Schmieröl-Verbrauch.

Bei den Versuchsfahrten wurden an Schmiermitteln verwendet:

I. für die Achsen- und Stangenlager und die kalten Triebwerksteile ein besseres Sommer-Mineralöl mit einem Entflammungspunkte von 195°C . zum Preise von 22,3 Pf./kg; ferner etwas Talg;

II. für die im Dampfe gehenden Teile, Kolben und Schieber, ein Mischöl, halb und halb ein dickflüssiges Mineralöl, Entflammungspunkt 280°C ., Preis 25,45 Pf./kg, gemischt mit rohem Rüböl zum Preise von 43,60 Pf./kg.

III. für den Heißdampf ein besonderes Heißdampföl, genannt Heißdampf-Zylinder-Viscose, Entflammungspunkt 309°C ., Preis 95 Pf./kg.

Die Verhältnisziffern sind:

	Lokomotive 608	58	6
für 1000 Lokomotivkilometer	1	+ 51	- 21%
« 1 P.S.St.	1	+ 68	- 20 «.

Der geringe Ölverbrauch der Heißdampf-Lokomotive erklärt sich durch die geringere Zahl der Lokomotivachsen, Dampfzylinder und anderer Triebwerksteile, sowie durch die sparsamere Schmierung mittels einer Schmierpresse gegenüber den Sichtölnern.

Vergleich

mit den Versuchen der badischen Staatseisenbahnen.*)

Hierzu dient Zusammenstellung XVII, die zunächst einen Vergleich der Lokomotivbauarten Hannover und Baden enthält und dann die Versuchsergebnisse.

Die mit † bezeichneten Werte sind besonders bemerkenswert.

B. Die Steigerung der Geschwindigkeit.

Auf die Frage, was bei einer beabsichtigten erheblichen Steigerung der Geschwindigkeit geschehen muß, würde auf Grund dieser Versuchsergebnisse folgendes zu antworten sein:

1. Es genügt, den bisherigen Querschwellenoberbau auf den zum Teil bereits vorhandenen Schienenquerschnitt 8a zu ergänzen, es erscheint sogar fraglich, ob bei einer weiteren Verstärkung der Gang der Eisenbahnzüge verbessert würde. Die Schienenüberhöhung kann, wie bisher, nach der Formel

$$h = \frac{v^n}{2R}$$

bestimmt werden.

2. Da die Bremswege selbst bei Bremsung von 100% des Gewichtes bedeutend länger werden, als die gegenwärtige Entfernung zwischen Vor- und Haupt-Signalen, so sind auch auf diesem Gebiete einschneidende Änderungen unerläßlich.

3. Die Kraft der Lokomotiven mußte erhöht werden, so daß sie 30 Achsen befördern können, da erst bei dieser Zugstärke ein wirtschaftlicher Betrieb zu erwarten ist.

Außerdem muß alles der erhöhten Geschwindigkeit angepaßt werden.

Der Triebraddurchmesser ist so zu vergrößern, daß die Umdrehungszahl und Kolbengeschwindigkeit wieder auf das gegenwärtige Maß zurückgeführt werden. Diese waren bei den Versuchsfahrten mit allen drei Lokomotivgattungen bei 120 km/St.:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{60 \cdot 60 \cdot \pi D} = \frac{v}{3,6 \cdot \pi D} = 11,3 \cdot D$$

$$= \frac{v}{11,3 \cdot 1,98} = \frac{120}{22,4} = 5,36 \text{ in der Sek.,}$$

und die Kolbengeschwindigkeit

$$v = n \cdot 2 h = 1,20 \cdot n = 6,43 \text{ m/Sek., beziehungsweise } 1,28 \cdot n = 6,86 \text{ m/Sek. und } 1,20 \cdot n = 6,43 \text{ m/Sek.}$$

*) Organ 1904, S. 1; Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure 1904, Heft 39.

Zusammenstellung XVII.
Vergleich mit den Versuchen der badischen Staatseisenbahnen.
1. Abmessungen der Lokomotiven.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	Hannover	Baden
1	Rostfläche	qm	F	2,70	3,37
2	Heizfläche	"	H	162,9	210,1
3	Dampfüberdruck	at	p	14	16
4	Lokomotivgewicht ohne Tender	t	G'	59,8	74,0
5	" mit "	"	G_1	103,2	114,0
6	Triebachslast	"	A	30,4	31,8

2. Verhältnisse der Lokomotiven.

1	Verhältnis der Kolbenflächen	—	$\frac{d^2}{d'^2}$	2,42	2,90
2	$100^2 u = 100^2 \frac{(dm)^2 h}{D} =$	—	—	393	331
3	$u(p+1) = \frac{(dm)^2 h}{D} \cdot (p+1)$	—	—	0,590	0,563
4†	$u(p+1)H = \frac{(dm)^2 h}{D} \cdot (p+1)H$	—	—	96	118
5†	Heizfläche: Rostfläche	—	$\frac{H}{F}$	60	54
6	Lokomotivgewicht ohne Tender: Heizfläche	—	$\frac{G'}{H}$	0,37	0,35
7	" " " : Lokomotivlänge	—	$\frac{G'}{l}$	5,45	5,83

3. Versuchsergebnisse.

a) Die früheren Versuche der badischen Staatseisenbahnen, (Organ 1904, S. 1.)

1	Zugstärke	Achsen	G	40	37
2	Zuggewicht	t	"	320	296
3	Achsbelastung	"	—	8,0	8,0
Beharrungszustand.					
4	Zuggeschwindigkeit	km/St	v	108	94
5	Dampfdruck-Zugkraft	kg	Z	3861	4221
6	Zugkraft: Rostfläche	—	$\frac{Z}{F}$	1410	1091
7	" : Heizfläche	—	$\frac{Z}{H}$	24	20
8	" : Lokomotivgewicht ohne Tender	—	$\frac{Z}{G'}$	64	57
9†	" : Triebachslast	—	$\frac{Z}{A}$	127	133
10	Dampfdruck-Leistung	PS.	L	1544	1531
11†	Leistung: Rostfläche	—	$\frac{L}{F}$	570	396
12	" : Heizfläche	—	$\frac{L}{H}$	9,5	7,3
13	" : Lokomotivgewicht ohne Tender	—	$\frac{L}{G'}$	26	21
14	" : Triebachslast	—	$\frac{L}{A}$	51	48
Mittelwerte.					
15†	Kohle mit Anheizung: Rostfläche	—	$\frac{K' + K}{F}$	566	334
16†	" ohne " : "	—	$\frac{K}{F}$	460	256
17†	" mit " für 1 km	kg	$\frac{K' + K}{s}$	16,4	16,8

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	Hannover	Baden
18	Kohle ohne Anheizung für 1 km	kg	$\frac{K}{s}$	13,3	12,9
19†	Dampf: Heizfläche und Stunde	"	$\frac{M^*}{tH}$	68	39
20	" : Leistung " "	—	$\frac{M}{tL}$	8,7	5,4
21	Öl: 1000 Lokomotivkm.	—	—	47	65,6

b) Die neueren Schnellfahr-Versuche.

(Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure 1904, Heft 39.)

1	Zugstärke	Achsen	G	20	16
2	Zuggewicht	t	"	158	138
3	Achsbelastung	"	—	7,9	8,6
4	Geschwindigkeit im Beharrungszustande	km/St	v	124	133
5†	" grösste	"	—	133	144
6	Umdrehungszahl grösste	—	n	5,94	6,08
7	Kolbengeschwindigkeit	m/Sek.	v	7,13	7,54
8†	Füllungsgrad	%	ϵ	36,5	45
9†	Saugwirkung	cm	φ	30	22,5
10†	Dampfdruck-Leistung	P. S.	L	1500	1700
11	Leistung: Heizfläche	—	$\frac{L}{H}$	9,2	8,1
12	Dampf: Heizfläche und Stunde	—	$\frac{M}{tH}$	65	57

*) M einschliesslich aller Verluste.Zusammenstellung XVIII.
Radgegengewichte.

Nr.	Gegenstand	Einheit	L o k o m o t i v e Nr.						Trieb- rad	Kuppel- rad
			608		Kuppel- rad	58		6		
			Hoch- druck	Nieder- druck		Hoch- druck rechts und links	Niederdruck links rechts			
1	Die auf den Kurbelkreis bezogenen umlaufenden Triebwerksmassen	kg	278,2	159,2	92,6	239,5	150,0	127,5	224,5	120,0
2	Die geradlinig bewegten Triebwerksmassen auf jeder Lokomotivseite	"	193,5	235,0	—	177,0	237,0	—	307,05	—
3	Hiervon sind durch Radgegengewichte ausgeglichen	% kg	10 19,4	23,5	10 19,4 + 23,5	50 88,5	50 118,5	50	31,0	31,0
4	Hiervon sind nicht ausgeglichen	% kg	—	80 342,8	—	50 88,5	50 118,5	50	80 246	—
5	In Bezug auf die zuckenden Bewegungen durch Gegenläufigkeit nicht ausgeglichen	kg	—	119	—	—	60	—	246	—
6	Hebelarm beim Schlingern	mm	—	1020	—	—	300	—	1020	—
7	Radgegengewichte	kg	60,0	—	46,8	115,0	69,5	58,0	106,5	61,5
8	Überschüssige Fliehkräfte $C = m r \omega^2 = \frac{G}{g} \cdot r (n \cdot 2 \pi)^2$ für $v = 120$ km/St.	t %	0,528 7,0	—	0,573 7,5	1,063 13,5	0,083 13,5	—	1,238 15,6	—

Die Zusammenpressung des Dampfes in den Zylindern wird durch geeignete Schieberabmessungen der höhern Massenwirkungen entsprechend verstärkt werden müssen. Da diese Massenwirkungen bei sehr hohen Geschwindigkeiten voraussichtlich bis auf 0 zu verringern sind, so erscheint von diesem Standpunkte aus die vierzylindrige Lokomotivbauart als die einzige, die etwa von 110 km/St. Geschwindigkeit ab aufwärts in Frage kommen kann, und zwar eine vollständig gegenläufige, die daher als Zwillings-Lokomotive auszubilden ist. Denn vollständig ausgeglichene Lokomotiven bedürfen keiner Radgegengewichte, die in der vorliegenden Frage eine wichtige Rolle spielen; deshalb sollen, ohne jedoch näher darauf einzugehen, hier wenigstens die in Zusammenstellung XVIII angegebenen Werte zum Vergleiche einander gegenübergestellt werden.

Aus ihr ist ersichtlich, welchen Wert eine gut ausgeglichene Lokomotive bei hoher Geschwindigkeit erlangt; besonders sind die unter Nr. 4 und 5 angegebenen nicht ausgeglichenen, geradlinig bewegten Triebwerksmassen und die unter Nr. 8 stehende überschüssige Fliehkraft bemerkenswert. Denn diese beiden Werte bilden einen Maßstab für den leichten Gang der Lokomotive und die Schonung des Oberbaues und daher auch für die Bewertung der Lokomotivbauart in dieser Hinsicht, so daß bezüglich der umlaufenden Massen der hannoverschen und bezüglich der geradlinig bewegten Triebwerksmassen der grafenstadener Bauart ein Vorzug zuerkannt werden muß.

Bei der zweizylindrigen Heißdampf-Lokomotive machte sich ferner von 110 km/St. Geschwindigkeit ab Zucken bemerkbar, das sich auch bei den Versuchen mit einer $\frac{2}{6}$ gekuppelten dreizylindrigen Lokomotive in gewissem Grade gezeigt hatte.

Diese bisher noch nicht aufgeklärte Erscheinung dürfte in der Zusammendrückung des in den Zylindern arbeitenden Dampfes begründet sein. Diese ist auch eine von den Größen, die bei einer erheblichen Steigerung der Geschwindigkeit zu ändern ist; denn sie bildet allein das unentbehrliche Gegengewicht gegen die mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wachsenden nicht ausgeglichenen Massenkräfte. Genügt die Zusammendrückung nicht, so rückt der Kraftwechsellpunkt in die gefährliche Nähe des toten Punktes, wodurch die Stöße unter Umständen so überhand nehmen können, daß ein Zusammenbruch der ganzen Maschine eintreten kann, wie er bereits bei Schiffsmaschinen vorgekommen ist. Da sich nun aber die Zusammendrückung wahrscheinlich mit der Geschwindigkeit, also mit abnehmender Füllung in stärkerem Maße ebenfalls steigert, so scheint eine gewisse ungünstigste Geschwindigkeit zu bestehen, bei der die Massenwirkungen am größten werden. Man mußte in dieser Ansicht durch den Versuch mit Lokomotive 6 bestärkt werden, die nach der versuchsweise vorgenommenen Vergrößerung der schädlichen Räume um 8,5%, also bei beträchtlich verminderter Zusammendrückung, viel unruhiger ging. Das dürfte ein Fingerzeig sein, wie diese ungünstigste Geschwindigkeit durch eine passende Zusammendrückung erhöht und aus dem Bereiche der wirklich vor-

kommenden Geschwindigkeiten verlegt werden kann, so daß sie für diese verschwindet. Dies wird aber erreicht durch eine zweckentsprechende Verlegung des Kraftumkehrpunktes in größere Entfernung vom toten Punkte.

Die Steuerungsteile müssen ebenfalls so abgeändert werden, daß die Dampfgeschwindigkeit in allen Durchgangsquerschnitten noch unter das gegenwärtige Maß gebracht wird.

Auch die Bauart der Dampfschieber gewährt bei den auf das äußerste getriebenen Schnellfahrten keine ausreichende Unterlage für die Beurteilung, da alle Kolben- und auch die Flach-Schieber bei der nach der Beendigung der Versuchsfahrten vorgenommenen Besichtigung keine Mängel zeigten, allerdings bei sehr reichlicher Schmierung während der Fahrt.

Ferner konnte vor den Versuchen eine bisher ganz unbekannte Blasrohrwirkung von 40 cm Wassersäule nicht vorausgesehen werden; sie ist viel zu hoch, wenn auch die bisher übliche von 7 bis 10 cm wieder als ganz unzulänglich zu betrachten ist. Freilich bewirkt eine Verringerung der Blasrohrwirkung unfehlbar auch eine solche der ganzen Leistung, sie verbessert jedoch die Wirtschaftlichkeit.

Schließlich muß auch noch die Festigkeit der Triebwerksteile mit Bezug auf die stärkeren Massenwirkungen bei höheren Geschwindigkeiten einer Nachprüfung unterzogen werden.

VIII. Der Heißdampf.

Aus dem theoretischen Ausdrucke für den Dampfverbrauch für 1 P. S. St.

$$\eta = \frac{10 \cdot u \cdot \varepsilon \cdot v \cdot \gamma \cdot 270}{100^2 \cdot u \cdot p_m \cdot v} = 0.27 \cdot \frac{\varepsilon \gamma}{p_m}$$

$$= f(\varepsilon, v) \cdot \frac{0.27 \cdot \varepsilon \gamma}{p + 1} \text{ kg/P.S.St.}$$

ist schon ersichtlich, welchen erheblichen Vorteil der überhitzte Dampf in thermodynamischer Hinsicht bietet; denn das Verhältnis $\frac{\gamma}{p + 1}$ ist viel kleiner, als beim gesättigten Dampfe, und nimmt mit steigender Überhitzung stetig ab. Tatsächlich werden schon bei der Erzeugung des überhitzten Dampfes im Kessel 9% erspart, und bei der Umwandlung in mechanische Arbeit ist nur diejenige des Dehnungs-Abschnittes in den Zylindern etwas geringer.

Es läßt sich ferner nachweisen, daß sich der Heißdampf noch besonders für hohe Geschwindigkeiten eignet. Bei Zwillingslokomotiven hat der Wert $\frac{u v \gamma}{M}$ eine bestimmte Größe, so daß also die für die Wirtschaftlichkeit zweckmäßigste Geschwindigkeit bei unveränderlichem u und M , also bei einer bestimmten Größe der Maschine und des Kessels im geraden Verhältnis steigt, je mehr das Gewichtsverhältnis ab-, also die Überhitzung zunimmt.

Diese Geschwindigkeit, die bei gewöhnlichen Zwillingsmaschinen ziemlich tief, etwa bei 75 km/St. liegt, steigt beispielsweise bei der Heißdampf-Lokomotive auf 200 km/St. Die

Heißdampf-Lokomotiven scheinen sich daher in hervorragendem Maße für den Schnellzugdienst zu eignen.

Über die viel umstrittene Höhe der Überhitzung möchte ich auf Grund der vorliegenden Versuchsergebnisse noch folgende Betrachtungen ausstellen.

Wird die Heizfähigkeit der etwa 4 m langen Heizrohre = 1 gesetzt, so ist die der Feuerbuchse, der unmittelbaren Heizfläche, erfahrungsmäßig = 5; wird ferner die Heizfähigkeit des Überhitzers, gering veranschlagt, der der Heizrohre gleich angenommen, so entspricht sie $\frac{30,75 \cdot 1}{13,5 + 97,1} \cdot 100 = 19\%$ der ganzen Heizfläche, so daß also auch mindestens 19% der im Kessel erzeugten Wärme für die Überhitzung verwendet wird.

Um trockenen, gesättigten Dampf von 12 at Überdruck auf $190 + 150 = 340^\circ \text{C}$. zu überhitzen, sind aber nach der thermodynamischen Formel für die ganze Wärme des überhitzten Dampfes

$$\lambda' = \lambda + c_p t' = 665 + 0,48 \cdot 150 \\ 0,48 \cdot 150 = 72 \text{ W. G.}$$

oder $\frac{72}{665} \cdot 100 = 11\%$ der theoretischen Wärmemenge des gesättigten Dampfes von 665 WE. nötig.

c_p ist die Wärmefähigkeit des überhitzten Dampfes bei unveränderter Spannung p und = 0,48 gesetzt.

Ist der Wärmewirkungsgrad des Heizstoffes = 8000 W. G./kg und erzeugt 1 kg dieser Kohle 7 kg Dampf, so kommen auf 1 kg Dampf $\frac{1}{7} \cdot 8000 = 1143 \text{ WE.}$, so daß beim gesättigten Dampfe $1143 - 665 = 478 \text{ WE.}$ oder 42% der ganzen Wärme verloren gehen. Diese erscheinen zunächst in den 22 kg Feuergasen = $\frac{1}{7} \cdot 22 \cdot 0,25 \cdot 1500 = 1179$

W. G., wenn die spezifische Wärme dieses Gasgemisches von Kohlensäure, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff = 0,25 W. G./kg und in der Feuerbuchse erzeugte Wärmestufe 1500°C . beträgt. Die abziehenden Rauchgase enthalten von dieser Wärmemenge bei 400° Wärmestufe noch $\frac{1}{7} \cdot 22 \cdot 0,25 \cdot 400 = 314 \text{ WE.}$ oder $\frac{314}{1179} \cdot 100 = 27\%$

der ganzen, die verloren gehen. Dieser Wärmeverlust müßte eigentlich den oben berechneten 478 WE. gleich sein, somit die Wärme der abziehenden Rauchgase noch größer

$$= \frac{478}{\frac{1}{7} \cdot 22 \cdot 0,25} = 608^\circ \text{C}.$$

Da indessen noch keine entscheidenden Versuche vorliegen, so ist es möglich, daß die Wärme der Rauchgase, die bei ortsfesten Dampfkesseln auch schon 300°C . beträgt, bei Lokomotiven tatsächlich höher ist, als 400° , oder daß andere Verluste in erheblichem Grade hinzutreten. Die Überhitzung um 150° erfordert also 11% der theoretischen von 665, oder

$\frac{72}{1143} \cdot 100 = 6\%$ der ganzen Wärme, so daß hiernach

$19 - 6 = 13\%$ der Überhitzerwirkung nur zur Dampftrocknung, die aber der Überhitzung unter allen Umständen vorausgehen muß, notgedrungen verbraucht werden. Diese 13% der ganzen Wärme würden einer Dampfmasse von

$$\frac{\frac{1}{7} \cdot 8000 \cdot 0,13}{665 + 72} \cdot 100 = 20\% \text{ entsprechen.}$$

Zur Vermeidung einer starken Überhitzung mit unmittelbarer Beheizung, das heißt, zur Umgehung eines weiten Feuerrohres und der damit verbundenen ungünstigen Umgestaltung der bisher bewährten Kesselbauart, müßte daher bei trockenem Dampfe den verlorenen 478 WE., oder den mit den Rauchgasen entweichenden 314 WE. 72, also 15 oder 23%

$$= \frac{400 \cdot 23}{100} = 92^\circ \text{C. entzogen werden.}$$

Zur Überhitzung des trockenen Dampfes um 150° genügt 6% der ganzen Wärme oder eine unmittelbare Überhitzerfläche von $\frac{6}{19} \cdot 30,75 = 9,7 \text{ qm.}$

Es läßt sich nun aber durch Versuche und Berechnung nachweisen, daß eine so hohe Überhitzung nicht durchaus nötig sein wird, daß vielmehr zur Beseitigung des innern Niederschlages in den Zylindern, die bei weitem die Hauptsache ist, die Hälfte, also eine Überhitzung von 75% ausreicht. Die hierzu nötige Heizfläche eines Rauchkammerüberhitzers läßt sich dann wie folgt berechnen.

Bei der unmittelbaren Beheizung mit einem Feuerrohre ist die Wärmemenge des Heizkörpers 19% der ganzen in der Feuerbuchse entwickelten, und deren Wärmestufe fällt von 1500° bis auf 25° über die Rauchkammerwärme, die 400° angenommen wurde, so daß die mittlere Wärme

$$\frac{1500 + 425}{2} = 962,5^\circ \text{ beträgt.}$$

Beim Rauchkammerüberhitzer wird zwar die ganze Masse der Rauchgase benutzt, aber bei einem wesentlich geringeren Wärmegefälle. Für eine Überhitzung um 150° sind bei den Rauchgasen 92° , also bei der halben Überhitzung 46° zu entziehen, so daß hier die mittlere Heizwärme

$$= \frac{400 + (400 - 46)}{2} = 377^\circ \text{ beträgt.}$$

Die Wärmestufe des zu heizenden Körpers, das ist der um 75° überhitzte Dampf von 12 at Überdruck, ist $190 + 75 = 265^\circ$, dieser stehen die beiderseitigen Wärmegefälle in dem Verhältnis $962,5 - 265 : 377 - 265$ oder $697,5 : 112,0$ gegenüber.

Unter Voraussetzung geradlinigen Verhältnisses ist daher die gesuchte Heizfläche $9,7 \cdot \frac{19}{100} \cdot \frac{697,5}{112,0} = 11,4 \text{ qm}$, deren praktischer Herstellung nichts im Wege stehen dürfte.

Hieraus folgt aber zugleich, weshalb die beharrlichen Versuche, auch bei Lokomotiven eine nur mäßige Dampfüber-

hitzung ohne vorherige Dampftrocknung zu erreichen, fehlgeschlagen mußten.

Die ganze Frage spitzt sich dahin zu, ob es gelingt, die Dampfnässe auf eine andere Weise zu beseitigen, entweder durch eine besondere Kesselbauart, oder durch sonstige einfache Vorrichtungen und nicht durch den Überhitzer selbst. Zum Beispiel soll sich das bei den österreichischen Eisenbahnen immer mehr in Aufnahme kommende *F l a m a n d* sche Verfahren mit zwei Dampfdomen und einem Verbindungsrohre gut bewähren.

Sollte es aber nicht gelingen, die bisher nur durch den Überhitzer selbst beseitigte Dampfnässe auf andere Art fortzuschaffen, so würde allerdings die unmittelbare Beheizung des Überhitzers das einzige Mittel sein und bleiben, während anderfalls die Hoffnung nicht aufgegeben werden darf, die zur eigentlichen Dampfüberhitzung um 75° nötigen $5,5\%$ der theoretischen, zur Dampfbildung erforderlichen, oder $11,5\%$ $= 46^{\circ}$ der mit den Rauchgasen entweichenden Wärme diesen zu entnehmen.

ERGEBNISSE DER VERSUCHSFAHRTEN
MIT
EINER 2/4 GEKUPPELTEN VIERZYLINDER-LOKOMOTIVE
GRAFENSTADENER BAUART.

VON

LEITZMANN,
Geheimem Baurate zu Darmstadt.

Mit Zeichnungen auf den Tafeln XLV bis XLVII.

ERGÄNZUNGSHEFT ZUM ORGAN FÜR DIE FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS, JAHRGANG 1906.

Wiesbaden.
C. W. Kreidel's Verlag.
1906.

Ergebnisse der Versuchsfahrten mit einer 2/4 gekuppelten Vierzylinder-Lokomotive Grafenstadener Bauart.*)

Von Leitzmann, Geheimem Baurate zu Darmstadt.

Hierzu Zeichnungen auf den Tafeln XLV bis XLVII.

Für die folgenden Untersuchungen sind die nachstehend aufgeführten Bezeichnungen gewählt.

Für Abmessungen und Gewichte:

- A Reibungsgewicht.
 a Ganzer Achsstand der Lokomotive.
 a₁ Fester Achsstand.
 D Triebraddurchmesser.
 d Kolbendurchmesser: Hochdruck.
 d' " " " " Niederdruck.
 e Blasrohröffnung.
 F Rostfläche.
 f Schieberöffnung.
 f' Schieberkanalquerschnitt.
 G Zuggewicht.
 G₁ Lokomotivgewicht im Dienste mit Tender.
 G' " " " " ohne " "
 H Heizfläche.
 h Kolbenhub für Hoch- und Niederdruck.
 l Länge der Lokomotive.
 l' Kurbelstangenlänge: Hochdruck.
 l'' " " " " Niederdruck.
 n Bahnneigung in ‰.
 q Wärmestufe des Speisewassers.
 r Kurbelhalbmesser für Hoch- und Niederdruck.
 s Streckenlänge.
 t Zeit und Wärmestufe.
 v Zuggeschwindigkeit im Beharrungszustande.
 v_m Mittlere Zuggeschwindigkeit.
 v₀ Grundgeschwindigkeit.
 v Dampfgeschwindigkeit in der Schieberöffnung.
 v' " " " " den Zylinderkanälen.
 x Abstand des Schwerpunktes von der Triebachse.
 z Zahl der Umdrehungen der Triebachsen.
 γ Gewicht von 1 l Dampf in kg.
 ε Füllungsgrad.
 λ Ganze Wärme des Dampfes.
 ω Winkelgeschwindigkeit.
 φ Saugwirkung.
 ξ Verdampfungsziffer.
 η Dampfverwertung.
 ζ Heizkraft der Kohle.

Für Massen, Kräfte und Arbeiten:

- C Beschleunigende Kraft.
 f Beschleunigung.
 M Masse.
 P Bewegende Kraft.
 L Leistung am Tenderzughaken.
 Li Aus den Schaulinien ermittelte Leistung im Beharrungszustande.
 L_m Mittlere Leistung.
 p Dampfüberdruck im Kessel.
 p_i " " " " Schieberkasten.
 p_r " " " " Verbinder.
 p_r Rückdruck in den Niederdruckzylindern.
 p_m Mittlerer wirklicher Dampfdruck: Hochdruckzylinder.
 p_{m'} " " " " Niederdruckzylinder
 p_m Zusammengesetzter mittlerer wirklicher Dampfdruck = $p_m + \frac{d^2}{d'^2} \cdot p_{m'}$.
 Z Widerstand.
 w Eigenwiderstand der Wagen.

- w₁ Eigenwiderstand der Lokomotive.
 Z Zugkraft für den Wagenzug.
 Zi Zugkraft nach den Dampfspannung-Schaulinien im Beharrungszustande.
 Z_m Mittlere Zugkraft nach den Dampfspannung-Schaulinien im Beharrungszustande.

Für Wasser- und Dampfmenge.

- M Wasserverbrauch aus dem Tender.
 M' " " " " Kessel.
 M₁ = M + M'.
 M₂ Dampfverbrauch der Maschine.
 M₃ Entwickelte Dampfmenge.
 W Tender-Wasserverlust.
 W' Kessel- " "
 W'' Dampfverlust.
 W₁ Berechneter Dampfverbrauch.
 m Wasserverbrauch aus dem Tender in der Stunde.
 m₁ " " " " im Ganzen " " "
 m₂ " " " " der Maschine " " "
 m₃ Dampfentwicklung " " "
 m Berechneter Dampfverbrauch " " "
 D Dampfmenge für eine Füllung.

Für Kohlenmengen.

- K Verbrauch während der Fahrt.
 K' " " " " zum Anheizen.
 K₁ = K + K'.
 R Verlust auf dem Rost und im Aschkasten.
 R' " " " " in der Rauchkammer.
 k = K für eine Stunde.
 k₁ = K₁ " " " "
 f k für 1 qm der Rostfläche = K für 1 Stunde und 1 qm.
 f₁ k₁ " 1 " " " Heizfläche = K₁ " 1 " " " 1 "
 k Kohlenverbrauch in kg/P. S. St.

Formeln.

- u = $100^2 \cdot \frac{(d m)^2 h}{D}$ Leistungswert der Lokomotive.
 w = a + b v + c v² Eigenwiderstand der Wagen.
 w₁ = a₁ + b₁ v + c₁ v² " " " " Lokomotive.
 ε v = H (a + b v).
 p m₁ = u p (α + β ε).
 Zi = A + $\frac{B}{v}$.
 Li = W + W v.
 u p (α ξ + b v + c ξ v).

I. Beschreibung der Versuchslokomotive.

Die zur Beförderung von Schnellzügen bestimmte, nach Grafenstadener Bauart hergestellte Lokomotive ist in Abb. 1 und 2, Taf. XLV dargestellt.

Der Hinterkessel hat Belpaire'sche Form mit flacher Decke zur Vergrößerung des Dampftraumes und Sicherung eines unveränderlichen Wasserspiegels an der Stelle der lebhaftesten Verdampfung bei Schwankungen des Wasserstandes.

Die Feuertür hat Webb'sche Bauart, der Rost ist geneigt, die beiden vorderen Deckankerreihen sind beweglich angeordnet.

Die gekröpfte Welle der Niederdruck-Triebachse ist aus Nickelstahl hergestellt.

*) Wir verweisen auf die Veröffentlichung Organ 1906, S. 131 und 309.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	Lokomotive 507, Altona
54	Mittelstellvorrichtung	doppelt	—	Schraubenfeder
55	Anfangspannung	t	—	4,32
56	Endspannung	"	—	9,18
57	Laufreddurchmesser	m/m	—	900
58	Achsstand des Drehgestelles	"	—	2050
59	Fester Achsstand der Trieb- und Kuppelachse	"	a ₁	3000
60	Ganzer Achsstand	—	a	7450
61	Ganze Länge der Lokomotive ohne Buffer	m/m	l	9550
62	Höhe der Kesselmitte über S. O.	"	—	2450
Achsdrucke der Lokomotive im Dienste.				
63	Vordere Drehgestellachse	t	—	11
64	Hintere "	"	—	11
65	Triebachse	"	—	16
66	Kuppelachse	"	—	16
67	Dienstgewicht ohne Tender	"	G'	54
68	1. Tenderachse	"	—	10,575
69	2. "	"	—	10,575
70	3. "	"	—	10,630
71	4. "	"	—	10,630
72	Dienstgewicht des Tenders	"	—	42,410
73	Dienstgewicht von Lokomotive und Tender	"	G ₁	96,410
74	Reibungsgewicht	"	A	32
75	Kohlenvorrat	"	—	5
76	Wasservorrat	"	—	16
Verhältnisse.				
77	Verhältnis der Kolbenflächen	—	$\frac{d'^2}{d^2}$	2,43
78	Zahlenwert u	qcm	$\frac{100^2 (dm)^2 h}{D}$	373,7
79	Zugkraft u (p+1)	kg	$\frac{100^2 (dm)^2 h (p+1)}{D}$	5604
80	Heizfläche: Rostfläche	—	H : F	53,5
81	Heizfläche: u	$\frac{qm}{qcm}$	$\frac{H}{u}$	0,326
82	Heizfläche: Zugkraft	$\frac{qm}{kg}$	$\frac{H}{u (p+1)}$	0,022
83	Heizfläche: Reibungsgewicht	$\frac{qm}{t}$	$\frac{H}{A}$	3,81
84	Lokomotivgewicht ohne Tender: Ganze Länge	$\frac{t}{m}$	$\frac{G'}{l}$	5,07
85	" " " Heizfläche	$\frac{t}{qm}$	$\frac{G'}{H}$	0,443
86	Länge der Kurbelstange: Kurbelhalbmesser	—	$\frac{l'}{r}$ und $\frac{l''}{r}$	Hochdruck = 9,4 Niederdruck = 7,5

Die Triebdrabremse wirkt leichter Unterbringung wegen nur mit einem Schuhe auf jedes Rad.

Während die Hauptrahmen der Lokomotive innen angeordnet sind, liegen die Drehgestellrahmen zur Raumbewinnung für die Niederdruckzylinder außen. Das Drehgestell der grafenstädener Bauart ruht auf vier über den Achsbuchsen gelagerten, unabhängigen Tragfedern. Die zweifache Beweglichkeit besteht aus einer seitlichen Verschiebung um 45 mm und einer Drehung um 1,3° nach jeder Seite. Die Rückstellung erfolgt durch zwei stets gemeinschaftlich wirkende Wickel-

Federn mit einer zwischen den Grenzen 4,3 und 9,2 t liegenden Mittelstellkraft.

Die Übertragung der Last auf das Gestell erfolgt durch zwei seitlich unmittelbar unter den Hauptrahmen befindliche Kugelzapfen, so daß das Drehgestell zwar in der Längs- aber nicht in der Quer-Richtung kippen kann.

Die Triebachs-federn sind unter den Achsbuchsen mittels Doppelgelenken aufgehängt; ihre Federspannschrauben werden nur auf Zug beansprucht.

Die Bauart der Gleise hat bekanntlich zwei getrennte

Triebwerke, indem die beiden außen liegenden Hochdruckzylinder auf die zweite, die beiden inneren Niederdruckzylinder auf die vordere gekröpfte Triebachse wirken. Beide Triebwerke sind durch Kuppelstangen verbunden, um die Gegenläufigkeit der geradlinig bewegten Triebwerksmassen aufrecht zu erhalten.

Der Tender für 16 cbm Wasserinhalt ruht auf zwei Drehgestellen mit vier unabhängigen, auf den Achsbuchsen sitzenden Tragfedern. Die Wurfhebel- und Luftdruck-Bremse wirken von einander getrennt mit zwei Schuhen auf jedes Rad.

Im Laufe der Abhandlung werden die Vorteile und Nachteile dieser Bauart zur Erörterung kommen.

Beide Steuerungen sind getrennt, so daß hier wieder die Einwirkung der Niederdruckfüllung

- auf den Gang der Lokomotive,
- « die Dampfbildung und
- « die Leistungsfähigkeit

festgestellt werden konnte.

Die Abmessungen und die hieraus sich ergebenden Verhältniszahlen sind in der Zusammenstellung I angegeben.

II. Feststellungen an der Lokomotive vor den Versuchen.

Nach sorgfältiger Durchregulierung der Steuerung sowohl auf Grund der zweckmäßigsten Voreilungen, als auch in Berücksichtigung der insbesondere im Betriebsdienste am meisten benutzten Füllungsgrade wurden diese für jede Zahnücke der Steuerscheibe an allen vier Zylindern auf beiden Kolbenseiten ausgemessen. Ihre Mittelwerte aus den Werten beider Seiten vor und hinter dem Kolben sind für Hoch- und Niederdruck in Abb. 3, Taf. XLV getrennt dargestellt, ebenso die Schieberwege und Schieberöffnungen für alle Füllungsgrade von 10 zu 10⁰/₁₀ und die Grenzlagen der Steuerung in Abb. 5 und 7, Taf. XLV nebst den Schieberabmessungen in Abb. 4 und 6, Taf. XLV. Hierbei sei bemerkt, daß diese Schieberlinien von den mathematischen Ellipsen nur wenig abweichen, wie der in Abb. 8, Taf. XLV angestellte Vergleich nachweist.

III. Ausrüstung der Lokomotive für die Versuche.

- a. Zur Erkennung der benutzten Füllungsgrade wurden die betreffenden Zahnücken der Steuerscheiben von der Mittelstellung bis zur Auslage der beiden Steuerungen mit Ziffern von 0 bis 47 versehen.
- b. Ferner wurden folgende Dampfspannungs-Messer angebracht:
 1. an der Dampfströmung, um den Druckabfall zu beobachten,
 2. am Verbinder und
 3. an den linken Dampfzylindern zur Aufnahme der Druckteilung für die an dieser Seite befindlichen Spannungszeichner.
- c. Diese Spannungszeichner waren mit Zahnstangenbetrieb, also nach jeder Richtung zwangsläufig, ohne Schnur eingerichtet, so daß der Dampfzugang und das Zeichnen selbst in einfachster und sicherster Weise vom Führerstande aus zu den richtigen Zeitpunkten bewirkt werden konnten.

- d. Ein Saugwirkungs-Messer zur Bestimmung der Luftverdünnung in der Feuerbüchse und Rauchkammer ausgedrückt in cm Wassersäule.
- e. Eine Teilung für den Wasserstand im Kessel neben dem Wasserstandsgläse.
- f. Eine Vorrichtung auf der vordern Bufferbohle zum Aufnehmen der schlingernden Bewegungen (Abb. 9, Taf. XLV).
- g. Ein aufschreibender Kraftmesser zur Bestimmung der Zugkraft zwischen Lokomotive und Wagenzug.
- h. Vier Wasserstandsgläser an den Ecken des Tenders zur Feststellung des Wasserverbrauches.

Von der Anbringung eines Geschwindigkeitsmessers wurde abgesehen, da die Beobachtungen des leitenden Beamten mit der Geschwindigkeitsuhr nach Verlauf jeder Minute genügten.

IV. Vorversuche.

Zunächst wurde die zweckmäßigste Blasrohröffnung nach folgenden Grundsätzen ermittelt.

Mit zunehmender Blasrohröffnung nimmt die zur Dampfbildung unentbehrliche Saugwirkung, also auch die Dampfentwicklung selbst ab, ebenso aber auch der durch den Auswurf entstehende Kohlenverlust, von dem sich ein Teil in der Rauchkammer ansammelt und die Heizrohre zusetzt, und der schädliche Rückdruck in den Niederdruckzylindern. Daher muß bei einer bestimmten unentbehrlichen Dampfentwicklung ein gewisser Durchgangsquerschnitt vorhanden sein, der die unvermeidlichen Nachteile mit den Anforderungen vermittelt.

Der Verfasser hat bei früheren Versuchen, deren Ergebnisse an anderer Stelle*) veröffentlicht sind, diese Verhältnisse näher dargelegt und nachgewiesen, daß es zweckmäßig ist, die Saugwirkung stärker zu machen, als bisher geschehen ist.

Bei den neuen Versuchen hat sich übrigens herausgestellt, daß die Luftverdünnung, also auch der Luftzug über der Feuerung wegen des Widerstandes, den die engen Heizrohre den Heizgasen entgegensetzen, nur $\frac{2}{3}$ von dem in der Rauchkammer beträgt.

In dem vorliegenden Falle erschien es nach eingehender Erwägung geboten, die Blasrohröffnung auf 130 qcm festzusetzen, was zu einer Saugwirkung in Abhängigkeit vom Dampfverbrauche und zu einer Dampfentwicklung führte, die in Abb. 10, Taf. XLV dargestellt sind. Gleichzeitig sind auch die beobachteten Rückdrucke in den Niederdruckzylindern und die Kohlenverluste Q' in der Rauchkammer in ihrer Abhängigkeit von der Blasrohröffnung dargestellt.

Hiernach wurde der Eigenwiderstand der Lokomotive, und zwar zunächst als Fahrzeug durch Auslaufversuche und dann auch als Triebmaschine unter Dampf durch Beschleunigungsversuche mittels Nachrechnung der Dampfspannungs-Schaulinien festgestellt.

Die Ergebnisse der ersteren zeigt Abb. 11 und 12, Taf. XLV, die anderen, die hier zum ersten Male versuchsweise ermittelt sind, erfordern zunächst eine besondere Betrachtung.

*) Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbefleißes in der Abhandlung über: „Versuchsfahrten mit Lokomotiven und Bearbeitung ihrer Ergebnisse“, Jahrg. 1900, Seite 51 und Abb. 14.

Soll der Eigenwiderstand einer Lokomotive unter Dampf bei einem gewissen Füllungsgrade festgestellt werden, so wird die Lokomotive auf einer bestimmten, am besten wagerechten Versuchsstrecke bei dieser unveränderlichen Füllung in Gang gesetzt und die Beschleunigung durch Beobachtung und Aufzeichnung der Geschwindigkeit festgesetzt. (Abb. 13 bis 15, Taf. XLV.)

Bezeichnet dann P^{kg} die bewegende, Z^{kg} die aus den Schaulinien berechnete Zugkraft, W^{kg} den Widerstand der Lokomotive, G^t deren Gewicht, M ihre Masse, $v^{km\ St.}$ die Geschwindigkeit, $f^{m, Sek.}$ die Beschleunigung $= \frac{dv}{dt}$ und $w^{kg/t}$ den Eigenwiderstand für die Gewichtseinheit, so ist die Bewegungsgleichung

$$P = M \cdot f = Z - W = Z - G \cdot w = \frac{G \cdot 1000}{g \cdot 3,6} \cdot \frac{dv}{dt}$$

Da nun $\frac{dv}{dt}$ = der Tangente der Beschleunigungslinie $= \operatorname{tg} \varphi$ ist, so erhält man für einen beliebigen Zeitpunkt t und die Geschwindigkeit v den gesuchten Eigenwiderstand

$$w = \frac{Z}{G} - 28,3 \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

$Z : G$ ist die bewegende, und $28,3 \cdot \operatorname{tg} \varphi$ die beschleunigende Kraft, wie sie aus der tatsächlichen Bewegung folgt, ebenfalls in kg/t .

Die berechnete Kraft Z einer Lokomotive nimmt bei unveränderlicher Füllung und wachsender Geschwindigkeit ab, in ähnlicher Weise auch die bewegende Kraft P , bis ihr Unterschied, der Eigenwiderstand, nach Erreichung des Beharrungszustandes unveränderlich wird.

Hiernach ist der Eigenwiderstand der Versuchslokomotive unter Dampf in seiner Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Füllungsgrade ermittelt, indem der Versuch für drei verschiedene Füllungen angestellt wurde.

Es ergab sich, daß der Eigenwiderstand der Lokomotiven, nicht wie bei den Wagen, teilweise mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst, sondern mehr in geradlinigem Verhältnis; er nimmt aber stark mit der Füllung zu. Abb. 14 und 15, Taf. XLV zeigen diese Abhängigkeiten.

Schließlich muß auch noch die Feststellung der Eigenschaften der zu den eigentlichen Versuchsfahrten bestimmten Kohle und die der zweckmäßigsten Zahl der Roststäbe zu den Vorversuchen gerechnet werden.

V. Die eigentlichen Versuchsfahrten.

Diese Versuche, die die Feststellung der Lokomotivkraft in Gestalt der für den Betrieb erforderlichen Leistungsübersichten bezwecken, verlangen eine gewisse Sorgfalt in ihrer Ausführung, worüber hier folgendes erwähnt werden soll.

Der Regler wurde stets soweit geöffnet, daß jede Drosselung des Dampfes vermieden wurde; denn es bedarf keiner weiteren Erörterung, daß die Lokomotivkraft und der Wirkungsgrad mit der Dampfspannung wächst. Nur beim Schleudern und bei etwa eintretender Dampfneße, die indes zu ver-

meiden ist, muß der Regler auf wenige Augenblicke geschlossen werden.

Der Füllungsgrad ergibt sich bei jeder Zugstärke von selbst nach dem Grade der Dampfbildung, was an der Dampfspannung und dem Stand des Kesselwassers, die beide auf regelmäßiger Höhe bleiben müssen, sichtbar wird; sie sind also unausgesetzt zu beobachten.

Die durch die Versuche erlangten Ergebnisse entsprechen daher uneingeschränkt den Beharrungszuständen der Dampferzeugung und der bewegenden Kraft, so daß die beschleunigende und verzögernde Kraft unter allen Umständen verschwinden. Bei jeder scheinbar noch so geringen Beschleunigung oder Verzögerung geht das Urteil über die Leistungsfähigkeit der Lokomotive verloren.

Um den Kohlenverbrauch einwandfrei festzustellen, wurde jedesmal zur Anheizung der Lokomotive eine vorher bestimmte Anzahl Kohlenziegel bereit gelegt und der Vorrat für die folgende Fahrt so übersichtlich auf dem Tender aufgebaut, daß Bestand und Verbrauch schnell und sicher festgestellt werden konnten. Auch die Ölausgabe wurde scharf überwacht.

Da es sich darum handelt, die Lokomotivkraft für verschiedene Steigungsgrade und Geschwindigkeiten zu ermitteln, so ist es unerlässlich, die Versuche auf wenigstens vier möglichst verschiedenen Steigungen auszuführen. In diesem Falle geschah es auf 1 : ∞, 1 : 200, 1 : 100 und 1 : 30. Da die Eisenbahndirektion Hannover nicht über alle vier verfügt, so wurden die Versuchsfahrten für 1 : 100 auf der Strecke Hettstädt—Mansfeld im Bezirke der Eisenbahndirektion Magdeburg und für 1 : 30 auf der Strecke Erkrath—Hochdahl der Eisenbahndirektion Elberfeld ausgeführt.

Hierbei ist folgendes zu beachten: Die Zugkraft einer Lokomotive setzt sich aus drei Teilen zusammen, denn die aus den Dampfspannungs-Schaulinien ermittelte Kraft Z ist

$$= G_1 w_1 + G w + (G_1 + G) n.$$

Da nun die von der Geschwindigkeit abhängigen Widerstände w und w_1 nur durch eine größere Zahl besonderer Versuchsfahrten ermittelt werden können, so wird der Wert von Z um so sicherer erhalten, je größer die Steigung ist, da dann der dritte von Haus aus bekannte Teil des Wertes von Z die beiden anderen überwiegt. Daher kann eine geringe Zahl von Versuchsfahrten auf einer möglichst starken Steigung nicht entbehrt werden, selbst wenn die Versuchslokomotive nicht für eine solche bestimmt ist. Man erlangt dadurch eine von dem schwierigen Verfahren der Aufnahme von Schaulinien möglichst unabhängige Ermittlung der Zugkraft.

Allerdings muß bemerkt werden, daß eine genau wagerechte Versuchsstrecke auch ihren Vorzug hat, da auf ihr durch Rückfahrten der Einfluß des Kopfwindes festgestellt und bei der Beurteilung der Zugkraft ausgeschieden werden kann. Der Einfluß des Seitenwindes kann aber nur durch vergleichende Versuche mit dem Kraftmesser, durch Ablaufversuche oder durch Rechnung gefunden werden. In dem oben erwähnten Aufsätze ist versucht, eine solche Berechnung aufzustellen.

Hiernach sind folgende Versuchsfahrten ausgeführt worden:

Zusammenstellung II.

Steigung	auf der Strecke	Zahl
1 : ∞	Lehrte—Gardelegen	20
1 : 200	Brackwede—Isselhorst	12
1 : 100	Hettstädt—Mansfeld	6 und
1 : 30	Erkrath—Hochdahl	7
		im ganzen 45

Da sich ferner bei den vom Ministerium angeordneten Versuchen zur Bestimmung der Eigenwiderstände der Wagen ganz erhebliche Unterschiede herausgestellt haben, so ist es unerlässlich, bei allen derartigen Versuchen auch die Bauart der benutzten Wagen anzugeben. Diese waren hier folgende:

- Auf der wagerechten Versuchstrecke nur dreiachsige C-Wagen,
- « 1 : 200 desgleichen,
- « 1 : 100 bei den Fahrten Nr. 33 und 34 ebenfalls, bei den Fahrten Nr. 35 bis 38 nur vierachsige AB-Wagen,
- « 1 : 30 nur dreiachsige C-Wagen.

Die Eigenwiderstände dieser Wagen wurden durch besondere Versuche ermittelt, die zu den dreigliedrigen Formeln führten:

a. dreiachsige Wagen

$$w^{kg/t} = 0,7 + \frac{v^{km/St}}{100} + \frac{(v^{km/St})^2}{1800}$$

b. vierachsige Wagen

$$w^{kg/t} = 0,5 + \frac{v^{km/St}}{110} + \frac{(v^{km/St})^2}{2000}$$

Um einen weitem Überblick über die Ausdehnung der Versuche zu gewinnen, sind hierunter noch die Grenzwerte angegeben, zwischen denen sich die Versuche bewegten.

Steigung der Versuchstrecke	0 bis 30 ‰
Zugstärke	0 bis 100 Achsen = 0 bis 543 t
Zuggeschwindigkeit im Beharrungszustande	16 bis 119 km/St.
Umdrehungszahl der Triebachsen	0,72 bis 5,52 in der Sekunde.
Hochdruckfüllung	30 bis 61 ‰
Saugwirkung in der Rauchkammer	6 bis 24 cm Wassersäule
Der mittlere zusammengesetzte wirkliche Dampfdruck	$p_{m1} = p_m + \frac{d'^2}{d^2} \cdot p_m = 2,75$ bis 15,11 at

Bemerkungen.

Kohlen:

Rest von Fahrt Nr.	kg
Zugeladen in	kg
Vorrat für Fahrt Nr.	kg
Rest von Fahrt Nr.	kg
Verbrauch für Fahrt Nr.	kg

Öl:

Rest von Fahrt Nr.	kg
Zugeladen in	kg
Zum Füllen der Ölfässer	kg
Vorrat für Fahrten Nr.	kg
Rest von Fahrten Nr.	kg
Verbrauch für Fahrten Nr.	kg

Der mittlere Überdruck in den Hochdruckschieberkästen p_1 12,0 bis 13,6 at
 Der mittlere Überdruck im Verbinder p_r 1,2 bis 4,8 at
 Aus den Schaulinien ermittelte Zugkraft Z_i 1027 bis 5645 kg
 Zugkraft am Zughaken 0 bis 3175 kg
 Aus den Schaulinien ermittelte Leistung L_i 312 bis 940 P.S.
 Leistung am Zughaken L 0 bis 600 P.S.
 Kohlenverbrauch K 406 bis 1188 kg/St.
 Wasserverbrauch M 4000 bis 9940 «

Um bei diesen Versuchen gleichzeitig auch bestimmte wissenschaftliche Ergebnisse zu erlangen, sind folgende Beobachtungen und Ermittlungen angestellt und folgende Werte festgestellt worden:

1. die Füllungsgrade,
2. die Beharrungsgeschwindigkeiten,
3. die Beschleunigungen,
4. die Bremswege,
5. die mittleren wirklichen Dampfspannungen im Kessel,
6. « « « « in den Hochdruckschieberkästen,
7. die mittleren wirklichen Dampfspannungen im Verbinder,
8. die Saugwirkung,
9. die Dampfverteilung in den Zylindern,
10. alle in der Untersuchung durch Schaulinien enthaltenen Ermittlungen über Einströmung, Dampfdehnung, Vorausströmung, Ausströmung und Zusammendrückung des Dampfes, insbesondere über den Rückdruck,
11. Einfluss der Niederdruckfüllungen,
12. die Zugkraft aus den Schaulinien Z_i ,
13. am Tenderhaken Z ,
14. die Leistungen aus den Schaulinien L_i ,
15. die Leistungen am Tenderhaken L ,
16. Kohlenverbrauch K ,
17. Kohlenverluste $\mathfrak{R} + \mathfrak{R}'$,
18. Dampfverbrauch M_2 ,
19. Dampfentwicklung M_3 ,
20. Wasserverluste $\mathfrak{B} + \mathfrak{B}'$,
21. Dampfverluste \mathfrak{B}'' ,
22. Wasserverbrauch M_1 .

Bei den Versuchen wurden folgende Vordrucke benutzt.

Fahrt Nr.
Anzahl der Achsen:
Lokomotiv-Nr.
Lokomotivgewicht: t
Wagengewicht: t
Ganzes Gewicht: t.

Zusammenstellung III.

Fahrt Nr.	Zugstärke Achsen	Zuggewicht t
13	39	208,3
26	39	203,5
38	16	161,5
45	6	36,8

Wasserverluste: Strahlpumpe anstellen	1 mal = 8 kg
" " Rauchkammerspritze	1 " = 10 "
" " Kohlenspritze	1 " = 10 "
Dampfverluste Luftpumpe	1 Min. = 12 "
" " Öler	1 " = 1,25 "

Nr.	Gegenstand	Einheit	F a h r t N r.			
			13	26	38	45
			1:∞	1:200	1:100	1:30
1	Zugstärke	Achsen	39	39	16	6
2	Ganze Fahrzeit	Min.	69	13	9 1/2	5 1/2
3	Durchschnittliche Geschwindigkeit	km/St.	88,7	61,4	58,1	30,6
4	Größte erreichte	"	101	76	75	42
5	Kohlenverbrauch zum Anheizen	kg	620	620	620	620
6	" auf der Fahrt	"	1150		nicht gemessen	
7	Länge der durchfahrenen Strecke	km	102	13,3	9,2	2,8
8	Wasserverbrauch aus dem Tender	kg	9875	1449	1180	643
9	" " " Kessel	"	100	20	50	50
10	Ölverbrauch: Mineralöl	"	2,0			
11	" Mischöl	"	1,25		nicht gemessen	
12	" Talg	"	0,25			
13	Rückstände: Rauchkammer	"	150		nicht gemessen	
14	" Aschkasten	"	75			
15	Wind-Stärke	Nr.	2	1	1	2
16	Wind-Richtung	—				
17	Beharrungszustand: Hochdruckfüllung	%	34,0	43,0	51,0	58,1
18	" Niederdruckfüllung	"	80,6	80,6	80,6	80,6
19	" Geschwindigkeit	km/St.	96	76	62,5	42
20	Strahlpumpe angestellt	mal	41	4	6	1
21	" Wasserverlust	kg	328	32	48	8
22	Rauchkammerspritze angestellt	mal	8	—	—	—
23	" -Wasserverlust	kg	80	—	—	—
24	Luftpumpe, voller Gang	Min.	15	4	4	—
25	" Dampfverlust	kg	180	48	48	—
26	Kohlenspritze angestellt	mal	6	—	—	—
27	" Wasserverlust	kg	60	—	—	—
28	Öler im Gange	Min.	70	13	10	5
29	" Dampfverlust	kg	87	16	12	6

Zusammenstellung IV.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	F a h r t N r.			
				13	26	38	45
				1:∞	1:200	1:100	1:30
1	Länge der Versuchsstrecke	km	s	102	13,3	9,2	2,8
2	Zugstärke	Achsen	—	39	39	16	6
3	Zuggewicht	t	G	208,3	203,5	161,5	36,8
4	Gewicht einer Achse	"	—	5,34	5,22	10,10	6,13
5	Achskilometer	—	—	3978	518,7	147,2	16,8
6	Nutztonnenkilometer	—	Gs	21246,6	2706,6	1458,8	103,0
7	Durchschnittliches Lokomotivgewicht	t	G ₁	88,0	87,0	91,2	91,5
8	Bruttotonnenkilometer	—	(G ₁ + G) _s	30222,6	3863,7	2324,8	359,2

Ist dann ferner s die Entfernung zweier Stationen, z. B. auf der Steigung 1:200, durch die der Zug ohne Aufenthalt und Geschwindigkeitsänderung durchfahren soll, so ist die gesuchte Fahrzeit

$$t = \frac{60 \cdot s}{v} = \frac{60 \cdot s}{61} \text{ Minuten.}$$

Soll aber auf einer Station gehalten werden, so sind für die Verzögerung und Beschleunigung die entsprechenden Zuschläge zur Fahrzeit zu geben.

Da die Linien der Abb. 33, Taf. XLVI innerhalb gewisser Grenzen nur wenig von Geraden abweichen, so kann die Abhängigkeit der Zuggeschwindigkeit von dem Steigungsgrade der Strecke mit großer Annäherung als eine gerade betrachtet, also

$$v = a + b n$$

gesetzt werden, zum Beispiel im vorliegenden Falle.

$$v = 85 - 4,8 n.$$

Der Wert a entspricht der Grundgeschwindigkeit $v_0 = 85 \text{ km/St.}$, der Wert b aber der Steigung, das heißt dem Grade der Geschwindigkeitsänderung, die die Steigung erfordert, damit der Zug bei gleichmäßiger Beanspruchung der Lokomotive ohne Vorspann befördert werden kann.

Dies Verfahren der Aufstellung der Fahrpläne nach der vorhandenen Lokomotivkraft ist einfacher, als das bisher übliche.

Die lotrechten Querlinien entsprechen unveränderlicher Geschwindigkeit und geben daher die Zugbelastungen auf verschiedenen Steigungen; sie können also dazu benutzt werden, den Eigenwiderstand der Fahrzeuge auch aus diesen Leistungsversuchen zu ermitteln. Werden zum Beispiel, um zu den gewünschten Ergebnissen zu gelangen, die Lotrechten der fünf Geschwindigkeiten $v = 42, 53, 63, 80$ und 95 km/St. ausgewählt, so erhält man aus den Schnittpunkten mit den betreffenden Leistungslinien, die in der Zusammenstellung XI enthaltenen und in Abb. 34, Taf. XLVI dargestellten Werte der

Zuglasten G , der Füllungsgrade ε , der Zugkräfte Z_i , sowie der aus folgender Berechnung sich ergebenden Eigenwiderstände:

a) der Lokomotive im Dampfe w_1 und b) des Wagenzuges w .

$$Z_i \text{ ist } = G_1 w_1 + G w + (G_1 + G) n.$$

Der Eigenwiderstand der Wagen kann $w = a + b v^2$ gesetzt werden, während derjenige der Lokomotive im Dampfe nach Abb. 13 bis 15 Taf. — auch vom Füllungsgrade abhängt, und annähernd durch einen Ausdruck von der Form

$$w_1 = a_1 + b_1 v + c_1 \varepsilon^2$$

dargestellt werden kann.

Werden diese Ausdrücke für die verschiedenen Geschwindigkeiten und Füllungsgrade in die Formel für Z_i eingesetzt, so erhält man eine Reihe von Gleichungen zur Bestimmung der Werte a, b, a_1, b_1 und c_1 . Man kann aber die Werte für w und w_1 auch unmittelbar aus den Z_i -Gleichungen erlangen; sie sind in Abb. 34 Taf. XLVI dargestellt.

Zusammenstellung V.

a) Im Beharrungszustande.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Bezeichnung	Fahrt Nr.			
				13	26	38	45
1	Steigung	—	—	$1 : \infty$	1 : 200	1 : 100	1 : 30
2	Zuggeschwindigkeit	km/St	v	96	76	62,5	42
3	Eigenwiderstand der Lokomotive	kg/t	w_1	10,6	6,1	7,0	5,0
4	" " Wagen	"	w	6,7	4,7	3,0	2,1
5	Ganzer Eigenwiderstand der Lokomotive	kg	$Z_1 = G_1(w_1 + n)$	932,8	1139,7	1550,4	3504,5
6	" " " Wagen. Zugkraft am Tenderhaken Z	"	$Z = G \cdot (w + n)$	1395,6	1973,9	2099,5	1302,7
7	Ganze Zugkraft nach $Z_1 = (5 + 6)$	"	$Z_1 = G_1(w_1 + n) + G(w + n)$	2328,4	3113,6	3649,9	4807,2
8	Leistung nach den Schaulinien $L_i = \frac{Z_i \cdot v}{270}$	PS	L_i	828	876	845	748
9	Zugkraft nach den Schaulinien	kg	Z_i	2309	3004	3613	5070
10	Leistung nach den Schaulinien $L_i = \frac{Z_i \cdot v}{270}$	PS	L_i	821	830	836	788
11	Zugkraft nach den Schaulinien: Reibungslast	kg/t	Z_i / A	72,2	93,9	114,1	158,5
12	Zugkraft nach den Schaulinien: Dienstgewicht ohne Tender	"	Z_i / G'	42,8	55,6	67,6	93,9
13	Zugkraft nach den Schaulinien: Heizfläche	gk/qm	Z_i / H	18,9	24,6	29,5	41,6
14	Leistung nach den Schaulinien: Heizfläche	PS/qm	L_i / H	6,8	6,9	6,9	6,5
15	Leistung der Lokomotive für sich	PS	$\frac{G_1(w_1 + n) \cdot v}{270}$	331	321	359	545
16	Leistung in % der ganzen Leistung	%	$\frac{G_1(w_1 + n) \cdot v \cdot 100}{270 L_i}$	40	36	43	74
17	Wirkliche Leistung am Wagenzuge	PS	$\frac{G \cdot (w + n) \cdot v}{270}$	496	555	486	208
18	Wirkliche Leistung in % der ganzen Leistung	%	$\frac{G(w + n) \cdot v \cdot 100}{270 L_i}$	60	64	57	26

b) Im Durchschnitte.

1	Steigung	—	—	1 : ∞	1 : 200	1 : 100	1 : 30
2	Zuggeschwindigkeit	km/St	v_m	88,7	61,4	58,1	30,6
3	Eigenwiderstand der Lokomotive	kg/t	w_{m1}	9,6	6,6	6,3	4,1
4	" " Wagen	"	w_m	5,9	3,4	2,7	1,5
5	Ganzer Eigenwiderstand der Lokomotive	kg	$G_1 \cdot (w_{m1} + n)$	844,8	1009,2	1486,6	3422,1
6	" " " Wagen	"	$G \cdot (w_m + n)$	1228,9	1709,4	2051,1	1280,6
7	Ganze Zugkraft nach $(5 + 6)$	"	Z_m	2073,7	2718,6	3537,7	4702,7
8	Leistung nach den Schaulinien	PS	L_m	681	618	761	533

Zusammenstellung VI.

Nr.	Gegenstand Kohlenverbrauch F = 2,28 qm. H = 122 qm	Einheit	Bezeichnung	Fahrt No. 13
1	Zum Anheizen	kg	K'	620
2	Auf der Fahrt	"	K	1150
3	Rückstände auf dem Roste und im Aschkasten (Schlacke)	"	R	75
4	Rückstände in der Rauchkammer (Lösche)	"	R'	150
5	Verhältnis zu K.	%	$\frac{R}{K} \cdot 100$	6,5
6	" " "	"	$\frac{R'}{K} \cdot 100$	13
7	" " "	"	$\frac{R + R'}{K} \cdot 100$	19,5
8	K in der Stunde	kg	k	1015
9	K + K' in der Stunde	"	k ₁	1562
10	K für 1 qm Rostfläche	kg/qm	$f = \frac{k}{F}$	445
11	" " 1 " Heizfläche	"	$f_1 = \frac{k}{H}$	8,3
12	" " 1 Stunde und Pferdekraft	kg/P. S. St.	$\epsilon = \frac{\eta}{\xi} \cdot \frac{k}{L_m}$	1,26
13	K für 1 Zugkilometer	kg/km	—	11,3
14	K + K' " 1 " "	"	—	17,4
15	K " 1 Achskilometer mit Lokomotive	"	—	0,24
16	K + K' " 1 " " "	"	—	0,37
17	K " 1000 Bruttotonnenkilometer mit Lokomotive	kg/1000 tkm	—	38,2
18	K + K' " 1000 " " "	"	—	58,8
19	K " 1000 Nutztonnenkilometer ohne Lokomotive	"	—	510,3
20	K + K' " 1000 " " "	"	—	83,7

Ein Vergleich der hieraus folgenden Werte für Z_i ist in der Zusammenstellung XII angegeben.

Hiernach bot sich eine Gelegenheit, die auf vierfache Weise ermittelten Zugkräfte Z_i mit einander zu vergleichen. In der Zusammenstellung XII bedeutet

Z' die aus den Schaulinien,

Z'' die aus den Ablaufversuchen,

Z''' die aus den Beschleunigungsversuchen unter Dampf und unmittelbar durch den Kraftmesser,

Z'''' die aus den Leistungslinien abgeleiteten Werte der Zugkraft, was zu folgender Beurteilung Anlaß gibt.

Bei den zu den kleinen Geschwindigkeiten gehörigen Ziffern ist die Reibung von Einfluss, deren Wertziffer zum Beispiel $\frac{5800}{32000} = \frac{1}{5,5}$ nicht immer zutreffen wird, denn er ist von der zufälligen Beschaffenheit der Schienenoberfläche abhängig. Nimmt man als mittlern Wert $\frac{1}{6}$ an, so entspricht ihm eine Dampfdruck-Zugkraft an der Reibungsgrenze

$$= \frac{32000}{6} = 5333 \text{ kg.}$$

Im übrigen zeigt der Vergleich, daß die Untersuchung durch Dampfdruckschaulinien und die Leistungsversuche die mittleren Werte liefert, ohne jedoch, immer von der Über-

schreitung der Reibungsgrenze abgesehen, sehr erhebliche Abweichungen bei den vier von einander unabhängigen Ermittlungsarten zu erhalten.

Der Einfluss der Niederdruckfüllung.

Während der Nachweis dieses Einflusses durch Dampfdruckschaulinien bereits in früheren Abhandlungen*) geführt worden ist, haben wir uns hier auf Beobachtungen beschränkt, die ohne Berechnung nur durch Anschauung zu einer Beurteilung führen. Wir haben so die Bedeutung der Niederdruckfüllung dargelegt:

a. durch unmittelbare Beobachtungen bei den Versuchsfahrten:

1. indem die Niederdruckfüllung bei ein und derselben Fahrt, also unter gleichen Verhältnissen streckenweise geändert wurde. Abb. 35 und 36, Taf. XLVI,
2. indem die ganzen Versuchsfahrten mit ungleichen Niederdruckfüllungen wiederholt wurden: Abb. 37 bis 39, Taf. XLVI;

b. durch die bei der Ermittlung des Eigenwiderstandes der Lokomotive unter Dampf angestellten Beschleunigungsversuche: Abb. 40, Taf. XLVI.

*) Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerfleißes in der Abhandlung über: „Versuchsfahrten mit Lokomotiven und Bearbeitung ihrer Ergebnisse“, Jahrg. 1900, Seite 51 und Abb. 14.

Zusammenstellung VIII.

No.	Gegenstand Schmiermittel	Einheit	Fahrt 13 Zugstärke 1 : ∞	Vergleich mit der	
				2/5 gekuppelten Lokomotive Grafenstaden 40 Achsen	2/5 gekuppelten Lokomotive Hannover 40 Achsen
Schmiermaterial					
1	Für die Teile, die nicht in Dampf gehen, Öl und Talg	kg	2,5	12	7,5
2	Für die in Dampf gehenden Teile	"	1,25	3,5	4
3	1 und 2 im Ganzen	"	3,5	15,5	11,5
4	Nr. 1 für 1000 Lokomotivkilometer	kg 1000 km	22,1	49,2	30,75
5	" 2 " 1000 "	"	12,3	14,4	16,40
6	4 und 5 im Ganzen	"	34,4	63,6	47,2
7	No. 3 in der Stunde	kg/St	2,98	5,5	4,4
8	" 3 für 1 Stunde und Pferdekraft	gr P.S.St.	43,8	55	39

Zusammenstellung IX.

Geschwindig- keit km/St.	Geförderte Wagenlast in t auf den Steigungen.									Zugkraft aus den Schaulinien kg	Leistung aus den Schaulinien P. S.
	1 : ∞	1 : 500	1 : 300	1 : 200	1 : 150	1 : 100	1 : 60	1 : 50	1 : 40		
30	—	—	—	—	—	270	148	122	87	5100	567
40	—	—	—	—	345	245	128	107	70	4700	696
50	—	—	—	415	285	205	105	82	52	4225	783
60	—	—	400	330	230	170	88	67	38	3650	811
70	570	350	288	240	180	137	67	50	—	3150	817
80	380	245	200	168	135	108	—	—	—	2750	816
90	250	175	158	128	102	88	—	—	—	2440	815
100	175	138	118	98	76	—	—	—	—	2200	814

Zusammenstellung X.

Zahl der Achsen zu 6 t.	Geschwindigkeit bei unveränderter Zuglast für verschiedene Steigungen.										
	1 : ∞	1 : 500	1 : 300	1 : 200	1 : 150	1 : 100	1 : 70	1 : 60	1 : 50	1 : 40	1 : 30
12	133	125	117	111	103	95	78	66	55	38	17 km
15	124	106	110	103	95	87	69	57	46	29	— "
20	113	105	100	93	85	76	57	43	31	—	— "
30	99	91	84	79	70	57	30	—	—	—	— "
40	91	81	75	70	58	40	—	—	—	—	— "
50	85	75	69	64	48	—	—	—	—	—	— "

Zusammenstellung XI.

Nr.	Geschwindigkeit v km/St	Steigung n ‰	Füllungs- grad ε ‰	Gewicht des Wagenzuges G t	Zugkraft nach den Schaulinien Z _i	Eigenwiderstände der		
						Wagen w kg/t	Lokomotive w ₁ kg/t	
1	42	10	58	230	4647	1,4	15,0	Lokomotiv- gewicht = 80 t
		33,3		35	4724			
2	53	5	52	395	3967	2,05	9,6	
		10		198	3974			
3	63	5	48	310	3507	3,0	7,6	
		10		160	3506			
4	80	0	42	385	2737	5,7	6,7	
		5		167	2734			
5	95	0	38	204	2354	8,8	6,9	
		5		102	2372			

Zusammenstellung XII.

Ganze Zugkraft Z_i auf vier Weisen ermittelt.

Geschwindigkeit v =	42	53	63	80	95 km/St
Z' aus den Schaulinien	5070	4150	3500	2800	2310
Z'' nach Ablaufversuchen	4070	4050	3600	2975	2550
Z''' aus Beschleunigungsversuchen und Kraftmesser	5800	4350	3500	2700	2150
Z'''' aus Leistungsversuchen	4628	3971	3507	2736	2663

Als Beispiel zu a) 1 dienen die Fahrten Nr. 5 und 6 (Abb. 35, Taf. XLVI) mit 100, sowie Nr. 7 und 8 (Abb. 36, Taf. XLVI) mit 60 Achsen auf der Wagerechten. Die bei gleichen Hoch- und verschiedenen Niederdruckfüllungen auf drei hinter einander liegenden Vergleichsteilstrecken während derselben Fahrt erreichten Beharrungs-Geschwindigkeiten waren bei der Hochdruckfüllung $\varepsilon = 40,3 ‰$ und den Niederdruckfüllungen $\varepsilon' = 39,9, 59,7$ und $80,6 ‰$: bei 100 Achsen 60, 64 und 68 km/St. und bei 60 Achsen mit der Hochdruckfüllung $\varepsilon = 35,7$: 66, 74 und 81 km/St.

Als Beispiel zu a) 2 dienen die Fahrten 9, 11 und 13 (Abb. 37 bis 39, Taf. XLVI bei 39 Achsen mit folgenden Ergebnissen:

Fahrt Nr.	ε	ε'	v
9	34,0	32,8	72
11	"	54,4	90
13	"	80,6	96 km St.

In Abb. 40, Taf. XLVI sind diese und noch einige andere Ergebnisse bildlich dargestellt.

Zu b. ist aus den drei Beschleunigungslinien (Abb. 13, Taf. XLV) ohne weiteres die größere Kraft bei zunehmender Niederdruckfüllung deutlich erkennbar.

Aber nicht allein die Leistung, sondern auch die Saugwirkung und daher die Dampfbildung werden gesteigert, wie aus der Abb. 41, Taf. XLVII ersichtlich ist.

Ferner ist der ebenfalls günstige Einfluss auf die mittlere Dampfspannung in den Zylindern p_{m1} , die Zugkraft und Leistung in Abb. 42, Taf. XLVII dargestellt. Schliesslich ist noch hervorzuheben, dass auch der Gang der Lokomotive, der bei fast gleichen Füllungsgraden, die noch vor kurzem und teilweise auch jetzt noch bei Lokomotiven, ortsfesten Dampf- und

Schiffs-Maschinen zur Anwendung gelangen, sehr hart und unruhig ist, durch volles Auslegen der Niederdrucksteuerung ganz auffällig gebessert wird. Auf Grund dieser mehrfach bewiesenen Tatsache muss die dringende Empfehlung, die Niederdruckfüllung zu erhöhen, erneuert werden.

Der Dampfverbrauch wird bei steigender Niederdruckfüllung durch grössere Wärmegefälle zwischen dem Ein- und Ausströmdampfe der Hochdruckzylinder zwar erhöht, aber durch die erlangte Geschwindigkeitsteigerung bei gleicher Hochdruckfüllung wieder vermindert. Wir haben daher auch in dieser Beziehung Erhebungen angestellt, die sich auf die Versuchsfahrten Nr. 9 bis 14 erstrecken.

Der Dampfverbrauch ist der gesteigerten Saugwirkung, der grösseren Geschwindigkeit und Zugkraft, also der doppelt vermehrten Leistung entsprechend, in der Zeiteinheit selbstredend grösser; er ist dies aber auch, wie die Versuche zeigen, für die einzelne Füllung. Da nun die Dampfzuströmung bei gleich bleibender Füllung und grösserer Geschwindigkeit kleiner wird, so kann der Dampfverlust nur durch den schädlichen Raum hervorgerufen werden und zwar in doppelter Weise:

- 1) durch die grössere Dampfmenge zur Ausfüllung dieses Raumes und
- 2) durch den verstärkten innern Niederschlag.

Die Lokomotive ist für die Anwendung einer höhern Niederdruckfüllung nicht entworfen; der erwähnte Nachteil kann daher, und zwar durch eine Verkleinerung der nach französischem Muster zu groß gewählten schädlichen Räume beseitigt werden. Dies lässt sich aus Abb. 43, Taf. XLVII leicht nachweisen. Sie gibt eine theoretische Dampfdruck-Schaulinie, in der die Dampfmen gen durch Flächen dargestellt werden.

Der Kolbenhub sei = 100 gesetzt, der Füllungsgrad $\epsilon = 40\%$, der schädliche Raum ist = $15,5\%$ des Hubinhaltes.

Wird der Indikator-Maßstab der Schaulinie 1 at = 3,9 mm beibehalten, so ist der Kesselüberdruck $p = 14 \text{ at} = 14 \cdot 3,9 = 54,6 \text{ mm}$ und die Dampfspannung über der Luftleere $p + 1 = 15 \text{ at} = 15 \cdot 3,9 = 58,5 \text{ mm}$.

Der Enddruck der Zusammenpressung ist bei der größten Niederdruckfüllung = $8,2 \text{ at} = 32 \text{ mm}$. Hiernach entspricht die Fläche $(p + 1) \epsilon = 2340$ der eigentlichen Füllung $(p - q) \lambda = 349$ dem Verluste durch den schädlichen Raum, daher $\frac{349 \cdot 100}{2689} = 13\%$. Da nun der Mehrverbrauch

nach den Versuchsergebnissen durch die höhere Niederdruckfüllung und Senkung der Zusammenpressung bis zu 23% beträgt, so gehen 10% durch Niederschlag mehr verloren. Dieser ganze Verlust fällt aber fort, wenn der Enddruck der Zusammenpressung bis auf 14 at gesteigert wird, was sehr leicht durch Verminderung des schädlichen Raumes auf

$$\frac{(q - q_1)}{p - q_1} \lambda = \frac{(8,2 - 2,0)}{14,0 - 2,0} \cdot 15,5 = 8,0\%$$

erreicht werden kann, auch ohne Verkleinerung der negativen innern Deckung.

Hiermit sind allerdings wieder einige kleine Arbeitsverluste im Dehnungs- und Pressungs-Abschnitte verbunden, die durch die gestrichelten Linien angegeben sind, sie betragen aber nur $6,7\%$ der ganzen Arbeit, kommen daher der Dampfersparnis gegenüber nicht in Frage.

Tatsächlich gestaltet sich die Sache allerdings etwas anders, wie aus der Form der wirklichen nach Rankine behandelten Schaulinien (Abb. 44, Taf. XLVII) folgt, allein der erreichte Vorteil wird durch Verkleinerung der Dampfmenge noch gesteigert.

Bevor wir auf die wissenschaftliche Ausbeute dieser Versuche eingehen, wollen wir im folgenden zunächst noch über einige Nebenergebnisse berichten.

1. Die Zugbeschleunigung.

Wenn sich die eigentliche Beurteilung der Lokomotivkraft auf den Beharrungszustand gründet, so ist doch auch die Anzugs- und beschleunigende Kraft geeignet, Vergleiche mit anderen Lokomotiven anzustellen, und daher geben wir in Zusammenstellung XIII diejenigen Geschwindigkeiten an, die nach 5 und 25 Minuten auf den verschiedenen Steigungen erreicht wurden.

Zusammenstellung XIII.

Nr.	Versuchs- strecke	Fahrt Nr.	Zug- stärke.	Niederdruck- füllung ϵ'	Geschwindigkeit nach	
					5	25 Minuten
1	1 : ∞	9	39 Achsen	ϵ	45	70
2	"	11	"	$\epsilon + 20\%$	51	88
3	"	13	"	80,6	63	97 km/St.
4	1 : 200	25	"	$\epsilon + 20$	53	
5	"	26	"	80,6	58	
6	1 : 100	37	16 "	$\epsilon + 20$	49	
7	"	38	"	80,6	55	
8	1 : 30	44	"	$\epsilon + 20$	40	
9	"	45	"	80,6	42	

Die Beschleunigung des 39 Achsen starken Zuges auf der Wagerechten betrug daher in den ersten 5 Minuten nach Reihe Nr. 3 $12,6 \text{ km/Min.}$ oder $0,06 \text{ m/Sek.}^2$.

2. Die Bremsversuche.

Hier werden nur zwei Beispiele angeführt, und zwar für die wagerechte Strecke bei 100 km/St. Anfangsgeschwindigkeit

- a) für die Lokomotive allein, Gewicht 88 t,
- b) für die Lokomotive mit 39 Achsen, Gewicht 208 t.

	Bremsweg.	Bremszeit.
a)	856 m	48 Sekunden,
b)	580 "	37,75 "

Hierbei wurde die Gefahrenbremsung angewendet.

Die Bremsarbeit entsprach bei a) einer Verzögerung von etwa 2 km/Sek. oder $0,74 \text{ m/Sek.}^2$

3. Die Dämpfentwicklung

im Wasserspiegel des Kessels.

Die durch den q_m der Trennungsfäche zwischen dem Wasser und dem Dampfe in der Zeiteinheit gehende Dampfmenge gibt einen Maßstab für den Grad der Dampfnässe. Daher ist es zweckmäßig, zum Vergleiche mit anderen Lokomotiven einige dieser Ziffern und zwar für die vier gewählten Beispiele hier anzuführen. Sie waren bei einem Wasserspiegel von

6,80	6,25	7,52	und	7,20 qm
1270	1220	1120	"	1140 kg/Stunde.

4. Der Druckabfall

zwischen Kessel und Schieberkästen.

Der Druckabfall liefert ein Urteil darüber, ob der Dampf auf seinem Wege große Hindernisse findet und ob insbesondere die Regleröffnung genügt. Bei den Versuchsfahrten war er

0,83	0,50	0,85	und	0,42 at.
------	------	------	-----	----------

5. Die Dampfgeschwindigkeit

in der Schieberöffnung und in den Kanälen.

Sie gibt einen Maßstab zur Beurteilung des Durchgangsquerschnittes, dessen Widerstand den Druckabfall des Dampfes zwischen den Schieberkästen und den Zylindern verursacht. Die größte Schieberöffnung der Hochdruckzylinder bei 40% Füllung ist $\bar{f} = 35,5 \text{ qcm.}$

Beträgt nun der Dampfverbrauch der Maschine

$$m_2 = 8000 \text{ kg/Stunde,}$$

so ist derjenige eines Kolbenhubes

$$\mathfrak{D} = \frac{m_2 \cdot 1000}{60 \cdot 60 \cdot z \cdot 4} = 146 \text{ gr/Sek.,}$$

wenn z die Zahl der Umdrehungen der Triebachse in einer Sekunde bezeichnet.

$$z = \frac{v \cdot 1000}{60 \cdot 60 \pi D}$$

$$= \frac{v}{22,4} = 3,8$$

für die Zuggeschwindigkeit $v = 85 \text{ km/St.}$

Hiernach ist die Dampfgeschwindigkeit in der Schieberöffnung mindestens

$$v = \frac{D}{\gamma \cdot \bar{f} \cdot t} = 108 \text{ m/Sek.}$$

und in den Kanälen $v' = 38 \text{ m.}$

t ist die Zeitdauer einer Füllung, annähernd

$$= \frac{1}{2z} \cdot \frac{\varepsilon}{100} = \frac{0,4}{7,6} = 0,053 \text{ Sekunden.}$$

Diese Dampfgeschwindigkeit ist eine nicht zu übersehende, maßgebende Grundlage für die Entwürfe der Steuerung.

6. Der Rückdruck in den Niederdruckzylindern.

Er hielt sich in ziemlich bescheidenen Grenzen und war bei den vier Versuchsfahrten

$$0,69, 0,51, 0,45 \text{ und } 0,42 \text{ at.}$$

7. Der theoretische Dampfverbrauch.

Er ist $m = \frac{u \varepsilon v \gamma}{1000} \text{ kg/St.}$, wobei zu beachten ist, daß

der wirkliche wegen der Drosselung von der Erzeugung bis zur Verbrauch-Stelle hiergegen zurückbleibt, andererseits durch die schädlichen Räume größer wird.

Immerhin gibt der berechnete Dampfverbrauch einen Fingerzeig zur Beurteilung der Dampf- und Wärmeverluste; er ist daher für alle 45 Versuchszüge berechnet und mit dem wirklichen in Vergleich gestellt worden (Abb. 45, Taf. XLVII). Die Linie 6 gibt in % an, um wieviel der wirkliche größer ist, als der berechnete. Dieser Unterschied wächst daher, wenn die Geschwindigkeit kleiner wird, was auf verstärkten innern Niederschlag hinweist.

8. Der Wärme-Wirkungsgrad.

Aus allen Versuchsfahrten, auch aus den längeren auf der wagerechten Strecke mit Fahrzeiten bis 1,75 Stunden und insbesondere aus Zusammenstellung VII über die vier ausgewählten Beispiele konnte man entnehmen, daß die zum Anheizen der Lokomotive erforderliche Kohlenmenge im Verhältnisse zu der auf der Fahrt gebrauchten viel zu groß ist, um ein richtiges Urteil zu gewinnen. Denn es ist unmöglich, den Anfangszustand des Feuers genau wieder herzustellen oder den Anteil der Anheizmenge während der Fahrt zu bestimmen. Man sollte daher bei der Verfolgung des vorliegenden Zweckes solche Kohlenmessungen ganz unterlassen, wenn die Fahrt nicht länger dauert als 2 Stunden. Daher wurde ein Überführungszug von 60 Achsen von Hannover nach Gütersloh hierzu benutzt.

Hierbei war: die durchfahrene Strecke 127,2 km, die Zuglast 322 t, die Fahrzeit unter Dampf 171 Minuten, der Kohlenverbrauch 1360 kg, der Wasserverbrauch 10575 kg und der Wasserverlust 320 kg.

Hiernach ergab sich eine Verdampfungsziffer

$$\xi = \frac{10575 - 320}{1360} = 7,5.$$

Da nun die Heizkraft der verwendeten Preßkohlen $\zeta = 7568 \text{ W.}\mathcal{E.}/\text{kg}$ betrug, so ergibt sich ein Wirkungsgrad der Feuerung von

$$\frac{\xi \cdot \lambda}{\zeta} = \frac{7,5 \cdot 667 \cdot 100}{7568} = 66\%;$$

34% der entwickelten Wärmemenge gingen durch den Schornstein und durch Abkühlung verloren.

Bezeichnet man die Dampfverwertung durch η in kg für die Leistungseinheit, so ist der entsprechende Wärmewert $\eta \cdot \lambda$,

wenn λ die Wärmemenge des Dampfes nach der Regnault'schen Formel $= 606,5 + 0,305 t \text{ W.}\mathcal{E.}$ etwa $= 667 \text{ W.}\mathcal{E.}$ bezeichnet. Da nun der Wärmeverbrauch für die mechanische Arbeitseinheit $=$ der thermodynamischen Wertziffer

$$A = \frac{1}{424} \text{ W.}\mathcal{E.} \text{ ist, so ist er für } 1 \text{ P.S./St.} \\ = \frac{60 \cdot 60 \cdot 75}{424} = 637 \text{ W.}\mathcal{E.}$$

Hieraus ergibt sich der Wirkungsgrad der Dampfmaschine zum Beispiel im günstigsten Falle

$$\frac{637}{\eta(\lambda - q)} = \frac{637}{9,3(667 - 10)} = \frac{1}{9,6} = 10,4\%,$$

wenn q die Wärmestufe des dem Kessel zugeführten Speisewassers bezeichnet.

Der Wirkungsgrad der ganzen Kraftanlage aber ist gleich dem Verhältnisse der zugeführten Wärmemenge zur theoretischen

$$= \frac{637}{\eta \xi} = \frac{637 \cdot 100}{9,3 \cdot 7568} = 6,8\%.$$

9. Der Kohlenverbrauch.

Er war bei der Versuchsfahrt Nr. 13 mit 39 Achsen auf der Wagerechten

$$11,3 \text{ t/1000 Lok./km,}$$

während diese Ziffer nach dem Etat 1904/1905 durchschnittlich 12,5 beträgt.

10. Die günstigste Zuggeschwindigkeit.

Aus der Abb. 45, Taf. XLVII ist ohne weiteres ersichtlich, daß auch die vierzylindrige Lokomotivbauart den Punkt noch nicht wesentlich hinausgerückt hat, bei dem die Wirtschaftlichkeit der Lokomotive am günstigsten wird. Diese Geschwindigkeit ist hier 55 km/St. und der hierzu gehörige zweckmäßigste Füllungsgrad $\varepsilon = 23 + \frac{1530}{25} = 51\%$.

11. Die Nutzleistung.

In Abb. 46, Taf. XLVII sind die am Zughaken entwickelten Zngkräfte und Leistungen der Lokomotive Z und L im Vergleiche zur ganzen Lokomotivkraft Z_1 und L_1 dargestellt.

Das Verhältnis $\frac{L}{L_1}$, das gewissermaßen den mechanischen Wirkungsgrad darstellt, ist nach der Geschwindigkeit, Steigung und Zugstärke verschieden. Es nimmt, wie auch zu erwarten war, mit den beiden ersteren ab, und mit der Zugstärke zu; es liegt zwischen den in folgender Zusammenstellung XIV liegenden Grenzen.

Zusammenstellung XIV.

Steigung.	Zugstärke.	$Z/Z_1 = L/L_1$
1 n	Achsen	%
1:∞	20	55
	100	75
1:200	20	55
	80	76
1:100	16	60
	36	55
1:30	6	26
	12	39

Dieser Wirkungsgrad ist zum Beispiel auf der Wagerechten bei 40 Achsen und 91 km/St. Geschwindigkeit = 67%. Er sinkt auf starken Steigungen, wie auf 1:30, selbst bei der höchsten Zugstärke von 12 Achsen bis auf 39%, so daß schon hier die Wahl des Zahnbetriebes in Erwägung zu ziehen ist.

12. Die Gangart der Lokomotive.

Die schädlichen Bewegungen der Lokomotive sollen hier nicht näher berechnet werden; wir wollen uns darauf be-

schränken, die bewegenden Kräfte und Kraftmomente zu ermitteln, die unter Beachtung der bewegten Massen immerhin ein überschlägliches Urteil über die Bauart gestatten.

a) Das Zucken.

Die nicht durch Gegenläufigkeit und nicht durch Gegengewichte ausgeglichenen, gradlinig bewegten Triebwerksmassen wiegen = 32 kg (Zusammenstellung XV).

b) Die schlingenden Bewegungen.

(Abb. 1, Taf. XLV und Zusammenstellung XV).

Zusammenstellung XV.

Radgewichte.

Nr.	Gegenstand	Einheit	Trieb- und Kuppelräder	
			Hochdruck auf jeder Seite	Niederdruck auf jeder Seite
1	Auf den Kurbelkreis bezogene umlaufende Triebwerksmassen . . .	kg	262	567
2	Gradlinig bewegte Triebwerksmassen auf jeder Lokomotivseite . .	"	170	234
3	Von Nr. 2 sind ausgeglichen	%	50	50
		kg	85	117
4	Von Nr. 2 sind nicht ausgeglichen	%	50	50
		kg	85	117
5	In Bezug auf die zuckenden Bewegungen weder durch Gegengewichte noch durch Gegenläufigkeit ausgeglichen	kg	117 - 85 = 32	
6	Hebelarm beim Schlingern	mm	1070	285
7	Radgegengewichte auf den Kurbelkreis bezogen	kg	307	170
8	Überschüssige Fliehkraft $C = mr \omega^2 \frac{G}{g} r (z \cdot 2\pi)^2$ für $v = 100$ km/St.	t	0,742	0,742
		%	0,3	9,3

$$\text{Kraftmoment} = \frac{170}{2} \cdot 1,070 - \frac{234}{2} \cdot 0,285 = 57,60;$$

denn die nicht durch Gegengewichte ausgeglichenen Massen sind bei der Hochdruckmaschine 85 kg, bei der Niederdruckmaschine 117 kg und die Gegenläufigkeit kommt im Minuszeichen der Gleichung zum Ausdruck.

c) Die nickenden Bewegungen.

Gemäß Zusammenstellung I bezeichnet r den Kurbelhalbmesser, l' und l'' die Kurbelstangenlängen, a_1 den festen Achsstand = 3000 mm und x den Schwerpunktsabstand vor der ersten Triebachse = 590 mm, daher ist das größte Kraftmoment (Abb. 1, Taf. XLV) für die Einheit der Kolbenkraft

$$\begin{aligned} 1. \quad & r \left(1 - \frac{x}{\sqrt{l'^2 - r^2}} \right) - 1. \quad r \left(-1 + \frac{a_1 + x}{\sqrt{l''^2 - r^2}} \right) \\ & = 0,32 \left(1 - \frac{0,59}{\sqrt{2,4^2 - 0,32^2}} \right) \\ & - 0,32 \left(-1 + \frac{3,0 + 0,59}{\sqrt{3,0^2 - 0,32^2}} \right) \\ & = 0,32 (0,75 - 0,21) = 0,173. \end{aligned}$$

Diese Verhältnisse müssen nun als sehr günstig für den Lauf der Lokomotive bezeichnet werden; es ist jedoch zu bemerken, daß die letzteren schädlichen Bewegungen der Lokomotiven seit der Einführung der mit den Drehgestellen und bogenbeweglichen Achsen verbundenen größeren Achs- und Tragfederstützlängen keine Bedeutung mehr haben.

Es dürfte wohl zu weit führen und den Zweck dieses Aufsatzes überschreiten, wenn in der folgenden Untersuchung

die Theorie erschöpfend durchgeführt würde; sie folgt kurz zusammengefaßt, dem nachstehend dargestellten Gedankengange:

1. Die verbrauchte entweichende Dampfmenge M_2 erzeugt eine gewisse Saugwirkung in der Rauchkammer und über dem Roste = $f(M)$ bzw. $f(\epsilon, v)$.
2. Durch diese Saugwirkung wird auf dem Roste eine gewisse Kohlenmenge K verbrannt und dadurch die Wärmemenge $W = K \zeta$ Wärmeeinheiten erzeugt, die zur Dampfbildung benutzt wird. Die Abb. 47, Taf. XLVII enthält die Darstellung

a) des Productes ϵv und

b) der Grenzlinien der Dampfentwicklung m_3 , in kg/St.

Der Beharrungszustand des Dampfkessels wird dann durch die Gleichheit der verbrauchten und entwickelten Dampfmenge gekennzeichnet.

3. Die erzeugte Dampfmenge gestattet bei den vorhandenen Größenverhältnissen der Maschine in den Dampfzylindern einen gewissen Füllungsgrad ϵ , sowie der übertragenen Kraft und dem vorhandenen Widerstande entsprechend, eine gewisse Zuggeschwindigkeit v .
4. Bei bestimmten Werten von ϵ und v ergibt sich ein gewisser Wert des mittleren wirklichen Dampfdruckes p_m in den Hochdruckzylindern und p_m' in den Niederdruckzylindern, also ein gewisser Wert des zusammengefaßten Dampfüberdruckes

$$p_{m1} = p_m + \frac{d'^2}{d^2} \cdot p_m'$$

5. Hieraus ergibt sich die rechnermäßige Zugkraft

$$Z_i = 2 \cdot \left[\frac{\pi \cdot (100 d)^2}{4} \cdot p_m + \frac{\pi \cdot (100 d')^2}{4} \cdot p_m' \right] \frac{2 h}{\pi D}$$

$$= 100^2 \cdot \frac{d^2 h}{D} \cdot \left(p_m + \frac{d'^2}{d^2} p_m' \right)$$

$$= u \cdot p_{m1} \text{ kg.}$$

6. Die rechnermäßige Leistung ist dann

$$L_i = \frac{Z_i \cdot v \cdot 1000}{60 \cdot 60 \cdot 75} = \frac{Z_i \cdot v}{270} \text{ P.S.}$$

7. Der Dampfverbrauch ist

$$M_2 = \frac{2 \cdot \pi d^2 \cdot \varepsilon}{4 \cdot 100} \cdot \frac{2 \cdot h \cdot \gamma}{\pi D} \cdot v \cdot 1000$$

$$= \frac{10 \cdot d^2 h}{D} \cdot \varepsilon v \gamma$$

$$= \frac{u \varepsilon v \gamma}{1000} \text{ km/Stunde und}$$

8. Die Dampfverwertung

$$\eta = \frac{M_2}{L_i} = \frac{u \varepsilon v \gamma}{1000} \cdot \frac{270}{u p_{m1} \cdot v}$$

$$= 0,27 \cdot \frac{\varepsilon \gamma}{p_{m1}}$$

Soll nun versucht werden, zunächst für die Leistung L_i einer Lokomotive eine allgemein gültige Formel aufzustellen, die aufser den bekannten Abmessungen nur noch die beanspruchte Geschwindigkeit v enthält, so müssen nach den oben angeführten Grundzügen erst Formeln für

$$\varepsilon = H f(v) \text{ und}$$

$$p_{m1} = p \cdot f(\varepsilon, v)$$

aufgestellt werden, worin H die Heizfläche, p den Dampfüberdruck bezeichnet. Diese Formeln erhält man aus den bildlichen Darstellungen für

$\varepsilon \cdot v$ als Abhängige von v (Abb. 48, Taf. XLVII)

ε « « « v (Abb. 49, Taf. XLVII) und

p_{m1} « « « ε (Abb. 50, Taf. XLVII).

Für den Beharrungszustand der Verbundlokomotiven kann mit genügender Annäherung

$$\varepsilon v = Hk = H(a + bv) = 1530 + 23v, \text{ daher}$$

$$\varepsilon = H \left(\frac{u}{v} + b \right) = 23 + \frac{1530}{v} \text{ und}$$

$$p_{m1} = p(\alpha + \beta \varepsilon) = p(-0,33 + 0,0214 \varepsilon)$$

gesetzt werden. Daher ist

$$Z_i = u p (\alpha + \beta \varepsilon) = u \cdot p \left(\alpha + \beta \cdot H \cdot \frac{a + bv}{v} \right)$$

$$= u p (\alpha + \beta b H + \frac{\beta \alpha H}{v}), \text{ allgemein} = A + \frac{B}{v}.$$

Die Gültigkeit dieser Formel hat aber eine untere Grenze für v , da Z_i bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit unveränderlich gleich der übrigens vom Reibungswerte, also vom Zustande der Schienenoberfläche abhängigen Reibungskraft ist, sie wird daher in diesen Grenzen durch eine wagerechte Gerade (Abb. 32, Taf. XLVI) dargestellt und die rechnermäßige Leistung

$L_i = \frac{Z_i v}{270}$ durch eine vom Achsenkreuzpunkte ausgehende geneigte Gerade; denn L_i wird für $v = 0$ ebenfalls $= 0$.

In Wirklichkeit werden wohl die Linien für Z_i und L_i wegen der veränderlichen Reibungskraft an der Spitze eine

leichte Krümmung haben, die aber nur bei Zwillingslokomotiven nicht vernachlässigt werden kann, weil der mittlere Druck p_{m1} bei diesen nicht in geradem Verhältnisse zum Füllungsgrade steht.

Aus der Formel für $Z_i = A + \frac{B}{v}$ kann dann für jede beliebige Steigung n und Zuggeschwindigkeit v auch die Zugstärke G ermittelt werden, denn es ist

$$Z_i = G_1 w_1 + G w + (G_1 + G) n \text{ oder}$$

$$G = \frac{Z_i - G_1 (w_1 + n)}{w + n}.$$

Auf die weitere Theorie dürfte hier wohl nicht näher einzugehen sein; die Ergebnisse sind aber in den Anlagen so übersichtlich dargestellt, das aus ihnen alle wichtigen Fragen beantwortet werden können. Wenn sich diese Theorie durch weitere Versuche als annähernd richtig bestätigen sollte, so könnten die immerhin schwerfälligen und kostspieligen Versuchsfahrten und ihre mühsame Bearbeitung fast ganz entbehrlich werden, indem nur noch jener kleine Teil von ihnen übrig bleiben würde, der sich auf den Gang, Bahn- und Luft-Widerstand bezieht.

Ferner könnte auch noch versucht werden, mit Hilfe dieser Beziehungen eine allgemeine Wertziffer für die Lokomotivkraft abzuleiten; denn es ergibt sich aus der Formel für die Zugkraft

$$Z_i = u p (\alpha + \beta \varepsilon)$$

$$= u p \left(\alpha + \beta \cdot H \cdot \frac{a + bv}{v} \right)$$

$$= u p \left(\alpha + \frac{\beta \cdot a \cdot H}{v} + \beta H b \right)$$

und daher die Leistung

$$L_i = u p (\alpha v + \beta H v + \alpha \beta H)$$

oder allgemein

$$L_i = u p (a H + b v + c H v),$$

woraus sich auch die Art der Abhängigkeit der Leistung von der Heizfläche klar erkennen läßt.

Für eine unveränderliche Heizfläche H , zum Beispiel bei ein und derselben Lokomotivbauart, ergibt sich aber wie oben

$$L_i = u p H (A + B v.)$$

Gelingt es nun, die Werte a , b und c zu ermitteln, so könnte man zu einer Wertziffer gelangen, die eine ähnliche Bedeutung haben würde, wie die jetzt für Kriegsschiffe aufgestellten Gefechtswerte, so das die Lokomotivkraft im voraus nur aus den bekannten Abmessungen und der Zuggeschwindigkeit ermittelt und Vergleichsziffern aufgestellt werden könnten.

VII. Beurteilung.

Nachdem die Grafenstadener Lokomotivbauart und insbesondere das de Glehn'sche Triebwerk schon mehrfach von den Eisenbahndirektionen Erfurt und Hannover, und auch durch ein Gutachten des Verfassers im Vergleiche mit inländischen Bauarten erschöpfend beurteilt worden ist, möchten wir hierauf Bezug nehmen und noch folgendes hervorheben.

Die mit der Teilung des Triebwerkes verbundene Zergliederung der reibenden Flächen erhöht allerdings die Sicherheit des regelmässigen Betriebsdienstes, indem die reibenden

Teile nicht so leicht warm laufen; dieser Vorteil wird jedoch durch eine vielgliedrige Bauart erkaufte.

Die zum Teil unzureichenden Leistungen, besonders der $\frac{3}{5}$ gekuppelten Lokomotive dieser Bauart, wurde allein durch die ungenügende Heizfläche verursacht. Dies bestätigen wieder Versuche mit der Lokomotive 507, die gegenüber der ersten Ausführung der $\frac{2}{4}$ gekuppelten Bauart eine um 13 qm $\approx 12\%$ grössere Heizfläche erhalten hat; die der $\frac{3}{5}$ gekuppelten Bauart entsprach mit 139,5 qm nicht den höher zu stellenden Anforderungen. Bei der Versuchslokomotive 507 trat bei der zu beanspruchenden Leistung niemals eine Schwierigkeit ein, die Dampfspannung und den Wasserstand im Kessel zu erhalten, wie dies bereits bei der $\frac{3}{5}$ und auch bei der $\frac{2}{4}$ gekuppelten Lokomotive mit 109 qm Heizfläche der Fall war.

Die $\frac{2}{4}$ gekuppelte zweizylindrige Lokomotive befördert tatsächlich in den Bezirken Hannover und Altona auf der Wagerechten bei 90 km/St. Grundgeschwindigkeit 32 Achsen vierachsiger Wagen, während die Leistung der Versuchslokomotive, auf vierachsige Wagen bezogen, 36 Achsen beträgt, wie aus folgender Berechnung sich ergibt.

Nach Abb. 32, Taf. XLVI leistet die Lokomotive 507 auf der Wagerechten bei 90 km/St. Geschwindigkeit 250 t dreiachsiger Wagen; daher ist das bezüglich des Widerstandes gleichwertige Zuggewicht bei vierachsigen Drehgestellwagen

$$= 250 \cdot \frac{0,7 + \frac{v}{100} + \frac{v^2}{1800}}{0,5 + \frac{v}{110} + \frac{v^2}{2000}} = 288 \text{ t}$$

$$\text{und die Zugstärke} = \frac{288}{8} = 36 \text{ Achsen;}$$

daher ebenso groß, wie bei den $\frac{2}{4}$ gekuppelten, vierzylindrigen Lokomotiven hannoverscher Bauart.

Um diese Rechnung zu ersparen, und das Ergebnis unmittelbar aus den Versuchen zu erlangen, hätten diese mit nur vierachsigen Wagen ausgeführt werden müssen. Wir haben uns aber vergeblich bemüht, diese für die ganze Versuchszeit verfügbar zu machen; im diesseitigen Bezirke selbst war es nicht möglich.

Auf Grund dieser Versuchsergebnisse empfehlen wir daher, die grafenstadener Bauart neben der hannoverschen noch weiter zu beschaffen, bei ihrer Verwendung aber stets die ganze Auslage der Niederdrucksteuerung vorzuschreiben; dann sind nach Jahresfrist auch einwandfreie Betriebsergebnisse zu erwarten.

Wir möchten diese Bauart auch auf die $\frac{2}{5}$ gekuppelten Lokomotiven ausdehnen, denen aber, ebenso wie bei den hannoverschen, eine noch größere Heizfläche, möglichst bis zu 200 qm, zu geben sein würde.

DIE BESCHLÜSSE
DES
INTERNATIONALEN EISENBAHN-KONGRESSES

ZU

WASHINGTON,

NACH DEM

AM 4. MAI BIS 13. MAI 1905 ANGENOMMENEN FRANZÖSISCHEN TEXTE

IN GETREUER DEUTSCHER ÜBERSETZUNG

WIEDERGEGEBEN,

MIT AUSZÜGEN UND FACHLICHEN BEMERKUNGEN

ERGÄNZT

VON

MAX EDLEM von LEBER,

k. k. Ministerialrate und Departement-Vorstande im k. k. Eisenbahnministerium,
Vertreter der österreichischen Regierung
und Sektionspräsidenten bei diesem Kongresse.

Ergänzungsheft zum Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, Jahrgang 1906.

WIESBADEN.

C. W. KREIDEL's VERLAG.

1906.

Inhalts-Verzeichnis.

	Seite
Einleitung. Bureau im Plenum und in den Sektionen	355
1. Sektion: Unterbau und Oberbau.	
I A. Holzschwellen; Wahl der Holzgattungen und Tränkung	362
IB. Verwitterung der Schwellen in tropischen Ländern und Gegenmittel	363
II. Schienen für Eilzüge	364
III. Verbesserte Kreuzungen	366
IV. Eisen-Beton	366
2. Sektion: Lokomotiven und Zugförderung.	
V. Lokomotiven von großer Leistungsfähigkeit	367
VI. Zweifache und vielfache Lokomotiv-Besetzung	369
VII. Selbsttätige Kuppelungen	370
VIII. Elektrische Zugförderung	371
3. Sektion: Bahnbetrieb.	
IX. Beleuchtung, Heizung und Lüftung der Züge	378
X. Selbsttätige Blockwerke	375
XI A. Reisegepäck	376
XI B. Stückgüter	376
XII. Vorortverkehr in der Umgebung der Städte	377
4. Sektion: Allgemeines.	
XIII. Frachtsätze	378
XIV. Buchführung und Rechnungsführung	379
XV. Dauer und Regelung der Arbeit	381
XVI. Wohlfahrtseinrichtungen	382
5. Sektion: Klein-Bahnen.	
XVII. Einfluss der Klein-Bahnen auf die Hauptverkehrsadern	383
XVIII. Zuschüsse des Staates und der berührten Ortschaften zu Kleinbahn-Anlagen	384
XIX. Einrichtung sparsamen Dienstes auf schwach befahrenen Haupt und Nebenbahnen	385
XX. Zugförderung mit Triebwagen	386

Die Beschlüsse des internationalen Eisenbahnkongresses zu Washington im Jahre 1905.

Von Max Edlem von Leber,

k. k. Ministerialrate und Departement-Vorstande im k. k. Eisenbahnministerium,
Vertreter der österreichischen Regierung und Sektionspräsidenten bei diesem Kongresse.

Einleitung.

Der Eisenbahnkongress, welcher vom 4. bis 13. Mai 1905 zu Washington getagt hat, war der siebente Kongress dieser Art. Schon bei den früheren Kongress-Versammlungen zu Brüssel 1885, verbunden mit der Feier des 50 jährigen Bestehens der belgischen Eisenbahnen, zu Mailand 1887, zu Paris 1889, zu St. Petersburg 1892, zu London 1895 und zu Paris 1900, konnte eine stetige gedeihliche Entwicklung des Kongressunternehmens wahrgenommen werden.

Die Londoner Versammlung 1895 brachte den Anschluss der englischen und amerikanischen Bahnen und die Erweiterung, dass für alle Vorberichte, für den nachherigen »Compte rendu«, sowie die sonstigen Kongress-Veröffentlichungen auch eine englische Auflage neben der bisher nur französischen eingeführt wurde.

Die sechste Versammlung zu Paris 1900 war durch die großartige damalige Weltausstellung recht günstig beeinflusst. Die Beteiligung war eine ganz außerordentliche, und die zuletzt beigetretenen englischen und amerikanischen Teilnehmer brachten in wärmster Weise den Wunsch zum Ausdrucke, es möge die nächste siebente Versammlung zu Washington stattfinden. Dieser Vorschlag begegnete bei den älteren Teilnehmern, insbesondere in französischen und belgischen Regierungskreisen einer gewissen Gegnerschaft, wohl mit Rücksicht auf die weite Reise und den erforderlichen großen Zeitaufwand; die Einladung der Amerikaner fand indes Anklang bei den jüngeren Herren, insbesondere bei den Abgeordneten der großen französischen Bahngesellschaften. Die Sache wurde eigentlich bei einem von der lezterwähnten Gruppe veranstalteten ganz kleinen Frühstücke so ziemlich entschieden, bei dem die amerikanischen Abgeordneten, insbesondere die Vertreter der mächtigen »American Railway Association«, welcher fast alle großen Bahnen der Vereinigten Staaten von Amerika angehören, die Hauptrolle spielten. Man erinnerte an die prachtvolle Rede, mit welcher die Londoner Versammlung 1895 von dem damaligen Prinzen von Wales eröffnet wurde, sowie an die warme Begrüßung der neu hinzugekommenen amerikanischen Abgeordneten, wobei der erhabene Redner auf den ungeheuern Aufschwung der Eisenbahnen in den Vereinigten Staaten hinwies, deren Länge mehr als die Hälfte aller Bahnen des Erdballes darstellt. Man war begierig, die großen Bahnhöfe und Anlagen (Großgewerbes, die 150 t Lokomotiven*), die Kohlenwagenzüge im Gewichte von 6 t/m, elektrischen Anlagen und die großen Städte mit ihren 30 Stock hohen »Skyscrapers«, mit ihren »overhead« und »subway«-Verbindungsbahnen und die sonstigen großartigen Werke des Landes kennen zu lernen.

Dem im Schoße der »permanenten internationalen Kongress-Kommission« vorgebrachten Vorschlage war nun die Mehrheit gesichert, er wurde ohne Widerrede angenommen.

Seitens der amerikanischen Abgeordneten wurde später noch ein vorschriftsmäßig unterstützter Antrag auf eine Abänderung im Art. 7 der Statuten des Kongress-Unternehmens rechtzeitig eingebracht, wonach bestimmt werden sollte, dass die Mitglieder der »permanenten Kommission«, welche in Ruhestand treten oder ihre Stellung überhaupt verlieren, damit aufhören, Mitglieder der Kommission zu sein.

Bei der Sitzung der Kommission zu Brüssel am 1. April 1905 wurde der Antrag verworfen. Auf Antrag des Verfassers wurde jedoch beschlossen, in Washington eine mildere Form dieser Statutenänderung anzustreben, welche die Amerikaner befriedigen und die europäischen älteren Mit-

*) Im Vorberichte (Nr. $\frac{VI}{60}$ Frage: Construction et épreuve des ponts métalliques) des Verfassers als Berichtstatter für 1900, wird Seite $\frac{VI}{16}$ eine Lokomotive angeführt, die mit Tender 177,5 t wiegt.

glieder der Kommission nicht treffen würde. Dies geschah auch später bei der Kommissions-Sitzung zu Washington am 8. Mai 1905. Der nachträglich auch in der Hauptversammlung des Kongresses angenommene geänderte Wortlaut ist in deutscher Uebersetzung:

»Die Mitglieder, deren Stellung geändert wurde, so dafs sie nicht mehr in irgend welcher Beziehung zu einer beigetretenen Regierung, oder zu einer teilnehmenden Bahnverwaltung stehen, können nicht mehr Mitglieder der Kommission bleiben. Die »permanente Kommission« kann auf Antrag von 5 Mitgliedern mittels schriftlicher Abstimmung und mit der Mehrheit aller Mitglieder beschliessen, die Betreffenden noch bis zur nächsten Kongrefs-Versammlung als Mitglieder zu behalten.«

In derselben Sitzung zu Washington am 13. Mai 1905 wurde die Wahl mehrerer Kommissions-Mitglieder, auch die des Verfassers, erneuert und beschlossen, die nächste Kongrefs-Versammlung 1910 in der Schweiz abzuhalten.

Ein Hauptereignis bei dieser 7. Versammlung zu Washington war der endliche, schon lange erwünschte Beitritt des Deutschen Reiches zu dem Kongrefs-Unternehmen. Für das Reich erschienen der Geheimrat Schulz, Präsident des Reichseisenbahnamtes, und fünf andere Regierungsvertreter. Ferner wurde das folgende Telegramm S. M. des deutschen Kaisers vorgelesen:

»J'envoie mes salutations au Congrès international des chemins de fer, auquel prennent part pour la première fois, des délégués allemands. Puisse l'échange personnel d'idées entre les plus éminents ingénieurs des chemins de fer du monde, réunis à Washington, être d'un avantage durable pour le trafic international dont le développement prospère est le moyen le plus efficace de favoriser l'entente mutuelle et le rapprochement des nations dans la paix.«

Diese siebente Kongrefs-Versammlung zeichnete sich ebenso durch die Grofsartigkeit aller getroffenen Vorbereitungen, als auch durch die denkbar vollkommenste Durchführung des aufgestellten Planes in echt amerikanischer Weise aus. Trotz der für diesen rein sachlichen Bericht vorgezeichneten engen Grenzen soll hierüber doch Nachstehendes erwähnt werden:

Alle Abgeordneten erhielten, mit dem üblichen Auskunfts-buche, auch eine für den ganzen Bereich der »American Railway Association« gültige, sogar auf die Gebiete von Mexiko und Canada übergreifende Eisenbahn-Freikarte. Nach Beendigung der Sitzungen im 10. Stocke des »New Willard Hotel« zu Washington und den Feierlichkeiten waren für die europäischen Teilnehmer zwei grofse Rundreisen vorbereitet, die kleinere über Altoona, Pittsburg, Cleveland, Buffalo, Niagarafalls, Schenectady, Boston und New-York, die gröfsere über Altoona, Pittsburg, Cincinnati, St. Louis, Springfield, Chicago, Buffalo, Niagarafalls, Montreal, Schenectady und über die Hudson-Flufs-Bahn nach New-York.

Jede dieser Rundreisen erfolgte in eigens bestellten, mit allen Bequemlichkeiten, mit Speisewagen und Schlafstellen ausgerüsteten Sonderzügen. Der vortrefflich durchdachte Reiseplan war derart aufgestellt, dafs die grofsen Bahnlängen in der Nacht durchfahren wurden. Bei Ankunft in den grofsen Städten war schon ein Ortsausschufs in Bereitschaft, der sich beeilte, die Gäste in die sehenswerten Bahnanlagen und Gewerbestätten zu führen. Die längere Reise dauerte zwei Wochen, und gab Gelegenheit, sehr viele Anlagen des Grofs-gewerbes kennen zu lernen. Insbesondere in eisenbahntechnischer Hinsicht sind zu erwähnen:

In Washington: Die Eisenbahn-Ausstellung;

In Philadelphia: Die Baldwin'sche Lokomotiv-Bauanstalt;

In Altoona: Die riesigen Bahnhofs-Anlagen und Werkstätten der Pennsylvania-Bahn;

In Pittsburg: Die Werke für Eisenbahn-Einrichtungen, elektrischen Betrieb und so weiter von Westinghouse*), die Walzwerke von Carnegie;

*) Den Abgeordneten wurde auf den Werkgleisen ein Zug aus 50 vierachsigen, leeren Lastwagen und einer sechsachsigen elektrischen Doppel-Lokomotive vorgeführt. Letztere war bei 135 t Gewicht mit sechs einphasigen Wechselstrom-Triebmaschinen mit zusammen 1350 P. S. und mit einer elektrisch gesteuerten Preßluft-Steuerung ausgerüstet. Es wurden Fahr-, Brems- und Kuppelungs-Proben vorgeführt und die Vorteile der selbsttätigen Kuppelung gezeigt.

In St. Louis: Der große neue Hauptbahnhof, die Wagenbauanstalt der St. Louis Car Co.;
 Bei Chicago: Die Pullman'sche Wagenbauanstalt;
 In Montreal: Die Riesen-Brücke über den St. Lorenz-Strom;
 In Schenectady: Die Schenectady-Lokomotiv-Bauanstalt und die der »General Electric Co.«, die zusammen wohl die Hälfte der Stadt bilden;
 In New-York: Die »Overhead«- und »Subway«-Straßenbahnen, die geplanten und teils auch im Baue begriffenen Tunnelbahnen unter dem Hudson und Eastriver, endlich der riesige Verkehr auf und nächst der alten Eastriver-Brücke.

Dieser großartige Empfang, welcher den europäischen Abgeordneten in Amerika zu Teil wurde, ist hauptsächlich das Werk der mächtigen »American Railway Association« im Vereine mit den Ortsausschüssen der besuchten großen Städte, welche ebenfalls hauptsächlich aus hervorragenden Vertretern des Eisenbahnwesens gebildet waren.

Am 4. Mai 1905 fand im »New Willard Hotel« die feierliche Eröffnung der Kongress-Sitzungen durch den »honourable Charles W. Fairbanks«, Vice-Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika statt. Ihm standen zur Seite Herr Ernest Gerard in Vertretung des abwesenden Präsidenten Dubois der »permanenten Kommission« und Herr Louis Weiffenbruch, General-Sekretär der Kommission.

Im Ganzen waren 1206 Mitglieder eingeschrieben, und in Wirklichkeit 580 Teilnehmer aus 32 Staaten anwesend und zwar:

Zusammenstellung I.
 Anzahl der zu Washington anwesenden Kongress-Teilnehmer.

Nr.	Vertretene Staaten	Zahl der Vertreter von		Nr.	Vertretene Staaten	Zahl der Vertreter von	
		Regierungen	Bahnverwaltungen			Regierungen	Bahnverwaltungen
1	Argentinien (Republik)	1	6		Übertrag:	48	178
2	Belgien	6	12	18	Japan	3	—
3	Brasilien (Republik)	1	1	19	Mexiko (Republik)	1	1
4	Bulgarien	1	1	20	Norwegen	1	1
5	Chili (Republik)	2	—	21	Österreich-Ungarn	5	11
6	China	4	—	22	Peru (Republik)	1	1
7	Columbia (Republik)	—	2	23	Portugal	2	5
8	Congostaat	1	—	24	Rumänien	2	2
9	Cuba (Republik)	—	1	25	Rußland	2	8
10	Dänemark	1	4	26	Schweden	2	10
11	Deutschland	6	—	27	Schweiz (Republik)	—	7
12	Equador (Republik)	2	—	28	Siam	1	—
13	Frankreich m. d. Kolonien (Republik)	7	47	29	Spanien	3	15
14	Großbritannien mit den Kolonien	11	83	30	Türkei	1	1
15	Griechenland	2	1	31	Uruguay (Republik)	—	1
16	Holland mit den Kolonien	2	13	32	Vereinigte Staaten von Amerika	12	255
17	Italien	1	7		Zusammen	84	496
		48	178				84
					Im ganzen		580

Nach verschiedenen längeren Festreden, bei denen insbesondere die Geschichte der Entwicklung des Eisenbahnwesens in Amerika durch beachtenswerte Zahlen beleuchtet, und die freiheitliche Gestaltung der amerikanischen Beförderungs-Unternehmungen betont wurde, bei denen weder Staatsbetrieb noch Tarifzwang, sondern nur freier Wettbewerb zu finden ist, wurde zur Bildung der Bureaus für die Sitzungen übergegangen.

Den Ehrenvorsitz übernahmen »The Honourable Charles Warren Fairbanks«,

Vizepräsident der Vereinigten Staaten von Amerika, ferner Alexander J. Cassatt, Präsident der Pennsylvania-Bahn und E. H. Harriman, Präsident des »executive committee« der »Southern Pacific Company«.

Bureau der Vollversammlung.

Präsident Stuyvesant Fish*), Präsident der »American Railway Association«, Präsident der »Illinois«-Zentral-Bahn«, Mitglied der »permanenten Kommission« des Kongresses.

Stellvertretende Präsidenten: Die anwesenden ersten Regierungsvertreter aller Staaten.

General-Sekretär*) Louis Weissenbruch, Direktor der belgischen Staatsbahnen und General-Sekretär der »permanenten Kongress-Kommission«.

General-Sekretär*), angegliedert für die Versammlung, W. F. Allen, General-Sekretär der »American Railway Association«.

Nach so erfolgter Bildung des Bureau für die Vollversammlung verteilte man sich in die fünf Sektionen, woselbst die Bureaus nach Zusammenstellung II gebildet wurden:

Zusammenstellung II.

Bureaus in den fünf Sektionen.

Section	Präsident	Haupt-Sekretäre	Hülfs-Sekretäre
1. Unterbau und Oberbau. Fragen IA, IB, II, III, IV.	<i>Jul. Kruttschnitt</i> (V. St. v. Amerika), Vierter V.-Präsident der »Southern Pacific Railroad«, Mitgl. der perm. Kongress- Kommission. Vice-Pr. <i>E. Pontzen</i> (Frankreich).	<i>E. Elskes</i> (Schweiz), Chef-Ing. für Oberbau der eidgen. Eisenbahnen. <i>C. W. Buchholz</i> (V. St. v. Amerika) »Consulting Engineer« der »Erie Railroad«.	<i>J. H. N. Dufour</i> (Holland), Ing. der niederländischen Staatsbahnen. <i>V. Tolstopiatoff</i> (Rußland), Staats-Ingenieur für Wegverbindungen.
2. Lokomotiven und Zug- förderung. Fragen V, VI, VII, VIII.	<i>Ed. Sauvage</i> (Frankreich), Beratender Chef-Ing. der »Ch. de fer de l'Ouest«. Vice-Pr. <i>F. Mentsik</i> (Ungarn), Sect.-R. im K. ungar. Handels-Ministerium.	<i>C. Boell</i> (Frankreich), Ing. für Maschinen und Zugförderung bei den Staatsbahnen. <i>D. F. Crawford</i> (V. St. v. Amerika), Gen.-Superintendent der »Pennsylvania Lines«.	<i>F. Paul Dubois</i> (Frankreich), Ing. für Maschinen und Zugförderung bei der Orléansbahn. <i>J. J. da Silva Freire</i> (Brasilien), Chef-Ing. für M. u. Zugf. bei der Zentralbahn.
3. Bahnbetrieb. Fragen IX, X, XI, XII. Mitwg. bei XIX.	<i>H. T. Hodgson</i> (England), Vize-Präsident des »Midland R. W.« Vice-Pr. <i>B. L. Winchell</i> (V. St. v. Amerika), Pr., »Chicago, Rock Isl. u. Pacific R.-W.«, Mitgl. der perm. Kongress- Kommission.	<i>Karl Jenny</i> (Österreich), Ober-Inspektor d. Südbahn bei der Betr.-Inspektion Innsbruck. <i>A. W. Johnston</i> (V. St. v. Amerika), »Gen.-Superintendent New-York, Chicago und St. Louis Railroad«.	<i>P. Dreyfus</i> (Frankreich), Zugförderungs-Vorst. der Paris-Lyon-Med.-Bahn. <i>Felix Sartiaux</i> (Frankreich), Von der Zentral-Verwaltung der franz. Nordbahn.

*) Den hier genannten drei Herren muß das Hauptverdienst für das Gelingen der großartig durchgeführten amerikanischen Versammlung zugesprochen werden. Die Herren Stuyvesant Fish und W. F. Allen erfreuen sich einer großen Beliebtheit in Eisenbahnkreisen. Herr L. Weissenbruch hat die große Arbeit der Drucklegung aller Vorberichte in französischer und englischer Auflage meisterhaft bewältigt.

Sektion	Präsident	Haupt-Sekretäre	Hilfs-Sekretäre
4. Allgemeines. — Fragen XIII, XIV, XV und XVI. Mitwg. bei XX.	<i>Emile Heurteau</i> (Frankreich), Gen.-Direktor der Bahn: Paris-Orléans, Mitgl der perm. Kongress- Kommission. Vice-Pr. <i>James Douglas</i> (V. St. v. Amerika), Präs. der „El Paso und Southwestern Railroad.	<i>Maurice Margot</i> (Frankreich), Chef-Ing. im Betriebe der Paris-Lyon-M.-Bahn. <i>C. Peter Clark</i> (V. St. v. Amerika), Gen.-Direktor der „Buffalo und Susquehanna Railroad“.	<i>William d'Eichthal</i> (Frankreich), V.-Rt. der Localbahn in den „Landes“. <i>Amédé Gay</i> (Frankreich), Secret. „Ch. de fer de l'Ouest.“ <i>C. Emile Heurteau</i> (Frankreich), St.-Ing. der Minen.
5. Klein-Bahnen. Fragen XVII, XVIII, XIX und XX. Mitwg. bei VIII.	<i>Max Edler von Leber</i> (Österreich), K. K. Min. R. im Eisenbahn-Ministerium, Mitgl. der perm. Kongress- Kommission. <i>C. M. Hays</i> (V. St. v. Amerika), Gen.-Direktor der „Grand Trunk Railway“, Mitgl. der perm. Kongress- Kommission.	<i>W. M. Acworth</i> (England), „Barrister at Law“ Deleg. der Regierung. <i>C. G. Waldo</i> (V. St. v. Amerika), General-Agent der „Cincinnati Belt Line“.	<i>G. Lembourg</i> (Belgien), Chef-Ing. der „Société nationale belge des chemins de fer vicinaux“. <i>O. Estensfeld</i> und <i>J. Lewis</i> (V. St. v. Amerika), Von der Pennsylvania Railroad.

Während der ganzen Dauer des Kongresses waren im »New Willard Hotel« ein Bureau der »permanenten Kommission« und ein solches der amerikanischen Abteilung dieser Kommission in Tätigkeit. Dort fand die Verteilung aller Druckschriften und Karten an die Teilnehmer statt; dort wurde auch täglich das »Daily journal international Railway Congress« in französischer und englischer Auflage herausgegeben, so daß alle Teilnehmer vollständig und laufend über die Arbeiten unterrichtet bleiben konnten.

In Zusammenstellung III sind die behandelten Fragen I bis XX, die bezüglichen Vorberichte, die Namen der Berichterstatter, die Stellen des »Bulletins«, an denen diese Arbeiten erschienen sind, endlich die Nummern der unmittelbar vor der Versammlung verteilten Sonderausgaben übersichtlich wiedergegeben.

Wir lassen dann die von der Vollversammlung des Kongresses gefaßten, wörtlich genau übersetzten Beschlüsse folgen, denen nach einer bei der 5. Versammlung eingeführten Neuerung für jede einzelne Frage ein Auszug aus dem betreffenden Sectionsberichte angeschlossen wird. Für jede Frage findet man auch als Fußbemerkungen einige kurze Erläuterungen über den Inhalt der betreffenden Vorberichte. Die heutige Veröffentlichung ist also geeignet, dem Leser als Leitfaden zu weiteren Nachforschungen in den Kongress-Veröffentlichungen von der 7. Versammlung zu dienen.

In letzterer Beziehung wird noch auf die zum »Bulletin«, Mai 1906, herausgegebenen »Tables générales du 1. janvier 1887 au 31. décembre 1905«, eine Riesensarbeit der »permanenten Kommission« verwiesen, die alle Kongress-Veröffentlichungen seit dem Erscheinen des »Bulletin« nach dem Gegenstande und dem Verfasser auführt, also dem Leser nur bezüglich der Versammlung von 1885 eigene Nachforschungen im damaligen »Compte rendu général« übrig läßt.

Zusammenstellung III.

Übersicht der bei dem internationalen Eisenbahn-Kongresse zu Washington im Mai 1905 behandelten XX Fragen und der bezüglichlichen Berichte.

Nr.	Gegenstand	Vorberichterstatter	Jahr und Seite im Bulletin	Nr. der Sonderausgabe
IA	Holzschwellen; Wahl der Holzgattungen und Tränkung desgl.	1. Alle Länder aufser Amerika <i>A. Hausser</i> . . .	1904 B. XVIII S. 559	1
		2. Amerika <i>J. W. Kendrick</i>	1905 B. XIX S. 659	32
IB	Verwitterung der Schwellen in tropischen Ländern und Gegenmittel	<i>F. J. E. Spring</i>	1904 B. XVIII S. 1815	20
II	Schienen für Eilzüge	1. Deutschland, Holland, Rumänien, Rufslund, Dänemark, Schweden, Norwegen und Schweiz <i>J. W. Post</i>	1904 B. XVIII S. 847	7
	"	2. Andere Länder aufser Amerika <i>Van Bogaert</i>	1904 B. XVIII S. 873	7
	"	3. Amerika <i>P. H. Dudley</i>	1905 B. XIX S. 791	35
III	Verbesserte Kreuzungen	<i>C. W. Buchholz</i>	1905 B. XIX S. 1311	39
IV	Eisen-Beton	1. Rufslund <i>S. v. Kareischa</i>	1904 B. XVIII S. 1131	10
	"	2. Alle Länder aufser Rufslund und Amerika <i>W. Ast</i>	1904 B. XVIII S. 1351	15
	"	3. Amerika <i>J. F. Wallace</i>	1905 B. XIX S. 1059	37
V	Lokomotiven von großer Leistungsfähigkeit	1. Alle Länder aufser Amerika <i>E. Savage</i> . . .	1904 B. XVIII S. 753	5
	"	2. Amerika <i>J. E. Muhlfeld</i>	1905 B. XIX S. 1745	44
VI	Zweifache und vielfache Lokomotiv-Besetzung	1. Alle Länder aufser Amerika, Belgien, England, Holland, Dänemark, Rufslund, Schweden und Norwegen <i>C. Boell</i>	1904 B. XVIII S. 580	2
	"	2. Amerika <i>G. W. Rhodes</i>	1904 B. XVIII S. 1179	11
	"	3. Belgien, England, Holland, Dänemark, Rufslund, Schweden und Norwegen <i>E. Hubert</i>	1905 B. XIX S. 79	24
VII	Selbsttätige Kuppelungen	1. England <i>W. F. Pettigrew</i>	1904 B. XVIII S. 993	8
	"	2. Alle Länder aufser England und Amerika <i>G. Nolte</i>	1904 B. XVIII S. 1313	14
	"	3. Amerika <i>A. W. Gibbs</i>	1905 B. XIX S. 625	31
VIII	Elektrische Zugförderung	1. Frankreich <i>F. P. Dubois</i>	1904 B. XVIII S. 1589	17
	"	2. England und Belgien <i>E. Gerard</i>	1905 B. XIX S. 97	28
	"	3. Amerika <i>W. D. Young</i>	1905 B. XIX S. 1529	42
	"	4. Andere Länder <i>V. Tremontani</i>	1905 B. XIX S. 1199	38

Nr.	Gegenstand	Vorberichterstatter	Jahr und Seite im Bulletin	Nr. der Sonderausgabe
IX	Beleuchtung, Heizung und Lüftung der Züge "	1. Amerika <i>C. B. Dudley</i>	1905 B. XIX S. 763	34
		2. Andere Länder <i>Cajetan Banovits</i>	1905 B. XIX S. 1439	41
X	Selbsttätige Blockwerke "	1. Amerika <i>C. H. Platt</i>	1904 B. XVIII S. 1247	13
		2. Andere Länder <i>M. Margot</i>	1904 B. XVIII S. 1287	13
XI	Reise-Gepäck	<i>G. H. Daniels</i>	1904 B. XVIII S. 1953	22
XI _B	Stückgüter	<i>J. H. Bradley</i>	1905 B. XIX S. 727	33
XII	Vororts-Verkehr in der Umgebung der Städte "	1. Amerika <i>A. W. Sullivan</i>	1904 B. XVIII S. 1517	18
		2. Andere Länder <i>H. G. Drury</i>	1905 B. XIX S. 387	30
XIII	Frachtsätze " "	1. England <i>Harry Smart</i>	1904 B. XVIII S. 591	3
		2. Italien, Spanien, Portugal, Frankreich und Belgien <i>Alfred Mange</i>	1904 B. XVIII S. 1019	9
		3. Andere Länder <i>W. J. van Overbeck de Meyer</i>	1904 B. XVIII S. 1985	23
XIV	Buchführung und Rechnungsführung " "	1. Alle Länder aufer Amerika und Rußland <i>R. v. Löhr</i>	1904 B. XVIII S. 1717	19
		2. Rußland <i>J. v. Richter</i>	1905 B. XIX S. 191	29
		3. Amerika <i>A. H. Plant</i>	1905 B. XIX S. 1337	40
XV	Dauer und Regelung der Arbeit " "	1. Schweiz <i>Pl. Weissenbach</i>	1904 B. XVIII S. 599	4
		2. Alle Länder aufer Schweiz und Amerika <i>H. Philippe</i>	1904 B. XVIII S. 629	4
		3. Amerika <i>G. L. Potter</i>	1904 B. XVIII S. 1907	21
XVI	Wohlfahrtseinrichtungen "	1. Länder englischer Sprache <i>M. Riebenack</i>	1905 B. XIX S. 951	36
		2. Andere Länder <i>Marcel Lemercier</i>	1905 B. XIX S. 1599	43
XVII	Einfluß der Klein-Bahnen auf die Hauptverkehrsadern	<i>M. de Burlet</i>	1905 B. XIX S. 3	26
XVIII	Zuschüsse des Staates und der berührten Ortschaften zu Kleinbahnanlagen "	1. Frankreich, Belgien, England und Deutschland <i>C. Colson</i>	1904 B. XVIII S. 803	6
		2. Andere Länder <i>E. A. Ziffer</i>	1904 B. XVIII S. 1485	16
XIX	Einrichtung eines sparsamen Dienstes auf schwach befahrenen Haupt- und Neben-Bahnen "	1. Alle Länder aufer Amerika, Österreich-Ungarn, Deutschland und Holland <i>J. Rocca</i>	1904 B. XVIII S. 1199	12
		2. Österreich-Ungarn, Deutschland und Holland <i>C. de Tolnay</i>	1905 B. XIX S. 171	25
XX	Zugförderung mit Triebwagen	<i>Keromnes, Léchelle</i> und <i>E. Sartiaux</i>	1905 B. XIX S. 41	27

1. Sektion.

Unterbau und Oberbau.

I. A. Holzschwellen, Wahl der Holzgattungen und Tränkung.

1. A. Haufser*), Chef-Ingénieur der Compagnie du Midi français, alle Länder außer Amerika.

2. J. W. Kendrick**), dritter Präsident der Atchison Topeka und Santa Fé Bahn, Amerika.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

Herr Müntz von der französischen Ostbahn berichtet über die Ausführungen des Herrn Haufser und liest die beantragten Beschlüsse vor, welche nacheinander der Erörterung unterzogen werden. Die Verhandlung betrifft vorerst die Holzgattungen, die Art der Tränkung und den Umstand, ob die Schwellenoberfläche, Nivelette, bedeckt werden soll oder nicht. Hieran beteiligen sich: Kruttschnitt, Southern Pacific-Bahn, Bauchal, französische Westbahn, Ramsey, Chicago, Peoria, St. Louis of Illinois Bahn, Dudley, New-York, Zentral- und Hudson-Fluss-Bahn, Hart, Cartagena, Magdalena Bahn, Cushing, Southern Pacific Bahn, Descubes, französische Ostbahn, Thompson, Madras Bahn.

Dann wird zu den vom Berichterstatter Kendrick gestellten Anträgen für die Uebernahme und Vorbereitung der Schwellen übergegangen. An der Erörterung beteiligen sich: Faulkner, Atchison, Topeka und Santa Fé Bahn, Descubes, französische Ostbahn, Cartault, P. L. M.-Bahn, v. Schrenk, Illinois Zentral-Bahn, Louth, Great Western Bahn, Frosterus, Finland, Tolstopiatoff, Russischer Staat.

Dann wird die Abnutzung der Schwellen im Zusammenhange mit dem Oberbaue und dem Schotterbette behandelt und hierbei besonders auf die Vorteile der Schwellen-Schrauben und der Unterlageplatten unter der Breitmfuß-Schiene aufmerksam gemacht. An der Erörterung beteiligen sich: Cartault, P. L. M.-Bahn, Descubes, französische Ostbahn, Müntz, französische Ostbahn, Dawson, London und North Western Bahn, Louth, Great Western Bahn, d'Herbeline, Orléans-Bahn, Kendrick, Atchison, Topeka und Santa Fé Bahn, Gifford Pinchot, Regierung der Vereinigten Staaten.

Beschlüsse.

- 1) Man muß im Allgemeinen die Tränkung der Schwellen, um deren Dauer im Betriebe zu verlängern, bestens empfehlen. Die Wahl der fäulnishindernden Mittel und die Art der Einführung hängt von den Umständen ab, unterliegt demnach einer fallweisen Entscheidung.
- 2) Kreosot scheint das beste Mittel zur Erhaltung der Schwellen zu sein, es steht schon länger in Verwendung als irgend ein anderes, und die Erfahrung im Betriebe in den Hauptgleisen zeigt, daß die Verwendungsdauer einer mit Kreosot getränkten Schwelle viel größer ist, als die einer nicht getränkten.
- 3) Es ist möglich, sowohl hartes, als auch weiches Holz zu verwenden. Die Wahl hängt von örtlichen Verhältnissen ab.
- 4) Es empfiehlt sich, bei der Übernahme der Hölzer alle angemessenen Vorsichtsmaßregeln anzu-

*) A. Haufser (Sonderausgabe 1.) erwähnt die verschiedenen in Verwendung stehenden Holzgattungen, die empfehlenswerten Vorsichtsmaßregeln, um sich der Güte des Holzes zu versichern, sowie die verschiedenen Tränkungsverfahren. Er empfiehlt, hartes Holz mit Kreosot zu tränken. Es folgen Ausführungen über Haltbarkeit und Verfall der Schwellen. Eine auf 41 Verwaltungen Bezug nehmende Übersicht gibt die gemachten Erfahrungen. Dann folgen Erläuterungen über Abnutzung der Schwellen und die beantragten Beschlüsse.

**) J. W. Kendrick (S.-A. Nr. 32.) beginnt mit geschichtlichen Erinnerungen über Holzgewinnung für Schwellen und gibt Ratschläge für deren Tränkung und Behandlung je nach der Holzgattung. Er hatte an 211 Verwaltungen 25 Fragen gestellt; 102 Verwaltungen haben geantwortet. In 9 Zusammenstellungen hat er die mitgeteilten Erfahrungen vereint; hierunter befinden sich auch einige beachtenswerte Schaulinien, welche die im Laufe der Jahre erzielten gewichtigen Fortschritte beleuchten. Dann folgen noch in 12 Beilagen die wichtigsten von den Verwaltungen gesendeten Zusammenstellungen und Listen.

wenden und mit gehöriger Strenge vorzugehen. Die zur Vorbereitung der Schwellen dienenden Arbeitsplätze müssen in reinlichem Zustande gehalten und von allen in Fäulnis übergegangenen Abfällen befreit werden. Die gelieferten Schwellen müssen mindestens 6" = 152 mm oberhalb des Erdbodens rostweise derart geschichtet werden, dafs das Hinzukommen von Luft und Licht begünstigt wird.

- 5) Das Fehlen der Schwellenbedeckung scheint auf die Dauer des Holzes selbst bei weichen, nicht getränkten Gattungen keinen nachteiligen Einfluß auszuüben. Bei dieser Verwendungsart ergibt sich die Möglichkeit, sofort alle fehlerhaften Stellen wahrzunehmen und, wenn möglich, gleich Abhilfe zu schaffen. In besonderen Fällen, insbesondere in heißen Gegenden, kann die Bedeckung mit Schotter nützlich sein.
- 6) Es ist nötig, sowohl bei der Wahl der Hölzer, als auch bei der Beschotterung Strenge gelten zu lassen. Der Schotter muß wasserdurchlässig sein, gutes Unterkrampen und gute Erhaltung gestatten und die Festhaltung der Schwelle in ihrer Bettung begünstigen. Die Maßnahmen zur besten Erhaltung des Holzes sichern auch am Vollständigsten die sichere Lage der Geleise.
- 7) Um in der Beschotterung jede Zerstörung zu verhüten, wodurch auch die Erhaltung der Schwellen gesichert wird, kann nicht genug empfohlen werden, die Entwässerung der Unterbaukrone sicher zu stellen und für den Ablauf des Wassers in allen Fällen zu sorgen.
- 8) Zur Verhütung der Abnutzung der Schwellen ist es wichtig, dafs in der Befestigung der Schiene auf der Schwelle jede gegenseitige Bewegung vermieden wird, sowohl in lotrechter als auch in seitlicher und in der Längen-Richtung. Der in den Vereinigten Staaten fast ausschließlich verwendete Schienennagel bildet kein genügendes Befestigungsmittel; zur Erzielung befriedigender Ergebnisse erscheint die Einführung der Schwellen-Schraube nötig.
- 9) Nur indem man aufmerksam die Anzahl der getränkten Schwellen, die Art ihrer Behandlung, den Ort und den Zeitpunkt ihrer Inbetriebsetzung und Erneuerung anmerkt, wird man bestimmen können, ob eine bestimmte Behandlungsart ein befriedigendes Ergebnis liefert, und ob die erwarteten wirtschaftlichen Vorteile erreicht wurden. Es wäre sicherlich nützlich, wenn jede Bahnverwaltung, die getränkte Schwellen verwendet, diese mit einem besondern Abzeichen, vorzüglich durch Nägel mit Zeitangabe kennzeichnen ließe und baldigst darauf bezügliche regelmäßige Aufschreibungen einrichtete.

I. B. Holzschwellen; Ursachen der Zersetzung in tropischen Gegenden und Mittel zur Abwehr.

J. E. Spring*). Late chief engineer in the Railway Dep. of the Government of India.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

Wegen Abwesenheit des Herrn J. E. Spring werden dessen Beschlufsanträge durch den Herrn ersten Sekretär Elskes verlesen.

An der hierauf folgenden Erörterung beteiligen sich: G. E. Louth, Great Western-Bahn, J. Fraser, New-South Wales Staatsbahn, C. J. Armstrong, Zentral-South Africa-Bahn, S. Brian, Buenos-Ayres Western-Bahn, D. W. Zum, Southern-Bahn, Amerika, Cartault, P. L. M.-Bahn. Es werden nähere Auskünfte über die australischen Hölzer »Jarrah« und »Karri« gegeben, über die gute Erfahrungen gemacht sind. Das »quebracho colorado« wird in der Argentinischen Republik mit Vorteil verwendet, ohne dafs eine Vorbereitung nötig wäre. Die Ansichten sind im Allgemeinen sehr geteilt.

*) J. E. Spring (S.-A. Nr. 20) berichtet über die Antworten von 19 Verwaltungen mit zusammen 51 500 km in 11 Abschnitten über Witterungs-Verhältnisse, verwendete Holzgattungen, Behandlung der Schwellen, Ursachen der Abnutzung, Preisverhältnisse. Er ist der Meinung, dafs die künstliche Erhaltung in tropischen Gegenden weniger wichtig ist, weil fast überall einheimische Holzgattungen vorhanden sind, welche sich gut halten. Diese Frage betrifft eher die eingeführten Schwellen. Dem Vorberichte sind die Antworten der Verwaltungen auf den Fragebogen des Berichterstatters, sowie ein Ausweis der einschlägigen Veröffentlichungen angeschlossen.

Beschlufs.

Die erhaltenen Mitteilungen über die Ursachen der Zerstörung von Schwellen in tropischen Ländern und über die Mittel zur Abwehr sind nicht zahlreich genug, um abschließende Schlüsse zu ziehen, es ist wünschenswert, daß dieser Gegenstand auf der Tagesordnung bleibe.

II. Schienen der Schnellzug-Gleise.

Verstärkte Schienen-Querschnitte; Erzeugung und Übernahme; bestes Metall für Schienen und Radreifen; Nickel-Mischmetalle; Schienenstöße; Verbesserungen am schwebenden Stofse; Versuche mit gestütztem Stofse; Bestrebungen zur Verminderung der Anzahl der Stöße; Mittel zur Verhinderung des Wanderns, insbesondere auf zweigleisigen, stark geneigten Bahnstrecken.

- 1) J. W. Post*). Haupt-Ingenieur für Oberbau und Bau bei den holländischen Staatsbahnen; Deutschland, Holland, Rumänien, Rußland, Dänemark, Schweden, Norwegen und die Schweiz.
- 2) Van Bogaert**). Ingenieur en chef, directeur aux chemins de fer de l'Etat belge; alle anderen Länder aufser Amerika.
- 3) P. H. Dudley***). Inspecting engineer, New-York, Zentral- und Hudson-Flufs-Bahn, Amerika.

Auszug aus dem Sectionsberichte.

H. Dufour, Holländische Staatsbahnen, verliest die von dem inzwischen verstorbenen Berichterstatler J. W. Post beantragten Beschlüsse. Hierauf verliest der zweite Berichterstatler Van Bogaert einen Auszug aus seiner Arbeit und die von ihm beantragten Beschlüsse, unter besonderer Betonung gewisser Fragepunkte. Anschließend gibt der dritte Berichterstatler P. H. Dudley eine Darstellung der wichtigsten Punkte seines Vorberichtes und verliest ebenfalls die dort beantragten Beschlüsse.

In Anbetracht der vorliegenden vielen Beschlufsanträge werden die Herren Dudley, Van Bogaert und Dufour beauftragt, zusammen einen gemeinschaftlichen kürzern Entwurf von Beschlufsanträgen aufzustellen.

An der hierauf folgenden Erörterung beteiligen sich aufser den Genannten: Descubes, französische Ostbahn, Th. H. Johnson, Pennsylvania-Linien westlich von Pittsburg, Cartault, P. L. M.-Bahn, G. E. Louth, Great Western-Bahn, W. C. Cushing, Pennsylvania-Linien westlich von Pittsburg, R. Job, Philadelphia- und Reading-Bahn, C. W. Buchholz, Eric-Bahn, W. J. Wilgus, Neu-York, Zentral- und Hudson-Flufs-Bahn, R. Barker, South Eastern- und

*) J. W. Post (S.-A. Nr. 7) bezieht die Frage auf Gleise, die beständig mit 90 km/St. befahren werden; es haben nur 5 Verwaltungen auf solche bezügliche Antworten gesendet: Dänemark, Holland, Rußland und die Schweiz. Er bespricht die Querschnitte schwerer Schienen, die Erzeugung und Übernahme und die Schienenstöße. Eine Liste gibt die Hauptangaben für die schwersten Schienen in Dänemark, Holland, Rußland, der Schweiz, Deutschland, Amerika und Belgien. Dann folgen die Querschnitte der 60 kg/m Schienen, statistische Mitteilungen und ein Entwurf der Beschlüsse.

**) Van Bogaert (S.-A. Nr. 7) bespricht in 7 Abschnitten die von 30 Verwaltungen erhaltenen Antworten über Stuhl- und Breitfuß-Schienen, Querschnitte, Erzeugung und Übernahme, Schienen mit Nickelmischung, Stofsverbindungen, insbesondere gestützten schwebenden Stofs und Wanderungen. Dem Berichte sind zahlreiche Zeichnungen, eine umfangreiche Zusammenstellung der in den Antworten enthaltenen ziffermäßigen Angaben und ein Entwurf zu Beschlüssen angeschlossen.

***) P. H. Dudley (S.-A. Nr. 35) berichtet über die von 58 amerikanischen Verwaltungen erhaltenen Antworten. Vorerst werden Zeichnungen mit Maßangaben für den Oberbau von 26 Verwaltungen gegeben, worunter nur 1 Stuhlschienen-Oberbau. Er bespricht in 15 Abschnitten: I. Die allgemeine Beschaffung der Oberbauanlagen und die hieran gestellten Anforderungen, II. die Rücksichtnahme auf die amerikanischen Lokomotiv-Bauarten, III. die Rücksichtnahme auf die Gewichte, die Schwellen und die Beschotterung, IV. die Rücksichtnahme auf den Raddruck, den Achsstand und die belastete Länge bei den verschiedenen Lokomotiven, V. die Erzeugung und Prüfung des Schienen-Metalle, VI. die Erprobung und Übernahme, VII. bis IX. die chemischen und physikalischen Eigenschaften des besten Schienenstahles, X. die Radreifen, XI. den Nickelstahl, XII. bis XIV. die Stofsverbindungen, XV. die Wanderungen. Dieser mit zahlreichen Zeichnungen und Listen ausgerüstete Bericht, einer der ausführlichsten der Versammlung, endet mit Beschlufs-Anträgen.

Chatham-Bahn, J. F. Wallace, Amerika, Tolstopiatoff, Russischer Staat, J. P. Ramdey, Chicago, Peoria und St. Louis-Bahn.

Beschlüsse.

- 1) Aufgabe der Oberbau-Unterlage ist es, die Wirkungen der beweglichen Lasten zu ertragen, so wie diese durch die Räder auf die Schienen, die Schwellen und die Beschotterung ausgeübt werden; diese Unterlage wird beim Überrollen jedes Zuges, zum Teile auch jedes Rades abwechselnd belastet und entlastet. Jede Verbesserung in der Verteilung der Belastungen auf die Unterstützung erhöht die Festigkeit des Gleises und hat einen Fortschritt im Verkehr zur Folge.
- 2) Ein Schienenquerschnitt mit guter Verlaschung und die tragende Unterlage unterliegen einer minderen Beanspruchung, weil die Schiene dann einigermaßen als ein auf mehreren Stützen ruhender durchlaufender Träger ausgebildet ist.
- 3) Es herrscht das Bestreben vor, das Schienengewicht in Gemäßheit der Geschwindigkeit zu vergrößern. Das Gleis mit schweren Schienen erfordert geringere Erhaltung und Erneuerung, die Schiene unterliegt geringerer Abnutzung und bricht seltener. Bei gut unterhaltenem Gleise, vorzüglichen Fahrbetriebsmitteln und gut ausgeglichenen Lokomotiven besteht keine zwingende Notwendigkeit, schwere Schienen zu verwenden.
- 4) Durch Erbreiterung des Schienenkopfes, wodurch der Angriff der Laschen vergrößert wird, verringert man die Abnutzung der Angriffs-Flächen zwischen Lasche und Schiene, sonach auch die Formveränderung des Schienenstosses. In diesem Sinne müßte auch der Laschenstahl fast ebenso hart sein, wie der Schienenstahl, vorausgesetzt, daß dabei Sprödigkeit des Stahles vermieden wird. Mit Bezug auf den Reibungswiderstand an den Schienenenden gut durchgebildete Verlaschungen vermitteln, von einer Schiene zur nächsten, die Fortpflanzung der unter den verkehrenden Lokomotiven und Wagen entstehenden Angriffsmomente.
- 5) Die üblichen Festigkeitsproben auf Zug, Biegung oder Stofs, und die üblichen Verfahren der Übernahme gestatten es, für die Schienen der Schnellzuggleise eine annehmbare Beschaffenheit des Stahles zu erhalten; sie sind aber ungenügend für die Schienen der amerikanischen Gleise, wo bedeutendere Achsdrücke vorkommen. Es ist nötig, Prüfungsverfahren zu suchen, durch die vorhandene Blasen entdeckt werden.
Es ist das Bestreben vorhanden, die physikalische Behandlung dieser Schienen durch eine Überwachung der Wärmestufen während der Walzarbeit strenger zu gestalten, um feinkörniges Gefüge zu erzielen. Die mikroskopische Untersuchung zur Feststellung der Gleichartigkeit des Gefüges des Stahles der fertigen Schiene leistet gute Dienste. Einige Verbesserungen in der Herstellung zur Verminderung der in den Gußblöcken vorhandenen Blasen rechtfertigen die Hoffnung, daß auch eine Verminderung der Zahl und Größe von Blasen in den fertigen Schienen erzielt werden kann.
- 6) Zur Sicherung guter Beschaffenheit des Stahles ist es wünschenswert, beim Walzen der Breitfuß-Schienen am Rande des Schienenfußes hinreichende Dicke von mindestens 13 mm beizubehalten.
- 7) Der Schienenstahl muß gesund und feinkörnig sein und eine Bruchfestigkeit von 40 bis 42 kg/qmm bei 15 bis 10% Dehnung auf 50 mm Länge besitzen. Der Probestab soll dem Schienenkopfe entnommen werden.
- 8) Nickelstahl wird für europäische Schienen nicht verwendet. In Amerika, wo größere Achsdrücke vorkommen, wird auf den am meisten beanspruchten Gleisen Nickelstahl versuchsweise verwendet.
- 9) Für Breitfuß-Schienen werden verschiedene Arten von Winkellaschen, von schwebenden und unterstützten Stößen verwendet; mit den einen und anderen werden gute Ergebnisse erzielt. In Amerika ist mit Erfolg versucht worden, bei schweren und langen Schienen die Zahl der Dehnungs-Stöße zu vermindern.
- 10) Die geschweiften Stöße werden nicht empfohlen. Die Verwendung sehr langer Schienen ist

wünschenswert; eine Länge von 18 m ist in Europa üblich geworden; in Amerika beträgt die übliche Länge $3,3' = 10,06$ m.

11) Dem Wandern der Gleise wurde wirksam begegnet.

III. Verbesserte Kreuzungen.

Gefederte Kreuzung, Beweglichkeit mit der Weichenzunge, Kreuzung ohne Lücke am Herzstücke. C. W. Buchholz*), consulting engineer, Erie-Bahn.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

Der Berichterstatter C. W. Buchholz wiederholt die Ausführungen seines Vorberichtes und verliest die beantragten Beschlüsse. An der Erörterung beteiligen sich: J. Fraser, New South Wales, Staatsbahn; J. P. Ramsey, Chicago, Peoria und St. Louis Bahn; E. B. Ashby, Lehigh Valley Bahn.

In Australien wurden bewegliche Kreuzungen bei mit weniger als 50 km/St. befahrenen Gleisen mit Erfolg eingeführt. Auf der Bahn Chicago, Peoria, St. Louis war der Erfolg ein guter, ohne daß eine Geschwindigkeitsgrenze in Betracht käme.

Beschlüsse.

Auf allen mit schwerem Verkehre belasteten, mit Lokomotiven von mehr als 25 t und Wagen von mehr als 18 t Achsdruck befahrenen Haupt-Gleisen kann die Federkreuzung, spring rail frog, croisement à ressort, oder die Gelenk-Kreuzung, hinged spring frog, croisement à pivot, mit aller Sicherheit verwendet werden, wenn der Verkehr auf den abzweigenden Gleisen verhältnismäßig gering ist.

Kreuzungen mit beweglichen Herzspitzen, movable point frogs, croisement à pattes de lièvre mobiles, können in allen Bahnhöfen vorteilhaft verwendet werden, wo der zur Überführung der Züge von einem Gleise zum andern vorhandene Raum beschränkt ist. Wenn der verfügbare Raum es zuläßt, und wenn die Züge mit voller Geschwindigkeit durchfahren müssen, sind Abzweigungen mit Weichenzungen bester Bauart und unbewegliche Kreuzungen vorzuziehen.

IV. Eisen-Beton.

Verwendung bei Eisenbahnbauten. Vergleich zwischen den Kosten von Brücken aus Eisen-Beton und solchen aus Eisen.

1. S. de Kareischa**), Vize-Direktor der Abteilung für Betrieb der Eisenbahnen in Rußland, Rußland.

2. W. Ast***), Baudirektor der österreichischen Kaiser Ferdinands-Nordbahn, alle Länder außer Rußland und Amerika.

*) C. W. Buchholz (S.-A. Nr. 39) erörtert zunächst, daß hier nur eine Ergänzung der Berichte von 1900. sechste Versammlung, von Worthington und Cartault, beabsichtigt wird. Die Kreuzung, frog, croisement de voie. mit der Weiche vermittelt den Übergang auf das nächste Gleis. Die Kreuzungsweiche, cross over, traversée diagonale, vermittelt die Übersetzung mehrfacher Gleise mit Weichen. Die Kreuzung, crossing, traversée, dient zur Übersetzung ohne Weichen. Gefederte und gelenkige Kreuzungen, hinged spring frog, sliding yard frog, sind in Amerika für die erst genannten Kreuzungen gebräuchlich. Für Kreuzungsweichen werden oft bewegliche, von den Weichenzungen abhängige Herzspitzen verwendet; der Kreuzungswinkel ist dabei 1:12. Für Kreuzungen ist bisher nichts erfunden worden, um die Lücke zu beseitigen. Es folgen beantragte Beschlüsse, sowie eine Anzahl Zeichnungen und Briefe der Verwaltungen als Beilagen.

**) S. de Kareischa (S.-A. Nr. 10) erörtert, daß sein abgekürztes Referat durch eine mit Bildern und Zeichnungen ausgestattete Veröffentlichung im „Bulletin“ ergänzt werden soll. Er bespricht in 6 Abschnitten die mit Eisen-Beton durchgeführten Proben, die ausgeführten Hochbauteile, die ausgeführten Wasserbehälter, ganzen Baulichkeiten, Gründungen, sowie alle ausgeführten Eisenbahn-Kunstabauten. In einigen Listen sind die Hauptmaße für Wasserleitungs-Bauwerke angeführt und die Preise von Talbrücken berechnet. Dem folgen Beschlüssen.

***) W. Ast (S.-A. Nr. 15, deutsch und französisch) bespricht in 3 Abschnitten mit Unterteilungen: angewendeten Bauweisen des Eisen-Beton und die ausgeführten Bauwerke, II. die über die Bewährung des Eisen-Beton gewonnenen Erfahrungen, III. die neueren theoretischen Grundlagen und gewonnenen Erkenntnisse.

3. J. F. Wallace*), late general manager, Illinois Zentral Bahn, Amerika.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

Wegen Abwesenheit der Berichterstatter übernehmen es die Herren Kupka, Kaiser Ferdinands Nordbahn, und Tolstopiatoff, russischer Staat, unter Zusammenfassung aller drei Vorberichte einen Entwurf für Beschlüsse aufzustellen. An der Erörterung der Beschlufsanträge beteiligen sich außer den Vorgenannten: Müntz, französische Ostbahn; Bauchal, französische Westbahn; Elskes, schweizerische Bundesbahnen; Rabut, französische Westbahn; Bruneel, belgische Staatsbahnen; Jégou d'Herbeline, Orléansbahn; Maas, holländische Bahn; D. W. Lum, Southern Bahn; G. W. Kittredge, Cleveland, Cincinnati und St. Louis Bahn. Die Meinungen über die besonders zu empfehlenden Bauten, über den Kostenvergleich für Bauten aus Eisen-Beton oder aus Eisen gehen weit auseinander. Man erkennt allgemein die von Bauten aus Eisen-Beton gebotenen Vorteile an.

Beschlüsse.

1. Eisen-Beton hat sowohl in technischer, als auch in wirtschaftlicher Beziehung vielfache und wichtige Anwendung bei Eisenbahnen gefunden, er kann erfolgreich den Wettbewerb mit Mauerwerk, Holz oder Eisen in den Bauwerken aufnehmen.
2. Die Proben, denen die Bauten aus Eisen-Beton unterzogen wurden, die über den Gegenstand gepflogenen theoretischen Nachforschungen und die Ergebnisse der Ausführung rechtfertigen den Schluss, daß die Anwendung keine Besorgnis erregen soll und den Bahnverwaltungen empfohlen werden kann.
3. Die Ausführung bei Eisenbahnen hat bewiesen, daß sorgfältig hergestellte Bauten aus Eisen-Beton ausgezeichnete Dienste leisten und fast gar keiner Erhaltung bedürfen. Aus diesen Gründen ist die Anwendung von Eisen-Beton selbst dann zu empfehlen, wenn die Anlagekosten ausnahmsweise höher zu stehen kommen, als die anderer Bauweisen.
4. Bauten aus Eisen-Beton bieten besonders in den Gegenden ein sehr gutes Auskunftsmittel, wo Baustoffe in großen Stärken, wie Stein und Eisen, schwer zu beschaffen sind.
5. Der Eisen-Beton gestattet, Bauwerke mittels marktgängiger Baustoffe rasch auszuführen; man vermeidet hierdurch den oft schwer empfundenen Zwang, sich mit Bestellungen an die Gewerkschaften zu wenden.

2. Sektion.

Lokomotiven und Zugförderung.

V. Lokomotiven von hoher Leistungsfähigkeit.

Erhöhung der Leistungsfähigkeit mittels hoher Dampfspannungen und mittels der Verbund-Wirkung. Anwendung von Nickelstahl.

Er ist der Meinung, daß die Druckfestigkeit mit 150 kg/qcm, die Zugfestigkeit mit kaum 15 kg/qcm anzunehmen sei. Dann folgen Beschlufsanträge. Dem Berichte sind umfangreiche Beilagen an Briefen der Verwaltungen und Zeichnungen angeschlossen.

*) J. F. Wallace (S.-A. Nr. 37). Der auf die Antworten von 84 Verwaltungen mit zusammen 185 070 km gestützte, außerordentlich reichhaltige Bericht bespricht in 6 Abschnitten: I. die Zweckmäßigkeit der Anwendung des mit Portland-Zement ausgeführten Eisen-Beton, welche in Amerika 1894 beginnt, II. die verschiedenen Arten von Eiseneinlagen, als Ransome: verdrehte Stäbe, Thacher und Johnson: gerippte Stäbe, Kahn: gewalzte und dann aufgebogene Formstäbe; III. die Lieferungsbedingungen, insbesondere nach der „American Railroad Engineering and Maintenance of Way Association“, IV. die Ergebnisse der Versuche und theoretischen Grundlagen, V. die Beispiele von ausgeführten Bauten als Wasserleitungs- und sonstige Brücken, Decken, Wasserbehälter, VI. die nach den gestellten Fragen geordneten, aus den Antworten der Verwaltungen entnommenen wichtigsten Angaben.

Sehr zahlreiche Bilder, Zeichnungen, Darstellungen und Zahlen sind dem umfangreichen Berichte angeschlossen. Für europäische Ingenieure dürfte die Bemessung der amerikanischen Bauwerke als eine reichliche erscheinen.

1. Ed. Sauvage*), ingénieur en chef der französischen Westbahn, alle Länder aufser Amerika.

2. J. E. Muhlfeld**), general superintendent of motive power, Baltimore und Ohio Bahn, Amerika.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

J. E. Muhlfeld verliest einen Auszug der Ausführungen seines Vorberichtes sowie die Beschlufs-Anträge. An der hierüber entstandenen Erörterung beteiligen sich: J. F. Deems, New-York, Zentral- und Hudson-Fluss-Bahn; D. F. Crawford, Pennsylvania Linien westlich von Pittsburgh; F. G. Wright, Great Western-Bahn; A. W. Gibbs, Pennsylvania-Bahn; T. Laurent, Orléans-Bahn; R. P. Sanderson, Seaboard Air Line-Bahn; H. H. Vaughan, Canadische Pacific-Bahn; A. Buchanan, Zentral-Vermont-Bahn; F. A. Clark, Chicago-, Burlington- und Quincy-Bahn; A. Zovell, Atchison-, Topeka- und Santa Fé-Bahn. Hierbei werden die mechanische Einführung der Kohle in den Feuerkasten, die Form des letztern, die Zweckmäßigkeit der Verbund-Wirkung mit zwei Zylindern oder mit vier Zylindern bei zweifach gekröpften Triebachsen besprochen.

E. Sauvage verliest dann die in seinem Vorberichte beantragten Beschlüsse, welche gleichzeitig mit denen von J. E. Muhlfeld zur Verhandlung kommen. Hieran beteiligen sich H. Maffre, französische Südbahn; W. Mac Intosh, Zentral-Bahn von New-Jersey; K. Steinbifs, preussische Staats-Bahnen; A. W. Gibbs, Pennsylvania-Bahn; Laurent, Orléans-Bahn; Asselin, französische Nordbahn; Dubois, französische Westbahn; Bowman Malcolm, englische Midland-Bahn; F. G. Wright, Great Western-Bahn; A. Tordeux, französische Ostbahn. Die Vorteile der Verbund-Wirkung mit zwei unabhängigen Triebwerken, die Versuche mit Nickelstahl, die zylindrischen Schieber, die Schmiervorrichtungen und andere Teile werden besprochen.

Beschlüsse.

Die Leistungsfähigkeit der Lokomotiven ist in Europa wegen der angenommenen kleineren Achsdrücke enger begrenzt als in Amerika.

Die europäischen Ingenieure sind im allgemeinen darüber einig, das mittels Verbund-Wirkung die leistungsfähigsten und sparsamsten Lokomotiven gebaut werden können. Sie gestattet sehr gute Ausnutzung der Dampfkraft, ohne das dabei die Erhaltung der Lokomotiven wesentlich höher zu stehen käme; nur die Erhaltungskosten für den Kessel sind gröfser, aber dies folgt aus den gröfseren Abmessungen und der höhern Dampfspannung, welche jedenfalls erforderlich sind.

Fast alle seit einiger Zeit in Frankreich gebauten Lokomotiven besitzen vier sich ausgleichende Zylinder. Diese, sowie die Verbund-Lokomotiven anderer Bauarten stehen gleichfalls in

*) Ed. Sauvage (S.-A. Nr. 5) hat von 53 Verwaltungen Antworten erhalten. Er beschreibt in 26 Abschnitten die Hauptbestandteile und Eigenschaften der neueren mächtigen Lokomotiven. Die Dampfspannung wurde auf 14 bis 16 at. erhöht, die Höhenlage der Achse des zylindrischen Kessels wurde in Amerika bis 2,92 m, der Achsdruck bis 20 t und darüber erhöht. Die Triebräder werden jetzt zwischen 1,4 und 2 m für Last- und Eilzüge bemessen. Die Verwendung von flüssigen Heizstoffen hat kaum zugenommen; die gerippten Heizrohre finden Verbreitung. Eine Zusammenstellung von 32 Beispielen zeigt, wie das Verhältnis der Heizfläche zur Rostfläche zwischen 36 und 95 schwankt. Im Triebwerke scheinen sich die zylindrischen Schieber zu verbreiten, insbesondere bei Verbund-Wirkung, die immer mehr Anwendung findet. Man hat bei Geschwindigkeiten von 115 km/St. bis 2000 P.S. erreicht, gewöhnlich aber 1200 P.S. gehalten. Der mit zahlreichen Listen ausgestattete Bericht endet mit dem Vorschlage von Beschlüssen.

**) J. E. Muhlfeld (S.-A. Nr. 44) beschreibt den jetzigen Lokomotivenbau in Amerika. Es werden Zugkräfte von 18 t bei Lastzügen und 9 t bei Personenzügen gefordert. Die nach der Achsanordnung benannten Formen: „Mogul“ 2—6—0, „Prairie“ 2—6—2, „Consolidation“ 2—8—0, „Mikado“ 2—8—2, „Columbia“ 2—4—2, „Decapod“ 2—10—0, „Santa Fé“ 2—10—2, „American“ 4—4—0, „Atlantic“ 4—4—2, „Ten Wheel“ 4—6—0, „Pacific“ 4—6—2, „Mastodon“ 4—8—0 werden in 26 Abschnitten sowohl bezüglich ihrer Bestandteile, als auch bezüglich ihrer Leistungen gekennzeichnet. Die Gewichte sind 62 t bis 152 t für Lastzüge, 33 t bis 75 t für Personenzüge und 47 t bis 78 t für Bahnhofsdienst. Eine große Zusammenstellung enthält die wichtigsten Angaben für 14 Lastzuglokomotiven, 13 Personenzuglokomotiven und 3 Bahnhofslokomotiven. Die Rücksichten auf Heizstoffe, Beschaffenheit des Wassers und passende Überhitzung sind wichtig. Die bisherigen Bestrebungen zur Hintanhaltung der Wärmeausstrahlung erzielten nur mäßigen Erfolg. Der Vorbericht schließt mit Beschlufs-anträgen. Die Abbildungen von 30 Lokomotiven sind angeschlossen.

Verfügungen den verschiedenen Bedürfnissen entsprechen und dafs kein bestimmtes Verfahren besonders zu empfehlen ist.

XII. Betrieb in der Umgebung der Städte.

Gestaltung des Betriebes für die Personenzüge.

A. W. Sullivan,*) Assistant second vice-president, Illinois-Zentral-Bahn, Amerika;

H. G. Drury,**) Superintendent of the line, englische Great Eastern-Bahn, alle anderen Länder.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

H. G. Drury berichtet aus den Ausführungen seiner Arbeit. Die in Betracht zu ziehenden Umstände betreffen hauptsächlich, 1. die Anzahl der zu befördernden Reisenden, 2. die Art der Zugkraft, 3. den Zugverkehr und die Geschwindigkeit, 4. die Signale, 5. die Einrichtung der Bahnhöfe. Zur Berücksichtigung der Verkehrsabschnitte wurden bereits Stundenzonen mit verschiedenen Preisen eingeführt.

A. W. Sullivan gibt einen Auszug seines Vorberichtes, der demselben Plane folgt, wie der von Drury.

An der Erörterung beteiligen sich: A. Wilson englische Nord-Ost-Bahn, A. Mange, Orléans-Bahn, Brisse, französische Ostbahn, C. Jenny, österreichische Südbahn.

In England wurde nördlich von Newcastle on Tyne der elektrische Betrieb eingeführt; hierdurch hat man im Wettbewerbe mit den Strafsenbahnen einen bedeutenden Personenverkehr zurückgewonnen.

Bei Paris wurde bis Juvisy der elektrische Betrieb seitens der Orléans-Bahn eingeführt; jetzt verkehren 100 Züge statt früher 75 mit Dampftrieb, und zwar zu 286 t mit 1000 Plätzen und zu 73 t mit 650 Plätzen.

In Boston wurde mit Erfolg ein ununterbrochener Untergrund-Verkehr eingeführt. Auf der österreichischen Südbahn wurden für den Ortsverkehr allerlei Wagen versuchsweise in Betrieb gebracht; man ist bei den Einsteigtüren an den Enden der Wagen geblieben. Auf der Illinois-Zentral-Bahn bevorzugt man dagegen die Seitentüren und hat dabei ein Aus- und Einsteigen von 1000 Fahrgästen in 10 Sekunden bewirkt. Im Winter kann man mittels besonderer Vorrichtung 12 Türen auf einmal öffnen.

Beschlüsse.

Zur Erzielung des größtmöglichen Nutzens muß man durch Vereinfachung des Dienstes, soweit es die Bedürfnisse des Betriebes gestatten, die Raschheit des Verkehrs durch einfache und sparsame Verfahren sichern. Die Wagengestalt ist besonders wichtig; die Wagen neuer Linien müssen den besten Wagenformen der alten Linien angepaßt werden, damit der Raum zwischen den Gleisen

*) A. W. Sullivan (S.-A. Nr. 18) hat einen Fragebogen in 10 Abschnitten mit 100 Fragen versendet. Er berichtet über 32 in der Umgebung von Städten betriebene Bahnen, darunter New-York, Chicago, Boston, Philadelphia, Baltimore, Pittsburgh, St. Louis, St. Francisco, Cincinnati. Jeder Abschnitt wird gesondert für alle diese Betriebe behandelt und zwar: I. Bevölkerung im Stadtkreise, II. Preise, Tarife und Fahrkarten, III. Besondere Eigenheiten der Bahn, IV. Signale, V. Angestellte, VI. Zugkraft, VII. Betriebsmittel und Züge, VIII. Zugverkehr und Geschwindigkeit, IX. Arbeiter-Verkehr, X. Statistik. Als Beschlufsanträge folgen gewisse empfohlene Regeln. Die Fahrpreise betragen im Mittel 58% der Preise auf großen Bahnen. Die Bahnsteige sollen in der Höhe des Wagen-Fuhsbodens liegen. Seitliche Türen sind zu empfehlen. Der Fahrplan soll alle Züge gleichartig verkehren lassen, für Fernzüge sind zwei besondere Gleise erforderlich. 38 Lichtbilder von Fahrbetriebsmitteln und Bahnhöfen sind beigegeben.

**) H. G. Drury (S.-A. Nr. 30) erörtert, dafs es sich hier darum handelt, in kurzer Zeit ungeheuerere Menschenmengen auf kurze Entfernung meist weniger als 40 km hauptsächlich morgens und abends billig zu befördern. Der Londoner Bahnkreis enthält 65 Millionen Einwohner. Der Berichterstatter erörtert in 20 Punkten die Eigenart eines solchen Betriebes, wie sie aus den Antworten von 17 Verwaltungen auf die gestellten Fragen folgt. Die Gruppen der Fragen sind: A. London, B. Eigenheiten des Oberbaues, C. Eigenheiten der Stationen, D. Signale, E. Angestellte, F. Zugkraft, G. Zugverkehr und Geschwindigkeit, H. Arbeiterverkehr. Die Antworten sind in Beilagen A bis H angeschlossen und unter I mit einer Stundenstatistik ergänzt. Darauf folgt eine Anzahl Zeichnungen von Eisenbahnwagen.

möglichst gut verwertet wird. Die Lokomotiven müssen kräftig genug sein, um die längsten Züge mit der vorgesehenen Geschwindigkeit zu fahren. Die Fahrpläne müssen derart aufgestellt sein, daß alle Züge mit derselben Geschwindigkeit verkehren und auf demselben Gleise an jeder Station halten. Es empfiehlt sich, auf den sehr stark befahrenen Linien besondere Gleise für schnell fahrende Züge zu bauen, welche nicht in allen Bahnhöfen halten.

Es ist wichtig, für das rascheste Aus- und Einsteigen der Reisenden und das sofortige Abfahren der Züge zu sorgen.

Man vermindert so die zum Einholen des Zeitverlustes erforderliche Triebkraft und die Behendigkeit des Dienstes überträgt sich auf die Reisenden, die so zu rascher Bewegung mitgerissen werden. Die Zugfolge muß im Verhältnisse zur Verkehrsdichte stehen, damit der verlängerte Aufenthalt in den Bahnhöfen und die Überfüllung der Bahsteige vermieden werden.

Der Kongress hat die Mitteilungen über die in England und Frankreich erfolgte Einführung von elektrischer Zugförderung aufmerksam zur Kenntnis genommen, ist aber nicht in der Lage, für die eine oder andere Art des Betriebes, Dampf oder Elektrizität, eine Bevorzugung auszusprechen.

4. Sektion.

Allgemeines.

XIII. Güter-Frachtsätze.

Allgemeine Grundsätze und Beschreibung der verschiedenen Arten der Frachtgut-Tarife.

1. H. Smart*), secretary Railway Clearing House, England;
2. A. Mange**), Chef adjoint de l'exploitation der Orléans-Bahn, Italien, Spanien, Portugal, Belgien;
3. W. J. van Overbeck de Meyer***), Vorstand der Tarifabteilung bei der Betriebsgesellschaft der holländischen Staatsbahnen, alle anderen Länder mit Ausnahme von Amerika †).

Auszug aus dem Sektionsberichte.

Der Sektionspräsident bemerkt, daß die gestellte Frage lediglich die bei der Tarifierung maßgebenden Grundsätze betrifft. Die sonst recht beachtenswerten Angaben der Vorberichte, welche die Tarife selbst betreffen, können nicht in die Erörterung einbezogen werden.

In Abwesenheit des Berichterstatters H. Smart übernimmt Lewis Wood, Railway Clearing House, die Ausführung des bezüglichen Vorberichtes. Innerhalb der amtlichen 8 Klassen

*) H. Smart (S.-A. Nr. 3) berichtet vorerst über die Entstehung der Frachtguttarife in England, für welche zuletzt die „Railway Rates and Charges Orders Confirmation Acts“ von 1891/92 vom 1. Januar 1893 ab maßgebend sind. Hiernach wurden in aufsteigender Linie 8 Klassen A, B, C, 1, 2, 3, 4, 5 mit Zonen-Kilometer-Tarifen vorgeschrieben und zwar für 20, 30, 50 und mehr Meilen sowie entsprechende allgemeine und Abfertigungsgebühren vorgeschrieben. Außerdem bestehen Sondertarife. Die Verwaltungen haben innerhalb der gedachten Grenzen eigene Tarife und Regeln, worüber noch berichtet wird.

**) A. Mange (S.-A. Nr. 9) gibt vorerst eine tariftechnische Anleitung über Tarifgrundsätze von wirtschaftlichen und Verwaltungs-Gesichtspunkten, schildert die Nachteile der Stationstarife, welche immer mehr durch Kilometertarife und Kilometerzonentarife ersetzt werden. In einem zweiten Teile werden nacheinander die Tarife von: Frankreich mit 4 Listen, Belgien mit Tarifreihen und einer langen Liste von Sonder- und Stations-Tarifen, Italien, Spanien und Portugal mit Listen beschrieben, dann folgt der versendete Fragebogen mit 26 Fragen. Der Verfasser hat den belgischen Einrichtungen große Aufmerksamkeit gewidmet.

***) J. van Overbeck de Meyer (S.-A. Nr. 23) erörtert kurz, daß seine Arbeit sich nicht auf gewisse, im Eisenbahnfache minder entwickelte Länder, ebenso nicht auf Lokal- und Kleinbahnen bezieht. Hierauf folgen ausführliche Auszüge aus den Tarifen von: Deutschland und Österreich-Ungarn mit Tarifreihen und Listen, Serbien, Bulgarien und Rumänien mit Tarifreihen, von der Schweiz, Dänemark und Norwegen mit Tarifreihen und Listen. Der Verfasser wiederholt das Ergebnis seiner Erhebungen in gewissen Beschlufsanträgen; er erblickt für die Zukunft die Möglichkeit der Aufstellung einheitlicher internationaler Tarife, anschließend an die Berner Vereinbarungen für das Frachtwesen.

†) In Amerika werden die Tarife durch die Bahnverwaltungen aufgestellt. Gegen die jetzt in Regierungskreisen vorherrschende Neigung zur Festsetzung von Höchstsätzen wurde während des Kongresses selbst in den Tischreden Stimmung gemacht.

der Tarife fanden es die Bahnverwaltungen zweckmäßig, andere Einteilungen und Tarife herauszugeben, welche die zu erhebenden Beträge angeben. Diese sind im Allgemeinen Zonenkilometer-Tarife. Es erfolgen aber auch noch gewisse Tarifiermächtigungen für gewisse Frachten, insbesondere solche, für die die Bahn keinerlei Verantwortung übernimmt. A. Mange erläutert sodann die Ausführungen seiner Arbeit und der des dritten Berichterstatters van Overbeck de Meyer. Fast in allen dort behandelten Ländern hat sich eine gemischte Tarifbildung entwickelt, die einerseits den Wert, andererseits das Gewicht und den Rauminhalt der verfrachteten Güter in Betracht zieht. Bei der Festsetzung gewisser Sondertarife dürfen nie bestimmte Personen oder Firmen, sondern nur besondere Frachten für jedermann in gleicher Weise begünstigt werden.

An der Erörterung beteiligen sich: T. J. Hudson, Illinois-Zentral-Bahn, Stuyvesant Fish, Illinois-Zentral-Bahn, T. H. Rendell, englische Great Western-Bahn, G. Legrain, französische Staatsbahnen, William A. Dring, ostindische Bahnen, J. Pickering, Regierung von Süd-Australien, H. Mac Lachlan, Regierung von Neu-Südwesten, Piéron, französische Nordbahn.

Beschlüsse.

Es ist wünschenswert, daß die Tarife auf handelswirtschaftlicher Grundlage beruhen, dabei ist auf die besonderen Verhältnisse Rücksicht zu nehmen, welche auf den geleisteten Dienst Einfluss haben. Unter der Voraussetzung, daß die Tarife ohne willkürliche Bevorzugung auf alle unter gleichen Verhältnissen stehenden Verfrachter angewendet werden, soll die Tarifierung so viel als möglich die nötige Geschmeidigkeit besitzen, um die Entwicklung des Verkehrs zu gestatten und um die Nutzbarkeit der Eisenbahnen zu Gunsten der Öffentlichkeit sowohl, als auch zu Gunsten der den Betrieb führenden Verwaltung auf ihren Höchstwert zu bringen.

XIV. Rechnungsführung.

Allgemeine Rechnungsführung, Beschreibung der verschiedenen bestehenden Arten. Vergleich nach dem doppelten Standpunkte der Wirksamkeit und der Sparsamkeit, Frage der Einheitlichkeit auf verschiedenen Bahnnetzen.

1. R. v. Loehr*), Reg.-Rat, Vorstand der Rechnungs-Abteilung bei der österreichischen Kaiser Ferdinands-Nordbahn, alle Länder mit Ausnahme von Amerika und Rußland;
2. J. v. Richter**), Direktor-Stellvertreter der Linie St. Petersburg-Warschau, Rußland;
3. A. H. Plant***), Comptroller, Southern-Bahn, Amerika.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

A. H. Plant berichtet über seine Arbeit und glaubt, es sei vorteilhaft, den Dienst für Rechnungsführung und Statistik an wenigen Stellen zu vereinigen, und auf den verschiedenen Bahn-

*) R. v. Loehr (S.-A. Nr. 19) erinnert vorerst daran, daß diese Frage bereits bei der 6. Versammlung erörtert wurde, daß er diesmal um sicherere und einheitlichere Auskünfte zu erhalten, an die Verwaltungen einen Vorbericht gesendet hat, aber doch nur wenige Antworten erzielte. Er behandelt die gestellten Fragen in Abschnitten: A. Zusammenlegung oder Verteilung des Dienstes, B. Voranschlag oder Haushaltsgesetz, C. Buchung mit Statistik, D. Ausgabenbewilligungsrecht und Zahlungen, E. Überwachung, F. Ausgaben, Rechnungslegung, G. Verrechnung der Einnahmen durch die Stationen, H. Überwachung der Einnahmen an der Dienst-Hauptstelle, J. Einnahmen-Verteilung. Dann folgen Beschlusanträge und zahlreiche Beilagen aus den eingegangenen Antworten.

**) J. v. Richter (S.-A. Nr. 29) berichtet in einem ersten Teile über die verschiedenen Arten der Rechnungsführung und stellt in einem zweiten Teile Vergleiche zwischen den Verfahren hinsichtlich der Wirksamkeit und der Sparsamkeit an. In einem dritten Teile untersucht er die Frage einheitlicher Rechnungsführung und empfiehlt Vereinfachung mit Bezug auf die Einrichtungen in England, Deutschland, Österreich-Ungarn, Frankreich, Belgien und Amerika. Dann folgen Beschlusanträge.

***) A. H. Plant (S.-A. Nr. 40) hebt hervor, daß er wegen Mangel an Zeit und Raum nicht beabsichtigt, die amerikanischen Rechnungsführungen im Allgemeinen zu behandeln. Er will jedoch auf einige Eigenheiten der Verfahren aufmerksam machen. Bei der übergroßen Zahl der Einrichtungen ist in Vielen vorherrschende Einigkeit bemerkenswert. In 6 Abschnitten folgen Ausführungen über I. Eisenbahnverwaltung, II. Betriebseinnahmen, III. Rechnungsdienst, IV. Verfahren der Rechnungsführung, V. Betriebsergebnisse und Statistik, VI. Einnahmen, Ausgaben und Jahresberichte, VII. Beschlusanträge. Als Beilagen folgen die Normen der „Interstate Commerce Commission“ für 58 Ausgabeposten, dann verschiedene Drucksorten und Listen-vordrucke der „Southern-Bahn“ und ein vollständiger Jahresbericht dieser Gesellschaft.

netzen möglichst gleichartige Einrichtungen einzuführen, zwischen denen dann die »Clearing houses« und der »interline way billing« Dienst wirken können.

Die anderen beiden Berichterstatter R. v. Loehr und J. v. Richter gelangen zu ähnlichen Schlüssen, wobei die Benutzung der neuen Hilfsmittel, als Schreib- und Rechenmaschinen, bestens empfohlen wird.

An der Erörterung beteiligen sich: L. Marie, französische Nordbahn, C. P. Mossop, englische Nord-Ost-Bahn, Wedgwood, englische Nord-Ost-Bahn, M. Riebenack, Pennsylvania-Bahn und C. W. Appleyard, Regierung von Zentral-Süd-Afrika. Die Sektion einigt sich zu den nachstehenden, in der Vollversammlung etwas abgeänderten Beschlüssen.

Beschlüsse.

- 1) Die Einrichtung der Rechnungsführung hängt so sehr von den örtlichen und besonderen Verhältnissen jeder Eisenbahn ab, daß sie nicht festen, überall anwendbaren Regeln unterworfen werden kann.
- 2) Die Vereinigung der Rechnungsführung einer Eisenbahnverwaltung an einer Stelle scheint bei allen Eisenbahnen, wo sie eingeführt wurde, ein ausgezeichnetes Ergebnis geliefert zu haben.
- 3) Der Haushalt der Eisenbahnen sollte nicht für alle Posten feste Werte, sondern bezüglich der meisten nur eine Begrenzung bilden, da sich die Voranschläge im Eisenbahndienste innerhalb weiter Grenzen den augenblicklichen Verhältnissen anpassen lassen müssen.
- 4) Die Einteilung der Posten für Einnahmen und Ausgaben, in der Aufstellung und im Voranschlage sollte möglichst einfach und in verschiedenen Ländern möglichst gleich sein. Es ist demnach wichtig, daß auf der Tagesordnung der nächsten Versammlung der Vergleich der auf verschiedenen Netzen angenommenen Einteilung belassen wird.
- 5) Die Befugnis, die Ausgaben zu bewilligen und ordnungsmäßig einzuteilen, soll klar bestimmt und möglichst zusammengefaßt werden; der Auszahlungsdienst soll möglichst einfach unter tunlichster Ausschaltung wirklicher Geldbewegungen eingerichtet werden, ohne daß vernünftigen Ausnahmefällen vorgegriffen würde.
- 6) Der Hauptzweck der Rechnungsführung bei Eisenbahnen muß in der Herstellung einer genauen, vollständigen Schlußrechnung der Unternehmung erblickt werden, welche auch die Durchführung des Haushaltes in sich schließt. Die Eintragungen in die Bücher müssen durch sie rechtfertigende Belege begründet sein, welche auf eine nach ihrer Art und wirtschaftlichen Wichtigkeit entsprechender Weise geprüft wurden. Zur Erzielung dieses Zweckes sollte die Buchführung sowohl die wirtschaftlichen Maßnahmen, als auch deren spätere Austragung umfassen.
- 7) Die Gestaltung der Bahnhof-Rechnungsführung, der Überwachung der Einnahmenverteilung soll möglichst einfach und klar gehalten werden. Zu diesem Zwecke empfiehlt es sich, aus den Rechnungen und der Rechnungsprüfung die kleinen Beträge durch vernünftige Einrichtungen auszuschalten (Exprefs-Gesellschaften, Frachtmarken, Aufschreibungen aufgerechneter Einzelbeträge, selbsttätige Verteiler, Vorauszahlungen und Gutscheine, selbstaufschreibende Kassen und so weiter).
- 8) Es empfiehlt sich demnach, die weiteren Erhebungen sowie die Erprobung von Vereinfachungen fleißig zu verfolgen.
- 9) Man sollte von allen neueren Einrichtungen für die Erleichterung der Rechnungsführung, der Schreibarbeiten, der Gegenrechnung, wie Schreibmaschinen, Rechenmaschinen und dergleichen den ausgiebigsten Gebrauch machen.

XV. Dauer der Arbeit und Vorschriften darüber.

Bestimmungen für Beamte und Arbeiter im Eisenbahndienste.

1. P. Weissenbach*), Direktions-Präsident der schweizerischen Bundesbahnen, Schweiz.
2. G. Philippe**), Inspecteur général des lignes Nord belges, alle Länder ausser der Schweiz und Amerika.
3. G. L. Potter***), Third vice president, Baltimore- und Ohio-Bahn, Amerika.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

P. Weissenbach erläutert die Ausführungen seiner Arbeit. Das durch Verordnungen ergänzte Gesetz vom 19. Dez. 1902 bestimmt: 1. die Dauer der Arbeit und Anwesenheit, 2. die für Nacharbeit anzuwendenden Bestimmungen, 3. die zuzulassenden Ruhetage und Ferien, deren Dauer mit dem Alter und der Zahl der Dienstjahre zunehmen, 4. die Unterbrechung des Frachtgutdienstes an Sonn- und Feiertagen.

In Abwesenheit des Berichterstatters G. Philippe berichtet hierauf L. Piéron, französische Nordbahn, über dessen Vorbericht. Fast alle behördlichen oder privaten Vorschriften unterscheiden die in den Bahnhöfen und auf der Strecke Bediensteten von den Zugbegleitungs-Mannschaften und von den Arbeitern. Die Verwendung der beiden ersten Arten von Bediensteten unterliegt keiner gesetzlichen Einschränkung, sondern lediglich den von den Bahnverwaltungen festgesetzten Bestimmungen.

Aus dem Vorberichte des Berichterstatters G. L. Potter für Amerika, ergibt sich, daß dort für die Eisenbahnverwaltungen nur gewisse allgemeine Gesetze in Kraft stehen, welche die Arbeit in allen Zweigen des Gewerbes von ganz allgemeinem Standpunkte regeln, mit Rücksicht auf die Zahl Arbeitsstunden an einem Tage, auf die Beschäftigung von Kindern und Frauen, auf die gesetzlich gültigen Feiertage und die Begrenzung der Arbeit an Sonntagen. Es gibt nur wenig Staaten, welche bezüglich der Arbeit und Ruhe für den Eisenbahndienst besondere Gesetze erlassen haben.

An der Erörterung beteiligen sich: H. Mac Lachlan, Regierung von Neu-Süd-Wales; C. W. Appleyard, Regierung von Zentral-Süd-Afrika; L. Piéron, französische Nordbahn; C. A. Lambert, englische Nordost-Bahn. Nach längerer Besprechung einigt man sich auf folgende von L. Piéron beantragte

*) P. Weissenbach (S.-A. Nr. 4) gibt die Geschichte der in der Schweiz erlassenen Vorschriften bis zum Gesetze vom 19. Dez. 1902, welches am 1. Okt. 1903 in Kraft kam. Diesem in 8 Punkte gefassten, ausführlich erörterten Gesetze folgt eine in 10 Punkte gefasste Erläuterung der vom Bundesrate erlassenen Durchführungsverordnung vom 22. Sept. 1903. Der Berichterstatter erörtert ferner noch die zu Gunsten der Lokalbahnen eingeführten Ausnahmebestimmungen und die freiwilligen Zugeständnisse der Bahnverwaltungen. Dann folgen Beschlusstränge und 5 Tafeln.

**) G. Philippe (S.-A. Nr. 4) berichtet über die von 66 Verwaltungen aus 13 Ländern erhaltenen Antworten, und zwar: Deutschland, Österreich-Ungarn, Belgien, Dänemark, Spanien, Frankreich, Algerien, Großbritannien und Irland, Indien und die Kolonien, Italien, Luxemburg, Holland und die Kolonien, Rumänien und Serbien. Er erörtert für jedes einzelne Land die bestehenden Vorschriften und die eingebürgerten Gepflogenheiten. Ein ordentliches Gesetz über den Gegenstand, wie in der Schweiz, welches die Arbeitsverhältnisse für alle bei den Eisenbahnen beschäftigten Beamten und Arbeiter regelt, gibt es in allen diesen Ländern nicht, es sind nur einzelne Verordnungen erschienen. In Deutschland einigen sich die Verwaltungen über gewisse Bestimmungen, welche dann auch von den Staatsbahnverwaltungen angenommen werden. In Österreich besteht nur für Arbeiter das Gesetz vom 22. Juli 1902. Die in Ungarn, Belgien, Dänemark, Spanien, Luxemburg, Rumänien, Serbien, wie auch in England seitens der Privatbahngesellschaften angenommenen Bestimmungen, weichen wenig von denjenigen ab, welche auf den Staatsbahnnetzen in Deutschland, Österreich und Rußland gelten. Der Bericht spricht sich schliesslich gegen den Erlaß bestimmter Gesetze aus.

***) G. L. Potter (S.-A. Nr. 21) berichtet über die von 145 Verwaltungen erhaltenen Antworten auf 13 Fragen, welche der Berichterstatter dann einzeln behandelt. In Nordamerika bestehen Gesetze der einzelnen Staaten, deren Weitläufigkeit aber den Bahnverwaltungen den weitesten Spielraum gewährt. Der Bericht enthält: I. die Erörterung der Antworten, II. eine Liste der in den Vereinigten Staaten von Amerika gesetzlich geltenden Feiertage, III. die in den einzelnen Staaten geltenden wichtigsten Bestimmungen für Arbeit und Ruhe, IV. die gefolgerten Schlüsse, wonach die Bahnverwaltungen eigentlich die einschlägigen Bestimmungen über Arbeit und Ruhe selbst geben.

Beschlüsse.

Da es bei den vielen Besonderheiten im Eisenbahndienste unmöglich ist, einheitliche, auf alle Fälle passende Regeln festzustellen, da sich die anzuwendenden Regeln ferner nach verschiedenen Gruppen von den Bediensteten und nach der mehr oder weniger starken Arbeit ändern müssen, was eine alle möglichen Fälle deckende Vielseitigkeit bedingen würde, da schliesslich unter solchen Umständen die einem Gesetze anhaftende Steifheit die Unmöglichkeit schafft, mit gehöriger Geschmeidigkeit alle auf die Bedürfnisse der Bevölkerung, der Bediensteten und der betrieblühenden Verwaltungen Rücksicht nehmende Bestimmungen zu umfassen, so gibt der Kongress dem Wunsche Ausdruck, dass den Bahnverwaltungen unter der Überwachung der zuständigen Behörden der grösstmögliche Spielraum zur Feststellung der Arbeitszeiten belassen werde, und zwar:

1. unter weitestgehender Berücksichtigung der Wichtigkeit der begehrten Arbeit sowie der Ständigkeit und Stärke der einer Gruppe von Bediensteten aufzuerlegenden Leistungen;
2. unter Berechnung der Stundenzahl auf Grundlage eines Mittelwertes, welcher mittels einer hinlänglich langen Reihe von Arbeitszeiten und davon abgetrennten Ruhepausen ermittelt wurde;
3. unter Bestimmung der mittlern Dauer des Dienstes nach der Gattung der Arbeit und des, den Bediensteten auferlegten Grades von Verantwortlichkeit.

XVI. Wohlfahrts-Anstalten.

Allgemeine Grundsätze der Anstalten für Altersversorgung zu Gunsten der Eisenbahnbediensteten

1. M. Riebenack*), Comptroller der Pennsylvania-Bahn, Länder englischer Zunge.
2. M. Lemerrier**), Secrétaire général der französischen Ostbahn, alle anderen Länder.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

Die beiden Berichtersteller haben höchst beachtenswerte weit über den Rahmen der gestellten Frage greifende Arbeiten geliefert. M. Riebenack entwickelt seinen Vorbericht und erläutert alle in Amerika bestehenden Gestaltungen des Versicherungswesens. Die Wohlfahrtskassen werden durch die Verwaltungen unter Mithilfe der Bediensteten verwaltet. Der Berichtersteller führt insbesondere einige Einrichtungen der Pennsylvania-Bahn a. a.

Hierauf entwickelt M. Lemerrier seine Ausführungen insbesondere bezüglich der Kassen für Altersversorgung, welche in den von ihm behandelten Ländern zu grosser Vollkommenheit gelangt sind. Es ergibt sich aus den beiden Vorberichten, dass diese Kassen in Europa durch die Bahnverwaltungen eingerichtet werden, wogegen in Amerika und England die Selbstversicherung der Bediensteten in verschiedenen Formen eingeführt wird.

*) M. Riebenack (S.-A. Nr. 36) bespricht die aus Amerika, Europa, Asien, Afrika und Australien erhaltenen 189 Antworten über: A. Hilfs- und Versicherungskassen, B. Kassen für Ruhegehälter, C. Altersversorgung, D. Gesundheitspflege, E. Sparkassen, F. Aktien-Ankaufvereine, G. Vereine christlicher Jugend, H. Bibliotheken, I. Lesé-Vereine, J. Darlehenskassen, K. Öffentliche, von Eisenbahnen unabhängige Anstalten, L. Urlaubsordnungen, M. Verschiedene Anstalten, N. Bruder-Vereine, O. Schlaf- und Luxus-Wagen-Gesellschaften, P. Speditions-Gesellschaften. Der sehr ausführliche Vorbericht erörtert für jede Frage die erhaltenen Antworten unter Wiedergabe vieler ziffermässiger Angaben. Dann folgen Beschlufsanträge als eine Art von Auszug aus dem Berichte mit beachtenswerten statistischen Ergebnissen über die ganzen Anlagekosten, den Verkehr an Reisenden und Gütern, die Bahnlänge und so weiter.

**) M. Lemerrier hat bei 50 Verwaltungen in Europa, Asien, Afrika und Süd-Amerika Erkundigungen eingeholt, und berichtet in 4 Abschnitten mit Unterteilungen: 1) Über Wohlfahrtseinrichtungen zur Verbesserung der Lebensverhältnisse der Bediensteten, 2) Krankheitsfälle, 3) Unfälle im Dienste, 4) Allgemeine Grundsätze für Altersversorgungs- und Versicherungs-Anstalten. Dann folgen Beschlufsanträge. Dem Berichte sind umfangreiche Beilagen angeschlossen, und zwar: I. Der Fragebogen mit 37 Fragen und zwar 1 bis 8 statistische Ergebnisse, 9 bis 14 wirtschaftliche Angaben, 15 bis 25 Rechte und Pflichten der Beteiligten, 26 bis 37 Statistik der Bediensteten und Einrichtungen dazu, II. Ergänzungsfragebogen mit 17 Fragen und zwar 1 und 2 Massregeln zur Lebens-Verbesserung der Bediensteten, 3 bis 17 Krankheitsfälle, III. Liste der befragten Verwaltungen, IV. Regeln für die Versetzung in den Ruhestand bei allen einzelnen Verwaltungen, V. eine umfangreiche Zusammenstellung über die wirtschaftlichen Erfolge der Versetzungen in den Ruhestand für alle einzelnen Verwaltungen.

An der Erörterung beteiligen sich: Riche, französische Ostbahn; J. Pickering, Regierung von Süd-Australien; T. Ronayne, Regierung von Neu-Seeland; L. Wood, englisches Clearing House; R. H. Selbie, Metropolitan-Bahn in London.

Man einigt sich schliesslich auf folgende

Beschlüsse.

Aus den vorgelegten Berichten und den in der Sitzung gemachten Bemerkungen ergibt sich, dass in Europa und Amerika zu Gunsten der Bediensteten und deren Familie eine grosse Mannigfaltigkeit von Wohlfahrtseinrichtungen bestehen, welche zu schaffen und zu erhalten die Eisenbahnverwaltungen als ihre Pflicht betrachtet haben.

Bezüglich der Versicherungsanstalten und Kassen für Ruhegehälter stellt der Kongress fest, dass im Allgemeinen Vorkehrungen getroffen wurden, um die Versicherung der Angestellten gegen Krankheitsfälle, Unfälle, vorzeitige Unfähigkeit und Tod einzurichten und zu erleichtern.

Die Frage der Krankheitsfälle wurde entweder durch Verbindung mit den in gewissen Ländern gesetzlich vorgeschriebenen Versicherungen, oder mittels durch die Eisenbahnverwaltungen eigens geschaffener, eigener Krankenkassen, oder durch Veranlassung der Bediensteten zur Mitgliedschaft von gegenseitigen Versicherungsgesellschaften, welche mehr oder weniger seitens der Verwaltungen unterstützt werden, oder endlich durch unmittelbare Hilfeleistung der letzteren gelöst.

Für die Deckung der Folgen von Unfällen im Dienste wird entweder durch freiwillige Versicherung, oder durch die in gewissen Ländern gesetzlich bestehende Versicherungspflicht gesorgt.

Aus den vorgelegten Berichten ergibt sich, dass den Folgen der vorzeitigen Unfähigkeit, des Alters oder Todes entweder durch Anschluss an von den Eisenbahnen unabhängige Versicherungsgesellschaften oder mittels eigener, durch Beiträge der Bediensteten und der Verwaltungen gebildeter Kassen, welche die Einhaltung der eingegangenen Verpflichtungen verbürgen, oder durch andere Mittel vorgebeugt wird.

Bezüglich dieser Kassen, sowie jeder Anstalt, welche auf Grund geleisteter Anzahlungen eine bestimmte Leistung für die Bediensteten und deren Familien versichert, stellt der Kongress fest, dass sie behufs regelmässiger Tätigkeit nach den wissenschaftlichen Grundlagen der Versicherungskunde eingerichtet sein müssen, dass aber, wenn auch theoretisch völliges Gleichgewicht zwischen den gezahlten Versicherungsbeträgen und den zu deckenden Gefahren denkbar ist, die letzteren doch zu verwickelt und vielseitig sind, um die sichere Erzielung dieses Ergebnisses herbeiführen zu lassen.

Die Versorgung der vorhandenen Anstalten zwingt die Verwaltungen, sich grosse Opfer aufzubürden, welche ganz ausserordentlich wachsen sobald man die Altersgrenze herabsetzt.

Trotz der Höhe der zugestandenen Zuschüsse, bleibt doch immer zu befürchten, dass die Lasten durch nicht voraussehende Vorgänge, wie Sinken des Zinsfußes die verfügbaren Mittel übersteigen; hieraus ergibt sich der Zwang, sowohl die Höhe der Beitragsleistungen, als auch die der Bezüge und die Altersgrenze für die Bezugsberechtigten einer regelmässig wiederholten Nachprüfung zu unterziehen.

Nach den Unterlagen der Vorberichte ist es möglich, dieser Schwierigkeit auszuweichen und zugleich dem Antragsrechte der Angestellten grössern Spielraum zugewähren, indem man die Einzahlungen bei wechselseitigen Versicherungs-Gesellschaften oder anderen Anstalten leisten lässt, wodurch für jeden Angestellten nach seinen Verhältnissen die in Betracht kommenden Gefahren bestens gedeckt sind.

5. Sektion.

Kleinbahnen.

XVII. Einfluss der Kleinbahnen auf die Hauptverkehrsadern.

Einfluss solcher Anlagen auf den Verkehr der Hauptbahnen. Beitragsleistung der letzteren für die Anlage und den Betrieb der Kleinbahnen.

De Burlet,*) Directeur général de la Société des chemins de fer vicinaux belges.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

In Abwesenheit des Berichterstatters erstattet G. Lembourg von derselben Gesellschaft einen Überblick über den Bericht und die Beschlufsanträge. An der Erörterung beteiligen sich: W. M. Ackworth, Britische Regierung, Scialoja, Eisenbahnen in Sicilien, M. v. Leber, österreichisches Eisenbahnministerium, und L. Weissenbruch, belgische Staatsbahnen.

Während der Erörterung wird mit Bedauern erwähnt, daß in England wegen ungenügender Begünstigung ein Zustandekommen von Kleinbahnen oft nicht möglich ist.

Beschlüsse.

Man kann im Allgemeinen sagen, daß die Klein-Bahnen die Saugadern der großen Bahnnetze bilden, zweifellos für die letzteren eine nützliche Hilfe bedeuten; auch sind wohlwollende Unterstützung seitens der großen Linien und die Gewährung aller wünschenswerten Erleichterungen durch diese vollständig gerechtfertigt. Es ist nur zu wünschen, daß alle Bahnverwaltungen nach dem in Österreich-Ungarn gegebenen Vorbilde die weitestgehenden und einfachsten Bedingungen feststellen, welche geeignet sind, die Bahnverbindung und den Austauschverkehr an den Abzweigungen der Kleinbahnen zu erleichtern.

XVIII. Zuschüsse des Staates und der anliegenden Ortschaften für Kleinbahnen.

Unterstützung seitens der Provinzen, Bezirke, Gemeinden. Ergebnisse, welche in Belgien durch Schaffung einer Verwaltung für Verbreitung, Bau und Betrieb von Kleinbahnen erzielt sind. C. Colson,**) Conseiller d'Etat, ingénieur en chef des ponts et chaussées, Frankreich, Belgien, England und Deutschland.

E. A. Ziffer,***) Präsident der Lemberg-, Czernowitz-, Jassy-Eisenbahn, alle anderen Länder.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

In Abwesenheit des Berichterstatters Colson gibt M. Fontaneilles (französische Regierung) eine Übersicht des Vorberichtes. Im Gegensatz zu den Voll- und den städtischen Bahnen, bei denen sich die Anlagekosten verzinsen, bedürfen die Kleinbahnen meist eines Zuschusses. Die Anlagekosten können auf verschiedene Art aufgebracht werden.

Die Behörde kann den Bau ganz oder teilweise selbst ausführen lassen oder Zuschüsse leisten. Der Zuschufs nach Bahnlänge verleitet oft zu ungerechtfertigten Linien-Verlängerungen; es empfiehlt

*) De Burlet (S.-A. Nr. 26) erinnert vorerst an die Behandlung dieser Frage bei den früheren Versammlungen und an die bereits gefassten Beschlüsse. Sodann werden die Verhältnisse in Belgien, Holland mit den Kolonien, Frankreich, Italien, Großbritannien und Irland, Österreich-Ungarn, Norwegen, Rußland besprochen und insbesondere die in Österreich-Ungarn üblichen Begünstigungen der Klein-Bahnen lobend erwähnt. Der Berichterstatter ist bemüht, durch statistische Nachweise der Einnahmen auf den Hauptbahnen vor und nach Eröffnung der Zweigbahnen den Nachweis der vorteilhaften Einwirkung der letzteren zu erbringen. Dann folgen Beschlufsanträge.

**) C. Colson (S.-A. Nr. 6) beleuchtet die Zweckmäßigkeit der zu gewährenden Unterstützung und die dabei auftretenden Schwierigkeiten. Eine eingehende Erörterung der mannigfaltigen Formen der Unterstützung: Unverzinslicher Zuschufs, Zinsgewähr, Verpachtung mit geteilten Einkünften, Zuschufs in einem Betrage oder nach Maßgabe der Länge führt zu gewissen Formeln, deren Wert immer vom Standpunkte guter Bedienung der Öffentlichkeit einerseits und entsprechender Erträge andererseits zu beurteilen ist. Der Berichterstatter erörtert die in Frankreich, Belgien, Deutschland, England, Irland und Großbritannien maßgebenden Verhältnisse und Formeln und läßt eine Übersicht seiner Ausführungen folgen.

***) E. A. Ziffer (S.-A. Nr. 16) schildert nacheinander die tatsächlich maßgebenden Verhältnisse und gesetzlichen Einrichtungen in: Argentinien, Österreich, Ungarn, Bulgarien, Chili, im Kongostaate, in Dänemark, Spanien, in den Vereinigten Staaten von Amerika, in Italien, Norwegen, Holland und holländisch Indien, Portugal, Rumänien, Rußland, Serbien, Schweden, in der Schweiz, in der Türkei, in Uruguay. Der reichhaltige Bericht befaßt sich besonders eingehend mit Österreich und Ungarn, wo der durch frühere Arbeiten wohlbekannte Verfasser über langjährige Erfahrungen im Lokalbahnwesen verfügt. Dann folgen Beschlufsanträge. Dort werden alle verschiedenen Formen der gewährten Unterstützungen zusammengestellt; darauf folgt ein eindringlicher Aufruf an alle maßgebenden Behörden und Beteiligten zur Unterstützung und Förderung der Klein-Bahnen.

sich, einen Höchstbetrag und eine Ersparnis-Beteiligung festzusetzen. Bei Zinsgewähr ist die Bestimmung der Jahres-Betriebskosten schwierig. Verschiedene Formeln, wie $a + bR + cT$ werden erörtert, wovon R die Bruttoeinnahme, T der kilometrische Verkehr der Züge, a, b, c, Wertziffern sind; man muß alle möglichen Ergebnisse derartiger Formeln erwägen, damit die Unternehmer nicht verleitet werden, einen gegen den öffentlichen Vorteil verstößenden Betrieb zu führen.

In Abwesenheit des Berichterstatters E. A. Ziffer gibt G. Lembourg, chemins de fer vicinaux belges, einen Auszug. In einigen Ländern: Bulgarien, Congo, Spanien, Portugal, Rußland, Ungarn hat sich die Gesetzgebung noch gar nicht mit der Frage befaßt. In den Vereinigten Staaten von Amerika sind bisher nur Gesetzentwürfe entstanden, und Kleinbahnen nach europäischem Begriffe gibt es dort nicht. In anderen Ländern, wie die Türkei, werden alle Bahnen als Kleinbahnen behandelt. In Österreich, Ungarn, Dänemark, Egypten, Norwegen, Holland, Serbien, in der Schweiz bestehen verschiedene Formen der Unterstützung mit oder ohne gesetzliche Grundlage.

An der Erörterung des Gegenstandes beteiligen sich außer den Vorgenannten D. Cooper, Glasgow und Südwest-Bahn, H. Mac Lachlan, Regierung von New Süd-Wales, G. Franke, Deutsche Regierung.

Beschlüsse.

Die Kleinbahnen verdienen in höchstem Maße die Aufmerksamkeit der öffentlichen Gewalten. Ihre Entstehung bringt solche Gegenden, welche bisher außerhalb des Verkehrs standen, auf den Weg der Entwicklung und des Fortschrittes, was die Regierungen nicht allein als Vorteil, sondern auch als Pflicht anzusehen haben. Man muß diese Entwicklung begünstigen. Es empfiehlt sich in dieser Hinsicht, für den Bau, für den Betrieb und für die Vorschriften nicht die alten Formen und Verfahren gelten zu lassen, sondern alle möglichen Vereinfachungen einzuführen, welche den örtlichen Bedürfnissen und den verfügbaren Mitteln entsprechen.

Es empfiehlt sich auch, daß die Regierungen und die örtlichen Behörden den Bahnen unter der Form von Zuschüssen, Befreiungen oder in anderer Weise sowohl für den Bau, als auch für den Betrieb alle mögliche Unterstützung gewähren, sodafs alle Teile des Landes bedient werden.

Wenn die Behörden eines Landes den Bau und Betrieb von Kleinbahnen nicht selbst sicher stellen, sie vielmehr an Gesellschaften vergeben, ist es für die Bedingungen unerläßlich, daß der Nutzen der betrieblührenden Verwaltung mit dem öffentlichen in Einklang gebracht wird.

XIX. Einrichtung eines sparsamen Dienstes auf schwach befahrenen Vollbahnen und auf Nebenbahnen.

Vereinfachung des Personenzug-, des Stückgut- und Frachtgut-Dienstes. Besondere Betriebsmittel und Triebwerke.

J. Rocca,*) Chef-Ingenieur bei der General-Direktion der italienischen Mittelmeer-Bahnen, alle Länder außer Amerika, Österreich-Ungarn, Deutschland und Holland.

C. de Tolnay,**) Oberinspektor und Betriebsleiter bei den Ungarischen Staatsbahnen, Österreich-Ungarn, Deutschland und Holland.

*) J. Rocca (S.-A. Nr. 12) teilt seinen Bericht in drei Abschnitte: I. Die bezüglichlichen gesetzlichen Bestimmungen in Italien, Frankreich, Belgien, Großbritannien, Rußland, in der Schweiz, in Portugal, Dänemark, in der Türkei, in Rumänien und Egypten; II. Sparsam betriebene Linien in den vorerwähnten Ländern; III. Die dazu eingeführten Mafsregeln: Weglassung der Einfriedungen und beweglichen Schranken, blofs eintägige Begehung der Gleise, eingeschränkter Stationsdienst, Weglassung der Vorsignale, Weglassung von Zugkreuzungen in gewissen Stationen, Einführung des Fernsprechers, Weglassung einer Wagenklasse, vereinfachte Aufstellung der Tarife, leichte Betriebsmittel, besondere Fahrbetriebsmittel, Triebwagen.

Dem Berichte sind statistische Listen und Beschlufsanträge beigegeben.

**) C. de Tolnay (S.-A. Nr. 25) bespricht in drei Abschnitten I. die Einrichtung der Bahnverwaltungen, II. den technischen Dienst: die Begehung der Strecke, den Bahnhofdienst, den Zugsbegleitungsdienst und die Fahrpläne, III. die Betriebswirtschaft: Weglassung der ersten Wagenklasse, Verkauf der Fahrkarten im Zuge, vereinfachte Tarife.

Der Berichterstatter befürwortet zu I die Beschäftigung von Frauen, zu II die Verwendung von Triebwagen bezüglich deren die Bauarten Serpollet, Stoltz, Ganz, Daimler erwähnt und kurz beschrieben werden.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

In Abwesenheit von J. Rocca trägt C. de Tolnay einen Auszug aus beiden Berichten vor. Er greift zurück auf die in den früheren Versammlungen Mailand 1887 und St. Petersburg, 1892 besprochenen Verhältnisse. In der Gesetzgebung der letzten Jahre ist das Bestreben unverkennbar, die Verwaltung der Kleinbahnen gesondert von der der Hauptbahnen zu behandeln.

In technischer Beziehung werden auch allseits alle möglichen Vereinfachungen eingeführt, so auch bezüglich der Tarife und Fahrpläne. Der Berichterstatter führt die in diesen Beziehungen erzielten günstigen Ergebnisse auf.

An der Erörterung beteiligen sich: J. Rostern, englische große Central-Bahn, M. v. Leber, österreichische Regierung, A. Söpke, ungarische Regierung, Jenny, Österreichische Südbahn, J. P. Ramsey, Chicago, Peoria und St. Louis-Bahn, R. Trimble, Pennsylvania-Bahn, A. Wilson, englische Nordost-Bahn, Thonet, Société anonyme d'entreprise générale de travaux, Italien.

Es wird erörtert, daß der Triebwagen gut zur Bewältigung starker Steigungen eingerichtet werden kann, insbesondere bei elektrischem Betriebe. Solche Reibungsbetriebe bestehen auf Steigungen von $11\frac{1}{2}$, 14 und sogar $15\frac{0}{10}$ auf kurzen Strecken.

Beschlüsse.

Die Vereinfachung des Dienstes auf Bahnen mit schwachem Verkehre dient dem Vorteile aller an dem Betriebe derartiger Linien beteiligter Verwaltungen. Der Kongress gibt dem Wunsche Ausdruck, daß die gegenwärtig bei einer großen Anzahl von Gesetzgebungen bemerkbaren Bestrebungen, die für Linien mit schwachem Verkehre und für leichte Züge maßgebenden Bedingungen zu erleichtern, ebenso wie die Bemühungen der Verwaltungen, ihre schwach befahrenen Linien mit bemerkenswerten Ergebnissen sparsam zu verwalten, verallgemeinert werden. Insbesondere sind die im Oberbau-Überwachungs-, im Stations- und im Zugbegleitungs-Dienste eingeführten Vereinfachungen, sowie die Verwendung von Triebwagen zu empfehlen. Indem anerkannt wird, daß die technische Lösung mittels der bisher verwendeten Triebwagen noch verbesserungsfähig ist, gibt der Kongress der Meinung Ausdruck, daß die bisher mit diesem Betriebsmittel angestellten Versuche fortgesetzt werden sollen.

Es ist wünschenswert, daß diese wichtige Frage nicht außer Acht gelassen werde, und daß die »permanente Kommission« sie wieder auf die Tagesordnung der nächsten Versammlung setzt.

XX. Zugförderung mittels der Triebwagen.

Einrichtung eines Triebwagen-Dienstes auf Linien, deren Verkehr vollen Eisenbahnbetrieb nicht rechtfertigt.

Léchelle*), chef du mouvement, E. Sartiaux*), chef der services électriques, und Keromnes*), ingénieur principal des ateliers de machines de La Chapelle et d'Helemmes, alle drei von der französischen Nordbahn.

*) Léchelle, E. Sartiaux und Keromnes. (S.-A. Nr. 27.) Der Bericht beschränkt die Frage dahin, daß sie sich auf Einführung von Triebwagen entweder auf Hauptbahnen zwischen den zu selten verkehrenden langen Zügen, oder auf Nebenbahnen, bezieht, wo von langen Zügen überhaupt abgesehen wird. Er bespricht dann in einem ersten Teile die in Frankreich, Belgien, in der Schweiz, in Italien, England und Amerika angewendeten Triebwagen von 15 verschiedenen Bauarten und zwar die Dampfmaschinen der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn, der Orléans-Bahn, der französischen Staatsbahnen, der französischen Nord-Bahn, der belgischen Staatsbahnen, der schweizerischen Bundesbahnen, der Taff-Vale-Bahn, der London- und Südwest-Bahn, der englischen großen Westbahn, der württembergischen Staatsbahnen, die Petroleum- oder Benzinwagen der schweizerischen Bundesbahnen, der württembergischen Staatsbahnen, der englischen großen Nordbahn, die elektrischen Wagen der italienischen Südbahn, der sächsischen Staatsbahnen, die mit stromerzeugenden Petroleum-Maschinen ausgerüsteten Wagen der englischen Nordost-Bahn und die Versuche der Taff-Vale-Bahn.

Ein zweiter Teil des Berichtes betrifft den Betrieb mit Triebwagen. Man findet insbesondere im ersten Teile viele ziffermäßige Angaben und einige Zeichnungen. Zum Schlusse folgen Beschlufsanträge.

Auszug aus dem Sektionsberichte.

Herr F. Sartiaux, französische Nordbahn, faßt die Ausführungen des Berichtes zusammen, welcher nur die Bahn-Triebwagen betrifft, demnach weder auf elektrische Bahnen mit Stromzuleitung, noch auf Strafsenbahnen oder Strafsenfuhrwerke überhaupt Bezug nimmt. Der Redner vergleicht die Arten von Triebwagen, welche hauptsächlich in Betracht kommen: die Dampfwagen, die Petroleum- oder Benzinwagen und die elektrischen Strom-Speicherwagen.

An der Erörterung beteiligen sich: F. F. Laurent, Orléans-Bahn, de Lannoy, Ostflandern, E. L. Davis, englische Nordost-Bahn, W. W. Hoy, Regierung von Zentral-Süd-Afrika, Kimshita, japanische Regierung, W. H. Hyde, englische Grofse Ostbahn, E. A. Clear, englische Grofse Zentral-Bahn, J. Pickering, Regierung von Süd-Australien.

Die Orléans-Bahn, die englische Nordostbahn, die Staatsbahnen von Süd-Afrika und Süd-Australien haben recht günstige Erfolge aufzuweisen, auf den letzterwähnten Bahnen ist überhaupt nur der Triebwagen-Betrieb wirtschaftlich zulässig. Nur in Belgien, Ostflandern, sind die Versuche nicht günstig verlaufen. Der Vorsitzende M. von Leber stellt fest, dafs die fast gleichen Aeußerungen der Redner über die durch den Triebwagenbetrieb bei sorgfältig gewählten Wagenformen gebotenen Vorteile günstig lauten und faßt die gestellten Anträge in Beschlufsanträge zusammen, die einstimmig angenommen werden.

Beschlüsse.

- 1) Die Versuche mit Selbsttrieb- und Zugtriebwagen sind seit einigen Jahren auf schwach und auf stark befahrenen Bahnen bedeutend zahlreicher geworden, und man kann von nun an schon hoffen, dafs diese Wagen ein neues, sehr schätzenswertes Betriebsmittel bilden werden, welches für gewisse Linien zu grofser Zukunft berufen ist.

Es erscheint zweifellos, dafs der Betrieb mit Triebwagen durch Ersparung eines Bediensteten für die Triebmaschine durch wesentliche Verringerung der Zugförderungskosten, wahrscheinlich durch Verringerung der Unterhaltungskosten, durch bessere Ausnutzung der Fahrbetriebsmittel bei geringerer Entwicklung der Bahnhofsanlagen, vielleicht auch durch geringere Abnutzung der Fahrschienen dazu berufen ist, den Betrieb schwach befahrener Linien erstlich zu verbessern und gewisse Dienstzweige der anderen Linien wirklich zu heben. Die Verwendung dieser Betriebsmittel wird sicher für eine grofse Anzahl Linien eine Umwandlung der Betriebsweise herbeiführen und scheint tatsächlich zu einem zukünftigen Erfolge berufen.

Die regelmäfsige Verwendung ist immerhin erst im Entstehen begriffen und tatsächliche wirtschaftliche Erfolge können aus dem Ganzen noch nicht deutlich hervorgehen und zwar weder zu Gunsten der einen oder andern Fahrzeugart, noch zu Gunsten des einen oder andern Betriebes.

- 2) Es ist wünschenswert, dafs die Bahnverwaltungen ihre Versuche in dieser Richtung weiter verfolgen, dafs sie insbesondere die Betriebsarten ergründen, welche dieser neuen Beförderungsart entsprechen, und die Vorteile erfassen, welche dabei der Öffentlichkeit und den Bahnverwaltungen bezüglich der Kosten geboten werden.
- 3) Endlich ist es wichtig, dafs alle Vereinfachungen, welche geeignet sind, die vereinfachte sparsame Benützung von Triebwagen zu fördern, in die in Kraft stehende Vorschriften aufgenommen werden.