

DIE BAUTECHNIK

Alle Rechte vorbehalten.

Fußwegbrücke über Eisenbahn und Autobahn.

Von Reichsbahnrat Dr.-Ing. Carl Schmitt.

Südlich von zwei Städten erstreckt sich ein ausgedehnter Mischwald, zum Teil mit dichtem Unterholz bestanden, dessen westliche Randzone von der Reichsautobahn durchfahren wird. In dem Bestreben, den Bodenbestand dieses für die Erholung der Bewohner der Stadtgemeinden wertvollen Gebietes zu schonen, umging man den Wald, legte die Reichsautobahn in die Spur eines vorhandenen Verkehrsweges und führte sie im Anschluß hieran entlang der Reichsbahn-Güterzugumfahrstrecke (Abb. 1). Wegen der Blendgefahr wurden die beiden Verkehrslinien durch einen 4 m hohen Damm voneinander getrennt, dessen 10 m breite Krone durch Anpflanzungen von Laubholz und Strauchwerk noch eine zusätzliche Abschirmung erhielt. Beide werden, im Einschnitt und in Krümmungen von rd. 1000 m Halbmesser liegend, unter einem Winkel von $62^\circ 26'$ von einem 6 m breiten Fußweg gekreuzt.

Über den um 6% einseitig geneigten Fahrbahnen der 24 m breiten Reichsautobahn war ein Verkehrsband von 4,5 m Höhe, über den Reichsbahngleisen ein solches von 5,5 m vorzusehen (Abb. 2a). Für die Lage und Führung der Unterkante der künftigen Überbrückung war, wie aus Abb. 2a ersichtlich, bestimmend die Umgrenzung des letztgenannten Freiraums und eine zur Entwässerung des Fußweges zweckmäßige Neigung von 1:100, die sich zugleich der örtlichen Geländeneigung anpaßte.

Einige Entwurfslösungen der Fußwegüberbrückung, die sich auf dieser Grundlage aufbauen, sollen nunmehr kurz besprochen werden. Zum besseren Vergleich ist für die Bauwerke 2b bis 2d die gleiche Belastung, eine Gesamtlänge von 94 m und die gleiche Durchbildung der Fahrbahn vorgesehen worden, entsprechend dem ausgeführten Entwurf 2e (s. hierzu Abb. 4).

Entwurf 2b. Die Fahrbahn wird gelagert auf zwei 85 cm hohen Stahlträgern, die auf fünf stählerne Pendelrahmen und die beiden Endwiderlager abgestützt sind. Den Vorzügen einer geringen Bauhöhe (1,15 m), wodurch die beiderseitigen Wegerampen recht niedrig werden, und des kleinsten Stahlverbrauchs mit 110 t, d. s. 195 kg/m², steht als Nachteil gegenüber die Anordnung von Zwischenstützen innerhalb der stark gekrümmten Verkehrswege, was besonders bei der Reichsbahn eine störende Einengung der Gleisführung zur Folge hat. In schönheitlicher Hinsicht nicht befriedigend ist das

nahe Hinweggleiten des Überbaues über die verhältnismäßig breite Dammkrone, ohne daß man sich diesen natürlichen Stützpunkt zunutze macht.

Entwurf 2c. Der ersterwähnte Mangel ist durch die Beseitigung der störenden Rahmenstützen behoben, dafür muß jedoch eine erhebliche Vergrößerung der Bauhöhe (1,75 m) und des Stahlgewichts (140 t, d. s. 248 kg/m²) in Kauf genommen werden. Der Mittelteil des Blechbalkens lastet jedoch nunmehr in verstärktem Maße über dem Damm.

Entwurf 2d. Dieser Mangel wird beseitigt durch das Herausrücker der Mittelabstützungen — die jetzt massiv auszubilden sind — in die Kanten der Dammkrone. Hierdurch wird die Bauhöhe (1,85 m) und auch das Gewicht der Hauptträger noch etwas größer. Die bei der nahen Lage der Mittelstützen schon recht wirksame Trägereinspannung im Mittelfeld ist also nicht imstande, die erhebliche Vergrößerung der Stützweiten in den Randfeldern völlig auszugleichen. Das Gesamtgewicht der Stahlüberbauete ist durch den Wegfall der beiden Pendelrahmen auf 135 t, d. s. 240 kg/m², zurückgegangen.

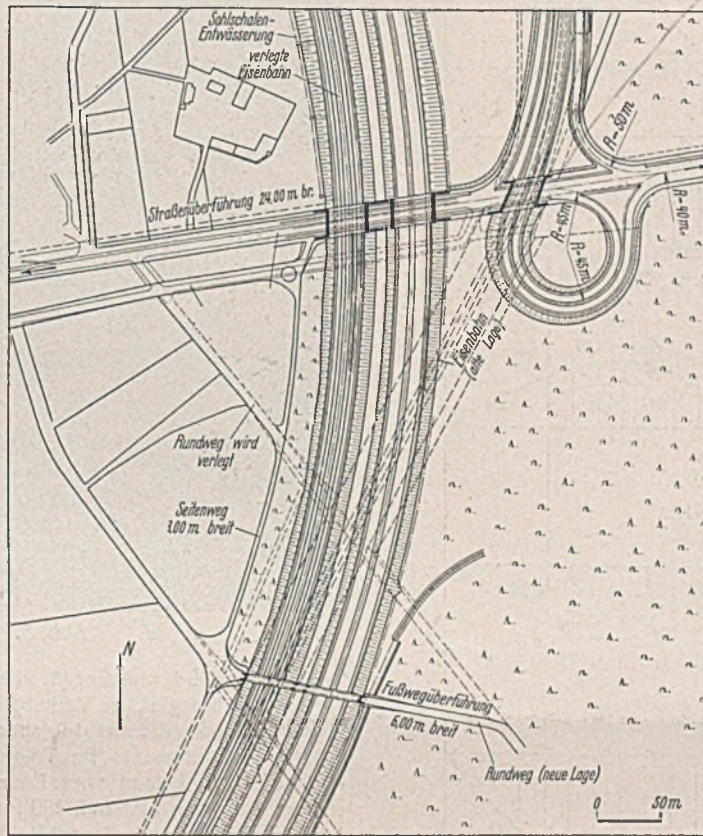


Abb. 1. Lageplan.

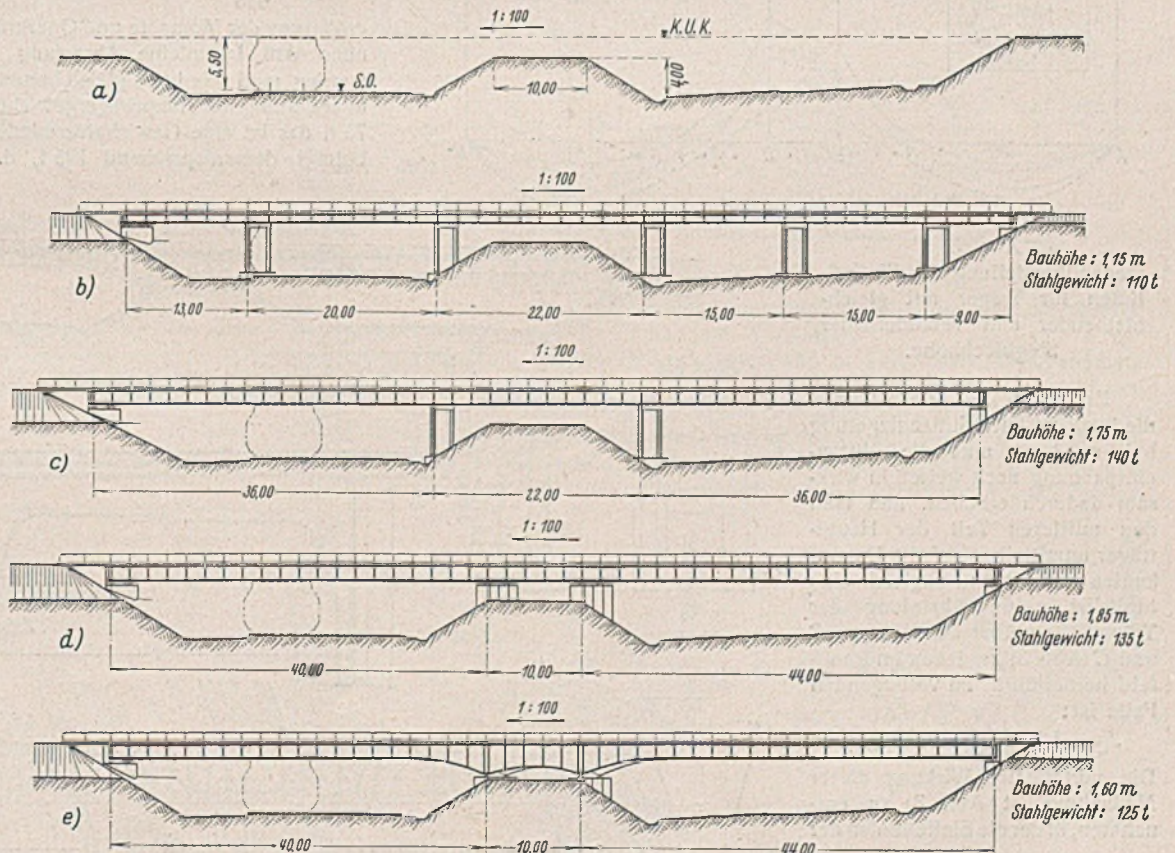


Abb. 2. Entwurfsentwicklung.

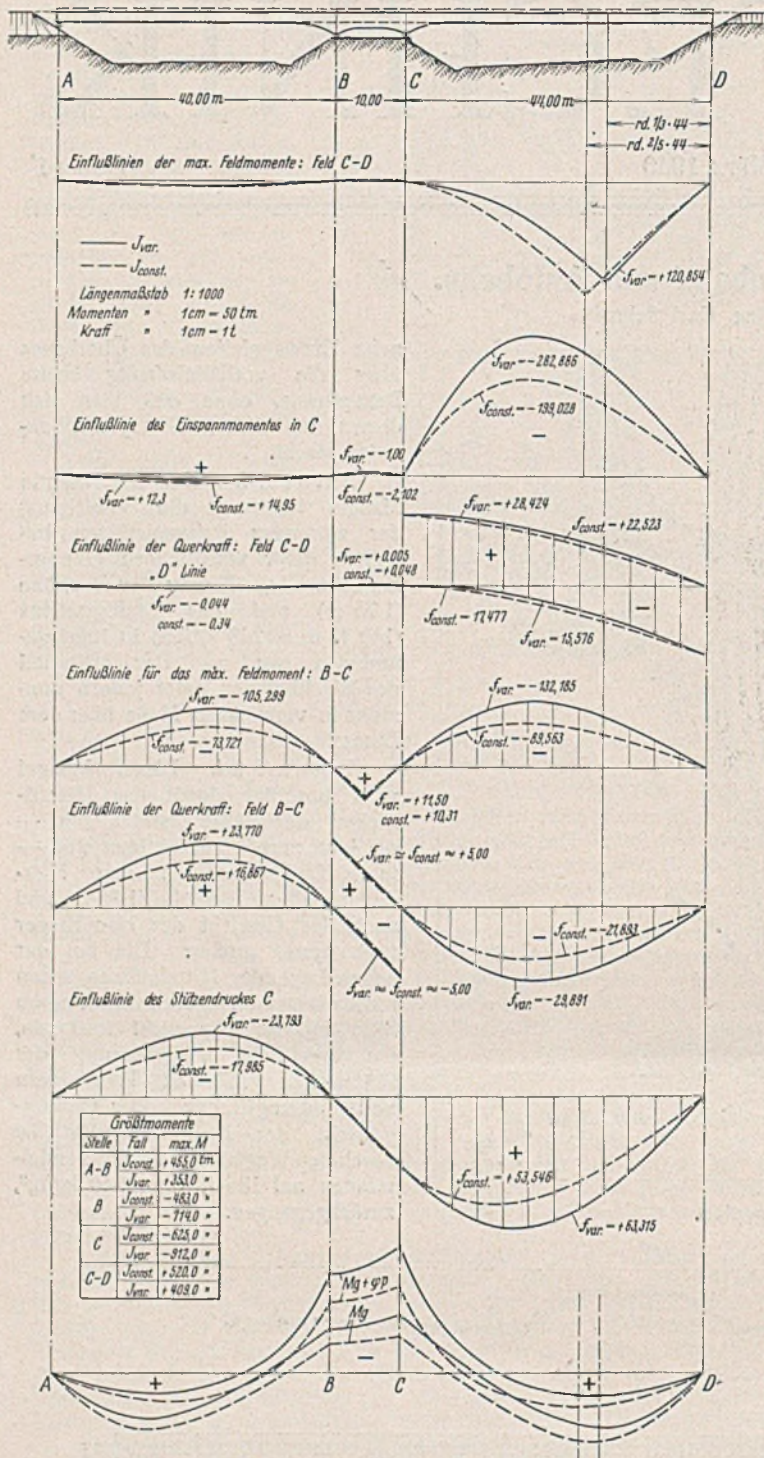


Abb. 3.

Gegenüberstellung der Einflußlinien für Träger mit gleichbleibender und veränderlicher Stegblechhöhe.

Entwurf 2e. Behält man die letzterwähnte Stützenlagerung bei, so kann man die Mitteneinspannung noch weiterhin wirksam dadurch erhöhen, daß man den mittleren Teil der Hauptträger unmittelbar auf die Dammkanten aufsetzt und zugleich eine tunlichst große Abstufung der Trägerhöhen über den Stützen B und C (Abb. 3) zu denen im Randfeld herbeiführt. Im vorliegenden Falle ist:

$$J_C = 1,8 J_{B-C} = 5,5 J_{C-D}$$

Die vorteilhafte Wirkung dieser Maßnahme ist Abb. 3 zu entnehmen, in der die Einflußlinien der

Abb. 4. Entwurfsübersicht

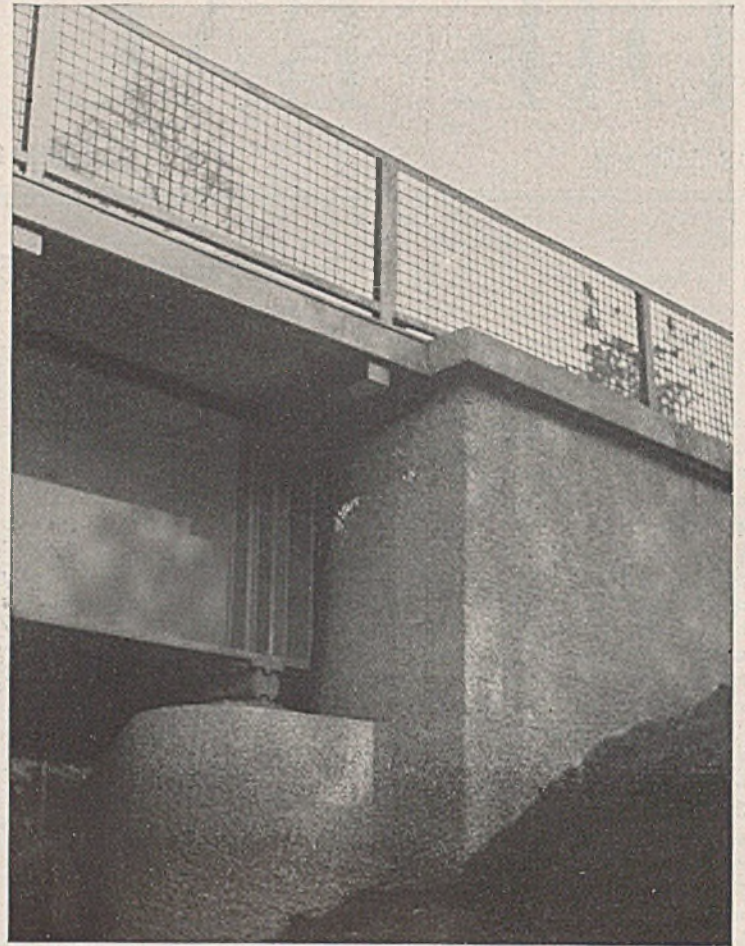
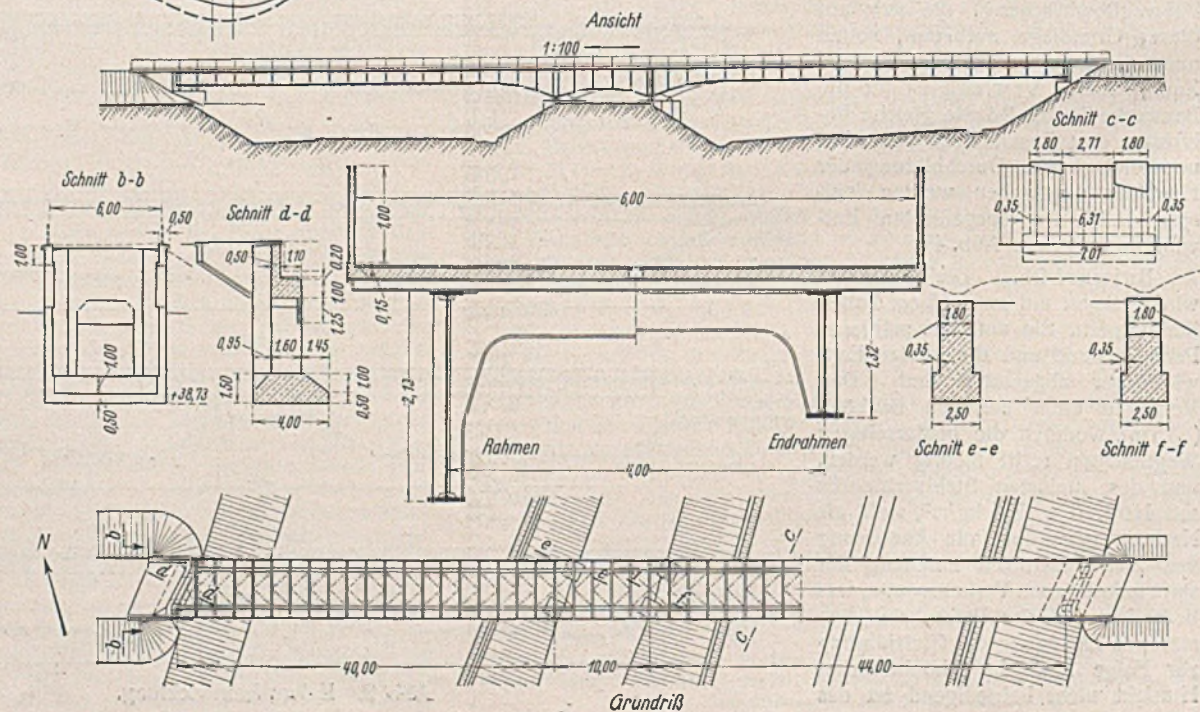


Abb. 5. Endauflager.

Trägerformen 2d und 2e für die Momente und Querkräfte sowie die Größtwerte bei gleicher Verkehrsbelastung gegenübergestellt sind.

Wir heben hieraus folgendes besonders hervor. Die Stelle des größten Feldmoments im Trägerteil C-D verschiebt sich von etwa $\frac{2}{5} l$ auf $\frac{1}{3} l$ Abstand vom Endauflager. Das Feldmoment selbst verringert sich von 520 auf 409 tm, also um 21%, die Trägerhöhe von 1,55 auf 1,32 m und die größte Durchbiegung bei ruhender Verkehrslast von $f = \frac{l}{645}$ (Fall 2d) auf $f = \frac{l}{880}$ (Fall 2e). Dabei wird die Vergrößerung der Momente und Querkräfte im Mittelstück B-C aufgenommen, ohne daß irgendeine Abstufung der Gurtplattendicken vorgenommen werden muß wie beim gleich hohen, durchlaufenden Träger. Eine Gegenüberstellung der Hauptträgergewichte ergibt für Form 2d 85 t, für Form 2e 75 t, das ist eine Gewichtsverminderung von 12%. Das Gesamtgewicht beträgt dementsprechend 125 t, d. s. 221 kg/m². Die Form 2e ist in



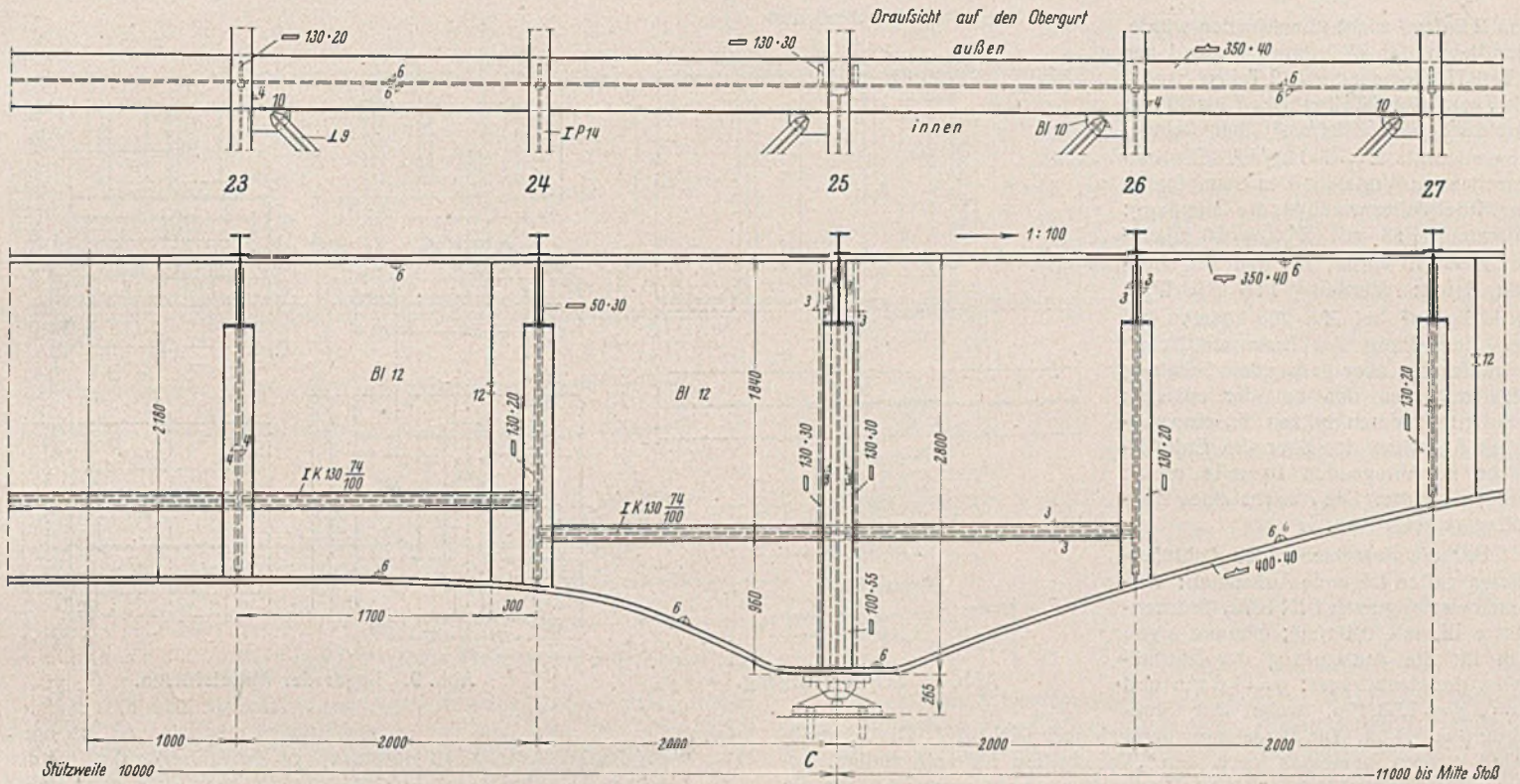


Abb. 6a.

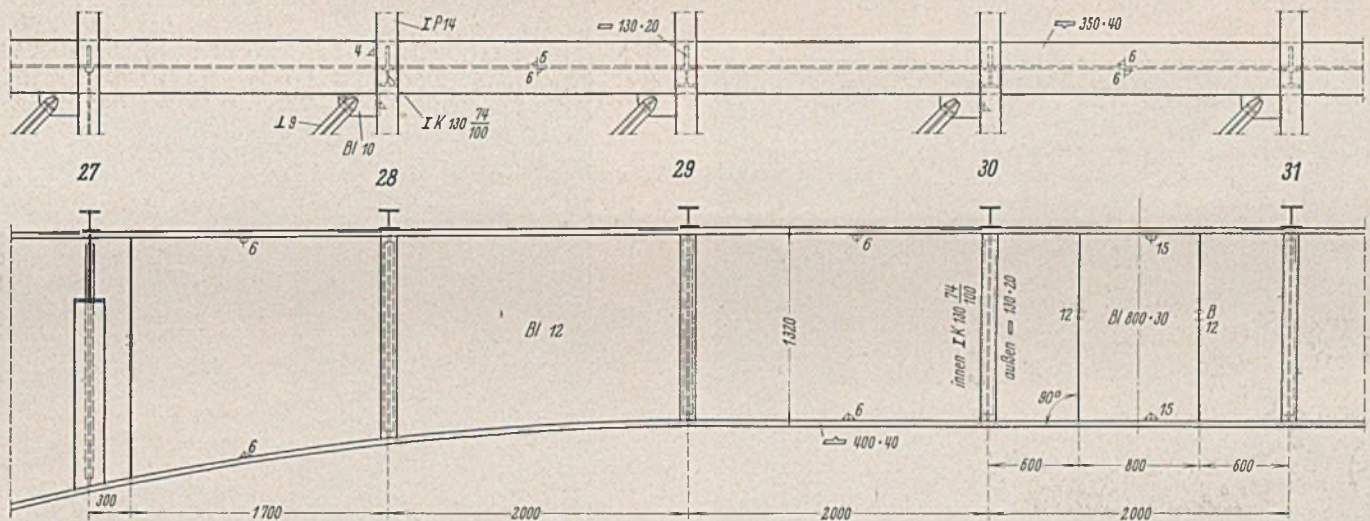


Abb. 6b.

technischer, wirtschaftlicher und schönheitlicher Hinsicht dem in gleicher Höhe durchlaufenden Träger überlegen; sie wurde der endgültigen Ausführung zugrunde gelegt.

Der Übersichtsplan (Abb. 4) zeigt in Ansicht, Grundriß und Querschnitt

die Durchbildung wesentlicher Teile der Stahlüberbauten und der Pfeiler und Widerlager.

Die Endwiderlager sind in aufgelöster Eisenbetonbauweise hergestellt worden mit nach hinten ausgekragten kleinen Parallelfügeln. Sie wurden auf dem unter einer Lößlehmschicht von 3 bis 4 m Mächtigkeit anstehenden, tertiären Feinsand gegründet, wobei wegen der Empfindlichkeit des Überbaues gegen ungleiche Stützensenkungen ein Bodendruck

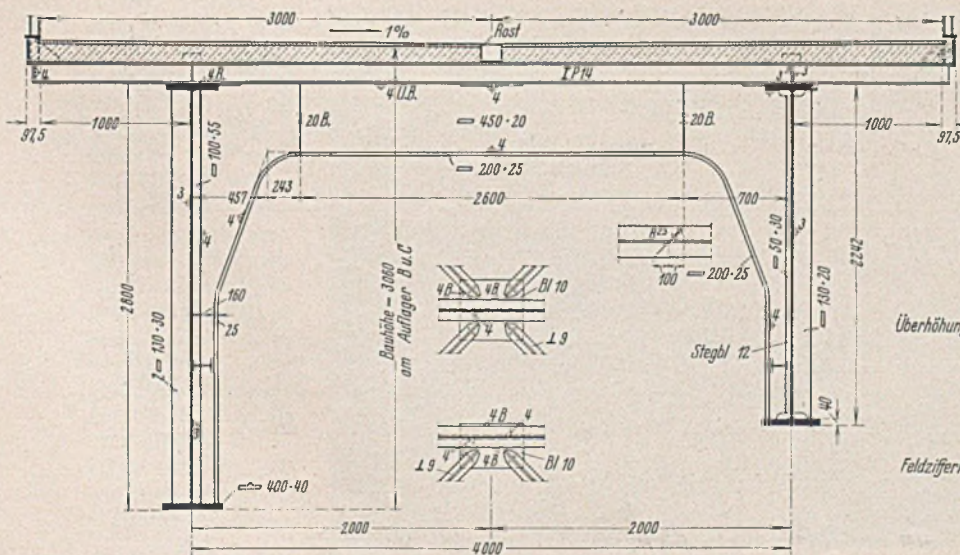


Abb. 6c.

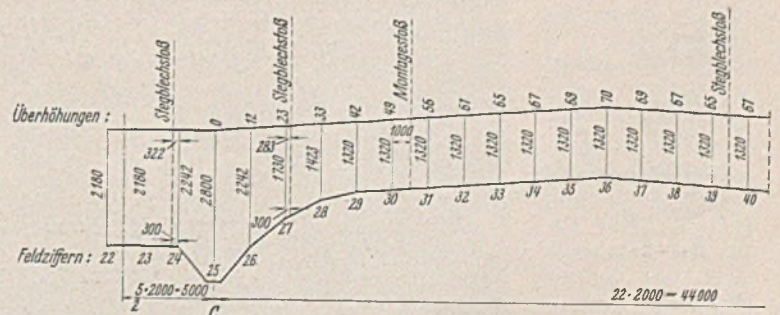


Abb. 6d.
Abb. 6a bis d. Östliche Hälfte des Hauptträgers.

von 2 kg/cm² nicht überschritten wurde. Der Beton der Widerlager bestand aus 1 Teil Hochofenzement, 2 Teilen Sand 0 bis 7 mm und 3 Teilen Kies 7 bis 30 mm mit $W_{b28} = 150 \text{ kg/cm}^2$ bei einem Zementzusatz $Z = 300 \text{ kg/m}^3$. Die entsprechenden Werte für den Stampfbeton der Mittelpfeiler waren für die Gründung: Mischung 1:8 mit $W_{b28} = 60 \text{ kg/cm}^2$ bei $Z = 170 \text{ kg/m}^3$, für den aufgehenden Beton: Mischung 1:6 mit $W_{b28} = 80 \text{ kg/cm}^2$ bei $Z = 200 \text{ kg/m}^3$. Bei der Herstellung der Betonsichtflächen wurde rauhe, aber gespundete Schalung verwendet, so daß bei der späteren Bearbeitung durch Spitzten ein einwandfreies Aussehen der über die Erdoberfläche hervorragenden Bauteile erzielt werden konnte. Die Ansicht eines Endauflagers zeigt Abb. 5.

Für die Berechnung der Stahlüberbauten galten folgende Annahmen: Verkehrsbelastung nach DIN 1072, Brückensklasse III, mit 0,4 t/m²; hieraus ergab sich für die Auswertung der Einflußlinien der Hauptträger: $g = 1,6 \text{ t/m}$ und $q = \varphi p = 1,68 \text{ t/m}$, wobei der Stoßfaktor $\varphi = 1,4$ ist. Die Berechnung geschah nach DIN 1073. Die Schweißnähte wurden bemessen nach den „Vorschriften für vollwandige, geschweißte Straßenbrücken“. An Werkstoffen wurde verwendet für die Hauptträger St 52, für die Fahrbahn, Rahmen und Aussteifungen St 37, für die Lager Stg 52.81 S und für die Lagerrolle St C 35.61.

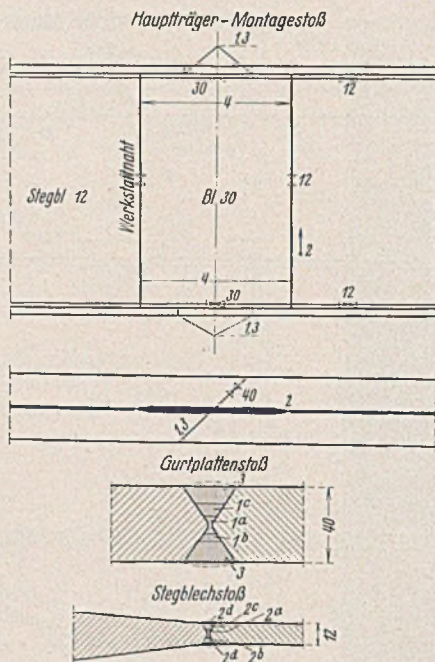


Abb. 8. Schweißvorgang.

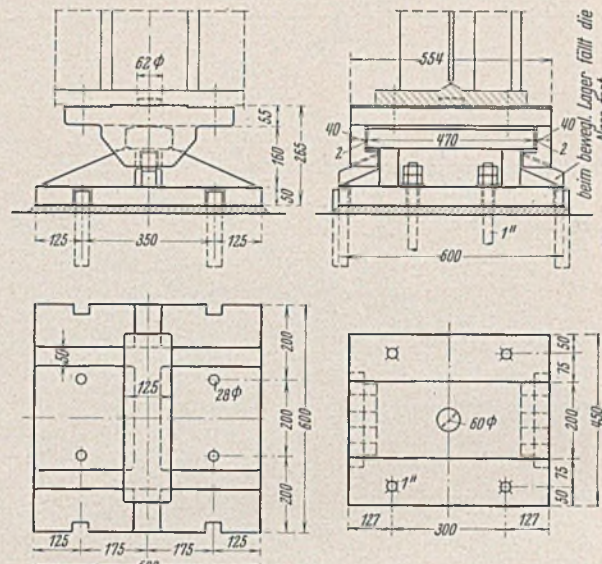


Abb. 9. Lager der Mittelstützen.

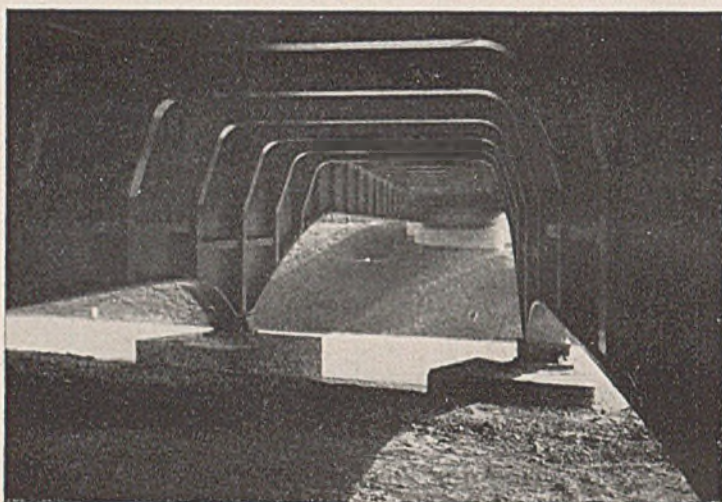


Abb. 7. Durchsicht in Längsrichtung der Brücke.

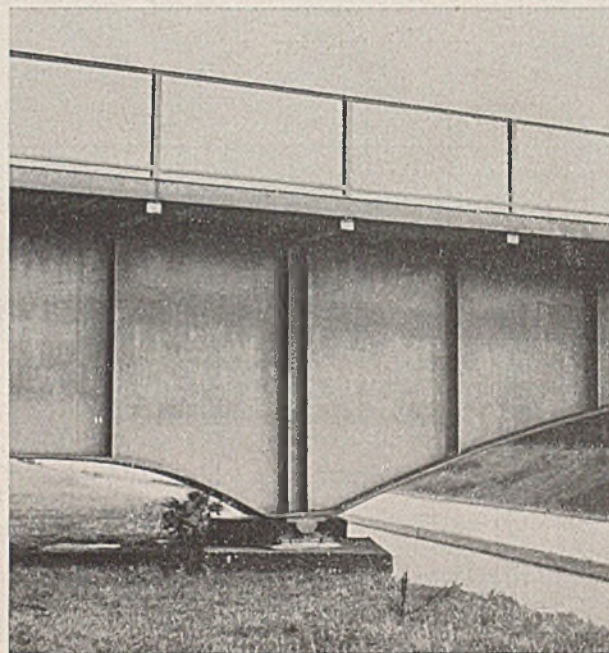


Abb. 10. Mittelstütze.

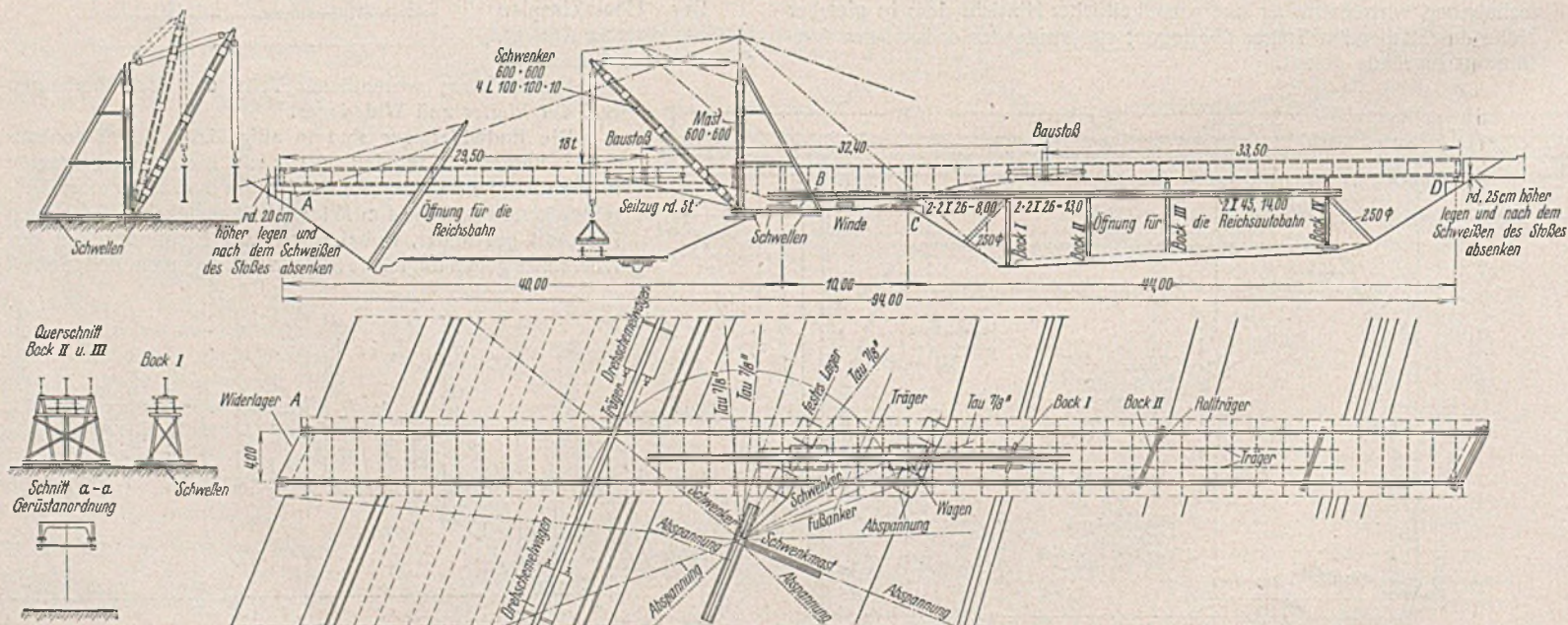


Abb. 11. Aufstellen der Brücke.

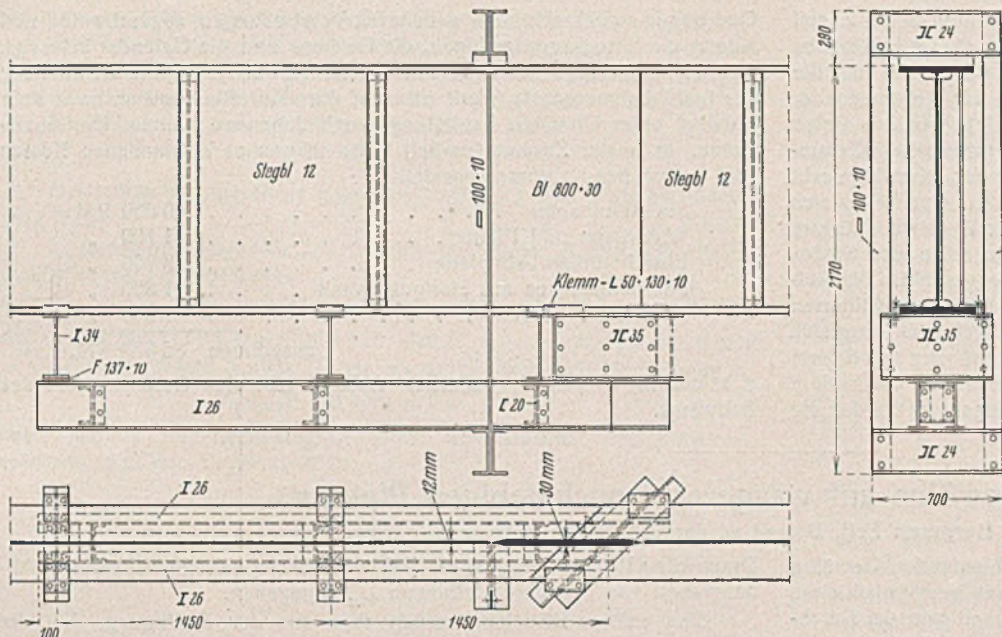


Abb. 12. Klemmvorrichtung zum Schweißen.

Der stählerne, vollständig geschweißte Überbau hat zwei Hauptträger der Form 2 e, die bei einem Abstände von 4 m, dem Kreuzungswinkel von $62^\circ 26'$ entsprechend, gegeneinander gestaffelt angeordnet sind. Auf ihren Obergurten, und zwar senkrecht zu ihnen, sind in Entfernungen von je 2 m Querträger IP 14 aufgeschweißt, die beiderseits 1 m überkragen. Zwischen den Hauptträgern in Höhe des Untergurtes der Querträger verläuft in ganzer Brückenlänge ein K-förmiger Windverband, der durch Rahmen im Mittelteil des Überbaues und an den Brückenden seine Kräfte an die Auflager abgibt (Abb. 4). Über die Querträger ist in Brückenlängsrichtung eine 10 bis 13 cm dicke Eisenbetondecke gespannt, auf der, getrennt durch einen kalten Bitumenvoranstrich und eine Papierlage, die 2 cm dicke Hartgußasphalt-Verschleißdecke aufgebracht wurde.

Hinsichtlich der baulichen Durchbildung der Hauptträger genügt es, die östliche Hälfte B—C—D zu betrachten, von der Abb. 6 eine Innenansicht wiedergibt. Die Gurtungen der Hauptträger bestehen durchgehend aus Wulst-Flachstahl nach Dörnen,

$\varnothing 350 \cdot 40$ mit Ausnahme der Untergurtplatte zwischen den beiden

Gesamtstößen in Feld 14—15 und Feld 30—31, wo zur genügenden Sicherung gegen Ausknicken der Gurte auf Feldlänge Profile gleicher Art, jedoch $\varnothing 400 \cdot 40$ verwendet wurden. Die großen Druckkräfte in der unteren Zone des Mittelstückes B—C erforderten die Anwendung besonderer Druckstreifen I,

K 130 $\frac{74}{100}$ zur Aus-

steifung des nur 12 mm dicken Stegblechs und von Rahmen zur Sicherung des Untergurtes zwischen den Netzpunkten 18 bis 27. Abb. 7, die die Durchsicht in Brückenlängsrichtung vom Blenddamm aus darstellt, läßt Einzelheiten dieser Aussteifung gut erkennen.

Nunmehr soll an Hand der Abb. 8 der Arbeitsvorgang beim Schweißen des Montagestoßes, Feld 30—31, kurz erläutert werden:

1. Gleichzeitiges Schweißen der schrägen Gurtstöße.
 - a) Legen der Wurzellage von oben,
 - b) Gegenseite halbvoll schweißen,
 - c) Wurzel 1 a auskreuzen und ebenfalls halbvoll schweißen.
2. Schweißen der Stegblechnähte von unten nach oben.
 - a) Wurzellage lagern,
 - b) Gegennaht halbvoll schweißen,
 - c) Naht 2 a auskreuzen und schweißen wie zu b,
 - d) beiderseits fertigschweißen.
3. Vollschweißen der Gurtplatten.
4. Schweißen der Halsnähte.

Während des Schweißens der Wurzellagen 1 a wurde der Stoß mit Hilfe von Seilzügen und Winden unter eine Zugvorspannung von rd. 5 t gesetzt zur Verringerung der auftretenden Schrumpfspannungen. Außer

den beiden Gesamtstößen waren in jedem Träger, im besonderen wegen der starken Stegblechabstufungen, noch sechs Stegblechstöße erforderlich, die in der Werkstatt als einfache X-Nähte, wie vor unter Ziffer 2, hergestellt wurden. Jeweils nach Fertigstellen eines Stoßes wurden die Nahtübergänge mit Feile bzw. Schmirgelstein sorgfältig begeschliffen.

Die Lager der Mittelstützen B und C mußten, wegen des besonderen Kräfteangriffs, abweichend von der üblichen Ausführung hergestellt werden (Abb. 9). Die obere Stahlgußplatte des Lagers B, wo bei ungünstigster Belastung eine Zugkraft von 11,2 t auftreten kann, erhielt hakenförmige Ansätze, die beiderseits unter die Auflagerschwelle des unteren Lagerkörpers greifen. In Aussparungen dieser Ansätze greifen bei dem Lager B außerdem noch seitliche Nocken $40 \cdot 40 \cdot 125$ der unteren Platte ein;

sie fallen bei dem längsbeweglichen Lager C weg. Dieses Lager erhält jedoch die größte Auflagerdruckkraft von 170 t. Die zur Aufnahme derartiger Kräfte erforderliche verstärkte senkrechte Aussteifung über C und B ist auch in architektonischer Hinsicht recht wirkungsvoll, wie Abb. 10 zeigt.

Den Vorgang beim Aufstellen der Brücke entnehmen wir Abb. 11. Die einzelnen Bauteile wurden auf dem östlichen Gleis der Eisenbahnstrecke auf Drehschemelwagen

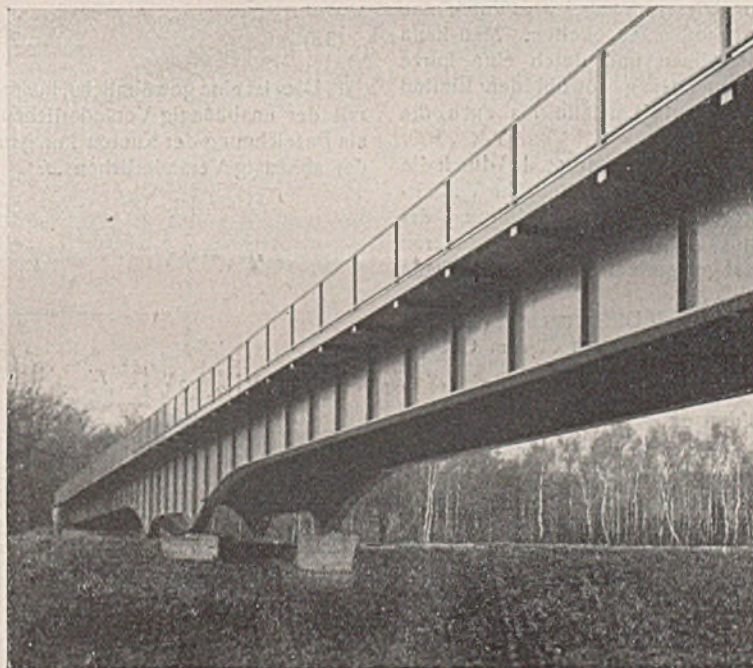


Abb. 13. Schrägsicht.

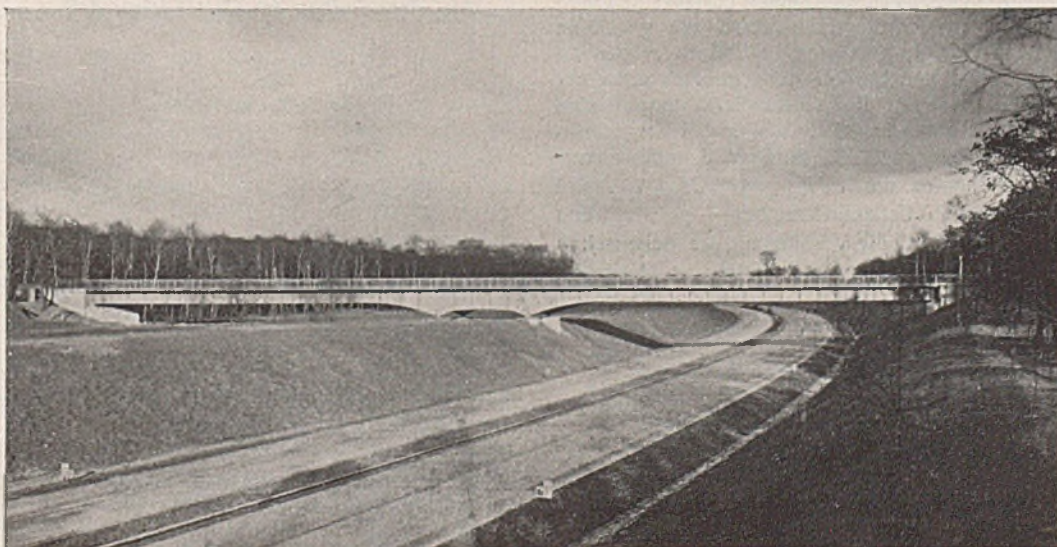


Abb. 14. Gesamtansicht des Bauwerks.

angefahren und mittels Ausleger und Schwenkmast entladen. Zuerst wurden die Trägerendstücke des Feldes C—D auf die Arbeitsbühne gehoben und bis zum Endauflager verschoben. Darauf setzte man die Mittelstücke B—C auf ihre Lager ab und versteifte sie gegeneinander durch den Einbau der Rahmen und des Windverbandes. An den freien Enden brachte man nunmehr die auf Abb. 12 dargestellte Klemm- vorrichtung an, mittels derer die vorerwähnten Endstücke schweißgerecht angeschlossen werden konnten. Hierzu mußten sie, zum Ausgleich ihrer Durchbiegung aus Eigengewicht, am Auflager D etwa 250 mm über der Sollage festgelegt werden. Nach dem Schweißen des Stoßes wurde das Trägerende dann in seine endgültige Lage gesenkt. Die Auf- stellung der Hauptträger im Felde A—B entsprach dem eben geschilderten Vorgang. Hierzu sei noch bemerkt, daß die Randträger zum Ausgleich der gesamten ständigen Last eine entwurfsgemäße Überhöhung von 51 mm im Felde A—B und von 70 mm im Felde C—D erhielten. Nach dem Einziehen der restlichen Windverbände mittels Verschraubung wurden die

Querträger aufgebracht, die genannten Verstrebrungen angeschweißt und zuletzt die Entwässerungsrinnen, die Gesimse und die Geländer befestigt. Abb. 13 bringt eine Schrägansicht der fertigen Brücke. Die Ausführung der Stahlüberbauten im Werk und auf der Baustelle geschah nach dem Entwurf einer Obersten Bauleitung durch Johannes Dörner, Dortmund- Derne, in bester Zusammenarbeit. Die insgesamt entstandenen Kosten sind nachstehend zusammengestellt:

Stahlüberbauten	60 000 RM
Widerlager und Pfeiler	11 700 "
Eisenbetonfahrbahnplatte	9 700 "
Fahrbahndecken aus Hartgußasphalt	1 800 "
Anstrich	1 800 "
zusammen 85 000 RM,	

d. s. nur 151 RM/m² Grundfläche. Abb. 14 gibt eine Gesamtansicht des Bauwerks.

Durchlaufende Gewölbe auf waagrecht nachgiebigen Pfeilern.

Von Dr.-Ing. habil. Hermann Ertl, Dozent an der Technischen Hochschule Wien.

Alle Rechte vorbehalten.

Die in der Praxis häufig vorkommenden durchlaufenden Gewölbe werden wegen der großen rechnerischen Schwierigkeiten gewöhnlich ohne Berücksichtigung des Einflusses der Pfeilernachgiebigkeit und der Durchlaufwirkung berechnet, was nur für die ständige Last auf untereinander gleichen Gewölben richtig ist. Durch die Verkehrslast auf einzelne Gewölbe oder Gewölbeteile treten an den Kämpfern Seitenschübe und Momente auf, die die sonst nur durch lotrechte Kräfte beanspruchten Pfeiler auch auf Biegung beanspruchen. Dies hat Verdrehungen und waagerechte Verschiebungen der Pfeilerköpfe zur Folge, deren Einfluß auf die Spannungen vernachlässigt wird. Diesem Mangel wird durch eine allgemeine Lösung mittels Differenzenrechnung abgeholfen. Man kann den Bogen auf die gewohnte Weise berechnen und durch eine kurze Zusatzrechnung mit Hilfe der gefundenen Lösung sowohl den Einfluß der erwähnten Vernachlässigung für bestimmte Lastfälle als auch die genauen Einflußlinien ermitteln.

Aus den im folgenden gebrachten Beispielen geht hervor, daß durch die Nichtbeachtung der Pfeilernachgiebigkeit schon bei gewöhnlichen Verhältnissen Fehler von rd. 20 % gemacht werden; bei Berücksichtigung der größeren Nachgiebigkeit des Untergrundes auf der Seite der größeren Kantenpressung können sie selbst bei fest gelagertem Baugrund bis gegen 60 % ansteigen.

Es sei vorausgeschickt, daß die Rechnung mit Differenzgleichungen, soweit sie für diese Arbeit notwendig ist, auch dem auf diesem Gebiete nicht bewanderten Ingenieur leicht verständlich ist.

I. Zweigelenkbogen.

Zuerst wird die Lösung für eine Reihe untereinander gleicher Zweigelenkbogen (Abb. 1a) behandelt. Wir bringen in den Knotenpunkten 0 und +1 Lager gegen waagrechtes Verschieben an (Abb. 1b) und stellen fest, daß die zusätzlichen Lager immer nur den Unterschied zwischen den Seitenschüben von den Gewölben links und rechts des Knotens aufzunehmen haben. Dies wird meistens der durch die Verkehrslast her- rührende Teil H_p sein, da sich die Anteile infolge des Eigengewichts gegenseitig aufheben. Der Bogen kann jetzt nach einer der bekannten Gewölbetheorien berechnet werden. Die sich an den gedachten Lagern ergebenden Widerstände können tatsächlich nicht auftreten. Wir lassen sie daher in entgegengesetzter Richtung auf die sonst unbelastete Gewölbe- reihe wirken (Abb. 2a). Die Summe aus diesen beiden Lastangriffen muß der Beanspruchung der gegebenen Gewölberreihe durch die gegebene Last gleich sein. Um den in Abb. 2a gezeigten Lastfall berechnen zu können, untersuchen wir zunächst den Lastfall nach Abb. 2b mit einer im Knoten 0 angreifenden Einzellast H_0 . Für diesen Belastungsfall sind auch die Verschiebungen Δ der Knoten $x-1$, x und $x+1$ dargestellt. Bezeichnen H_{xs} die waagerechte Kraft im Pfeiler (Stiel) x , δ_{HS} die waag- rechte Verschiebung des Pfeilerkopfes durch $H_{xs} = 1^1$, $H_{x-1,x}$ und $H_{x,x+1}$ die Seitenschübe in den betreffenden Gewölben — positiv, wenn sie Druck erzeugen — und endlich δ_{HH} die Verkürzung der Bogensehne durch $H = 1$, wie es aus Abb. 2 u. 3 zu erschen ist, so bestehen folgende Beziehungen:

$$(1a) \quad \left\{ \begin{array}{l} H_{xs} = \frac{\Delta_x}{\delta_{HS}}, \quad H_{x-1,x} = \frac{1}{\delta_{HH}} (\Delta_{x-1} - \Delta_x) \\ \text{bis} \\ (1c) \quad \left\{ \begin{array}{l} H_{x,x+1} = \frac{1}{\delta_{HH}} (\Delta_x - \Delta_{x+1}). \end{array} \right. \end{array} \right.$$

¹⁾ Bei starr eingespannten Pfeilergrundkörpern ist δ_{HS} die federnde Nachgiebigkeit des Pfeilers. Ist die Einspannung aber keine vollkommene, so wird δ_{HS} um einen Betrag größer, der aus der Verdrehung der Grundkörper- sohle mal der Pfeilerhöhe entsteht.

Durch die Gleichungen (1a) bis (1c) werden die gesuchten Kräfte in Ab- hängigkeit von den Verschiebungen Δ_x angegeben.

Eine weitere Beziehung erhält man aus der Bedingung, daß die Summe der waagerechten Kräfte im Knoten x Null sein muß. Sie lautet:

$$(2) \quad H_{x-1,x} - H_{x,x+1} - H_{xs} = 0.$$

Setzt man die Beziehungen (1a) bis (1c) in Gl. (2) ein und formt um, so bekommt man:

$$(3) \quad \Delta_{x-1} - 2a\Delta_x + \Delta_{x+1} = 0,$$

wobei

$$(3a) \quad 2a = 2 + \frac{\delta_{HH}}{\delta_{HS}}.$$

Dies ist eine gewöhnliche, homogene Differenzgleichung 2. Ordnung²⁾ mit der unabhängig Veränderlichen x — wobei x im gegebenen Falle als Bezeichnung der Knoten nur ganzzahlige Werte annehmen kann — und der abhängig Veränderlichen Δ .

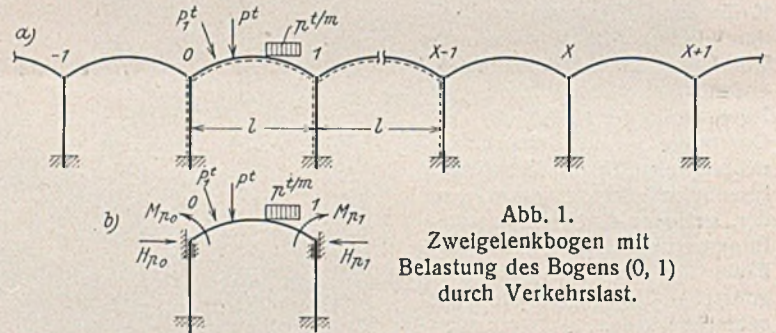


Abb. 1. Zweigelenkbogen mit Belastung des Bogens (0, 1) durch Verkehrslast.

Der Lösungsansatz lautet $\Delta_x = \alpha^x$. Setzt man ihn in Gl. (3) ein, so erhält man nach Herausheben von α^{x-1} :

$$\alpha^{x-1} (1 - 2a\alpha + \alpha^2) = 0.$$

Der Klammerausdruck ist die kennzeichnende Gleichung und ergibt für α zwei Werte:

$$(4) \quad \alpha_{1,2} = a \pm \sqrt{a^2 - 1}.$$

Aus dem Aufbau der Gl. (4) folgt, daß $\alpha_2 = \frac{1}{\alpha_1} = \alpha^{-1}$.

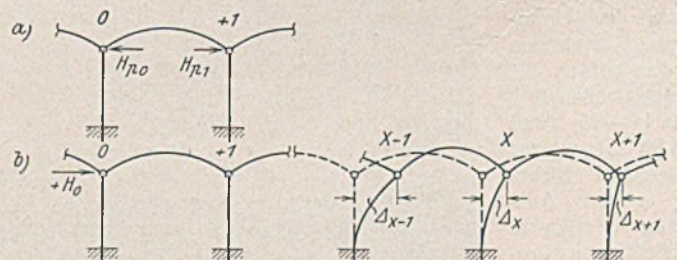


Abb. 2. Zweigelenkbogen mit der Belastung H_{p0} , H_{p1} und H_0 .

Die allgemeine Lösung der ge- fundenen Differenzgleichung (3) lautet:

$$(5) \quad \Delta_x = A\alpha^x + B\alpha^{-x}.$$

²⁾ Über Differenzenrechnung in der Baustatik s. Bleich-Melan, Die ge- wöhnlichen und partiellen Differenz- gleichungen der Baustatik. Berlin und Wien, Julius Springer.

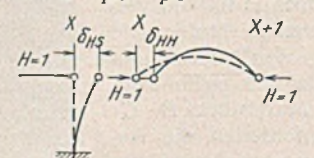


Abb. 3. Verformungen durch die Hilfsangriffe $H = 1$ am Pfeiler und am Bogen.

Da a immer größer als 1 sein muß, ist $\alpha_1 > 1$ und $\alpha = \alpha_2 < 1$.

Die Festwerte A und B sind aus den Randbedingungen zu ermitteln.

1. Die Gewölbereihe geht von $-\infty$ bis $+\infty$. Aus den Spiegeleigenschaften des Lastfalles nach Abb. 2b folgt, daß die Lösung für die positive Bogenreihe der für die negative gleich ist.

$$(6) \quad \mathcal{J}_{-x} = \mathcal{J}_x.$$

1. Randbedingung: für x gegen ∞ muß \mathcal{J}_x gegen 0 gehen, daraus wird $B = 0$.

2. Randbedingung: für $x=0$ muß im Knoten 0 folgende Gleichgewichtsbedingung bestehen:

$$(2a) \quad H_0 + H_{-1,0} - H_{0,1} - H_{0,s} = 0.$$

Aus den Gl. (6), (1b) u. (1c) ergibt sich, daß $H_{-1,0} = -H_{0,1}$ ist. Setzt man in Gl. (2a) die Werte der Gl. (1) ein, so erhält man nach Umformung:

$$H_0 \delta_{HH} - 2a \mathcal{J}_0 + 2 \mathcal{J}_1 = 0.$$

Setzt man in diese Beziehung Gl. (5) ein und beachtet, daß $B = 0$ ist, so erhält man den Festwert A zu:

$$(7) \quad A = \frac{H_0 \delta_{HH}}{2a - 2\alpha} = \frac{H_0 \delta_{HH} \alpha}{1 - \alpha^2}.$$

Mit diesem Werte von A bekommt man als Lösung unserer Aufgabe:

$$(8) \quad \mathcal{J}_x = \frac{H_0 \delta_{HH} \alpha^{x+1}}{1 - \alpha^2}.$$

Durch Einsetzen dieser Lösung in Gl. (1a) bis (1c) kann man alle gesuchten Kräfte errechnen.

Durch einfaches Überlagern kann man aus Gl. (8) die Verschiebung $\bar{\mathcal{J}}_x$, gültig für alle $x \geq 1$ unseres in Abb. 2a dargestellten Lastfalles, erhalten zu:

$$(9) \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{\mathcal{J}}_x = + \frac{H_{p0} \delta_{HH} \alpha^{x+1}}{1 - \alpha^2} + \frac{H_{p1} \delta_{HH} \alpha^x}{1 - \alpha^2} \\ \text{Für } x < 0 \text{ ergibt sich, wenn das Vorzeichen von } x \text{ gleich berücksichtigt wird:} \\ \bar{\mathcal{J}}_{-x} = + \frac{H_{p0} \delta_{HH} \alpha^{x+1}}{1 - \alpha^2} + \frac{H_{p1} \delta_{HH} \alpha^{x+2}}{1 - \alpha^2} \end{array} \right.$$

H_{p0} und H_{p1} sind positiv, wenn sie im gleichen Sinne wirken wie H_0 . Greift am Gewölbe selbst keine waagerechte Kraft an, so wird $H_{p1} = -H_{p0} = H_p$.

Die Verschiebungen ergeben sich dann zu:

$$(9a) \quad \bar{\mathcal{J}}_x = \frac{H_p \delta_{HH} \alpha^x}{1 + \alpha}, \quad \bar{\mathcal{J}}_{-x} = - \frac{H_p \delta_{HH} \alpha^{x+1}}{1 + \alpha}.$$

Daraus folgt, daß:

$$\bar{\mathcal{J}}_{-x} = -\bar{\mathcal{J}}_x \alpha \quad \text{und} \quad \bar{\mathcal{J}}_0 = -\bar{\mathcal{J}}_1,$$

wie es aus Gründen der Spiegelgleichheit der Fall sein muß.

Die Beanspruchung der gegebenen Gewölbereihe durch die gegebene Belastung ergibt sich aus der Summe der Beanspruchungen bei gedachten Lagern nach Abb. 1b und der Beanspruchung durch H_p nach Abb. 2a. Der tatsächliche Seitenschub $H_{p0,1}$ im belasteten Gewölbe (0,1) wird demnach, wenn keine waagerechten Kräfte am Bogen angreifen:

$$(10) \quad H_{p0,1} = H_p + H_{0,1} = H_p \cdot \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}.$$

Der Seitenschub in den übrigen Gewölben ist durch $H_{x,x+1}$, wenn x der Reihe nach alle Werte annimmt, gegeben.

Beispiel: Das Kräftespiel der Gewölbereihe ist nur vom Verhältnis $\frac{\delta_{HH}}{\delta_{HS}}$ abhängig. Nehmen wir dieses mit 10 an, d. h. der Pfeiler ist zehnmal so steif als der Bogen, so bekommen wir aus Gl. (3a): $a = 6$, aus Gl. (4): $\alpha = 0,084$, aus Gl. (10): $H_{p0,1} = 0,845 H_p$. Der Seitenschub nimmt in diesem Falle um 15,5% ab; dem entspricht eine Zunahme des Moments im Viertelpunkte bei halbseitiger Belastung um rd. 45%. Man sieht, wie zu erwarten war, daß bei nachgiebigen Pfeilern das durch Verkehrslast beanspruchte Gewölbe teilweise als Balken Last übertragen muß. Diese Balkenwirkung nimmt mit der Nachgiebigkeit der Pfeiler zu. Im Grenzfall bei Pendelpfeilern ist nur mehr die Balkenwirkung vorhanden. Auch die geringe Nachgiebigkeit steifer Pfeiler kann eine erhebliche Rolle spielen. Der Einfluß auf die übrigen Gewölbe nimmt sehr rasch ab, im gegebenen Falle nach den Potenzen von 0,084.

2. Geht man von der unendlichen Gewölbereihe auf die endliche über und nimmt an, daß das Gewölbe (0,1) belastet ist, so besteht die Lösung aus zwei Ästen, und zwar von $-m$ bis 0 und von $+1$ bis n (Abb. 1). Für jeden Ast sind zwei Festwerte aus den Randbedingungen zu bestimmen. Der Vorgang ist in ähnlicher Weise wie bei der unendlichen Gewölbereihe durchzuführen und bietet keine Schwierigkeiten.

Es genügt aber für alle Fälle die Lösung der unendlichen Reihe, da man durch einfache Lastspiegelung aus dieser alle Werte der end-

lichen Reihe ablesen kann. Um dies zu zeigen, nehmen wir nach Abb. 4 zwei Gewölbe mit einem mittleren Pfeiler an. Der voll ausgezogene Teil sei gegeben. Die unendliche Gewölbereihe ist gestrichelt angedeutet. Ist z. B. das gegebene Gewölbe (0,1) durch die Einzellast P beansprucht, so muß man die unendliche Gewölbereihe außer mit P noch mit einer Last P spiegelbildlich zum Knoten 0 belasten, damit die Auflagerbedingung $\mathcal{J}_0 = 0$ erfüllt ist. Damit aber auch die Bedingung $\mathcal{J}_2 = 0$ erfüllt ist, muß man diese Belastung um den Knoten 2 spiegeln. Man müßte auch diese Belastung wieder um den Knoten 0 usw. weiterspiegeln.

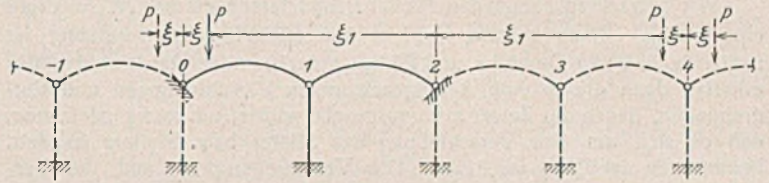


Abb. 4. Berechnung der endlichen Gewölbereihe aus der unendlichen durch Lastspiegelung.

Da aber, wie wir gesehen haben, der Einfluß nach einer Potenzreihe sehr rasch abnimmt, genügt meist eine doppelte Spiegelung. Mit der gefundenen Lösung Gl. (8) kann man sowohl den Teil mit positiven als auch negativen Zeigern der Gewölbereihe auswerten, wenn man Gl. (6) berücksichtigt.

II. Bogen ohne Gelenke.

In Abb. 5a ist eine durchlaufende Bogenreihe mit einer Belastung des Gewölbes (0,1) gegeben. Bezüglich der Vorzeichen wird folgende Festlegung getroffen. Positives Vorzeichen haben:

1. alle Momente, die auf der gestrichelten Seite der Stäbe Zug erzeugen (s. Abb. 5),
2. der Seitenschub, wenn er im Bogen Druck erzeugt,
3. die Querkräfte, wenn sie die links der betrachteten Stelle liegenden Teile zu heben suchen oder bei lotrechten Stäben, wenn sie den oberen Teil des Stabes nach rechts zu verschieben trachten,
4. die Verdrehung τ eines Knotenpunktes (als solcher wird der Schnittpunkt der Schwerlinien der Gewölbe und der Pfeiler bezeichnet) und das an diesem angreifende äußere Moment, wenn sie den Knoten im Uhrzeigersinne verdrehen,
5. die Verschiebung \mathcal{J} eines Knotens und die an diesem angreifende äußere Last H , wenn sie den Knoten nach rechts verschieben,
6. jene Verschiebungen (Verdrehungen) eines Punktes, die im gleichen Sinne entstehen wie die Verschiebung (Verdrehung), die durch eine positive Kraft (Moment) im betreffenden Punkte hervorgerufen wird.

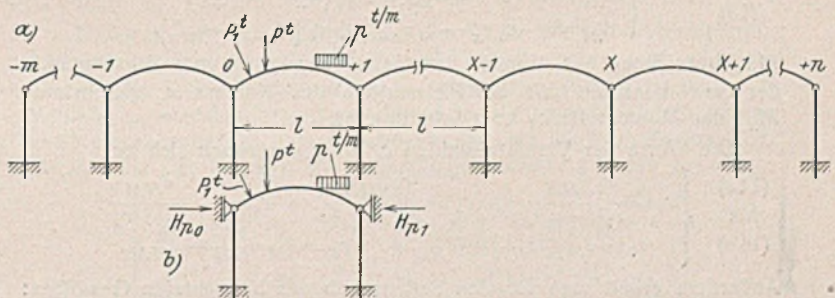


Abb. 5. Durchlaufende, gelenklose Bogen auf Pfeilern, Belastung des Gewölbes (0,1).

Wir gehen ähnlich wie unter I. vor, indem wir das belastete Gewölbe herausgreifen und nach Abb. 5b Lager gegen waagrecht Verschieben und gegen Verdrehen der Knoten 0 und $+1$ anbringen. Die Berechnung des belasteten Bogens kann nun nach einem der bekannten Verfahren³⁾ durchgeführt werden.

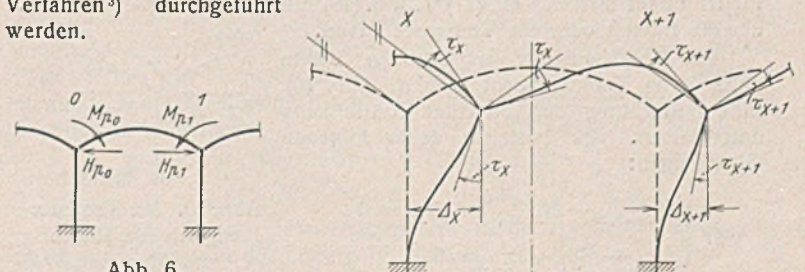


Abb. 6. Durchlaufender Bogen mit der Belastung H_p und M_p .

Abb. 7. Verformung des Bogens ($x, x+1$) durch den Lastangriff nach Abb. 6.

³⁾ F. Hartmann, Die genaue Berechnung gelenkloser Gewölbe usw. Wien und Berlin, Franz Deuticke.

Man erhält Auflagerdrücke H_{p0}, H_{p1} sowie Einspannmomente M_{p0} und M_{p1} . Diese lassen wir in derselben Größe, aber in entgegengesetzter Richtung (Abb. 6) auf unsere gegebene Gewölbereihe wirken. Haben wir diesen Lastfall berechnet und zählen ihn zu jenem nach Abb. 5b hinzu, so erhalten wir die Beanspruchung der gegebenen Gewölbereihe durch die gegebene Belastung.

Die Beanspruchungen in den Gewölben und in den Pfeilern sind erchenbar, wenn man die Verschiebung \mathcal{A} und die Verdrehung τ aller Knotenpunkte kennt (Abb. 7).

Wir betrachten zuerst den Pfeiler x und lassen einmal $H_{x,s} = 1$ und einmal $M_{x,s} = 1$ an seinem Kopf wirken (Abb. 8). Voraussetzung ist natürlich, daß alle Gewölbe und Pfeiler untereinander gleich sind⁴⁾. Wir erhalten dann die in Abb. 8 eingezeichneten Verschiebungen und Verdrehungen, denen der Zeiger s vorausgesetzt wurde, um zu kennzeichnen, daß es sich um eine Verschiebung des Stieles bzw. Pfeilers handelt. Bekanntlich ist $s^{\delta_{HM}} = s^{\delta_{MH}}$. Die Verschiebung \mathcal{A}_x und die Verdrehung τ_x am Pfeilerkopf werden durch die Kraft $H_{x,s}$ und durch das Moment $M_{x,s}$ hervorgerufen, die sich berechnen lassen zu:

$$(11) \quad \begin{cases} H_{x,s} = c_1 \mathcal{A}_x - c_2 \tau_x \\ M_{x,s} = -c_2 \mathcal{A}_x + c_3 \tau_x \end{cases}$$

Bezeichnet man mit

$$(12a) \text{ bis } (12d) \quad \left\{ \begin{array}{l} N = s^{\delta_{HH}} s^{\delta_{MM}} - s^{\delta_{HM}^2} \\ \text{so ist } c_1 = \frac{s^{\delta_{MM}}}{N} \quad c_2 = \frac{s^{\delta_{HM}}}{N} \quad c_3 = \frac{s^{\delta_{HH}}}{N} \end{array} \right.$$

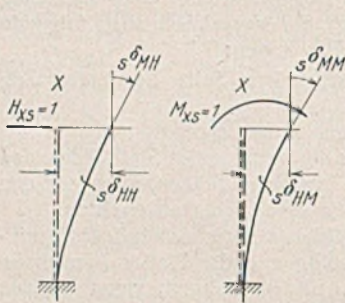


Abb. 8.

Hilfsangriffe I am Pfeiler x .

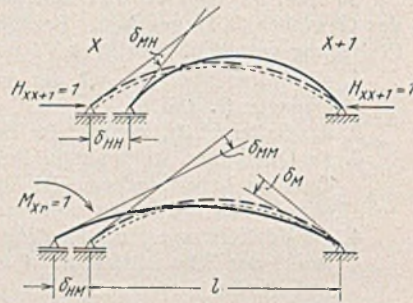


Abb. 9. Hilfsangriffe I

am standbestimmten Bogen $(x, x+1)$.

Auf gleiche Weise erhält man für die Gewölbe, wenn man die Verschiebungen und Verdrehungen durch $H_{x,x+1} = 1$ und $M_{x,r} = 1$ im standbestimmten Grundwerk gemäß Abb. 9 bezeichnet (s. dazu auch Abb. 7),

$$(13) \quad \begin{cases} M_{x,r} = c_4 \tau_x + c_5 \tau_{x+1} + c_6 (\mathcal{A}_x - \mathcal{A}_{x+1}) \\ M_{x,l} = -c_4 \tau_x - c_5 \tau_{x+1} + c_6 (\mathcal{A}_{x-1} - \mathcal{A}_x) \end{cases}$$

$M_{x,r}$ bezeichnet das Moment im Gewölbe rechts vom Schnittpunkte der Gewölbeachsen mit der Pfeilerachse des Knotens x , gleichsinnig $M_{x,l}$ das Moment links vom Schnittpunkt.

Die Werte der Verhältniszahlen c_4 bis c_6 errechnen sich zu:

$$(14a) \quad \begin{cases} c_4 = \frac{c_7 \delta_{HH}}{c_7^2 - c_8^2} & c_5 = \frac{c_8 \delta_{HH}}{c_7^2 - c_8^2} & c_6 = -\frac{\delta_{HM}}{c_7 + c_8} \\ \text{bis} & & \\ (14e) & c_7 = \delta_{MM} \delta_{HH} - \delta_{HM}^2 & c_8 = \delta_{HM} \delta_{HH} - \delta_{HM}^2 \end{cases}$$

Außerdem erhält man für den Seitenschub des betrachteten Gewölbes:

$$(15) \quad \left\{ \begin{array}{l} H_{x,x+1} = \frac{\mathcal{A}_x - \mathcal{A}_{x+1}}{\delta_{HH}} - \frac{\delta_{HM}}{\delta_{HH}} (M_{x,r} + M_{x+1,l}) \\ \text{oder:} \\ H_{x,x+1} = \frac{\mathcal{A}_x - \mathcal{A}_{x+1}}{\delta_{HH}} (1 - 2 \delta_{HM} c_6) + c_6 (\tau_x - \tau_{x+1}) \end{array} \right.$$

Die Formeln für die Momente und Kräfte der übrigen Gewölbe und Pfeiler findet man aus Gl. (11), (13) u. (15) durch Änderung der Zeiger x um die Einheit oder ein Vielfaches davon.

Die im Knoten x angreifenden Kräfte müssen im Gleichgewicht stehen (Abb. 10). Eine Betrachtung der lotrechten Kräfte kann unterbleiben. Es bestehen daher folgende Gleichungen:

$$(16) \quad \begin{cases} H_{x-1,x} - H_{x,x+1} - H_{x,s} = 0 \\ M_{x,l} - M_{x,r} - M_{x,s} = 0 \end{cases}$$

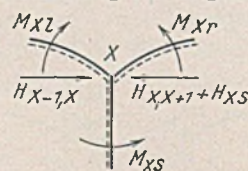


Abb. 10. Am Knoten x angreifende Kräfte und Momente.

⁴⁾ Die Berechnung ließe sich auch durchführen, wenn eine allfällige Änderung der Gewölbe oder Pfeiler durch eine einfache Funktion von x gegeben ist. Die Lösung dieses Falles ist viel umständlicher und entbehrt der praktischen Bedeutung. Die Näherungsberechnung untereinander verschiedener Gewölbe und Pfeiler wird unter V. behandelt.

Setzt man in Gl. (16) für die Momente und Kräfte die Werte der Gl. (11), (13) u. (15) ein, so bekommt man nach Umformung und Zusammenziehung der Festwerte eine Gruppe von zwei durch die unabhängig Veränderliche x gekoppelten Differenzgleichungen 2. Ordnung mit den abhängig Veränderlichen \mathcal{A} und τ . Es sind dies Gl. (17) u. (18).

$$(17) \quad \begin{cases} c_0 \mathcal{A}_{x-1} - 2 \left(c_9 + \frac{\delta_{HH} c_1}{2} \right) \mathcal{A}_x + c_9 \mathcal{A}_{x+1} + c_{10} \tau_x - 1 \\ - 2 \left(c_{10} - \frac{\delta_{HH} c_2}{2} \right) \tau_x + c_{10} \tau_{x+1} = 0. \end{cases}$$

$$(18) \quad \begin{cases} c_6 \mathcal{A}_{x-1} - 2 \left(c_6 - \frac{c_2}{2} \right) \mathcal{A}_x + c_6 \mathcal{A}_{x+1} - c_6 \tau_{x-1} \\ - 2 \left(c_4 + \frac{c_3}{2} \right) \tau_x - c_5 \tau_{x+1} = 0. \end{cases}$$

Dabei stellen dar:

$$(19a) \text{ u. } (19b) \quad c_9 = 1 - 2 \delta_{HM} c_6 \quad c_{10} = -\delta_{HM} (c_4 - c_5) + \delta_{HH} c_6$$

Jede der beiden Gl. (17) u. (18) wird durch den Lösungsansatz

$$\mathcal{A}_x = \alpha^x \quad \tau_x = \lambda \alpha^x$$

befriedigt. Durch Einsetzen dieser Lösung in die genannten Gleichungen erhält man:

$$(17a) \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha^{x-1} \left\{ c_9 + \lambda c_{10} - 2 \left[c_9 + \lambda c_{10} + \frac{\delta_{HH}}{2} (c_1 - \lambda c_2) \right] \alpha \right. \\ \left. + (c_9 + \lambda c_{10}) \alpha^2 \right\} = 0 \end{array} \right.$$

$$(18a) \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha^{x-1} \left\{ c_6 - \lambda c_5 - 2 \left[c_6 + \lambda c_4 - \frac{1}{2} (c_2 - \lambda c_3) \right] \alpha \right. \\ \left. + (c_6 - \lambda c_5) \alpha^2 \right\} = 0. \end{array} \right.$$

Da α^{x-1} nicht 0 ist, kann man kürzen und erhält zwei Gleichungen zur Bestimmung von α und λ . Aus Gl. (17a) ergibt sich:

$$(20) \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = + a \pm \sqrt{a^2 - 1}, \\ \text{aus Gl. (18a) gleichsinnig:} \\ \alpha = + b \pm \sqrt{b^2 - 1}. \end{array} \right.$$

Dabei ist

$$(20a) \quad a = 1 + \frac{\delta_{HH} (c_1 - \lambda c_2)}{2 (c_9 + \lambda c_{10})} \quad \text{und}$$

$$(20b) \quad b = \frac{c_6 + \lambda c_4 - \frac{1}{2} (c_2 - \lambda c_3)}{c_6 - \lambda c_5}$$

Da beide Werte von α Gl. (17a) u. (18a) befriedigen müssen, muß $a = b$ sein. Man erhält daraus eine Gleichung 2. Grades zur Bestimmung von λ . Aus $a = b$ bekommt man:

$$\lambda^2 + 2 c_{11} \lambda - c_{12} = 0;$$

es ist

$$(21) \quad 2 c_{11} = \frac{c_9 [2 (c_4 + c_5) + c_3] + \delta_{HH} c_1 c_5}{c_{10} [2 (c_4 + c_5) + c_3] - \delta_{HH} c_2 c_5} \quad \text{und}$$

$$(22) \quad c_{12} = \frac{\delta_{HH} c_1 c_6 + c_2 c_9}{c_{10} [2 (c_4 + c_5) + c_3] - \delta_{HH} c_2 c_5}$$

Die Lösung dieser Gleichung ergibt die Werte:

$$(23) \quad \lambda_1 = -c_{11} + \sqrt{c_{11}^2 + c_{12}} \quad \text{und}$$

$$(24) \quad \lambda_2 = -c_{11} - \sqrt{c_{11}^2 + c_{12}}$$

Jedem Werte von λ entsprechen laut Gl. (20a) bzw. (20b) u. (20) zwei Werte von α , so daß man insgesamt vier Wurzeln erhält.

Für λ_1 erhält man:

$$(25) \quad \alpha_1 = \frac{1}{\alpha_3};$$

für λ_2 erhält man:

$$(26) \quad \alpha_2 = \frac{1}{\alpha_4}.$$

Die allgemeine Lösung der gekoppelten Differenzgleichung lautet daher:

$$(27a) \text{ u. } (27b) \quad \begin{cases} \mathcal{A}_x = A_1 \alpha_1^x + A_3 \alpha_1^{-x} + A_2 \alpha_2^x + A_4 \alpha_2^{-x} \\ \tau_x = \lambda_1 A_1 \alpha_1^x + \lambda_1 A_3 \alpha_1^{-x} + \lambda_2 A_2 \alpha_2^x + \lambda_2 A_4 \alpha_2^{-x} \end{cases}$$

Gl. (27) müssen selbstverständlich ebenfalls als die allgemeinste Lösung Gl. (17) u. (18) befriedigen.

Wir unterscheiden zwei Fälle:

1. die Gewölbereihe geht von $-\infty$ bis $+\infty$,
2. die Gewölbereihe ist endlich.

Zu 1. Da die unendliche Gewölbereihe bezüglich jedes ihrer endlichen Knotenpunkte spiegelgleich ist, müssen auch bei Belastung nur eines Knotens, z. B. des Knotens n , durch äußere Lasten beide Äste links und rechts des belasteten Knotens gleich sein, was ausgedrückt wird durch:

$$\mathcal{A}_{n-i} = \mathcal{A}_{n+i} \quad \tau_{n-i} = \tau_{n+i}$$

i kann jeden ganzzahligen Wert annehmen. Es genügt daher, die Lösung nur für einen Ast zu suchen, weil man damit auch die Lösung des zweiten Astes erhalten hat.

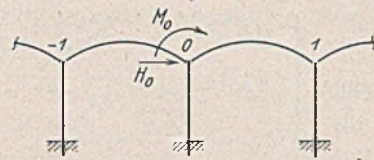


Abb. 11.

Belastung der von $-\infty$ bis $+\infty$ gehenden Gewölbereihe mit H_0 und M_0 , die im Knoten 0 angreifen.

Als Knoten n kann man jeden endlichen Knoten wählen. Um auch die Spiegeleigenschaft unserer Knotenbezeichnung auszunutzen, wählt man zweckmäßigerweise $n=0$. Man erhält dann für den in Abb. 11 dargestellten Lastangriff:

$$(28a) \text{ u. } (28b) \quad \begin{cases} \mathcal{L}_{-x} = \mathcal{L}_{+x} & \text{und} \\ \tau_{-x} = \tau_{+x}. \end{cases}$$

Wir wollen den positiven Ast einer Lösung zuführen. Wie aus Gl. (25) u. (26) folgt, ist der absolute Betrag entweder von α_1 bzw. α_2 oder von α_3 bzw. α_4 kleiner als 1. Wir bezeichnen mit α_1 und α_2 jene Werte von α , deren absoluter Betrag kleiner als 1 ist.

$$(25a) \quad |\alpha_1| < 1$$

$$(26a) \quad |\alpha_2| < 1.$$

Zur Bestimmung der vier Festwerte A_1 bis A_4 stehen vier Randbedingungen zur Verfügung.

1. $x \rightarrow \infty \quad \mathcal{L}_x \rightarrow 0$
2. $x \rightarrow \infty \quad \tau_x \rightarrow 0.$

Aus diesen beiden Randbedingungen ergeben sich unter Beachtung der Gl. (25a) u. (26a):

$$(29) \quad A_3 = A_4 = 0.$$

Für die unendliche Gewölbereihe sind daher nur zwei Festwerte, A_1 und A_2 , zu bestimmen gegenüber acht Festwerten bei der endlichen Gewölbereihe, wie im folgenden noch näher ausgeführt wird. A_1 und A_2 werden aus der 3. und 4. Randbedingung ermittelt, die besagen, daß im Knoten 0 Gleichgewicht herrschen muß. Aus Abb. 12 folgen die beiden Gleichgewichtsbedingungen:

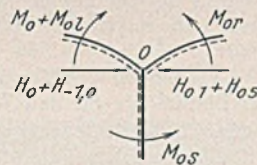


Abb. 12. Gleichgewicht für den Knoten 0.

$$(30a) \text{ u. } (30b) \quad \begin{cases} H_0 + H_{-1,0} - H_{0,1} - H_{0,5} = 0 \\ M_0 + M_{0,1} - M_{0,5} = 0. \end{cases}$$

Für die Kräfte und Momente sind die Werte aus Gl. (11), (13) und (15) einzusetzen, wobei Gl. (28) zu beachten sind, aus denen folgt, daß

$$H_{-1,0} = -H_{0,1} \quad \text{und} \quad M_{0,1} = -M_{0,5}.$$

Für die Verschiebung \mathcal{L} und die Verdrehung τ sind außerdem die Werte der Gl. (27) unter Berücksichtigung der Gl. (29) einzuführen. Man erhält dann nach Umformung und Heranziehung der Gl. (20) zwei Gleichungen zur Bestimmung von A_1 und A_2 , diese lauten:

$$(31a) \text{ u. } (31b) \quad \begin{cases} c_{13} A_1 + c_{14} A_2 = H_0 \\ c_{15} A_1 + c_{16} A_2 = M_0. \end{cases}$$

Die eingeführten Beiwerte stellen dar:

$$(32a) \text{ bis } (32d) \quad \begin{cases} c_{13} = \frac{c_9 + \lambda_1 c_{10}}{\delta_{HH}} \cdot \frac{1 - \alpha_1^2}{\alpha_1} = (c_1 - \lambda_1 c_2) \frac{1 + \alpha_1}{1 - \alpha_1} \\ c_{14} = \frac{c_9 + \lambda_2 c_{10}}{\delta_{HH}} \cdot \frac{1 - \alpha_2^2}{\alpha_2} = (c_1 - \lambda_2 c_2) \frac{1 + \alpha_2}{1 - \alpha_2} \\ c_{15} = (c_8 - \lambda_1 c_5) \frac{1 - \alpha_1^2}{\alpha_1} = [2 \lambda_1 (c_4 + c_5) - c_2 + \lambda_1 c_3] \frac{1 + \alpha_1}{1 - \alpha_1} \\ c_{16} = (c_8 - \lambda_2 c_5) \frac{1 - \alpha_2^2}{\alpha_2} = [2 \lambda_2 (c_4 + c_5) - c_2 + \lambda_2 c_3] \frac{1 + \alpha_2}{1 - \alpha_2}. \end{cases}$$

Aus Gl. (31) errechnen sich die Festwerte A_1 und A_2 zu:

$$(33a) \text{ u. } (33b) \quad \begin{cases} A_1 = c_{17} H_0 - c_{18} M_0 \\ A_2 = -c_{19} H_0 + c_{20} M_0. \end{cases}$$

Die verwendeten Beiwerte ergeben sich aus

$$(34a) \text{ bis } (34c) \quad \begin{cases} N_1 = c_{13} c_{16} - c_{14} c_{15} & c_{17} = \frac{c_{16}}{N_1} & c_{18} = \frac{c_{14}}{N_1} \\ c_{19} = \frac{c_{15}}{N_1} & \text{und} & c_{20} = \frac{c_{13}}{N_1}. \end{cases}$$

Aus den Festwerten A_1 und A_2 , die für die Belastung nach Abb. 11 gelten, kann man durch einfaches Überlagern jene für jede beliebige Knotenbelastung finden, also auch für die eingangs gesuchte Belastung nach Abb. 6. Bezeichnet man für diese Belastung die Verschiebungen nach \mathcal{L}_x und die Verdrehungen mit τ_x , so gilt für alle $x \geq 1$:

$$(35a) \text{ u. } (35b) \quad \begin{cases} \text{herrührend von der Belastung des Knotens 0} & \text{herrührend von der Belastung des Knotens 1} \\ \mathcal{L}_x = A_1 \alpha_1^x + A_2 \alpha_2^x + A_1 \alpha_1^{x-1} + A_2 \alpha_2^{x-1} \\ = c_{17} \alpha_1^{x-1} (H_{p0} \alpha_1 + H_{p1}) - c_{19} \alpha_2^{x-1} (H_{p0} \alpha_2 + H_{p1}) + \\ - c_{18} \alpha_1^{x-1} (M_{p0} \alpha_1 + M_{p1}) + c_{20} \alpha_2^{x-1} (M_{p0} \alpha_2 + M_{p1}). \end{cases}$$

Gleichsinnig erhält man für τ_x :

$$\tau_x = \lambda_1 A_1 \alpha_1^x + \lambda_2 A_2 \alpha_2^x + \lambda_1 A_1 \alpha_1^{x-1} + \lambda_2 A_2 \alpha_2^{x-1}.$$

Für $x \leq 0$ gilt dementsprechend, wenn das Vorzeichen von x gleich berücksichtigt wird:

$$(35c) \text{ u. } (35d) \quad \begin{cases} \mathcal{L}_{-x} = A_1 \alpha_1^x + A_2 \alpha_2^x + A_1 \alpha_1^{x+1} + A_2 \alpha_2^{x+1} \\ \tau_{-x} = \lambda_1 A_1 \alpha_1^x + \lambda_2 A_2 \alpha_2^x + \lambda_1 A_1 \alpha_1^{x+1} + \lambda_2 A_2 \alpha_2^{x+1}. \end{cases}$$

H_{p0} , H_{p1} , M_{p0} und M_{p1} sind in Gl. (35) mit positiven Vorzeichen einzuführen, wenn sie im gleichen Sinne wie H_0 und M_0 (Abb. 11) wirken (s. dazu die eingangs unter II aufgestellten Festlegungen bezüglich der Vorzeichen).

Damit kann man unter Zuhilfenahme der Gl. (11), (13) u. (15) das Kräftespiel durch die Belastung nach Abb. 6 ausrechnen. Fügt man die so ermittelten Kräfte und Momente zu dem Belastungsfall nach Abb. 5b hinzu, so erhält man die Beanspruchung der gegebenen Gewölbereihe durch die gegebene Belastung (Abb. 5a). Unsere eingangs gestellte Aufgabe ist daher gelöst. Durch Einsetzen der Werte \mathcal{L}_x und τ_x in die Gl. (11), (13) u. (15) erhält man die gesuchten Kräfte unmittelbar in Abhängigkeit von α_1 und α_2 . Beispielsweise wird $M_{x,r}$ gleich:

$$(13a) \quad \begin{cases} M_{x,r} = D_1 \alpha_1^x + D_2 \alpha_2^x \\ D_1 = A_1 [c_6 (1 - \alpha_1) + \lambda_1 (c_4 + \alpha_1 c_5)] \\ D_2 = A_2 [c_6 (1 - \alpha_2) + \lambda_2 (c_4 - \alpha_2 c_5)]. \end{cases}$$

Zu 2. Nimmt man eine endliche Gewölbereihe vom Knoten i bis zum Knoten k an, so ergeben sich die Festwerte für eine Belastung des Knotens n durch H_n und M_n , wie es Abb. 11 für Knoten 0 zeigt, durch Lastspiegelung aus der unendlichen Reihe. Bezeichnet man die Festwerte der endlichen Gewölbereihe für den Ast von $i \leq x \leq n$ mit B_1' bis B_4' und für den Ast von $n \leq x \leq k$ mit B_5' bis B_8' , so bekommt man:

$$(36a) \text{ bis } (36d) \quad \begin{cases} B_1' = -A_1 f(\alpha_1) = B_5' - A_1 \alpha_1^{-n} \\ B_2' = -A_2 f(\alpha_2) = B_6' - A_2 \alpha_2^{-n} \\ B_3' = +A_1 f(\alpha_3) = A_1 \alpha_1^{2i} f(\alpha_1) = B_7' + A_1 \alpha_1^n \\ B_4' = +A_2 f(\alpha_4) = A_2 \alpha_2^{2i} f(\alpha_2) = B_8' + A_2 \alpha_2^n, \end{cases}$$

dabei ist
$$f(\alpha) = \alpha^{n-2i} \cdot \frac{1 - \alpha^{2(k-n)}}{1 - \alpha^{2(k-i)}}.$$

Treten an den Endwiderlagern i und k der endlichen Gewölbereihe Auflagerverschiebungen \mathcal{L}_i bzw. \mathcal{L}_k und Verdrehungen τ_i bzw. τ_k infolge des auf die Endwiderlager wirkenden einseitigen Seitenschubes aus der Verkehrslast und dem Eigengewicht auf, so erhält man die Verschiebungen und Verdrehungen der übrigen Knotenpunkte mit Hilfe der Festwerte B_1'' bis B_8'' , die sich aus den Randbedingungen ermitteln lassen zu:

$$(37a) \text{ bis } (37d) \quad \begin{cases} B_1'' = B_5'' = \frac{\alpha_1^{k-2i} (\tau_k - \lambda_2 \mathcal{L}_k) - \alpha_1^{-i} (\tau_i - \lambda_2 \mathcal{L}_i)}{(\lambda_2 - \lambda_1) [1 - \alpha_1^{2(k-i)}} \\ B_2'' = B_6'' = -\frac{\alpha_2^{k-2i} (\tau_k - \lambda_1 \mathcal{L}_k) - \alpha_2^{-i} (\tau_i - \lambda_1 \mathcal{L}_i)}{(\lambda_2 - \lambda_1) [1 - \alpha_2^{2(k-i)}} \\ B_3'' = B_7'' = -\frac{\alpha_1^k (\tau_k - \lambda_2 \mathcal{L}_k) - \alpha_1^{2k-i} (\tau_i - \lambda_2 \mathcal{L}_i)}{(\lambda_2 - \lambda_1) [1 - \alpha_1^{2(k-i)}} \\ B_4'' = B_8'' = \frac{\alpha_2^k (\tau_k - \lambda_1 \mathcal{L}_k) - \alpha_2^{2k-i} (\tau_i - \lambda_1 \mathcal{L}_i)}{(\lambda_2 - \lambda_1) [1 - \alpha_2^{2(k-i)}} \end{cases}$$

Die Verschiebung \mathcal{L}_x und die Verdrehung τ_x der endlichen Gewölbereihe für eine Belastung des Knotens n und für die obengenannten Endwiderlagerverschiebungen ergeben sich aus der Überlagerung beider Fälle, indem die Festwerte $B_1 = B_1' + B_1''$ bis $B_8 = B_8' + B_8''$ gebildet werden. Die Verschiebungen und Verdrehungen selbst ergeben sich aus folgenden Gleichungen:

$$(38a) \text{ u. } (38b) \quad \begin{cases} \mathcal{L}_x = B_1 \alpha_1^x + B_2 \alpha_2^x + B_3 \alpha_1^{-x} + B_4 \alpha_2^{-x} \\ \tau_x = \lambda_1 B_1 \alpha_1^x + \lambda_2 B_2 \alpha_2^x + \lambda_1 B_3 \alpha_1^{-x} + \lambda_2 B_4 \alpha_2^{-x}. \end{cases}$$

Setzt man in diese Gleichungen statt B_1 bis B_4 , B_5 bis B_8 ein, so bekommt man damit die Lösung für den anderen Ast.

Mit diesem Ergebnis läßt sich jede endliche Gewölbereihe berechnen und insbesondere der Einfluß von Endwiderlagerverschiebungen auf die Gewölbereihe ermitteln.

Da α_1 und α_2 gewöhnlich klein sind, ist der Unterschied zwischen \mathcal{L}_x und τ_x , einmal aus der endlichen und einmal aus der unendlichen

Gewölbereihe berechnet, für alle Mittelfelder meistens sehr gering, so daß man bei ihrer Berechnung nahezu immer die Werte der unendlichen Gewölbereihe verwenden kann. Zur Berechnung der Randfelder verwendet man die Lösung für endliche Gewölbereihen [Gl. (38a) u. (38b)] besonders dann, wenn auch der Einfluß von Endwiderlagerverschiebungen zu berücksichtigen ist.

III. Einflußlinien.

In den meisten Fällen wird man sich nicht mit der Ausrechnung einzelner Lastfälle begnügen können. Insbesondere sind bei Brücken, für die ja hauptsächlich diese neue Berechnungsweise in Frage kommt, die Lasten in der ungünstigsten Stellung anzunehmen. Man benötigt daher die Einflußlinien.

Bevor wir auf die Ableitung der Gleichungen für die einzelnen Einflußlinien eingehen, legen wir folgende Bezeichnungen fest.

Es werden mit δ' die gegenseitigen Verformungen im elastischen Schwerpunkt S im Grundwerk nach Abb. 13 bezeichnet. Zum Beispiel ist δ'_{HH} die gegenseitige waagerechte Verschiebung durch die gegenseitige Kraft $H=1$ im elastischen Schwerpunkt, gleichsinnig δ'_{MM} (Moment) und δ'_{VV} (Querkraft).

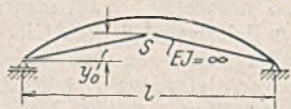


Abb. 13. Grundwerk mit vom Kämpfer zum elastischen Schwerpunkt S führenden starren Stäben ($EJ = \infty$).

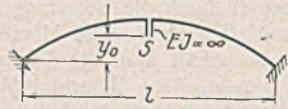


Abb. 14. Grundwerk mit starrer Einspannung im Kämpfer, durchschnittenem Scheitel und starren Stäben ($EJ = \infty$) zum elastischen Schwerpunkt S .

Die Bezeichnung $\bar{\delta}$ wird für das Grundwerk nach Abb. 14 angewendet. Es ist das Gewölbe im Scheitel durchschnitten zu denken. Von den Schnittstellen führen starre Stäbe zum elastischen Schwerpunkt. Unter $\bar{\delta}_{HH}$ wird daher z. B. die gegenseitige waagerechte Verschiebung im elastischen Schwerpunkt S infolge der gegenseitigen Kraft $H=1$ im Grundwerk nach Abb. 14 verstanden.

Es ist ohne weiteres einzusehen, daß

$$(39a) \quad \delta' = \bar{\delta}.$$

In gleicher Weise werden die Ordinaten der Einflußlinien der überzähligen Größen mit η' im Grundwerk nach Abb. 13 und mit $\bar{\eta}$ im Grundwerk nach Abb. 14 bezeichnet. Es sind die Ordinaten der Einflußlinie für den Seitenschub

$$(39b) \quad \eta'_H = \bar{\eta}_H.$$

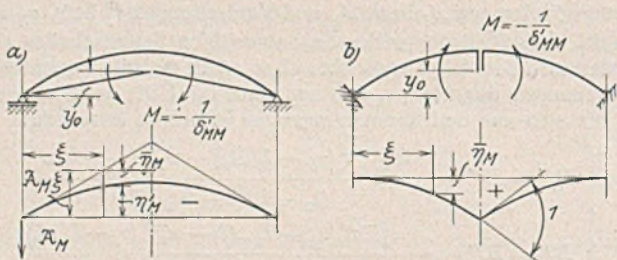


Abb. 15. Beziehung zwischen den Einflußordinaten η'_M und $\bar{\eta}_M$ für das Moment M im elastischen Schwerpunkt bei Grundwerken nach Abb. 13 u. 14.

Zwischen den Einflußordinaten für das Moment im elastischen Schwerpunkt η'_M und $\bar{\eta}_M$ besteht nach Abb. 15a u. b folgender Zusammenhang:

$$(39c) \quad \bar{\eta}_M = -\mathfrak{A}_M \xi + \eta'_M = |\mathfrak{A}_M \xi| - \eta'_M.$$

\mathfrak{A}_M ist der Auflagerdruck der elastischen Gewichte im Kämpfer und ist nach Abb. 15a ebenso wie η'_M negativ.

Gleichsinnig erhält man die Beziehung zwischen $\bar{\eta}_V$ und η'_V nach Abb. 16 zu:

$$(39d) \quad \bar{\eta}_V = -\mathfrak{A}_V \xi + \eta'_V.$$

wobei \mathfrak{A}_V den Auflagerdruck der elastischen Gewichte im Kämpfer darstellt (Abb. 16a).

Es besteht zwischen den Formänderungen δ im Grundwerk nach Abb. 9 und den Formänderungen δ' im Grundwerk nach Abb. 13, wenn unter y_0 der Abstand des elastischen Schwerpunktes S von der Verbindungslinie der Knotenpunkte und unter l ihre Länge verstanden wird (Abb. 13), folgender Zusammenhang.

$$(40a) \quad \begin{cases} \delta_{HH} = \delta'_{HH} + y_0^2 \delta'_{MM} \\ \delta_{MM} = \frac{\delta'_{MM}}{4} + \frac{\delta'_{VV}}{l^2} \\ \delta_M = \frac{\delta'_{MM}}{4} - \frac{\delta'_{VV}}{l^2} \\ \delta_{HM} = -\frac{1}{2} y_0 \delta'_{MM} \end{cases} \quad \begin{cases} \delta'_{HH} = \delta_{HH} - 2y_0^2 (\delta_{MM} + \delta_M) \\ \delta'_{MM} = 2(\delta_{MM} + \delta_M) \\ \delta'_{VV} = \frac{l^2}{2} (\delta_{MM} - \delta_M) \\ y_0 = -\frac{\delta_{HM}}{\delta_{MM} + \delta_M} \end{cases}$$

Wir wollen im folgenden die Einflußlinien für die überzähligen Größen des Gewölbes (0, 1) bestimmen:

Ähnlich wie in den bereits besprochenen Fällen setzen sich die Einflußlinien aus zwei Teilen zusammen. Der erste Teil entsteht, wenn man die Knoten 0 und 1 starr festhält, als die Einflußlinie für die betreffende überzählige Größe des starr eingespannten Bogens; der zweite Teil ist mit Hilfe des gezeigten Verfahrens zu bestimmen.

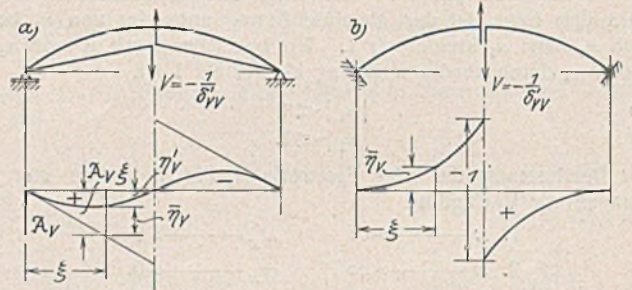


Abb. 16. Beziehung zwischen den Einflußordinaten η'_V und $\bar{\eta}_V$ für die Querkraft im elastischen Schwerpunkt in den Grundwerken nach Abb. 13 u. 14.

Wir wollen den Vorgang zur Ermittlung der Einflußlinien an Hand der Einflußlinie für den Seitenschub besprechen. Er ist für alle übrigen Einflußlinien gleichsinnig durchzuführen.

Um die Einflußlinie für den Seitenschub der durchlaufenden Gewölbereihe zu erhalten (Abb. 17a), durchschneiden wir das Gewölbe (0, 1) im Scheitel und lassen an den starren Stäben, die zum elastischen Schwerpunkt führen (Abb. 14), in diesem die gegenseitige Zugkraft $H = -\frac{1}{\delta'_{HH}}$ wirken. Setzen wir vorerst die Knoten 0 und 1 starr festgehalten voraus, so wird durch die genannte Zugkraft eine gegenseitige waagerechte Verschiebung l im elastischen Schwerpunkt entstehen.

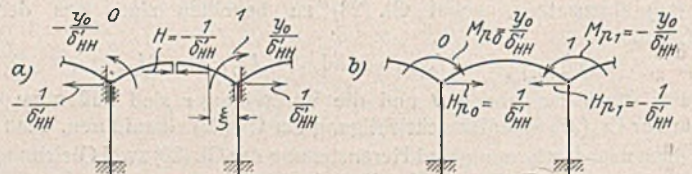


Abb. 17. Bestimmung der Einflußlinie des Seitenschubes für das Gewölbe (0, 1).

Die Biegelinie für diese Beanspruchung ist gleich der Einflußlinie für den Seitenschub im elastischen Schwerpunkt des starr eingespannten Bogens.

Es treten nach Abb. 17a in den Knoten 0 und 1 Auflagerdrücke $\pm \frac{1}{\delta'_{HH}}$ und Einspannmomente $\pm \frac{y_0}{\delta'_{HH}}$ auf. Läßt man diese Lagerkräfte in gleicher Größe aber in entgegengesetzter Richtung auf die Gewölbereihe nach Abb. 17b wirken, so kann man mit Hilfe der gefundenen Gl. 35, wenn man für H_{p0} und M_{p0} bzw. H_{p1} und M_{p1} die entsprechenden Werte unter Berücksichtigung ihres Vorzeichens (wie es in Abb. 17b eingetragen ist) einsetzt, die Verschiebung \mathfrak{A}_x und die Verdrehung τ_x aller Knoten berechnen. Mit Hilfe der Gl. (11), (13) und (15) erhält man das Kräftespiel und damit sämtliche Formänderungen bzw. die Biegelinie der Gewölbereihe infolge des Lastangriffs nach Abb. 17b. Die Summe der lotrechten Ordinaten der Biegelinien aus den Lastfällen nach Abb. 17a u. b ergibt uns die Biegelinie der Gewölbereihe infolge der gegenseitigen waagerechten Verschiebung l und damit die Einflußlinie für den Seitenschub H im elastischen Schwerpunkt. Die zu dieser Verschiebung notwendige Kraft ist aber kleiner als $-\frac{1}{\delta'_{HH}}$, weil aus dem Lastfall nach Abb. 17b für das Gewölbe (0, 1) ein positiver Seitenschub, also Druck ermittelt wird.

Die Ordinaten der Einflußlinie für den Seitenschub im elastischen Schwerpunkt des Gewölbes (0, 1) setzen sich daher zusammen aus: Im Feld (0, 1).

$$(41) \quad \eta_H = \eta'_H (1 - \delta'_{HH} H_{01}) - \eta'_M \delta'_{MM} (M_{1I} - H_{01} y).$$

Gleichsinnig erhält man für das Moment im elastischen Schwerpunkt η_M und für die Querkraft an der genannten Stelle η_V .

$$(42) \quad \eta_M = \bar{\eta}_M - \eta'_H \delta'_{HH} H_{01} - \eta'_M \delta'_{MM} (M_{11} - H_{01} y_0).$$

$$(43) \quad \eta_V = \bar{\eta}_V - 2 \eta'_V \delta'_{VV} \frac{M_{11}}{l}.$$

Wie man sieht, werden die Einflußlinien für die durchlaufende Gewölbereihe nur aus Bestandteilen der Einflußlinien für den starr eingespannten Bogen gebildet.

Für H_{01} und M_{11} sind in Gl. (41) bis (43) die Werte einzusetzen, die den jeweiligen Lastfällen (Abb. 15 u. 16), die zur Ermittlung der verschiedenen Einflußlinien benötigt werden, entsprechen. Also für jede der Gl. (41), (42) u. (43) verschiedene Werte von H_{01} und M_{11} .

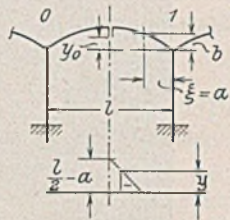


Abb. 18.
Einflußordinaten η
für das Grundwerk.

Für das Feld $(x, x + 1)$ gilt:

$$(44) \quad \left\{ \begin{aligned} \eta_H = \eta_M = \eta_V = & - \eta'_H \delta'_{HH} H_{x,x+1} - \eta'_M \delta'_{MM} \left(\frac{M_{x,r} + M_{x+1}}{2} \right. \\ & \left. - H_{x,x+1} y_0 \right) + \eta'_V \delta'_{VV} \frac{M_{x,r} - M_{x+1}}{l}, \end{aligned} \right.$$

wobei natürlich, je nachdem es sich um η_H , η_M oder η_V handelt, andere Werte von $H_{x,x+1}$, $M_{x,r}$ und M_{x+1} in diese Gleichungen einzusetzen sind, so daß bei der zahlenmäßigen Ausrechnung $\eta_H \neq \eta_M \neq \eta_V$ wird.

Aus den Einflußlinien für H , M und V im elastischen Schwerpunkt des Gewölbes (0, 1) lassen sich die Ordinaten aller übrigen Einflußlinien ausdrücken.

So findet man z. B. die Einflußordinaten für das Moment M_ξ an der Stelle $\xi = a$ der Abb. 18.

$$(45) \quad \eta = \eta + \eta_H (y_0 - b) + \eta_M + \eta_V \left(\frac{l}{2} - a \right).$$

η sind die Einflußordinaten im Grundwerk für das Moment in $\xi = a$ gemäß Abb. 18. Gl. (45) gilt für alle Felder. (Schluß folgt.)

Vermischtes.

Heinrich Koppenberg 60 Jahre alt. Generaldirektor Dr. Koppenberg feiert am 15. März seinen sechzigsten Geburtstag.

Ein klarer Blick, ein eiserner Wille, ein unermüdlischer Fleiß und ein unbeugsames Vorwärtstreben hat diesen seltenen Mann vom Schlosser der Kruppschen Gußstahlfabrik zum Generaldirektor der Junkerswerke aufsteigen lassen.

Während seiner Lehrlingszeit als Schlosser besuchte der Wißbegierige die Fortbildungsschule mit größtem Erfolg. Nun ließ ihn der Drang nach Wissen nicht mehr ruhen. Er wurde Schüler der Maschinenbau- und Hüttschule in Duisburg und trat dann als Konstrukteur bei der Kruppschen Gußstahlfabrik ein. Hier hatte er Gelegenheit, beim Bau der Walzenstraßen mit allen ihren Einrichtungen für das neue große Krupp-Werk, die Friedrich-Alfred-Hütte in Rheinhausen, in vielseitiger Weise mitzuarbeiten.

Durch eifriges Selbststudium erweiterte er seinen Gesichtskreis immer mehr, seine erstaunliche Auffassungsgabe und sein glänzendes Gedächtnis kamen ihm dabei zugute. Durch Besuch von Industriewerken und von Ausstellungen schärfte er seinen Blick und lernte schnell, überall das Wesentliche herauszufinden und das Schlechte vom Guten zu unterscheiden.

Im November 1906 trat er als erster Konstrukteur und als Neubauleiter bei den Vereinigten Stahlwerken von der Zypen und Wissener Eisenhütten AG. in Köln-Deutz ein. Im Weltkrieg stand er im Dienst des Heereswaffenamtes. Nach der Erledigung vieler anderer wichtigen Aufgaben hatte er eine Geschoßfabrik zu errichten.

Im Jahre 1915 wurde er Leiter des Lauchhammerwerkes in Riesa. Hier fand er das Feld, wo er seine reichen Erfahrungen richtig verwenden konnte, wo sich sein Weitblick und seine Organisationsgabe betätigen konnten.

Wer das Werk vor dem Kriege kannte und es nach dem Kriege wiedersah, der konnte nicht genug staunen, was Koppenberg aus ihm gemacht hatte. Ohne den Betrieb zu unterbrechen, hat er ein neues, wesentlich vergrößertes, leistungsfähiges, wirtschaftlich arbeitendes Werk geschaffen. 1922 übernahm Koppenberg auch die beiden anderen Lauchhammerwerke in Lauchhammer und Gröditz. In richtiger Erkenntnis der Notwendigkeit der Mechanisierung der Braunkohlegewinnung nahm er in großzügiger Weise den Bau von Baggern, Absetzern und Abraumförderbrücken auf. Die Lauchhammerschen Abraumförderbrücken gewannen bald Weltruf.

Durch Zusammenschluß der Lauchhammerwerke mit Linke-Hofmann, mit der Oberschlesischen Eisenindustrie, mit dem Stahl- und Walzwerk Brandenburg und mit der Maxhütte entstanden unter Koppenbergs Einfluß die Mitteldeutschen Stahlwerke, ein großes, überaus leistungsfähiges Konzernwerk.

In die Zeit der zwanziger Jahre fällt die verdienstvolle Zusammenarbeit Koppenbergs mit der Deutschen Reichsbahn zur Schaffung eines

neuen hochwertigen Baustahls. Koppenberg erkannte weitblickend die Richtigkeit der Bestrebungen der Deutschen Reichsbahn nach einem hochwertigen Baustahl und baute mit ihrer Hilfe in dem Werke Riesa einen Ofen zur Erzeugung von hochwertigem Siliziumbaustahl. Diese Tat rief andere Stahlwerke, die den neuen Bestrebungen noch ablehnend gegenüberstanden hatten, auf den Plan, und es entstand dann in der Folgezeit nach langen eingehenden Forschungsarbeiten der deutsche hochwertige Baustahl St 52. Der neue Stahl schaffte erst die Möglichkeit, große Eisenbahn- und Straßenbrücken technisch einwandfrei und wirtschaftlich zu bauen. Ohne den neuen Stahl wäre es auch unmöglich gewesen, die schönen großen vollwandigen Stahlbrücken der Reichsautobahnen zu bauen. Bei vielen internationalen Wettbewerben für Brückenbauten und Hochhäuser brachte der St 52 den Auftrag in deutsche Hände. Die Deutsche Kriegsmarine führte bald den St 52 für ihre Schiffsbauten ein und verwendet ihn seitdem mit großem technischen Nutzen. Auch der Fahrzeugbau hat aus dem St 52 große Vorteile gezogen.

Nach der Machtübernahme durch den Führer erwachsen der deutschen Industrie ungeheure Aufgaben. Männer wurden gesucht, die diese Aufgaben meistern konnten. Koppenberg wurde an die Spitze der Junkerswerke berufen. Hier war ein Mann vom Schlage Koppenbergs nötig. Es galt, Gewaltiges zu organisieren und aufzubauen, um Flugzeuge und Motoren in solcher Güte und in solcher Zahl zu bauen, wie sie die deutsche Luftwaffe zur siegreichen Verteidigung des Reiches gebraucht. Was in Dessau und in den Tochterwerken gearbeitet und geleistet ist, um dieses Ziel zu erreichen, das zu schildern, muß einer späteren Zeit vorbehalten bleiben. Es wird ein ewiges Ruhmesblatt in der Geschichte der deutschen Industrie bleiben.

Im Jahre 1934 wurde Koppenberg mit einer weiteren gewaltigen Aufgabe betraut, mit der technischen Leitung der Braunkohle-Benzin A.G., des Unternehmens, das Deutschland von ausländischen Treibstoffen unabhängig machen soll. Zur Beschleunigung des Aufbaues dieses Unternehmens rief Koppenberg die „Mineralöl-Bau-Gesellschaft“ ins Leben, der die Aufgabe zufiel, die neuen Hydrierwerke zu bauen und einzurichten. Auch dieser äußerst schwierigen Aufgabe ist Koppenberg Herr geworden.

Koppenbergs große Verdienste wurden durch Verleihung der Würde eines Ehrendoktors der Technischen Hochschule Dresden und der Bergakademie Freiberg und eines Ehrensenators der Technischen Hochschulen Breslau und Dresden anerkannt.

Trotz seiner übermäßigen Inanspruchnahme hat sich Koppenberg den Sinn für alles Große und Schöne bewahrt. Er liebt die Berge, den Wald und das Wild, er fliegt leidenschaftlich gern; im Jahre 1937 überzeugte er sich selbst auf einem dreimonatigen Flug rund um Afrika von der Güte seiner Junkers-Flugzeuge. In seiner schönen großen Bäckerei ist er so zu Hause, als ob er nichts weiter zu tun hätte als zu lesen. Seinen Freunden ist er ein echter Freund. Den Bedrängten ist er im stillen ein immer bereiter Helfer.

Koppenberg steht auf der Höhe seines Schaffens im Vollbesitz seiner geistigen und körperlichen Kräfte. Möge dies Geschenk dem seltenen Mann noch lange zum Segen von Deutschland erhalten bleiben.

Schaper.

Technische Hochschule Hannover. Prof. Dr.-Ing. Alexander Matting wurde an Stelle des im Polenfeldzug gefallenen Rektors Prof. Hans Simons das Rektorat an der Technischen Hochschule Hannover übertragen.

Verordnung über die Reichswasserstraßenverwaltung in den eingegliederten Ostgebieten. Vom 22. Dezember 1939. Auf Grund des § 12 Abs. 2 des Erlasses des Führers und Reichskanzlers über Gliederung und Verwaltung der Ostgebiete vom 8. Oktober 1939 (Reichsgesetzbl. I S. 2042) wird verordnet:

§ 1. Die Wasserstraßenverwaltung in den eingegliederten Ostgebieten wird in die Reichswasserstraßenverwaltung eingefügt.



Aufn.: Erfurth.

§ 2. 1. Reichswasserstraßen sind

- a) die Weichsel im Bereiche des Reichsgaues Danzig-Westpreußen und der Provinz Ostpreußen;
- b) die Warthe unterhalb Kolo, der Warthe-Goplosee-Kanal, die Netze vom Goplosee (einschl.) abwärts, der Obere Netze-Kanal, der Bromberger Kanal und die Brahe von Bromberg bis zur Weichsel.

2. Der Reichsverkehrsminister kann im Einvernehmen mit den beteiligten Reichsministern die näheren Abgrenzungen der Reichswasserstraßen bestimmen und noch andere Wasserstraßen der eingegliederten Ostgebiete zu Reichswasserstraßen erklären oder Reichswasserstraßen ihrer Eigenschaft entkleiden.

§ 3. 1. Als Mittelbehörden der Reichswasserstraßenverwaltung werden unbeschadet des § 4 Abs. 1 dieser Verordnung bestimmt:

- für das Weichselgebiet (§ 2 Abs. 1 Buchst. a) einschl. der Nogat der Reichsstatthalter in Danzig-Westpreußen,
- für das Warthe- und Netzegebiet (§ 2 Abs. 1 Buchst. b) der Reichsstatthalter in Posen.

2. Die Reichsstatthalter nehmen die ihnen zugewiesenen Aufgaben der Wasserstraßenverwaltung durch die dem Wasserstraßendirektor unterstellte Abteilung für Wasserstraßen ihrer Behörde wahr.

3. Sie vertreten das Reich (Reichswasserstraßenverwaltung) in Rechtsgeschäften und Rechtsstreitigkeiten aller Art.

§ 4. 1. Der Reichsverkehrsminister kann im Einvernehmen mit dem Reichsminister des Innern die übernommenen Wasserstraßen den Behörden der Reichswasserstraßenverwaltung ohne Rücksicht auf die Verwaltungsbezirksgrenzen zuweisen.

2. Der Reichsverkehrsminister bestimmt die den Mittelbehörden der Reichswasserstraßenverwaltung in den eingegliederten Ostgebieten nachzuordnenden Ortsbehörden und setzt ihren Geschäftsbereich fest.

§ 5. 1. Soweit für die einem Reichsstatthalter zugeteilten Wasserstraßen das preußische Wasserrecht gilt, hat der Reichsstatthalter die Zuständigkeit eines Oberpräsidenten, dem die Verwaltung eines mehrere Verwaltungsbezirke durchschneidenden Wasserlaufes übertragen ist.

2. Im übrigen bestimmt der Reichsverkehrsminister im Einvernehmen mit dem Reichsminister des Innern die sachliche Zuständigkeit der mit der Verwaltung der Reichswasserstraßen in den eingegliederten Ostgebieten beauftragten Behörden.

§ 6. 1. Der Reichsverkehrsminister kann im Einvernehmen mit den beteiligten Reichsministern anordnen, inwieweit

- a) Gegenstände als Zubehör auf das Reich (Reichswasserstraßenverwaltung) und
- b) die im Eigentum juristischer Personen des öffentlichen Rechtes befindlichen Häfen, Anlegestellen, Fähren und Brücken an Reichswasserstraßen auf das Reich (Reichswasserstraßenverwaltung) oder auf andere öffentliche Gebietskörperschaften übergehen.

Er kann die hiernach zur Übernahme von Gegenständen erforderlichen Maßnahmen treffen.

2. Die Anordnung begründet Rechte und Pflichten der Beteiligten und bewirkt den Übergang, die Beschränkung und Aufhebung von dinglichen Rechten. Zum Nachweise hierfür genügt eine Erklärung des Reichsverkehrsministers, daß er den Übergang, die Beschränkung und Aufhebung der dinglichen Rechte gemäß Abs. 1 Satz 1 angeordnet habe.

§ 7. Der Reichsverkehrsminister erläßt im Einvernehmen mit den beteiligten Reichsministern die zur Durchführung und Ergänzung dieser Verordnung erforderlichen Rechts- und Verwaltungsvorschriften.

§ 8. Die Verordnung tritt am 1. Januar 1940 in Kraft mit Ausnahme des § 2 Abs. 1, der mit Wirkung vom 26. Oktober 1939 in Kraft gesetzt wird.

Berlin, den 22. Dezember 1939.

Der Reichsminister des Innern. Frick.

Der Reichsverkehrsminister. Dorpmüller.

Neuer Elektrohammer. Zum Meißeln und Bohren von Löchern bei Bauarbeiten aller Art ist von den Siemens-Schuckert-Werken AG ein neuer Elektrohammer geschaffen worden (Abb. 1), der einfach im Aufbau und bei dem Gewicht von 8 kg leicht zu handhaben ist.

Der Hammer besteht aus dem Motor *a* (Abb. 2), dem Kurbeltrieb *c* und dem Schlagwerk *e*, *f* und *g*.

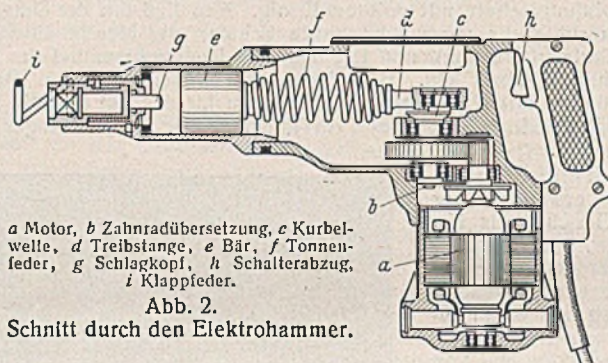
Wenn der Motor *a* mit 200 Watt Leistungsaufnahme (110 V Gleichstrom oder 125 V Wechselstrom oder 220 V Gleich- und Wechselstrom) Strom erhält, treibt er über die Zahnradübersetzung *b* die in Kugellagern gelagerte Kurbelwelle *c* an. Die Kurbelwelle *c* versetzt durch die Treibstange *d* die den Bär *e* tragende Tonnenfeder *f* so in eine hin- und hergehende Bewegung, daß der Bär *e* gegen den Schlagkopf *g* schlägt. In Betrieb gesetzt wird der Hammer durch Anziehen des Schalterabzugs *h* mit dem Zeigefinger der haltenden Hand.

Der zu dem Hammer gehörende Schutzkontaktstecker zum Anschließen an eine Lichtleitung ist mit den Schutzkontakten durch eine rote Ader der Zuleitung mit dem Gehäuse des Hammers verbunden. Für einen genügenden Schutz gegen zu hohe Berührungsspannungen müssen die Schutzkontakte der Steckdose an einen im Netz vorhandenen Schutzleiter angeschlossen sein.

Zum Einsetzen der Werkzeuge in den Hammer wird die Klappfeder *i* hochgedrückt und das Werkzeug in den Schlagkopf *g* gesteckt. Wenn das Vierkant am Werkzeug richtig im Vierkant des Schlagkopfes sitzt, wird die Klappfeder *i* wieder heruntergedrückt.



Abb. 1. Elektrohammer beim Bohren mit einem Kreuzbohrer und einem Bohreinsatzstück.
Bauart Siemens.



a Motor, *b* Zahnradübersetzung, *c* Kurbelwelle, *d* Treibstange, *e* Bär, *f* Tonnenfeder, *g* Schlagkopf, *h* Schalterabzug, *i* Klappfeder.
Abb. 2.
Schnitt durch den Elektrohammer.

Zum Schmieren des Hammers, das nach 1000 Betriebsstunden vorgenommen werden muß, gehören 60 bis 80 g Wälzlagerfett. Der Bär und der Schlagkopf werden nur wenig mit Fett bestrichen. Nach dem Abnehmen des Blechdeckels und dem Ausbauen des Motors kann das Triebwerk ohne Zerlegen mit einem Lösungsmittel ausgewaschen und darauf neu geschmiert werden.
R. —

Patentschau.

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung einer Fußverbreiterung bei Ortpfählen. (Kl. 84c, Nr. 649 132, vom 6. 2. 1936, von Dipl.-Ing. August Gronauer in München.) Um bei jedem einzelnen Pfahl eine zuverlässige Messung der Fußbreite und eine statisch einwandfreie Form der Verbreiterung zu erreichen, wird vom unteren Ende des abgeteufte Vortreibrohres aus ein Kranz in senkrechter Richtung leicht gebogener eiserner Bohlen in der Weise in den Untergrund gerammt und gedrückt, daß sich der Kranz nach unten kelchförmig öffnet und daß im Schutze dieses Kranzes der in seinem Innern befindliche Erdkern herausgeholt und durch Beton ersetzt wird. In das abgeteufte Bohrrohr *1* ist der Bohlenkranz *2*, der am oberen Ende durch einen federnden Kopfring *3* zusammengehalten ist, nebst dem Korb aus senkrechten Lehren *4* und waagerechten Verbindungsringen *5* eingesetzt. Die Bohlen überlappen sich im Führungskorb mit den Rändern und sind zwecks gemeinsamen Einsetzens in das Bohrrohr mit den Rändern durch Zwingen *6* verbunden.

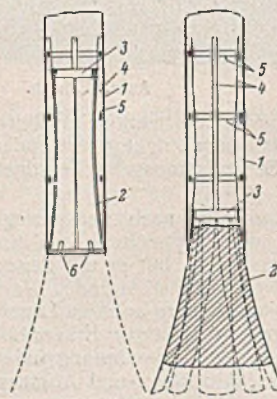


Abb. 1.

Abb. 2.

INHALT: Fußwegbrücke über Eisenbahn und Autobahn. — Durchlaufende Gewölbe auf waagrecht nachgiebigen Pfeilern. — Vermischtes: Heinrich Koppenberg 60 Jahre alt. — Technische Hochschule Hannover. — Verordnung über die Reichswasserstraßenverwaltung in den eingegliederten Ostgebieten. — Neuer Elektrohammer. — Patentschau.

Verantwortlich für den Inhalt: Dr.-Ing. Erich Lohmeyer, Oberbaudirektor a. D., Berlin.
Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin W 9.
Druck: Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.