

# DER STAHLBAU

Schriftleitung:

Professor Dr.-Ing. K. Klöppel, Darmstadt, Technische Hochschule

Fernsprecher: Darmstadt 7711, Apparat 599

Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 421 61

Veröffentlichungsbeiträge an voranstehende Anschriften erbeten

Beilage  
zur Zeitschrift

## DIE BAUTECHNIK

Fachschrift für das ge-  
samte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

12. Jahrgang

BERLIN, 18. August 1939

Heft 17

### Über die Verrostung alter im Wasserbau verwendeter Stahlteile.

(Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem.)

Von Gerhard Schikorr und Kurt Alex.

#### A. Einleitung.

Bei den mannigfachen Abbrüchen, die in den letzten Jahren in Berlin ausgeführt wurden, wurde eine große Zahl von alten Stahlteilen frei. Zur Erweiterung der Kenntnisse über die Rostbeständigkeit des Stahls beantragte der Deutsche Stahlbau-Verband beim Staatlichen Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem eine entsprechende Untersuchung einiger alter Teile. Über diese Untersuchung und ihre Ergebnisse wird im folgenden berichtet.

#### B. Herkunft der Teile.

Die untersuchten Teile stammen vom Umbau der alten Stadtschleuse 1936/1937, die im Grundriß in Bild 1 wiedergegeben ist. Die Nummern 1 bis 5 kennzeichnen in ihm die Stellen, an denen sich die untersuchten Teile befunden hatten. Die Stellen waren:

1. Trägerwand aus Normalprofilen (vom Jahre 1896),
2. Umlauf vom westlichen Unterhaupt (vom Jahre 1863),
3. Rostabdeckung des westlichen Einlaufs am Oberhaupt (vom Jahre 1863),
4. westliche Uferwand (vom Jahre 1890),
5. östliche Uferwand (vom Jahre 1894).

#### C. Untersuchung von Normalprofilen aus einer Trägerwand

(Einbau 1896, vgl. Bild 1).

Zur Untersuchung lagen je ein 1,50 m langer Abschnitt von I 24 und I 13 vor; die I 24 und I 13 waren in der in Bild 1 angedeuteten Art eingebaut, so daß die Stege der I 13 sich zwischen den Flanschen der I 24 befanden.

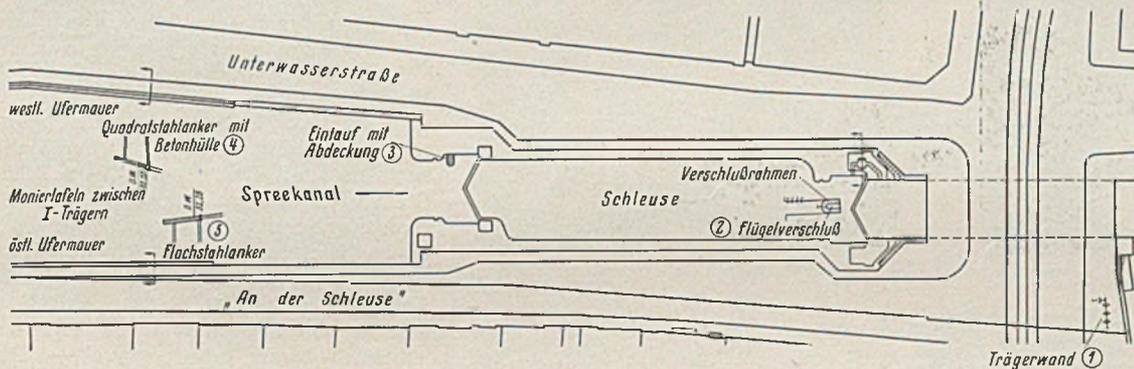


Bild 1. Grundriß der alten Stadtschleuse.

a) Normalprofil I 24. Der Abschnitt der I 24 ist in Bild 2 von der einen Seite wiedergegeben. Bild 3 zeigt den unteren Teil des Abschnitts von der anderen Seite. Die eine Seite (Bild 2) war mit Betonresten bedeckt, diese Seite hatte also im eingebauten Zustand gegen Beton gelegen. Irgendein beträchtlicher Angriff war nicht zu erkennen<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Worauf das verschiedene Aussehen des oberen und des unteren Teils zurückzuführen ist, ist hier unbekannt. Die dunklen Flächen auf dem oberen Teil sind rote Farbstriche.

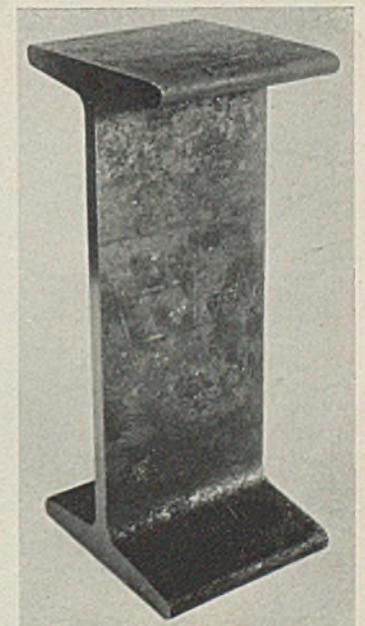
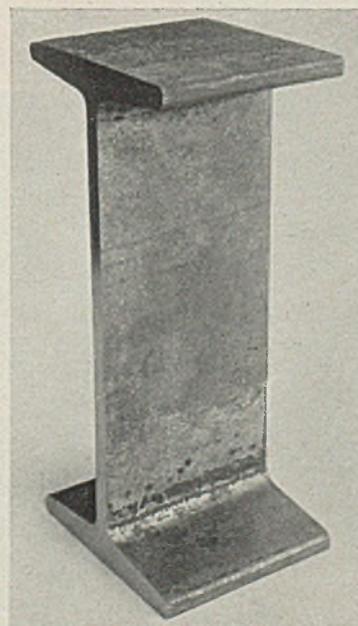
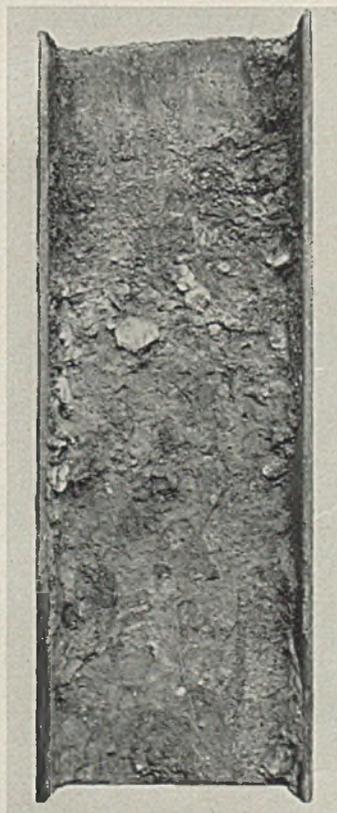
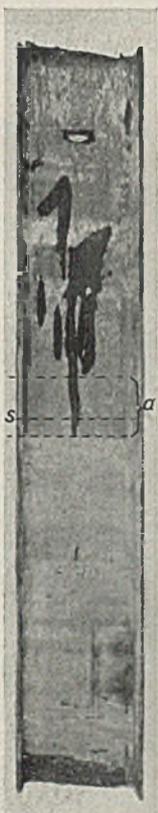


Bild 2. Betonseite.

Bild 3. Bodenseite.

Bild 4. Schnitt a aus Bild 2 u. 3, entrostet (Betonseite).

Bild 5. Schnitt a aus Bild 2 u. 3, entrostet (Bodenseite).

I 24. Alter 40 Jahre.

Die andere Seite war auf ihrem unteren Teil (Bild 3) mit einer festhaftenden lehmigen, zum Teil rostfarbigen Sandschicht, in der mehrere größere Kalkmörtel- und Ziegelsteinstücke fest eingewachsen waren, bedeckt; auf dem oberen Teil befand sich eine ziemlich gleichmäßige, lehmige graugelbe Sandrostschicht<sup>2)</sup>. Diese Seite hatte also gegen das Erdreich gelegen.

Zur Feststellung des Angriffs unter der Sandrostschicht wurde das in Bild 2 mit *a* bezeichnete Stück abgesägt und von der Sandrostschicht befreit (zuerst mechanisch, dann mit sparbeizehaltiger Salzsäure und durch kathodische Behandlung in Natronlauge). Ein praktisch belangreicher Angriff war jetzt nicht zu erkennen. Bild 4 zeigt das gereinigte Stück von der Betonseite, Bild 5 von der Bodenseite her. Hier sind noch die Walzzeichen zu erkennen. Noch deutlicher ist die gute Erhaltung des I 24 aus Bild 6 zu erkennen, die den geschliffenen Schnitt *S* (vgl. Bild 2) wiedergibt und zeigt, daß die Einfressungen belanglos sind.

Die chemische Analyse des Stahls ist in Zahlentafel 1 wiedergegeben<sup>3)</sup>.

Zahlentafel 1. Chemische Analyse der untersuchten Stahlteile.

Art des Stahlteils	Gehalt in % an							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
I 24	0,08	0,01	0,56	0,067	0,063	0,04	0,04	0,02
I 13	0,04	0,01	0,51	0,064	0,026	0,08	0,05	0,02
Steigeisen	0,01	0,18	0,06	0,22	0,069	0,07	0,03	0,02
I 20	0,02	0,02	0,42	0,074	0,065	0,05	0,03	0,02
I 32	0,03	0,01	0,39	0,044	0,032	0,10	0,05	0,02
I 30	0,04	0,01	0,40	0,107	0,092	0,10	0,05	0,02

Es handelt sich hiernach um kohlenstoffarmen Flußstahl.

b) Normalprofil I 13. Der untersuchte Abschnitt des I 13 ist in Bild 8 wiedergegeben. Er war auf beiden Seiten des Stegs mit zum Teil dunklem blasigen, zum Teil braunem Rost bedeckt. (Der Steg hatte auf beiden Seiten unmittelbar an den Außenseiten von Flanschen des I 24 gelegen.) Der eine Flansch zeigte etwa das Aussehen der gegen das Erdreich (im wesentlichen Sand-Lehm-Gemisch) gelagerten Seite des I 24, während der andere Flansch mit einer ähnlichen Rostschicht wie der Steg bedeckt war. Dieser Flansch zeigte einen nur geringen Angriff, während jener an einem Teil (vermutlich demjenigen, der sich in der Höhe des Grundwasserspiegels befunden hatte) erheblich angegriffen war.

In Bild 9 ist die am stärksten angegriffene Stelle (in Bild 8 mit *a* bezeichnet) nach Entrostet wiedergegeben. Man erkennt die deutlichen Anfrassungen an dem einen Flansch.

Bild 10 zeigt einen geschliffenen Querschnitt durch den Träger an der Stelle der stärksten Anfrassung in  $\frac{1}{2}$  natürlicher Größe, aus dem sich die Dicke der abgerosteten Schicht zu höchstens etwa 4 mm ergibt. Hieraus errechnet sich die größte Korrosionsgeschwindigkeit zu etwa 0,1 mm Abtragung je Jahr. Es ist dabei jedoch zu

beachten, daß es sich um einen Höchstwert handelt und der Träger an den meisten anderen Stellen erheblich besser erhalten war. — Die Werkstoffuntersuchung des Trägers hatte das folgende Ergebnis:

Die Seigerungen waren ziemlich gering (vgl. Bild 10). Das Gefüge (bei *G*, Bild 10, festgestellt) entsprach kohlenstoffarmem Flußstahl mit geringen nichtmetallischen Einschlüssen (vgl. Bild 11). Die chemische Analyse ist in Zahlentafel 1 wiedergegeben. — Nach der Analyse handelt es sich um kohlenstoffarmen Flußstahl normaler Zusammensetzung.

<sup>2)</sup> Die Ursachen für diese Verschiedenheit der anderen Seite sind ebenfalls unbekannt.

<sup>3)</sup> Die Probepäne für die Analyse wurden hier und in allen folgenden Fällen über den ganzen Querschnitt entnommen.

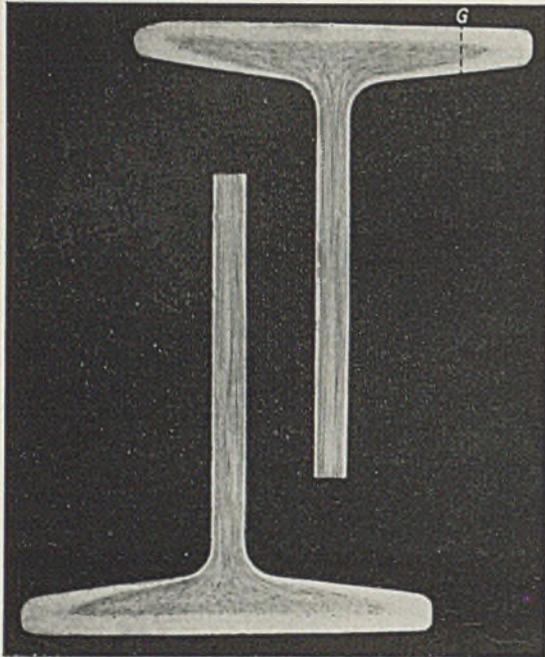


Bild 6. Querschnitt durch I 24 bei *S* in Bild 2.



Bild 7. Gefüge bei *G* in Bild 6.

Bild 6 zeigt gleichzeitig die durch Ätzen mit Kupfer-Ammoniumchlorid-Lösung kenntlich gemachte Zonenbildung infolge Schwefel- und Phosphorseigerungen, die als normal zu bezeichnen ist.

Das Gefüge des Stahls an der in Bild 6 mit *G* bezeichneten Stelle ist in Bild 7 wiedergegeben. Es handelt sich hiernach um kohlenstoffarmen Flußstahl mit beträchtlichen nichtmetallischen Einschlüssen, die im allgemeinen in der Walzrichtung gestreckt sind.



Bild 8. I 13.

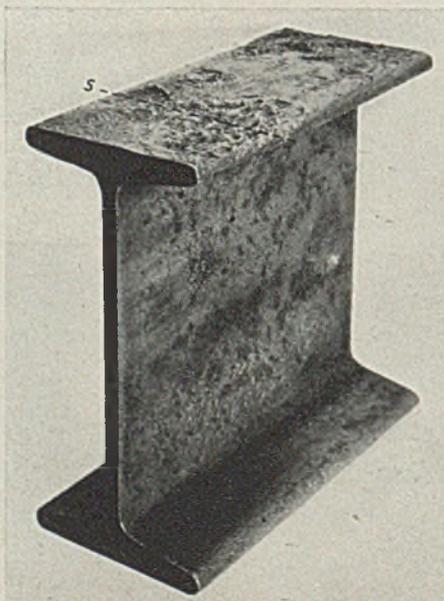


Bild 9. Abschnitt *a* aus Bild 8, entrostet.

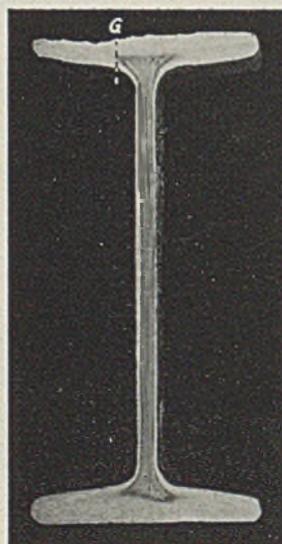


Bild 10. Schnitt durch I 13 entsprechend *S* in Bild 8 u. 9.



Bild 11. Gefüge bei *G* in Bild 10.

**D. Untersuchung von Stahlteilen vom Umlauf und Einlauf**

(vgl. Bild 1, 2 u. 3, Einbau 1863).

Untersucht wurden:

1 Flügelverschluß, 1 Steigeisen, 1 Stück des Verschlußrahmens, 1 Rostabdeckung.

a) Flügelverschluß. Der Einbau des Flügelverschlusses in den Umlauf ist in Bild 1 dargestellt. Der Verschluß, der aus Schmiedeeisen bestand, war größtenteils stehend, beim Öffnen der Schleuse jedoch sehr rasch fließendem Flußwasser<sup>4)</sup> ausgesetzt gewesen. Zur Verfügung stand nur etwa  $\frac{1}{10}$  des Verschlusses (Bild 12). Auf ihm waren noch Reste eines Mennigeanstrichs vorhanden. Ein beträchtlicher Angriff war nirgends erkennbar. Von einer näheren Untersuchung des Flügelverschlusses wurde abgesehen.

b) Steigeisen. Das untersuchte Steigeisen bildete eine Sprosse einer in die Wand des Einstiegschachtes zum Flügelverschluß eingelassenen Leiter (vgl. Bild 1 bei 2). Es befand sich dauernd unter Wasser, und zwar bei etwa den gleichen Bedingungen wie der Flügelverschluß.

Das Steigeisen ist in Bild 13 wiedergegeben. Deutlich sind die in das Mauerwerk eingelassenen Enden, noch völlig unangegriffenen Enden von dem stark angefressenen Mittelteil, der dem Wasser ausgesetzt gewesen war, zu unterscheiden. Besonders stark<sup>5)</sup> war der Angriff kurz nach der einen Austrittsstelle aus dem Mauerwerk.

Die angegriffene Fläche zeigte eine Art Faserstruktur in der Walzrichtung. In Bild 14 ist das in Bild 13 mit *a* bezeichnete Stück größer wiedergegeben. Hier ist die Faserstruktur deutlich zu erkennen (vgl. dazu weiter unten).

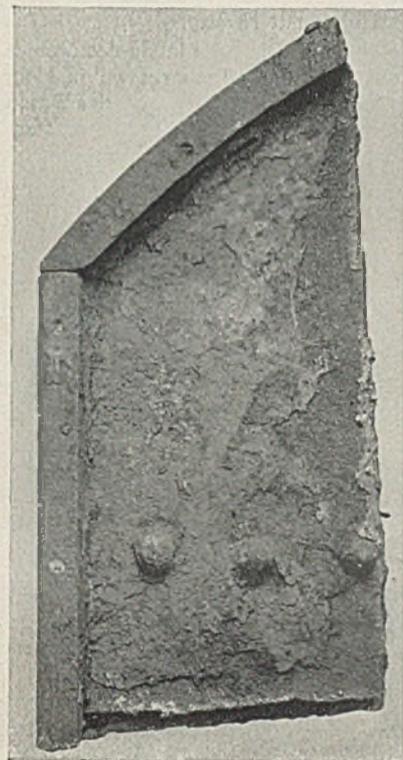


Bild 12. Teil des Flügelverschlusses. (Alter 75 Jahre.)

Zur Bestimmung der Abtragungsdicke wurden bei  $q_1$  und  $q_2$  in Bild 13 Querschliffe des unangegriffenen und des angegriffenen Teils des Steigeisens hergestellt, die in Bild 15 wiedergegeben sind. Hieraus ermißt sich

<sup>4)</sup> Spreewasser (an der Schleuse Charlottenburg) enthält folgende Bestandteile je Liter: Kieselsäure 11 mg, Kalk 65 mg, Magnesia 8 mg, Kohlensäure (einfach gebunden) 49 mg, Schwefelsäure ( $SO_2$ ) 19 mg, Chlor (gebunden) 28 mg, organische Stoffe 103 mg, Trockenrückstand (Gesamt-) 257 mg, Schwefelwasserstoff und Salpetersäure fehlen, Gesamthärte 7,6, bleibende Härte 1,4.

<sup>5)</sup> Alle Ausdrücke wie „stark“, „beträchtliche Anfressungen“ usw. sind relativ zu verstehen. Für die lange Einwirkungszeit ist die gefundene Verrostung auffällig gering. In der chemischen Industrie wird eine Abtragung von 0,1 mm je Jahr als „völlig beständig“ bezeichnet.

eine Höchstabtragung von etwa 6 mm, d. h. eine Abtragung von durchschnittlich 0,1 mm je Jahr.

Das Gefüge des Steigeisens ist in den Bildern 16, 17 u. 18 wiedergegeben. Bild 16 u. 17 zeigen einen Längs- und einen Querschliff (geätzt), woraus sich erkennen läßt, daß es sich um Paketier-Schweißstahl handelt. Bild 18 gibt das Mikrogefüge an einer besonders charakteristischen Stelle (bei *a* in Bild 16 als Längsschliff) wieder. Es besteht im wesentlichen aus Ferritkristallen und zum Teil sehr großen nichtmetallischen Einschlüssen (Schweißschlacke), die in der Walzrichtung gestreckt sind. Die Analyse ist in Zahlentafel 1 wiedergegeben. Nach dieser Analyse handelt es sich um einen Schweißstahl mit hohem Phosphorgehalt.

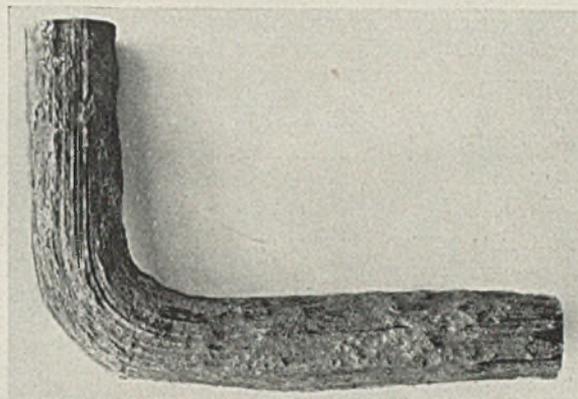


Bild 14. Abschnitt aus Bild 13, entrostet.

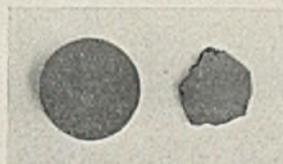


Bild 15. Schnitt bei  $q_1$  und  $q_2$  in Bild 13.



Bild 17. Geätzter Querschliff bei  $q_1$  in Bild 13.

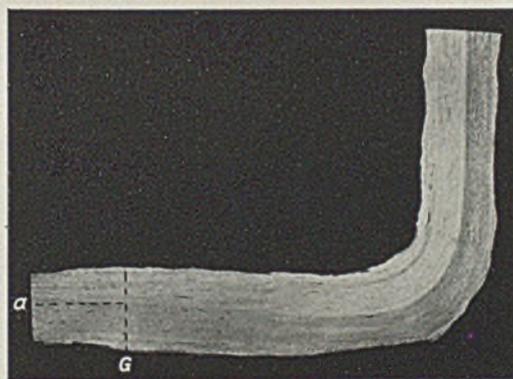


Bild 16. Geätzter Längsschliff durch Abschnitt *a* in Bild 13.

v = 135

v = 65

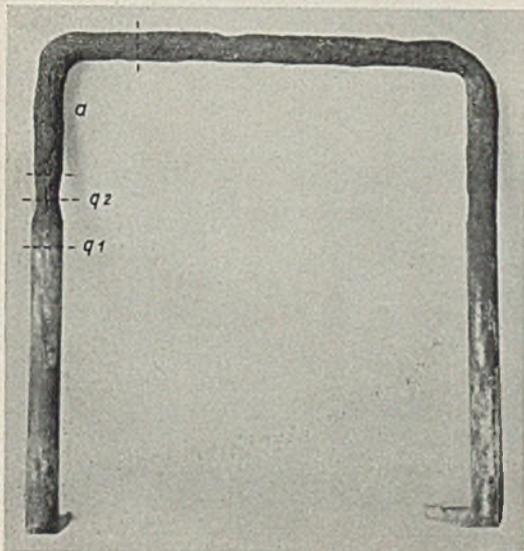


Bild 13. Steigeisen. (Alter 75 Jahre.)



Bild 18. Gefüge bei *a* in Bild 16.

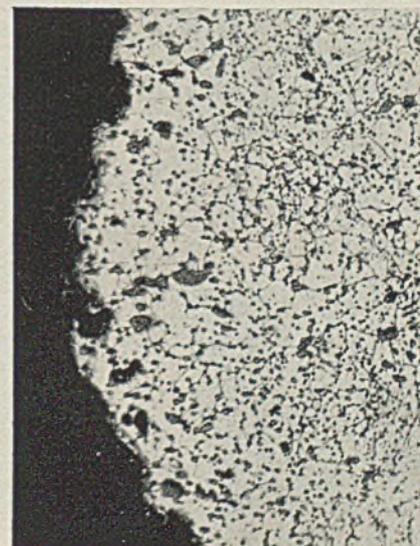


Bild 19. Randzone des Querschliffes *G* in Bild 16.

Da es sehr wahrscheinlich war, daß die Faserstruktur des verrosteten Steigeisens mit dem Gefüge in Zusammenhang stand, wurde ein Querschliff einer angegriffenen Stelle hergestellt. Eine Zone am Rand ist in Bild 19 wiedergegeben. Sie läßt erkennen, daß die am Rand gelegenen nichtmetallischen Einschlüsse weitgehend herausgefressen sind, wonach sich die Faserstruktur der angefressenen Eisenoberfläche leicht erklären läßt. Zu Bild 19 muß jedoch bemerkt werden, daß nicht an allen Stellen der Probe die Ausfressungen so gut zu erkennen sind.

c) Verschußrahmen. Das untersuchte Stück des Verschußrahmens bestand aus Gußeisen. Es war auf drei Seiten in Mauerwerk gebettet und auf der vierten (einer Stirnseite) dem Wasser unter ähnlichen Bedingungen ausgesetzt gewesen wie der Flügelverschluß. Äußerlich sah das Stück völlig unangegriffen aus. Wie der in Bild 20 wiedergegebene Querschliff zeigt, war jedoch bis zu einer Tiefe von etwa 6 mm Graphitierung eingetreten. Hieraus errechnet sich ein etwa gleich starker Angriff wie bei dem Steigeisen (0,1 mm je Jahr). Von einer weiteren Untersuchung des Verschußrahmens wurde abgesehen.

d) Rostabdeckung. Die Rostabdeckung, von der etwa  $\frac{1}{4}$  zur Verfügung stand, stammte vom westlichen Einlauf

am Oberhaupt und war etwa den gleichen Bedingungen ausgesetzt gewesen wie das Steigeisen. Der vorhandene Teil ist in Bild 21 wiedergegeben. Da der Angriff sehr ähnlich war wie bei dem Steigeisen, wurde die Rostabdeckung nicht näher untersucht.

**E. Untersuchung von Teilen der Ufermauern**

(vgl. Bild 1, 4 u. 5, Einbau 1890 und 1894).

Eingesandt wurden von der westlichen Ufermauer (1890):

1 Monierwandträger (I 20) mit Fuß,

1 Rundstahlanker mit Betonummantelung,

von der östlichen Ufermauer (1894):

1 Flachstahlanker,

1 Monierwandträgerfuß,

1 Flachstahl (als Holm) mit Nägeln.

a) Monierwandträger (I 20) mit Fuß. Die Anordnung des Monierwandträgers ist in Bild 22 dargestellt. Auf der offenbar etwa in Höhe des Wasserspiegels endenden Spundwand, die das Ufer gegen das Wasser der Spree abdeckte, war der gußeiserne Fuß befestigt; in diesem stand der Monierwandträger. Seine beiden Stegseiten und das Innere der Flansche waren mit Beton bedeckt. Die Außenseite des einen Flansches grenzte gegen das Erdreich, war aber auch noch mit beträchtlichen Mengen Beton behaftet. Die Außenseite des anderen Flansches war am untersten Teil mit Wasser bespült und sonst der Atmosphäre und

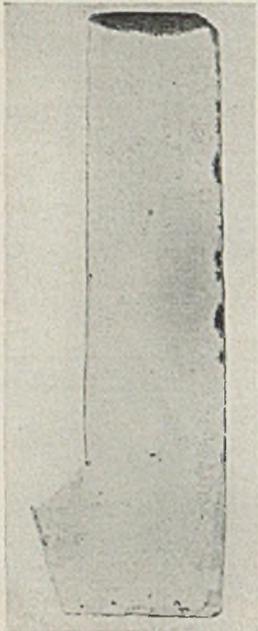


Bild 20. Querschliff durch den Verschußrahmen. (Alter 75 Jahre.)

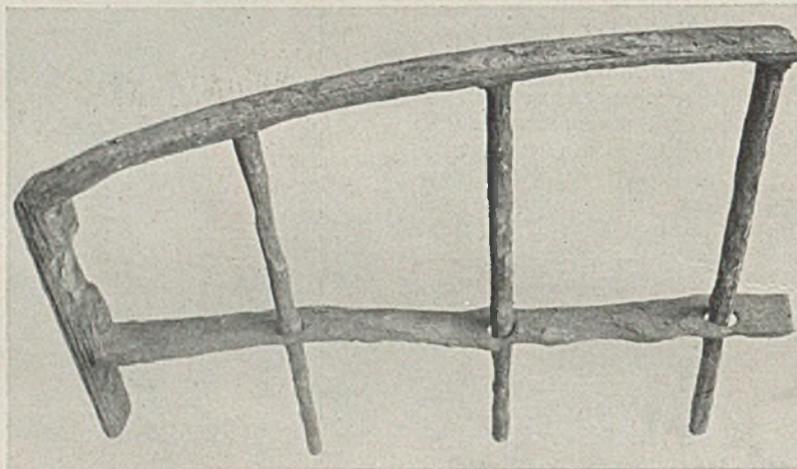


Bild 21. Rostabdeckung (schräg von oben aufgenommen). Alter 75 Jahre.

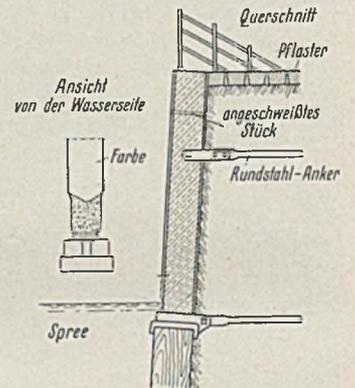


Bild 22.

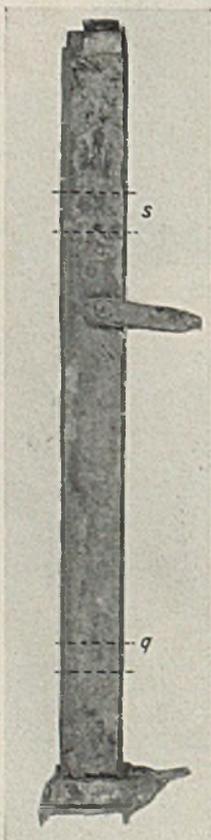


Bild 23. Monierwandträger mit Fuß (I 20). Alter 45 Jahre.

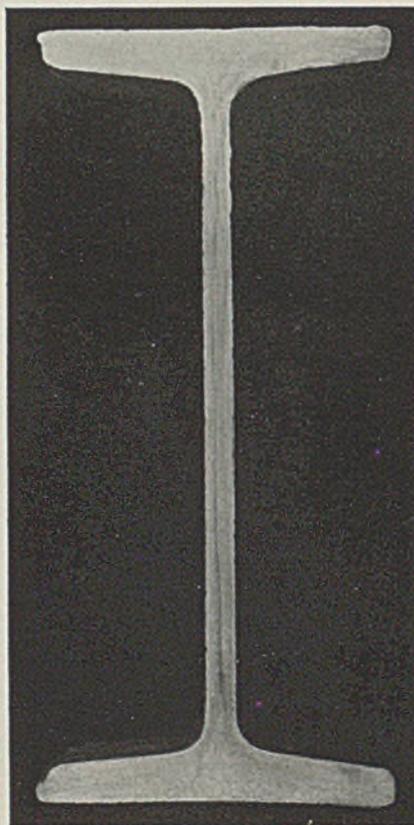


Bild 24. Geätzter Querschliff bei q in Bild 23.



Bild 25. Wasserseite des unteren Abschnittes des I 20 mit Fuß. (Alter 45 Jahre.)

gelegentlichen Wasserspritzern ausgesetzt. Im Erdreich war der Träger mit betonummantelten Rundstählen verankert (vgl. weiter unten). Am oberen Ende des Trägers war eine Winkelkonsole befestigt, die zur Anbringung des Ufergeländers diente.

In Bild 23 ist der Träger (mit Fuß) von einer Seite her wiedergegeben. Im ganzen war er gut erhalten. Im besonderen war (mit der unten näher beschriebenen Ausnahme) am Steg und an dem nach dem Erdreich gelegenen Flansch praktisch kein Angriff aufgetreten. Die Außenseite des nach der Spree gelegenen Flansches war zum größten Teil noch mit einem Mennigeanstrich bedeckt, unter dem der Stahl praktisch unangegriffen war. Bild 24 gibt einen Querschnitt durch den Träger an, der in Bild 23 mit *g* bezeichneten Stelle, an der sich noch Anstrich befand, wieder. Der Angriff ist hier an allen Seiten des Trägers belanglos.

Beträchtliche Anfrassungen waren jedoch am untersten Teil des Trägers zu beobachten, der sich offenbar in Höhe des Wasserspiegels befunden hatte. Bild 25 zeigt den untersten Teil mit dem Trägerfuß von der Wasserseite her. An dem obersten Teil ist noch der rosthemmende Anstrich zu erkennen. Darunter zeigen sich deutliche Verrostungen, die vor Eintritt des Trägers in den Fuß so stark werden, daß ein etwa 2 cm breites Stück des Flansches in seiner ganzen Dicke herausgefressen ist. Merkwürdigerweise ist das jedoch nur auf einer Hälfte der Fall, während der Angriff auf der anderen Hälfte viel geringer war. Welche besonders ungünstigen Umstände für die stark angegriffene Hälfte vorlagen, läßt sich nicht mehr übersehen.

Von dem Träger wurde — nach Herausheben aus dem Fuß — unten ein etwa 40 cm langes Stück abgeschnitten und mit Hilfe von Sparbeize entrostet. Das Stück ist in Bild 26 von der Seite, in Bild 27 schräg von vorn wiedergegeben. Wie aus diesen Bildern ersichtlich ist, hat der bei weitem stärkste Angriff an dem Flansch, der dem Wasser zugekehrt war, stattgefunden. Aber auch der Steg und der andere Flansch zeigten deutliche Anfrassungen, was darauf hindeutet, daß Wasser zwischen Träger und Beton eindringen und sich dort ziemlich frei bewegen konnte.

Das Gefüge des Werkstoffs des Trägers bestand aus Ferritkristallen und in der Walzrichtung gestreckten Schlackeneinschlüssen. Die Analyse ist in Zahlentafel 1 wiedergegeben. Es handelt sich demnach um kohlenstoffarmen Flußstahl. — Der gußeiserne Fuß zeigte beträchtliche Graphitierung. Er wurde nicht näher untersucht.

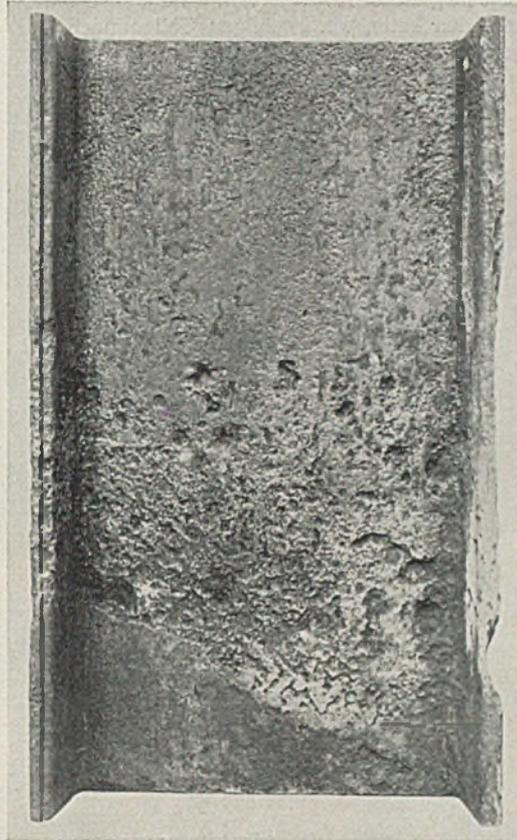


Bild 26. Unterer Abschnitt des I 20, entrostet. Seitenansicht.

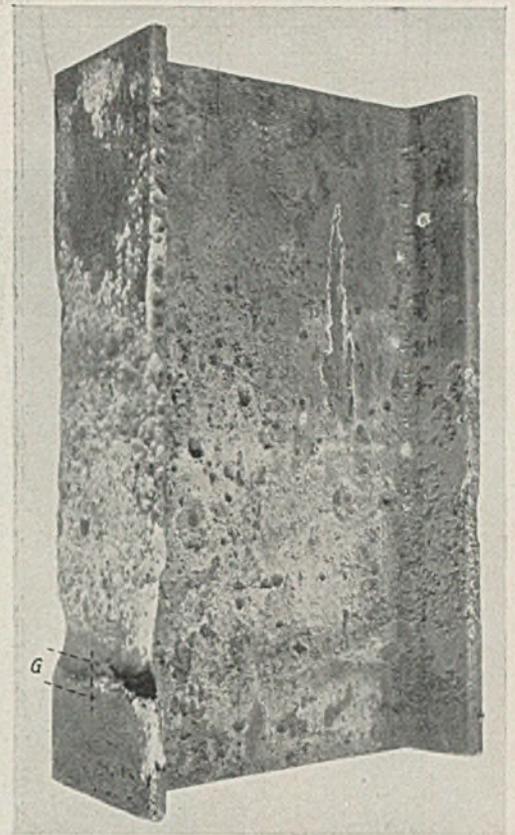


Bild 27. Unterer Abschnitt des I 20, entrostet. Schrägansicht.

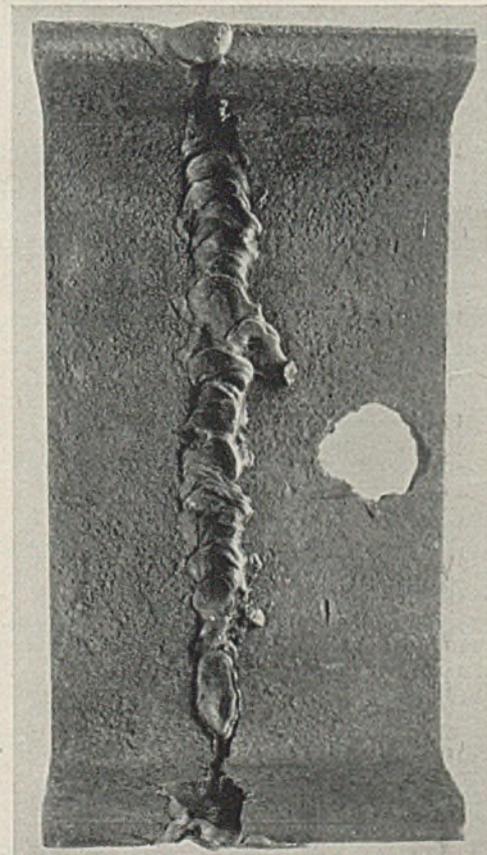


Bild 28. Schweißung bei S in Bild 23.

An der in Bild 23 mit *S* bezeichneten Stelle war (aus nicht mehr erkennbaren Ursachen) ein Stück an den ursprünglich kürzeren Träger angeschweißt worden. Da es sich um eine offenbar sehr frühe Schweißung handelt, wurde sie etwas näher untersucht. In Bild 28 ist das betreffende Stück nach Herausheben und Entrostet wiedergegeben. Wie man erkennt, ist die Schweißung für heutige Begriffe sehr schlecht. Bild 29 zeigt einen geätzten Querschliff der Schweißung. Man erkennt einen breiten, nicht verschweißten Spalt im Innern des Bleches, starke Ungleichmäßigkeiten der Schweißung und nicht ausreichenden Einbrand. Zu bemerken ist aber, daß die Schweißung ihren Zweck völlig erfüllt hat und keinerlei beachtenswerte Korrosionserscheinungen aufgetreten sind.

b) Rundstahllanker mit Betonummantelung. Der Rundstahllanker, dessen Anordnung in Bild 22 dargestellt ist, hatte sich zum größten Teil im Erdreich befunden. Die Betonummantelung war noch fast unversehrt. In Bild 30 ist ein Abschnitt mit zum Teil abgeschlagener Ummantelung wiedergegeben. Auch der Stahl zeigte unter dem Beton keinen nennenswerten Angriff. Bild 31 gibt einen Querschnitt wieder, aus dem zu erkennen ist, daß der Stahl praktisch unangegriffen ist.

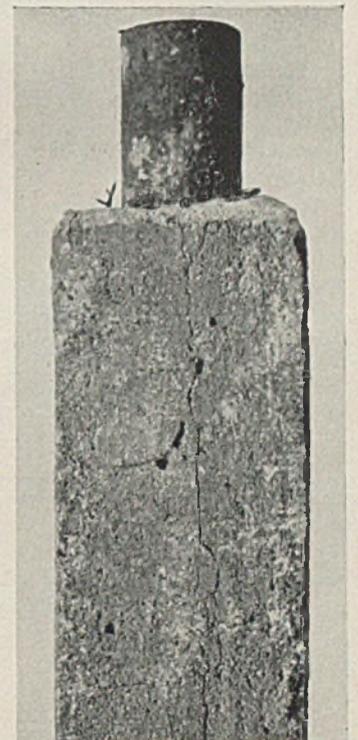


Bild 30. Rundstahllanker mit Betonummantelung (Ummantelung oben entfernt). Alter 45 Jahre.

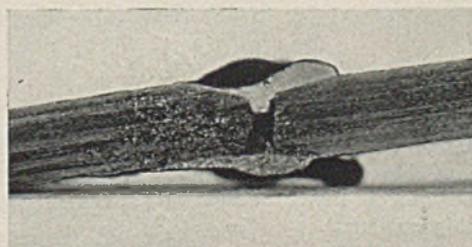


Bild 29. Geätzter Querschliff durch die Schweißung.

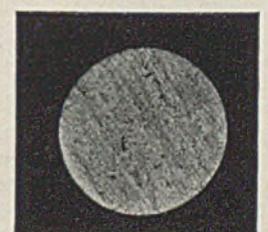


Bild 31. Querschnitt durch den Rundstahllanker.

c) Flachstahlanker. Der Flachstahlanker, der sich in gleicher Anordnung wie der Rundstahlanker in Bild 22 im Boden befunden hatte, war nicht mit Beton ummantelt, sondern mit einem Mennigeanstrich versehen.



Bild 32. Flachstahlanker.



Bild 33. Abschnitt a aus Bild 32, entrostet.

In Bild 32 ist ein Abschnitt des Ankers wiedergegeben. Er ist an einigen Teilen noch mit dem unversehrten Anstrich bedeckt, während an anderen beträchtliche mit Rost durchsetzte Sand- und Steinmengen angewachsen sind. Nach Reinigung des Ankers zeigte sich, daß an den Stellen, an denen der Anstrich gehaftet hatte, der Werkstoff noch völlig unangegriffen war, während an den anderen Stellen ein zum Teil deutlicher Angriff eingetreten war. Bild 33 zeigt in  $\frac{2}{3}$  natürlicher Größe die an dem in Bild 32 mit a bezeichneten Teil beobachteten Anfrassungen. Wie Bild 34, das einen geätzten Querschliff bei q in Bild 33 darstellt, zeigt, sind die Anfrassungen jedoch nur etwa 1 mm tief, so daß sie praktisch vernachlässigt werden können. Wie Bild 34 weiter zeigt, enthielt der Flachstahlanker nur geringe Seigerungen. Das Gefüge des Ankers,

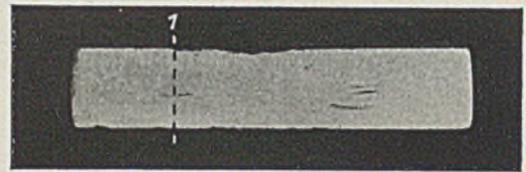


Bild 34. Geätzter Querschliff.

an einem Längsschliff (in Bild 34 bei 1) festgestellt, besteht aus Ferrit, Spuren von Perlit und in der Längsrichtung gestreckten nichtmetallischen Einschlüssen. Es handelt sich hiernach ebenfalls um kohlenstoffarmen Flußstahl. Von einer chemischen Analyse wurde abgesehen.

Die übrigen eingesandten Teile wurden nicht untersucht, da nicht zu erwarten war, daß die Untersuchung neue Befunde ergeben würde.

**F. Zusammenfassung.**

Stahlteile, die bis zu 75 Jahre alt und im Berliner Wasserbau verwendet waren, wurden auf Verrostung untersucht. An den meisten Stellen war der Angriff unmeßbar gering. Stärker war er in rasch fließendem Spreewasser (bis zu etwa 0,1 mm/Jahr). Noch stärker (bis zu 0,3 mm/Jahr) war er an einigen Stellen, die sich in Höhe des Grundwasserspiegels befunden hatten. Hierbei handelte es sich jedoch offenbar um besonders ungünstige Verhältnisse oder um nicht näher erkennbare Zufälligkeiten, da dieser hohe Angriff an anderen Stellen, die scheinbar genau die gleiche Beanspruchung erlitten hatten, nicht aufgetreten war.

Alle Rechte vorbehalten.

**Das Nullfeldverfahren zur allgemeinen Ermittlung der Einflußlinien von Balken und Rahmentragwerken.**

Von Prof. Dr.-Ing. Rajko Kušević, Zagreb.  
(Schluß aus Heft 16)

**Zeichnerische Lösungen.**

a) Aus den obigen Formeln (a) und (b) ergeben sich durch Aufstellung des Verhältnisses zwischen den Stützenmomenten  $M_{i-1}^M$  und  $M_i^M$  bzw.  $M_{i-1}^Q$  und  $M_i^Q$  die in Bild 8a und 8b dargestellten zeichnerischen Verfahren zur Ermittlung dieser Momente. Die Multiplikatoren der Lösungen sind:

für die  $\overline{M_{i-1}^M}$ -Linie:  $\frac{1}{6K(a_i-x)(a_i-x')} = \overline{\tau_c^M}$ ,  
für die  $\overline{M_{i-1}^Q}$ -Linie:  $\frac{1}{6K} = \overline{\delta_c^Q}$ .

Dieselben brauchen aber nicht berechnet zu werden, da sie in den Einflußlinien selbst als Maßstäbe enthalten sind.

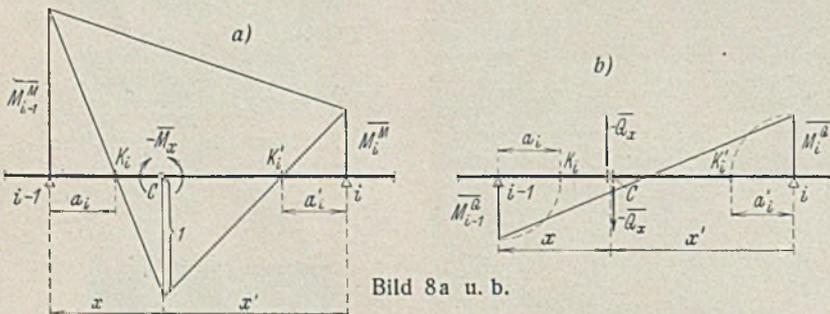


Bild 8a u. b.

Die Konstruktion für  $\overline{M_{i-1}^M}$  versagt, wenn C nahe an einem Festpunkte liegt oder mit diesem zusammenfällt. In diesem Falle kann man die Momentenlinie bestimmen, indem man von einem über der Nachbarstütze des betreffenden Festpunktes beliebig angenommenen Punkte ausgeht (d. h. das entsprechende Stützenmoment beliebig annimmt).

b) Zu einer anderen zeichnerischen Lösung kommt man, wenn man von der Konstruktion der Stützenmomente  $M_{i-1}$  und  $M_i$  aus den Kreuzlinienabschnitten ausgeht. (Diese Konstruktion ist wohl bekannter als

die obigen fertigen Formeln für die Momente.) Die Kreuzlinienabschnitte sind hier (mit  $l_i' = l_i$ ) durch die Formeln gegeben:

$$f_i' = -\frac{6}{l_i} \cdot \frac{R_i}{l_i} = -\frac{6}{l_i} \cdot \alpha_{i-1,x}; \quad f_i = -\frac{6}{l_i} \cdot \frac{L_i}{l_i} = -\frac{6}{l_i} \cdot \alpha'_{i,x}$$

$\alpha_{i-1,x}$  und  $\alpha'_{i,x}$  sind (bei  $E=1$ ) die  $J_i$ -fachen Verdrehungen der Endtangente der Biegelinie des Balkens  $l_i$  infolge  $P=1$  im Querschnitt C; dieselben sind nach Maxwell gleich den  $J_i$ -fachen Durchbiegungen des Balkens an der Stelle C infolge des Angriffs  $M=1$  am betreffenden Balkenende:

$$\alpha_{i-1,x} = \delta_{x,i-1} \quad \alpha'_{i,x} = \delta_{x,i}$$

Zur Ermittlung der Stützenmomente  $M_{i-1}^M$  und  $M_i^M$  im Hauptsystem sind nun die negativen zweiten Ableitungen der obigen Kreuzlinienabschnitte zu verwenden:

$$f_i'^M = -\frac{\partial^2 f_{i-1}}{\partial x^2} = \frac{6}{l_i} \cdot \frac{\partial^2 \delta_{x,i-1}}{\partial x^2} = -\frac{6}{l_i^2} \cdot x'$$

$$f_i^M = -\frac{\partial^2 f_i}{\partial x^2} = \frac{6}{l_i} \cdot \frac{\partial^2 \delta_{x,i}}{\partial x^2} = -\frac{6}{l_i^2} \cdot x$$

Danach ergibt sich die einfache Konstruktion der  $\frac{l_i^2}{6}$ -fachen Stützenmomente  $\overline{M_{i-1}^M}$  und  $\overline{M_i^M}$  nach Bild 9a<sup>9)</sup>.

Die Kreuzlinienabschnitte für die Ermittlung von  $M_{i-1}^Q$  und  $M_i^Q$  sind:

$$f_i'^Q = \frac{\partial f_i^Q}{\partial x} = +\frac{6}{l_i^2} \quad f_i^Q = \frac{\partial f_i^M}{\partial x} = -\frac{6}{l_i^2}$$

Aus diesen Formeln folgt die Konstruktion der  $\frac{l_i^2}{6}$ -fachen Momente  $\overline{M_{i-1}^Q}$  und  $\overline{M_i^Q}$  nach Bild 9b.

Wenn man nun die Einflußlinien mittels je eines fortlaufenden Seilpolygons zur Belastung  $\overline{z_{i-1}^M d\xi}$  bzw.  $\overline{z_i^Q d\xi}$  zeichnet, wird die Schluß-

<sup>9)</sup> Diese Konstruktion findet sich, anders abgeleitet, bei Ritter (s. Fußnote 2).

linie — die durch die Durchbiegungen Null der Stützpunkte festgelegt ist — bei der  $M_{x\xi}$ -Linie unter  $C$  einen Knick und bei der  $Q_{x\xi}$ -Linie eine Abstufung aufweisen. Der Knickwinkel (im Sinne der graphischen Statik gemessen) bzw. der Sprung der Schlußlinie gibt die Maßeinheit für die Ordinaten der Einflußlinie.

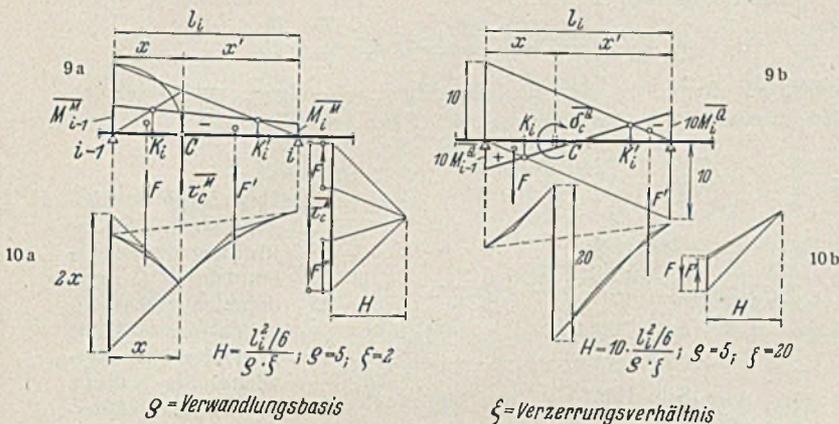


Bild 9a u. b und 10a u. b.

Bekanntlich kann man den Knick bzw. den Sprung in der Schlußlinie vermeiden und im Seilpolygon auftreten lassen, wenn man das Seilpolygon in zwei Teilen zeichnet: von links und von rechts gegen den Querschnitt  $C$  zu. (Bei der  $M_{x\xi}$ -Linie werden dazu zwei verschiedene Pole verwendet.) Falls die Momentenlinien  $M_{x\xi}^M$  und  $M_{x\xi}^Q$  zeichnerisch nach Punkt b) aus den Kreuzlinienabschnitten ermittelt werden, ist es wohl bequemer, den leicht zu berechnenden Multiplikator  $\frac{l_i^2}{6}$  als Einzelast bzw. Einzelmoment im Nullfeld anzubringen, so daß man die Einflußlinie im Feld  $l_i$  als Momentenlinie des einfachen Balkens  $(i-1)-i$  unabhängig von den übrigen Feldern zeichnen kann (s. Bild 10a u. 10b).

2. Zweistieliges Rahmentragwerk nach Bild 11<sup>7)</sup>.

$$l_1 = 12 \text{ m}, \quad l_2 = 24 \text{ m}, \quad l_3 = 18 \text{ m}, \quad h = 7,5 \text{ m},$$

$$J_2/J_1 = 3/2, \quad J_2/J_2 = 1, \quad J_2/J_3 = 6/5, \quad J_2/J_h = 2,$$

$$l_1' = 18 \text{ m}, \quad l_2' = 24 \text{ m}, \quad l_3' = 21,6 \text{ m}, \quad l_4' = 15 \text{ m}$$

(reduzierte Stablängen).

Es sind die Einflußlinien der Schnittkräfte  $M_{x\xi}$  und  $Q_{x\xi}$  in einem Querschnitt  $C$  des Mittelfeldes zu bestimmen:  $x = 10 \text{ m}$ ,  $x' = 14 \text{ m}$ .

Als statisch unbestimmte Größen sind die Biegemomente  $X_a$  und  $X_b$  in Balkenquerschnitten dicht außerhalb der Stützen und das Biegemoment  $X_c$  im Stützenquerschnitt unterhalb des Balkens angenommen. Die Biegemomente sollen als positiv bezeichnet werden, wenn sie auf der in Bild 11 gestrichelten Seite der Stäbe Zugspannungen hervorrufen.

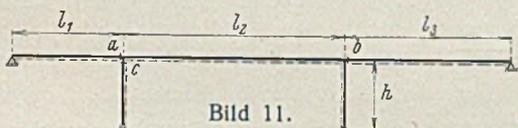


Bild 11.

Die Momentenlinien infolge  $X_a = 1$ ,  $X_b = 1$  und  $X_c = 1$  sind in Bild 12a, 12b u. 12c dargestellt. Aus denselben ergibt sich auf Grund der obigen Zahlenwerte die nachstehende Matrix der Vorzahlen  $EJ_2 \delta_{rk}$  der Unbekannten in den Elastizitätsgleichungen. Die Determinante der  $EJ_2 \delta_{rk}$  berechnet sich hiernach mit  $D = 3638,4$ ; für die Subdeterminanten  $D_{rk} = D \beta_{rk}$  erhält man die in Tafel 2 eingetragenen Werte.

<sup>7)</sup> Entnommen aus der in Fußnote 3 angegebenen Zuschrift von Pohl.

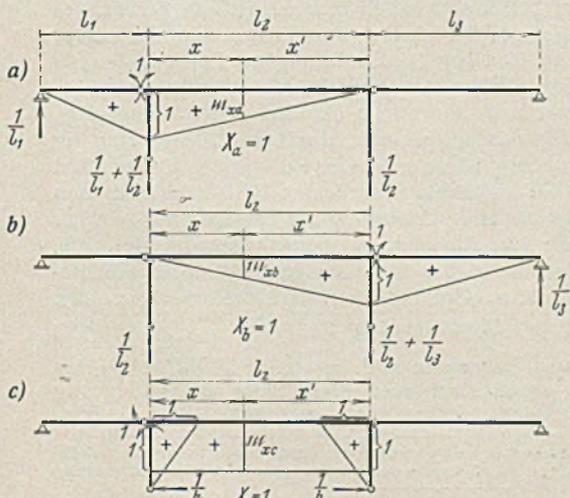


Bild 12a bis c.

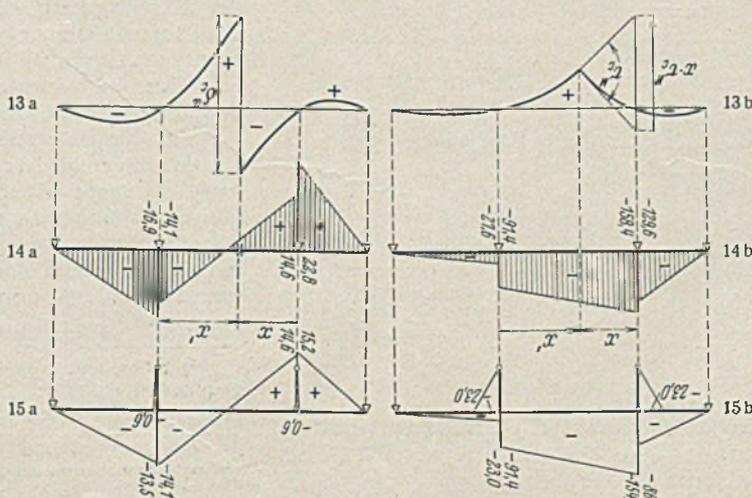


Bild 13a u. b, 14a u. b und 15a u. b.

Tafel 1.  $EJ_2 \delta_{rk}$ -Matrix.

$r \backslash k$	a	b	c
a	14	4	12
b	4	15,2	12
c	12	12	34

Tafel 2.  $D \beta_{rk}$ -Matrix.

$r \backslash k$	a	b	c
a	372,8	8	-134,4
b	8	332	-120
c	-134,4	-120	196,8

Tafel 3.

$k \backslash$	$m_{xk}$	$q_{xk}$
a	14/24	-1/24
b	10/24	1/24
c	1	0

Neben der  $D \beta_{rk}$ -Matrix sind in Tafel 3 die Werte der Biegemomente  $m_{xk}$  und Querkräfte  $q_{xk}$  im Querschnitt  $C$  infolge der Angriffe  $X_k = 1$  eingeschrieben (s. Bild 12a, b, c). Mit denselben ist in Tafel 4 die Berechnung der Momente  $m_{x(rk)}$  und in Tafel 5 die Berechnung der Querkräfte  $q_{x(rk)}$  durchgeführt.

Tafel 4.  $(-D \beta_{rk}) m_{xk}$ .

$r \backslash k$	a	b	c
a	-217,5	-4,7	78,4
b	-3,3	-138,3	50,0
c	134,4	120,0	-196,8

Tafel 5.  $(-D \beta_{rk}) q_{xk}$ .

$r \backslash k$	a	b	c
a	15,5	0,3	-5,6
b	-0,3	-13,8	5,0
c	0	0	0

$D m_{x(rk)}$	-86,4	-23,0	-68,4
$D q_{x(rk)}$	15,2	-13,5	-0,6

Die Werte  $D m_{x(rk)}$  bzw.  $D q_{x(rk)}$ , als Überzählige  $X_r$  angebracht, liefern die Momentenlinien  $D M_{x\xi}^M$  bzw.  $D M_{x\xi}^Q$  des Balkens. Bild 13a zeigt die Momentenlinie  $D M_{x\xi}^M$ , Bild 14a die zugehörige Belastungslinie  $D z_{x\xi}^M$ , Bild 15a die Gestalt der sich daraus ergebenden Einflußlinie  $M_{x\xi}$ . Bild 13b, 14b u. 15b zeigen das gleiche für die Einflußlinie  $Q_{x\xi}$ . Die Belastungslinien sind nach der Formel (B) berechnet:

$$z_{x\xi}^S = M_{x\xi} \cdot \frac{J_2}{J_{\xi}}.$$

Die Einflußlinien können durch Rechnung oder Zeichnung ermittelt werden, wie dies im Beispiel 1 dargelegt worden ist.

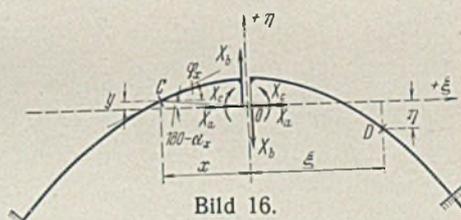


Bild 16.

3. Eingespannter Bogen, Grundsystem in Bild 16. Zu ermitteln sind die Einflußlinien der Schnittkräfte in einem beliebigen Punkte  $C$ . Der Einfluß der Längskräfte auf die Formänderungen soll dabei vernachlässigt werden<sup>8)</sup>.

Als Grundsystem ist ein Freitragerpär gewählt; die Überzähligen  $X_a$ ,  $X_b$  und  $X_c$  sind im Schwerpunkte  $O$  des mit den elastischen Gewichten  $\frac{ds}{J}$  belegten Bogens angebracht, die  $\xi$ - und die  $\eta$ -Achse sind die entsprechenden Hauptträgheitsachsen. Die Matrix der  $\delta_{rk}$  besitzt danach nur Diagonalglieder  $\delta_{rr}$  mit den Werten

$$\delta_{aa} = \int_A^B \eta^2 \cdot \frac{ds}{J} = T_{\xi}; \quad \delta_{bb} = \int_A^B \xi^2 \cdot \frac{ds}{J} = T_{\eta}; \quad \delta_{cc} = \int_A^B \frac{ds}{J} = G;$$

ebenso die Matrix der  $\beta_{rk}$ :

$$\beta_{aa} = \frac{1}{\delta_{aa}} = \frac{1}{T_{\xi}}; \quad \beta_{bb} = \frac{1}{\delta_{bb}} = \frac{1}{T_{\eta}}; \quad \beta_{cc} = \frac{1}{\delta_{cc}} = \frac{1}{G}.$$

$T_{\xi}$  und  $T_{\eta}$  sind die elastischen Hauptträgheitsmomente des Bogens,  $G$  das elastische Gewicht.

Die einzelnen negativen Einflußzahlen  $-\beta_{rr}$ , als Überzählige  $X_r$  angebracht, verursachen im Querschnitt  $C$  (Schwerpunktkoordinaten  $\xi_c = x$ ,  $\eta_c = y$ ) die Biegemomente

<sup>8)</sup> Die Berechnung mit Berücksichtigung dieses Einflusses hat der Verfasser (ohne Zuhilfenahme der hier entwickelten Sätze, d. h. mit unmittelbarer Vorberechnung des Hauptsystems) in seiner in Fußnote 2 angeführten Abhandlung dargelegt.

$$\mathfrak{M}_{x(aa)} = \frac{1}{T_\xi} \cdot y; \quad \mathfrak{M}_{x(bb)} = \frac{1}{T_\eta} \cdot x; \quad \mathfrak{M}_{x(cc)} = \frac{1}{G};$$

diese Größen, als Überzählige  $X_r$  angebracht, haben im beliebigen Querschnitt  $D$  (Schwerpunktkoordinaten  $\xi, \eta$ ) das Biegemoment

$$(a) \quad M_\xi^M = -\frac{y}{T_\xi} \cdot \eta - \frac{x}{T_\eta} \cdot \xi - \frac{1}{G}$$

zur Folge. Aus dieser schematisch gewonnenen Gleichung [die man leicht auch nach der Formel (1a) erhalten kann] folgt durch Ableitung nach  $ds$ :

$$(b) \quad M_\xi^Q = -\frac{\sin \varphi_x}{T_\xi} \cdot \eta - \frac{\cos \varphi_x}{T_\eta} \cdot \xi.$$

Durch Ableitung von (b) nach  $d\varphi_x$  erhält man endlich:

$$(c) \quad M_\xi^N = -\frac{\cos \varphi_x}{T_\xi} \cdot \eta + \frac{\sin \varphi_x}{T_\eta} \cdot \xi.$$

[Die Ausdrücke (b) und (c) können freilich auch unmittelbar aufgestellt werden auf Grund der allgemeinen Regel zur Bildung der Werte  $M_\xi^S$ .]

Die obigen Gleichungen (a), (b) und (c) führen, zweckmäßig umgebildet, zu einer einfachen zeichnerischen Lösung. (Die zeichnerische Behandlung kommt bei dieser Aufgabe wohl in erster Linie in Betracht.)

$$\text{Aus Gl. (a) folgt: } M_\xi^M = -\frac{y}{T_\xi} \left( \eta + \text{ctg } \alpha_x \cdot \frac{T_\xi}{T_\eta} \cdot \xi + \frac{T_\xi}{Gy} \right),$$

wobei  $\alpha_x$  den Neigungswinkel der Geraden  $OC$  zur  $\xi$ -Achse bezeichnet. Da die Achsen  $\xi$  und  $\eta$  Hauptachsen sind, ist nach dem bekannten Satze über die Richtungen der zugeordneten Achsen

$$\text{ctg } \alpha_x \cdot \frac{T_\xi}{T_\eta} = -\text{tg } \gamma^M;$$

$\gamma^M$  ist der Neigungswinkel der zur Richtung  $OC$  zugeordneten Achse  $\rho^M$ . Weiter ist:

$$\frac{T_\xi}{Gy} = \frac{t_\xi^2}{y} = -r_y^M;$$

$t_\xi$  ist der Trägheitshalbmesser,  $r_y^M$  eine auf der  $\eta$ -Achse abgeschnittene Strecke, die sich nach der obigen Gleichung als vierte Proportionale zeichnerisch ermitteln läßt. Demnach lautet der Ausdruck für  $M_\xi^M$ :

$$M_\xi^M = -\frac{y}{T_\xi} (\eta - \text{tg } \gamma^M \xi - r_y^M).$$

Der Ausdruck in der Klammer ist nach Bild 16a der in der Richtung der  $\eta$ -Achse gemessene Abstand  $\eta^M$  des Punktes  $D$  von einer zur Achse  $\rho^M$  gleichlaufenden Achse  $\rho^M$ , die auf der  $\eta$ -Achse die Strecke  $r_y^M$  abschneidet. (Diese Achse  $\rho^M$  wäre die Nulllinie des ideellen Querschnitts  $G$  für den Fall einer in  $C$  angreifenden Normalkraft.) Somit lautet das Endergebnis:

$$(a') \quad M_\xi^M = -\frac{y}{T_\xi} \cdot \eta^M.$$

Diese Formel ist unbrauchbar für kleine Werte  $y$ . (Für  $y=0$ ,  $OC \equiv \xi$ -Achse, fällt die Achse  $\rho^M$  mit der  $\eta$ -Achse zusammen, so daß die Ordinaten  $\eta^M$  unendlich groß werden.) In diesen Fällen kann man die folgende analoge Formel (a'') benutzen, die sich aus (a) ergibt, wenn man  $\frac{x}{T_\eta}$  als Faktor herausnimmt:

$$(a'') \quad M_\xi^M = -\frac{x}{T_\eta} \cdot \xi^M.$$

$$\text{Aus Gl. (b) folgt: } M_\xi^Q = -\frac{\sin \varphi_x}{T_\xi} \left( \eta + \text{ctg } \varphi_x \cdot \frac{T_\xi}{T_\eta} \cdot \xi \right)$$

oder

$$M_\xi^Q = -\frac{\sin \varphi_x}{T_\xi} (\eta - \text{tg } \gamma^Q \xi),$$

wobei  $\gamma^Q$  der Neigungswinkel der zur Richtung der Bogenberührenden in  $C$  zugeordneten Achse  $\rho^Q$  gegen die  $\xi$ -Achse ist. (Dies ist die der Bogenberührenden als Biegeachse

entsprechende Nulllinie des ideellen Querschnitts  $G$ .) Der Klammerausdruck ist nach Bild 16b der im Sinne der  $\eta$ -Achse gemessene Abstand  $\eta^Q$  des Punktes  $D$  von der Achse  $\rho^Q$ ; demnach ist:

$$(b') \quad M_\xi^Q = -\frac{\sin \varphi_x}{T_\xi} \cdot \eta^Q.$$

Die Formel versagt für kleine Werte  $\sin \varphi_x$ ; dann wird man die analog abgeleitete Formel anwenden:

$$(b'') \quad M_\xi^Q = -\frac{\cos \varphi_x}{T_\eta} \cdot \xi^Q.$$

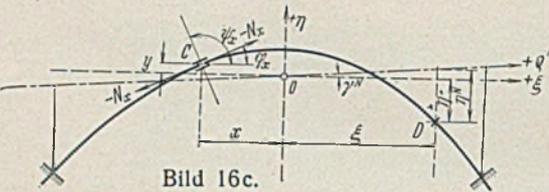
Aus Gl. (c) folgt endlich:

$$M_\xi^N = -\frac{\cos \varphi_x}{T_\xi} \left( \eta - \text{tg } \varphi_x \cdot \frac{T_\xi}{T_\eta} \cdot \xi \right),$$

oder, mit Benutzung der Beziehung  $\text{tg } \varphi_x = -\text{ctg } \varphi_x^N$ , wobei  $\varphi_x^N$  den Neigungswinkel der Bogennormale in  $C$  zur Achse  $\xi$  ist,

$$M_\xi^N = -\frac{\cos \varphi_x}{T_\xi} (\eta - \text{tg } \gamma^N \xi).$$

Darin ist  $\gamma^N$  der Neigungswinkel der zur Richtung der Bogennormale in  $C$  zugeordneten Achse  $\rho^N$  gegen die  $\xi$ -Achse (d. h. der Neigungswinkel der Nulllinie des ideellen Querschnitts  $G$ , die der Bogennormale in  $C$  als Biegeachse entspricht).



Der Klammerausdruck ist nach Bild 16c der im Sinne der  $\eta$ -Achse gemessene Abstand  $\eta^N$  des Punktes  $D$  von der Achse  $\rho^N$ . Somit ist:

$$(c') \quad M_\xi^N = -\frac{\cos \varphi_x}{T_\xi} \cdot \eta^N \quad \text{oder, analog,}$$

$$(c'') \quad M_\xi^N = \frac{\sin \varphi_x}{T_\eta} \cdot \xi^N.$$

Die Momentendiagramme  $M_\xi^S$  sind also allgemein, abgesehen von einem Multiplikator, durch die Bogenachse selbst dargestellt, mit der Achse  $\rho^S$  als Bezugsachse. Die Bezugsachse hat eine einfache statische Bedeutung: Sie ist die Wirkungsgerade der Gelenkkraft  $K^S$ . Ihre Richtung läßt sich leicht mit Hilfe des Mohrschen Trägheitskreises ermitteln. (Die graphische Ermittlung des Abschnitts  $r_y^M$ , die analog auch für den Abschnitt  $r_x^M$  gilt, ist schon erwähnt worden.)

Die Einflußlinien werden als Biegelinien der Freitragler  $AC$  und  $BC$  erhalten, die sich als Seillinien zur zweiten Belastung

$$z_\xi^S = \frac{M_\xi^S}{J_\xi \cdot \cos \varphi_\xi} \cdot d \xi$$

ergeben. Dabei muß sich bei der  $M_{x\xi}$ -Linie unter  $C$  von beiden Seiten aus dieselbe Ordinate, bei der  $Q_{x\xi}$ -Linie der Sprung  $\cos \varphi_x$ , bei der  $N_{x\xi}$ -Linie der Sprung  $\sin \varphi_x$  ergeben.

Die zeichnerische Lösung gestaltet sich besonders einfach, wenn man den Bogen in Elemente  $\Delta s_i$  gleicher elastischer Wirkung aufteilt ( $\frac{\Delta s_i}{J_i} = \text{konst}$ , mittels der Integralkurve der Funktion  $\frac{ds}{J}$ ); dann ist die elastische Last für ein Element  $\Delta s_i$ , abgesehen von einem Multiplikator, gleich der Ordinate seines Schwerpunktes  $\eta_i^S$  oder der Abszisse  $\xi_i^S$ .

(Für die Ermittlung der Einflußlinie des Biegemoments ist z. B. dieser Multiplikator  $\mu = -\frac{y}{T_\xi} \cdot \frac{\Delta s}{J}$  bzw.  $\mu = -\frac{x}{T_\eta} \cdot \frac{\Delta s}{J}$ .) Nimmt man nun die reziproken Werte dieser Multiplikatoren als Polweiten, so ergeben sich durch Zeichnen der Seillinien zur Belastung  $\eta^S$  bzw.  $\xi^S$  die Ordinaten der Einflußlinien im Längenmaßstabe der Zeichnung.

Wie aus den vorstehenden Beispielen ersichtlich, unterscheidet sich der Rechnungsgang beim Nullfeldverfahren nur wenig von jenem des Lastflächenverfahrens oder des Verfahrens von Szegö und Neményi bzw. von Kirsten. Wenn man bei der Ermittlung der Einflußlinien als Seillinien die Verschiebung „Eins“ im Nullfeld als Einzelwirkung am Tragwerk anbringt, kommt man sogar zum identischen Rechnungsgang.

Das Nullfeldverfahren, das auf einem Satze beruht, dem man im Fachschrifttum wiederholt eine größere praktische Bedeutung abgesprochen hat<sup>9)</sup>, ist somit faktisch ein allgemein brauchbares Verfahren. Vor den übrigen Verfahren der unmittelbaren Ermittlung der Einflußlinien zeichnet sich das Nullfeldverfahren vor allem durch seine Anschaulichkeit aus, sodann aber auch durch die Möglichkeit einer ganz schematischen Berechnung der Belastungsfläche auf Grund der hier entwickelten allgemeinen Regel für die Ermittlung des Momentendiagramms  $M_\xi^S$ .

Das Nullfeldverfahren, das auf einem Satze beruht, dem man im Fachschrifttum wiederholt eine größere praktische Bedeutung abgesprochen hat<sup>9)</sup>, ist somit faktisch ein allgemein brauchbares Verfahren. Vor den übrigen Verfahren der unmittelbaren Ermittlung der Einflußlinien zeichnet sich das Nullfeldverfahren vor allem durch seine Anschaulichkeit aus, sodann aber auch durch die Möglichkeit einer ganz schematischen Berechnung der Belastungsfläche auf Grund der hier entwickelten allgemeinen Regel für die Ermittlung des Momentendiagramms  $M_\xi^S$ .

<sup>9)</sup> Szegö u. Neményi behaupten z. B. in ihrem in Fußnote<sup>3)</sup> angegebenen Aufsatz: „So anschaulich auch diese Sätze sind, so wenig kann man mit ihnen im allgemeinen praktisch anfangen.“

INHALT: Über die Verrostung alter im Wasserbau verwendeter Stahlteile. — Das Nullfeldverfahren zur allgemeinen Ermittlung der Einflußlinien von Balken und Rahmentragwerken. (Schluß.)