DER STAHLBAU

Schriftleitung:
Professor Dr.-Ing. K. Klöppel, Darmstadt, Technische Hochschule
Fernsprecher: Darmstadt 7711, Apparat 599
Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 421 61
Veröffentlichungsbeiträge an voranstehende Anschriften erbeten

Beilage zur Zeitschrift **DIE BAUTECHNIK** Fachschrift für das gesamte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

12. Jahrgang | BERLIN, 31. März 1939 | Heft 7

Alle Rechte vorbehalten.

Über Versuche mit genieteten Brückenträgern zur Bestimmung der Teilnahme der Fahrbahnkonstruktion an der Kraftübertragung.

Von Otto Graf.

Bei der Entwicklung der stählernen Tragwerke ist im Laufe der Zeit mehr und mehr der Umstand beachtet worden, daß die Tragwerke als Ganzes zu beurteilen und zu bemessen sind.

Das Verhalten von Tragwerken neuerer Art ist zuletzt in Heft 9 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau erörtert worden. Es handelt sich dort um Trägerroste mit eng liegenden Längsträgern und mit darauf abgestimmten Querträgern sowie um weite Trägerroste mit Buckelblechen.

Konsolen für die 12 cm hohen Fahrbahnlängsträger waren in 1000 mm Abstand angebracht.

Der Träger nach Bild 1 bis 4 ist nach seiner Prüfung zu einem Doppelträger nach Bild 5 bis 9 verwendet worden. Die beiden Hauptträger waren gleich; die Breite der Fahrbahn wurde dadurch verdoppelt; der Abstand der beiden Träger betrug demgemäß 1100 mm. — Jeder Träger wurde nach Bild 10 an vier Stellen über den Stegblechversteifungen belastet, beim Doppelträger demgemäß an insgesamt acht Stellen.

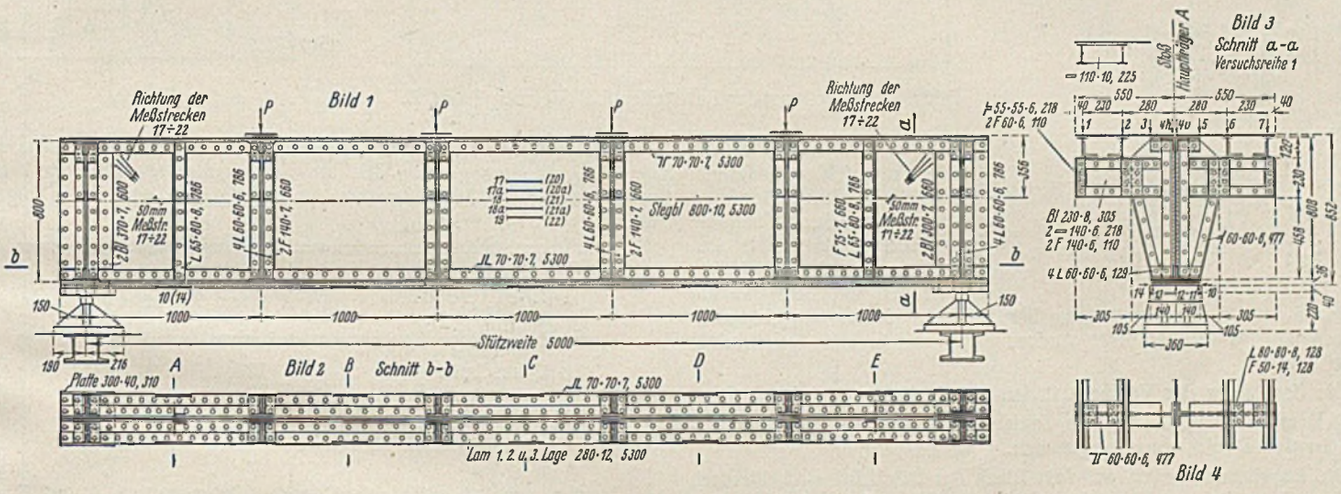


Bild 1 bis 4. Träger zu Versuch I und II.

Im folgenden wird über Versuche mit genieteten Trägern berichtet, an denen festzustellen war, inwieweit die zugehörige Fahrbahn an der Kraftübertragung teilnimmt, wenn die Fahrbahn in der Druckzone oder in der Zugzone des Trägers liegt[1]).

Die Versuche wurden auf Anregung des Vorsitzenden des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, Herrn Geh. Baurat Ministerialrat Professor Dr.-Ing. ehr. Schaper, und im Auftrage der Firma B. Seibert G. m. b. H. in Saarbrücken ausgeführt. Der Versuchsplan entstand in Besprechungen mit Herrn Oberingenieur Erdmann und Herrn Dipl.-Ing. Winckel. Die Herstellung der Versuchskörper geschah durch die Firma B. Seibert G. m. b. H. Die Ausführung der Versuche erfolgte im Institut für die Materialprüfungen des Bauwesens an der Technischen Hochschule Stuttgart. Die Versuchsarbeiten besorgte Herr Ingenieur Hermann Schmid; außerdem war Herr Dipl.-Ing. Rothmund an diesen Arbeiten beteiligt.

1. Versuchskörper und Arbeitsplan.

Der Versuchskörper war zunächst ein Balken nach Bild 1 bis 4. Der Träger war 5300 mm lang und 852 mm hoch; der Zuggurt bestand aus drei Lamellen, je 12 mm dick und 280 mm breit; der Druckgurt besaß eine 8 mm dicke und 280 mm breite Lamelle und darüber das 8 mm dicke Blech der Fahrbahn. Das Fahrbahntragwerk war 1100 mm breit; diese Breite war gleich $\frac{1100}{5000} = \frac{1}{4{,}5}$ der Spannweite des Trägers. Die

[1]) Vgl. auch Eiselin, Bautechn. 1938, Heft 4, S. 41 u. f., sowie Heft 16, S. 205 u. f.; ferner Winckel, Bautechn. 1938, Heft 9, S. 116; auch Krabbe, Bautechn. 1938, Heft 27, S. 360.

Der Träger nach Bild 1 bis 4 ist zuerst so geprüft worden, daß das Fahrbahntragwerk in der Druckzone lag, nachher umgekehrt, so daß das Fahrbahntragwerk in der Zugzone lag. Beim Tragwerk nach Bild 5 bis 9 blieb die Fahrbahn in der Druckzone. Bild 11 zeigt den Träger nach Bild 1 bis 4 beim Versuch mit der Fahrbahn in der Druckzone; Bild 12 gilt für den Fall, daß die Fahrbahn in der Zugzone liegt.

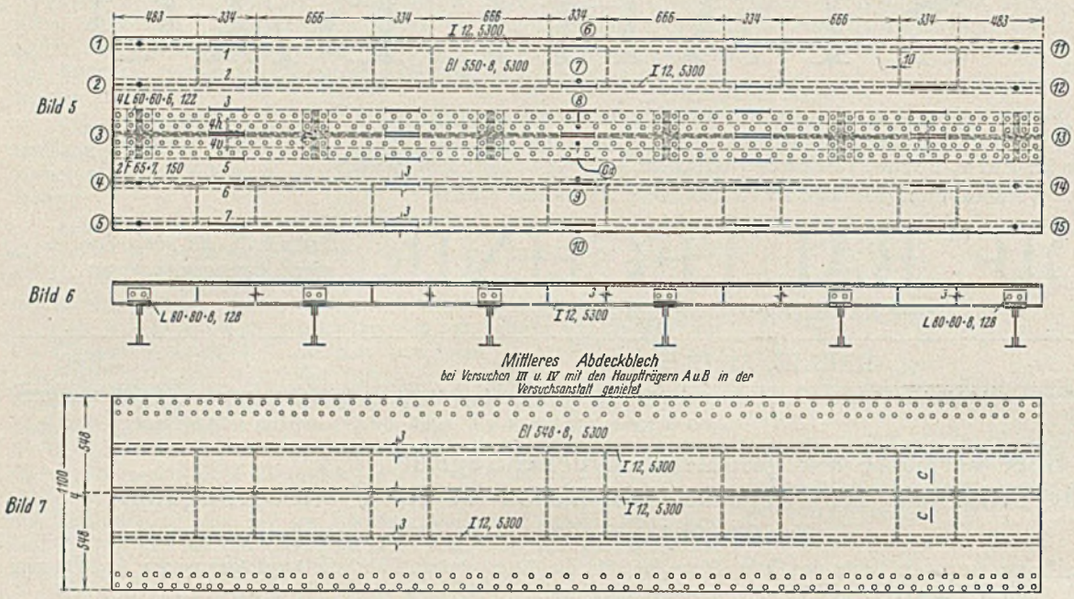
Durch die Messung von Dehnungen[2]) und Einsenkungen war festzustellen, inwieweit das Fahrbahntragwerk an der Kraftübertragung teilnimmt. Dabei wurde von vornherein angenommen, daß das Ergebnis der Prüfung der genieteten Tragwerke auch für gleichartige geschweißte Tragwerke insoweit gelten wird, als das Zusammenwirken der Fahrbahn und des Hauptträgers bei geschweißten Tragwerken nicht geringerwertig, sondern eher höherwertig sein wird.

2. Prüfung des Tragwerks nach Bild 1 bis 4.

Die Prüfung des Trägers erfolgte unter den Lasten $P = 80$ t und $P = 160$ t, wobei an den in Bild 10 angegebenen vier Laststellen jeweils $\frac{P}{4}$ wirkte.

Gemessen wurden die Dehnungen auf den in Bild 1, 2 und 5 durch starke Striche und durch Zahlen hervorgehobenen 200 mm langen Strecken

[2]) Die Messung geschah mit einem Setzdehnungsmesser, Bauart MPAB-Leich, vgl. Heft 9 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, S. 3. Die Meßstrecke liegt 0,6 bis 1 mm unter der Fläche, an der das Instrument angesetzt wird.



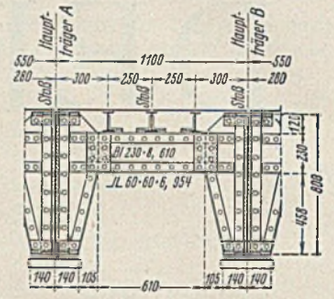


Bild 8 Schnitt a-a
Versuchsreihe 2

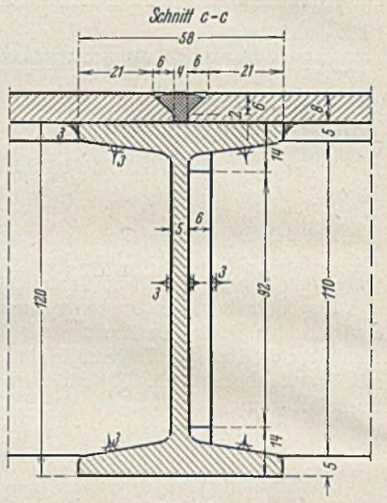


Bild 9.

Bild 5 bis 8. Träger zu Versuch III und IV.

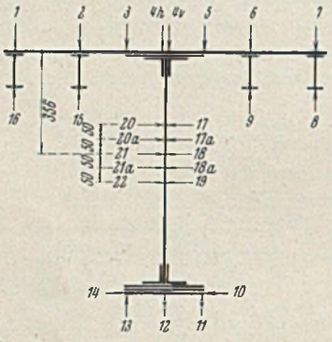


Bild 13. Versuch I und II.

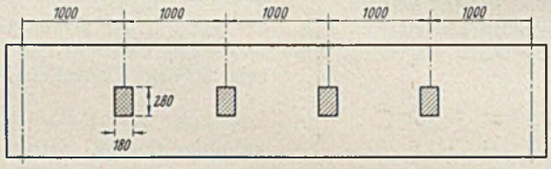


Bild 10. Verteilung der Laststellen bei Versuch I und II.

bei A, B, C, D und E in der Mitte der Trägerfelder; außerdem waren am Stegblech in der Mitte des Balkens nahe der Nullinie die waagerecht angeordneten Strecken 17, 17a usw. gemäß Bild 13 gewählt; in den Endfeldern sind auf der Höhe der rechnungsmäßigen Nullinie die schräg angeordneten Strecken 17 bis 22 verfolgt worden; dort waren die Meßstrecken 50 mm lang.

Die Ergebnisse der Versuche finden sich in Zahlentafel 1.

a) Daraus seien zunächst die Zahlenreihen vom Versuch I (Fahrbahn in der Druckzone) besprochen.

Die Längenänderungen auf dem Blech der Fahrbahn sind hiernach in allen Querschnitten über dem Steg des Trägers am größten ausgefallen; sie wurden gegen den Rand der Fahrbahn kleiner. Dieses Ergebnis war zu erwarten[5]). Wesentlich ist dabei der Unterschied der Formänderungen über dem Steg und am Rand. Nimmt man das Mittel der Längenänderungen in den am Rand gelegenen Strecken 1 und 7 sowie in den mittleren Strecken $4v$ und $4h$, so ergibt sich folgendes unter $P = 160$ t:

Meßstrecken	Dehnungen bei 1 und 7	bei $4v$ und $4h$
	$^1/_{100}$ mm je m	
im Querschnitt A	12	—16
„ „ B	32	—34,5
„ „ C (Mitte)	38	—44
„ „ D	30,5	—34,5
„ „ E	9	—12,5

In den nahe den Enden gelegenen Querschnitten A und E waren die Unterschiede der Längenänderungen über dem Steg von denen am Rand verhältnismäßig am größten, wie zu erwarten stand. Am wichtigsten ist, daß die Unterschiede der Längenänderungen in der Mitte des Trägers über dem Steg gegenüber denen am Rand nicht bedeutend sind; das Weniger am Rand betrug $\frac{44-38}{44} \cdot 100 = 14\%$.

[5]) Vgl. auch Heft 122 u. 123 sowie Heft 254 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure; außerdem Handbuch für Eisenbetonbau, 1. Band, 4. Aufl., S. 118 bis 127.

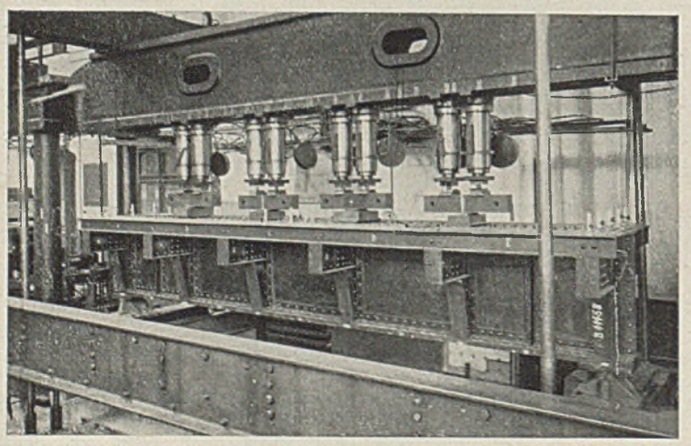


Bild 11. Versuch I.

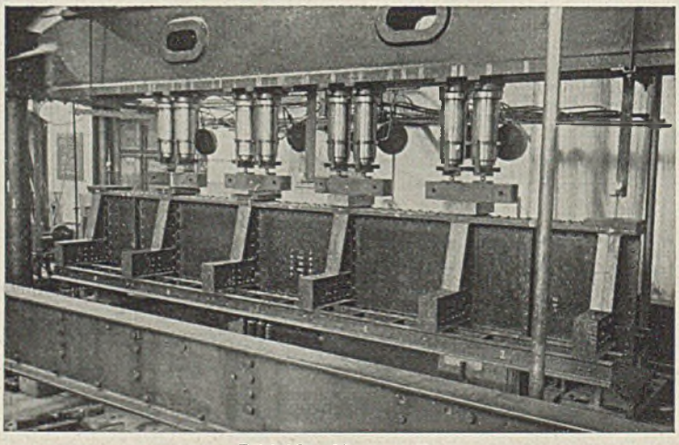


Bild 12. Versuch II.

Zahlentafel 1. Versuche mit dem Träger nach Bild 1 bis 4.

Längenänderungen in $^1/_{100}$ mm/m auf die Länge $l = 200$ mm bzw. $l = 50$ mm.

Belastung t	Meßstrecken 1	2	3	4h	4v	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17a	18	18a	19	20	20a	21	21a	22
a) Versuch I. Fahrbahn in der Druckzone.																											
Querschnitt *A*.																											
80	— 4	— 7	— 7	— 7	— 7	— 8	— 7	— 6	— 1	— 3	+ 15	+ 11	+ 11	+ 16	+ 9	0	0	+ 32[1]		+ 20[1]		+ 24[1]	+ 36[1]		+ 32[1]		+ 28[1]
160	— 11	— 15	— 16	— 16	— 16	— 16	— 15	— 13	— 5	— 8	+ 20	+ 19	+ 20	+ 24	+ 20	— 4	— 3	+ 72[1]		+ 60[1]		+ 64[1]	+ 48[1]		+ 48[1]		+ 56[1]
Querschnitt *B*.																											
80	— 17	— 17	— 16	— 16	— 17	— 16	— 17	— 15	— 7	— 7	+ 26	+ 22	+ 26	+ 17	+ 23	— 5	— 5										
160	— 32	— 32	— 33	— 35	— 34	— 32	— 32	— 32	— 15	— 14	+ 52	+ 50	+ 48	+ 43	+ 47	— 12	— 10										
Querschnitt *C*.																											
80	— 18	— 19	— 22	— 22	— 22	— 21	— 19	— 19	— 10	— 8	+ 33	+ 33	+ 34	+ 26	+ 22	— 9	— 3	— 7	— 4	+ 1[2]	+ 1	+ 3	— 10	— 7	— 4[2]	+ 1	+ 2
160	— 38	— 39	— 43	— 44	— 44	— 42	— 39	— 38	— 21	— 10	+ 64	+ 62	+ 64	+ 51	+ 48	— 16	— 8	— 15	— 10	— 2	+ 3	+ 7	— 20	— 14	— 7	— 1	+ 6
Querschnitt C. Träger 3 mm in Richtung gegen Meßstrecke 7 gerückt.																											
160	— 35	— 38	— 40	— 41	— 42	— 40	— 38	— 35	— 20	— 19	+ 67	+ 67	+ 53	+ 49	+ 49	— 11	— 6	— 14	— 7	— 4	+ 7	+ 9	— 16	— 12	— 4	+ 2	+ 9
Querschnitt C. Träger 6 mm von der ursprünglichen Lage in Richtung gegen Meßstrecke 1 gerückt.																											
160	— 36	— 38	— 40	— 42	— 41	— 40	— 38	— 36	— 19	— 19	+ 55	+ 58	+ 56	+ 53	+ 52	— 16	— 12	— 13	— 7	— 3	+ 4	+ 9	— 16	— 8	— 5	+ 2	+ 8
Querschnitt *D*.																											
80	— 16	— 17	— 18	— 19	— 17	— 19	— 17	— 16	— 6	— 5	+ 23	+ 25	+ 24	+ 19	+ 19	— 7	— 1										
160	— 29	— 32	— 35	— 35	— 34	— 35	— 32	— 32	— 12	— 10	+ 52	+ 53	+ 46	+ 43	+ 41	— 10	— 4										
Querschnitt *E*.																											
80	— 2	— 5	— 5	— 7	— 5	— 6	— 5	— 5	0	0	+ 16	+ 14	+ 13	+ 11	+ 9	— 1	+ 2	+ 28[1]		+ 28[1]		+ 28[1]	+ 20[1]		+ 20[1]		+ 36[1]
160	— 8	— 10	— 11	— 14	— 11	— 22	— 11	— 10	— 3	— 5	+ 25	+ 21	+ 22	+ 22	+ 20	— 1	+ 1	+ 48[1]		+ 52[1]		+ 56[1]	+ 52[1]		+ 44[1]		+ 64[1]
b) Versuch II. Fahrbahn in der Zugzone.																											
Querschnitt *A*.																											
80	+ 5	+ 7	+ 9	+ 11	+ 9	+ 8	+ 6	+ 5	+ 1	+ 2	— 7	— 9	— 8	— 9	— 8	+ 2	+ 2	— 20[1]		— 28[1]		— 32[1]	— 32[1]		— 32[1]		— 28[1]
160	+ 12	+ 14	+ 18	+ 20	+ 20	+ 20	+ 15	+ 13	+ 2	+ 5	— 15	— 16	— 17	— 17	— 16	+ 4	+ 4	— 56[1]		— 64[1]		— 68[1]	— 60[1]		— 56[1]		— 52[1]
Querschnitt *B*.																											
80	+ 16	+ 15	+ 16	+ 17	+ 17	+ 16	+ 17	+ 13	+ 3	+ 4	— 25	— 19	— 24	— 26	— 24	+ 4	+ 3										
160	+ 33	+ 35	+ 35	+ 38	+ 32	+ 35	+ 34	+ 31	+ 9	+ 11	— 42	— 44	— 45	— 48	— 46	+ 9	+ 11										
Querschnitt *C*.																											
80	+ 21	+ 22	+ 21	+ 23	+ 21	+ 21	+ 22	+ 21	+ 6	+ 8	— 27	— 27	— 28	— 28	— 28	+ 8	+ 6	+ 9	+ 3	0	— 3	— 4	+ 9	+ 7	+ 1	— 2	— 6
160	+ 40	+ 41	+ 43	+ 44	+ 45	+ 44	+ 40	+ 38	+ 15	+ 19	— 53	— 55	— 54	— 57	— 55	+ 16	+ 15	+ 12	+ 7	+ 1	— 6	— 12	+ 13	+ 8	— 1	— 7	— 13
Querschnitt *D*.																											
80	+ 15	+ 16	+ 17	+ 17	+ 17	+ 13	+ 16	+ 15	+ 4	+ 4	— 24	— 23	— 23	— 23	— 24	+ 5	+ 5										
160	+ 29	+ 33	+ 35	+ 37	+ 36	+ 35	+ 32	+ 33	+ 7	+ 11	— 46	— 42	— 44	— 47	— 47	+ 14	+ 11										
Querschnitt *E*.																											
80	+ 4	+ 8	+ 9	+ 9	+ 9	+ 9	+ 7	+ 4	+ 1	+ 1	— 9	— 9	— 9	— 9	— 9	+ 2	+ 1	— 32[1]		— 28[1]		— 28[1]	— 28[1]		— 20[1]		— 28[1]
160	+ 10	+ 13	+ 13	+ 17	+ 19	+ 20	+ 16	+ 11	+ 2	+ 5	— 15	— 15	— 15	— 18	— 17	+ 6	+ 4	— 52[1]		— 52[1]		— 48[1]	— 60[1]		— 60[1]		— 72[1]

[1]) Wegen der Lage der Meßstrecken 17 bis 22 bei den Querschnitten *A* und *E* vgl. Bild 1. — Meßlänge $l = 50$ mm. — Meßstrecken 17 und 20 um 50°, 18 und 21 um 45°, 19 und 22 um 40° gegen die Horizontale geneigt.

[2]) Die Meßstrecken 18 bzw. 21 im Querschnitt *C* liegen in Höhe der rechnerischen Nullinie, 17, 17a u. f. liegen entsprechend Bild 1 bzw. 13 um 50 und 100 mm höher oder tiefer als diese.

Rechnet man die Anstrengung auf dem Fahrbahnblech unter der Annahme, daß im Träger nach Bild 1 bis 4 die vier Fahrbahnlängsträger und das Fahrbahnblech voll mitwirken und vergleicht diese Zahlen mit dem Ergebnis des Versuchs derart, daß $E = 2\,100\,000$ gesetzt wird, und daß angenommen wird, die gemessenen Formänderungen seien nur federnde, so ergibt sich folgendes:

Meßstrecken	Druckanstrengungen in kg/cm²		
	gerechnet	gemessen am Rand	gemessen über dem Steg
im Querschnitt *A*	277	252	336
„ „ *B*	692	672	724
„ „ *C* (Mitte)	830	798	924
„ „ *D*	692	640	724
„ „ *E*	277	189	262

Man sieht hieraus, daß die gemessenen Anstrengungen über dem Steg die rechnerischen in der Regel überschreiten; am Rand der Fahrbahn sind umgekehrt die gemessenen Anstrengungen etwas kleiner, als die Rechnung ergibt.

Setzt man voraus, daß die Fahrbahnträger an der Kraftübertragung nicht teilnehmen, auch das Fahrbahnblech nur auf die Gurtbreite mitwirkt, so wird die rechnerische Anstrengung im Querschnitt *C* auf der Druckseite $\sigma = 1684$ kg/cm², also viel größer, nämlich etwa zweimal so groß als die gemessene.

Die Längenänderungen auf den Strecken 11 bis 13 an der unteren Fläche des Zuggurts sind deutlich verschieden entstanden, vermutlich, weil die Lamellen des Zuggurts durch die Nietung unvermeidlich örtlich etwas verbogen wurden, auch andere Abweichungen vom Sollzustand in üblichen Grenzen hinzunehmen waren. Durch eine seitliche Verschiebung des Trägers um 6 mm wurde erreicht, daß die Anstrengung des Zuggurts über seine Breite weniger unterschiedlich wurde, ohne daß die Verteilung der Anstrengung auf der Fahrbahn geändert wurde, vgl. in Zahlentafel 1 beim Versuch 1 unter a.

Die Meßstrecken 10 und 14, Bild 13, liegen 5 mm höher als die Strecken 11 bis 13. Die bei 10 und 14 gemessenen Längenänderungen liegen nahe beim Durchschnitt der Werte von den Strecken 11 bis 13.

Die Anstrengungen im Zuggurt betrugen unter $P = 160$ t:

Bei den Meßstrecken	nach der Rechnung kg/cm²	nach dem Mittel der Längenänderungen der Strecken 11 bis 13 kg/cm²
im Querschnitt *A*	386	441
„ „ *B*	966	987
„ „ *C*	1159	1239
„ „ *D*	966	987
„ „ *E*	386	462

Hiernach sind die gemessenen Anstrengungen größer ausgefallen als die gerechneten, und zwar im Querschnitt *E* um + 20%, im Querschnitt *C* (Mitte) um + 7%. Der Unterschied ist am Trägerende am größten, wie zu erwarten stand[4]). Der Unterschied entstand im wesentlichen durch den schon beschriebenen Umstand, daß die Fahrbahnplatte nach den Rändern hin weniger beansprucht wird als über dem Steg. Damit wird die Nullinie im Steg unter die rechnerische Nullinie gerückt. Nach den Messungen auf den in Bild 13 angegebenen Meßstrecken des Steges lag die Nullinie beim Versuch I 38,0 cm unter der oberen Trägerfläche; nach der Rechnung ist dieser Abstand der Nullinie gleich 35,6 cm.

b) Die Ergebnisse des Versuchs II, Fahrbahn in der Zugzone, finden sich in Zahlentafel 1 unter b. Hiernach betrugen unter $P = 160$ t:

Bei den Meßstrecken	Dehnungen bei 1 und 7	Dehnungen bei 4 *v* und 4 *h*
	1/100 mm je m	
im Querschnitt *A*	+ 12,5	+ 20
„ „ *B*	+ 32	+ 35
„ „ *C*	+ 39	+ 44,5
„ „ *D*	+ 31	+ 36,5
„ „ *E*	+ 10,5	+ 18

In den Querschnitten *B*, *C* und *D* sind — wie es sein soll — fast die gleichen Dehnungen aufgetreten wie beim Versuch I, als die Platte in der Druckzone lag. In den Querschnitten *A* und *E* wurden diesmal bei 4 *v* und 4 *h* etwas größere Dehnungen festgestellt. Im übrigen gilt hierfür das zum Versuch I Gesagte.

[4]) Er wird in der Trägermitte noch kleiner werden als hier, wenn längere Träger untersucht werden.

Zahlentafel 2. Versuch III mit dem Tragwerk nach Bild 5 bis 8. Acht Einzellasten über den Trägern (vgl. Bild 14). Längenänderungen in 1/100 mm/m auf die Meßlänge 200 mm.

Belastung t	Meßstrecken 1	2	3	4 *h*	4 *v*	5	6	7	8 *h*	8 *v*	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
	Querschnitt *A*																													
80	− 2	− 2	− 2	− 2	− 3	− 3	− 3	− 2	− 2	− 2	− 2	− 2	− 2	− 3	− 1	+ 6	+ 4	+ 7	+ 6	+ 4	− 2	− 2	− 2	+ 7	+ 6	+ 7	+ 8	+ 8	− 2	− 2
160	− 4	− 5	− 6	− 6	− 7	− 7	− 7	− 6	− 5	− 5	− 6	− 5	− 4	− 2	− 2	+ 12	+ 11	+ 12	+ 11	+ 11	− 4	− 2	− 2	+ 11	+ 11	+ 12	+ 13	+ 14	− 3	− 2
	Querschnitt *B*																													
80	− 7	− 7	− 8	− 8	− 9	− 8	− 8	− 8	− 8	− 9	− 8	− 8	− 8	− 1	− 1	+ 17	+ 16	+ 14	+ 12	+ 12	− 2	− 3	− 2	+ 15	+ 14	+ 14	+ 13	+ 15	− 2	− 2
160	− 14	− 16	− 16	− 17	− 18	− 16	− 15	− 17	− 17	− 19	− 17	− 16	− 15	− 6	− 6	+ 27	+ 28	+ 23	+ 20	+ 23	− 6	− 6	− 5	+ 23	+ 21	+ 24	+ 25	+ 27	− 7	− 5
	Querschnitt *C*																													
80	− 8	− 8	− 8	− 10	− 9	− 9	− 9	− 9	− 9	− 8	− 8	− 8	− 8	− 3	− 5	+ 15	+ 17	+ 17	+ 17	+ 14	− 2	− 3	− 5	+ 14	+ 14	+ 15	+ 15	+ 17	− 3	− 3
160	− 18	− 18	− 20	− 21	− 20	− 19	− 19	− 19	− 21	− 19	− 19	− 19	− 17	− 6	− 10	+ 29	+ 32	+ 31	+ 29	+ 30	− 7	− 9	− 9	+ 27	+ 26	+ 29	+ 28	+ 30	− 6	− 7
	Querschnitt *D*																													
80	− 7	− 7	− 8	− 8	− 8	− 8	− 7	− 9	− 8	− 8	− 8	− 8	− 7	− 1	− 1	+ 14	+ 12	+ 13	+ 12	+ 14	− 3	− 5	− 3	+ 15	+ 11	+ 11	+ 12	+ 12	− 4	− 3
160	− 14	− 17	− 18	− 17	− 17	− 17	− 16	− 18	− 17	− 17	− 18	− 17	− 16	− 5	− 5	+ 24	+ 24	+ 27	+ 24	+ 24	− 4	− 6	− 5	+ 24	+ 21	+ 20	+ 24	+ 20	− 6	− 5
	Querschnitt *E*																													
80	− 2	− 1	− 3	− 2	− 3	− 2	− 2	− 2	− 3	− 3	− 3	− 3	− 3	− 2	− 2	+ 7	+ 6	+ 8	+ 8	+ 6	− 2	− 1	− 2	+ 7	+ 5	+ 9	+ 7	+ 5	− 1	− 1
160	− 5	− 5	− 6	− 7	− 7	− 7	− 6	− 7	− 8	− 7	− 7	− 7	− 5	− 3	− 4	+ 11	+ 10	+ 13	+ 15	+ 11	− 4	− 3	− 4	+ 11	+ 11	+ 11	+ 12	+ 12	− 2	− 3

Belastung t	Meßstrecken 29	38	39	48	30	37	40	47	31	36	41	46	32	35	42	45	33	34	43	44
	Querschnitt *C*.																			
80	− 3	− 4	− 4	− 4	− 4	− 1	− 3	− 3	− 1	− 1	− 1	− 1	0	0	+ 2	+ 1	+ 1	+ 1	+ 2	+ 2
	Mittel − 3,75					− 2,75				− 1,0				+ 0,75				+ 1,5		
160	− 9	− 6	− 9	− 9	− 6	− 4	− 8	− 5	− 3	− 1	− 4	− 1	0	+ 1	+ 1	+ 1	+ 3	+ 2	+ 4	+ 3
	Mittel − 8,25					− 5,75				− 2,25				+ 0,75				+ 3,0		

Zahlentafel 3. Versuch IV mit dem Tragwerk nach Bild 5 bis 8.
Acht Einzellasten über den Trägern, eine Einzellast in der Mitte der Fahrbahn (vgl. Bild 14).
Längenänderungen in $^1/_{100}$ mm/m auf die Meßlänge $l = 200$ mm in den Querschnitten B, C und D.

Belastung t	Meßstrecken 1	2	3	4h	4v	5	6h	6	6v	7	8h	8v	9	10	11	12	13	19	20	21	27	28
										Querschnitt B.												
8						+ 1		+ 2		+ 2								— 7	— 6	— 6		
80						— 9		— 7		— 8								— 4	— 2	— 2		
80 + 8						— 8		— 7		— 7								— 9	— 10	— 9		
										Querschnitt C.												
8	0	— 1	— 1	— 2	— 2	— 6	— 13		— 15	— 6	— 2	— 2	— 1	0	0	0	0	+ 18	+ 57	+ 20	0	0
80	— 9	— 10	— 9	— 10	— 10	— 10	— 9		— 10	— 10	— 10	— 10	— 10	— 9	— 9	— 2	— 3	— 2	— 3	— 2	— 2	— 2
80 + 8	— 9	— 11	— 11	— 12	— 13	— 17	— 24		— 23	— 16	— 13	— 14	— 11	— 10	— 10	— 3	— 4	+ 14	+ 53	+ 16	— 3	— 3
										Querschnitt D.												
8						+ 1		+ 1		+ 1								— 7	— 6	— 6		
80						— 8		— 7		— 7								— 5	— 4	— 4		
80 + 8						— 7		— 7		— 7								— 9	— 10	— 9		

In der Druckzone (Meßstrecken 10 bis 14) ist für $P = 160$ t als Mittel aus den Dehnungen der Strecken 11, 12 und 13 folgendes ermittelt worden:

Querschnitt A	— 16,7 $^1/_{100}$ mm je m,	entsprechend	$\sigma = 351$ kg/cm²,
„ B	— 45,7 $^1/_{100}$ „ „ „	„	$\sigma = 960$ „ ,
„ C	— 55,3 $^1/_{100}$ „ „ „	„	$\sigma = 1161$ „ ,
„ D	— 44,3 $^1/_{100}$ „ „ „	„	$\sigma = 930$ „ ,
„ E	— 16 $^1/_{100}$ „ „ „	„	$\sigma = 336$ „ .

gegenüber + 21, + 47, + 59, + 47,3, + 21,7 $^1/_{100}$ mm je m auf denselben Strecken bei Versuch I.

Im ganzen ergibt sich aus den Versuchen I und II, daß die Widerstandsfähigkeit des Trägers nach Bild 1 bis 4 in der Mitte nur wenig unter der rechnerischen blieb. Die gemessenen Anstrengungen waren bei $P = 160$ t im Querschnitt C (Trägermitte)

	in der Achse der Fahrbahnplatte	im anderen Trägergurt
bei Versuch I um . . .	11 %	7 %
bei Versuch II um . . .	13 %	0,2 %

größer als die gerechneten; am Plattenrand blieben die Anstrengungen etwas kleiner als die gerechneten. Die Erörterung der weiteren Ergebnisse der Dehnungsmessungen ist für später vorbehalten. Über die Einsenkungen des Trägers wird unter 4 berichtet.

3. Prüfung des Tragwerks nach Bild 5 bis 8.

Die Prüfung erfolgte zunächst wieder mit vier Lasten auf jedem Träger, zusammen an acht Stellen, mit $P = 80$ t und 160 t (Versuch III). Die Lasten wirkten an den in Bild 14 gezeichneten acht Stellen, je mit 10 bzw. 20 t. Die zugehörige Einrichtung ist in Bild 15 dargestellt.

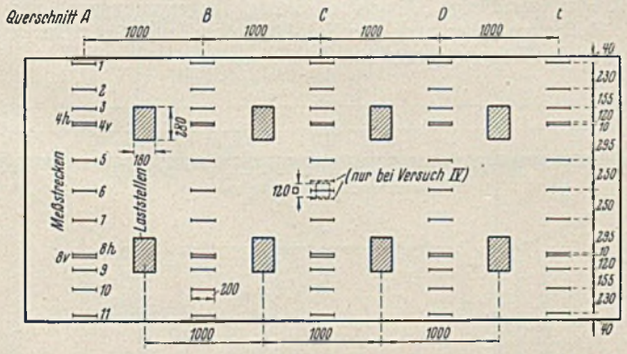


Bild 14. Versuch III und IV.

Dann folgte Versuch IV, wieder mit den acht Lasten von Versuch III, jedoch nur mit $P = 80$ t; dazu trat jetzt in der Mitte der Fahrbahn, also zwischen den Trägern, eine weitere Last von 8 t, entsprechend einer hohen Radlast.

Gemessen wurden die Dehnungen auf den in Bild 14 u. 16 durch Striche und Pfeile bezeichneten Meßstrecken 1 bis 44 in den Querschnitten A, B, C, D und E.

Die Ergebnisse des Versuchs III finden sich in Zahlentafel 2, diejenigen des Versuchs IV in Zahlentafel 3.

a) Versuch III. Zahlentafel 2 zeigt, daß die Dehnungen auf den Meßstrecken 1 bis 11, also auf der Fahrbahn, vgl. Bild 16, wenig verschieden ausgefallen sind. Die Verkürzungen sind zwar an den Rändern deutlich kleiner geblieben als in der Mitte zwischen den Trägern. Die Mitwirkung der Fahrbahn zwischen den Hauptträgern war jedoch weitergehend als in ihren freien äußeren Teilen. Die Anstrengungen betrugen im Querschnitt C unter $P = 160$ t

nach der Rechnung	426 kg/cm²,
nach der Messung an den Plattenrändern	367 „ ,
über dem Steg	424 „ ,

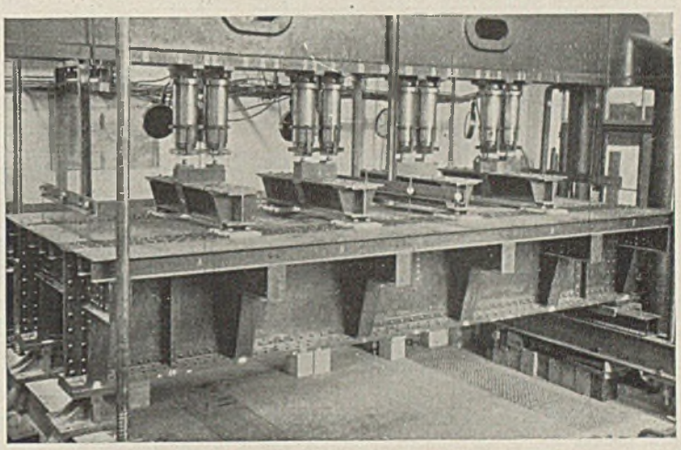


Bild 15.

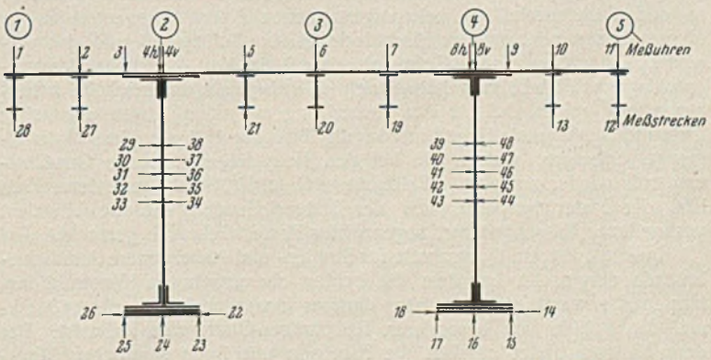


Bild 16. Versuch III und IV.

Hiernach sind diesmal die gemessenen Anstrengungen über dem Steg fast genau so groß ausgefallen wie die gerechneten.

An der unteren Fläche der Fahrbahnträger entstanden im Querschnitt C unter $P = 160$ t Dehnungen von — 6 bis — 10 $^1/_{100}$ mm je m, entsprechend $\sigma = -126$ bis -210 kg/cm². Das Tragwerk war also so gebaut, daß die Träger durch die Belastung der Hauptträger nur auf Druck beansprucht wurden.

In der Zugzone des Tragwerks entstanden auf den Strecken 15 bis 17 und 23 bis 25 Dehnungen von 30,7 bzw. 27,7 $^1/_{100}$ mm je m, entsprechend $\sigma = 645$ und 582 kg/cm². Die Rechnung liefert 577 kg/cm². Beim Versuch

waren demnach die Anstrengungen um 12 bzw. 0,9%, im Mittel um 6%, größer als nach der Rechnung. Die Nullinie lag beim Versuch III bei $P = 160$ t 39,9 cm unter der Fahrbahnfläche; nach der Rechnung beträgt dieser Abstand 36,2 cm.

b) Versuch IV. Zahlentafel 3 enthält die Ergebnisse der Dehnungsmessungen. Die wichtigsten Feststellungen sind in Bild 17 zeichnerisch dargestellt, gültig für vier Lasten von 10 t auf jedem Träger und einer Einzellast von 8 t auf der Mitte der Fahrbahn.

Hieraus geht zunächst hervor, daß die Einzellast von 8 t eine Biegeanstrengung des unmittelbar belasteten Trägers von 1197 kg/cm² hervorrief. Mit der Belastung der Hauptträger ist die Anstrengung des Trägers unter der Einzellast auf 1113 kg/cm² zurückgegangen. Die Druckanstrengung an der oberen Fahrbahnfläche wurde demnach, gemessen parallel den Balken, mit der Einzellast kleiner, wie zu erwarten stand. Außerdem zeigt Bild 17, daß die Einzellast $P = 8$ t zu einem erheblichen Teil von den benachbarten Längsträgern mitgetragen wurde. Die Rechnung ergibt dazu, daß der unmittelbar belastete Träger eine Anstrengung von 2500 kg/cm² erfahren würde, wenn er allein wäre, also das Deckblech fehlte.

4. Über die Durchbiegungen der Tragwerke nach Bild 1 bis 8.

Die Durchbiegungen wurden an den in Bild 5 durch Kreise bezeichneten Stellen durch Messung der senkrechten Bewegungen gegenüber der Maschine und unter Beobachtung der Formänderung der Maschine gemessen. In anderen Fällen wurden die Einsenkungen unmittelbar mit hochwertigen Nivellier-Instrumenten ermittelt. Für unsere Darlegungen sind nur die Einsenkungen herangezogen, welche am Zuggurt mit den Nivellier-Instrumenten festgestellt wurden. Diese Versuchswerte sind mit der rechnerischen Durchbiegung verglichen worden, die sich als Summe der Durchbiegung aus den Normalspannungen und der Durchbiegung infolge der Schubspannungen ergibt[5]). Dabei ist das Verhältnis m der Längsdehnung zur Querdehnung zu $3^1/_3$ eingeführt worden; die Versteifungen des Stegblechs blieben wie üblich unberücksichtigt. Es fand sich dann für den Belastungsfall des Versuchs I und II unter $P = 160$ t

a) die Durchbiegung nach dem Versuch zu 4,57 mm,
b) die Durchbiegung nach der Rechnung zu 4,78 mm;

für den Belastungsfall des Versuchs III unter $P = 160$ t

a) die Durchbiegung nach dem Versuch zu 2,48 mm,
b) die Durchbiegung nach der Rechnung zu 2,43 mm.

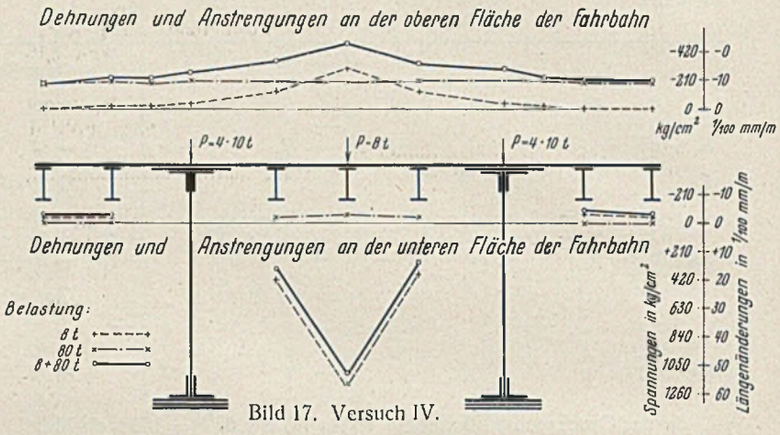


Bild 17. Versuch IV.

5. Schlußbemerkung.

Aus den beschriebenen Versuchen ergibt sich für den Bereich, der durch diese Versuche gedeckt erscheint, folgendes:

a) Die Widerstandsfähigkeit der Tragwerke nach Bild 1 bis 4 und nach Bild 5 bis 8 war nur wenig kleiner als die Rechnung angibt, welche die volle Mitwirkung der Fahrbahnträger und des Fahrbahnblechs in der Druck- oder Zugzone des Tragwerks annimmt. Im Falle des Tragwerks nach Bild 5 bis 8 blieb der Unterschied unerheblich.

b) Die Einzellasten in der Anordnung nach Bild 14 u. 16 wurden gemäß Bild 17 zu einem erheblichen Teil von den Nachbarträgern mitgetragen. Weiteres vgl. unter 3 sowie in Heft 9 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau.

[5]) Vgl. C. Bach u. R. Baumann, Elastizität und Festigkeit, 9. Aufl., § 52; ferner E. Mörsch, Der durchlaufende Träger, 2. Aufl., S. 6 u. f.

Alle Rechte vorbehalten.

Flachblechfahrbahn als Hauptträgergurtung von Stahlbrücken.

Von W. Winckel, Saarbrücken.

In Heft 9 der Bautechn. 1938 wurde in einer Zuschrift auf einen Brückenentwurf mit als Hauptträgergut wirkender Fahrbahn hingewiesen, der bereits im Jahre 1936 entwickelt worden war und für den seit Oktober 1937 in der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart Versuche durchgeführt wurden. Nachdem diese Versuche nunmehr abgeschlossen sind, wird nachstehend über den besagten Entwurf sowie über Durchführung und Ergebnis der Versuche berichtet.

Um bei Brücken Material einzusparen, ist man bestrebt, die tote Last zu vermindern. In den letzten Jahren wurde deshalb eine Reihe von Leichtfahrbahnen entwickelt, die durchweg eine geschlossene, in irgendeiner Form ausgesteifte Blechabdeckung aufweisen. Von den zahlreichen, in den Fachzeitschriften bekanntgewordenen Konstruktionen seien in diesem Zusammenhang der Flachblechrost von Schaper[1]) und das versteifte Tonnenblech nach Schaechterle[2]) erwähnt. Manche der vorgeschlagenen Fahrbahnen haben sich allerdings als unwirtschaftlich herausgestellt, sei es, daß für ihre Herstellung ein unverhältnismäßig hoher Aufwand an Werkstattarbeit notwendig ist oder daß sie eine Materialmenge erfordern, welche die bei den Hauptträgern erzielte Gewichtsersparnis wieder aufzehrt. Weiterhin wird im Brückenbau mit demselben Ziel der Materialersparnis von der lastverteilenden Wirkung biegefest verbundener Trägersysteme, sogenannter Roste, Gebrauch gemacht.

In Bild 1 ist ein Querschnitt für Straßen- und insbesondere Autobahnbrücken dargestellt, bei dem die beiden obenerwähnten Konstruktionsformen angewandt sind, der aber darüber hinaus noch als weiteres Merkmal das Fehlen von besonderen Hauptträger-Obergurten aufweist. Bei dem Entwurf bildet nämlich die Fahrbahn mit ihren sämtlichen längslaufenden Querschnittsflächen, d. h. Abdeckblech und Längsträgern, den Obergurt des Haupttragwerks. Die Verbindung des Abdeckblechs mit den Stegblechwänden erfolgt durch Vernietung mit der Obergurtkopfplatte und den Gurtwinkeln. Das Abdeckblech selbst ist aus Montagegründen über den Hauptträgerwänden sowie in Überbaumitte gestoßen. Die Längsträger sind durch Nietung oder Schweißung an das Abdeckblech geheftet. Die über das Abdeckblech hinausragenden Konstruktionsteile, Aufkantungen, Geländer usw. gehören nicht zu der Haupttragkonstruktion und werden deshalb öfter ohne feste Stoßdeckung unterbrochen. Es ist ein Abstand der Querträger von etwa 4 m zugrunde gelegt, wobei jeder zweite die dargestellte Ausbildung als Querrahmen erhält. (Die in der Abbildung gewählte Form des Querträgers hat für den Entwurf selbst keine Bedeutung, sie erscheint lediglich bei der großen Stegblechhöhe und dem geringen Hauptträgerabstand zur Erreichung einer steifen Verbindung zweckmäßig.)

Zur statischen Erfassung dieser Konstruktion wird die Annahme gemacht, daß der gesamte Querschnitt als einheitliches Ganzes wirkt. Insbesondere wird vorausgesetzt:

1. Die aus der Biegebeanspruchung der Hauptträger auftretenden Zug- oder Druckspannungen im Obergurt verteilen sich gleichmäßig auf die Gesamtbreite der Fahrbahn.
2. Die geradlinige Abnahme dieser Biegespannungen von der äußersten Faser nach der Null-Linie des Hauptträgers zu ist auch in den Längsträgern vorhanden.

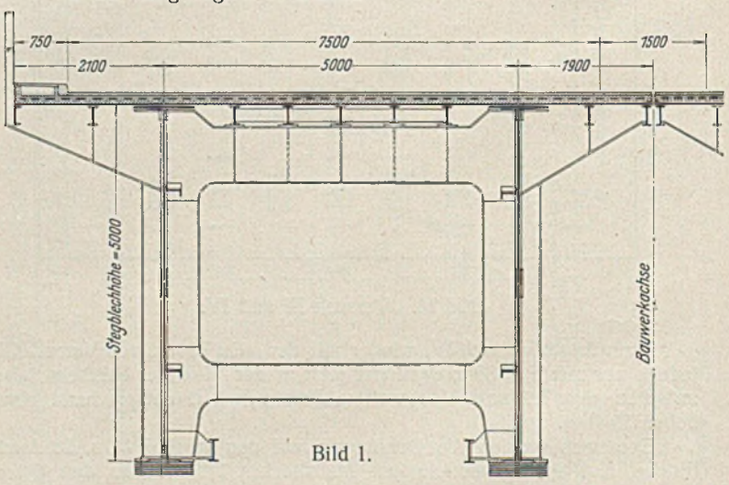


Bild 1.

Es wird also mit der vollen Mitwirkung aller Querschnittsflächenteile gerechnet. Theoretisch ist das Problem der ersten Annahme, nämlich der gleichmäßigen Verteilung der Spannungen auf die Gesamtbreite des Abdeckbleches, des öfteren, zuletzt von Chwalla im Stahlbau 1936, Heft 10, untersucht worden. Nach dieser Untersuchung ist die „voll mittragende Breite" des Gurtblechs im wesentlichen abhängig von der

[1]) Vgl. Bautechn. 1935, Heft 4.

[2]) Vgl. Bautechn. 1934, Heft 37 u. 42; 1936, Heft 18 u. 19; 43 u. 45; 1938, Heft 23/24.

Stützweite und der Belastungsart (nicht dagegen von der Blechdicke, solange keine Beulgefahr vorliegt). Für eine unendlich breite Platte findet sich hiernach die „voll mittragende Breite" zu $^1/_2$ bis $^1/_5$ der Stützweite je nach der Belastungsweise, wobei naturgemäß eine harmonische Lastverteilung günstiger ist als eine Einzellast oder wechselnde Belastung. Das tatsächlich in Frage kommende Verhältnis von halber Brückenbreite (als Plattenbreite je Hauptträger) zur Stützweite beträgt bei größeren Brücken etwa $^1/_8$ oder $^1/_{10}$, bleibt also erheblich unter der „voll mittragenden Breite" einer unendlich breiten Platte.

Die zweite Annahme, nämlich, daß auf die Höhe der Längsträger eine Verteilung der Spannungen entsprechend der Lage zur Null-Linie des Hauptträgers stattfindet, gründet sich darauf, daß die Längsträger infolge der durchgehenden, in vertikaler Richtung starren Verbindung mit den Hauptträgern deren Durchbiegungen, d. h. Dehnungen, mitmachen müssen und somit auch dieselben Biegespannungen erfahren wie die entsprechenden Teile der Hauptträgerwände mit gleicher Lage zur Null-Linie.

Wenn diese beiden Voraussetzungen für die vorliegenden Verhältnisse zutreffen, können die üblichen Berechnungsmethoden zugrunde gelegt werden. So findet sich die Lage der Null-Linie des Gesamtquerschnitts aus

$$e = \frac{\Sigma f e}{\Sigma f} = \frac{S}{F}$$

(S = statisches Moment, F = Gesamtquerschnittsfläche).

Nunmehr wird — insbesondere durch die Wahl der Dicke des Abdeckblechs — die Verteilung der Querschnittsflächen so vorgenommen, daß das Haupttragwerk einen unsymmetrischen Träger mit nach oben verschobener Null-Linie bildet. Bei Ausnutzung des Untergurtes durch die Biegebeanspruchung des Hauptträgers bis zur zulässigen Grenze wird dann die äußerste Faser des Obergurtes, d. h. das Abdeckblech, geringer beansprucht, so daß eine Spanne frei bleibt für die Beanspruchung des Bleches als Glied der Fahrbahn. Die Fahrbahnkonstruktion selbst stellt mit dem Abdeckblech und den Längsträgern einen Rost dar, wobei die Längsträger zur Vergrößerung der Lastverteilung durch eingeschweißte Querrippen untereinander verbunden sind. Der Spannungsverlauf bei einem solchen Rost ist durch theoretische Untersuchungen (z. B. von Ostenfeld) und Versuche an Modellen und Probestücken natürlicher Größe[3]) so weit geklärt, daß die Beanspruchungen erfaßt werden können.

Der Fahrbahnrost ist wegen der überwiegenden Fläche des Abdeckblechs wieder ein unsymmetrisches Tragwerk mit nach oben gerückter Neutralachse. Das Abdeckblech selbst erfährt deshalb — da nahe der Null-Linie gelegen — bei Beanspruchung der Fahrbahn auf Biegung erheblich geringere Spannungen als die Untergurtfasern der Längsträger. Schließlich wird das Abdeckblech noch als Fahrbahnhaut durch die örtlichen Lasten (Raddrücke) beansprucht. Die hierbei auftretenden Zugspannungen sind nicht sehr erheblich, da das Abdeckblech als Membrane über viele Längsträger mit geringem Abstand gespannt ist. Außerdem treten diese Zugspannungen bei der vorgeschlagenen Anordnung quer zur Brücke auf und überlagern sich somit nicht unmittelbar, sondern im zweiachsigen Spannungszustand mit den längslaufenden Biege- und Normalspannungen.

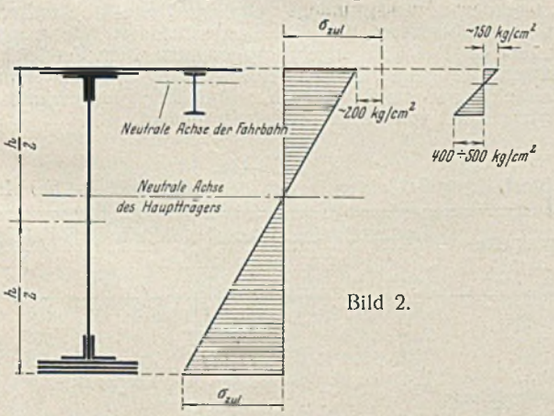


Bild 2.

Diese verschiedenen Spannungen im Abdeckblech werden nun durch entsprechende Wahl der Trägerhöhen und Verteilung der Querschnittsflächen so abgestimmt, daß das Blech als Hauptträgerglied nur mit etwa 200 kg/cm² unter σ_{zul} und als Obergurt des Fahrbahnrostes mit etwa weiteren 150 kg/cm² beansprucht wird. Bei den Längsträger-Untergurten würden in diesem Fall wegen ihrer nahen Lage an der Null-Linie die Hauptträgerbeanspruchungen eine nicht ausgenutzte Spanne von 400 bis 500 kg/cm² (je nach der Höhe der Längsträger im Verhältnis zur Hauptträgerhöhe) frei lassen, die für die Beanspruchung als Fahrbahnträger benutzt werden (vgl. Bild 2). Wenn aus konstruktiven Gründen die Fahrbahn den Untergurt so erheblich an Fläche übertrifft, daß die Neutralachse weit nach oben rückt und damit ein größerer Spannungsunterschied zwischen oberster und unterster Faser verbleibt, kann es zweckmäßig sein, im Untergurt St 52 und im Obergurt St 37 zu verwenden. Bei den hier in Frage kommenden Brücken mit größeren Stützweiten ist das Stegblech stets durch mindestens einen Stoß unterteilt, an dem der Übergang von einer zur anderen Materialqualität stattfinden kann.

Insgesamt wird also durch die vorgeschlagene Anordnung eine günstige Überlagerung der Spannungen aus den verschiedenen Beanspruchungen herbeigeführt, was eine zweckmäßige Ausnutzung des Stahlmaterials bedeutet. Es wird dies in erster Linie dadurch erreicht, daß die bei den üblichen Buckel- und Tonnenblechkonstruktionen meist nur gering beanspruchte Blechabdeckung in der beschriebenen Weise herangezogen wird. Gewichtsmäßig muß sich auch der Umstand günstig auswirken, daß die Längsträger nur zu einem geringen Teil aus der Fahrbahnbelastung, nach der sie sonst bemessen werden müssen, ausgenutzt sind.

Tatsächlich hat die genaue Durchrechung von Beispielen eine Gewichtsersparnis von 15 % und mehr ergeben. Wichtig hierbei ist nun, daß diese Materialeinsparung nicht durch Verminderung der dem Bauwerk innewohnenden Sicherheit erreicht wird, daß vielmehr im Gegenteil die vorgeschlagene Konstruktion noch weitere günstige Eigenschaften hinsichtlich Steifigkeit und Sicherheit aufweist. Zunächst ist hier zu erwähnen, daß praktisch die meisten Teile eine Ausnutzung bis zur zulässigen Grenze erst dann erfahren, wenn die bei der Berechnung zugrunde gelegten größten Radlasten gleichzeitig mit dem für das Haupttragwerk an der betreffenden Stelle ungünstigsten Belastungsfall zusammentreffen, während bei den üblichen Konstruktionen die Höchstbeanspruchungen in den Fahrbahnträgern schon bei jedesmaligem Befahren mit der maßgebenden größten Radlast auftreten. Für weite Abschnitte der Fahrbahn tritt sogar eine günstige Überlagerung der Beanspruchungen als Hauptträger- bzw. Fahrbahnglied ein, derart, daß sich die Spannungen teilweise aufheben. Bei einem Überbau auf zwei Stützen z. B. würde die Fahrbahn als Hauptträgerglied nur Druck erhalten, so daß die Zugbeanspruchung in den Längsträgern keine Rolle spielt. In besonderen Fällen kann dies bei der Berechnung berücksichtigt werden, wodurch eine weitere Gewichtsersparnis zu erwarten ist. Eine Beulgefahr besteht für das Abdeckblech nicht, da dieses ohne Materialverschwendung reichlich dick bemessen werden kann und durch die Längsträger hinreichend ausgesteift ist. Die Schubbeanspruchung am Übergang von der Hauptträgerkopfplatte zum Fahrbahnrost ist aus folgender Überlegung heraus nicht bedenklich: Allgemein ist die Schubspannung $\tau = \frac{Q\,S}{J\,t}$. Die Querkraft Q und das Trägheitsmoment J sind für Ober- und Untergurt gleich, das statische Moment S der angeschlossenen Flächenteile auf die Null-Linie ist für die Stelle des Stegblechs an der Untergurtwinkelvernietung etwa so groß wie an der Obergurtvernietung (da ja aus dem Gleichsetzen der statischen Momente der oberen bzw. unteren Flächenteile die Null-Linie gewonnen wird), aber erheblich größer als für die in Frage stehende Stelle des Abdeckblechs, da hier ja nur etwa der halbe Gurt angeschlossen ist. Bei gleicher Dicke von Abdeck- und Stegblech ergäbe sich somit nur etwa die Hälfte der Schubbeanspruchung wie an der Vernietungsstelle der Untergurtwinkel.

Die Steifigkeitsverhältnisse des beschriebenen Brückenquerschnitts verdienen sodann besondere Erwähnung. Dadurch, daß infolge der Materialanhäufung im Obergurt die Neutralachse aus der Mitte gerückt ist, entspricht die Haupttragkonstruktion hinsichtlich des für die Durchbiegung maßgebenden Trägheitsmoments einem symmetrischen Träger mit einer Höhe gleich dem doppelten Abstand von der Null-Linie bis zum Untergurt, d. h. also jedenfalls einem höheren Träger der üblichen symmetrischen Bauart. Der Vorschlag gestattet demnach, daß man bei gleicher Steifigkeit mit einer geringeren Konstruktionshöhe auskommt.

Dasselbe gilt für die Fahrbahnträger, die ja auch unsymmetrisch ausgebildet sind und bei denen außerdem die Durchbiegungen noch durch die Rostwirkung vermindert werden. Darüber hinaus wirkt sich der Umstand, daß — wie oben erläutert — die Fahrbahn nur zu einem geringen Teil auf Biegung aus der direkten Belastung beansprucht wird, vermindernd auf die Durchbiegungen aus. Diese große Steifigkeit der Fahrbahn läßt auch deshalb den beschriebenen Entwurf besonders geeignet für die Verwendung einer Leichtfahrbahndecke erscheinen, bei der ja die Unnachgiebigkeit der Unterlage von wesentlicher Bedeutung ist.

Von weiteren Vorzügen sei noch erwähnt, daß die Anteilnahme der Fahrbahn an den Kräften des Hauptträgers hier eindeutig festgelegt und berücksichtigt wird. Wie bei Messungen an bestehenden Bauwerken festgestellt wurde[4]), ist bekanntlich diese Anteilnahme auch bei Brücken

[3]) Vgl. O. Graf, Über Leichtfahrbahntragwerke für stählerne Straßenbrücken. Stahlbau 1937, Heft 10, S. 110 u. f.; ferner F. Kaufmann, Modellversuche mit lastverteilenden Querverbänden. Stahlbau 1938, Heft 19, S. 145; ferner F. Leonhardt, Die vereinfachte Berechnung zweiseitig gelagerter Trägerroste. Bautechn. 1938, Heft 40/41, S. 535 (erweiterter Sonderdruck, Berlin 1939, Wilh. Ernst & Sohn).

[4]) Vgl. Zuschrift Dr.-Ing. Krabbe. Bautechn. 1938, Heft 27, S. 360

nach den üblichen Bauformen mehr oder weniger vorhanden, ihre Größe jedoch meistens ungeklärt, was auf der einen Seite, z. B. bei den Längsträgeranschlüssen, zu Überbeanspruchungen und anderseits zu unnötigem Materialverbrauch führt.

Zusammengefaßt stellt somit der Entwurf eine Brückenkonstruktion dar, die durch ihre besondere Ausbildung als einheitliches Tragwerk von großer Steifigkeit und Widerstandsfähigkeit wirkt und dazu eine erhebliche Materialersparnis ermöglicht.

Zur Klärung der Frage, in welchem Maße nun tatsächlich die Flachblechfahrbahn als Hauptträgergurt gelten kann und wieweit die eingangs gemachten Voraussetzungen über die Verteilung der Spannungen zutreffen, wurden auf Anregung von Geheimrat Schaper Versuche in der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart von Prof. Graf aufgenommen[5]). Die Versuchsträger hierzu lieferte die Firma B. Seibert, Saarbrücken.

[5]) Vgl. den vorangehenden Aufsatz von Prof. Graf.

Verschiedenes.

Amerikanische Versuche mit Leichtfahrbahntafeln. Im Juniheft von Proceedings 1938 erschien aus der Feder von N. N. Hill jun. und R. L. Moore eine längere Besprechung des im Januarheft der gleichen Zeitschrift erschienenen Berichtes von J. Lyse und J. E. Madson über Modellversuche an stählernen Fahrbahndecken (Battle-deck-System). Eine kurzgefaßte Übersetzung des Berichts von Lyse und Madson wurde bereits im Bauing. vom 30. September 1938 veröffentlicht.

Hill und Moore warnen zunächst davor, aus einer beschränkten Anzahl von Versuchen Berechnungsweisen abzuleiten ohne die Unterstützung durch eine analytische Untersuchung des Problems. Abgesehen davon, daß die Durchbiegungen nicht nur von Momenten verursacht werden, sei die Methode der Verfasser (Messung von Winkeländerung längs des Balkens, um daraus durch Differentieren Momente und Querkräfte zu erhalten) sehr empfindlich, so daß die für die Lastverteilung wichtigen Werte der Endmomente und Querkräfte durch Extrapolieren bestimmt werden mußten. Figur 7a des Berichts weise darauf hin, daß diese Unsicherheit möglicherweise von beträchtlichem Einfluß auf die Ergebnisse gewesen sein könnte.

Tafel I des Berichtes von Lyse und Madson zeige die Widersprüche zwischen der Belastung und den Biegemomenten verschiedener Träger. Für die Träger *B* und *D* (siehe Originalbericht) beiderseits des belasteten Trägers seien größere Mittenmomente festgestellt worden, als man erhalten hätte, wenn die für den Träger errechnete Belastung in Trägermitte konzentriert gewesen wäre. In jedem Fall außer einem seien die berechneten Spannungen des unteren Flansches geringer als die Meßwerte. Dagegen seien die unter Berücksichtigung der Verbundwirkung errechneten Spannungen im oberen Flansch des belasteten Trägers etwa das Doppelte der gemessenen Werte. Hill und Moore glauben daraus schließen zu können, daß die mitwirkende Plattenbreite zu klein eingesetzt worden sei, und treten dafür ein, daß die Lastverteilungsfaktoren mit den gemessenen Spannungen in Einklang gebracht werden.

Die Annahme von Lyse und Madson, daß sich die mitwirkende Plattenbreite mit dem Trägerabstand ändert, sei für gewisse Belastungsbedingungen richtig, aber Timoshenko habe auf mathematischem Wege gezeigt, daß für einen breitflanschigen I-Träger mit verhältnismäßig dünnem Flansch bei einem gewissen Lastbild die wirksame Flanschbreite nur eine Funktion der Spannweite sei.

In Tafel I werden die Trägheits- und Widerstandsmomente verglichen, die sich ergeben bei einer mitwirkenden Plattenbreite von 44,4 cm (Lyse und Madson) und 114 cm (Hill und Moore nach Timoshenko).

Tafel I. Trägheitsmomente, Widerstandsmomente und Spannungen im oberen Flansch.

		Plattenbreite 44,4 cm	Plattenbreite 114 cm
J in cm⁴		17 750	21 150
W in cm³	oben	2 250	4 590
	unten	733	767
Spannungen in kg/cm²	berechnet	310	155
	gemessen	148	

Auch die Durchbiegung z. B. des Trägers *C* stimme, allerdings erst unter Berücksichtigung der Querkraft, besser mit den Meßwerten überein, wenn man die mitwirkende Plattenbreite $b = 114$ cm annimmt. Für $b = 44{,}4$ cm ergab sich unter dieser Voraussetzung $f = 0{,}487$ cm und für $b = 114$ cm würde $f = 0{,}414$ cm gegenüber einer gemessenen Durchbiegung von 0,431 cm.

Hill und Moore bezweifeln, ob die von Lyse und Madson angegebenen Gleichungen auch auf andere Abmessungen anwendbar sind, und berichten dann über Messungen von Plattenbiegespannungen an Brückenfahrbahntafeln eines ähnlichen Systems, bei denen der Baustoff eine hochwertige Aluminiumlegierung war. Die errechneten Plattenbiegespannungen liegen hierbei 35 bis 40% über den im nebenstehenden Bild eingetragenen Meßwerten.

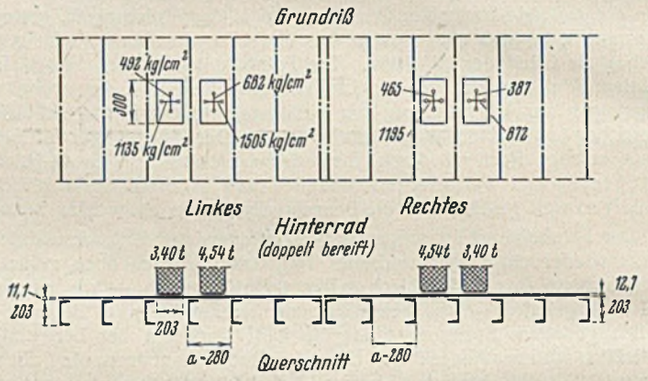
Die Versuche der Verfasser unterscheiden sich allerdings von den Lyse und Madsonschen:

1. In den Versuchen der Verfasser war die Last beiderseits des Trägers verteilt, bei Lyse und Madson stand sie zwischen zwei Trägern.
2. Die Länge der Lastfläche, ausgedrückt in Bruchteilen des lichten Rippenabstandes, war hier dreimal so groß als bei Lyse und Madson.

Die Verfasser halten es nicht für gerechtfertigt, aus den vorhandenen Versuchsergebnissen eine allgemeine Gleichung für die Plattenbiegespannungen abzuleiten. In Abb. 14 des Berichtes von Lyse und Madson wird die Lastverteilung auf die Träger nur als Funktion des Trägerabstandes angegeben, obwohl die genannten Berichterstatter in der Zusammenfassung angeben, daß sie auch noch von der Plattenstärke abhängt.

Nach Hill und Moore wird die Lastverteilung zwischen den Trägern beeinflußt:

1. durch die Steifigkeit des Verbundquerschnitts, da im Grenzfall eines sehr steifen Trägers und einer sehr dünnen Platte der belastete Träger die Gesamtlast erhält;
2. durch Deckenbreite oder Trägeranzahl, da wiederum im Grenzfall bei einer Abnahme der Trägerzahl z. B. von zehn auf drei die verbleibenden drei Träger die Gesamtlast übernehmen müßten, die vorher auf zehn verteilt war;
3. durch die Trägerspannweite.



Abmessungen und Plattenbiegespannungen (an der Plattenunterseite gemessen).

Zum Beweis dieses letzten Punktes führen die Verfasser ihre Versuchsergebnisse an, die sie bei der Prüfung einer Brückenfahrbahn des Interlocking-Channel-Typs erhielten. Der Rippenabstand war nur 18,4 cm. Die Last wurde auf die Mittelrippe aufgebracht und die Lastfläche reichte fast bis zu den Nachbarrippen. Die Lastverteilung wurde proportional zu den gemessenen Durchbiegungen angenommen. Zum Vergleich sind auch die Meßwerte angegeben, die sich bei Anwendung eines Verteilungsbalkens in der Mitte der Spannweite ergaben, wobei darauf hingewiesen wird, daß seine Wirksamkeit von seiner Steifigkeit abhängt.

Tafel IIa. Lastverteilung bei einer Decke des Interlocking-Chanell-Typs.

Spannweite in m	Lastanteil einer Rippe bei Belastung in Feldmitte in % — Mitte 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,91	31,4	18,7	7,9	4,0	1,9	1,1	0,6	0,2	0	0
1,22	24,8	18,0	8,7	4,3	2,3	1,8	1,2	0,8	0,3	0
1,52	21,6	17,4	9,5	5,8	2,7	2,0	1,4	1,0	0,4	0
1,52 (m. Verteilungsbalken)	12,2	11,1	8,8	7,5	6,4	4,5	3,0	1,7	0,7	0,1

Die angegebenen Prozentzahlen sind bereits Mittelwerte aus der Tabelle von Hill und Moore.

Zum Schluß sei noch hingewiesen auf gleichartige Messungen von O. Graf an einer Brücke bei Kirchheim unterm Teck, die im Stahlbau 1937, S. 124 bis 126, veröffentlicht worden sind.

Dipl.-Ing. W. Raithel, Darmstadt.

INHALT: Über Versuche mit genieteten Brückenträgern zur Bestimmung der Teilnahme der Fahrbahnkonstruktion an der Kraftübertragung. — Flachblechfahrbahn als Hauptträgergurtung von Stahlbrücken. — Verschiedenes: Amerikanische Versuche mit Leichtfahrbahntafeln.

Verantwortlich für den Inhalt: Professor Dr.-Ing. K. Klöppel, Darmstadt.
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 9.
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.