

DIE BAUTECHNIK

15. Jahrgang

BERLIN, 5. Februar 1937

Heft 6

Alle Rechte vorbehalten.

Neuere Schwingungsuntersuchungen an unterströmten Wehren.

Von Dr.-Ing. Otto Müller VDI, Berlin.

(Mittellungen der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin.)

Die Strömungsvorgänge, die die Schwingungen eines Wehres bei Unterströmung¹⁾ hervorrufen, spielen sich hauptsächlich in dem Spalt ab, der beim Ziehen des Wehres zwischen dem Dichtungsbalken und der festen Sohle entsteht. Löst sich infolge ungünstiger Formgebung des Dichtungsbalkens die Strömung von der Unterkante ab, so entsteht eine Trennschicht zwischen dem mit größerer Geschwindigkeit durchtretenden Strahl und den Ablösungsgebieten, die nur geringe Flüssigkeitsbewegung aufweisen. Bekanntlich sind derartige Trennschichten aber nicht beständig, sondern rollen sich schon bei der kleinsten Störung in Wirbel auf. Diese Vorgänge können sich nicht wie in der freien Flüssigkeit allmählich ausgleichen, sondern rufen an dem Dichtungsbalken, in dessen nächster Nähe die Trennschicht zerfällt, Druckschwankungen hervor. Infolge der Befestigung des Dichtungsbalkens an der elastischen Wehrkonstruktion erzeugen diese Kraftwirkungen geringfügige Bewegungen des ganzen Gebildes, die nun ihrerseits wieder Störungen in der Trennschicht bringen und somit Anlaß zu deren weiterer Zerfall geben. In der in Fußnote 1 genannten Mitteilung sind diese Verhältnisse erstmalig näher geschildert. Einige Lichtbilder (S. 39) lassen die verschiedenen Zerfallzustände der Trennschicht und die dadurch bedingten Strömungsverhältnisse am Dichtungsbalken erkennen. Es findet also eine Wechselwirkung zwischen dem elastischen Bauwerk einerseits und den Strömungsvorgängen im Spalt andererseits statt, die unter Umständen zu einer Verstärkung und dauernden Aufrechterhaltung der hydraulisch-elastischen Vorgänge führen kann, wie aus Beobachtungen an schwingenden Wehren hervorgeht. Die Wehrschwingungen klingen nicht, wie z. B. Brückenschwingungen, allmählich ab, sondern können sich bei bestimmten Wasserständen beliebig lange halten. Sie sind aus diesem Grunde besonders gefährlich. Dem gleichmäßigen Flüssigkeitsstrom wird durch die Steuerwirkung des Wehrkörpers periodisch Energie zur Überwindung der Widerstände beim Schwingen entnommen. Es handelt sich also um „angefachte oder selbsterregte Schwingungen“, nicht um „erzwungene Schwingungen“, die durch eine fremde periodische Kraft erregt werden, wie z. B. Schwingungen von Turbinenfundamenten. Die Strömungsverhältnisse im Spalt sind nur innerhalb eines gewissen Hubbereiches, der „kritischer Hubbereich“ heißt und mit der Balkenform stark wechselt, geeignet, Schwingungen anzufachen. In den kritischen Wehrstellungen treten Schwingungen auch nur innerhalb bestimmter Gefällegrößen auf.

Messung des statischen Druckes.

Da Ablösungserscheinungen, d. h. mangelnde Beständigkeit des Strömungsbildes am Dichtungsbalken, durch Messung des Druckverlaufes längs der umströmten Oberfläche erfaßt werden können, kommt diesem Verfahren für die Auswahl geeigneter Dichtungsbalkenformen große Bedeutung zu. Im allgemeinen sind Dichtungsbalken, deren kritischer Hubbereich sehr hoch liegt, als besonders günstig anzusehen, da unter den meist vorherrschenden Betriebsbedingungen an Wehren hohe Hübe

selten eingestellt werden, und dann nur, wenn das Gefälle so gering geworden ist, daß keine Schwingungen mehr befürchtet zu werden brauchen. Der kritische Hubbereich liegt für vorderseitig scharfkantige Balkenformen bei kleinen, für vorderseitig abgerundete Formen bei größeren Spaltweiten. Der aus den Druckmessungen sich ergebende höchste Unterdruck genügt nicht allein zur Beurteilung einer bestimmten Balkenform, sondern man muß sich aus der Druckverteilung den gesamten Strömungsverlauf vergegenwärtigen. Insbesondere sind die Gebiete wiederansteigenden Druckes zu beachten, da sie labil sind, sofern der Anstieg nicht sehr allmählich geschieht. Wie eingehende Druckmessungen gezeigt haben, treten bei der schon früher empfohlenen elliptischen Abrundung des Dichtungsbalkens bei höheren Hüben nicht unerhebliche Unterdrücke auf (Abb. 1). Der Druck steigt aber nach dem UW zu so sanft an, daß ein sehr großer ablösungsfreier Hubbereich erwartet werden muß. Diese Rückschlüsse aus den Messungen des statischen Druckes sind durch Schwingungsversuche sowohl im Modell als auch an ausgeführten Bauwerken bestätigt worden. Es ist allerdings unmöglich, einen festen Balken begrenzter Abmessungen, der einen durchgehenden Querschnitt mit waagrechtlicher Dichtungs- und Auflagerfläche hat, so zu gestalten, daß er bei sämtlichen Hüben schwingungsfrei bleibt. Aus diesem Grunde hat Keutner²⁾ den Vorschlag gemacht, an Stelle des Dichtungsbalkens eine bewegliche Klappe am unteren Wehrende anzubringen, die beim Ziehen des Wehres so verstellt wird, daß der durchtretende Strahl immer anliegt. Diese Anordnung besitzt im Gegensatz zu dem üblichen hölzernen Dichtungsbalken bewegte Teile, die sich an sehr unzugänglicher Stelle befinden; außerdem ergeben sich Schwierigkeiten für die Lagerung des aufsitzenden Wehrkörpers. Es dürfte daher schwierig sein, diese Anordnung in den Wehrbau einzuführen.

Zur Erhöhung des ablösungsfreien Hubbereiches ist in der ersten Veröffentlichung¹⁾ angeregt worden, einen entsprechenden Gegenbalken oder Leitflächen auf der Sohle unter dem Dichtungsbalken anzubringen. Es sollte gewissermaßen eine wenn auch unvollkommene Spiegelung des Strömungsbildes und damit auch des ablösungsfreien Hubbereiches (Verdoppelung) stattfinden. Die Ergebnisse der inzwischen ausgeführten Messung der statischen Druckverteilung bei einer derartigen Anordnung mit elliptischer Abrundung am Dichtungs- und am Gegenbalken sind in Abb. 1 für die hydraulischen Verhältnisse des Weserwehres Dörverden dargestellt. Überdrücke sind auf der umströmten Oberfläche nach außen, Unterdrücke nach innen aufgetragen. Die Druckverteilung des gleichen Dichtungsbalkens bei ebener Sohle ist zum Vergleich mit eingezeichnet. Wie ersichtlich, nimmt die drucksteigernde Wirkung des Gegenbalkens mit dem Hub ab; sobald sich der Dichtungsbalken außerhalb des Einflußbereiches des Gegenbalkens befindet, ist keine Verbesserung des Druckverlaufes mehr möglich. Um die günstige Wirkung noch weiter zu treiben, müßte die Höhe des Gegenbalkens über der oberwassersseitigen Sohle vergrößert werden. Abb. 1 zeigt auch die an der Sohle gemessene Druckverteilung. Man erkennt deutlich die Sogwirkung am Sohlenknick vor dem Tosbecken, die mit dem Hub stark zunimmt. Um den genauen Druckverlauf festzulegen, ist allerdings die Anzahl der Meßpunkte an dieser Stelle zu gering.

Eine ungünstige Beeinflussung des Druckverlaufes, besonders am vorderseitig abgerundeten Balken, kann der Sohlenabsturz nach dem Tosbecken zu üben, wenn er zu nahe an der Hinterkante des Balkens liegt. Zur Veranschaulichung der Verhältnisse ist das Potentialliniennetz für einen bestimmten Hub unter Berücksichtigung dieses Umstandes

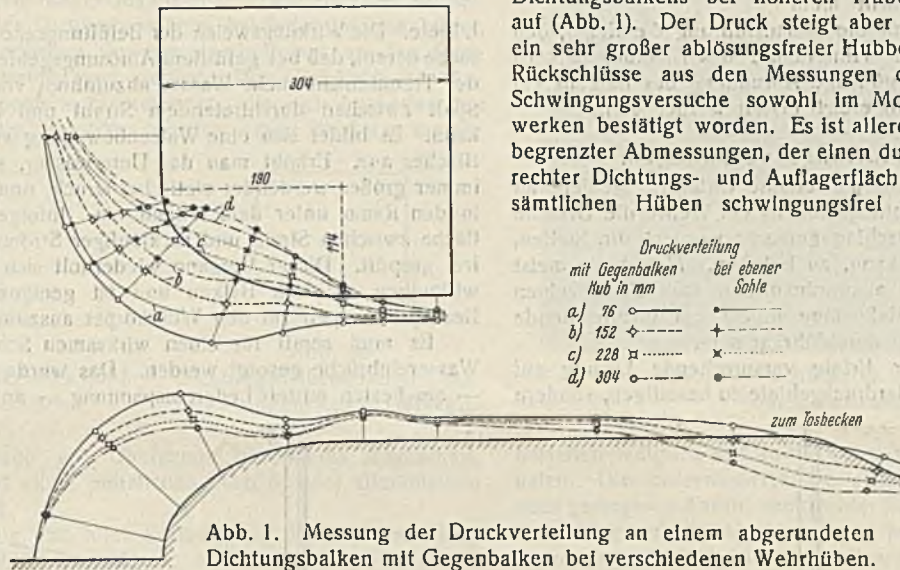


Abb. 1. Messung der Druckverteilung an einem abgerundeten Dichtungsbalken mit Gegenbalken bei verschiedenen Wehrhüben.

Wasserstände wie bei den Modellversuchen für das Weserwehr Dörverden:
 OW = NN + 15,1; UW = NN + 10; Sohle = NN + 8,75. Maßstab der Drücke
 1 cm = 4 m in der Natur.

¹⁾ Näheres s. O. Müller, Schwingungsuntersuchungen an unterströmten Wehren, Mitteilungen der Preuß. Versuchsanstalt für Wasserbau u. Schiffbau, Berlin 1933, Heft 13.

²⁾ Chr. Keutner, Wkr. u. Ww. 1935, Heft 1 u. 2, S. 5 und 16.

gezeichnet worden (Abb. 2). Als Grenzbedingung für die Oberfläche des unter Wasser austretenden Strahles ist gleichbleibende Geschwindigkeit angenommen worden. Die Strahlbegrenzung im Unterwasser muß also so lange verändert werden, bis die Potentiallinien des entsprechenden Netzes gleiche Abschnitte auf ihr abschneiden. Die angenommene Grenzbedingung trifft natürlich nur zu, wenn man Reibung und Mischung an der Trennschicht unberücksichtigt läßt. Das Strömungsbild sollte aber weniger wertmäßig als anschaulich den Strömungsverlauf darlegen. Der Strahl tritt nicht wie bei waagerechter Sohle mit stark ausgeglichener Geschwindigkeitsverteilung aus, sondern an der Knickstelle werden die unteren Stromlinien infolge der Krümmung zusammengedrängt. Die oberen Stromröhren müssen sich infolgedessen entsprechend erweitern, d. h., es findet eine Art Diffusorströmung längs der Balkenunterfläche statt. Die damit verbundene Saugwirkung bewirkt eine zusätzliche Erniedrigung des statischen Druckes. Wie aus der Abbildung zu ersehen ist, stimmt die zeichnerisch ermittelte Druckverteilung recht gut mit der gemessenen überein. Zum Vergleich ist noch der wesentlich günstigere Druckverlauf eingezeichnet, der sich einstellt, wenn der Sohlenknicke so weit im Unterwasser liegt, daß er die Strömung im Spalt nicht mehr beeinflusst. Es ergibt sich somit für die Bauausführung die Regel, den Sohlenabsturz 25 bis 30 cm von der Hinterkante des Dichtungsbalkens entfernt anzuordnen, wenn durch günstige Abrundung des Balkens ein möglichst großer ablösungsfreier Hubbereich erzielt werden soll.

Untersuchung von Belüftungsanordnungen.

Ausgehend von der Ansicht, daß pulsierende Unterdruckgebiete an der umströmten Oberfläche des Dichtungsbalkens der Wehre die Ursache der Schwingungen sind, ist der Vorschlag gemacht worden, die Stellen, an denen der Unterdruck auftreten kann, zu belüften. Man hatte meist die Vorstellung, Kanäle im Balken anzuordnen und dadurch einzelnen Stellen Luft zuzuführen³⁾. Diese Maßnahme dürfte nur unzureichende Wirkung haben und baulich schlecht durchführbar sein.

Eine weitergehende und mehr Erfolg versprechende Lösung auf ähnlicher Grundlage ist, nicht die Unterdruckgebiete zu beseitigen, sondern überhaupt die Trennschicht in der Flüssigkeit, die nach früherem der eigentliche Anlaß der Schwingungsanfängerung ist. Es muß zu diesem Zweck versucht werden, die Strömung von der unteren Fläche des Dichtungsbalkens vollkommen abzulösen und sowohl Luft in ausreichender Menge in den entstehenden Zwischenraum gelangen zu lassen, als auch zu verhindern, daß das Unterwasser in diesen Raum zurückströmt. Der erste wenn auch unvollkommene Versuch dieser Art wurde an einer ausgeführten nicht schwingungsfreien Wehranlage gemacht. Da das Unterwasser verhältnismäßig niedrig stand, wurde versucht, durch behelfsmäßige Verkleidung der rückwärtigen, senkrechten Fachwerkwand der Schütze die Deckwalze über dem durchtretenden Strahl vom Dichtungsbalken abzuhalten. Infolge der unvollkommenen Ausführung der Abdeckung konnte dieses Ziel nicht voll erreicht werden. Der Strahl spülte sich nur stellen- und zeitweise frei. Diese Maßnahme hatte immerhin eine Verminderung der Schwingungen zur Folge. Wahrscheinlich brachte die jetzt sehr ungleichmäßige Rückströmung noch zusätzliche Störungen in die Trennschicht, die den Gleichtritt der Anfängerung hemmten.

Das Verfahren wurde auf Anregung B. Körners am Modell eines schwingend aufgehängten Dichtungsbalkenausschnitts weiter verfolgt. In kurzem Abstände hinter dem Balken wurde gemäß der schematischen

Abb. 3 eine Blechwand angebracht, die bis zur Höhe der Dichtungsfläche des Balkens herunterreichte⁴⁾. Um die Wand bei hohem Unterwasser nicht zu hoch heraufführen zu müssen, war für die praktische Ausführung — wie in Abb. 3 ebenfalls angedeutet — ein waagerechter wasserdichter Abschluß mit einer entsprechenden Anzahl von Belüftungsrohren vorgesehen. Bei niedrigem UW gelang es, den Strahl zur Ablösung zu bringen, und zwar so, daß sich ein Luftraum unterhalb des Balkens

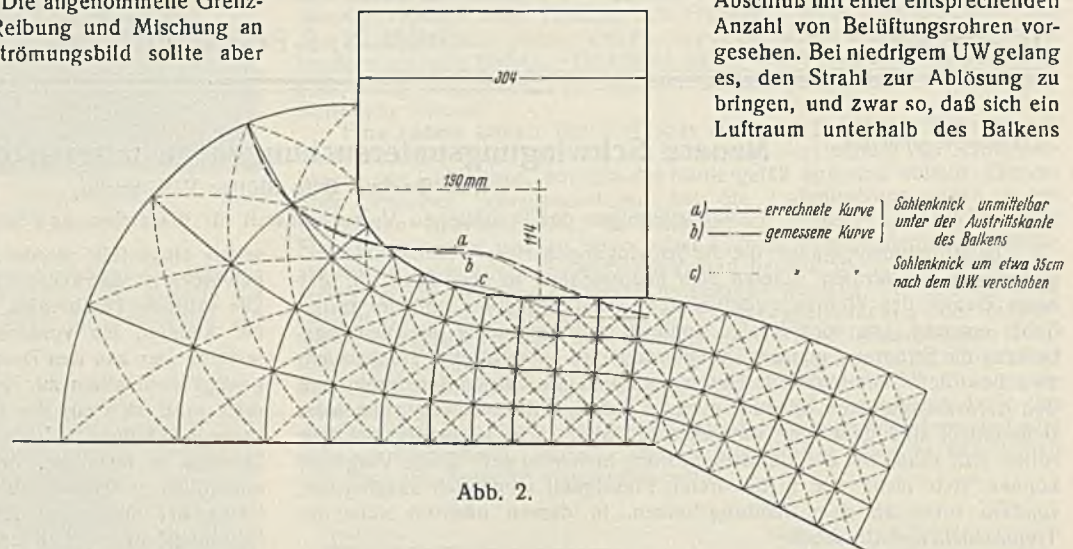
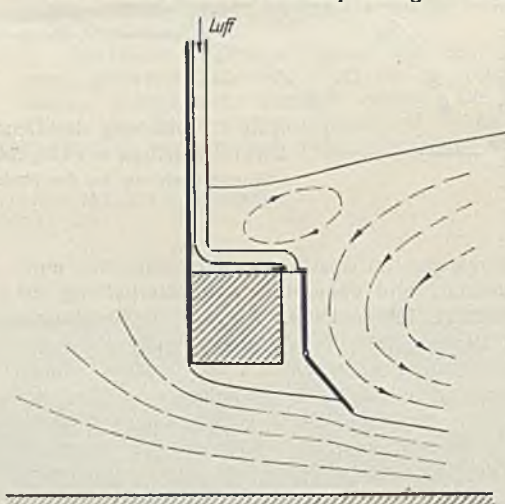


Abb. 2.

bildete. Die Wirkungsweise der Belüftungsanordnung beruht in der Hauptsache darauf, daß bei gefülltem Ablösungsgebiet die Flüssigkeitsreibung an der Trennschicht mehr Wasser abzuführen vermag, als durch den engen Spalt zwischen durchtretendem Strahl und Unterkante Blech zufließen kann. Es bildet sich eine Walzenbewegung auf der Unterwasserseite des Bleches aus. Erhöht man das Unterwasser, so lastet auf dem Spalt ein immer größer werdender statischer Druck, und das Wasser bricht plötzlich in den Raum unter dem Balken ein. Infolge der größeren Berührungsfäche zwischen Strahl und rückläufiger Strömung wird der Raum wieder frei gespült. Dieser Vorgang wiederholt sich unter schlagartigen Druckwirkungen auf den Balken und ist geeignet, ungünstige dynamische Beanspruchungen auf den Wehrkörper auszuüben.

Es muß somit für einen wirksamen Schutz des Luftraumes gegen Wassereintrüche gesorgt werden. Das wurde durch Anbringen einer lose

Abb. 3.
Einfache Belüftungsanordnung an einem rechteckigen Dichtungsbalken.Abb. 4.
Belüftungsanordnung mit beweglicher Klappe auf der Unterwasserseite des Dichtungsbalkens.

am besten mittels Ledereinspannung — an der etwas gekürzten Blechwand befestigten Klappe erreicht (Abb. 4). Die Klappe ragt nun bei gezogenem Wehr so tief in den durchtretenden Strahl, bis dessen hydrodynamische Krattwirkung den statischen Druck des Unterwassers ausgeglichen hat, und bewirkt dadurch den Abschluß des Luftraumes gegen das Unterwasser. Es bildet sich ein vollkommen stabiler Zustand bei abgelöstem Strahl aus. Die Klappe muß so lang sein, daß sie bei dem höchsten schwingungsgefährdeten Hub noch ausreichend tief in den Strahl reicht. Aus den Messungen der Absenkungskurven an Staufeln von Keutner⁵⁾ können die hierzu nötigen Angaben entnommen werden. — Wenn es sich bei dieser Anordnung auch nur um eine mittels Lederscharnier befestigte Klappe ohne jeglichen Verstellmechanismus handelt, so wird doch ihre Einführung in der Praxis auf Widerstand stoßen, da man keine bewegten Teile unter Wasser haben möchte. Es wurde daher versucht, auf einem anderen Wege ohne bewegte Teile eine schwingungsvermindernde Wirkung zu erzielen.

Balken mit Abschnitten verschiedenen Querschnitts.

Ausgehend von der im Modellversuch und an ausgeführten Anlagen festgestellten Tatsache, daß einzelne Balkenformen sehr unterschiedliche

⁴⁾ Eine ähnliche Anordnung hat neuerdings Dr. Einwächter beim Studium der Energieverrichtung der Walzen im Unterwasser verwendet. Ww. 1935, Heft 29 u. 30.

³⁾ Kulk, Der Eisenwasserbau, I. Bd., S. 50. Berlin 1928, Wilh. Ernst & Sohn.

Schwingungsbereiche haben können, erhielt der Balken keine durchgehende Querschnittform, wie bisher üblich, sondern wurde in der Längsrichtung in einzelne Abschnitte verschiedenen Querschnitts aufgelöst⁵⁾. Die verwendeten Formen wurden derart ausgewählt, daß ihre Schwingungsbereiche sich tunlichst nicht überdecken, also z. B. eine rechteckige und eine elliptisch abgerundete Form, wie in Abb. 5 dargestellt. Es können aber auch drei und mehr Querschnittformen Verwendung finden. Bei kleinen Spaltweiten übertragen die eckigen Abschnitte mit niedrigem Schwingungsbereich periodische Impulse auf die elastische Wehrkonstruktion, während die abgerundeten Abschnitte eher dämpfend wirken; bei großen Spaltweiten ist es umgekehrt. Die Anfachung kann nicht längs des ganzen Balkens angreifen, sondern ein gewisser Anteil der Balkenlänge wirkt immer erniedrigend auf die Ausschläge. Es ist anzunehmen, daß unter diesen Umständen die Schwingungen unter das als gefährlich anzusprechende Maß sinken.

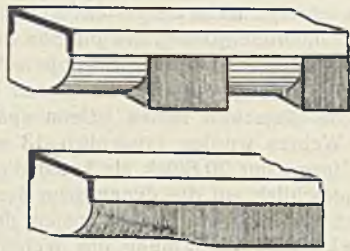


Abb. 5 u. 6. Dichtungsbalken mit Abschnitten verschiedenen Querschnitts. Plötzlicher und allmählicher Übergang von einer Querschnittsform zur anderen.

Der Mechanismus der Schwingungsanfachung läßt jedoch noch eine weitere, erhöhte Wirksamkeit obiger Maßnahmen erwarten. Der Wirbelschlauch, der sich längs des Dichtungsbalkens bei jeder Periode bildet, wird infolge der unterschiedlichen Strömungsverhältnisse an den Stoßstellen der einzelnen Abschnitte stark gestört. Der Gleichtritt der Anfachung erfährt dadurch ebenfalls Hemmungen, die sich besonders bei größeren Spaltweiten günstig auswirken dürften. Man wird aus diesem

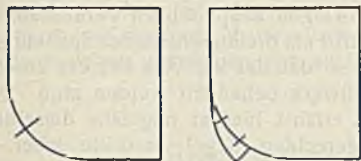


Abb. 7 u. 8.

Abgerundeter Dichtungsbalkenabschnitt mit vorderseitigen Ansätzen.

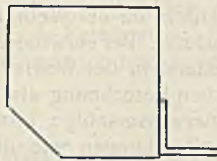


Abb. 9.

Dichtungsbalkenabschnitt mit rückwärtigem Ansatz (Winkel).

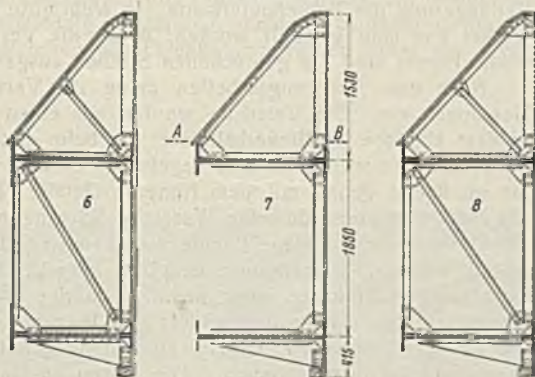
Grunde auch der Ausbildung des Übergangs besonderes Augenmerk widmen und je nach Bedarf einen plötzlichen (Abb. 5) oder allmählichen Übergang (Abb. 6) vorsehen.

Eine vorzeitige Ablösung und somit Erniedrigung des kritischen Hubbereiches einzelner Abschnitte eines durchgehend abgerundeten Balkens kann man auch erreichen, wenn man sie mit einem Strömungshindernis auf der Vorderseite versieht. In Abb. 7 ist ein Flachblech hochkant eingelassen; Abb. 8 gibt eine ähnlich wirkende, aber betriebstechnisch günstigere Ausführung wieder.

Schließlich kann man noch von dem Umstande Gebrauch machen, daß bei scharfkantigen Dichtungsbalken die kritischen Hubbereiche von der Breite der unteren waagerechten Fläche abhängen. Verlängert man durch angesetzte Winkelbleche abschnittsweise die Dichtungsfläche (Abb. 9), so darf man ebenfalls eine Besserung in schwingungstechnischer Hinsicht erwarten. Es ist von vornherein anzunehmen, daß sich die letzten beiden Anord-

⁵⁾ DRP. angemeldet.

Querschnitte um Wehrmitte



Horizontalriegel Schnitt A-B

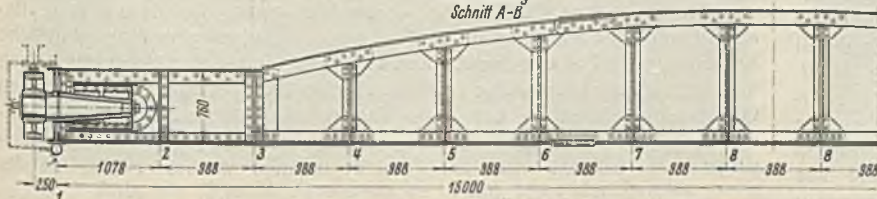


Abb. 10. Bauliche Einzelheiten der Schützen G und H.

nungen nicht so günstig verhalten werden wie der Balken verschiedenen Querschnitts. Sie kommen hauptsächlich als Abhilfsmittel für in Betrieb befindliche Anlagen, bei denen der Dichtungsbalken nicht ohne weiteres ausgewechselt werden kann, in Betracht.

Untersuchungen an ausgeführten Anlagen.

Die Wasserstraßendirektion Hannover erklärte sich in dankenswerter Weise bereit, diese Maßnahmen an zwei älteren nicht schwingungsfreien Wehranlagen zu erproben. Die in diesem Zusammenhang von der Versuchsanstalt ausgeführten Messungen sind in mancher Hinsicht bemerkenswert und werden im folgenden mitgeteilt.

Beschreibung der Anlagen. Die Schützenwehre G und H, die aus der Zeit kurz vor dem Kriege stammen, gehören zwar verschiedenen Fluß-Staustufen an, sind aber in ihrem Aufbau völlig gleichartig. Sie haben eine Spannweite von 15 m und verschließen die einzige größere Wehröffnung (Schiffsdurchlaß) der betreffenden Anlage. Im Unterwasser sind keine Tosbecken, sondern waagerechte Schußböden vorgesehen.

Der statische Aufbau der Schütze, der aus Abb. 10 zu ersehen ist, weist einige Besonderheiten auf. Die beiden waagerechten Fachwerkriegel



Abb. 11. Schütze G in gezogenem Zustande, vom Unterwasser aus gesehen.

bestehen lediglich aus zwei Gurten und senkrechten Stützen ohne Diagonalen. Die unterwasserseitige senkrechte Fachwerkwand ist mit einer noch geringeren Anzahl senkrechter Stützen ausgestattet und hat ebenfalls keine Diagonalen (Abb. 11). Es ist leicht ersichtlich, daß sich diese Bauweise gegenüber dynamischen Beanspruchungen, die die verwickeltsten Verformungen des Wehrkörpers hervorrufen können, nicht günstig verhalten wird. Der Dichtungsbalken der Schütze ist rechteckig und etwa 150 mm breit.

a) Messungen an Anlage G vor Änderung des Dichtungsbalkens.

Am Versuchstage wurde das Gefälle an den ober- und unterwasserseitig der Pfeiler befindlichen Pegel zu 2,54 m abgelesen. Beim Ziehen der Schütze nahm das Gefälle durch Aufhöhung des Unterwassers etwas ab.

Der kritische Hubbereich wurde durch Vorversuche zwischen 12 und 24 cm Spaltweite ermittelt. Die stärksten Schwingungen traten bei 15 bis 18 cm Spalt auf. Es konnte hierbei auf der Oberwasserseite des Wehres starke Wellenbildung — zum Teil Spritzwellen — beobachtet werden. Zeitweise waren längs des ganzen Wehres Wellen zu sehen (Abb. 12), meist bildeten sich aber zwei deutlich abgegrenzte Wellenbereiche an den Viertelpunkten des Wehres, die erheblich stärkere Bewegung aufwiesen (Abb. 13).

Selbständige Schwingungen einzelner Streben waren nicht zu bemerken, dagegen konnten an der unteren Hälfte der Stauwand in den einzelnen Feldern größere Ausbuchtungen des Bleches im Takte der Schwingungen festgestellt werden. Die Erschütterungen waren auf dem Wehrsteg deutlich fühlbar. Die Aufzugketten schwangen ziemlich stark mit, insbesondere die oberwasserseitige Kette, und zwar in der Stromrichtung über die hohe Seite.

Die Messungen wurden mit dem Schwingungsmesser von Waas⁶⁾ ausgeführt. Es wurde auf dem oberen waagerechten Riegel sowohl in Wehrmitte als auch an den Viertelpunkten des Wehres gemessen, aus Zeitmangel allerdings hauptsächlich in Wehrmitte. Auf dem unteren Riegel konnte nicht gemessen werden, da er vom Unterwasser bedeckt war. Die Ausschläge, die das Gerät bei einer Spaltbreite von 18 cm (Hauptschwinglage) aufzeichnete, sind in den

⁶⁾ Mitteilung Versuchsanstalt Nr. 13, S. 50, und Waas, Z. d. VdI 1935, S. 199.

ersten Spalten nachfolgender Tafel eingetragen. Die Frequenz schwankte etwas und betrug im Mittel 6,5 Hertz.

	Wehrmitte			
	Zuggurt		Druckgurt	
	vor Änderung	nach Änderung	vor Änderung	nach Änderung
waagerechte Teilbewegung . . .	0,20 mm	nicht auswertbar	0,25 mm	0,13 mm
lotrechte Teilbewegung . . .	3,2 mm	0,75 mm	0,55 mm	0,08 mm

	Viertelpunkt			
	Zuggurt		Druckgurt	
	vor Änderung	nach Änderung	vor Änderung	nach Änderung
waagerechte Teilbewegung . . .	nicht gemessen	0,95 mm	3,2 mm	1,3 mm
lotrechte Teilbewegung . . .	nicht gemessen	0,52 mm	0,9 mm	0,13 mm

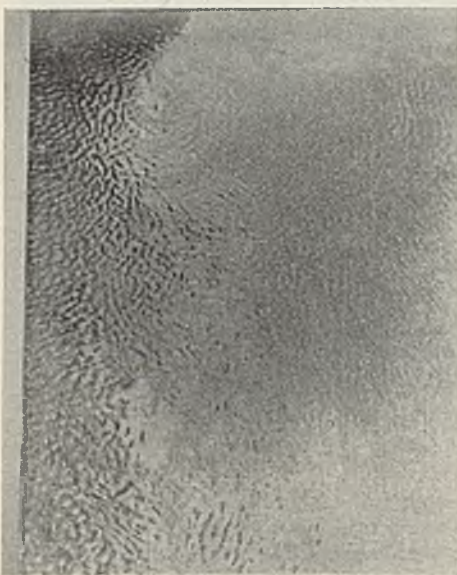


Abb. 12. Schütze G in der Schwinglage von oben gesehen. Wellen im Oberwasser treten längs des ganzen Wehres auf.

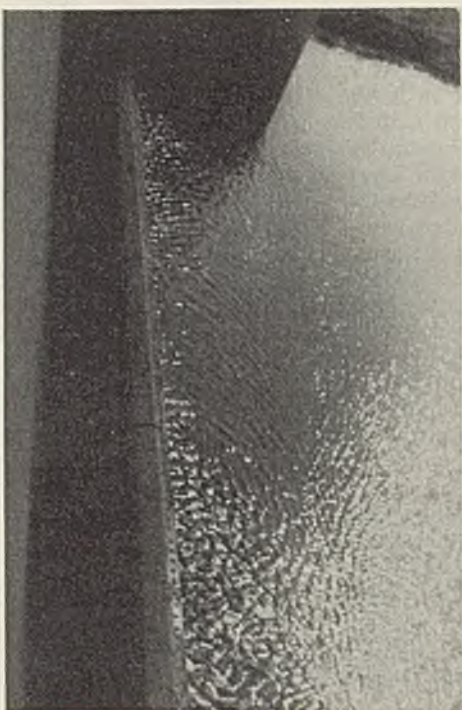


Abb. 13. Schütze G in der Schwinglage von oben gesehen. Es bilden sich abgegrenzte Wellengebiete an den Viertelpunkten der Schütze.

Rein gefühlsmäßig konnte man feststellen, daß die Ausschläge des Zuggurtes im Viertelpunkte erheblich geringer waren als in Wehrmitte.

Durch Vergleich der einzelnen Teilbewegungen ist zu ersehen, daß die Schwingungsform der Stauwand (Messungen auf dem Druckgurt) anders ist als die des unterwasserseitigen Fachwerks (Messungen auf dem Zuggurt). Und zwar führt die Stauwand eine Oberschwingung mit einem Knoten in Wehrmitte aus, die hauptsächlich waagerechte Teilbewegungen aufweist, während das Fachwerk einen Schwingungsbauch in Wehrmitte mit vorwiegend senkrechter Bewegungsrichtung hat, also in der Grundform schwingt. Dieses Ergebnis ist zunächst überraschend, da man geneigt ist, anzunehmen, daß der Wehrkörper beim Schwingen einheitliche Bewegungen ausführt. Es lassen sich jedoch schon aus dem eingangs geschilderten statischen Aufbau der Schütze genug Anhaltspunkte finden, um ein derartiges Verhalten bei schwingender Beanspruchung zu erklären. Es ließen sich hieran weitgehende, sehr lehrreiche schwingungstechnische Erörterungen anschließen, doch soll hier nur darauf hingewiesen werden, daß das schon erwähnte Wechselspiel der Wasserwellen auf der Oberwasserseite wahrscheinlich damit im Zusammenhang steht.

Die Tatsache allerdings, daß erstens die Ausschläge des Fachwerks genau so groß sind wie die der unmittelbar erregten Stauwand, zweitens eine verhältnismäßig geringe

Rückwirkung beider Schwingungsformen aufeinander vorliegt, und schließlich an der Anlage H (s. a. u.) sowohl Stauwand wie Fachwerk Knotenbildung aufwies, läßt darauf schließen, daß hier der Zusammenhalt zwischen der Stauwand und dem rückwärtigen Fachwerk besonders geschwächt ist. Bei der näheren Besichtigung stellte sich heraus, daß die Eisenteile des Wehres besonders stark korrodiert waren; einzelne Streben hatten nur einen Bruchteil ihres Sollquerschnitts.

Der Zustand des vom Wasser bedeckten unteren Riegels konnte am Versuchstage nicht festgestellt werden. Da aber bei der Anlage H früher schon mehrere Streben des unteren Riegels ausgewechselt werden mußten, weil sie gebrochen waren, wurde auf Grund der Schwingungsmessungen die Vermutung ausgesprochen, daß sich auch hier im Laufe der Zeit Brüche eingestellt hatten. Beim späteren vollkommenen Herausnehmen des Wehres wurden tatsächlich 13 eiserne Winkel des unteren Riegels von insgesamt 20 Stück als beschädigt festgestellt. Diese Brüche dürften hauptsächlich auf die dynamische Beanspruchung zurückzuführen sein, da durch das Fehlen der Diagonalen die senkrechten Stützen bei der sehr verwickelten Verformung des Wehrkörpers äußerst ungünstig, zum Teil auch auf Biegung, beansprucht werden. Sie lassen ferner die Gefährlichkeit der Wehrschwingungen erkennen und bestätigen die schon von vielen Seiten geäußerte Ansicht, daß Schwingungsmessungen geeignet sind, Anhaltspunkte über den Erhaltungszustand eines Bauwerks zu geben.

Für den Konstrukteur seien hier nochmals die Hauptgesichtspunkte hervorgehoben, die hinsichtlich der dynamischen Beanspruchung von Schützenwehren beachtet werden müssen⁷⁾. Durch Versteifung des Eisenbaues allein können die Schwingungen selbst nicht beseitigt werden; man ändert in der Hauptsache nur ihre Frequenz. Es ist aber erforderlich, auf die durch etwaige Schwingungen hervorgerufenen Beanspruchungen schon beim Entwurf einzugehen, um Überbelastungen einzelner Bauteile zu vermeiden. Neben der bei rein statischer Berechnungsweise maßgebenden Biegefestigkeit der Hauptriegel und der Stauwand muß noch eine erhebliche Verwindungssteifigkeit des ganzen Bauwerks vorgesehen werden, da der Wehrkörper beim Schwingen hauptsächlich Verdrehungen ausführt. Bei verwindender Belastung tritt ein dreidimensionaler Spannungszustand in der Wehrkonstruktion auf, so daß das Bauwerk bei der zusätzlichen Berechnung als räumliches Fachwerk behandelt werden muß. Der unterwasserseitige lotrechte Verband erfährt hierbei ungefähr dieselben Kraftwirkungen wie die beiden waagerechten Riegel; er sollte daher — wenn er auch aus baulichen Gründen schwächer gehalten werden muß — immer mit Diagonalen versehen werden. Die geeignetste Bauweise für die Fachwerkkonstruktion der Schütze ist das Flechtwerk⁸⁾. Das Dreigurtschütz bietet gegenüber dem Doppelriegelsystem den Vorteil, daß die rückwärtige lotrechte Fachwerkebene fehlt und somit bei verwindender Beanspruchung der Kraftfluß um den umbauten Querschnitt herum keine Unterbrechung durch schwächere Verbände erfährt. Ferner dürfte die dreieckförmige Abstützung des Zuggurtes keine Verformungen des Wehrkörpers in sich, wie z. B. bei Schütze G, zulassen.

b) Messungen an Anlage G nach Änderung des Dichtungsbalkens.

Auf Vorschlag der Versuchsanstalt wurde die Form des Dichtungsbalkens selbst nicht geändert, sondern an der dem Unterwasser zugekehrten Fläche des Balkens in Abständen von 2 m ungleichschenklige $L 80 \cdot 120 \cdot 12$ von 1 m Länge befestigt, so daß sich abwechselnd Abschnitte von 1 m mit und ohne Winkel ergaben. Hierbei liegt der längere Schenkel in der Verlängerung der Balkenunterkante. In Wehrmitte ist der Abschnitt ohne Winkel 2 m lang gewählt worden, damit die Verteilung unsymmetrisch wird. Ferner sind die gebrochenen Streben ausgewechselt worden.

Nach den Änderungsarbeiten nahm die Versuchsanstalt wiederum Messungen vor. Die Versuche wurden auf einen Zeitpunkt verschoben, an dem ähnliche Gefälleverhältnisse wie beim ersten Male auftraten. Es wurde am Versuchstag an den Pegeln ein Gefälle von 2,63 m abgelesen, das genügend genau mit dem früheren Gefälle (2,54 m) übereinstimmt. Als Meßgerät wurde derselbe Waassche Schwingungsmesser benutzt.

Die neue Schwinglage konnte zwischen 10 und 17 cm Spaltweite festgestellt werden. Die Hauptschwinglage liegt bei 13 cm Hub. In dieser Lage wurden ähnliche, aber nicht so heftige Wellenerscheinungen im Oberwasser wie früher beobachtet; das Wellenbild wechselte ebenfalls. Die Meßergebnisse bei 13 cm Hub sind in den zweiten Spalten der vorhergehenden Tafel eingetragen. Die Frequenz lag zwischen 6,85 und 6,93 Hertz.

Die getroffene Maßnahme vermochte zwar die dynamische Beanspruchung der Schütze nicht restlos zu beseitigen, hat aber eine erhebliche Besserung zur Folge gehabt. Zunächst muß auf den starken Rückgang der Schwingungsausschläge auf durchschnittlich $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Größe hingewiesen werden. Die Verformungen könnte man unter Umständen sogar als unbedenklich bezeichnen, wenn der schlechte Erhaltungszustand der Schütze nicht zur Vorsicht mahnen würde. Ferner ist der

⁷⁾ s. Fußnote 1, S. 70.

⁸⁾ A. Föppl, Vorlesungen über Technische Mechanik, Bd. II, 6. Aufl., S. 243.

kritische Hubbereich, der vorher eine Spanne von 15 cm umfaßte, auf etwa 6 bis 7 cm zurückgegangen. Das bedeutet, daß jetzt die Wahrscheinlichkeit, die Schütze versehentlich in der Schwinglage stehen zu lassen, wesentlich geringer geworden und des weiteren die Vermeidung dieser kritischen Hübe betrieblich viel leichter durchführbar ist.

Die Schwingungsform des Wehrkörpers ist im Grunde genommen ähnlich geblieben, da die lotrechte Teilbewegung des Zuggurtes in Wehrmitte größer ist als im Viertelpunkte. Das dürfte nicht zuletzt auf den Erhaltungszustand der ganzen Schütze (s. o.) zurückzuführen sein. Die Erneuerung der Streben hat sich insofern günstig ausgewirkt, als die Größtausschläge der selbständigen Bewegungen der Fachwerkstruktur gegenüber denen der Stauwand auf fast die Hälfte zurückgegangen sind, während sie früher gleich waren. Das weist darauf hin, daß die Verbindung beider inniger geworden ist.

c) Messungen an Anlage H vor Änderung des Dichtungsbalkens.

Das Gefälle betrug am Versuchstage 2,65 m. Der kritische Hubbereich wurde zwischen 12 und 18 cm ermittelt; die größten Schwingungen traten bei 13 cm Spaltweite auf. Es konnte schon an der Wellenbildung im Oberwasser erkannt werden, daß eine Oberschwingung des Wehrkörpers vorlag. Es traten hier an den Viertelpunkten zwei deutlich abgegrenzte Wellengebiete (Spritzwellen) auf, während in Wehrmitte kaum Wellen zu bemerken waren. Der äußere Eindruck war derselbe wie bei Abb. 13.

Die Bewegungen und Verwindungen des Wehrkörpers waren vom Steg aus deutlich zu erkennen. Einzelne Stützen des rückwärtigen lotrechten Verbandes führten schwache Biegeschwingungen senkrecht zu ihrer Längsachse aus. Die Verwölbungen in den Feldern der unteren Stauwandhälfte waren bei dieser Anlage ebenfalls gut zu sehen. Auch die Aufzugketten schlangen kräftig mit; die oberwasserseitige Kette, die besonders heftige Schwingungen über ihre hohe Seite (in Richtung der Kettenstege) ausführte, hatte einen Knoten ungefähr in Kettenmitte. Die Schwingungen übertrugen sich auch auf die Pfeiler, insbesondere auf den

Landpfeiler. Pfeilererschütterungen sind deshalb gefährlich, weil dadurch sehr leicht Setzungen eintreten können, wenn die Wehranlagen auf Sand gegründet sind.

Die gemessenen Ausschläge sind in folgender Tafel zusammengestellt. Die Frequenz betrug 6,7 Hertz.

	Wehrmitte		Viertelpunkt	
	Zuggurt	Druckgurt	Zuggurt	Druckgurt
waagerechte Teilbewegung .	0,1 mm	0,15 mm	1,8 mm	1,8 mm
lotrechte Teilbewegung . .	0,3 mm	0,15 mm	1,5 mm	0,2 mm

Die Meßergebnisse zeigen, daß erstens die Ausschläge kleiner sind als bei Anlage G und daß zweitens der Wehrkörper, wie schon erwähnt, als einheitliches Gebilde Oberschwingungen ausführt; der Schwingungsknoten tritt sowohl bei der Stauwand als auch beim Fachwerk auf.

d) Messungen an Anlage H nach Änderung des Dichtungsbalkens.

Bei dieser Anlage wurde der Einbau eines Dichtungsbalkens mit Abschnitten verschiedenen Querschnitts vorgeschlagen. Der Balken ist abwechselnd aus vorn scharfkantigen, rückwärts abgeschragten Abschnitten und aus elliptisch abgerundeten Abschnitten zusammengestellt worden. In Wehrmitte wurde noch ein rechteckiger Abschnitt eingeschaltet, um die ganze Anordnung wiederum unsymmetrisch zu machen.

Die Schwingungsmessungen wurden bei einem Gefälle von 2,58 m, gegenüber 2,65 m bei den früheren Versuchen, vorgenommen. Es gelang erst nach längeren Vorversuchen, ganz schwache Erschütterungen bei einer Spaltweite von 10 bis 12 cm wahrzunehmen. Die Aufzeichnung des Schwingungsmessers ließ erkennen, daß es sich um ziemlich ungleichmäßige Bewegungen handelt — sie verschwinden zeitweise vollkommen — mit einem Größtausschlag, der noch nicht einmal 0,1 mm erreicht.

Nach den vorliegenden Versuchsergebnissen hat sich somit der neue Dichtungsbalken als Abhilfsmittel gegen Schwingungserscheinungen gut bewährt.

Der Brückenbau und der Ingenieurhochbau der Deutschen Reichsbahn im Jahre 1936.

Alle Rechte vorbehalten.

Von G. Schaper.

(Schluß aus Heft 3.)

11. Brücke über die Schleuse des Mittellandkanals bei Allerbüttel in km 189,4 der Strecke Lehrte—Oebisfelde (Reichsbahndirektion Hannover), Abb. 20.

Die genannte zweigleisige Strecke wird mit je zwei eingleisigen Überbauten über die beiden Schleuseneinfahrten geführt. Die Hauptträger sind vollwandig, parallelgurtig und gelenkt. Die Stützweiten betragen $2 \times (46 \text{ und } 50 \text{ m})$. Der Baustoff der Hauptträger ist St 52, der der Fahrbahn und der Verbände St 37.

Von massiven Brücken seien nur drei Beispiele erwähnt:

12. Die Taugwitz-Brücke auf der Strecke Hochstadt—Probstzella (Reichsbahndirektion Nürnberg), Abb. 21.

Die aus drei Bruchsteingewölben von je 14,75 m Spannweite, Bruchsteinpfeilern, Bruchsteinwiderlagern und Bruchsteinstirnmauern bestehende Brücke war infolge vollständig zerstörter Abdichtung baufällig geworden. Sie wurde durch Unterziehen von Eisenbetongewölben unter die Bruch-

steingewölbe und durch Ummanteln aller übrigen Teile mit verankerten Eisenbetonwänden wieder Instand gesetzt.

13. Wegüberführung über die Strecke München—Buchloe beim Bahnhof Kaufering (Reichsbahndirektion Augsburg), Abb. 22.

Der Weg ist mit einem Eisenbetonüberbau in drei Öffnungen über die Eisenbahn geführt. Die Stützweiten sind $3 \times 9,60 \text{ m}$. Die Mittelstützen sind Eisenbetonpendelrahmen mit einem oberen Querriegel, sie sind oben mit dem Überbau und unten mit den Grundmauern durch X-förmige Bügel verbunden. Die Auflager auf den Widerlagern verschwinden hinter den Parallelfüßeln. Ein Gesims läuft in gleicher Höhe und ein einfaches Stabgeländer in gleicher Form über Überbau und Widerlager durch.

14. Wegüberführung in km 26,123 der Strecke Halle—Weißenfels (Reichsbahndirektion Halle), Abb. 23.



Abb. 20. Kanalschleusenbrücke in km 189,4 der Strecke Lehrte—Oebisfelde.



Abb. 21. Taugwitz-Brücke.

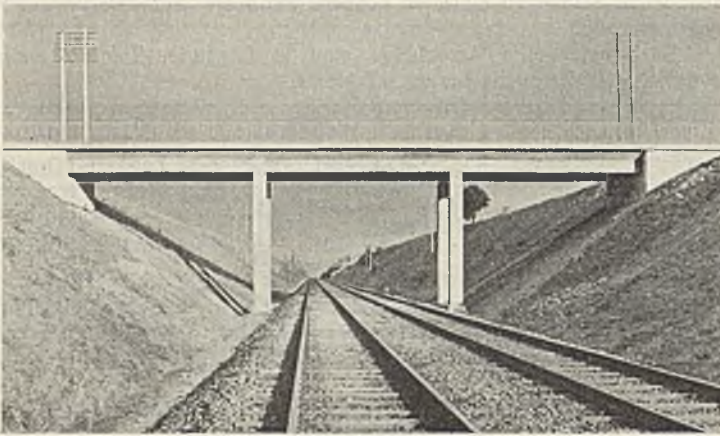


Abb. 22.
Wegüberführung beim Bahnhof Kaufering.

Dies Bauwerk ist dem eben unter Nr. 13 beschriebenen ähnlich. Die Unterkante des Überbaues ist aber über den Mittelstützen voutenartig heruntergezogen. Die Pendelrahmen bestehen aus vier Ständern, die oben durch einen Querriegel verbunden sind. Die Lager an den Widerlagern ruhen auf Auflagermauern, die vor die Widerlager vortreten.

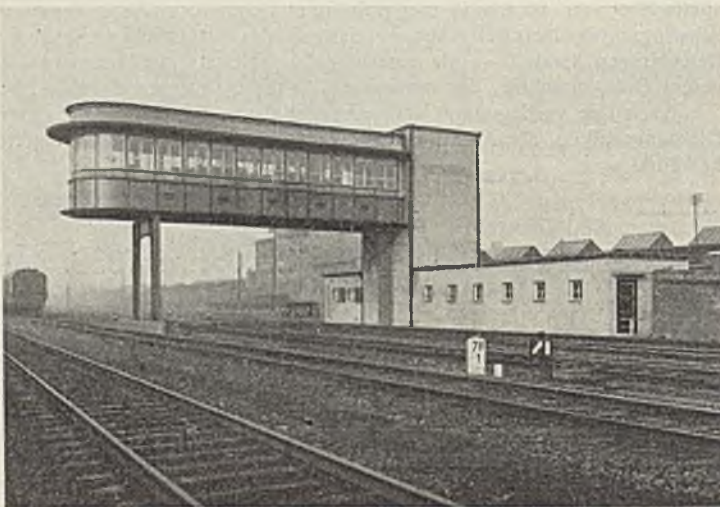


Abb. 24.
Stellwerk auf Bahnhof Beuthen O/S.

Zum Schutze gegen das Verschmutzen durch die Rauchgase der Lokomotiven auf der sehr stark befahrenen Strecke sind Rauchschutztafeln, die allerdings nicht zur Verschönerung des Bauwerks beitragen, vorgesehen.

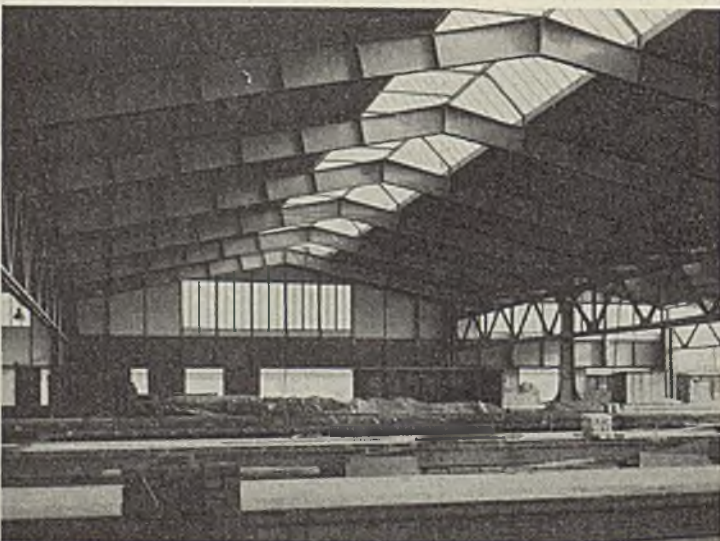


Abb. 26.
Güterschuppen Weidendam in Hannover.

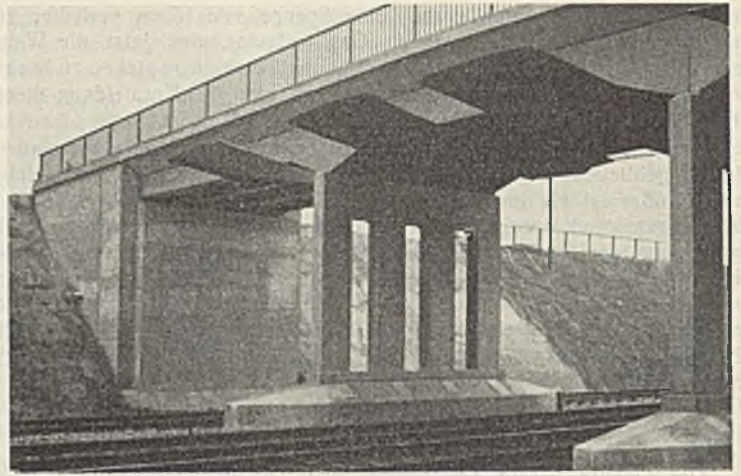


Abb. 23.
Wegüberführung Strecke Halle—Weißenfels.

An Ingenieurhochbauten sind folgende erwähnenswert:

15. Stellwerk auf Bahnhof Beuthen O/S (Reichsbahndirektion Oppeln), Abb. 24.

Das stählerne Gebäude ruht vorn auf einem stählernen Pendelrahmen, auf der anderen Seite auf der vorderen Mauer des Treppenhauses. Die Stützweite beträgt 14,50 m. Der vordere, gerundete Teil ladet 3,48 m über den Pendelrahmen aus. Die inneren Ausstufungen des Blechträgers

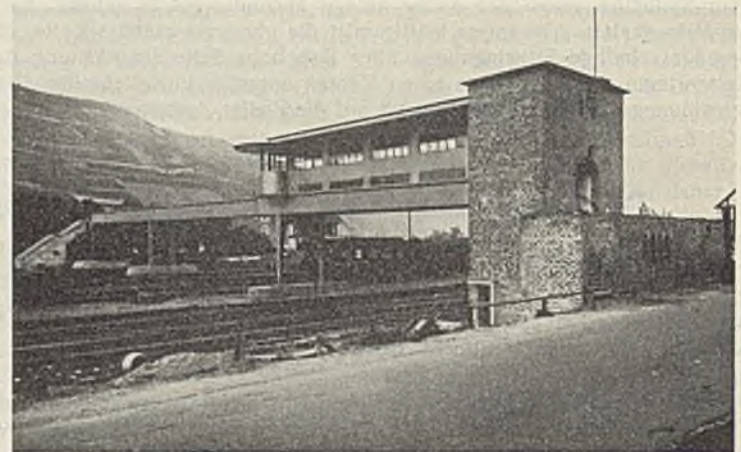


Abb. 25.
Stellwerk auf Bahnhof Bingerbrück.

sind nach oben verlängert, begrenzen die Fensteröffnungen und tragen das Hauptdach und das vorkragende Sonnendach. Der Baustoff des gebleichten Bauwerks ist St 37.

16. Stellwerk mit öffentlichem Fußsteig auf Bahnhof Bingerbrück (Reichsbahndirektion Mainz), Abb. 25.



Abb. 27.
Alte Halle des Schliesischen Bahnhofes.



Abb. 29. Alte Stadtbahnsteighalle des Bahnhofs Zoologischer Garten in Berlin.

Der öffentliche Fußsteig überquert den Bahnhof Bingerbrück auf über drei Öffnungen durchlaufenden vollwandigen Trägern mit 19—26—19 m Stützweite. Über den Blechträgern der einen Seitenöffnung ist das stählerne Stelwerk neben dem massiven Treppenturm errichtet. Die Blechträger ruhen auf der vorderen Wand des Treppenturmes, sonst auf stählernen Pendelrahmen. Das ganze Stahlwerk ist geschweißt.

17. Güterschuppen Weidendam in Hannover (Reichsbahndirektion Hannover), Abb. 26.

Die Abbildung gibt einen Blick in eine der großen Hallen. Das Tragwerk besteht aus genieteten Fachwerkträgern von 31,5 m größter Stützweite und aus auf diesen ruhenden geschweißten, 27,8 m weit gestützten vollwandigen Dachbindern, die die Dachhaut und das Oberlicht tragen. Der Baustoff ist St 37.

18. Neue Halle des Schlesischen Bahnhofes in Berlin (Reichsbahndirektion Berlin), Abb. 27 u. 28.

Der Schlesische Bahnhof hat zwei Bahnhofshallen, die bisher durch eine Mauer getrennt waren. Die eine Halle ist bereits vor einigen Jahren erneuert worden. Die zweite Halle ist in diesem Jahre durch eine neue ersetzt worden. Abb. 27 stellt die alte Halle dar; das Stabgewirr des alten Daches, das durch Rost weitgehend zerstört war, ist deutlich aus dieser Abbildung zu ersehen. Die Form der neuen Halle (Abb. 28) ist der der anderen Halle angepaßt. Die Binder sind genietete, vollwandige Dreigelenkbogen mit Zugstangen. Die Spannweite beträgt 38 m. Der Baustoff ist St 37. Die Trennmauer (Abb. 27) ist beim Umbau verschwunden (Abb. 28). Man hat jetzt einen freien Blick durch beide Hallen, wodurch eine großartige Raumwirkung erzielt ist.

19. Neue Stadtbahnsteighalle des Bahnhofs Zoologischer Garten in Berlin (Reichsbahndirektion Berlin), Abb. 29, 30 u. 31.

Beim Umbau des Bahnhofs Zoologischer Garten mußte auch die alte Stadtbahnsteighalle (Abb. 29) erneuert werden. Abb. 30 zeigt die äußere Ansicht und Abb. 31 eine Innenansicht der neuen Stadtbahnsteighalle. Die vollwandigen Rahmenbinder spannen sich über die beiden Stadtbahngleise und den Bahnsteig; die Stützweiten schwanken zwischen 15,26 und 21,25 m. Die Binder werden von Vollwandträgern gestützt, die unabhängig von den Gleisträgern sind. Alle Stahlteile sind geschweißt. Die neue Halle wirkt sehr ruhig und vornehm (Abb. 31); sie steht im angenehmen Gegensatz zu der alten Halle (Abb. 29) mit ihren unruhigen Baugliedern.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Deutsche Reichsbahn auch im Jahre 1936 bestrebt war, ihre Ingenieurbauten architektonisch befriedigend zu gestalten, und daß sie bei ihren Stahlbauten das Schweißverfahren wieder weitgehend verwendet hat.

Im Jahre 1936 sind 39 217 t St 37 und 7 153 t St 52 in Brücken und 11 224 t St 37 in Ingenieurhochbauten elnggebaut worden.



Abb. 28.
Neue Halle des Schlesischen Bahnhofes.

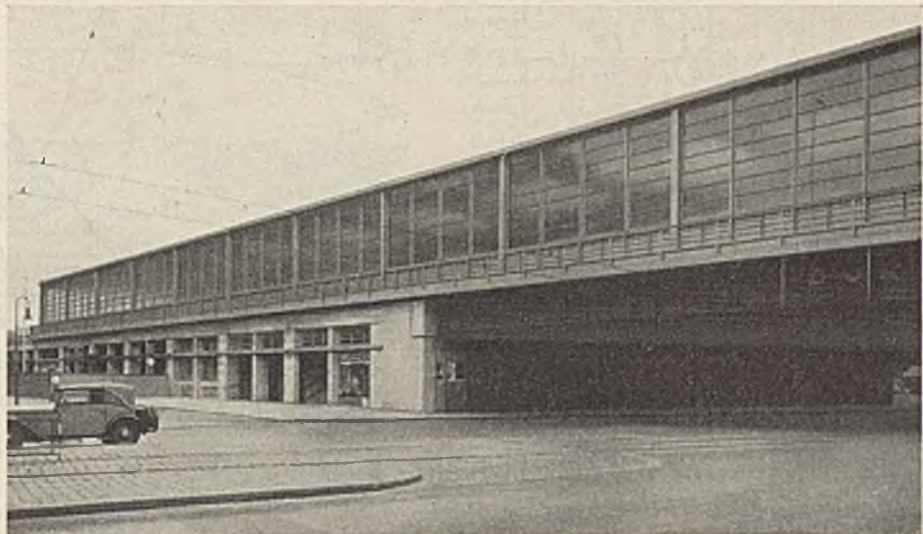


Abb. 30. Neue Stadtbahnsteighalle des Bahnhofs Zoologischer Garten in Berlin. Ansicht.

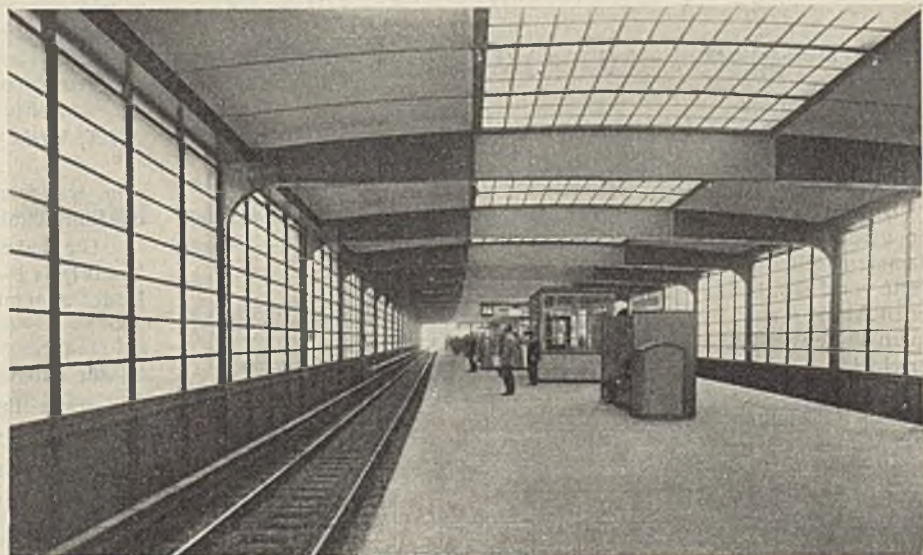


Abb. 31. Neue Stadtbahnsteighalle des Bahnhofs Zoologischer Garten in Berlin. Innenansicht.

Statische Untersuchung vollwandiger Bogenträger mit ungleicher Kämpferhöhe.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Prof. Dr.-Ing. Doelck, Technische Hochschule Danzig.

(Schluß aus Heft 4)

III. Der Zweigelenkbogen.

Die Untersuchung und ihre Ergebnisse sind grundsätzlich die gleichen wie beim Dreigelenkbogen.

Hier sowohl wie beim eingespannten Bogen erfährt die rechnerische Behandlung durch die Einführung des bekannten Gesetzes

$$J = \frac{J_0}{\cos \varphi}$$

für den Verlauf des Trägheitsmomentes eine außerordentliche Erleichterung. Ohne an dieser Stelle auf die Berechtigung dieser Annahme näher einzugehen, sei sie den weiteren Untersuchungen zugrunde gelegt.

Bei der Wahl des Schubes in Richtung der Kämpfergelenke als statisch überzähliger Größe (vgl. Abb. 13) ist

$$M = M_0 + X_1 M_1$$

$$M_1 = y_1 = (y - \xi h_b) \cos \gamma$$

$$y = 4f \alpha_b \xi (1 - \alpha_b \xi)$$

$$h_b = 4f \alpha_b (1 - \alpha_b)$$

(17)

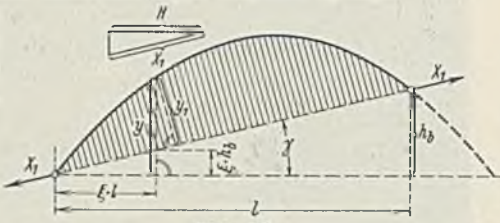


Abb. 13.

$$M = 4f(\xi - \xi^2) \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma.$$

In der E Gleichung

$$X_1 = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}}$$

ist

$$\frac{d^2(\delta_{10})}{d\xi^2} = -\frac{l^2}{EJ_0} \cdot M_1$$

$$\delta_{10} = +\frac{1}{EJ_0} \cdot \frac{f l^2}{3} (\xi - 2\xi^3 + \xi^4) \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma$$

$$\delta_{11} = \frac{l}{EJ_0} \int_0^1 M_1^2 d\xi$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ_0} \cdot \frac{8}{15} \cdot f^2 l \alpha_b^4 \cdot \cos^2 \gamma.$$

Mit diesen Werten ergibt sich

$$(18a) \quad X_1 = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = -\frac{5}{8} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2 \alpha_f} \cdot \frac{1}{\cos \gamma} [\xi(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)]$$

$$(18b) \quad H = -X_1 \cdot \cos \gamma = +\frac{5}{8} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2 \alpha_f} [\xi(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)].$$

Mit $\alpha_b = 1$ ist das die bekannte Einflußlinie für den Seitenschub des symmetrischen Zweigelenkbogens.

Die Auflagerkräfte sind wie beim Dreigelenkbogen [vgl. Gl. (12) u. (13)].

$$(19) \quad A = A_0 + H \cdot \frac{h_b}{l} \quad B = B_0 - H \cdot \frac{h_b}{l}$$

$$(19a) \quad A = \frac{(1-\xi)}{2\alpha_b} \{2\alpha_b + 5(1-\alpha_b)[\xi(1+\xi-\xi^2)]\}$$

$$(19b) \quad B = \frac{\xi}{2\alpha_b} \{2\alpha_b - 5(1-\alpha_b)[(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)]\}.$$

Diese Einflußlinien sind in ihrer Abhängigkeit von α_b in Abb. 14 dargestellt.

Die Ausdrücke in den geschwungenen Klammern stellen die Werte von ξ dar, bei denen A bzw. B auch innerhalb des Feldes verschwinden, d. h. einen Vorzeichenwechsel erfahren können. Das ist natürlich bei A überhaupt nicht möglich. Für das Auflager B ergeben sich die Nullpunkte der Einflußlinien aus der Gleichung

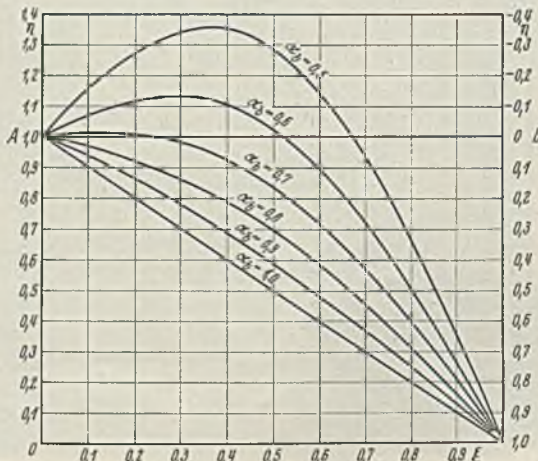


Abb. 14. Einflußlinien der Auflagerdrücke A und B am Zweigelenkbogen in ihrer Abhängigkeit von α_b .

$$2\alpha_b - 5(1-\alpha_b)[(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)] = 0.$$

Aus ihr errechnet sich mit $\xi = 0$

$$\alpha_b \leq \frac{5}{7}$$

als der Grenzwert, von dem ab negative Auflagerdrücke in B auftreten können.

Die Ordinaten der Kämpferdrucklinie lassen sich unmittelbar aus Abb. 15 ablesen. Danach ist

$$y = l \xi \cdot \frac{A}{H}$$

Unter Berücksichtigung der Gl. (18b) und (19a) ist also

$$(20) \quad y = \frac{4}{5} \cdot f \cdot \frac{2\alpha_b^2 + 5(\alpha_b - \alpha_b^2)\xi(1+\xi-\xi^2)}{(1+\xi-\xi^2)}$$

Den Verlauf der Kämpferdrucklinien bei den verschiedenen Bogenstellungen mit gleichen l und f in seiner Abhängigkeit von α_b zeigt Abb. 16.

Aus Abb. 14 u. 16 ergibt sich, was an sich selbstverständlich ist, daß an den Stellen, an denen

$$B = 0$$

ist, die Ordinate der Kämpferdrucklinie = f ist. Im Grenzfalle für

$$\alpha_b = \frac{5}{7}$$

ist

$$h_b = 4f(\alpha_b - \alpha_b^2) = \frac{40}{49} \cdot f.$$

Für diesen Bogen ist die Anfangsordinate der Kämpferdrucklinie ebenfalls

$$y = \frac{8}{5} \cdot f \alpha_b^2 = \frac{40}{49} \cdot f.$$

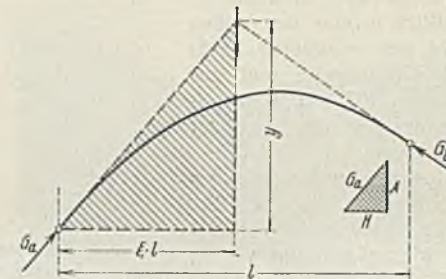


Abb. 15.

Die Ermittlung der Einflußlinien für die senkrechten Kräfte, die Querkräfte und Normalkräfte bietet nichts Besonderes. In Abb. 17 sind einzelne besondere Fälle dargestellt.

Das Moment an bestimmter Stelle

$$\xi = \alpha_a$$

ergibt sich nach Abb. 13 aus

$$M = M_0 + X_1 M_1$$

$$\text{mit } X_1 = -\frac{5}{8} \cdot \frac{l}{f} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2 \cdot \cos \gamma} [\xi(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)] \quad [\text{vgl. Gl. (18a)}]$$

$$M_1 = +4f(\alpha_a - \alpha_a^2)\alpha_b^2 \cdot \cos \gamma \quad [\text{vgl. Gl. (17)}]$$

zu

$$(21) \quad M = M_0 - \frac{5}{2} \cdot l(\alpha_a - \alpha_a^2) [\xi(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)].$$

Wie es selbstverständlich sein muß, in Unabhängigkeit vom Werte α_f und α_b , denn zufolge

$$\int f M dx = 0$$

muß mit

$$\int_0^l M_0 dx = \frac{l^2}{2}(\alpha_a - \alpha_a^2)$$

auch

$$\int_0^l X_1 M_1 dx = -\frac{5}{2} \cdot l^2(\alpha_a - \alpha_a^2) \int_0^1 (\xi - 2\xi^3 + \xi^4) d\xi = -\frac{l^2}{2}(\alpha_a - \alpha_a^2)$$

sein, was wiederum wie beim Dreigelenkbogen nur möglich ist, wenn die Einflußlinien der Momente von den Werten α_b und α_f unabhängig sind.

Die bekannten Einflußlinien für die Momente sind für die Punkte $\xi = 0,1$ bis $\xi = 0,5$ in Abb. 18 wiedergegeben. Sie bestehen aus zwei Ästen. In der allgemeinen Gleichung

$$M = M_0 + X_1 M_1$$

ist für einen bestimmten Wert α_a der M_0 -Wert

$$\text{im linken Ast: } M_0 = l(1-\alpha_a)\xi$$

$$\text{im rechten Ast: } M_0 = l\alpha_a(1-\xi).$$

Damit wird aus Gl. (21)

für den linken Ast

$$(21a) \quad M = \frac{l}{2} \cdot \xi(1-\alpha_a) \{2 - 5\alpha_a [1-\xi)(1+\xi-\xi^2)]\};$$

Für den rechten Ast

$$(21b) \quad M = \frac{l}{2} \cdot \alpha_a(1-\xi) \{2 - 5(1-\alpha_a) [\xi(1+\xi-\xi^2)]\}.$$

Die Ausdrücke in den geschwungenen Klammern stellen wieder die Beziehungen zwischen dem Punkte α_a und den zugehörigen Belastungsscheiden in den Einflußlinien dar. Diese Belastungsscheiden ergeben sich also aus den Gleichungen

$$(22) \quad \begin{cases} 2 - 5\alpha_a(1-\xi)(1+\xi-\xi^2) = 0 \\ 2 - 5(1-\alpha_a)\xi(1+\xi-\xi^2) = 0. \end{cases}$$

Sie gehen mit Vertauschung der Werte α_a und $(1-\alpha_a)$ bzw. ξ und $(1-\xi)$ ineinander über. In ihnen ist α_a in der ersten Potenz und ξ in der dritten Potenz vertreten. Das legt den Gedanken nahe, die Gleichungen nicht nach ξ , sondern nach α_a aufzulösen, um die Beziehung zwischen diesen beiden Veränderlichen darzustellen. Sie lautet

$$(22a) \quad \alpha_a = \frac{2}{5(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)}$$

$$(22b) \quad \alpha_a = \frac{5(1-\xi)(1+\xi-\xi^2) - 2}{5(1-\xi)(1+\xi-\xi^2)}$$

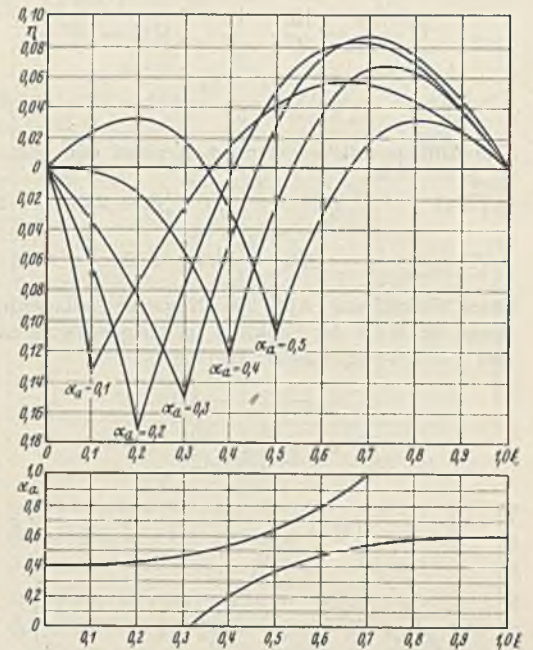
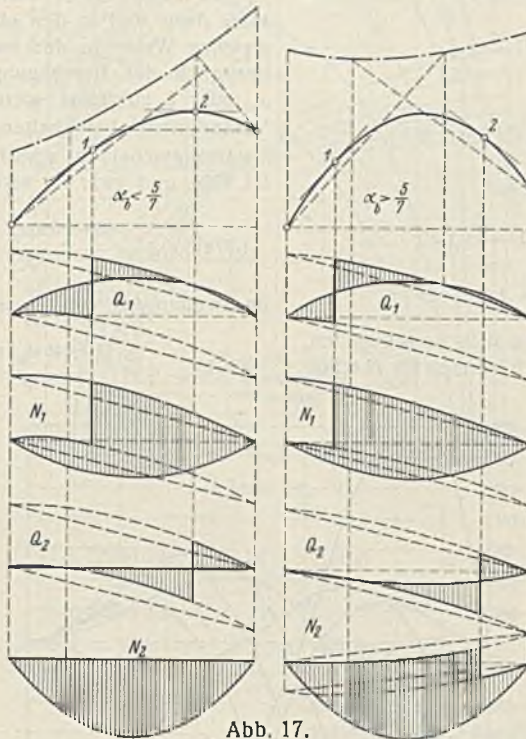
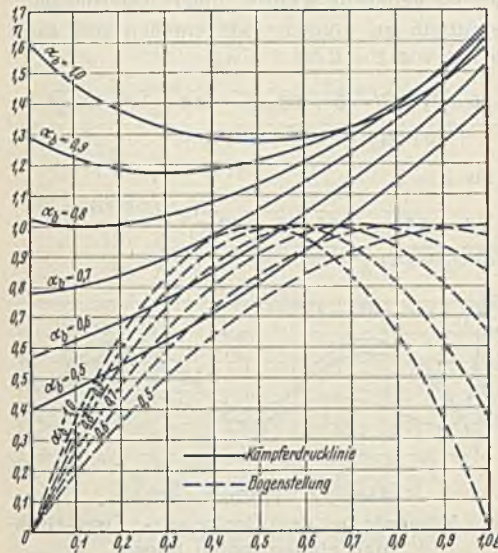


Abb. 16. Die Kämpferdrucklinien des Zweigelenkbogens in ihrer Abhängigkeit von α_b .

Abb. 17.

Abb. 18. Einflußlinien und Belastungsscheiden bei dem Zweigelenkbogen.

Die Integration der Gl. (21a) bzw. (21b) über den nur positiven oder nur negativen Teil ergibt die Höchstwerte der Momente. Das Ergebnis dieser Integration ist in Abb. 22 eingezeichnet, zusammen mit den entsprechenden Werten für den Dreigelenkbogen und den eingespannten Bogen. Diese Kurve weist die Bruchfugen in 0,76 und 0,24 auf.

Die beim Dreigelenkbogen ermittelten Werte für die Normalkräfte in den unmittelbar benachbarten Punkten

$$\xi = 0,234 \quad \text{und} \quad \xi = 0,766$$

bleiben für diese Punkte auch für den Zweigelenkbogen ebenso wie für den eingespannten Bogen unverändert gültig. Die kleine Verschiebung der Momentenhöchstwerte gegenüber dem Dreigelenkbogen ist bezüglich der Ermittlung der Normalkräfte für volle Belastung des ganzen Bogens unerheblich. Es sind also auch hier wieder zwei Bruchfugen mit dem gleichen Betrage für den Höchstwert des Momentes, aber verschieden großen Normalkräften vorhanden. Die Möglichkeit der Verlagerung des Momentenhöchstwertes aus dem mit Rücksicht auf die Normalkräfte ungünstigen linken Bogenstück ist hier nur durch die Veränderung der Bogenform gegeben. Eine dahin zielende Untersuchung würde aber mit Rücksicht auf den Zweck dieser Abhandlung an dieser Stelle zu weit führen.

IV. Der eingespannte Bogen.

Ausgehend von den statisch überzähligen Größen nach Abb. 19 läßt sich die Gruppe von Überzähligen

$$(23) \quad X_a = X_1 - \frac{2}{3} \cdot f \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma (X_2 + X_3)$$

nach dem bekannten Verfahren der Einführung von Lastgruppen als derjenige überzählige Wert ermitteln, der von den Überzähligen in dem als statisch unbestimmten Hauptsystem verbleibenden eingespannten Balken unabhängig ist. Der Schub in Richtung der Kämpfer muß in ihnen also die Außermittigkeit

$$\frac{2}{3} \cdot f \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma$$

haben, bzw. er muß um dieses Maß parallel zur Verbindungslinie der Kämpfer A—B verschoben werden, wenn er weder im Auflager A noch im Auflager B Winkelverdrehungen hervorrufen soll. Mit der Einführung der statisch überzähligen Größe nach Gl. (23) als Überlagerung über den eingespannten Balken als statisch unbestimmtem Hauptsystem läßt sich

auch der eingespannte Bogen mit ungleicher Kämpferhöhe in der gleichen Weise behandeln wie der Zweigelenkbogen, denn hier wie da bleibt das Hauptsystem durch die ungleiche Kämpferhöhe unbeeinflusst.

Bei Benutzung eines statisch bestimmten Hauptsystems werden seine Werte (Auflagerdrücke, Momente usw.) im allgemeinen mit dem Weiser (Index) Null versehen. Im Gegensatz dazu mögen die entsprechenden Werte in eine eckige Klammer gesetzt werden, um zum Ausdruck zu bringen, daß es sich, wie im vorliegenden Falle, um ein statisch unbestimmtes Grundsystem handelt.

Das ist also im vorliegenden Falle der beiderseits starr eingespannte Balken. Seine Grundwerte (Einflußlinien) mögen hier als bekannt vorausgesetzt werden. Sie sind (24a) $[A] = (1 + 2\xi)(1 - \xi)^2$

$$(24b) \quad [B] = \xi^2(3 - 2\xi)$$

$$(25a) \quad [M]_l = l \xi^2 [(2 - \xi) - \alpha_a(3 - 2\xi)]$$

$$(25b) \quad [M]_r = l(1 - \xi)^2 [\alpha_a(1 - 2\xi) - \xi].$$

Die durch den Belastungszustand

$$X_a = +1$$

hervorgerufene Momentenfläche ist

$$(26a) \quad M_a = M_1 - \frac{2}{3} \cdot f \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma (M_2 + M_3).$$

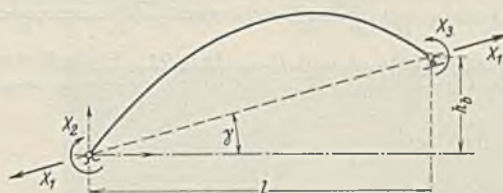


Abb. 19.

Im besonderen ist in dieser Gleichung

$$M_1 = 4f(\xi - \xi^2) \cdot \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma$$

[Vgl. Gl. (17)]

$$M_2 = (1 - \xi)$$

$$M_3 = \xi;$$

damit wird

$$(26b) \quad M_a = \frac{2}{3} \cdot f \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma [6(\xi - \xi^2) - 1].$$

Für die E-Gleichung zur Ermittlung von X_a

$$X_a = - \frac{\delta_{a0}}{\delta_{aa}}$$

errechnen sich die einzelnen Werte aus

$$\frac{d^2(\delta_{a0})}{d\xi^2} = - \frac{l^2}{EJ_0} \cdot M_a$$

$$\delta_{a0} = + \frac{1}{3} \cdot \frac{f l^2}{EJ_0} \cdot \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma [\xi(1 - \xi)]^2$$

$$\delta_{aa} = \frac{l}{EJ_0} \int_0^1 M_a^2 d\xi$$

$$\delta_{aa} = \frac{4}{45} \cdot \frac{f^2 l}{EJ_0} \cdot \alpha_b^4 \cdot \cos^2 \gamma.$$

Mit diesen Werten ergibt sich

$$(27a) \quad X_a = -\frac{\delta_{ao}}{\delta_{aa}} = -\frac{15}{4} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2 \alpha_f} \cdot \frac{1}{\cos \gamma} [\xi(1-\xi)]^2$$

$$(27b) \quad H = -X_a \cdot \cos \gamma = +\frac{15}{4} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2 \alpha_f} [\xi(1-\xi)]^2$$

Die Auflagerdrücke in A und B infolge

$$X_a = +1$$

werden, wie Gl. (23) ohne weiteres zeigt, nur durch X_1 hervorgerufen, also ist [wie entsprechend beim Zweigelenkbogen, vgl. Gl. (19)]

$$(28) \quad A = [A] + H \cdot \frac{h_b}{l} \quad B = (B) - H \cdot \frac{h_b}{l}$$

$$H \cdot \frac{h_b}{l} = \frac{15}{4} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2} \cdot \frac{l}{f} [\xi(1-\xi)]^2 \cdot \frac{4f\alpha_b(1-\alpha_b)}{l}$$

$$= 15 \cdot \frac{1-\alpha_b}{\alpha_b} [\xi(1-\xi)]^2 \quad [\text{vgl. Gl. (9) u. (27)}]$$

Die Auflagerdrücke entsprechen somit den Gleichungen

$$(28a) \quad A = \frac{(1-\xi)^2}{\alpha_b} \{ (1+2\xi)\alpha_b + 15(1-\alpha_b)\xi^2 \}$$

$$(28b) \quad B = \frac{\xi^2}{\alpha_b} \{ (3-2\xi)\alpha_b - 15(1-\alpha_b)(1-\xi)^2 \}$$

Ihren Verlauf zeigt Abb. 20. Negative Auflagerdrücke in B verschwinden, wenn der Wert der Funktion in der geschwungenen Klammer für B schon bei $\xi=0$ verschwindet, also bei

$$3\alpha_b - 15(1-\alpha_b) = 0$$

$$\alpha_b = \frac{5}{6} = \frac{35}{42}$$

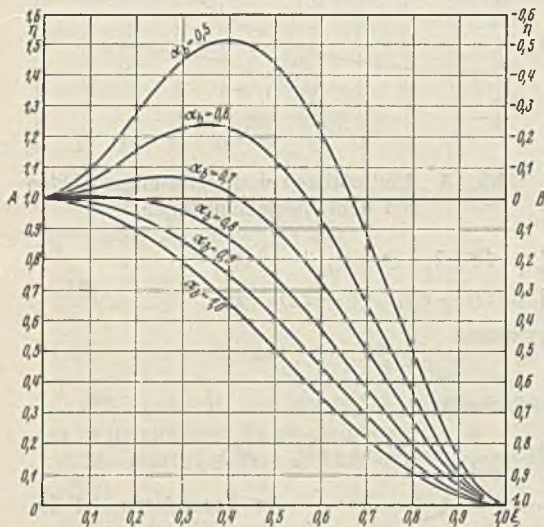


Abb. 20. Einflußlinien der Auflagerdrücke A und B am eingespannten Bogen in ihrer Abhängigkeit von α_b .

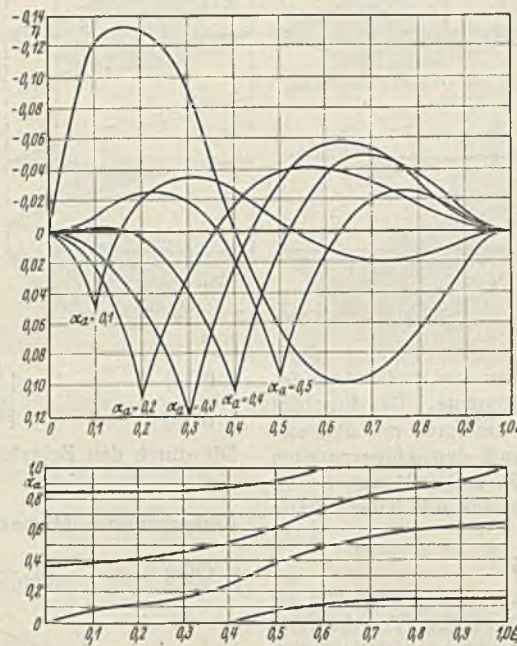


Abb. 21. Einflußlinien und Belastungsscheiden bei dem eingespannten Bogen.

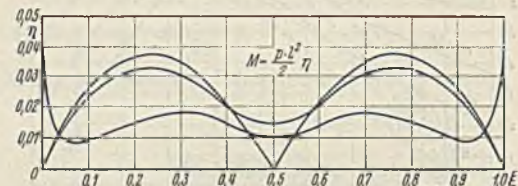


Abb. 22. Höchstwertlinien der Momente bei dem Dreigelenk-, Zweigelenk- und eingespannten Bogen.

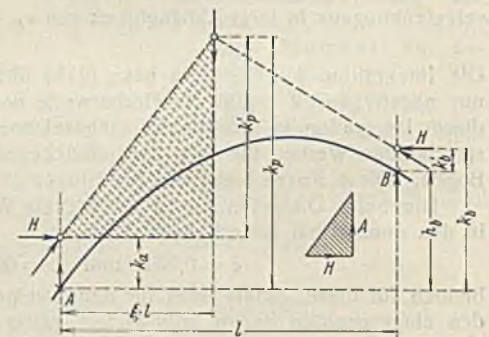


Abb. 23.

Der Vollständigkeit halber sind auch hier die bekannten Einflußlinien in Abb. 21 wiedergegeben. Auch hier ist wieder das Gesetz der Belastungsscheiden durch die Funktionen in den geschwungenen Klammern dargestellt, denn innerhalb der Felder müssen mit

$$M = 0$$

die Nullpunkte der Einflußlinien den Gleichungen genügen

$$(30) \quad \begin{cases} 2[(2-\xi) - \alpha_a(3-2\xi)] - 5[6(\alpha_a - \alpha_a^2) - 1](1-\xi)^2 = 0 \\ 2[\alpha_a(1-2\xi) - \xi] - 5[6(\alpha_a - \alpha_a^2) - 1]\xi^2 = 0 \end{cases}$$

Beim Zweigelenkbogen war in den entsprechenden Gleichungen, Gl. (22), α_a nur in der ersten und ξ in der dritten Potenz vertreten. Im Gegensatz dazu sind in den obigen Gleichungen beide Veränderlichen in der gleichen Weise in der zweiten Potenz enthalten. Da es infolgedessen bezüglich der Berechnung gleichgültig ist, ob die Gleichungen nach α_a oder ξ aufgelöst werden, sei in diesem Falle α_a als unabhängige Veränderliche beibehalten, um für gegebene Werte α_a die entsprechenden Belastungsscheiden scharf ermitteln zu können. Sie ergeben sich aus Gl. (30), und zwar im ersten Ast von $\xi=0$ bis $\xi=\alpha_a$

$$(30a) \quad \xi = \frac{(6 - 32\alpha_a + 30\alpha_a^2) \pm \sqrt{-9 + 66\alpha_a - 116\alpha_a^2 + 60\alpha_a^3}}{5(6\alpha_a^2 - 6\alpha_a + 1)}$$

im zweiten Ast von $\xi=\alpha_a$ bis $\xi=1$

$$(30b) \quad \xi = \frac{(1 - 2\alpha_a) \pm \sqrt{1 - 14\alpha_a + 64\alpha_a^2 - 60\alpha_a^3}}{5(6\alpha_a^2 - 6\alpha_a + 1)}$$

Gl. (30a) kann erst dann positive, also hier in Frage kommende Werte ergeben, wenn die erste Gl. (30) für $\xi=0$ größer als Null wird. Dieser Grenzwert ergibt sich aus

$$2[2 - 3\alpha_a] - 5[6(\alpha_a - \alpha_a^2) - 1] = 0$$

$$\text{zu } \alpha_a = 0,35505.$$

Die Schaulinien der Gl. (30) sind in Abb. 21 beigelegt, um auch hier den Zusammenhang zwischen den Einflußlinien und den Belastungsscheiden unmittelbar in Erscheinung treten zu lassen.

Die Integration der Einflußlinien über den nur positiven oder nur negativen Teil liefert wieder die Höchstwerte der Momente. In Abb. 22 ist ihr Verlauf zusammen mit den entsprechenden des Drei- und Zweigelenkbogens eingetragen. Es ergibt sich daraus, daß der Unterschied zwischen den beiden letzteren nicht sehr groß ist. Erst die Verwendung des eingespannten Bogens ergibt wesentliche Vorteile in der Bemessung der Querschnitte.

Zur Ermittlung der Kämpferkräfte für eine gegebene Laststellung reicht beim eingespannten Bogen die Kenntnis der Kämpferdrucklinie nicht aus. Dazu ist vielmehr nach Abb. 23 noch die Kenntnis der Strecken erforderlich, die die Kämpferkräfte auf den Senkrechten in den Auflagern A und B abschneiden. Von diesen drei zur Ermittlung der Kämpferkräfte erforderlichen Stücken sei die Ordinate des Schnittpunktes der Kämpferkräfte mit der gegebenen Kraft k_p genannt. Entsprechend

Die entsprechenden Werte sind beim

$$\text{Zweigelenkbogen } \alpha_b = \frac{5}{7} = \frac{30}{42} \quad (\text{vgl. S. 72})$$

$$\text{Dreigelenkbogen } \alpha_b = \frac{2}{3} = \frac{28}{42} \quad (\text{vgl. S. 54})$$

Die Momente ergeben sich aus

$$(29) \quad M = [M] + X_a M_a$$

Darin ist

$$X_a = -\frac{15}{4} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2} \cdot \frac{l}{f} \cdot \frac{1}{\cos \gamma} [\xi(1-\xi)]^2 \quad [\text{vgl. Gl. (27a)}]$$

$$M_a = +\frac{2}{3} \cdot f \alpha_b^2 \cdot \cos \gamma [6(\alpha_a - \alpha_a^2) - 1] \quad [\text{vgl. Gl. (26b)}]$$

$$X_a M_a = -l \cdot \frac{5}{2} [6(\alpha_a - \alpha_a^2) - 1] [\xi(1-\xi)]^2$$

Diese Werte zusammen mit den $[M]$ -Ausdrücken der Gl. (25a) u. (25b) in Gl. (29) eingesetzt ergeben

$$(29a) \quad M_l = \frac{l}{2} \cdot \xi^2 \{ 2[(2-\xi) - \alpha_a(3-2\xi)] - 5[6(\alpha_a - \alpha_a^2) - 1](1-\xi)^2 \}$$

$$(29b) \quad M_r = \frac{l}{2} (1-\xi)^2 \{ 2[\alpha_a(1-2\xi) - \xi] - 5[6(\alpha_a - \alpha_a^2) - 1]\xi^2 \}$$

mögen ihre Abschnitte auf den Senkrechten in A und B mit k_a bzw. k_b bezeichnet werden. Diese drei Strecken seien für eine gegebene Laststellung mit dem Sammelnamen der k -Linien benannt. Die Werte der einzelnen k -Linien lassen sich wieder unmittelbar aus Abb. 23 ablesen. Wenn die gegebene Laststellung den Seltenschub H , den Auflagerdruck A , im Punkte A das Moment M_a und im Punkte B das Moment M_b hervorruft, dann ist

$$k_a = \frac{M_a}{H}$$

$$k_b = h_b + k_b' \quad k_b' = \frac{M_b}{H}$$

$$k_b = \frac{M_b + H h_b}{H}$$

$$k_p = k_a + k_p' \quad k_p' = \xi \cdot \frac{A}{H}$$

$$k_p = \frac{M_a + A \xi l}{H}$$

Im besonderen ist

$$H = \frac{15}{4} \cdot \frac{l}{f} \cdot \frac{1}{\alpha_b^2} [\xi(1-\xi)]^2 \quad \text{[Gl. (27 b)]}$$

$$A = (1 + \xi)^2 \cdot \frac{\alpha_b(1 + 2\xi) + 15(1 - \alpha_b)\xi^2}{\alpha_b} \quad \text{[Gl. (28 a)]}$$

$$M_a = \frac{l}{2} \cdot \xi(1 - \xi)^2(5\xi - 2) \quad \text{[Gl. (29 b) für } \alpha_a = 0 \text{]} \quad (16c)$$

$$M_b = \frac{l}{2} \cdot \xi^2(1 - \xi)(5\xi - 3) \quad \text{[Gl. (29 a) für } \alpha_a = 1 \text{]} \quad \text{mit } \xi = 1 \text{ zu}$$

Unter Einsetzung dieser Werte ergibt sich

$$(31a) \quad k_a = \frac{M_a}{H} = f \cdot \frac{2}{15} \cdot \alpha_b^2 \cdot \frac{5\xi - 2}{\xi}$$

$$(31b) \quad k_b = \frac{M_b + H h_b}{H} = f \cdot \frac{4}{15} \cdot \alpha_b \cdot \frac{15(1 - \xi) + \alpha_b(3\xi - 2)}{(1 - \xi)}$$

$$(31c) \quad k_p = \frac{M_a + A \xi l}{H} = f \cdot \frac{2}{15} \cdot \alpha_b [9\alpha_b + 30(1 - \alpha_b)\xi]$$

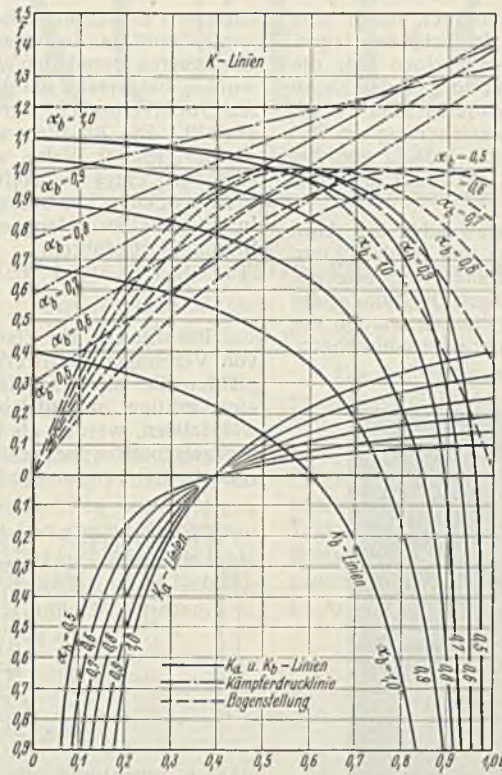


Abb. 24.

Den Verlauf dieser k -Linien zusammen mit den entsprechenden Bogenstellungen zeigt Abb. 24. Da diese für die Anwendung etwas unübersichtlich ist, sind die beiden Grenzfälle $\alpha_b = 0,5$ und $\alpha_b = 1,0$ noch einmal besonders in Abb. 25 herausgezeichnet, um an ihnen die Ermittlung der Kämpferkräfte für eine gegebene Laststellung mit Hilfe der k -Linien zu zeigen.

Die Höchstwerte der Momente treten wieder in zahlenmäßig gleichem Betrage in den Kämpfern auf. An dieser Stelle ergeben sich bei voller Belastung des Bogens die Normalkräfte aus Gl. (16) mit $\xi = 0$ zu

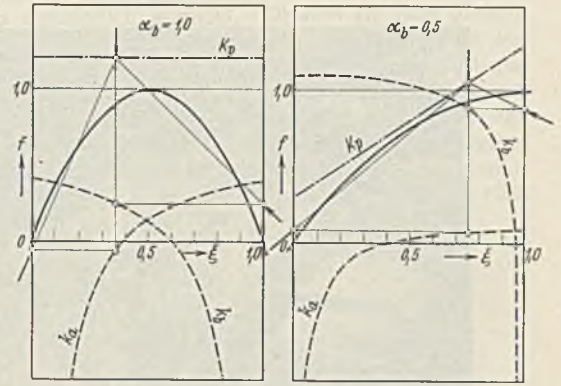


Abb. 25.

$$N_{z_i=0} = p l \cdot \frac{\sqrt{1 + 16\alpha_f^2}}{8\alpha_b^2\alpha_f}$$

mit $\xi = 1$ zu

$$(16d) \quad N_{z_i=1} = p l \cdot \frac{\sqrt{1 + 16\alpha_f^2(1 - 2\alpha_b)^2}}{8\alpha_b^2\alpha_f}$$

Die Formeln lassen ohne weiteres erkennen, daß, wie es ja auch selbstverständlich ist, die Normalkräfte in A immer größer sind als in B . Die Berechnung könnte für das Verkehrsband unmittelbar nach Gl. (16) durchgeführt werden. An dieser Stelle erübrigt sie sich, denn die vorliegende Untersuchung sollte nur allgemeine Gesichtspunkte für die Formgebung und den Gang der Untersuchung geben, ohne natürlich im Einzelfalle die besondere statische Untersuchung ersparen zu können.

Vermischtes.

Technische Hochschule Hannover. Der Ministerialrat Dipl.-Ing. Burghard Körner ist zum ord. Professor für Grund- und Wasserbau und zum Direktor des Franzus-Instituts an der T. H. Hannover ernannt worden. Prof. Körner, der im 51. Lebensjahre steht, leitete bekanntlich mehrere Jahre hindurch die Wasserbauabteilung der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin und führte daselbst eingehende erdbaustatische und bodenphysikalische Untersuchungen aus. Seit 1934 war er Ministerialrat im Preußischen Landwirtschaftsministerium und Leiter der Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements. Im Auftrage der Preußischen Akademie bearbeitete er an Stelle des verstorbenen Oberregierungs- und -baurats Prof. Dr.-Ing. e.h.r. Hans Dettief Krey dessen Bericht über seine „Modellversuche für einen Fluß mit starker Geschiebebewegung ohne erkennbare Bankwanderung“).

Trocknung von außen nach innen werden die Wege für den Strom länger, da das Abbinden beim Trocknungsvoigang zunächst an der Außenfläche beginnt. Bei entsprechender Anordnung der Elektroden soll eine völlig

Über praktische Versuche mit elektrischer Beheizung von Beton bei niedrigen Außentemperaturen wird in Gen. Civ. 1936, Bd. 109, Heft 9, berichtet. Danach sind in der Schweiz Versuche mit den in Schweden in Laboratorien entwickelten Einrichtungen gemacht worden. Um das Gefrieren des Betons zu verhindern und Bauarbeiten auch bei Frost im Winter ausführen zu können, schickt man durch den frischen, noch feuchten Beton mit Hilfe von Elektroden einen entsprechenden Strom, der neben der beim Abbinden entstehenden Wärme eine zusätzliche Temperaturerhöhung bewirkt. Diese wird so hoch getrieben, daß ein Gefrieren vermieden und ein sicheres und rasches Abbinden erreicht wird. Hat der Beton abgebinden und ist er trocken, hört jeder Stromfluß von selbst auf. Es haben sich hierbei bisher zwei Arten der Stromzufuhr praktisch bewährt. Einmal die Zuführung von der Oberfläche her, mit Hilfe von Plattenelektroden bei Plattenbalken, Decken, Böden, Platten, Kämpfern u. dgl. angewendet. Die Erhitzung beginnt an der Oberfläche, wo der Strom zunächst auf dem kürzesten Wege von Plattenelektrode zu Plattenelektrode durch den Beton strömt. Die Elektroden in Platten- oder Lamellenform werden, wie Abb. 1 zeigt, nebeneinander mit entsprechendem Abstände auf der Oberfläche verlegt. Mit steigender

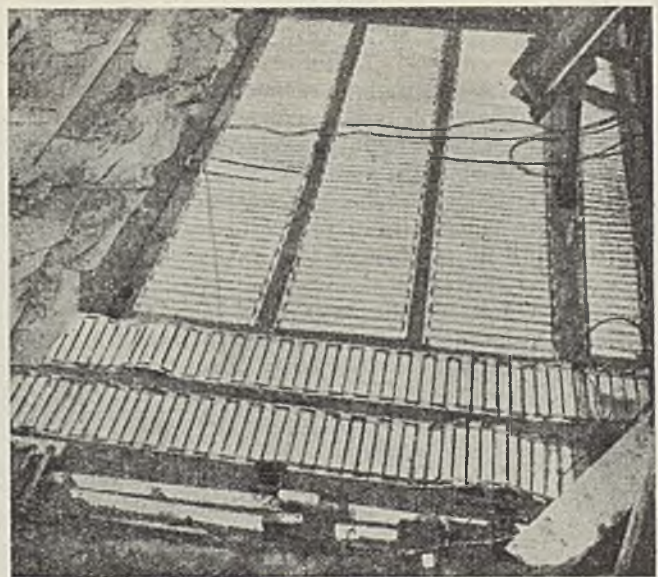


Abb. 1.

gleichmäßige Trocknung erreicht werden können. Ähnlich soll man bei Betonbauten in Schalungen vorgehen. Dort wurden vor dem Einbringen des Betons an zwei einander gegenüberliegenden Schalungsseiten etwa

1) Erschienen Berlin 1935 im Verlage von Wilh. Ernst & Sohn.

7 cm breite und 1 mm dicke Eisenblechstreifen angeordnet, deren eine Enden zum Anschluß der Kabel etwa 20 cm über der Schalung lagen. Die eine Längsreihe der Blechstreifen wurde mit dem einen Pol, die andere mit dem anderen Pol des Netzes verbunden, so daß der Strom zwischen den Blechstreifen quer durch den Beton strömen muß. Nach Versuchen bedarf man für eine zehnstündige Temperaturerhöhung um 20° etwa 2,5 kWh je m³ Beton. Dieses Verfahren soll sich jedoch nur bei Betonschichtdicken von 70 cm, allenfalls solchen bis 1,30 m Dicke anwenden lassen.

Darüber hinaus hat man das zweite Verfahren angewendet, das darin besteht, daß man in der Betonmasse Rundeisenstäbe von 8 bis 12 mm Durchm. und 50 bis 60 cm Länge im gegenseitigen Abstände von höchstens 25 cm anordnet. Abb. 2 zeigt eine solche Ausführung. Die Rundeisenstäbe ragen dabei etwa 10 cm heraus. Nach dem Abblinden werden die vorstehenden Elektrodenenden abgeschnitten, abgebrannt oder umgebogen.



Abb. 2.

Abb. 3 und 4 zeigen die Anwendung der verschiedenen Möglichkeiten beim Bau eines Eisenlagers im Gaswerk von Bienne, Kanton Bern. Dort mußte der Boden eines Rundeisenlagers verstärkt werden, um einer Belastung von 1000 kg/m² gewachsen zu sein. Da der Grund teilweise aufgefüllt, teilweise mergelig war, mußten besondere Pfeiler bis auf die tragfähige Kiesschicht niedergebracht werden. Diese Pfeiler wurden dann oben kurz über dem Boden durch eine die Lagerfläche bildende Eisenbetonplatte miteinander verbunden. Diese Eisenbetonplatte wurde auf vier verschiedene Arten in vier Teilen A, B, C und D behandelt. Der

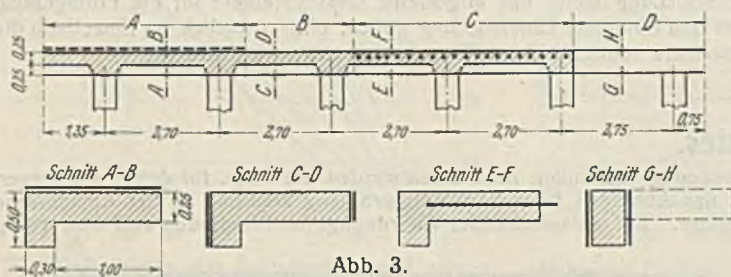


Abb. 3.

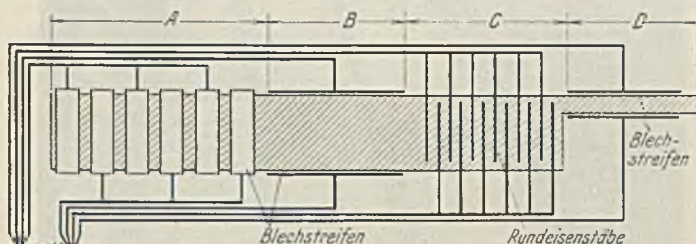


Abb. 4.

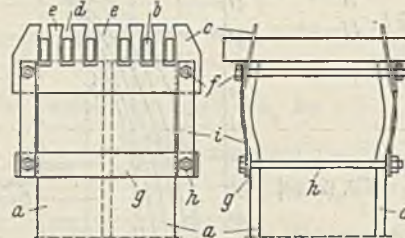
Teil A wurde oben und unten mit 15 cm breiten Lamellen aus Eisenblech auf eine Länge von 1,3 m abgedeckt. Der Lamellenabstand wurde nach einigen Versuchen mit 5 cm als am günstigsten zum gleichmäßigen Stromdurchgang gefunden. Die 1., 3., 5. usw. Lamelle wurde mit dem einen Pol, die 2., 4., 6. usw. mit dem anderen Pol der Stromquelle verbunden. Beim Teil B wurden die Lamellen an den Querseiten angeordnet, so daß der Strom den ganzen Betonquerschnitt durchfließen mußte. Bei einer Stromspannung von 40 V mußte bei 1,3 m Abstand eine Stromstärke von 38 bis 44 A aufgewendet werden. Der Teil C wurde mit Eisenrundstäben von 8 mm Durchm. versehen. Der Anschluß geschah in der aus Abb. 4 ersichtlichen Weise. Mit Absicht wurde dabei eine Berührung der Elektrodenstäbe mit den Bewehrungsseisen vermieden. An sich wäre deren Verwendung als einer der beiden Pole möglich, doch wurde dies nicht ausgeführt, da Zweifel über die Güte der leitenden Verbindung der

einzelnen Bewehrungsseisen untereinander bestanden, und außerdem eine ungleichmäßige Stromverteilung und etwa daraus entstehende örtliche Erhitzungen vermieden werden sollten. Im Teile D, einem Tragbalken, wurden beiderseits die ganze Fläche bedeckende Eisenplatten angewandt. Als Stromverbrauch wurden 0,98 kWh je m³ und °C Erwärmung festgestellt. Die Arbeiten wurden erfolgreich beendet.

In gleicher Weise wurde die elektrische Trocknung beim Bau der Gründung eines Verkaufstandes am Kai von Bauschänzli bei Zürich und beim Bau eines Klärbeckens in Ochsenboden, Kanton Schwyz, vorgegangen. In allen Fällen gelang es, auch bei starkem Frost die Bauarbeiten ohne Störung fortzuführen. Schm.

Patentschau.

Pfahlhaube für Eisenpfähle. (Kl. 84c, Nr. 605 778 vom 13. 10. 1933 von Vereinigte Stahlwerke AG in Düsseldorf.) Um bei eisernen Ramm-pfählen die zur Druckübertragung notwendige Fläche zu bekommen und eine mittige und gleichmäßige Druckübertragung auf die Profile zu gewährleisten, werden als Druckübertragungsteile zwischen Beton und Pfahl Flacheisenstäbe verwendet, die auf dem Pfahlkopf aufliegen und durch Ausschnitte von an den Pfahl angeklebten Flacheisen gesteckt und dann durch Schrägschlagen der neben den Ausschnitten befindlichen schwalbenschwanzförmigen Blechlappen fest auf die Stirnfläche des Pfahles gepreßt werden. Hierdurch liegt jeder einzelne Roststab unverrückbar fest auf dem Pfahl. Der Beton umfließt jeden einzelnen Roststab und hüllt ihn vollständig ein. Auf der Stirnfläche der Pfähle *a* ist eine Anzahl Eisenstäbe *b* angeordnet, die durch Ausschnitte *d* von an den Pfählen durch Bolzen *f* festgeklemmten Flacheisen *c* gesteckt und durch Schrägstellen der Lappen *e* gegen die Stirnfläche der Pfähle gepreßt sind. Um auch bei Pfahlhauben, die auf einen gestauchten Pfahlkopf gesetzt werden, zu erreichen, daß die Klemmplatten nicht an den schrägen Anlageflächen abgleiten, ist unterhalb der Stauchstelle eine Klemmvorrichtung angebracht, die aus den Quereisen *g* und den Schraubenbolzen *h* besteht und durch die Halteisen *i* fest mit der Haube verbunden ist.



Personalmeldungen.

Bayern. Der Führer und Reichskanzler hat den Regierungsbauassessor beim Straßen- und Flußbauamt Weiden Dr.-Ing. Heinrich Fuchs zum Regierungsbaurat im bayerischen Landesdienst ernannt.

Mit Wirkung vom 1. Januar 1937 werden in gleicher Diensteseigenschaft in etatmäßiger Weise berufen der Bauamtsdirektor am Kulturbauamt Kaiserslautern Leopold Sailer an das Kulturbauamt München, der Bauamtsdirektor am Kulturbauamt Aschaffenburg Oskar Hoffmann an das Kulturbauamt Kaiserslautern, der Regierungsbaurat I. Kl. am Kulturbauamt Schweinfurt Karl Feldner an das Kulturbauamt Aschaffenburg, der Regierungsbaurat I. Kl. am Kulturbauamt Weilheim Dominikus Trommer an das Kulturbauamt Ansbach, der Regierungsbaurat I. Kl. am Kulturbauamt Nürnberg Hans Ruhwandl an das Kulturbauamt Weilheim, der Regierungsbaurat am Kulturbauamt Aschaffenburg Alfred Gaiser an das Kulturbauamt Schweinfurt.

Mit Wirkung vom 1. Januar 1937 wird der Regierungsbaurat am Straßen- und Flußbauamt Schweinfurt Konrad Haeckel in gleicher Diensteseigenschaft an das Straßen- und Flußbauamt München berufen und dem Staatsministerium des Innern zur Dienstleistung zugeteilt.

Preußen. Versetzt: die Regierungsbauräte (W) Sartorius vom Kanalbauamt Braunschweig an die Oderstrombauverwaltung in Breslau, Petschke vom Neubauamt Frankfurt a. Main an das Wasserbauamt Fürstenwalde a. d. Spree, Zündorf vom Wasserbauamt I Koblenz an die Rheinstrombauverwaltung in Koblenz, Seidel vom Wasserbauamt I Hannover an das Wasserbauamt Kassel; die Regierungsbauassessoren (W) Hinze vom Wasserbauamt Bingerbrück an das Wasserbauamt I Koblenz, Strauch vom Wasserbauamt Lauenberg a. d. Elbe zur vorübergehenden Beschäftigung in das Reichs- und Preußische Verkehrsministerium, Baumann vom Marschenbauamt Husum an das Hafenbauamt Kolberg, Hiorth vom Wasserbauamt Kassel an das Kanalbauamt Leipzig, Wegner vom Wasserbauamt Küstrin an die Oderstrombauverwaltung in Breslau.

Unter Übernahme in den Staatsdienst überwiesen: die Regierungsbauassessoren (W) Naumann dem Staubeckenbauamt Schweinitz, Blunck dem Wasserbauamt Bingerbrück, Sommer dem Kanalbauamt Magdeburg.

INHALT: Neuere Schwingungsuntersuchungen an unterströmten Wehren. — Der Brückenbau und der Ingenieurbau der Deutschen Reichsbahn im Jahre 1936. (Schluß.) — Statische Untersuchung vollwandiger Bogenträger mit ungleicher Kämpferhöhe. (Schluß.) — Vermischtes: Technische Hochschule Hannover. — Praktische Versuche mit elektrischer Beheizung von Beton bei niedrigen Außentemperaturen. — Patentschau. — Personalmeldungen.