

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, 1. September 1939

Heft 18

Alle Rechte vorbehalten.

Die neuen Bahnsteighallen des Bahnhofs Ankara (Türkei).

Von Dr.-Ing. C. J. Hoppe, Düsseldorf (vordem Rheinbrohl).

Allgemeines.

Nachdem im Jahre 1920 Ankara zur Hauptstadt der aus dem alten osmanischen Reich hervorgegangenen jungen türkischen Republik bestimmt wurde, hat diese Stadt dank der bewundernswerten Tatkraft des viel zu früh

verstorbenen ersten Staatspräsidenten Kemal Atatürk einen gewaltigen Aufschwung genommen, der sich u. a. im Bau zahlreicher öffentlicher Gebäude bekundet. Ankara ist seit 1892 durch die Anatolische Eisenbahn, die über Bagdad bis zum Persischen Golf hinabreicht, mit Haydarpascha und damit Istanbul verbunden. Da ein geschlossenes Landstraßennetz noch nicht besteht, ist diese Bahn der wichtigste Verbindungsnerf mit allen Teilen des großen Reiches. In der richtigen Erkenntnis, daß der Bahnhof gewissermaßen die Besuchskarte einer Stadt darstellt, ist der Plan zu einer Neugestaltung, die neben der Erfüllung aller verkehrstechnischen Belange auch den repräsentativen Forderungen genügt, schon frühzeitig erwogen worden.

Zunächst wurde der Bau des Empfangsgebäudes in Angriff genommen, das nach den Plänen des Architekten Sekip Akalin in den Jahren 1935 bis 1937 entstand (Bild 1). Das Gebäude wirkt mit seinen klaren Linien, der fein abgestimmten Tönung der verwendeten Werksteine sehr

ansprechend und verkörpert in glücklicher Weise den Gestaltungswillen der jungen türkischen Republik. Für die Überdachung der Bahnsteige war von vornherein eine vollständig geschweißte Stahlkonstruktion als zweckmäßigste Lösung ins Auge gefaßt. Der Vorentwurf hierzu wurde von Dipl.-Ing. Murat Temirhan (Verwaltung der türkischen Staatsbahnen) aufgestellt.

Im nachfolgenden soll diese Konstruktion, die von der Firma Hilgers A.-G., Rheinbrohl, Werk Brückenbau Neuwied, geliefert und eingebaut wurde, näher beschrieben werden.

Der Vorentwurf.

Der Abfertigung des Fahrgastverkehrs dienen drei Gleise. Gleis I ist vom Empfangsgebäude durch einen breiten Bahnsteig getrennt. Im Anschluß an die große Mittelhalle dieses Gebäudes, in der sich die Fahrkartenschalter und die Gepäckabfertigung befinden, war eine entsprechende Bahnsteighalle vorzusehen, an die sich seitwärts zwei Seitenhallen anschließen, deren westlicher Flügel in

eine einsteilige Bahnsteigüberdachung übergeht. Bei Gleis II und III war für den dazwischenliegenden Bahnsteig eine gleiche Überdachung geplant, die im allgemeinen von einsteiligen Bindern, im Bereiche der Treppen zu den Verbindungstunneln von zweisteiligen Bindern getragen werden sollte.



Bild 1. Vorderansicht des Empfangsgebäudes.

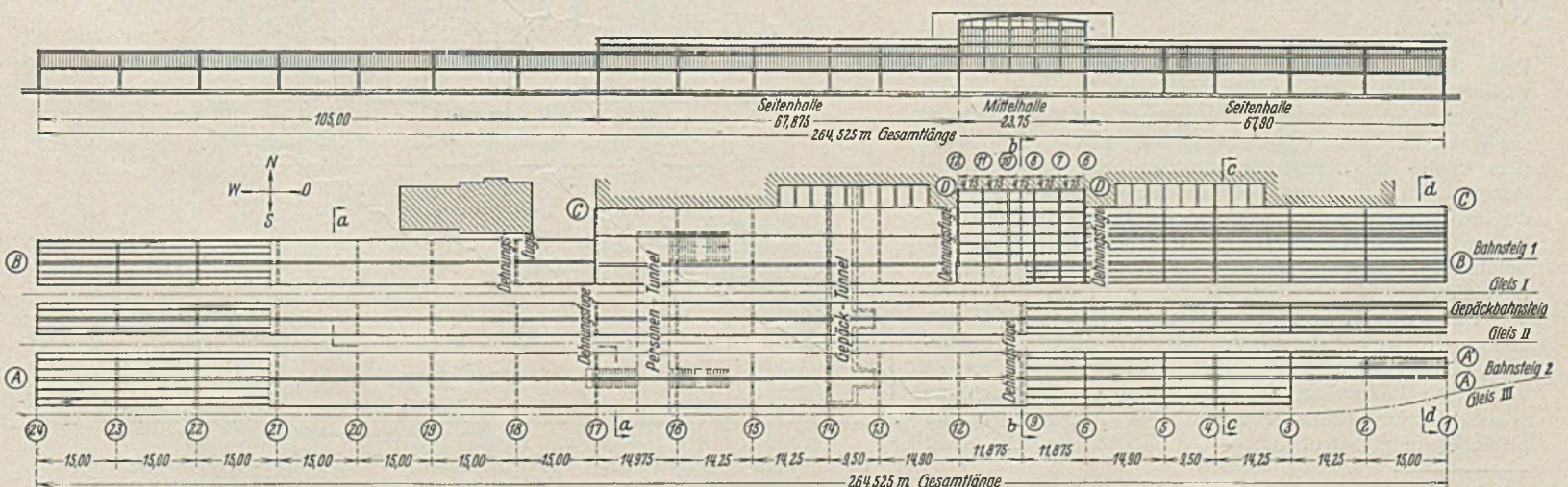


Bild 2. Ausführungsentwurf. Längsansicht und Grundriß.

Während für die Mittelhalle des ersten Bahnsteiges eine durchsichtige Eindeckung gewünscht wurde, sollten alle sonstigen Dachflächen mit Ruberoiddach auf Bimsbetonplatten abgedeckt werden. Einige Querschnitte dieses Vorentwurfes sind aus Bild 2b zu ersehen; der Grundriß entspricht — mit Ausnahme des später hinzugekommenen Gepäckbahnsteiges, über den gleich noch zu sprechen sein wird — im wesentlichen demjenigen des Ausführungsentwurfes nach Bild 2.

Dieser Vorentwurf wurde im Sommer 1937 öffentlich ausgeschrieben. Die einzureichenden Angebote sollten die vollständige Lieferung der Überdachungen, also der Unterbauten, der tragenden Stahlkonstruktion, der Dacheindeckung und Verglasung einschließlich aller Entwässerungseinrichtungen umfassen. Von den am Stichtag (19. September 1937) vorliegenden Angeboten wurde der Zuschlag der Firma Hochtief Istanbul, der türkischen Tochtergesellschaft der Hochtief AG. Essen, erteilt, die sich bei dieser Ausschreibung das Angebot der Firma Hilgers A.-G., Rheinbrohl, für die Lieferung der Stahlkonstruktion zu eigen gemacht hatte.

Der Ausführungsentwurf.

Die Ausschreibungsbedingungen hatten gefordert, baldigst nach Zuschlagserteilung für die Gestaltung der Stahlkonstruktion einige Wahlvorschläge auszuarbeiten, um dem Bauherrn, der Verwaltung der türkischen Staatsbahn, Gelegenheit zu geben, die Zweckmäßigkeit der vorgesehenen Lösung zu prüfen. In Verfolg dessen wurde zunächst die Anordnung eines besonderen Gepäckbahnsteiges zwischen den beiden für die Reisenden vorgesehenen Bahnsteigen empfohlen, ein Vorschlag, der im Hinblick auf die verkehrstechnischen Vorzüge sofort die Zustimmung der maßgebenden Stellen fand. Des weiteren wurden von der Firma Hilgers wesentliche Abänderungsvorschläge über die Ausbildung der Mittelhalle und der Seitenhallen gemacht (Bild 2). Ein hierzu angefertigtes Modell (Bild 3) überzeugte den Bauherrn von der technischen und ästhetischen Überlegenheit des neuen Lösungsvorschlages¹⁾.

Bild 2 zeigt eine Übersicht über das gesamte Bahnsteiges 1, des Gepäckbahnsteiges und des Bahnsteiges 2. Alle drei Überdachungen haben die gleiche Länge von 264,525 m, die in gleicher Weise durch die Binderabstände aufgeteilt ist. Diese Abstände, in der Übersicht durch die Reihen 1 bis 24 gekennzeichnet, konnten nur im westlichen Teil von Reihe 24 bis 17 einheitlich zu 15 m festgesetzt werden. Von Reihe 17 bis 1 waren die durch das schon bestehende Empfangsgebäude gegebenen Verhältnisse zu berücksichtigen. Die Aufteilung der Abstände, die zwischen 15,0 und 9,5 m liegen, ist im allgemeinen zur Mittelachse der Mittelhalle (Reihe 9) symmetrisch gewählt.

Diese 23,75 m lange Mittelhalle hat ein senkrecht zu den Gleisen verlaufendes, flach geneigtes Satteldach, dessen Traufe rd. 12,5 m über dem Bahnsteig 1 liegt; die Binderstützweite beträgt 13,425 m. Die Bahnsteigkante liegt noch 4,25 m außerhalb der Stützen. Dieser Raum wird durch ein etwa 6,5 m über dem Bahnsteig liegendes Kragdach mit Glasschürzen abgedeckt. Das Mittelhallendach, die Frontwand oberhalb der Kragdächer und die Seitenwände oberhalb der beidseitig anschließenden Seitenhallen sind verglast.

Die Seitenhallen, die von Reihe 17 bis 12 und von Reihe 6 bis 1 reichen, haben bei 67,9 m Länge 10,825 m Binderstützweite. Das mit Ruberoid auf Bimsbetonplatten eingedeckte Satteldach verläuft hier parallel zu den Gleisen, die Traufe liegt etwa 8,5 m über dem Bahnsteig. Der nächst dem Gleise außerhalb der vorderen Stützen befindliche Bahnsteigteil wird durch ein gleiches Kragdach wie bei der Mittelhalle überdeckt. An den Enden in Reihe 1 und 17 bilden Glasschürzen den oberen Abschluß. Mittelhalle und Seitenhallen sind unmittelbar an das Empfangsgebäude angelehnt.

Von Reihe 17 bis 24 schließt sich auf eine Länge von 105 m ein zweiseitiges freistehendes Kragdach mit beidseitigen Glasschürzen an. Seine Form ist durch das an die vorstehend beschriebenen Hallen angebaute Kragdach bestimmt; seine Breite zwischen den Außenkanten der Schürzen beträgt 8,672 m. — Der Gepäckbahnsteig erhält

eine Überdachung, die über die ganze Länge von 264,525 m auf einseitigen zweiseitigen Kragarmbindern ruht. Glasschürzen sind hier nicht vorgesehen. Das Dach liegt etwa 5,0 m über dem Bahnsteig, seine Gesamtbreite beträgt 6,19 m zwischen den Außenflächen der Randpfetten.

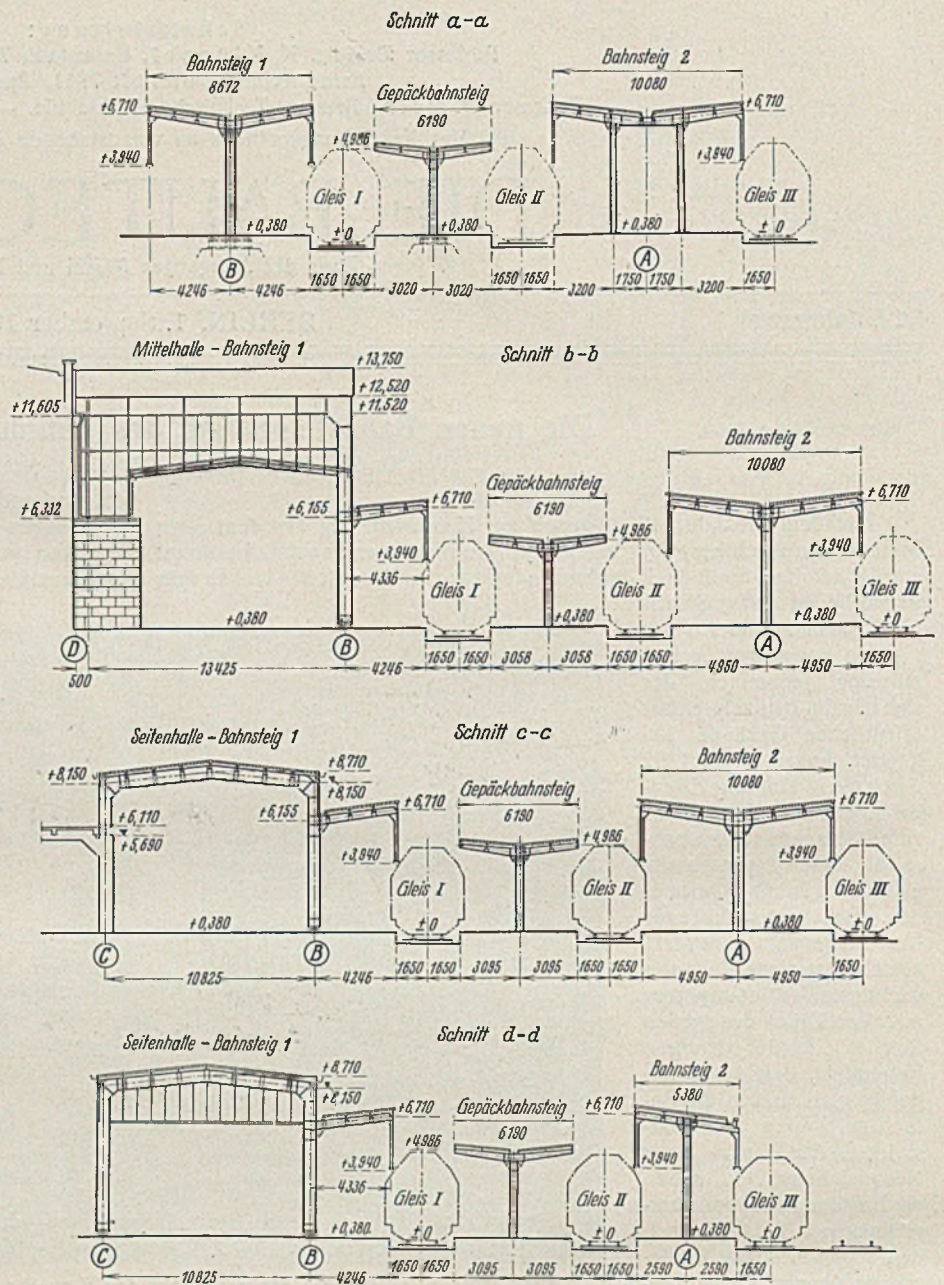


Bild 2a. Ausführungsentwurf. Querschnitte.

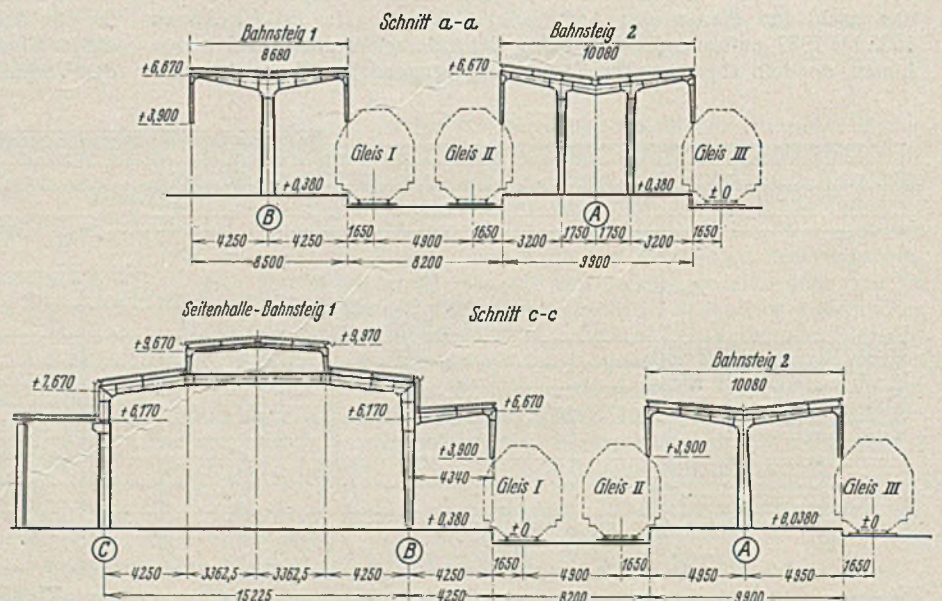


Bild 2b. Vorentwurf. Querschnitte.

¹⁾ Dieses Modell wurde von der Modellfabrik Peter Koch, Köln-Nippes, hergestellt.

Das Dach des Bahnsteiges 2 wird von ähnlichen Bindern wie der westliche Dachteil des Bahnsteiges 1 getragen. Bei gleicher Höhenlage wie dort ist die Dachbreite mit 10,08 m jedoch etwas größer. Im Bereiche der zur gleisfreien Verbindung der Bahnsteige dienenden Unterführungen sind die einstieligen Binder durch zweistielige Binder, zwischen deren Pfosten die Treppen hinabführen, ersetzt. Am östlichen Ende bedingt die Gleislage eine weitere Unregelmäßigkeit. Der halbe Kragarm mußte auf zwei Binderfelder von 1 bis 3 fortfallen; die tragenden Stiele sind hierbei aus der Achslinie versetzt.

Die gesamte Grundrißfläche aller Dächer beträgt etwa 7770 m².

Wie schon erwähnt, war von vornherein in richtiger Erkenntnis der daraus sich ergebenden Vorteile gewünscht, die gesamten Bauteile sowohl in der Werkstatt wie auch auf der Baustelle zu schweißen, also von jeglicher Niet- oder Schraubverbindung abzusehen. Nicht ohne weiteres klar war dagegen die Frage der zu verwendenden Baustoffe. Eine eingehende Vergleichsuntersuchung erbrachte jedoch das Ergebnis, daß es zweckmäßig sei, auf die Anwendung von

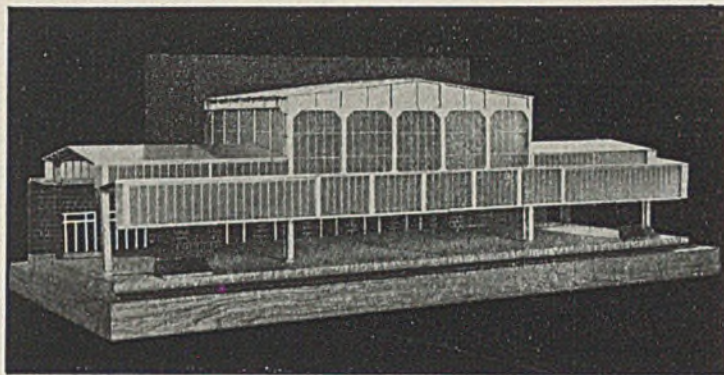


Bild 3. Modell der Mittelhalle.

Der Berechnung der gesamten Tragwerke wurden die deutschen Bestimmungen Din 1050, Din 1055 und Din 4100 zugrunde gelegt.

Bei der Wahl des statischen Systems der Mittel- und Seitenhallen mußte berücksichtigt werden, daß die auf der Seite des Empfangsgebäudes auf dessen Mauern aufliegenden Tragteile nur lotrechte Drücke ausüben durften, da die Mauern zur Aufnahme waagerechter Kräfte nicht geeignet waren. Somit mußten diese Binder als Balken auf zwei Stützen mit beweglichen Lagern auf der Gebäudeseite und mit zur Ableitung der waagerechten Kräfte geeigneten festen Lagern auf dem Bahnsteig berechnet werden. Eine Ausnahme zeigen lediglich der letzte Binder der östlichen Seitenhallen, der außerhalb der Gebäude steht, und die Zwischenbinder der Mittelhalle; diese Binder sind als Zweigelenrahmen ausgebildet. Bei den letztgenannten Zwischenbindern sind die waagerechten Kräfte an der Gebäudeseite durch einen waagrecht liegenden Träger abgefangen, der sie an die Hauptbinder abgibt; auf das Gebäude werden auch hier also nur lotrechte Lasten übertragen.

Diese oben erwähnte statische Bedingung machte sich bei der Bemessung der Binder hinsichtlich des Baustoffaufwandes sehr bemerkbar. Eine weitere Schwierigkeit zeigte sich ferner darin, daß, insbesondere unter Einwirkung von Wind auf die längsverlaufenden Wandflächen, erhebliche Verschiebungen an den beweglichen Lagern auf den Mauervorsprüngen unvermeidlich waren. Der einwandfreien Abdichtung dieser Teile mußte daher besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Diese Auswirkungen mußten jedoch, weil unvermeidlich, in Kauf genommen werden.

Als Längsverbände sind für die Mittelhalle der Frontwandträger mit den biegezugfest ausgebildeten und angeschlossenen Stielen der vorderen Glaslängswand, für die Seitenhallen die beiden oberen Lichtbänder, die ebenfalls durch Einschalten biegezugstifer Pfosten als Rahmenträger aufzufassen sind, herangezogen. Der Einbau besonderer Verbände, die die Einheitlichkeit der Konstruktion sicher gestört hätten, konnte dadurch vermieden werden.

Die einstieligen Binder des restlichen Teiles von Bahnsteig 1 sowie die einstieligen und zweistieligen Binder des Gepäckbahnsteiges und Bahnsteiges 2 bieten statisch nichts Besonderes. Vermerkt sei nur, daß auch hier — in erster Linie aus schönheitlichen Gründen — auf Anordnung besonderer Längsverbände verzichtet wurde. Die Mittelpfetten wurden durch kräftige Eckbleche biegezugfest mit den Stielen verbunden. Der so entstehende vielfeldrige Rahmen ist geeignet, die zu erwartenden geringen Längskräfte mit Sicherheit aufzunehmen.

Sämtliche Pfetten sind durchlaufend gerechnet und ausgebildet. Dies war um so notwendiger, als bei den bis zu 15 m großen Binderabständen die Durchbiegungen sonst nicht ohne zusätzlichen Werkstoffaufwand auf die vorgeschriebene Größe von $\frac{l}{300}$ beschränkt werden konnten. Nur in den Endfeldern war, da hier die Kontinuität bekanntlich nicht so wirksam ist, bei der Bemessung die Durchbiegung maßgebend.

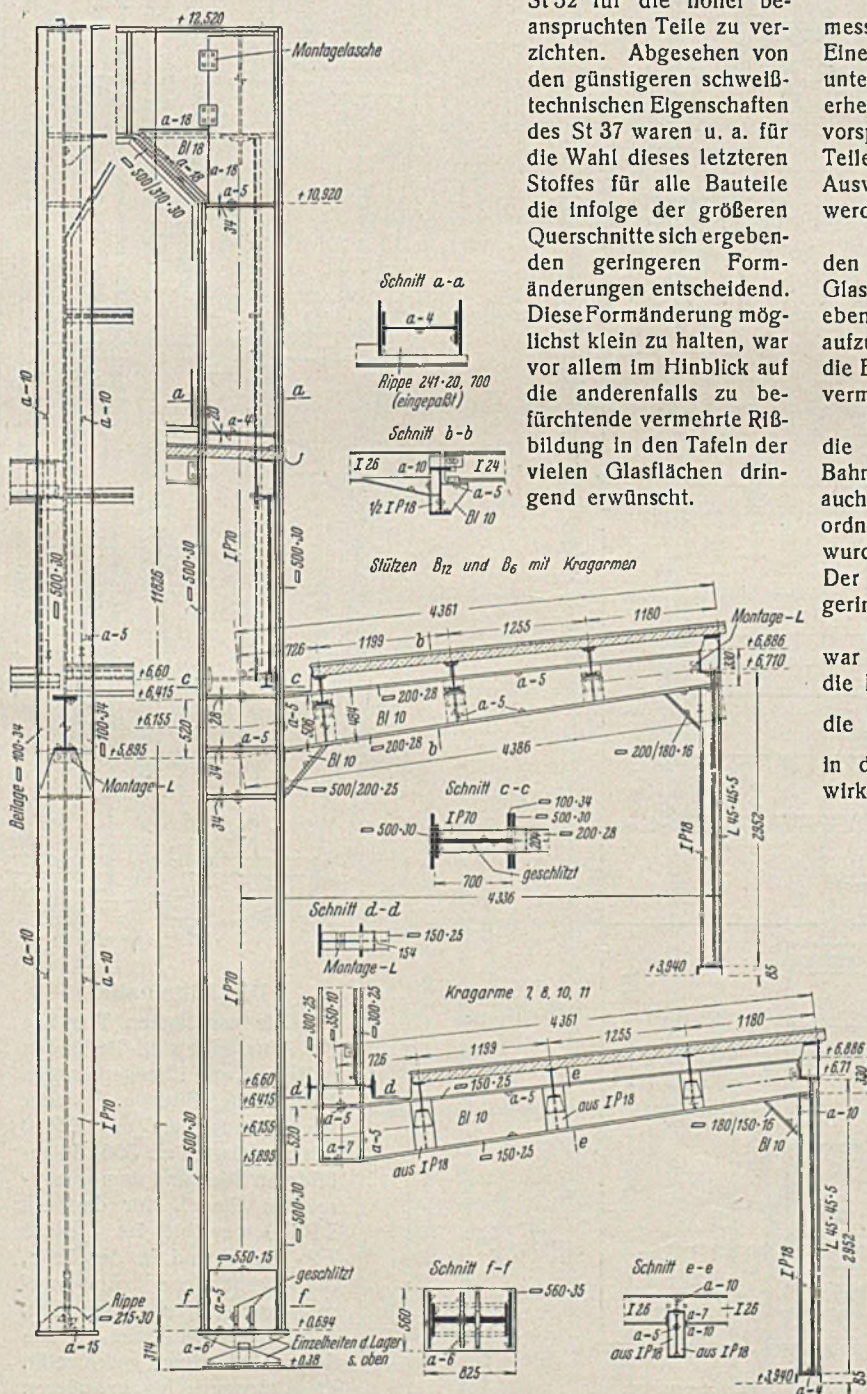


Bild 4. Hauptbinder der Mittelhalle. Stiel.

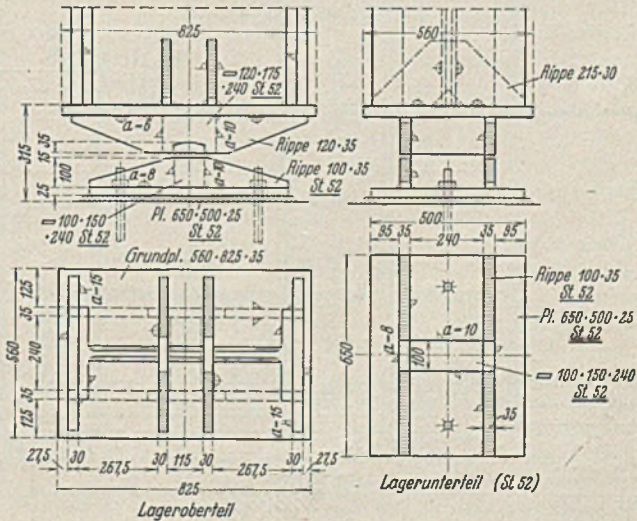


Bild 4a. Lager der Hauptbinder (aus St 52 zusammengeschweißt).

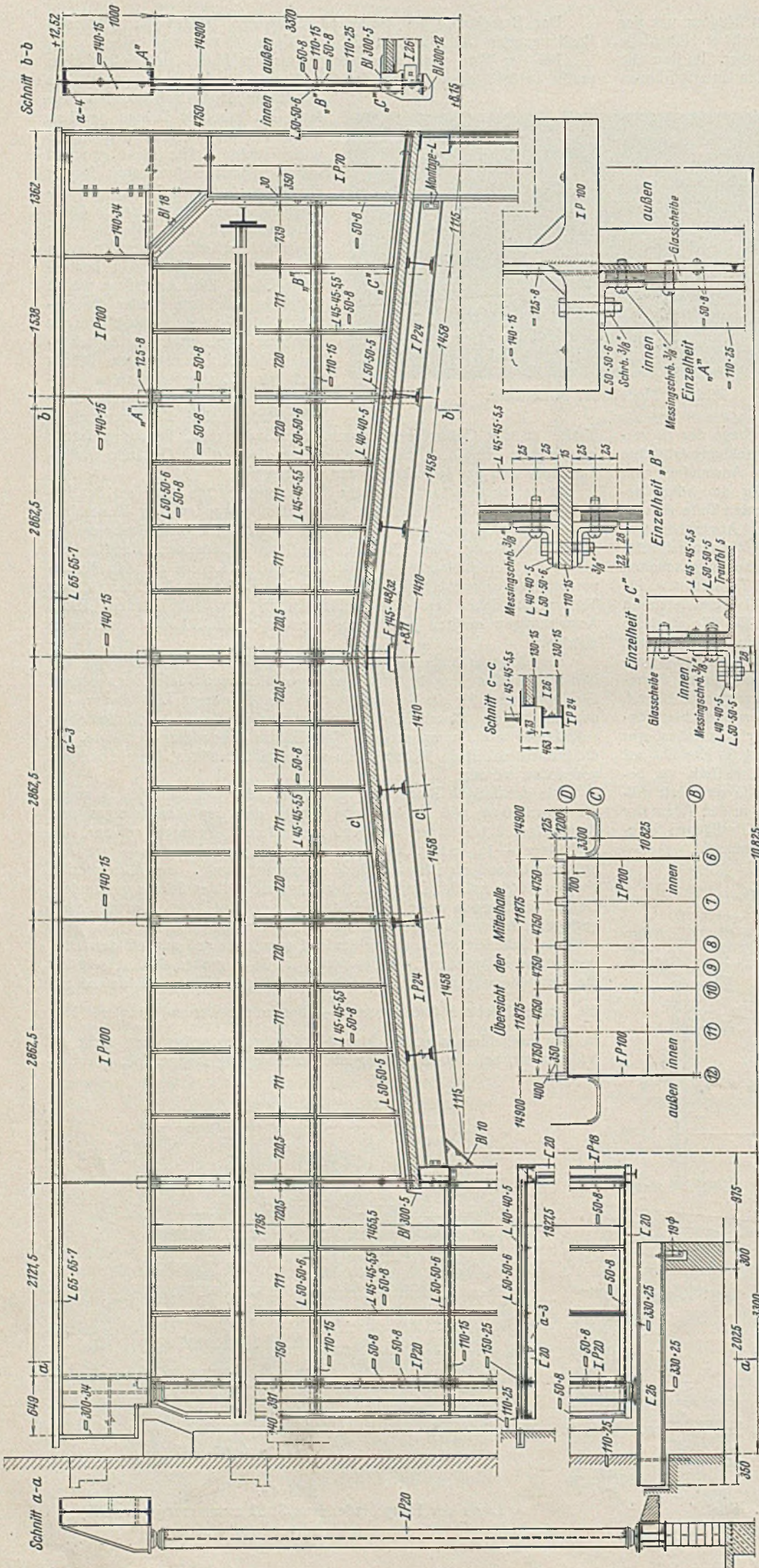


Bild 5. Hauptbinder der Mittelhalle. Riegel.

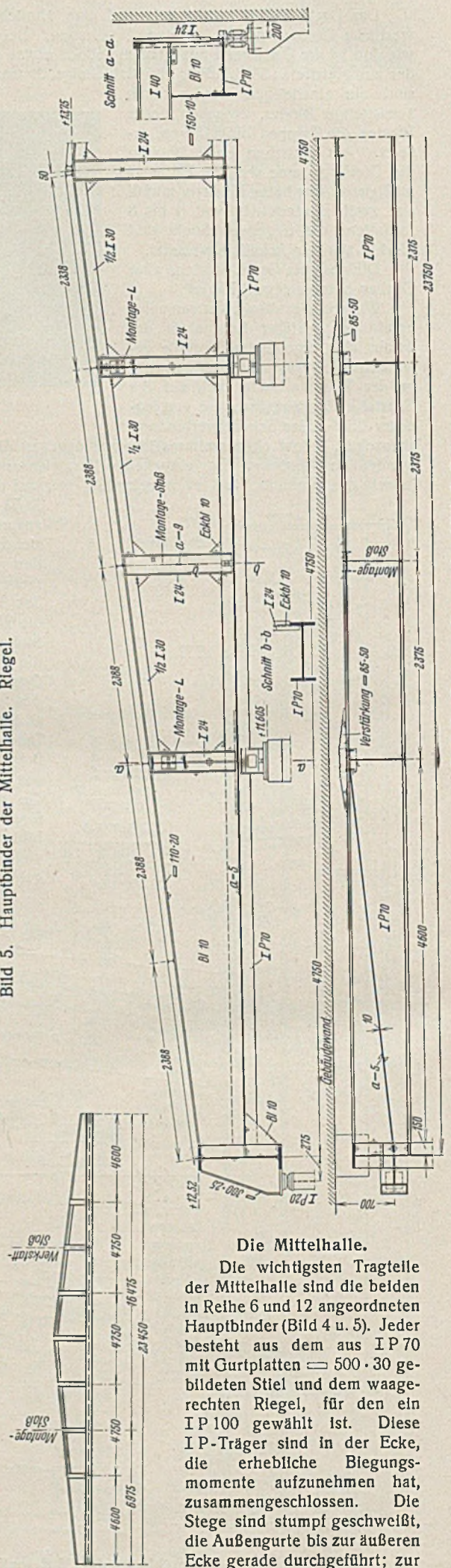


Bild 7. Rückwandträger der Mittelhalle.

Die Mittelhalle.

Die wichtigsten Tragteile der Mittelhalle sind die beiden in Reihe 6 und 12 angeordneten Hauptbinder (Bild 4 u. 5). Jeder besteht aus dem aus IP 70 mit Gurtplatten $\square 500 \cdot 30$ gebildeten Stiel und dem waagerechten Riegel, für den ein IP 100 gewählt ist. Diese IP-Träger sind in der Ecke, die erhebliche Biegemomente aufzunehmen hat, zusammengeschlossen. Die Stege sind stumpf geschweißt, die Außengurte bis zur äußeren Ecke gerade durchgeführt; zur

Bildung der inneren Eckschrägen ist ein dreieckiges Füllblech eingeschweißt, während die Gurtung hier aus dem abgespaltenen Flansch des I P 100 und der von unten kommenden Gurtplatte des Stieles gebildet wird. Der Fußpunkt des Stieles ist auf ein aus Baustahl St 52 zusammengeschweißtes Linienkipplager abgesetzt (Bild 4a). Da die bereits fertigen

Stützkonsolen auf der Frontmauer des Empfangsgebäudes den lotrechten Auflagerdruck, der infolge ständiger Last, Schnee und Wind etwa 28 t beträgt, nicht übernehmen konnten, wurde an Stelle des zunächst geplanten Rollenlagers auf dieser Seite eine aus I P 20 gebildete Pendelstütze vorgesehen, deren Kopf und Fuß aus Punktkipplagern Baustoff Stahlguß bestehen (Bild 5). Aus Gründen, die gleichfalls durch die bereits bestehenden Teile des Empfangsgebäudes gegeben waren, mußte die Pendelstütze 275 mm aus der Binderebene herausgestellt werden, wobei der später noch beschriebene Rückwandträger zu dieser Umleitung der Kräfte herangezogen wurde.

Etwa in halber Höhe ist an den Stiel der Hauptbinder der Kragarm zur Überdachung des vor der Halle liegenden Bahnsteigteiltes angeschlossen (Bild 4). In etwa $\frac{3}{4}$ Höhe liegt ferner der Abschlußträger der Seitenhalle, der mit der darüber befindlichen, den Seitenabschluß bildenden Glasschürze am Hauptbinder angehängt ist.

Zwischen diesen Hauptbindern liegt in der Ebene der Stiele die vordere Frontwand (Bild 6). Sie wird von einem der Dachneigung angepaßten vollwandigen Träger, der in der Mitte 2,23 m hoch ist, getragen; sein Querschnitt ist aus 10 mm dickem Blech mit Gurtplatten $\square 350 \cdot 22$ zusammengeschweißt.

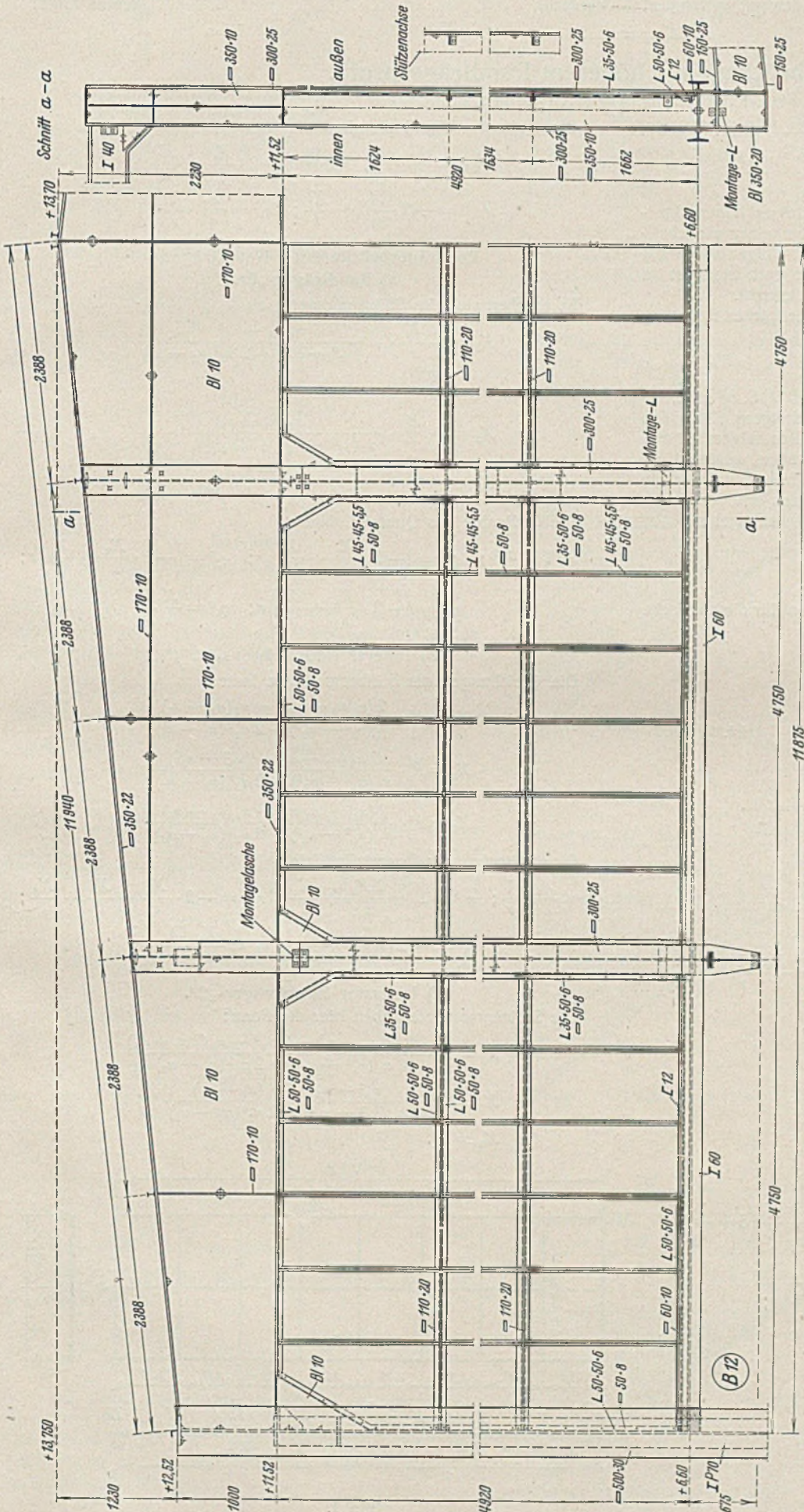


Bild 6. Frontwandträger der Mittelhalle.

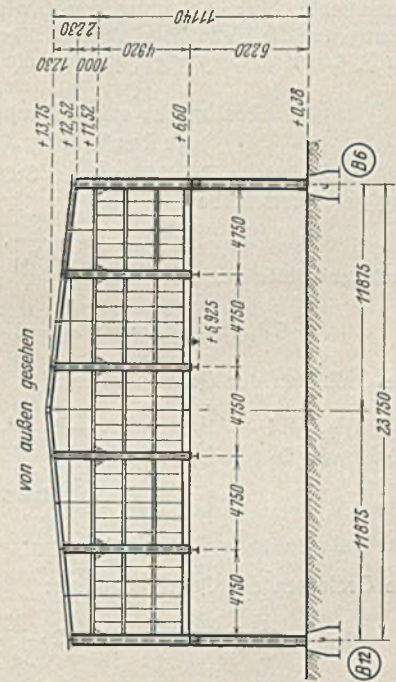


Bild 6a. Vorderansicht der Mittelhalle.

Vier kräftige Zwischenstiele unterteilen die fünffeldrige angehängte Glaswand. Diese Zwischenstiele tragen unten die Binderarme des vorgezogenen Kragdaches und durchdringen den Steg eines liegenden I 60, das zur Aufnahme der aus diesen Kragarmen herrührenden waagerechten Kräfte unmittelbar über deren Anschlüssen angeordnet ist und vom Stiel des einen Hauptbinders zum anderen, also von Reihe 6 bis 12 reicht.

Dem Frontwandträger entsprechend ist unmittelbar vor der Mauer des Empfangsgebäudes ein Rückwandträger vorgesehen (Bild 7). Dieser hat die Lasten der Zwischenbinder des Satteldaches durch Vermittlung von Einrollenlagern auf die Mauerkonsolen abzusetzen und an den Enden als wichtige Aufgabe die Lasten der Hauptbinder zu den 275 mm aus ihrer Achse stehenden Pendelstützen abzuleiten. Da die Zwischenbinder zur Verringerung der Formänderungen, wie bereits erwähnt, als Zweigelenrahmen behandelt sind, mußte für den Rückwandträger

ein Querschnitt gewählt werden, dessen unterer Gurt zur Aufnahme der Rahmenschubkräfte geeignet ist. So entstand ein Profil aus einem lotrechten Stehblech von 10 mm Dicke mit einem halbierten I30 als Obergurt und einem liegenden IP 70 als Untergurt. Da der Anschluß an die Hauptbinder durch die Lage der 700 mm vor der Gebäudewand stehenden Pendelstützen gegeben war, die Mauerkonsolen aber einen geringeren Abstand von der gleichen Gebäudewand verlangten,

mußte das Stehblech in Reihe 11 und 7, im Grundriß betrachtet, geknickt werden.

Die Zwischenbinder bestehen aus I40, die am Frontwandträger mit eingesetzten Dreiecken, am Rückwandträger mit untergesetzten Eckstücken angeschweißt sind. Ein Gerippe aus einfachen Sparren und Pletten bildet das Tragwerk für das mit Eberspächer-Sprossen hergestellte kittlose Glasdach. (Schluß folgt.)

Alle Rechte vorbehalten.

Rostträgerbrücken mit höherem Randträgerprofil.

Von Stud.-Rat Dipl.-Ing. Friedrich Geiger, Erfurt.

Die Benutzung der Entwicklungen in Stahlbau 1938, Heft 10, 11 u. 26, über Rostträgerbrücken wird an einem Beispiel gezeigt.

Einleitung.

Die Erkenntnis, daß bei Trägerrosten die Randträger höhere Lastanteile erhalten als die inneren Träger, veranlaßt bei einer wirtschaftlichen Ausnutzung, die Randträger höher, die inneren Träger aber nicht gleich, sondern der Lastverteilung entsprechend, aber auch niedriger zu dimensionieren. Davon wird nicht immer Gebrauch gemacht.

Es soll daher in diesem Aufsatz die Einfachheit einer solchen Rechnung aufgezeigt werden.

Ordinaten der Quereinflußlinien.

In analoger Ableitung der Hefte 10, S. 78 usw., und 11, S. 86 usw., erhält man für höhere Trägheitsmomente in den Randträgern als in den inneren Trägern, wenn man das Trägheitsmoment des Randträgers „r“ mal größer setzt als das Trägheitsmoment eines inneren Trägers, zunächst die Stützenmomente. Die Ableitung ergibt wieder wie früher, daß für die Berechnung nur die Kenntnis einiger weniger Konstanten erforderlich ist.

Für 3, 4 und 5 Hauptträger werden die Ergebnisse angegeben.

Rostbrücke mit 3 Hauptträgern.

a) Randträger „0“.

Mit den Bildern in Heft 11 wird das Stützenmoment für die elastische Stützung der Querscheibe

$$X_1 = -\frac{K}{r \alpha_4},$$

worin wieder wie früher

$$K = 6 \delta_K \cdot \frac{E J_Q}{l^2} \text{ und } \alpha_4 = 4 + \frac{K}{l} \left(4 + \frac{2}{r} \right) \text{ ist.}$$

Die Ordinaten der Quereinflußlinie:

$$\eta_0^0 = 1 + \frac{X_1}{l}; \quad \eta_1^0 = -2 \cdot \frac{X_1}{l} \cdot r; \quad \eta_2^0 = \frac{X_1}{l}.$$

b) Mittelträger.

$$X_1 = 2 \cdot \frac{K}{\alpha_4}.$$

Die Ordinaten der Quereinflußlinie:

$$\eta_0^1 = \frac{X_1}{l} \cdot \frac{1}{r}; \quad \eta_1^1 = 1 - 2 \cdot \frac{X_1}{l}; \quad \eta_2^1 = \frac{X_1}{l} \cdot \frac{1}{r}.$$

Rostbrücke mit 4 Hauptträgern.

a) Randträger „0“.

Hier wird

$$X_1 = -\frac{K}{r} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_1 \alpha_5 - \alpha_2^2}$$

und

$$X_2 = -\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot X_1.$$

Es ist

$$\alpha_1 = 4 + K \cdot \frac{6}{l} \quad \alpha_2 = 1 - K \cdot \frac{4}{l} \quad \alpha_5 = 4 + \frac{K}{l} \left(5 + \frac{1}{r} \right).$$

Die Ordinaten der Quereinflußlinie:

$$\eta_0^0 = 1 + \frac{X_1}{l}; \quad \eta_1^0 = \left(-2 \cdot \frac{X_1}{l} + \frac{X_2}{l} \right) r;$$

$$\eta_2^0 = \left(-2 \cdot \frac{X_2}{l} + \frac{X_1}{l} \right) r; \quad \eta_3^0 = \frac{X_2}{l}.$$

b) Innerer Träger „1“.

$$X_1 = K \cdot \frac{2 \alpha_1 + \alpha_2}{\alpha_1 \alpha_5 - \alpha_2^2}$$

und

$$X_2 = -K \cdot \frac{2 \alpha_2 + \alpha_5}{\alpha_1 \alpha_5 - \alpha_2^2}.$$

Die Ordinaten der Quereinflußlinie:

$$\eta_0^1 = \frac{X_1}{l} \cdot \frac{1}{r}; \quad \eta_1^1 = 1 - 2 \cdot \frac{X_1}{l} + \frac{X_2}{l};$$

$$\eta_2^1 = -2 \cdot \frac{X_2}{l} + \frac{X_1}{l}; \quad \eta_3^1 = \frac{X_2}{l} \cdot \frac{1}{r}.$$

Rostträgerbrücke mit 5 Hauptträgern.

a) Randträger „0“.

Es ergeben sich die Stützenmomente zu

$$X_1 = -\frac{K}{r} \cdot \frac{\alpha_1 \alpha_5 - \alpha_2^2}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}$$

$$\alpha_3 = \frac{K}{l}$$

$$X_2 = -\frac{K}{r} \cdot \frac{\alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_5)}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}$$

$$X_3 = -\frac{K}{r} \cdot \frac{\alpha_2^2 - \alpha_1 \alpha_3}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}.$$

Die Ordinaten der Quereinflußlinie:

$$\eta_0^0 = 1 + \frac{X_1}{l}; \quad \eta_1^0 = \left(-2 \cdot \frac{X_1}{l} + \frac{X_2}{l} \right) r; \quad \eta_2^0 = \left(-2 \cdot \frac{X_2}{l} + \frac{X_1}{l} \right) r;$$

$$\eta_3^0 = \left(-2 \cdot \frac{X_3}{l} + \frac{X_2}{l} \right) r; \quad \eta_4^0 = \frac{X_3}{l}.$$

b) Innerer Hauptträger „1“.

Die Gleichungen der Stützenmomente lauten:

$$X_1 = K \cdot \frac{2 (\alpha_1 \alpha_5 - \alpha_2^2) - \alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_5)}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}$$

$$X_2 = K \cdot \frac{2 \alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_5) - (\alpha_5^2 - \alpha_3^2)}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}$$

$$X_3 = K \cdot \frac{2 (\alpha_2^2 - \alpha_1 \alpha_3) - \alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_5)}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}.$$

Die Ordinaten der Quereinflußlinie:

$$\eta_0^1 = \frac{X_1}{l} \cdot \frac{1}{r}; \quad \eta_1^1 = 1 - \frac{2 X_1}{l} + \frac{X_2}{l}; \quad \eta_2^1 = -2 \cdot \frac{X_2}{l} + \frac{X_1}{l} + \frac{X_3}{l};$$

$$\eta_3^1 = -2 \cdot \frac{X_3}{l} + \frac{X_2}{l}; \quad \eta_4^1 = \frac{X_3}{l} \cdot \frac{1}{r}.$$

c) Innerster Hauptträger „2“.

Die Stützenmomente haben hier die Form:

$$X_1 = K \cdot \frac{\alpha_3 (2 \alpha_2 - \alpha_1) - 2 \alpha_2^2 - \alpha_5 (2 \alpha_2 + \alpha_1)}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}$$

$$X_2 = 2 K \cdot \frac{\alpha_3^2 - \alpha_3^2 - \alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_5)}{\alpha_1 (\alpha_5^2 - \alpha_3^2) + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_5)}$$

$$X_3 = X_1.$$

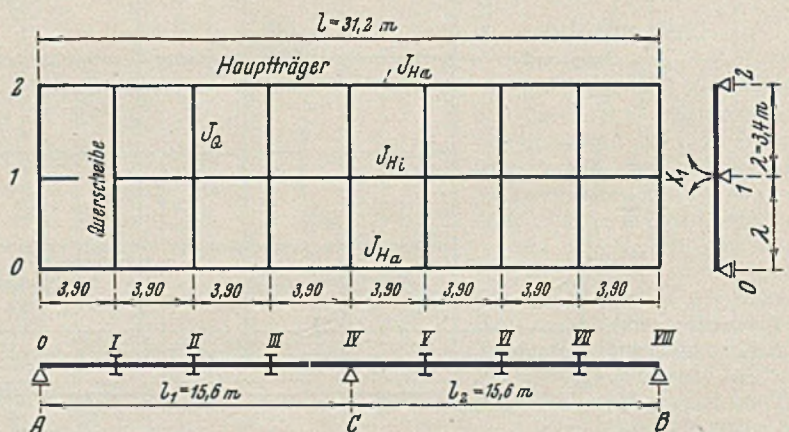


Bild 1.

Tafel der Quereinflußlinien.

Punkt	Querscheibenort	$\mu_{ideell} = \sum_{i=m}^n \mu_i$	β -Wert $\beta = \mu \beta'$	$K = 1/\beta$	$\beta \alpha_4 = 4 + \beta \left(4 + \frac{2}{r}\right)$	Äußerer Hauptträger „0“				Innerer Hauptträger „1“			
						$X_1^0 = \frac{K}{r \alpha_4}$	$\eta_0^0 = 1 + \frac{X_1^0}{\lambda}$	$\eta_1^0 = 2 \cdot \frac{X_1^0}{\lambda} \cdot r$	$\eta_2^0 = \frac{X_1^0}{\lambda}$	$X_1^1 = 2 \cdot \frac{K}{\alpha_4}$	$\eta_1^1 = \frac{1}{r} \cdot \frac{X_1^1}{\lambda}$	$\eta_1^1 = 1 - 2 \cdot \frac{X_1^1}{\lambda}$	$\eta_2^1 = \frac{1}{r} \cdot \frac{X_1^1}{\lambda}$
I	3,90	0,002 415	4,766	16,2	30,88	-0,430	0,8735	0,3087	-0,1265	1,049	0,253	0,383	0,253
II	7,80	0,003 261	6,44	21,9	40,31	-0,445	0,8691	0,3195	-0,1309	1,086	0,2619	0,3615	0,2619
III	11,7	0,002 232	4,41	15,0	28,88	-0,426	0,8747	0,3057	-0,1253	1,039	0,2502	0,389	0,2502

Die Ordinaten der Quereinflußlinie:

$$\eta_0^2 = \frac{X_1}{\lambda} \cdot \frac{1}{r};$$

$$\eta_1^2 = -\frac{2 X_1}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda};$$

$$\eta_2^2 = 1 - \frac{2 X_2}{\lambda} + \frac{2 X_1}{\lambda};$$

$$\eta_3^2 = \eta_1^2;$$

$$\eta_4^2 = \eta_0^2;$$

Beispiel.

Es sei ein bekanntes Beispiel einer Straßenbrücke gegeben (Bild 1).

Diese Brücke besteht aus drei über zwei Öffnungen durchlaufenden Hauptträgern mit je drei lastverteilenden Querscheiben in einer Feldöffnung.

Trägheitsmomente:

- Hauptträger außen . . . $J_{H_0} = J_{H_2} = J_{H_a} = 0,1437 \text{ m}^4$
- Hauptträger innen . . . $J_{H_1} = J_{H_i} = 0,1174 \text{ m}^4$
- Querträger einheitlich . . . $J_Q = 0,0500 \text{ m}^4$.

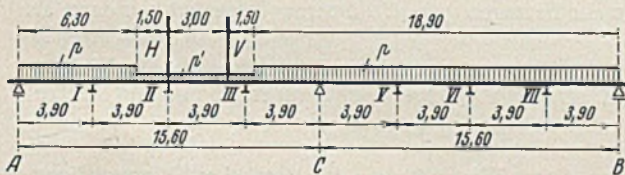


Bild 2. Belastungsbild der Hauptträger.

Verhältnisse der Steifigkeit:

$$\frac{J_Q}{J_{H_i}} = \frac{0,0500}{0,1174} = 0,43$$

$$r = \frac{J_{H_a}}{J_{H_i}} = \frac{0,1437}{0,1174} = 1,22$$

$$\frac{l}{\lambda} = \frac{31,2}{3,4} = 9,176.$$

Konstanten des Rostsystems:

Nach Gl. (15) oder Kurvenblatt (Bild 14) der S. 87 in Heft 11 wird

$$\beta' = 6 \cdot \frac{J_Q}{J_{H_i}} \left(\frac{l}{\lambda}\right)^3 = 6 \cdot \frac{0,0500}{0,1174} \left(\frac{31,2}{3,4}\right)^3 = 1974.$$

Die weiteren Konstanten werden in der obenstehenden Tafel für den jeweiligen Querscheibenort ermittelt. Mit diesen Werten erhält man die Ordinaten der Quereinflußlinien der Lastverteilung, die in dieser Tafel mit aufgenommen wurden.

Quereinflußlinien des Randträgers „0“.

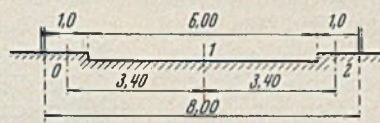


Bild 3. Brückenquerschnitt.

Quereinflußlinien des Mittelträgers „1“.

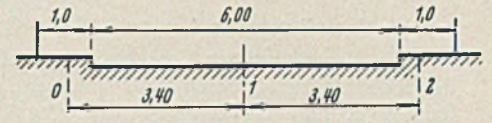


Bild 7. Brückenquerschnitt.

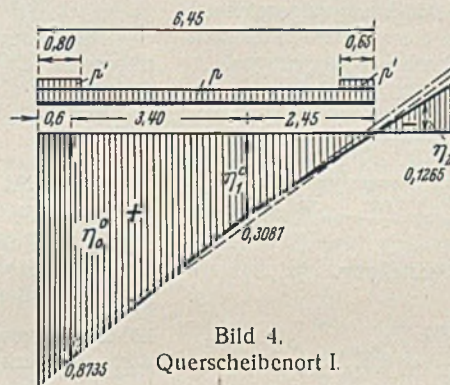


Bild 4. Querscheibenort I.

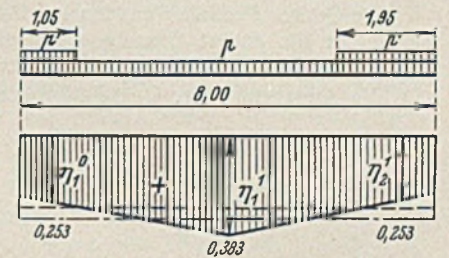


Bild 8. Querscheibenort I.

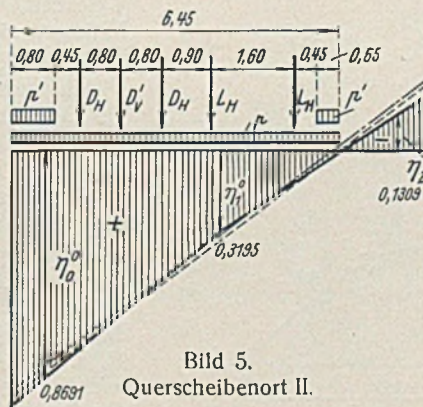


Bild 5. Querscheibenort II.

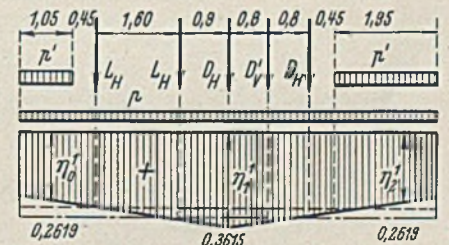


Bild 9. Querscheibenort II.

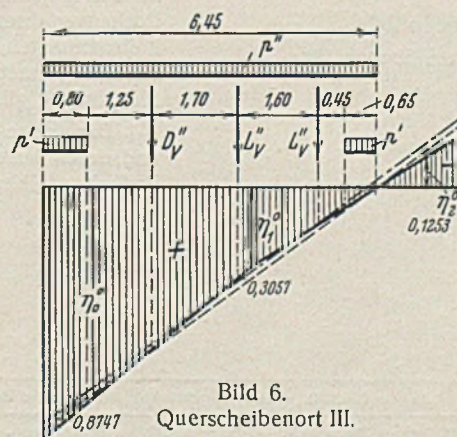


Bild 6. Querscheibenort III.

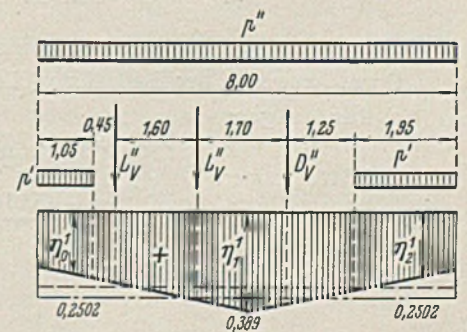


Bild 10. Querscheibenort III.

Aus der μ -Kurve in Bild 5, Stahlbau 1938, Heft 10, S. 80, wird μ_{ideell} für die betrachtete Querscheibe „m“ ermittelt, aus dem gleichzeitigen Zusammenwirken aller Querscheiben zu:

$$\mu_{ideell} = \sum_{i=m}^{i=n} \mu_{m_i} \quad (n = \text{Zahl der Querscheiben})$$

Für die Querscheiben V, VI und VII ergeben sich die entsprechenden Werte.

Für den Randträger „2“ erhält man die Ordinaten durch Vertauschung mit dem Randträger „0“.

Belastungen der Brücke.

Die Untersuchung erstreckt sich auf die auftretenden Verkehrslasten. Diese betragen an Menschengedänge: $p = 0,500 \text{ t/m}^2$.

- Fahrzeuge: Dampfwalze, Vorderrad $D_V = 10 \text{ t}$
 Hinterrad $D_H = 7 \text{ t}$.
- Lastwagen, Vorderrad $L_V = 2 \text{ t}$
 Hinterrad $L_H = 4 \text{ t}$.

Verteilung der Lasten auf die Querscheiben (Bild 2).

Die Verteilung der Verkehrslasten auf die Querscheiben erfolgt in der Richtung des größten Stützenmoments in „C“, das sowohl für den Randträger als auch für den Mittelträger aufgestellt werden soll.

Verlauf und Auswertung der Quereinflußlinien (Bild 3 bis 10).

Die Quereinflußlinien werden nur für eine Feldöffnung aufgezeichnet, da sie für die andere Öffnung gleich sind. In diese Quereinflußlinien werden die ungünstigsten Stellungen der Verkehrslasten eingetragen.

Die Auswertung der Quereinflußlinien ergibt (Bild 11):

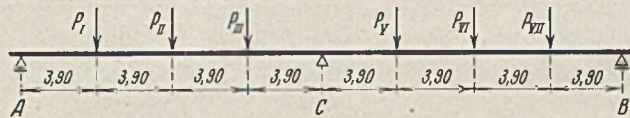


Bild 11. Lastanteile aus der Querverteilung.

a) Randträgerbelastung:

$$P_I = 5,408 \text{ t}; \quad P_{II} = 14,733 \text{ t}; \quad P_{III} = 8,577 \text{ t};$$

$$P_V = 5,722 \text{ t}; \quad P_{VI} = 5,832 \text{ t}; \quad P_{VII} = 5,742 \text{ t}.$$

b) Mittelträgerbelastung:

$$P_I = 4,5784 \text{ t}; \quad P_{II} = 10,474 \text{ t}; \quad P_{III} = 6,400 \text{ t};$$

$$P_V = 4,820 \text{ t}; \quad P_{VI} = 4,690 \text{ t}; \quad P_{VII} = 4,75 \text{ t}.$$

Die Ordinaten der Einflußlinie (Bild 12) wurden dem Tabellenwerk von Anger entnommen.

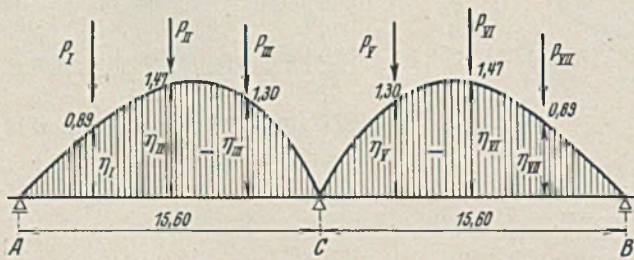


Bild 12.

Ermittlung des Stützenmoments in „C“.

Durch Auswerten der Einflußlinie (Bild 12) erhält man für

- a) Randträger: $M_{Cr} = -58,745 \text{ tm}$
- b) Mittelträger: $M_{Cm} = -45,184 \text{ tm}$.

Vergleich mit starrer Querverteilung.

Die Lastverteilung erfolgt unter Berücksichtigung verschiedener Trägheitsmomente der Hauptträger nach der bekannten Engeßerschen Gleichung:

$$\eta_i = J_i \left(\frac{1}{\sum_{i=0}^{i=n} J_i} \pm \frac{l_i e}{\sum_{i=0}^{i=n} J_i l_i^2} \right).$$

Hierin ist

$$\sum_0^2 J_i = 0,1174 + 2 \cdot 0,1437 = 0,4048 \text{ m}^4.$$

Die Ordinaten der Quereinflußlinie des Mittelträgers.

Aus obiger Gleichung folgt:

$$\eta_0^1 = 0,1174 \left(\frac{1}{0,4048} + 0 \right) = 0,290$$

$$\eta_1^1 = 0,290$$

$$\eta_2^1 = 0,290.$$

$$\sum \eta = 0,870.$$

Die Quereinflußlinien wurden in den Bildern 8, 9 und 10 für starre Lastverteilung gestrichelt eingetragen.

Aus diesem Verlauf der Quereinflußlinien mit der auftretenden Verkehrslast erhält man die Lastanteile des Mittelträgers zu:

$$P_I = 4,314 \text{ t}; \quad P_{II} = 9,548 \text{ t}; \quad P_{III} = 5,832 \text{ t};$$

$$P_V = 4,524 \text{ t}; \quad P_{VI} = 4,524 \text{ t}; \quad P_{VII} = 4,524 \text{ t}.$$

Mit diesen Lastanteilen errechnet sich das Stützenmoment des Mittelträgers in „C“ aus der Einflußlinie (Bild 12) zu

$$M_{Cm} = -42,00 \text{ tm}.$$

Ergebnis.

Vergleicht man die Ergebnisse der elastischen Querverteilung mit denen der vollkommen starren, so erhält man für das Stützenmoment des Mittelträgers aus der elastischen Querverteilung ein um

$$\frac{(45,184 - 42,00) \cdot 100}{42,00} \approx 8\%$$

höheres Moment als bei der starren Querverteilung. Der Randträger wird entsprechend entlastet.

Je weicher also ein Rostsystem ist, um so mehr wird der Rand entlastet, die inneren Träger aber mehr belastet. Im Falle vollkommener Weichheit, wo die Querverteilung aufhört, werden die Randträger zum Mittragen nicht mehr herangezogen, die inneren Träger wirken dann als Einzelbalken.

Rechnet man das Stützenmoment des Mittelträgers aus der Wirkung des Einzelbalkens, also ohne Querverteilung, so erhält man ein Stützenmoment

$$M_{Cm} = -73,26 \text{ tm}.$$

Vergleicht man diesen Wert mit dem der elastischen Querverteilung, so erhält man einen Unterschied von 55%, der den großen Vorteil der Rostwirkung kennzeichnet. Diese Entlastung der Mittelträger geschieht aber auf Kosten der Randträger. Diese werden dafür höher belastet, sie werden zum Mittragen herangezogen, die Belastung übertrifft sogar die Wirkung des Einzelbalkens. Die Mehrbelastung liegt im Mittel von 15%. Der Unterschied reicht also bei weitem nicht aus, die Vorteile der Rostwirkung zu zerstören. Der Einfluß der gegenseitigen Beeinflussung der Querscheiben beträgt hier 5%.

Das vorliegende Beispiel und die vorausgegangenen Entwicklungen in den genannten Heften zeigen die weitestgehende Anwendung eines Rechenverfahrens, das sowohl für Hauptträger mit verschiedenen Trägheitsmomenten, ohne Einschränkung der Querscheibenzahl, ob symmetrisch oder unsymmetrisch, wie auch für über mehrere Öffnungen durchlaufende Hauptträger gilt.

Die ganze Rechenarbeit liegt in dem Aufstellen von Einflußlinien und deren Auswertung, eine Arbeit, die von jedem Statiker leicht, schnell und ohne Mühe bewältigt werden kann.