

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Dr. Ing. Heinrich Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

94. Jahrgang

1. Dezember 1939.

Heft 23

## Statische Untersuchungen an einer durchlaufenden Bogenbrücke mit Hilfe von Durchbiegungsmessungen am Bauwerk.

Von Abteilungs-Präsident Dr. Ing. Krabbe und Reichsbahnrat Dr. Ing. Brückmann.

### I. Allgemeine Entwicklung der Theorie.

Im „Stahlbau“ 1938, Heft 17, wurde die allgemeine Theorie des hier angewandten Verfahrens und ihre Anwendbarkeit auf Stahlbauwerke sowie auf Massivbauwerke eingehend behandelt. Hier soll die praktische Durchführung der Messungen und ihre theoretische Auswertung für eine massive Eisenbahnbrücke, eine durchlaufende Bogenbrücke aus Bruchsteinmauerwerk, wie sie vom Reichsbahn-Zentralamt München ausgeführt wurden, im einzelnen beschrieben werden.

Das Verfahren bezweckt ganz allgemein, verwickelte, genauer gesagt statischer Berechnung schwer zugängliche, bestehende Bauwerke durch genaue Messung der Durchbiegungen unter bestimmten, ruhenden Verkehrslasten auf die Berechnung einfacherer statischer Gebilde zurückzuführen. Die am Bauwerk unter bestimmten Lasten gemessenen Senkungen einzelner Punkte gestatten nämlich, wie gezeigt werden soll, in Verbindung mit gewissen Festwerten des einfacheren Systems ein Gleichungssystem aufzustellen, das die Ersatzlasten ergibt,

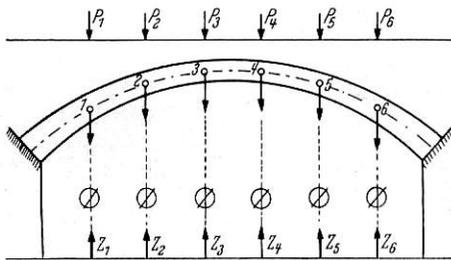


Abb. 1.

mit denen das einfache System belastet sein muß, um dieselben Durchbiegungen aufzuweisen, die am bestehenden Bauwerk gemessen wurden. Das einfachere System nennen wir Hauptsystem, wie auch sonst in der Statik üblich. Ist das Hauptsystem, wie im vorliegenden Fall, ein eingespannter, dreifach statisch unbestimmter Gewölbebogen mit unverschieblichen und unverdrehbaren Kämpfern, so liegt ein dreifach statisch unbestimmtes Hauptsystem vor (Abb. 1).

Denken wir uns nun eine Anzahl Punkte, in diesem Fall 6, durch Drahtseile mit dem Erdboden verbunden, denen wir künstlich ganz bestimmte Spannungen  $Z_1$  bis  $Z_6$  geben, so ist ohne weiteres klar, daß diese Kräfte  $Z_1$  bis  $Z_6$  dem Bogen einen eindeutigen Verformungszustand verleihen, dem ein ebenso eindeutiger Spannungszustand des Gewölbes entspricht. Genau derselbe Verformungs- und Spannungszustand würde aber offenbar auch dann entstehen, wenn wir den Bogen in den Punkten 1 bis 6 mit Lasten  $P_1$  bis  $P_6$  belasten, die den Zugkräften der Drahtseile entsprechen. Auch diese Lasten  $P_1$  bis  $P_6$  bedingen also einen eindeutigen Verformungs- und Spannungszustand des Gewölbes. Es fragt sich nun, ob wir umgekehrt, wenn die durch die Lasten erzeugten lotrechten Verschiebungen  $\delta_1$  bis  $\delta_6$  der Punkte 1 bis 6 bekannt sind, aus diesen eindeutig die dazu gehörigen Lasten ermitteln können, die also diese lotrechten Verschiebungen bedingen. Das ist nicht der Fall,

denn es gibt unendlich viele solcher Ersatzlastensysteme, wie später gezeigt werden soll. Wohl aber kann gezeigt werden, daß das Ersatzlastensystem eindeutig bestimmt ist, wenn wir die beiden Bedingungen stellen:

1. es kommen nur lotrechte Lasten in Frage,
2. diese lotrechten Lasten sollen in bestimmten Punkten 1 bis 6 angreifen,

d. h. wenn wir Richtung und Angriffspunkt der Lasten festlegen. Bezeichnet nämlich  $\delta_{ik}$  diejenige lotrechte Verschiebung im Hauptsystem, die der Punkt  $i$  infolge Belastung des Punktes  $k$  mit der lotrecht nach unten gerichteten Last  $1$  erfährt, sind weiter durch Rechnung alle für die sechs Punkte in Frage kommenden Werte  $\delta_{ik}$  ermittelt und sind endlich die Senkungen  $\delta_1$  bis  $\delta_6$  unter unbekanntenen Lasten  $P_1$  bis  $P_6$  ermittelt, so besteht offenbar das folgende Gleichungssystem:

$$1) \dots \begin{cases} \delta_1 = P_1 \cdot \delta_{11} + P_2 \cdot \delta_{12} + P_3 \cdot \delta_{13} + P_4 \cdot \delta_{14} + P_5 \cdot \delta_{15} + P_6 \cdot \delta_{16} \\ \delta_2 = P_1 \cdot \delta_{21} + P_2 \cdot \delta_{22} + P_3 \cdot \delta_{23} + P_4 \cdot \delta_{24} + P_5 \cdot \delta_{25} + P_6 \cdot \delta_{26} \\ \delta_3 = P_1 \cdot \delta_{31} + P_2 \cdot \delta_{32} + P_3 \cdot \delta_{33} + P_4 \cdot \delta_{34} + P_5 \cdot \delta_{35} + P_6 \cdot \delta_{36} \\ \delta_4 = P_1 \cdot \delta_{41} + P_2 \cdot \delta_{42} + P_3 \cdot \delta_{43} + P_4 \cdot \delta_{44} + P_5 \cdot \delta_{45} + P_6 \cdot \delta_{46} \\ \delta_5 = P_1 \cdot \delta_{51} + P_2 \cdot \delta_{52} + P_3 \cdot \delta_{53} + P_4 \cdot \delta_{54} + P_5 \cdot \delta_{55} + P_6 \cdot \delta_{56} \\ \delta_6 = P_1 \cdot \delta_{61} + P_2 \cdot \delta_{62} + P_3 \cdot \delta_{63} + P_4 \cdot \delta_{64} + P_5 \cdot \delta_{65} + P_6 \cdot \delta_{66} \end{cases}$$

Durch dieses Gleichungssystem sind aber, falls nicht die Werte  $\delta_1$  bis  $\delta_6$  sämtlich Null werden, was nicht möglich ist, die als Unbekannte angenommenen Lasten  $P_1$  bis  $P_6$  eindeutig bestimmt.

Schreiben wir unter Beibehaltung der gemessenen Senkungen  $\delta_1$  bis  $\delta_6$  vor, daß die lotrechten Lasten  $P_1$  bis  $P_6$  an beliebigen anderen Punkten angreifen sollen, so können wir offenbar beliebig viele Gleichungssysteme der Form 1) aufstellen und also beliebig viele Lastensysteme erhalten, die den gemessenen Senkungen  $\delta_1$  bis  $\delta_6$  entsprechen. Alle diese Lastensysteme würden aber offenbar keine wesentlich anderen Beanspruchungen des Gewölbes erzeugen wie die nach 1) zu ermittelnden Lasten  $P_1$  bis  $P_6$ , mit denen wir uns daher begnügen wollen. Tatsächlich handelt es sich bei dieser Lösung um eine Partiallösung einer verwickelten Integralgleichung, worauf indessen hier nicht weiter eingegangen werden soll. Mit diesen ermittelten Ersatzlasten wird nun das Hauptsystem in der üblichen Weise behandelt.

### II. Anwendung auf eine durchlaufende Massivbogenbrücke.

Bei den im folgenden beschriebenen Messungen und Berechnungen handelt es sich um die Ermittlung der Spannungen in der in Abb. 2 dargestellten eingleisigen Eisenbahnbrücke. Die einzelnen Gewölbe sind durch ein System von Querkapellen überbaut, die bei der Festigkeitsberechnung nicht berücksichtigt wurden, aber, wie sich zeigen wird, einen ganz erheblichen Einfluß auf die Spannungsverteilung in den Gewölben ausüben. Nach der statischen Berechnung als einfache eingespannte Gewölbe genügt die Brücke kaum Lokomotiven leichtester Bauart, was zu erheblichen Betriebserschwernissen geführt hat und darüber hinaus berechnete Zweifel über die weitere Brauchbarkeit der Brücke überhaupt aufkommen ließ.

Im Gegensatz dazu ist aber der Befund der — aus lagerhaften Bruchsteingewölben bestehenden — Brücke durchaus einwandfrei. An einzelnen nach der Festigkeitsberechnung stärker gefährdeten Stellen früher vorgenommene unmittelbare Spannungsmessungen ergaben für die Verkehrslasten Span-

nungen traten, wie durch genaue Messungen festgestellt, nicht ein. Weiter als auf die beiden benachbarten Bögen erstreckten sich Verformungen meßbarer Größe nicht. Vielleicht wirkten bei den Verformungen der Öffnungen 3 und 5 auch noch Kraftübertragungen durch den Streckgurt der Querkapellen mit, was dahingestellt bleiben kann. Tatsächlich gelang es auch, die Biegelinien, die in den Öffnungen 3 und 5 gemessen wurden (allerdings, wie später gezeigt werden soll, indirekt) aus den theoretisch ermittelten Teilbiegelinien, die bei einer Verschiebung 1 und einer Kämpferverdre- hung 1 entstehen (das sind nämlich die Einflußlinien für den Horizontalschub  $H$

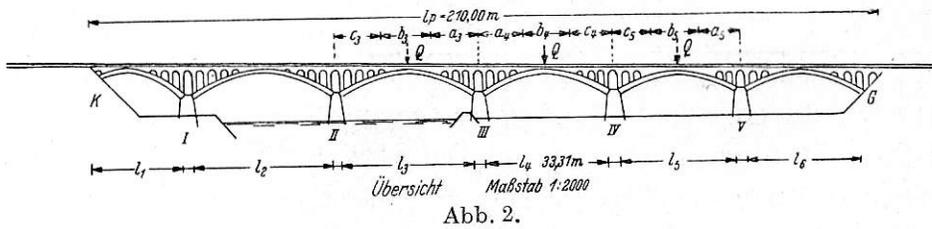


Abb. 2.

— Abb. 4a — und für das Kämpfermoment  $M_K$  — Abb. 4b —), zusammzusetzen. Beide wurden im Versuchswege mit solchen Faktoren  $\alpha$  und  $\beta$  multipliziert, daß ihre Summe die gemessenen Biegelinien in den Öffnungen 3 und 5 ergab (Abb. 4c), was leicht gelang.

Durch Beziehung der Ordina- ten von 4c auf die Nulllinie ergaben sich dann in Abb. 4d die mit den gemessenen übereinstim- menden Biegelinien (negativ) in den Öffnungen 3 und 5. Dann sind, wie aus den Abb. 4a bis 4c leicht zu ersehen,  $\alpha_3$  und  $\alpha_5$  die Kämpferverschiebungen (III nach links, IV nach rechts) und  $\beta_3$  und  $\beta_5$  die Kämpferverdre- hungen (III im Sinne des Uhrzeigers, IV dem Sinne des Uhrzeigers entgegen). Nun war es aber infolge der Ge- lände- und Stromverhältnisse nicht möglich, die Biegelinien in den Öffnungen 3 und 5 zu messen; diese Möglichkeit bestand nur in

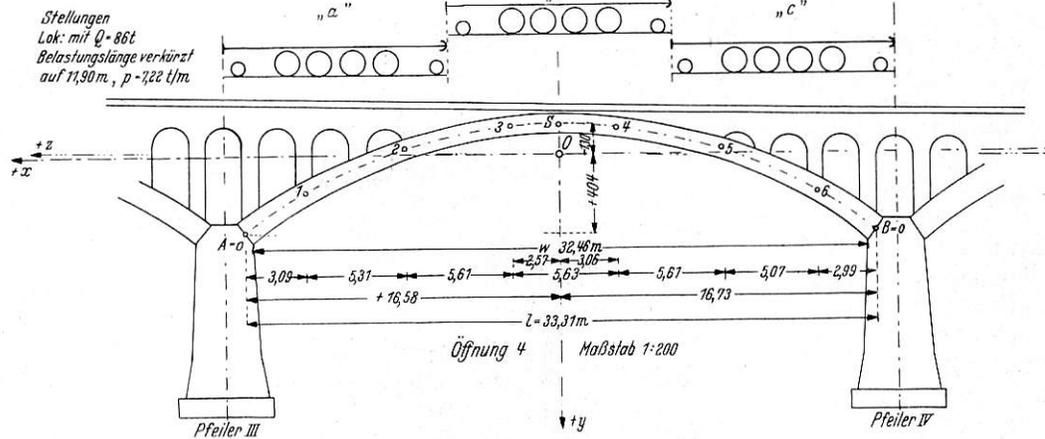


Abb. 3.

Berechnung des wirklichen Systems auf Grund von Meß- ergebnissen auf die Berechnung des einfachen beiderseits fest eingespannten Gewölbes zurückzuführen.

Denken wir uns das die Öffnung 4 überspannende Ge- wölbe mit seinen Querkapellen zunächst nach Abb. 3 durch eine Lokomotive in der Laststellung „b<sub>4</sub>“ belastet und die unter dem Einfluß dieser Belastung entstehenden lotrechten Senkungen der Punkte 1 bis 6 genau gemessen, wobei wir zunächst von Verbiegungen der benachbarten Öffnungen ab- sehen, d. h. unverschiebbare und unverdrehbare Kämpfer an- nehmen wollen. Dann gibt es offenbar ein „Ersatzlasten- system“, das aus lotrechten, lediglich auf den einfachen ein- gespannten Bogen der Öffnung 4, also ohne Mitwirkung der Aufbauten, in den Punkten 1 bis 6 einwirkenden Lasten besteht und bei diesem Bogen dieselben lotrechten Verschie- bungen erzeugt, wie sie bei dem wirklichen System unter der Einwirkung der Belastung „b<sub>4</sub>“ gemessen wurden. Um dieses Ersatzlastensystem zu ermitteln, müssen natürlich die lot- rechten Verschiebungen des Bogens  $\delta_{ik}$  ( $ik = 1$  bis 6) durch Rechnung bestimmt werden, wonach sich dann für das Ersatz- lastensystem die Lasten  $P_1$  bis  $P_6$  nach Gl. 1) ergeben müssen. Dasselbe kann natürlich für die Belastungen „a<sub>4</sub>“ und „c<sub>4</sub>“ ausgeführt werden, wobei sich in dem Gleichungssystem 1) nur die unabhängigen Glieder, nämlich die unter den einzelnen Laststellungen gemessenen Werte  $\delta_1$  bis  $\delta_6$ , ändern.

Nun ergaben sich aber bei den Messungen nicht nur Ver- formungen des Gewölbes der Öffnung 4, sondern auch der benachbarten Gewölbe der Öffnungen 3 und 5, die nur von waagerechten Kämpferverschiebungen und von Kämpfer- verdre- hungen herrühren können; lotrechte Kämpferverschie-

der Öffnung 4. Sieht man von kleinen Unterschieden in den Stützweiten zunächst ab, so kann man das Spiegelbild der Biegelinie in der Öffnung 3 bei Laststellung Q in b<sub>4</sub> (Abb. 2) in der Öffnung 4 erzielen, wenn man Last Q,

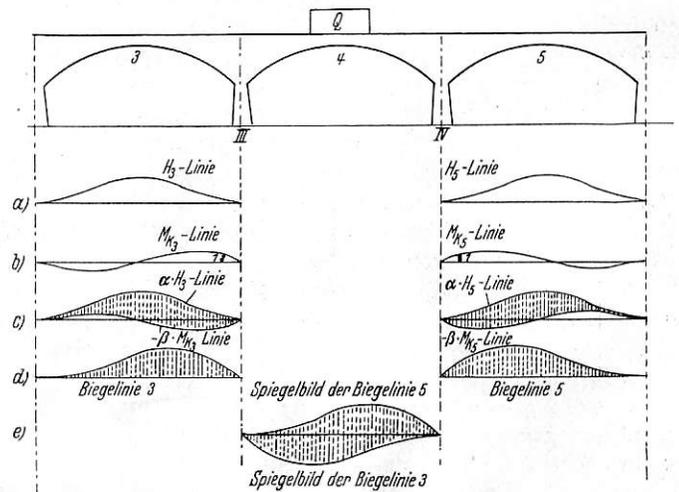


Abb. 4. Biegelinien in Nachbarfeldern.

anstatt in b<sub>4</sub>, in b<sub>3</sub> (symmetrisch zum Pfeiler III) angreifen läßt, und ganz entsprechend dieselbe Last Q in b<sub>5</sub> (sym- metrisch zum Pfeiler IV), was auch geschah, so daß die Messungen nur in der dazu geeigneten Öffnung 4 ausgeführt wurden. In ganz entsprechender Weise wurden die Last- stellungen a<sub>4</sub> (Abb. 2) durch die Laststellungen a<sub>3</sub> und a<sub>5</sub>



$T_{xy}' =$  Zentrifugalmoment der  $EJ_c$ -fachen elastischen Gewichte in bezug auf die Achsen  $x$  und  $y$ ,

9a)  $\dots \operatorname{tg} \beta = + \frac{T_{xy}'}{T_y'} =$  Neigungswinkel der  $z$ -Achse zur  $x$ -Achse.

Durch die Wahl der statisch unbestimmten Größen im Schwerpunkt  $O$  und in Richtung der zugeordneten Achsen  $z$  und  $y$  der elastischen Gewichte ist es bedingt, daß infolge  $X_a$  die Gabelenden  $O$  sich nur senkrecht zur  $y$ -Achse gegeneinander verschieben, in anderen Richtungen nicht, und die Gabeln sich nicht gegeneinander verdrehen:

10)  $\dots EJ_c \delta_{mx} = - \int_{x_m}^{\frac{l}{2}} (x - x_m) y \, ds \frac{J_c}{J} = \mathfrak{E}_{ox}'$

11)  $\dots EJ_c \delta_{my} = \int_{x_m}^{\frac{l}{2}} (x - x_m) x \, ds \frac{J_c}{J} = \mathfrak{E}_{oy}' = EJ_c \delta_{mb}$

12)  $\dots EJ_c \delta_{mc} = \int_{x_m}^{\frac{l}{2}} (x - x_m) \, ds \frac{J_c}{J} = \mathfrak{D}_o'$

infolge  $X_b$  die Gabelenden  $O$  sich nur senkrecht zur  $z$ -Achse gegeneinander verschieben, in anderen Richtungen nicht und die Gabeln sich nicht gegeneinander verdrehen:

infolge  $X_c$  die Gabeln sich nur gegeneinander verdrehen, die Gabelenden  $O$  sich aber nach keiner Richtung hin gegeneinander verschieben.

Die  $EJ_c$ -fachen lotrechten Durchbiegungen  $\delta_m$  eines Punktes  $m$  der Bogenachse ergeben sich für das statisch bestimmte Hauptsystem nach dem Prinzip der virtuellen Ver-rückungen bei einem geraden symmetrischen Bogen zu:

infolge einer waagerechten Kraft  $X_a = -1$  t ( $x$ -Achse),

„ „ senkrechten „  $X_b = -1$  t ( $y$ -Achse),

„ „ eines Momentes  $X_c = -1$  tcm.

$\mathfrak{D}_o =$  Inhalt der  $\frac{J_c}{J}$ -fachen Momentenfläche infolge  $P_m = 1$ .

Bei einem Winkel  $\beta$  der  $z$ -Achse zur  $x$ -Achse (infolge Unsymmetrie des Bogens) liefert eine in Richtung der  $z$ -Achse angreifende Kraft  $X_a = +1$  die lotrechte Durchbiegung

14)  $\dots EJ_c \delta_{ma} = EJ_c \delta_{mx} \cos \beta + EJ_c \delta_{my} \cdot \sin \beta$ .

Die hiernach ermittelten Biegelinien  $EJ_c \delta_{ma}$ ,  $EJ_c \delta_{mc}$  und  $EJ_c \delta_{mb}$  haben die bekannten Formen der Abb. 7.

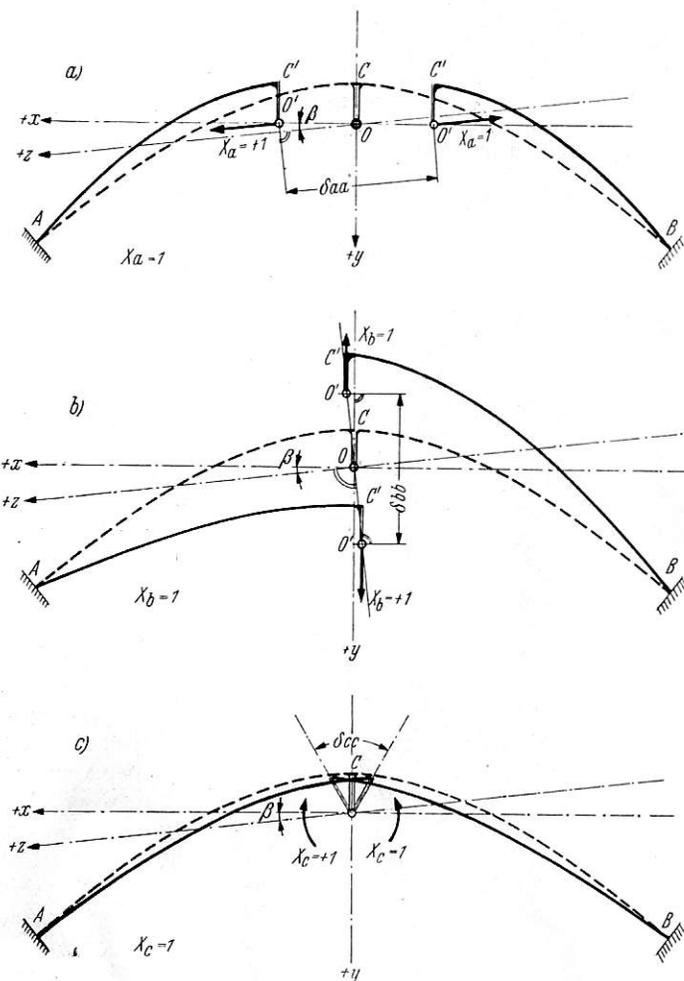


Abb. 6. Zustand  $X_a = 1$ ,  $X_b = 1$ ,  $X_c = 1$ .

Hierin bedeutet:

13)  $\dots \mathfrak{E}_{ox}' =$  statisches Moment der  $\frac{J_c}{J}$ -fachen Momentenfläche in bezug auf die  $x$ -Achse,

$\mathfrak{E}_{oy}' =$  statisches Moment der  $\frac{J_c}{J}$ -fachen Momentenfläche in bezug auf die  $y$ -Achse,

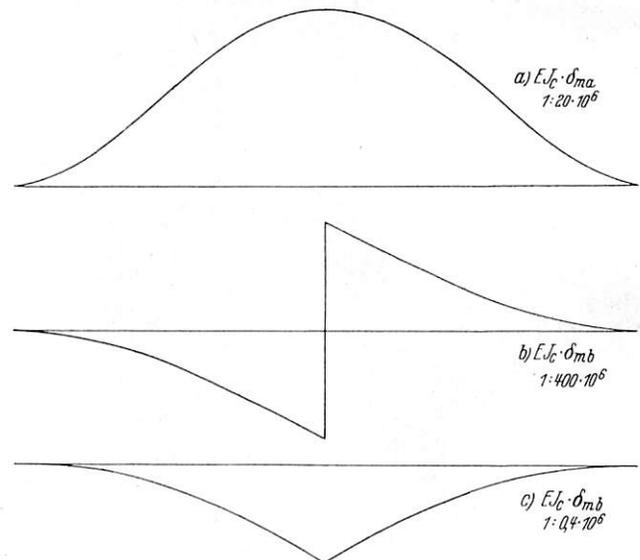


Abb. 7.  $EJ_c$ -fache Biegelinie infolge  $X_a = 1$ ,  $X_b = 1$ ,  $X_c = 1$ .

Die Ordinaten der Einflußlinien für die statisch unbestimmten Größen  $X_a$ ,  $X_b$ ,  $X_c$  folgen aus der Bedingung, daß ihre Angriffsstellen im statisch unbestimmten System keine Wege zurücklegen dürfen, d. h. daß sie die Kontinuität an der Schnittstelle wahren müssen. Da nach Maxwell  $\delta_{ma} = \delta_{am}$  ist, so wird diese Bedingung ausgedrückt durch die Gleichungen

15)  $\dots \delta_a = 0 = \delta_{am} + X_a \cdot \delta_{aa}$

16)  $\dots \delta_b = 0 = \delta_{bm} + X_b \cdot \delta_{bb}$

17)  $\dots \delta_c = 0 = \delta_{cm} + X_c \cdot \delta_{cc}$ .

Hieraus folgen die Ordinaten der Einflußlinien zu

18)  $\dots X_a = - \frac{EJ_c \cdot \delta_{ma}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}}$ ,

$$19) \dots \dots \dots X_b = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{mb}}{EJ_c \cdot \delta_{bb}},$$

$$20) \dots \dots \dots X_c = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{mc}}{EJ_c \cdot \delta_{cc}};$$

demnach ist

die Einflußlinie für  $X_a$  die mit  $-\frac{1}{EJ_c \delta_{aa}}$  vervielfachte  $EJ_c$ -fache Biegelinie infolge  $X_a = 1 t$ ,  
 die Einflußlinie für  $X_b$  die mit  $-\frac{1}{EJ_c \delta_{bb}}$  vervielfachte  $EJ_c$ -fache Biegelinie infolge  $X_b = 1 t$ ,  
 die Einflußlinie für  $X_c$  die mit  $-\frac{1}{EJ_c \delta_{cc}}$  vervielfachte  $EJ_c$ -fache Biegelinie infolge  $X_c = 1 tcm$ .

2. Berechnung der lotrechten Durchbiegungen.

a) Biegelinien  $EJ_c \cdot \delta_{ik}$  infolge  $P_k = 1 t$ .

Diese Biegelinien entstehen durch Überlagerung der Biegelinien infolge  $P_k = 1 t$  am statisch bestimmten Grundsystem mit den Biegelinien infolge der statisch unbestimmten Größen infolge  $P_k = 1 t$ , nämlich

$$21) \dots \dots \dots X_{ak} = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{ak}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}} = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{ka}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}}$$

$$22) \dots \dots \dots X_{bk} = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{bk}}{EJ_c \cdot \delta_{bb}} = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{kb}}{EJ_c \cdot \delta_{bb}}$$

$$23) \dots \dots \dots X_{ck} = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{ck}}{EJ_c \cdot \delta_{cc}} = -\frac{EJ_c \cdot \delta_{kc}}{EJ_c \cdot \delta_{cc}};$$

somit ist

$$24) \dots EJ_c \cdot \delta_{ik} = EJ_c \cdot \delta_{ik_0} + X_{ak} \cdot EJ_c \cdot \delta_{ia} + X_{bk} \cdot EJ_c \cdot \delta_{ib} + X_{ck} \cdot EJ_c \cdot \delta_{ic}.$$

Die Biegelinie  $EJ_c \delta_{ik}$  ist am statisch bestimmten Grundsystem für  $P_k = 1 t$  zu berechnen; die Biegelinien  $EJ_c \delta_{ia}$ ,  $EJ_c \delta_{ib}$ ,  $EJ_c \delta_{ic}$  sind nach Gl. 14), 11) und 12) zu ermitteln (vergl. auch Abb. 7). Die Biegelinie für  $P_3 = + 1 t$  ist in Abb. 8 entwickelt.

Für die im weiteren Rechnungsgang wichtigen sechs Meßpunkte 1, 2, ..., 6 sind die  $EJ_c$ -fachen Ordinaten  $EJ_c \delta_{ik}$  in Übersicht 1 zusammengestellt und die  $EJ_c$ -fachen Biegelinien infolge  $P_k = 1 t$  in Abb. 9 dargestellt.

Übersicht 1

der Werte  $EJ_c \cdot \delta_{ik} = EJ_c \cdot \delta_{ki}$  in  $cm^3 \cdot t/t$  infolge  $P_k = 1 t$ .

	1	2	3	4	5	6
1	11 +3210894	21 + 4304166	31 - 593328	41 - 4250547	51 - 3588300	61 - 826743
2	12 +4304166	22 +18764948	32 + 6068851	42 -12568443	52 -14086134	62 -3574805
3	13 - 593328	23 + 6068851	33 +16430708	43 - 372772	53 -11529538	63 -3894177
4	14 -4250547	24 -12568443	34 - 372772	44 +17991443	54 + 7330475	64 - 57319
5	15 -3588300	25 -14086134	35 -11529538	45 + 7330475	55 +18435495	65 +4412302
6	16 - 826743	26 - 3574805	36 - 3894177	46 - 57319	56 + 4412302	66 +3058237

Dabei ist selbstverständlich nach Maxwell  $\delta_{ik} = \delta_{ki}$  (Symmetrie zur Hauptdiagonale!).

b) Biegelinien infolge Widerlagerverformungen.

a) Biegelinien infolge waagerechter Verschiebung des Kämpfers A um  $\Delta h_A$ . Ordinaten  $\delta_{i \Delta h}$ .

Bei waagerechter Verschiebung des Kämpfers A um  $\Delta h_A$  entfernen sich die Gabelenden ebenfalls in waagerechter

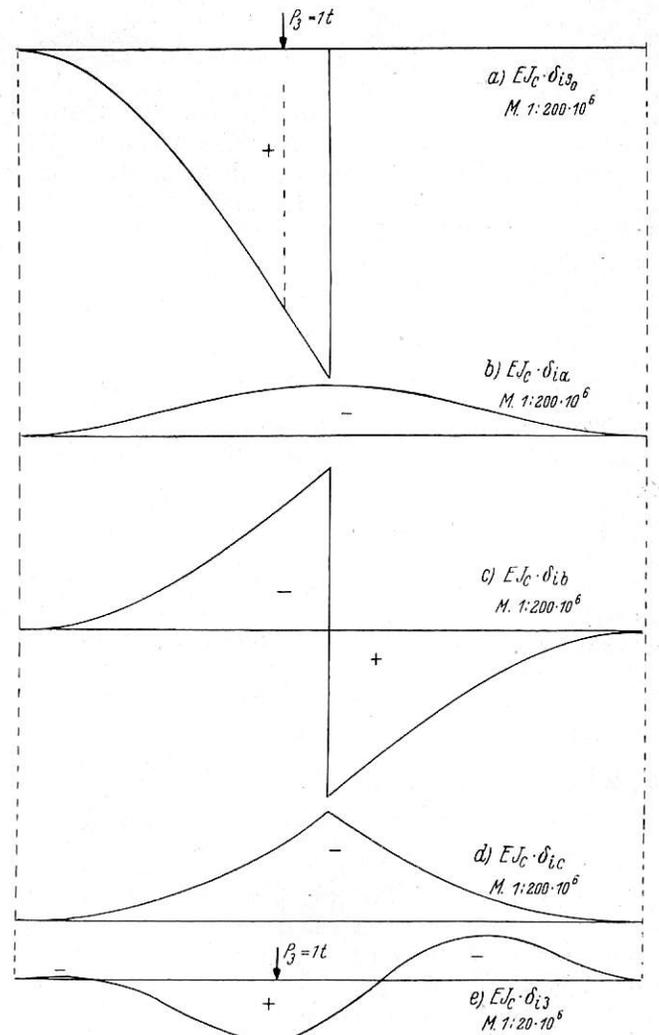


Abb. 8. Entwicklung der  $EJ_c$ -fachen Biegelinie infolge  $P_3 = 1 t$ .

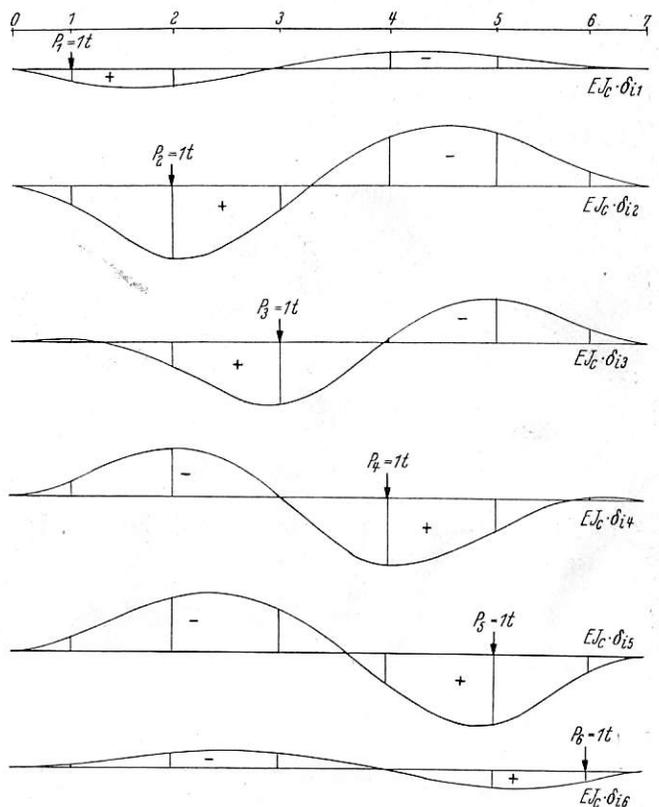


Abb. 9. Biegelinien infolge  $P = 1 t$ .

Richtung um das Maß  $\Delta h_A$ . In Richtung von  $X_a$  verschiebt sich somit der Angriffspunkt von  $X_a$  kinematisch um (Abb. 10) 25) . . . . .  $\delta_{a_{\Delta h}} = + \Delta h \cdot \cos \beta$ .

Eine Verschiebung in Richtung von  $X_b$  und eine Verdrehung der Gabelenden findet jedoch nicht statt. Zur Wiederherstellung der Kontinuität ist mithin nur die Kraft

26) . . . . .  $X_{a_{\Delta h}} = - \frac{\Delta h \cdot \cos \beta}{\delta_{aa}}$

erforderlich.

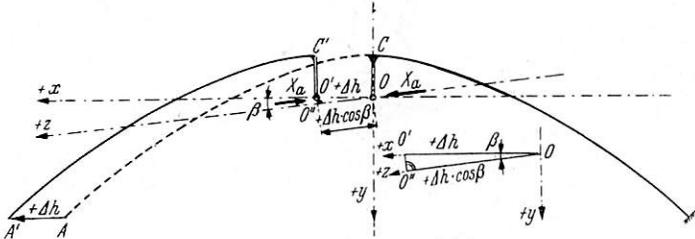


Abb. 10. Widerlagerverschiebung.

Da im statisch bestimmten Grundnetz infolge einer waagerechten Verschiebung um  $+ \Delta h$  keine lotrechten Durchbiegungen entstehen können, so ergibt sich die Biegelinie infolge  $\Delta h$  zu

27) . . . . .  $\delta_{m_{\Delta h}} = - \frac{\Delta h \cdot \cos \beta \cdot EJ_c \cdot \delta_{ma}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}}$

Diese Biegelinie entspricht somit der mit  $- \frac{\Delta h \cos \beta}{EJ_c \delta_{aa}}$  vervielfachten  $EJ_c$ -fachen Biegelinie infolge  $X_a = + 1$  gemäß Gl. 14) und Abb. 7.

$\beta$ ) Biegelinie infolge Verdrehung des linken Widerlagers A um  $+ \tau_A$ .

Infolge einer Verdrehung  $+ \tau_A$  (positiv im Uhrzeigersinn) des Kämpfers A gelangt der elastische Schwerpunkt 0 nach 0', d. h. er verschiebt sich kinematisch (Abb. 11) in Richtung von  $X_a$  um

28) . . . . .  $\delta_{a_{\tau_A}} = (x_A \cdot \sin \beta - y_A \cdot \cos \beta) \tau_A$ ,

in Richtung von  $X_b$  um

29) . . . . .  $\delta_{b_{\tau_A}} = + x_A \cdot \tau_A$ ,

in Richtung von  $X_c$  um

30) . . . . .  $\delta_{c_{\tau_A}} = + \tau_A$ .

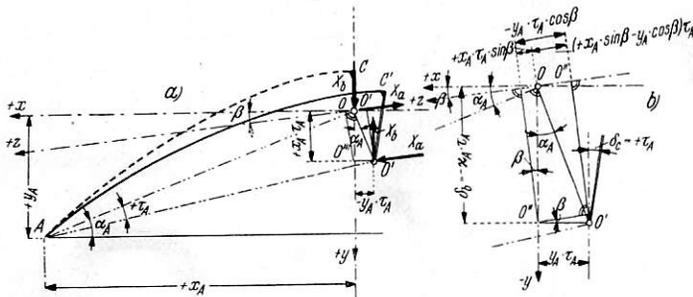


Abb. 11. Widerlagerverdrehung.

Zur Wiederherstellung der Kontinuität sind somit folgende Kräfte an den Gabelenden erforderlich

31) . . .  $X_{a_{\tau_A}} = - \frac{(x_A \cdot \sin \beta - y_A \cdot \cos \beta) \cdot \tau_A}{\delta_{aa}} \cdot 1 t$ ,

32) . . .  $X_{b_{\tau_A}} = - \frac{x_A \cdot \tau_A}{\delta_{bb}} \cdot 1 t$ ,

33) . . .  $X_{c_{\tau_A}} = - \frac{\tau_A}{\delta_{cc}} \cdot 1 tcm$ .

Die Biegelinie  $\delta_{i_{\tau_A}}$  entsteht somit durch Überlagerung der Biegelinie  $\delta_{i_{o_{\tau_A}}}$  des statisch bestimmten Grundsystems

infolge  $\tau_A$  mit den Biegelinien infolge der nach Gl. 31), 32) und 33) ermittelten statisch unbestimmten Größen. Dabei ist die lotrechte Durchbiegung eines Punktes i der Bogenachse infolge  $\tau_A$  im statisch bestimmten Grundsystem

34) . . . . .  $\delta_{i_{o_{\tau_A}}} = (x_A - x_i) \tau_A$ .

Im übrigen werden die Biegelinien infolge Verdrehung des Kämpfers A um  $\tau_A$  sinngemäß wie unter einer Last P entwickelt, so daß sich schließlich ergibt

35) . .  $\delta_{i_{\tau_A}} = \delta_{i_{o_{\tau_A}}} + X_{a_{\tau_A}} \cdot \delta_{ia} + X_{b_{\tau_A}} \cdot \delta_{ib} + X_{c_{\tau_A}} \cdot \delta_{ic}$ .

In Abb. 12 sind die endgültigen Biegelinien infolge

$\tau_A = + 1$  rechts drehend

$\tau_B = - 1$  links drehend aufgetragen.

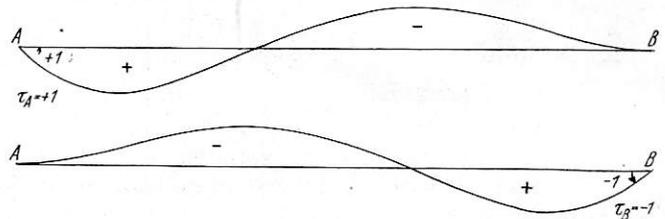


Abb. 12. Biegelinien infolge Widerlagerverdrehung  $\tau_A = + 1$  und  $\tau_B = - 1$ .

3. Einflußlinie für bestimmte Kraftgrößen \*) \*\*) .

a) Einflußlinien für das Moment  $M_m$  im Punkt m der Bogenachse mit den Koordinaten  $x_m$  und  $y_m$ .

Sie ist durch die Biegelinie bestimmt, die durch Knicken der Bogenachse in m um den Drehwinkel 1 entsteht (Abb. 13).

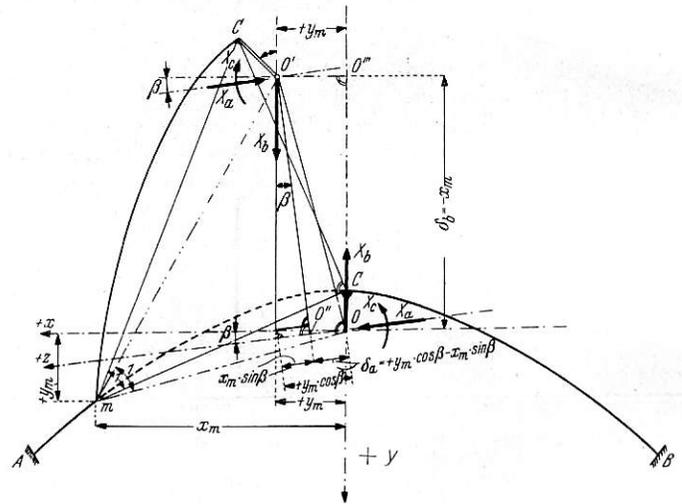


Abb. 13. Entwicklung der Einflußlinie für das Moment  $M_m$  der Bogenachse durch Knicken um „1“.

Dadurch gelangt nämlich kinematisch der Endpunkt des linken Gabelendes von 0 nach 0'; es entstehen dabei folgende Verschiebungen und Verdrehungen der Gabelenden gegeneinander: in Richtung von  $X_a$

36) . . . . .  $\delta_{a_{M_m}} = + (y_m \cdot \cos \beta - x_m \cdot \sin \beta)$ ,

in Richtung von  $X_b$

37) . . . . .  $\delta_{b_{M_m}} = - x_m$ ,

in Richtung von  $X_c$  eine Drehung

38) . . . . .  $\delta_{c_{M_m}} = - 1$ .

\*) Krabbe: Allgemeine, unmittelbare Darstellung von Einflußlinien durch Biegelinien nach dem Formänderungsverfahren. „Stahlbau“, 6 (1933), S. 9, H. 2 v. 20. 1. 1933.

\*\*) Krabbe: Allgemeines Verfahren zur Berechnung biegungsfest verbundener Stabsysteme. „Stahlbau“, 7 (1934), S. 33, H. 5 v. 2. 3. 1934, und S. 41, H. 6 v. 16. 3. 1934.

Zur Wiederherstellung der Kontinuität im Scheitel C sind folgende Kräfte an den Gabelenden erforderlich:

$$39) \dots X_{aM_m} = - \frac{y_m \cdot \cos \beta - x_m \cdot \sin \beta}{\delta_{aa}} \cdot 1 t,$$

$$40) \dots X_{bM_m} = + \frac{x_m}{\delta_{bb}} \cdot 1 t,$$

$$41) \dots X_{cM_m} = + \frac{1}{\delta_{cc}} \cdot 1 \text{ tem.}$$

Die Einflußlinie für  $M_m$  entsteht somit durch Überlagern der Biegelinie infolge Knickens um 1 in Punkt m der Bogenachse des statisch bestimmten Grundsystems mit den Biegelinien infolge der statisch unbestimmten Größen nach den Gl. 39), 40) und 41).

Die Biegelinie  $\delta_{i0M_m}$  ist eine Gerade mit der Ordinate 0 im Punkte m und der Ordinate  $-x_m$  im Scheitel C, also

$$42) \dots \delta_{i0M_m} = -(x_m - x_i) \text{ zwischen m und C.}$$

Auf diese Weise ist beispielsweise die Einflußlinie für das Biegemoment in Punkt  $m=2$  ermittelt und auf Abb. 14 dargestellt, wobei allgemein

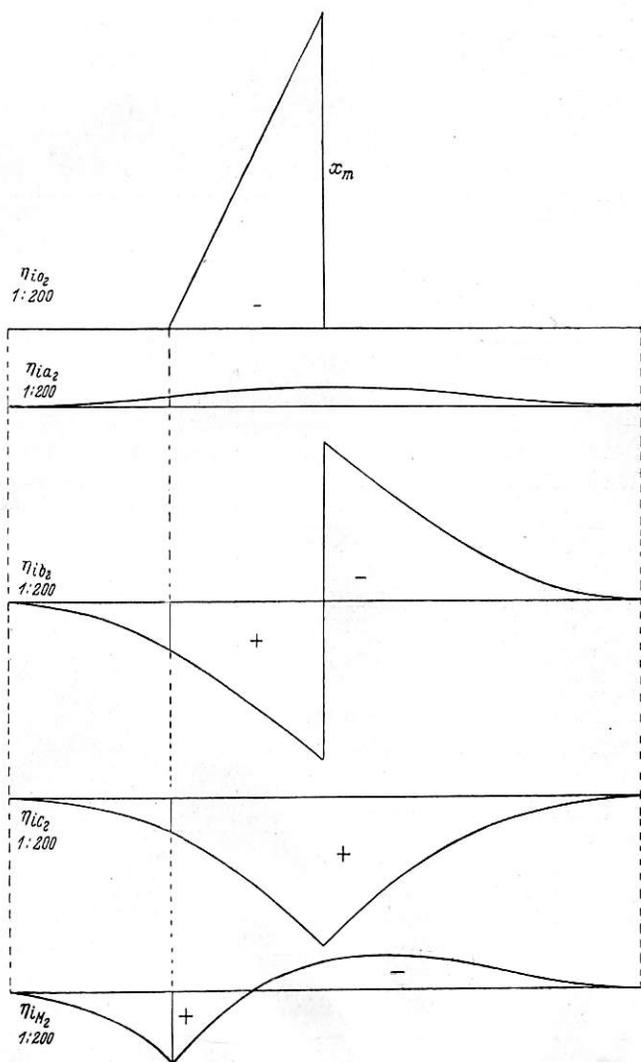


Abb. 14. Entwicklung der Einflußlinie für das Biegemoment  $M_2$  im Punkt 2 der Bogenachse aus 4 Biegelinien.

$$43) \dots \delta_{iM_m} = -(x_m - x_i) - \frac{(y_m \cdot \cos \beta - x_m \cdot \sin \beta) EJ_c \delta_{ia}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}} + \frac{x_m \cdot EJ_c \cdot \delta_{ib}}{EJ_c \cdot \delta_{bb}} + \frac{1 EJ_c \cdot \delta_{ic}}{EJ_c \cdot \delta_{cc}}.$$

b) Einflußlinie für die Längskraft  $N_m$  im Punkte m der Bogenachse mit den Koordinaten  $x_m$  und  $y_m$  und mit der Neigung  $\gamma_m$  der Tangente in m mit der positiven x-Achse.

Durch Verschieben des Bogenstückes  $mC$  um  $+1$  (positiv im Sinn einer Zugkraft am festbleibenden Bogenstück  $Am$ ) in Richtung der Tangente an die Bogenachse entfernen sich die Gabelenden kinematisch voneinander um (Abb. 15)

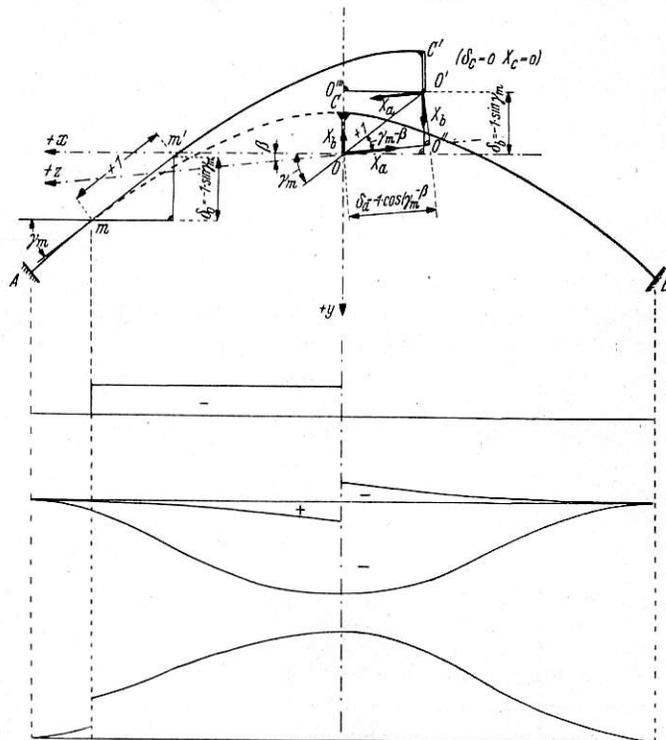


Abb. 15. Entwicklung der Einflußlinie für die Längskraft  $N_m$  in Punkt m der Bogenachse durch Verschieben von m um  $+1$  in Richtung der Tangente.

$$44) \dots \delta_{aN_m} = -1 \cdot \cos (\gamma_m - \beta),$$

$$45) \dots \delta_{bN_m} = -1 \cdot \sin \gamma_m,$$

$$46) \dots \delta_{cN_m} = 0.$$

Demnach wird die Kontinuität im Scheitel wieder hergestellt durch folgende in 0 angreifende Kräfte

$$47) \dots X_{aN_m} = + \frac{1 \cdot \cos (\gamma_m - \beta)}{\delta_{aa}} \cdot 1 t,$$

$$48) \dots X_{bN_m} = + \frac{1 \cdot \sin \gamma_m}{\delta_{bb}} \cdot 1 t,$$

$$49) \dots X_{cN_m} = 0.$$

Die Einflußlinie entsteht somit wieder durch Überlagern der Biegelinie infolge der Parallelverschiebungen um 1, wobei die Ordinate  $\delta_{ic} = -1 \sin \gamma_m$  zwischen m und C konstant ist, mit den Biegelinien infolge der obigen statisch unbestimmten Größen nach den Gl. 47), 48) und 49).

Die Einflußlinie für  $N_m$  hat demnach die Ordinaten

$$51) \dots \delta_{iN_m} = -1 \sin \gamma_m + \frac{1 \cos (\gamma_m - \beta) EJ_c \delta_{ia}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}} + \frac{1 \sin \gamma_m \cdot EJ_c \cdot \delta_{ib}}{EJ_c \cdot \delta_{bb}} + 0.$$

c) Einflußlinie für die Querkraft  $Q_m$  im Punkte m der Bogenachse mit den Koordinaten  $+x_m$  und  $+y_m$  und mit der Tangentenneigung  $+\gamma_m$ .

Dabei wird folgende Vorzeichenregel angewandt: Die Querkraft  $Q_m$  ist positiv, wenn sie am linken Bogenteil links

vom Schnitt m nach oben oder rechts vom Schnitt m nach unten wirkt.

Durch Verschieben des Bogenstückes  $\widehat{mC}$  rechts vom Schnitt m — einer positiven Querkraft entsprechend — nach unten senkrecht zur Tangente im m entfernen sich die Gabelenden voneinander um

- 52) . .  $\delta_{a_{Q_m}} = -1 \cdot \sin(\gamma_m - \beta)$  in Richtung von  $X_a$
- 53) . .  $\delta_{b_{Q_m}} = +1 \cdot \cos \gamma_m$  „ „ „  $X_b$
- 54) . .  $\delta_{c_{Q_m}} = 0$  „ „ „  $X_c$ .

Die Kontinuität im Scheitel wird wieder hergestellt durch die Kräfte

- 55) . . . . .  $X_{a_{Q_m}} = + \frac{1 \cdot \sin(\gamma_m - \beta)}{\delta_{aa}} \cdot 1 t$
- 56) . . . . .  $X_{b_{Q_m}} = - \frac{1 \cdot \cos \gamma_m}{\delta_{bb}} \cdot 1 t$
- 57) . . . . .  $X_{c_{Q_m}} = 0$ .

Am statisch bestimmten Grundnetz verschieben sich ferner alle Punkte zwischen m und C um

58) . . . . .  $\delta_{i_{o_{Q_m}}} = +1 \cdot \cos \gamma_m$ .

Die Einflußlinie für  $Q_m$  hat demnach die Ordinaten

59) . .  $\delta_{i_{Q_m}} = +1 \cdot \cos \gamma_m + \frac{1 \sin(\gamma_m - \beta) EJ_c \delta_{ia}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}} - \frac{1 \cdot \cos \gamma_m \cdot EJ_c \cdot \delta_{ib}}{EJ_c \delta_{bb}} + 0$ .

d) Einflußlinien für die Auflagerkräfte H, A und M.

$\alpha$ ) Einflußlinie für den Horizontalschub H.

Durch waagerechtes Verschieben des Kämpfers A um +1 nach links entfernen sich die Gabelenden (vergl. Abschn. 2, b,  $\alpha$ , Gl. 26), 27) für  $\Delta h = 1$ ) um

- 60) . . .  $\delta_{a_H} = -1 \cdot \cos \beta$  in Richtung von  $X_a$
- 61) . . .  $\delta_{b_H} = 0$
- 62) . . .  $\delta_{c_H} = 0$ .

Demnach sind

- 63) . . . . .  $X_{a_H} = - \frac{1 \cdot \cos \beta}{\delta_{aa}} \cdot 1 t$
- 64) . . . . .  $X_{b_H} = 0$
- 65) . . . . .  $X_{c_H} = 0$ .

Durch das waagerechte Verschieben des Kämpfers um +1 entstehen am statisch bestimmten Grundsystem keine lotrechten Durchbiegungen; somit ist

66) . . . . .  $\delta_{i_{o_H}} = 0$ .

Die Ordinaten der Einflußlinie für den Horizontalschub H errechnen sich also zu

67) . . . . .  $\delta_{i_H} = - \frac{1 \cdot \cos \beta \cdot EJ_c \cdot \delta_{ia}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}}$ ,

d. h. die H-Linie ist gleich der mit  $-\frac{1 \cos \beta}{EJ_c \delta_{aa}}$  vervielfachten  $EJ_c$ -fachen  $\delta_{ia}$  Linie (vergl. Abb. 7).

$\beta$ ) Einflußlinie für die Auflagerkraft A.

Durch Verschieben des Kämpfers A um +1 senkrecht nach unten entsteht am statisch bestimmten Grundsystem zwischen A und C eine Verschiebung  $\delta_{i_A} = +1$ ; ebenso entfernen sich die Gabelenden um

- 68) . . .  $\delta_{a_A} = +1 \cdot \sin \beta$  in Richtung von  $X_a$
- 69) . . .  $\delta_{b_A} = +1$  „ „ „  $X_b$
- 70) . . .  $\delta_{c_A} = 0$  „ „ „  $X_c$ .

Die Kontinuität in C wird wieder hergestellt durch die Kräfte

- 71) . . . . .  $X_{a_A} = - \frac{1 \cdot \sin \beta}{\delta_{aa}} \cdot 1 t$
- 72) . . . . .  $X_{b_A} = - \frac{1}{\delta_{bb}} \cdot 1 t$
- 73) . . . . .  $X_{c_A} = 0$ .

Die Einflußlinie für A hat daher die Ordinaten

74) . .  $\delta_{i_A} = +1 - \frac{1 \cdot \sin \beta \cdot EJ_c \cdot \delta_{ia}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}} - \frac{1 \cdot EJ_c \cdot \delta_{ib}}{EJ_c \cdot \delta_{bb}} + 0$ .

$\gamma$ ) Einflußlinie für das Einspannmoment  $M_A$ .

Gemäß Abschnitt 3, a ist für den Kämpfer

$x_m = x_A, y_m = y_A$ ;

76) . . . . . Übersicht 2.

Ordinaten der Einflußlinien für die Kraftgrößen M, N, Q, A, B, H.

		$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$	$P_5(t)$	$P_6(t)$
A	$M_A(tem) =$	-202,341	-171,763	+ 67,787	+218,760	+170,502	+ 38,947
	$N_A(t) =$	- 0,718	- 1,176	- 1,502	- 1,321	- 0,698	- 0,129
	$Q_A(t) =$	+ 0,684	+ 0,173	- 0,371	- 0,564	- 0,366	- 0,075
1	$M_1(tem) =$	+ 66,673	- 88,794	- 49,769	+ 25,394	+ 42,645	+ 11,724
	$N_1(t) =$	- 0,587	- 1,124	- 1,544	- 1,400	- 0,752	- 0,140
	$Q_1(t) =$	- 0,039 + 0,800	+ 0,377	- 0,101	- 0,324	- 0,238	- 0,051
2	$M_2(tem) =$	+ 21,954	+181,420	- 32,559	- 91,710	- 56,922	- 10,645
	$N_2(t) =$	- 0,144	- 1,009	- 1,527	- 1,436	- 0,786	- 0,148
	$Q_2(t) =$	- 0,058 + 0,621	+ 0,348	+ 0,252	+ 0,002	- 0,061	- 0,018
3	$M_3(tem) =$	- 5,720	+ 11,091	+166,296	- 38,083	- 63,096	- 15,432
	$N_3(t) =$	- 0,153	- 0,816	- 1,451	- 1,410	- 0,783	- 0,149
	$Q_3(t) =$	- 0,029 + 0,538	- 0,196	+ 0,460	+ 0,276	+ 0,090	+ 0,011
8	$M_8(tem) =$	- 12,681	- 36,313	+ 53,050	+ 38,118	- 37,095	- 12,138
	$N_8(t) =$	- 0,154	- 0,825	- 1,418	- 1,392	- 0,777	- 0,148
	$Q_8(t) =$	- 0,020	- 0,149	- 0,380	+ 0,356	+ 0,134	+ 0,019
4	$M_4(tem) =$	- 15,714	- 64,608	- 33,562	+176,300	+ 20,358	- 3,174
	$N_4(t) =$	- 0,155	- 0,833	- 1,445	- 1,440	- 0,764	- 0,146
	$Q_4(t) =$	- 0,008 + 0,469	- 0,081	- 0,263	- 0,528	+ 0,198	+ 0,031
5	$M_5(tem) =$	- 10,411	- 58,288	- 92,297	- 33,248	+180,471	+ 23,681
	$N_5(t) =$	- 0,154	- 0,836	- 1,468	- 1,510	- 0,971	- 0,138
	$Q_5(t) =$	+ 0,019	+ 0,065	- 0,008	- 0,270	+ 0,640 + 0,327	+ 0,056
6	$M_6(tem) =$	+ 13,411	+ 49,363	+ 29,711	- 50,764	- 85,871	+ 66,224
	$N_6(t) =$	- 0,144	- 0,790	- 1,419	- 1,528	- 1,105	- 0,616
	$Q_6(t) =$	+ 0,059	+ 0,281	+ 0,375	+ 0,133	- 0,365	- 0,778 + 0,090
B	$M_B(tem) =$	+ 38,413	+171,522	+202,437	+ 37,826	-187,714	-197,178
	$N_B(t) =$	- 0,137	- 0,754	- 1,369	- 1,504	- 1,138	- 0,698
	$Q_B(t) =$	+ 0,074	+ 0,367	+ 0,530	+ 0,302	- 0,240	- 0,705
7	A (t) =	+ 0,980	+ 0,851	+ 0,620	+ 0,356	+ 0,134	+ 0,019
	B (t) =	+ 0,020	+ 0,149	+ 0,380	+ 0,644	+ 0,866	+ 0,981
	H (t) =	- 0,154	- 0,825	- 1,418	- 1,392	- 0,777	- 0,148

damit ergeben sich die Ordinaten für das Einspannmoment am Kämpfer A mit den Gl. 36) bis 40) zu

$$75) \dots \delta_{1M_A} = - (x_A - x_i) - \frac{(y_A \cdot \cos \beta - x_A \sin \beta) EJ_c \cdot \delta_{ia}}{EJ_c \cdot \delta_{aa}} + \frac{x_m EJ_c \cdot \delta_{ib}}{EJ_c \cdot \delta_{bb}} + \frac{1 EJ_c \cdot \delta_{ic}}{EJ_c \cdot \delta_{cc}}$$

Die Einflußlinie entsteht somit durch Überlagern der entsprechenden Biegelinien.

e) Zusammenfassung.

Nach den hier entwickelten Grundsätzen sind die Einflußlinien für die Kraftgrößen (Biegemomente, Längs- und Querkräfte) für die beiden Kämpfer A und B, den Scheitel C und die sechs Meßpunkte 1 bis 6 berechnet.

Ihre Ordinaten in den sechs Meßpunkten sind in Übersicht 2, S. 442 [Gl. 76)] zusammengestellt.

4. Kraftgrößen infolge bestimmter Verformungen.

a) Wärmewirkung.

Erwärmt sich das Gewölbe um  $t^0$  oder kühlt es sich um  $t^0$  ab, so verschieben sich die Gabelenden, weil eine ähnliche Figur entsteht, kinematisch um

$$77) \dots \delta_{a_t} = \mp l \cdot \varepsilon \cdot t^0 \cdot \cos \beta \text{ in Richtung von } X_a$$

$$78) \dots \delta_{b_t} = 0 \quad \text{,, ,, ,, } X_b$$

$$79) \dots \delta_{c_t} = 0 \quad \text{,, ,, ,, } X_c$$

Vergl. Abb. 10, wobei nur  $\Delta h$  durch  $\mp l \varepsilon t^0$  Erwärmung  
Abkühlung  
zu ersetzen ist.

Zur Wiederherstellung der Kontinuität C ist also am Gabelende nur die Kraft

$$80) \dots X_a = \pm \frac{1 \cdot l \cdot \varepsilon \cdot t^0 \cdot \cos \beta}{\delta_{aa}} \cdot 1 t \quad \text{Erwärmung  
Abkühlung}$$

erforderlich.

An einem Punkt m der Bogenachse mit den Koordinaten  $x_m$  und  $y_m$  und mit der Tangentenneigung  $\gamma_m$  entstehen dadurch folgende Kraftgrößen:

$$81) \dots M_{m_t} = \mp X_{a_t} (\cos \beta \cdot y_m - \sin \beta \cdot x_m)$$

$$82) \dots N_{m_t} = \mp X_{a_t} \cdot \cos (\gamma_m - \beta)$$

$$83) \dots Q_{m_t} = \mp X_{a_t} \cdot \sin (\gamma_m - \beta),$$

wobei das obere Vorzeichen bei Erwärmung,  
das untere ,, ,, Abkühlung gilt.

b) Widerlagerverformungen.

a) Waagerechte Verschiebung  $+\Delta h$ .

Nach Gl. 26) ist für  $+\Delta h$

$$85) \dots X_{a_{\Delta h}} = - \frac{\Delta h \cdot \cos \beta \cdot EJ_c}{EJ_c \cdot \delta_{aa}}$$

Andere Kräfte in 0 entstehen nicht. Damit ergeben sich für einen Punkt m der Bogenachse mit den Koordinaten  $x_m$  und  $y_m$  und mit der Tangentenneigung  $+\gamma_m$  die Kraftgrößen  $M_m$ ,  $N_m$ ,  $Q_m$  nach den Gl. 81), 82), 83), wobei  $X_{a_t}$  durch  $X_{a_{\Delta h}}$  nach Gl. 85) zu ersetzen ist.

$\beta$ ) Verdrehung um  $\tau_A$ .

Die zur Wiederherstellung der Kontinuität im Scheitel infolge Widerlagerverdrehung am elastischen Schwerpunkt angreifenden statisch unbestimmten Größen sind mit den Gl. 31), 32) und 33) ermittelt.

Im Punkt der Bogenachse (mit  $x_m$ ,  $y_m$ ,  $\gamma_m$ ) entstehen dadurch folgende Kraftgrößen:

$$86) \dots M_{m_{\tau_A}} = - X_{a_{\tau_A}} (\cos \beta \cdot y_m - \sin \beta \cdot x_m) + X_{b_{\tau_A}} \cdot x_m + X_{c_{\tau_A}}$$

$$87) \dots N_{m_{\tau_A}} = - X_{a_{\tau_A}} \cdot \cos (\gamma_m - \beta) - X_{b_{\tau_A}} \cdot \sin \gamma_m$$

$$88) \dots Q_{m_{\tau_A}} = - X_{a_{\tau_A}} \cdot \sin (\gamma_m - \beta) + X_{b_{\tau_A}} \cdot \cos \gamma_m.$$

(Schluß folgt.)

## Die zweigleisige Hubbrücke über die Ringvaart bei Heerhugowaard (Holland).

Von Jr. A. H. Foest, Ingenieur 1. Klasse der Niederländischen Eisenbahnen.

Im Zusammenhang mit dem Bau der westfriesischen Kanäle und der dadurch zu erwartenden Zunahme der Abmessungen der die Ringvaart befahrenden Schiffe haben die Niederländischen Eisenbahnen zwischen der ehemaligen Haltestelle St. Pancras und dem Bahnhof Heerhugowaard, beide an den Strecken Alkmaar—den Helder und Alkmaar—Enkhuizen, auf Veranlassung der Provinz Nord-Holland und für ihre Rechnung eine zweigleisige, gerade Hubbrücke mit einer Spannweite von 22,48 m und einer Hubhöhe von 3 m über die Ringvaart gebaut, um für die alte feste Brücke, die eine nur schmale Durchfahrtöffnung hatte, Ersatz zu schaffen.

Gleichzeitig mit der Hubbrücke und in kurzer Entfernung nordöstlich davon ist über die neue Straße nach Kolhorn eine zweigleisige, schiefe, feste Brücke gebaut worden mit einer Spannweite von 25,20 m. Sobald die neue Straße nach Kolhorn in Gebrauch genommen sein wird, fällt die schrankenlose Straßenkreuzung unmittelbar neben der Hubbrücke weg.

Neben der Hubbrücke ist eine feste Fußgängerbrücke gebaut worden, deren Unterkante 15 cm höher liegt als die der gehobenen Hubbrücke (Abb. 1). An dieser Fußgängerbrücke ist eine Kabelrinne befestigt (Abb. 2).

Da eine feste Brücke wegen der langen Rampen, ferner wegen der höheren und dadurch auch schwereren Widerlager größere Kosten verursacht hätte, und da andererseits eine bewegliche Brücke in diesem Falle keine zusätzlichen Personalkosten für die Bedienung erforderte, weil ein Stellwerk an dieser Stelle wegen des Abzweigens der Nebenstrecke nach Broek op Langendyk unmittelbar südwestlich der zu bauenden Brücke sowieso erforderlich war, ist eine bewegliche Brücke gewählt worden.

Hierzu sei noch bemerkt, daß eine feste Brücke über die Ringvaart auch in der genannten Nebenstrecke eine hohe Rampe nötig gemacht hätte. Zum zweiten wäre dann auch die später zu erwähnende Hilfsbahn wegen der langen Rampen viel länger geworden.

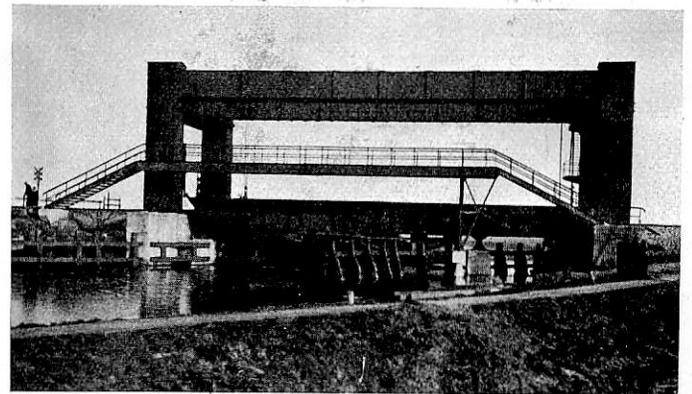


Abb. 1. Gesamtansicht der Brücke über die Ringvaart.

Aus verschiedenen Gründen ist eine Hubbrücke gewählt worden. Bei einer Drehbrücke, zumal einer zweigleisigen, nimmt der Drehpfeiler einen großen Teil der Kanalbreite für sich in Anspruch, so daß in diesem Falle eine kostspielige Kanalverbreiterung nötig geworden wäre. Bei einer Klappbrücke wiederum hätte der Senkraum des Gegengewichts, dessen Boden tief unter Wasser zu liegen gekommen wäre, hohe

Kosten verursacht. Obendrein hätte, wenn man wenigstens den Vorteil einer uneingeschränkten Durchfahrthöhe, wie sie Dreh- und Klappbrücken aufweisen, nicht wieder hätte verlieren wollen, auch die Fußgängerbrücke beweglich sein müssen. Das Befestigen der Fußgängerbrücke an der Dreh- oder Klappbrücke wäre natürlich keine Lösung gewesen, da gerade bezweckt wurde, den Fußgängerverkehr auch bei geöffneter Eisenbahnbrücke zu ermöglichen.

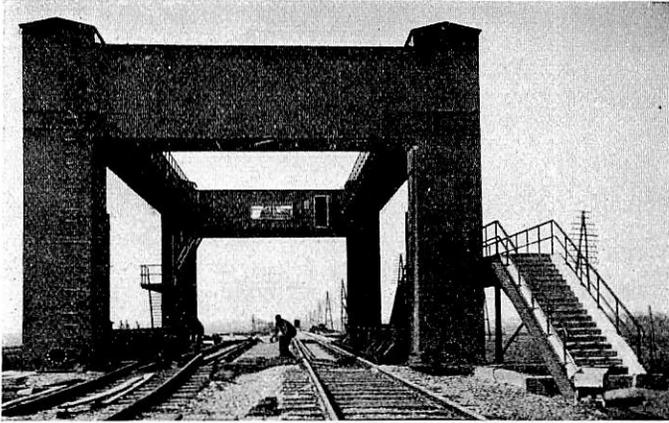


Abb. 2. Durchblick durch die Brücke.

Wie aus Abb. 1 hervorgeht, kreuzt die Eisenbahn die Ringvaart unter einem schiefen Winkel. Die Hubbrücke selbst ist aber rechtwinklig, weil die bei einer schiefen Hubbrücke nicht zu umgehenden schiefen Anschlüsse in genieteten Verbindungen schwerlich einwandfrei ausführbar sind. Auch schien es zu der Zeit, als mit dem Entwurf begonnen wurde, noch nicht ratsam, völlig geschweißte Eisenbahnbrücken zu bauen. Diese schiefe Kreuzung hat es ermöglicht, in der Ringvaart drei freistehende Stützpunkte anzuordnen. Einer von ihnen dient zur Unterstützung der Fußgängerbrücke. Die beiden anderen sind auf etwa  $\frac{1}{4}$  der Länge und einander schräg

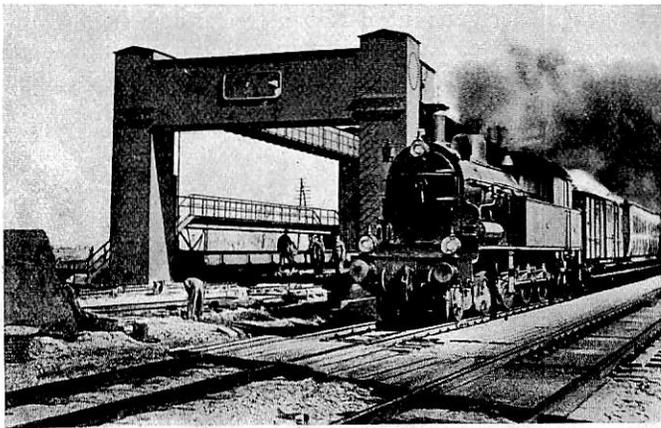


Abb. 3. Hilfsbrücke.

gegenüber unter den Hauptträgern der Hubbrücke angeordnet worden; einer davon ist aus Abb. 1 ersichtlich, unmittelbar rechts von dem Zwischenstützpunkt der Fußgängerbrücke. Die unbelastete Hubbrücke ruht nicht auf diesen Zwischenstützpunkten auf; der Spielraum zwischen den an den Hauptträgern befestigten und den auf den Stützpunkten angeordneten Auflagerteilen ist so groß bemessen, daß das Ende des kurzen Teiles eines Hauptträgers sich nicht anhebt, auch wenn der lange Teil sich unter der größten Verkehrsbelastung durchbiegt.

Um die Hubbrücke und die feste Brücke ohne Einstellung des Eisenbahnverkehrs bauen zu können, war eine zweigleisige

Hilfsbahn mit Hilfsbrücke erforderlich (Abb. 3, 5 und 11). Da die neuen Brücken schon in Betrieb genommen sind, wird es nach Abbruch der Hilfsbrücke möglich sein, die Leitwerke (Abb. 1) zu vollenden.

Abb. 4 gibt eine klare Übersicht über die Zusammensetzung der Hubbrücke. Sie besteht außer dem beweglichen Teile mit Gegengewichten aus vier Türmen, die paarweise quer über den Gleisen steif miteinander durch Kuppelträger ver-

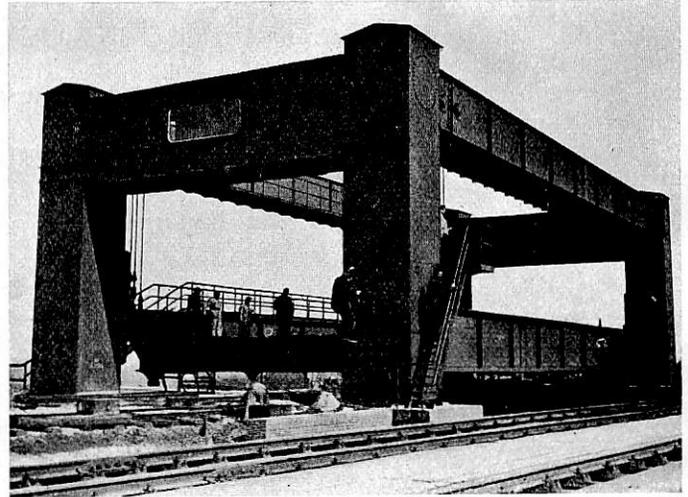


Abb. 4. Das Rahmenwerk.

bunden sind. Der südwestliche Kuppelträger ist mit einem Boden ausgestattet und bildet so den Maschinenraum in einem Endrahmen. Die beiden in gleicher Weise geformten Endrahmen sind unter sich durch zwei lange, doppelwandige Kuppelträger verbunden, die in den südwestlichen Türmen fest und in den nordöstlichen Türmen beweglich gelagert sind.

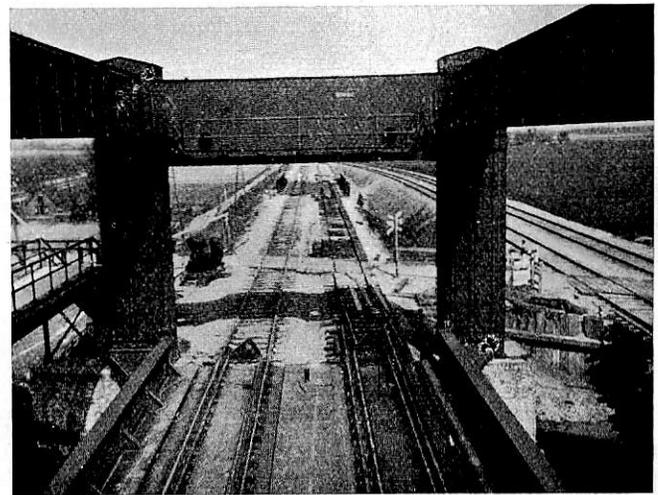


Abb. 5. Aufzugkabel, Leitschienen und Hilfsbahn. Feste Brücke im Hintergrund.

Entlang den Innenseiten der vier Kuppelträger ist ein rundumlaufender, mit einem Geländer ausgestatteter Gehweg angeordnet (siehe auch Abb. 2 und 5), zu dem eine an dem südlichen Turm befestigte Treppe hinaufführt.

An den Enden jedes Hauptträgers ist außen als Verlängerung des Endquerträgers ein Konsol befestigt, woran die Brücke mit vier Kabeln (Abb. 5 — man sehe die Schattenlinien nicht für Kabel an! — und Abb. 6) an den Gegengewichten aufgehängt ist. Zwei dieser Kabel sind an dem Gegengewicht in dem unmittelbar neben dem Konsol stehenden Turm befestigt, die beiden anderen — durch den langen Kuppelträger

hindurch — an dem Gegengewicht in dem am anderen Ende desselben Hauptträgers stehenden Turm. Dazu sind in beiden langen Kuppelträgern an jedem Ende drei Achsen mit Kabelrädern eingebaut. Auf Abb. 4 sieht man vier Kugellagerdeckel dieser Achsen, je zwei an jedem Ende des langen Kuppelträgers; die beiden anderen Achsen befinden sich natürlich in den Teilen des Kuppelträgers, die in die Türme hineinragen. Aus Abb. 10 ist das südwestliche Ende eines der langen Kuppelträger ersichtlich; deutlich unterscheidet man den Kugellagerdeckel der dritten Kabelräderachse und den der noch näher zu erwähnenden Ritzelachse. Durch Schmierröhrchen, die ebenfalls aus Abb. 4 ersichtlich sind, können diese Kugellager von dem an der anderen Seite des Kuppelträgers befindlichen Gehweg aus geschmiert werden.

Sämtliche Kabelräder sind drehbar auf den Achsen angeordnet. Hierdurch ist vermieden, daß (etwa infolge kleiner Unterschiede zwischen den Durchmessern der auf einer Achse montierten Kabelräder) die Kabel während der Bewegung der Brücke über die Räder gleiten können, was natürlich zum baldigen Verschleiß der Kabel Anlaß geben würde. Selbstredend drehen sich während der Bewegung der Brücke die Kabelräder nicht um ihre Achsen, sondern diese in ihren Kugellagern, so daß die Reibung stark herabgesetzt ist.

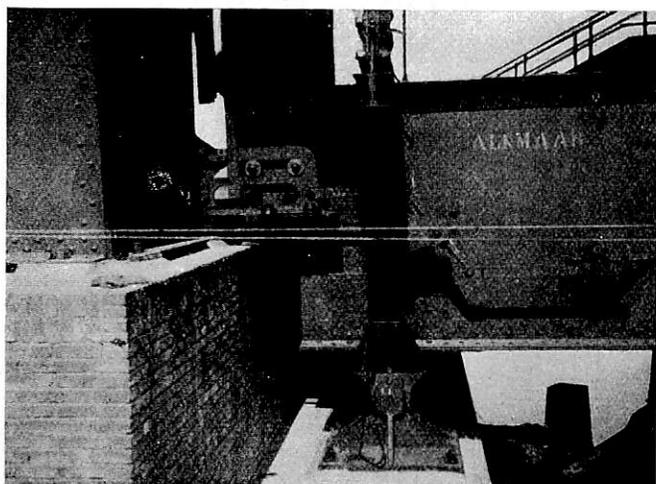


Abb. 6. Führungsrollen und auf Rollen geführter Sicherungsschieber.

In den langen Kuppelträgern ist auf Querschotten eine Anzahl Führungsrollen für die Kabel angeordnet; über jeder dieser Rollen ist in dem Obergurt des Kuppelträgers ein Deckel vorgesehen, so daß die Rollen geschmiert werden können. Ein leicht zu handhabendes Leiterchen ermöglicht es, sämtliche Deckel von dem Gehsteig aus bequem zu erreichen.

Die von der N. V. v. h. J. C. den Haan zu Gorinchem (Holland) gelieferten Kabel sind im sogenannten Langschlag ausgeführt, es sind also die Drähte im selben Sinne zu Litzen geschlagen wie die Litzen zum Kabel, also beide rechts oder beide links. Diese Kabel haben im Vergleich mit den „Kreuzschlagkabeln“, bei denen Litzen und Kabel im entgegengesetzten Sinne geschlagen sind, den Vorteil einer viel längeren Lebensdauer vermöge ihrer größeren Auflagerfläche in den Nuten der Kabelräder — ein Langschlagkabel ist viel glatter als ein Kreuzschlagkabel —, aber sie haben in viel stärkerem Maße die Neigung, sich zu entwinden, wenn sie belastet werden. Mit Rücksicht darauf ist die halbe Anzahl der Kabel rechts geschlagen worden, die andere Hälfte links, wodurch verhindert wird, daß sich die Gegengewichte um eine senkrechte Achse drehen.

Sämtliche Kabel sind an beiden Enden mit angegossenen gußstählernen Muffen versehen, die langen Kabel obendrein

mit Nachspannvorrichtungen, um bei ungleicher Dehnung der Kabel die Länge ändern zu können.

Die sogenannten Gleichgewichtsregler, das sind Hebel-systeme, die gewährleisten, daß jedes Kabel einen gleichen Teil der zu tragenden Gesamtlast aufnimmt, sind bei dieser Hubbrücke zwischen den Gegengewichten und den darüber befindlichen Enden der Kabel angeordnet worden. Wegen der kleinen Länge jener Teile der Kabel, die bei geschlossener Brücke — und das ist die vorherrschende Lage — dem Wind ausgesetzt sind, braucht nicht befürchtet zu werden, daß die von der Brücke parallel miteinander senkrecht aufwärts laufenden Kabel bei Sturm gegeneinander schlingern und dadurch schnell verschleiß. Bei Hubbrücken mit einer großen Hubhöhe und vielen sehr langen, dicht nebeneinander liegenden Kabeln — zum Beispiel die Hubbrücke über den Koningshaven zu Rotterdam — ist diese Gefahr aber tatsächlich vorhanden; deshalb müssen die Gleichgewichtsregler über den Brückenden angeordnet werden, wodurch die unteren Enden der Kabel auseinander gezogen werden, so daß die Kabel nicht mehr parallel miteinander von der Brücke aufwärts laufen.

Daß bei der Hubbrücke zu Heerhugowaard nicht nur der

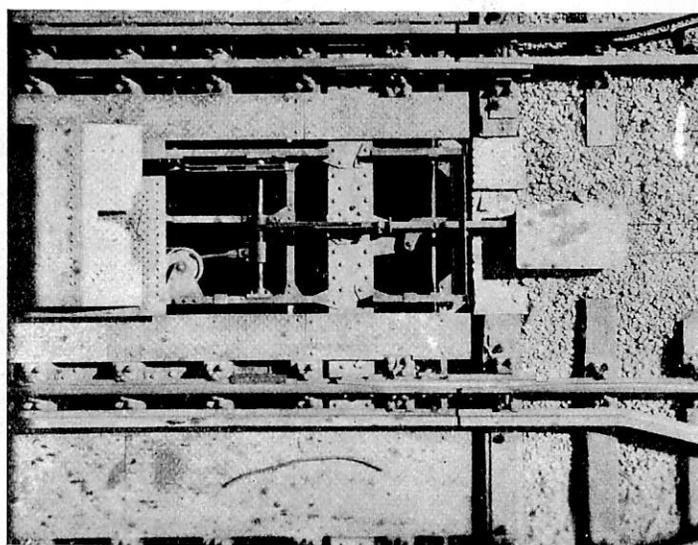


Abb. 7. Brückenschloß und stoßfreie Schienenübergänge.

Antrieb, sondern auch die Gleichgewichtsregler, die Kabelräder, die Führungsrollen für die Kabel und auch der größte Teil der Kabel, namentlich sämtliche waagerechten Teile, den Einflüssen der Witterung entzogen sind, ist als ein großer Vorteil der gewählten Bauart zu betrachten.

Die Brücke ist mit acht Führungsrollen (zwei an jeder Ecke) ausgestattet, die während der Bewegung und in gehobener Lage das Schleudern der Brücke, sowohl in Längs- wie auch in Querrichtung beschränken (Abb. 6).

Die festen Auflager der Hubbrücke befinden sich an der Südwestseite, also an der Seite des Maschinenraumes. Aus Abb. 6 ist deutlich ersichtlich, wie der an dem Hauptträger befestigte Lagerteil den Kopf des auf dem Widerlager aufgestellten Lagerteiles umfaßt.

An derselben Seite befindet sich auch das Brückenschloß (Abb. 7), das zwischen den beiden Schienensträngen auf dem Widerlager befestigt ist, in das beim Verriegeln der Brücke ein Schloßriegel eingreift. Erst nachdem die Verriegelung eingelegt ist, kann durch die vor und hinter der Brücke angeordneten Signale die Fahrt auf die Brücke freigegeben werden. Diese Signalstellung ist übrigens für Brückensignale allgemein üblich. Umgekehrt ist es auch ausgeschlossen, die Brücke zu entriegeln, wenn die Signale auf freie Fahrt stehen.

Auf Abb. 7 sind auch deutlich die stoßfreien Schienenübergänge zu erkennen. Die Enden der Schienen sind sowohl auf der Brücke wie auch auf dem Widerlager an der Außenseite des Gleises (auf Abb. 7 ist von jedem Gleis nur eine Schiene sichtbar) seitlich schräg abgehobelt, und an den auf der Brücke liegenden Schienen sind sogenannte „Schienenknüppel“ befestigt (siehe auch Abb. 8), die über der Brücke herausragen. Bei geschlossener Brückenstellung ruhen sie auf gußstählernen Unterlegplatten auf den Widerlagerschwellen und überbrücken somit die Fuge im Gleis.

Wenn bei gehobener Brückenstellung durch irgendwelche Ursachen auf eine oder mehrere der genannten Unterlegplatten ein harter Gegenstand — zum Beispiel ein Kiesel — geraten sollte, würde die Brücke sich beim Schließen auf ihre Auflager absetzen, der betroffene Knüppel aber nicht. Trotzdem könnte aber, da die Brücke selbst genau in der richtigen Höhenlage liegt und die Schloßriegelführung nicht auf den Schwellen, sondern an der Stahlkonstruktion befestigt ist, der Schloßriegel in das Brückenschloß eingeklinkt werden. Deshalb ist an jedem Ende der Brücke eine quer zur Bahnachse auf Rollen

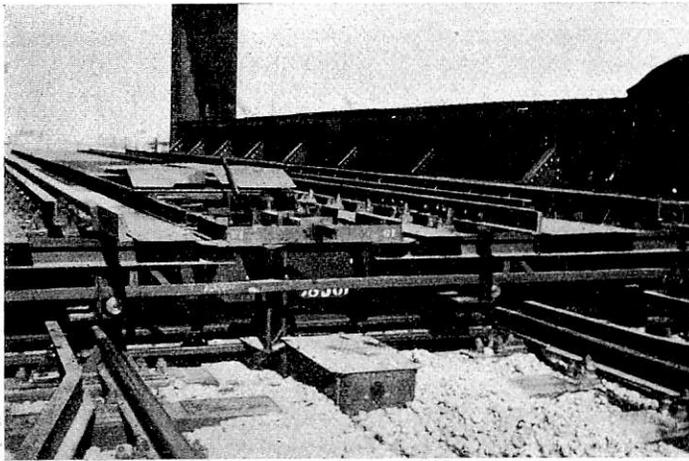


Abb. 8. Gleisverschluß.

verschiebbare Stange angeordnet, die mit vier Haken ausgestattet ist, die nur bei richtiger Höhenlage sämtlicher Schienen in entsprechende Löcher, die in fest mit den Schienen verbundenen Kloben angeordnet sind, eingreifen. Die Bewegung dieser Stangen ist natürlich mit der des Schloßriegels gekuppelt (Abb. 8).

Sowohl die feste Brücke wie auch die Hubbrücke sind in üblicher Weise mit Leitschienen (Z-Eisen) ausgestattet. Diese haben die Aufgabe, gegebenenfalls schon vor der Brücke entgleiste Achsen so sicher wie möglich über die Brücke zu führen.

Eine Hubbrücke muß auch noch die Forderung erfüllen, daß ein Teil ihres Gewichtes in geschlossener und befahrbarer Lage auf ihren Auflagern ruht. Mit anderen Worten: es darf sodann kein vollkommenes Gleichgewicht mehr bestehen zwischen der Brücke und ihren Gegengewichten. Wäre dies der Fall, so wäre ja die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß — zum Beispiel durch einen heftigen Windstoß — die Brücke in Bewegung geraten und sich von ihren Auflagern abheben könnte. Zwar würde diese Bewegung auf einige Millimeter beschränkt bleiben, da die Brücke an ihrem einen Ende durch das Brückenschloß verriegelt ist, am anderen Ende aber durch den Riegel, der durch den auf dem Widerlager befestigten Bügel hindurchgesteckt ist. Aber auch ein wiederholt auftretendes, geringes Spiel zwischen den oberen und unteren Auflagerteilen, das natürlich ein sogenanntes „Schlagen“ der plötzlich belasteten Enden der Brücke mit sich bringen würde, könnte auf die Dauer zu Beschädigungen der Hauptträgerenden wie auch der Auflager führen.

Bei der Hubbrücke zu Heerhugowaard ist dieser Forderung zum ersten Male in folgender Weise entsprochen: die beiden Gegengewichte in den südwestlichen Türmen haben je ein senkrechtes, in ihrer Mitte von oben bis unten durchlaufendes Loch, worin ein kleines Gegengewicht auf und ab bewegt werden kann. Das Gewicht der Hubbrücke ist gleich der Summe der Gewichte der vier großen und der zwei kleinen Gegengewichte, so daß während der Bewegung der Brücke ein vollkommenes Gleichgewicht besteht. Sobald aber die Brücke sich auf ihre Auflager absetzt, werden die kleinen Gegengewichte gehoben, wodurch das Gleichgewicht aufgehoben wird.

Abb. 9 bietet einen Einblick in das südwestliche Ende eines der beiden langen Kuppelträger. Im Vordergrund sieht man die von der in der Mitte des Maschinenraumes aufgestellten Bewegungsvorrichtung angetriebene Ritzelachse mit dem dar-

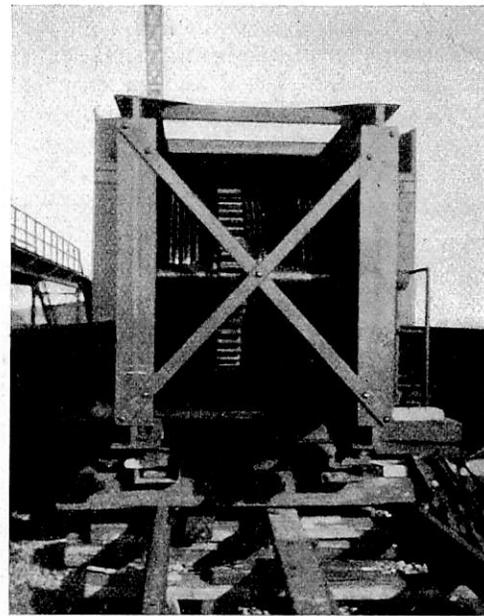


Abb. 9. Innenansicht eines langen Kuppelträgers.

auf festgekeilten Ritzel, dessen Zähne in die eines Zahnrades eingreifen, das auf derselben Achse wie die links und ganz rechts davon ersichtlichen Kabelräder der Hängekabel drehbar gelagert ist. Unmittelbar rechts von dem genannten Zahnrade befindet sich die damit fest verbundene Kabeltrommel des Aufhängekabels des kleinen Gegengewichtes. Jedes der kleinen Gegengewichte hängt nur an einem Kabel — ebenfalls ein Langschlagkabel — und hat somit die Neigung, sich zu drehen. Da der waagerechte Querschnitt dieser Gegengewichte ein Quadrat ist, und sie in den ebenfalls quadratischen Löchern der großen Gegengewichte auf und ab bewegt werden, ohne jedoch jemals ganz daraus herausgehoben zu werden, können die Kabel der kleinen Gegengewichte sich aber nicht entwinden. Für eine glatte Führung der kleinen Gegengewichte in den Löchern der aus mehreren Lagen dicker, gußeiserner Platten bestehenden großen Gegengewichte ist gesorgt. Führungsrollen sind dabei nicht vorgesehen, da die Reibung äußerst gering ist.

Die Nabe des Zahnrades und die der beiden Kabelräder greifen mit einem so groß bemessenen Spiel ineinander, daß, nachdem die Brücke sich beim Senken auf ihre Auflager abgesetzt hat und die Kabelräder sich somit nicht weiter drehen können, das Zahnrad noch über einen bestimmten Winkel weiter gedreht werden kann, wobei dann die kleinen Gegengewichte noch 15 cm gehoben werden. Wenn die Brücke geöffnet wird, senkt sich in jedem der südwestlichen Türme zuerst nur das kleine Gegengewicht, bis das obengenannte Spiel in den Naben

verschwunden ist, so daß die Kabelräder und damit auch die Brücke und die großen Gegengewichte gezwungen werden, sich an der Bewegung zu beteiligen.

Die Ritzelachsen sind mit der Achse der in der Mitte des Maschinenraumes aufgestellten Bewegungsvorrichtung durch

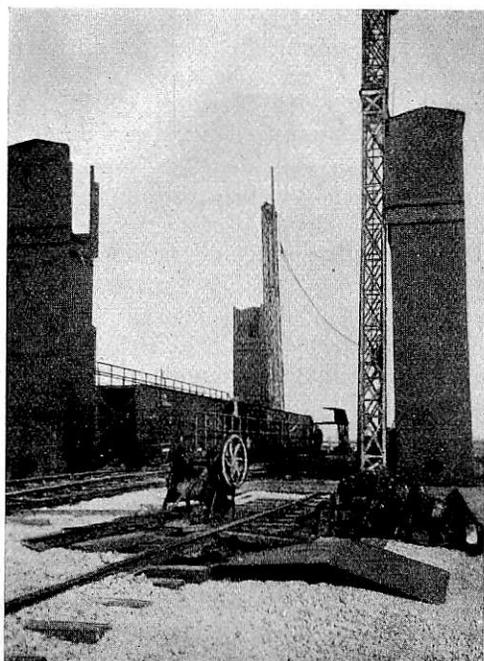


Abb. 10. Aufstellen der Ecktürme.

Kupplungen verbunden, die eine kleine Verschiebung und Verdrehung der Achsen gegeneinander gestatten (sogenannte Voith-Maurer-Kupplungen). Diese Anordnung ist gewählt mit Rücksicht auf die Möglichkeit kleiner Ungenauigkeiten bei der Aufstellung und des Auftretens von Stößen.

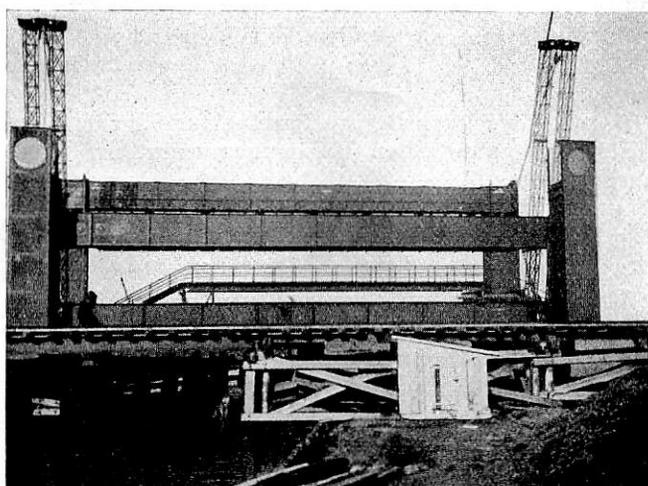


Abb. 11. Aufziehen der langen Kuppelträger; Längsansicht.

Sobald die Brücke sich ihrer höchsten Lage nähert, oder sobald nach dem Senken der Brücke die kleinen Gegengewichte ihre Endlage fast erreicht haben, schaltet ein selbsttätiger Schalter den Strom aus. Gleichzeitig wird die Bremse betätigt. Obendrein wird — ebenfalls durch einen selbsttätigen Schalter — die Bewegung, sowohl beim Heben wie auch beim Senken, während des letzten Teiles der Bewegung verlangsamt. Schließlich schaltet noch ein Notschalter den Strom aus, wenn beim Heben der Brücke die Gegengewichte infolge eines völligen oder

teilweisen Versagens des Endschalters sowie der Bremse ihre normale Endlage überschreiten sollten. Die Gegengewichte werden, wenn auch der Notschalter versagen sollte, auf Trägern abgefangen, die in die Türme eingebaut sind. Im gleichen Augenblick löst sich der Strombegrenzer dadurch aus, daß die

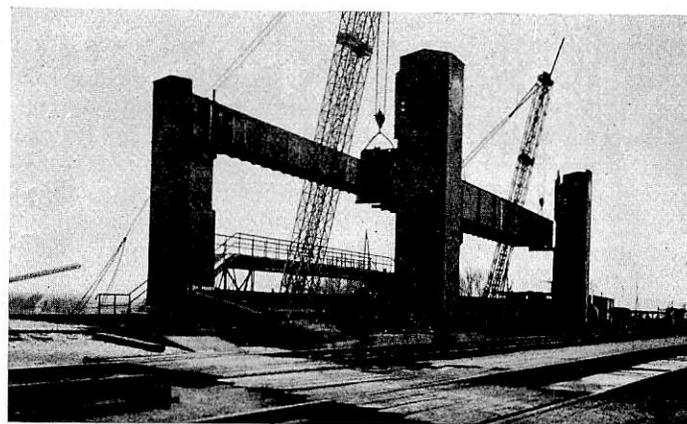


Abb. 12. Aufziehen der langen Kuppelträger, über Eck gesehen.

Stromstärke viel zu hoch ansteigt. Der Motor würde dann ja entweder das ganze Gewicht der Hubbrücke weiter heben oder aber die Kabelräder unter den schwer belasteten Kabeln weiter drehen müssen, wozu er natürlich nicht imstande ist. Wenn beim Senken der Brücke der Endschalter oder die Bremse oder beide versagen, löst sich der Strombegrenzer ebenfalls aus, sobald die kleinen Gegengewichte so weit gehoben worden

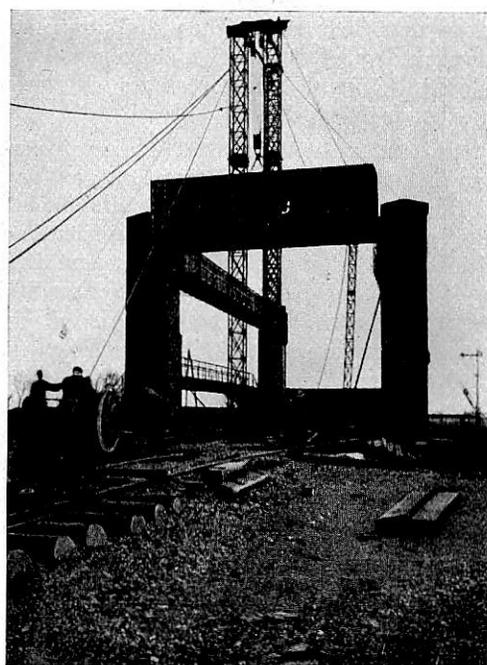


Abb. 13. Einsetzen des Maschinenhauses.

sind, daß bei einer weiteren Bewegung die großen Gegengewichte mitgehoben werden müßten, während die Brücke auf ihren Auflagern ruhen bliebe.

Man hätte natürlich das Übergewicht auf der Seite der Hubbrücke auch dadurch erzielen können, daß man ganz einfach die Brücke schwerer gemacht hätte als die Gegengewichte. Beim Heben der Brücke hätte man dann aber dieses Übergewicht über die ganze Hubhöhe heben müssen, und obendrein wären zu dieser vermehrten Hubarbeit gleichzeitig noch die

Widerstände aus Reibungen aller Art und aus der Steifheit der Kabel erschwerend hinzugetreten.

Durch die Anwendung der kleinen Gegengewichte fällt diese Gleichzeitigkeit fort, das Übergewicht braucht nur über einen kleinen zusätzlichen Weg gehoben zu werden. Dadurch konnte man mit einem schwächeren Motor und einer einfacheren Bewegungsrichtung auskommen, als es ohne Anwendung dieser kleinen Gegengewichte der Fall gewesen wäre.

Nach jeder Bedienung der Brücke wird die richtige Endlage der kleinen Gegengewichte dadurch nachgeprüft, daß beim Umlegen des Hebels, mit dem der Schloßriegel in das Brückenschloß eingreift, ein Hebelsystem in Bewegung gesetzt wird, wodurch sich ein auf Rollen geführter Schieber in den südlichen Turm einschiebt (Abb. 6). Die Bewegung dieses Schiebers wird durch den Turm hindurch auf eine Klinke übertragen, die nur bei richtiger Lage der kleinen Gegengewichte eine Aussparung in einer seitlich gegen die Kabeltrommel verstellbar befestigten Scheibe vorfindet. Das Nachstellen dieser Scheibe kann bei Kabeldehnungen nötig werden. Wenn die Bremse, nachdem die Brücke schon verriegelt ist, durchrutschen sollte, bleiben die beiden kleinen Gegengewichte in gehobener Stellung, da die Ritzelachse von einem Turm zum andern durchläuft. Eine der Wände der Aussparung im Rande der Scheibe stemmt sich sodann gegen die Klinke. Damit unter diesen Umständen die Klinke trotzdem aus der Aussparung herausgezogen werden kann, geschieht dies nicht in radialer, sondern in schräger Richtung.

Um zu erreichen, daß der Spalt, über den hinweg der Schieber in den Turm und der Riegel in das Brückenschloß eingreifen muß, von den Längenänderungen der Brücke bei Temperaturwechsel unabhängig wird, sind die festen Auflager der Brücke am südwestlichen Ende angeordnet. Aus dem gleichen Grunde ist es natürlich erforderlich, daß die südwestlichen Enden der langen Kuppelträger sich nicht gegen den Maschinenraum verschieben können. Deshalb sind auch diese Träger an dem gleichen Ende fest gelagert worden.

Wenn man die Brücke mit ausgeschobenem Riegel und ausgeschobenem Schieber senken würde, könnten natürlich am Ende der Bewegung allerhand Beschädigungen eintreten. Deshalb mußte es unmöglich gemacht werden, auf der gehobenen Brücke den Sicherungshebel umzulegen. In der Brücke ist hierzu am südwestlichen Ende ein senkrechter Stab als Fallsperr angeordnet, die an ihrem oberen Ende mit einem rechteckigen Auge eine waagerechte, zur Brückensicherung gehörige Stange umfaßt, während sie bei gehobener Brücke in einer Einkerbung dieser Stange hängt. Wenn die Brücke sich auf ihre Auflager setzt, findet die Fallsperr einen Halt und wird emporgedrückt, so daß sodann der Sicherungshebel wieder freigegeben wird.

Das Einschalten des Stromes zum Heben oder Senken der Brücke geschieht nicht in dem Maschinenraum, sondern mit einem Schalter, der sich hinter einem Türchen in der nordwestlichen Wand des südlichen Turmes befindet. Das Schloß sitzt neben diesem Türchen in der Wand des Turmes, und der Schlüssel steckt, wenn die Brücke befahrbar ist, in einem andern Schloß, aus dem er nicht entfernt werden kann, solange die Brücke verriegelt ist, und in dem er wieder stecken muß, wenn die Brücke verriegelt werden soll. Der Schalter kann nur bewegt werden, wenn der Schlüssel im Schloß neben dem Türchen steckt, und der Schlüssel kann daraus nur entfernt werden, wenn der Strom ausgeschaltet ist. Der einzige Fehler, den der Brückenwärter machen könnte, besteht darin, daß er vergißt, das Türchen zu schließen, aber das ist nicht schlimm, da er nicht versäumen kann, den Schlüssel wieder in das andere Schloß zu stecken; er würde dann ja vergebens versuchen, die Brücke zu verriegeln. Somit ist auch bei offenbleibendem Türchen gewährleistet, daß der verriegelten Brücke niemals

Strom zugeführt werden kann. Das Türchen ist somit nicht in die Sicherung aufgenommen, sondern dient lediglich dazu, den Schalter gegen Regen zu schützen.

Denselben Schlüssel benötigt der Brückenwärter, um die Handbewegungsrichtung, die sich im Maschinenraum befindet, benützen zu können, wenn infolge irgendeiner Störung die Stromversorgung aussetzen sollte. Dadurch ist es ebenso wenig möglich, die verriegelte Brücke mit Handkraft zu bewegen wie elektrisch, und obendrein ist es ausgeschlossen, daß ein anderer unten den Strom einschaltet, während der Wärter im Maschinenraum die Brücke von Hand bedient.

Um zu vermeiden, daß der Brückenwärter bei der Bedienung der Brücke sich — vielleicht sogar öfters — davon überzeugen müßte, ob die kleinen Gegengewichte schon bis in die richtige Höhenlage aufgezo-gen sind, ist im Maschinenraum ein Zeiger vorgesehen, der anzeigt, ob dies tatsächlich der Fall ist.

In dem unmittelbar an der Brücke stehenden Stellwerk befinden sich zwei verschiedene Schlüssel A und B, die durch einen Ring fest miteinander verbunden sind. Wenn die Brücke verriegelt ist und die Signale die Strecke freigeben — das ist die normale Signalstellung —, steckt Schlüssel A in dem Signalantrieb und kann daraus nur nach Änderung der Signalstellung entfernt werden. Umgekehrt muß der Schlüssel A wieder in diesen Signalantrieb gesteckt worden sein, wenn die Strecke wieder freigegeben werden soll. Schlüssel B muß in dem Bedienungsapparat des Hebels stecken, mit dem das Brückenschloß freigemacht wird, um diesen Hebel umlegen zu können, so daß der Riegel aus dem Bedienungsapparat herausgezogen werden kann. Er kann aus dem Brückenschloß erst dann wieder entfernt werden, nachdem später, und zwar nach dem Senken und Verriegeln der Brücke, durch Zurücklegen dieses Hebels das Brückenschloß wieder gesperrt worden ist, so daß der Riegel nicht herausgezogen werden kann. Natürlich paßt keiner der Schlüssel A und B auf das Schloß neben dem Türchen in der Wand des südlichen Turmes. Um die Brücke zu bedienen, muß der Brückenwärter also nacheinander die folgenden Vorrichtungen ausführen, die samt und sonders nur in der richtigen Reihenfolge möglich sind:

1. Die Strecke mittels der Signale sperren;
2. Schlüssel A aus dem Bedienungsapparat der Signale herausziehen;
3. mit den gekuppelten Schlüsseln A und B zum ebenfalls im Stellwerk aufgestellten Bedienungsapparat des Brückenschlosses gehen;
4. Schlüssel B in diesen Apparat stecken;
5. das Brückenschloß freigeben und zur Brücke gehen;
6. auf der Brücke den Sicherungshebel umlegen, wobei also der Riegel aus dem Brückenschloß und die Klinke oben im südlichen Turm aus der Aussparung in der Scheibe herausgezogen werden, während obendrein der auf der Brücke befindliche Schlüssel frei wird;
7. diesen Schlüssel benützen, um entweder den Schalter oder die Handbedienungsrichtung zugänglich zu machen;
8. die Brücke heben und sie, nachdem das Schiff oder die Schiffe durchgefahren sind, wieder senken;
9. den Schlüssel wieder an seine ursprüngliche Stelle bringen;
10. den Sicherungshebel auf der Brücke wieder zurücklegen (die Brücke verriegeln), was nur gelingt, wenn sowohl die Brücke selbst, wie auch alle acht Schienenenden in der richtigen Höhenlage liegen, und obendrein die kleinen Gegengewichte richtig gehoben worden sind;
11. im Stellwerk den Hebel des Apparates, womit das Brückenschloß freigegeben wurde, zurücklegen und dadurch dieses Schloß wieder sperren;
12. Schlüssel B aus diesem Apparat entfernen;

13. mit den gekuppelten Schlüsseln A und B zum Bedienungsapparat der Signale gehen;

14. Schlüssel A da einstecken;

15. mittels der Signale die Strecke wieder freigeben.

Jede bewegliche Brücke bleibt naturgemäß ein Gefahrenpunkt in der Eisenbahn; man darf aber vertrauen, daß der Leser nach Einblick in die getroffenen Sicherheitsmaßnahmen zu der Überzeugung gekommen sein wird, daß auch bei dieser Brücke angestrebt wurde, diese Gefahr auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß die an zwei von den vier Türmen befestigten Klettereisen dazu dienen, die Führungsrollen der Signaldrähte erreichen zu können, und daß die Türme nur unter ihren vier Ecken, also nicht ringsum, mit Mörtel unterstampft worden sind; dies, um zu verhüten, daß sich in den untersten Teilen der Türme Wasser ansammeln kann (Abb. 3 u. 4).

Die Abb. 10 bis 13 haben Bezug auf die Aufstellung, wobei zwei doppelte Montagemaste benützt wurden, die gerade lang

genug waren, um damit die langen Kuppelträger auf die Türme heben zu können. Die in der Werkstatt fix und fertig genieteten Unterteile wie Hauptträger, Querträger, Hubtürme, Maschinenraum, Kuppelträger usw. wurden mit der Bahn nach der Baustelle befördert. Der Eisenbetonboden mit der Grundplatte der Bewegungsvorrichtung und diese selbst waren bereits in der Werkstatt in den Maschinenraum eingebaut worden. Die Entladestelle lag an der unmittelbar südwestlich der Hubbrücke nach Broek op Langendyk abzweigenden Nebenstrecke, die täglich nur von wenigen Güterzügen befahren wurde.

Die Hilfsbahn mit Hilfsbrücke, die Unterbauten (Widerlager und Pfeiler der beiden Brücken) und das Leitwerk sind von der N. V. Aannemingsmaatschappij v. h. J. M. Stryland zu Uithoorn ausgeführt worden, die Aufbauten von der Firma Penn und Bauduin zu Dordrecht, wobei als Mitwirkende auftraten: die N. V. Groeneveld, van der Poll & Co.'s Electrotechnische Fabrik zu Amsterdam für den elektrischen Teil, die N. V. Rotterdamsche Yzer- en Metaalgietery v. h. A. Rademakers zu Rotterdam für den mechanischen Teil, und Herr J. Verhagen zu Rotterdam für die Aufstellung.

## Rundschau.

### Belastungsversuche an der gebogenen Eisenbetonbrücke über den Schwandbach, Kanton Bern.

Die Hochbergsgemeinden der Schweiz leiden an Landflucht. Sie brauchen Straßen, die nicht viel kosten. Ing. Maillart in Genf hilft hier seit Jahren, indem er Eisenbetonbrücken baut, die dadurch, daß sie im Grundriß bogenförmig gekrümmt sind (siehe Abb. 1 u. 2), sich dem Gelände ganz anschmiegen, wodurch die anschließenden, bei geraden Brücken so kostspieligen Einschnitte vermieden werden. Da Maillart nicht, wie es üblich ist, Gewölbe und Fahrbahn als voneinander unabhängige Tragwerke berechnet, sondern auf das Zusammenwirken beider Rücksicht nimmt, sind seine Brücken sehr leicht.

Das Gewölbe erhält im Längenschnitt die Form eines Vieleckes und wird sehr dünn gehalten. Im Grundriß gesehen folgt es auf der Innenseite des Bogens der gekrümmten Straßenfahrbahn, auf der Außenseite des Bogens wird es durch eine Tangente an die Fahrbahn begrenzt. Das Lehrgerüst kann sehr leicht gehalten werden, weil Maillart überdies die üblichen schweren Formen verläßt.

Das Gewölbe wird durch den Fahrbahnträger versteift, der im Grundriß bogenförmig der Straßenachse folgt. Die Fahrbahnstützen sind vollwandig und mit Gewölbe und Versteifungsträger fest verbunden.

Die Brücke fällt in die Gruppe der durch einen biegesteifen Hauptträger ausgesteiften Stabbogen, ist aber eigentlich ein räumliches Tragwerk, dessen genaue Berechnung derzeit noch Schwierigkeiten macht. Es sollte daher durch Belastungsproben festgestellt werden, inwieweit die vereinfachenden Annahmen der Rechnung zutreffen und vor allem sollte der Einfluß der Brückenkrümmung im Grundriß geklärt werden. Dieser Arbeit hat sich Prof. Roš, Zürich, unterzogen.

Zur Messung wurde ein Wagen von 12,5 t Gesamtgewicht verwendet. Er wurde an den Laststellen durch Pressen abgehoben, um die Wirkung einer Einzellast zu erreichen. Der Wagen wurde am Fahrbahnrand immer abwechselnd flußaufwärts und flußabwärts aufgestellt, um das Bauwerk möglichst einseitig zu belasten. Eine solche Belastung ruft in jeder Brücke Verdrehungen quer zur Fahrbahn hervor. Bei dieser Brücke wird durch Belastung flußaufwärts die Verdrehung erhöht, durch Belastung flußabwärts aber vermindert.

Messungen. Als größte lotrechte Durchbiegung im Scheitel ergab sich

a) bei flußaufwärtiger Belastung 1,80 mm flußaufwärts und 0,96 mm flußabwärts,

b) bei flußabwärtiger Belastung 1,15 mm flußaufwärts und 1,35 mm flußabwärts.

Im Scheitel betrug der Einfluß der einseitigen Belastung bei Laststand flußaufwärts (flußabwärts) bis zu 30% (8%) der mittleren Durchbiegung, der Einfluß der Brückenkrümmung im Grundriß betrug nur 11%. In den Gewölbevierteln war der Unterschied für die Belastung flußaufwärts und flußabwärts verhältnismäßig gering, der Einfluß der Krümmung sehr klein.

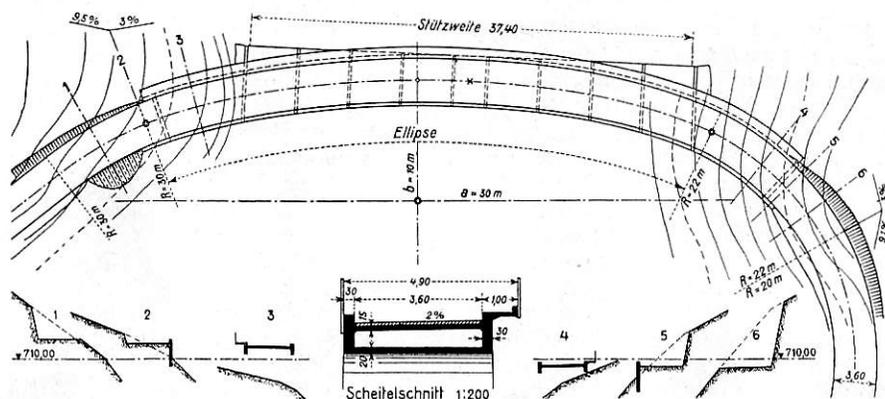


Abb. 1.

Es wurden auch die Drehungen in der Brückenlängsrichtung und quer dazu gemessen, dann auch die örtlichen Dehnungen (woraus sich die Spannungen errechnen lassen) im Stabbogen und im Fahrbahnträger.



Abb. 2.

Der Vergleich aller Messungen ergab als Einfluß der Brückenkrümmung 10 bis 20%, im Mittel 15%, d. h. die Verformungen auf der Oberwasserseite sind im Mittel um 15% größer, die auf der Unterwasserseite kleiner gegenüber dem Mittelwert. Durch Fahrten flußaufwärts und flußabwärts werden einseitige Verformungen bis zu 30% hervorgerufen. Der Einfluß der Brückenkrümmung ist daher bei dieser Brücke kleiner als der Einfluß der einseitigen Lastaufstellung.

Trotzdem also die Brücke im Grundriß verhältnismäßig

stark gekrümmt ist, weicht sie durch ihr Verhalten von dem einer geraden Brücke so unwesentlich ab, daß einfache konstruktive Überlegungen genügen, um den Einfluß der Krümmung gebührend zu berücksichtigen.

Vergleich der gemessenen mit den berechneten Verformungen. Die berechneten und gemessenen Einflußlinien stimmen im allgemeinen der Form nach gut überein. Der Größe nach ergeben sich einzelne rechnerische Werte bedeutend höher, aber doch nur bei jenen Stellen, wo die vereinfachenden Rechnungsannahmen gar zu weit von der Wirklichkeit abweichen. Z. B. zeigt sich, daß die Widerlager eben nicht vollkommen starr sind, sondern sich auch verformen. Ke-.

Schweiz. Bauztg. 1939, Band 113, Heft 5.

### Brückeneinbau auf einer nordamerikanischen Eisenbahn.

Auf der viergleisigen stark belasteten elektrischen Eisenbahnstrecke New York—Philadelphia sind in letzter Zeit eine Anzahl Planübergänge durch Unterführungen ersetzt worden. Die bei

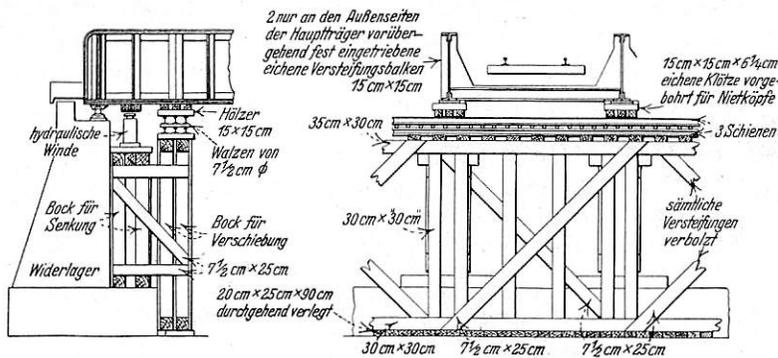


Abb. 1.

diesen Arbeiten gemachten Erfahrungen sind bei der letzten derartigen Bauausführung bei der Stadt Deans zu Verbesserungen benützt worden, insbesondere um die Störung oder Unterbrechung des Eisenbahnbetriebes auf ein Mindestmaß zu beschränken. Eine Erschwerung der Bauarbeiten trat dadurch ein, daß der Boden in einer Tiefe von 3 m unter SO. aus sehr festem Porphyr bestand. Die Bauausführung erfolgte in der Weise, daß die beiden Betonwiderlager unter den Betriebsgleisen mit den üblichen Absteifungen und Abfangungen ausgeführt wurden, während die Bodenmassen in der Fahrbahnöffnung zunächst stehen blieben. Gleichzeitig wurden die neuen Überbauten in zwei Teilen beiderseits der Bahnstrecke neben der Baustelle zusammengesetzt, um nach Fertigstellung in ihre endgültige Lage eingeschoben zu werden. Die Überbauten bestehen aus fünf vollwandigen eisernen Hauptträgern; die drei mittleren Hauptträger dienen also für je zwei benachbarte Gleise. Die Fahrbahn ist aus breitflanschigen I-Trägern gebildet, die von Beton umschlossen sind. Der erforderliche Höhenunterschied zwischen Schiene und Straßenoberfläche wurde durch Senkung der letzteren geschaffen; an den Steigungsverhältnissen der Eisenbahn ist nichts geändert.

Von besonderem Interesse ist die Art und Weise, wie die Einschiebung bewerkstelligt wurde. Wie vorerwähnt, wurden beiderseits der endgültigen Lage der Brücke auf der Nord- und Südseite der Bahnstrecke die Überbauten für je zwei Gleise auf kräftigen hölzernen Böcken fertiggestellt, die in für sie geschaffenen Ausschachtungen standen (Abb. 1). Diese Böcke setzten sich unter den Betriebsgleisen fort, um hier später als Stützen bei Einschiebung der Brücke in ihre endgültige Lage zu dienen. Vorher bildeten sie hier einen Teil der zum Bau der Widerlager erforderlichen Abstützungen der Betriebsgleise. Die Einschiebung wurde in der Weise bewerkstelligt, daß auf den Böcken drei aufrecht stehende nebeneinanderliegende Schienen befestigt waren. Auf den Schienenköpfen rollten eine Anzahl stählerner Walzen von  $7\frac{1}{2}$  cm Durch-

messer und 75 cm Länge, die in ihrer gegenseitigen Lage durch seitliche Stahlplatten gehalten wurden. Die Abstützung der Brücke auf die Walzen erfolgte dadurch, daß ein hölzerner Schwellenrost an der Unterseite der Hauptträger in der Nähe der Trägerenden angebracht wurde; an der Unterseite des Schwellenrostes waren drei Reihen Schienen mit ihrem Fuß nach oben befestigt, die ihrerseits auf den vorerwähnten Walzen rollten. Die Zusammensetzung der neuen Überbauten einschließlich Betonierung der Fahrbahn sowie Aufbringung der Bettung und des Oberbaues erfolgte auf den Montageböcken. Um die endgültigen Verbindungen des mittelsten Trägers erst nach Verschiebung beider Brückenhälften in ihre planmäßige Lage herstellen zu können, wurde die Betonierung der Fahrbahn vor der Verschiebung nur bis zu einem Abstände von je 60 cm beiderseits des mittelsten Hauptträgers ausgeführt und erst nach Herstellung der endgültigen Verbindungen des mittelsten Hauptträgers ergänzt. Aus der vorstehenden Schilderung ergibt sich, daß bei dem südlich des Bahnkörpers zusammengesetzten Überbau infolge Fehlens des mittelsten Hauptträgers während der Verschiebung die an ihn anschließenden Fahrbahnträger an ihrem einen Ende ohne Stütze waren. Vor der Verschiebung wurde deren Abstützung durch Unterklötzung bewerkstelligt. Während der Verschiebung wurden die Trägerenden (Abb. 2) an stählerne Kabel gehängt, die an dem äußersten Hauptträger befestigt waren. Unter den Trägerenden lag eine Längsschiene gleichlaufend mit der Brückenachse, die von den Kabeln getragen wurde. Um der Kabelneigung eine steilere Lage und damit bessere Tragfähigkeit zu geben, waren auf dem Obergurt des mittleren Hauptträgers drei Lagen von Holzbalken übereinandergelegt, über welche die Kabel geführt wurden.

Nach ihrer Zusammensetzung auf den Montageböcken lagen die Überbauten  $12\frac{1}{2}$  cm höher als in ihrer endgültigen Lage. Zu ihrer Senkung nach der Verschiebung waren auf den vorspringenden waagerechten Fundamenten der Betonwiderlager Holzböcke mit hydraulischen Winden aufgestellt; auf letzteren lagerten die Hauptträger der Überbauten.

Die Verschiebung der Überbauten geschah mittels einer waagrecht liegenden, durch einen Motor angetriebene Windevorrichtung, wobei abwechselnd eine Trägerhälfte als Verankerung für Verschiebung der anderen diente. Diese Arbeit wurde an zwei auf-



Abb. 2.

einanderfolgenden Tagen ausgeführt und erforderte jedesmal die Außerbetriebsetzung der beiden unterbrochenen Gleise auf weniger als 4 Std.

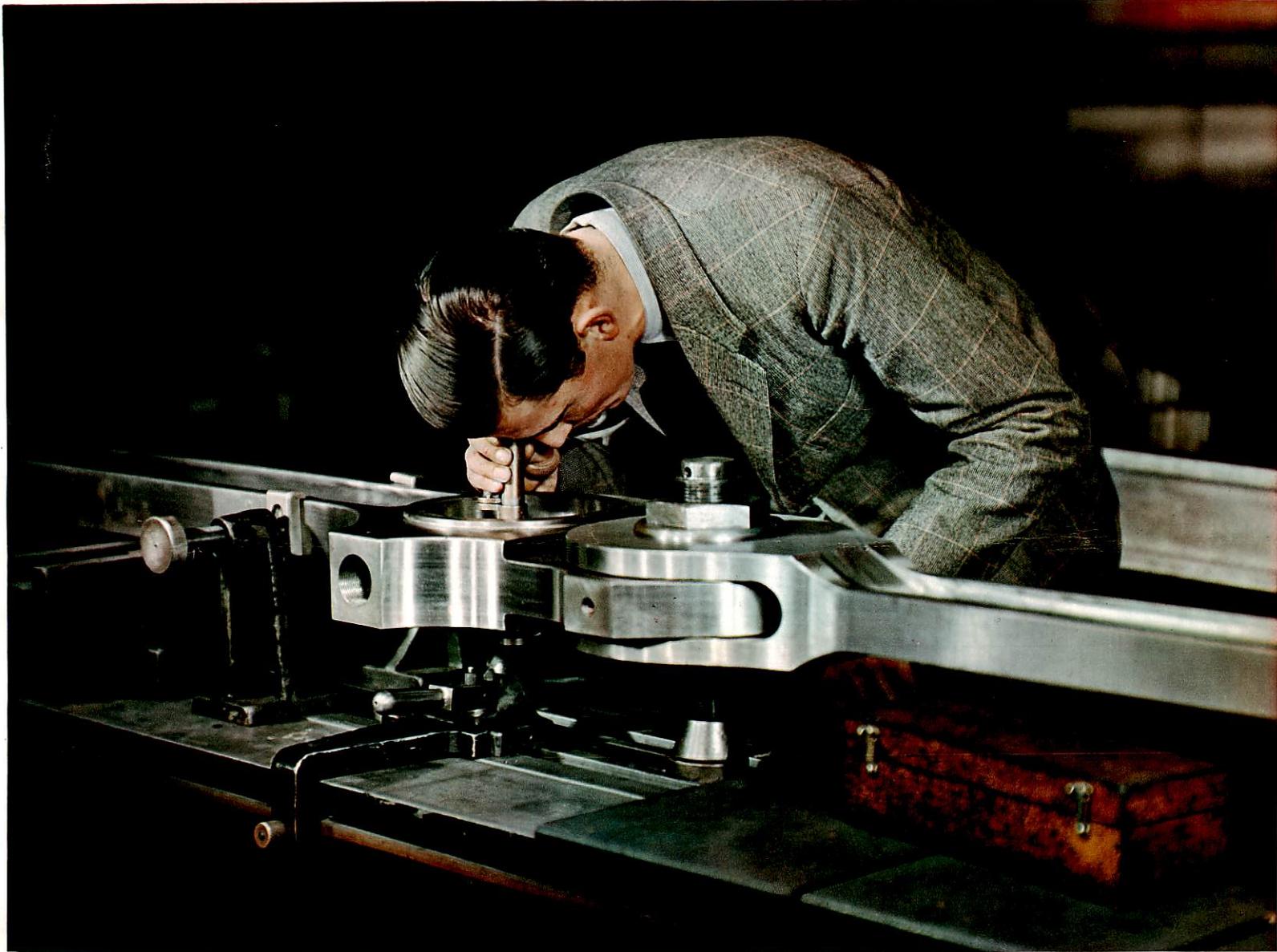
Der in der Fahrbahnöffnung verbliebene Porphyr wurde durch Sprengungen beseitigt, die jedoch zur Schonung des Bauwerks mit leichten Ladungen ausgeführt wurden. Während der Sprengarbeiten waren die Widerlager und Flügelmauern durch Wände aus kräftigen Brückenhölzern geschützt. Sr.

Rly. Age.

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen.

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.

Als Herausgeber verantwortlich: Abteilungspräsident a. D. Dr. Ing. Heinrich Uebelacker in Nürnberg. — Verlag von Julius Springer in Berlin. Druck von Carl Ritter & Co., Wiesbaden.



DER ABNAHME-BEAMTE



HENSCHEL & SOHN GMBH · KASSEL