

DER STAHLBAU

Schriftwaltung:
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 gesamte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

14. Jahrgang

BERLIN, 7. November 1941

Heft 23/24

Alle Rechte vorbehalten.

Stahlkonstruktion für Großschmiedehallen.

Von Dr.-Ing. Heinz Frobenius.

Ein bemerkenswertes Ingenieurbauwerk dürften die nachfolgend beschriebenen Werkshallen und ihr Herstellungsvorgang darstellen. Durch ihre Abmessungen und die damit zu lösenden Aufgaben war dem ausführenden Ingenieur eine Aufgabe gestellt, wie sie im Hochbau nicht alltäglich sein dürfte. Die glatte Abwicklung des Bauvorhabens hat gezeigt, daß die bei der Planung und Ausführung getroffenen Maßnahmen richtig waren.

Vorgesehen war die Erbauung zweier zweischiffigen Werkshallen von 170 m Länge und 28,5 m Stützweite je Schiff (Bild 1 u. 2). Eine der Hallen sollte dabei vorläufig nur einschiffig ausgeführt werden, jedoch mußte die Erweiterungsmöglichkeit für das zweite Schiff zugleich mit vorgesehen werden. Die Raumhöhe von rd. 24 m verlangte eine Lösung, die sowohl die Wucht des Baues zur Geltung kommen ließ, als auch den bei diesen Abmessungen auftretenden baulichen Aufgaben in einwandfreier Weise gerecht wird.

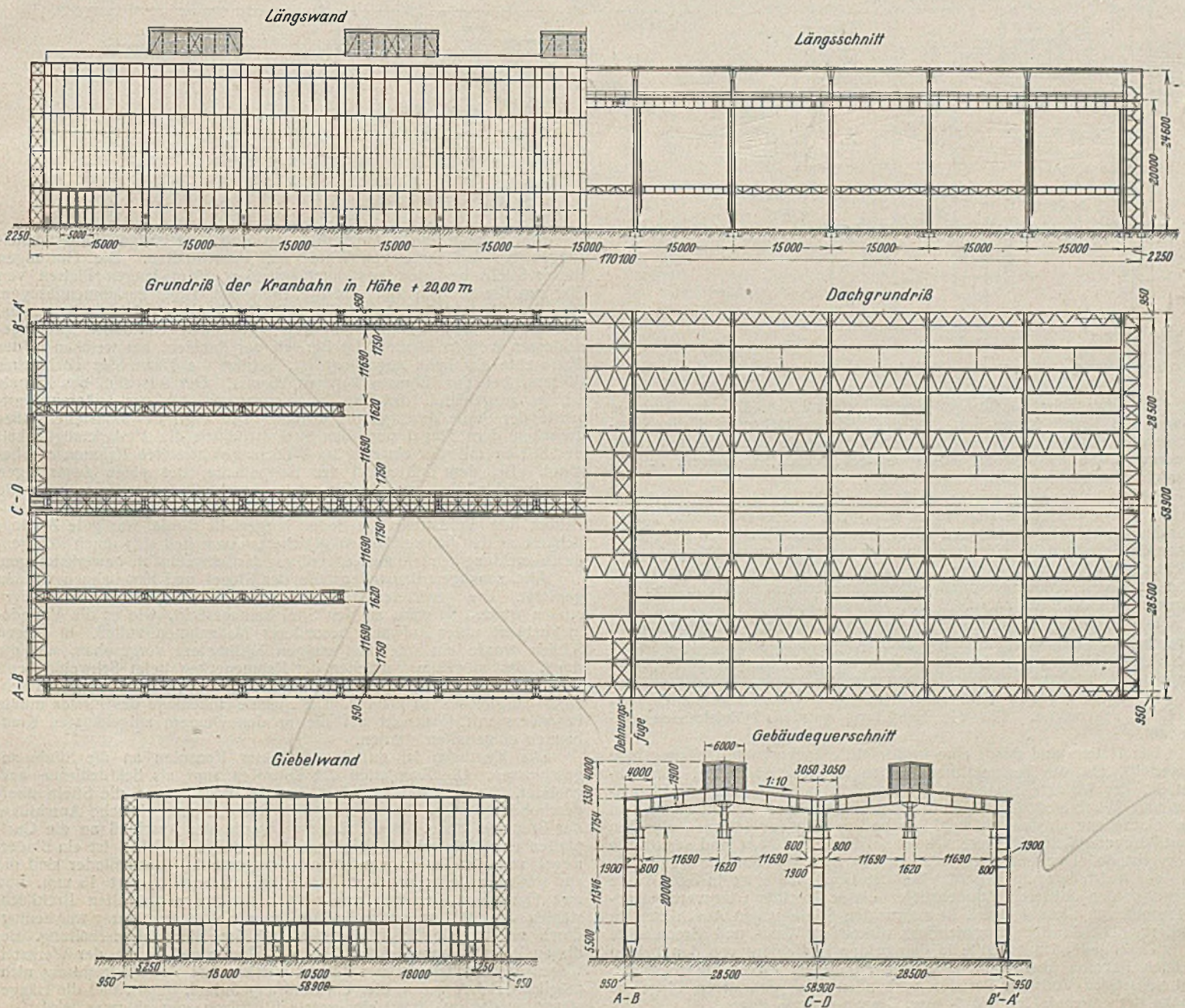


Bild 1 u. 2.

Die in der Binderebene wirkenden Kräfte und Momente aus ungleichen Kranlasten und Seitenstößen werden durch biegefesten Anschluß der Hängestangen an das Firstblech auf die Rahmenbinder übertragen. Die senkrecht zur Binderebene wirkenden Bremskräfte werden durch die Kranbahn und den Bremsverband zur Giebelwand auf den

Die Stiele sind 24,7 m lang und wiegen etwa 25 t; der Riegel ist etwa 22,5 m lang und wiegt ohne Kranhängestange etwa 16 t. Das Gewicht eines ganzen Rahmens beträgt somit rd. 70 t. Sowohl die Länge als auch das Gewicht der einzelnen Bauglieder machten besondere Maßnahmen für die Anfuhr erforderlich, die noch später beschrieben werden.

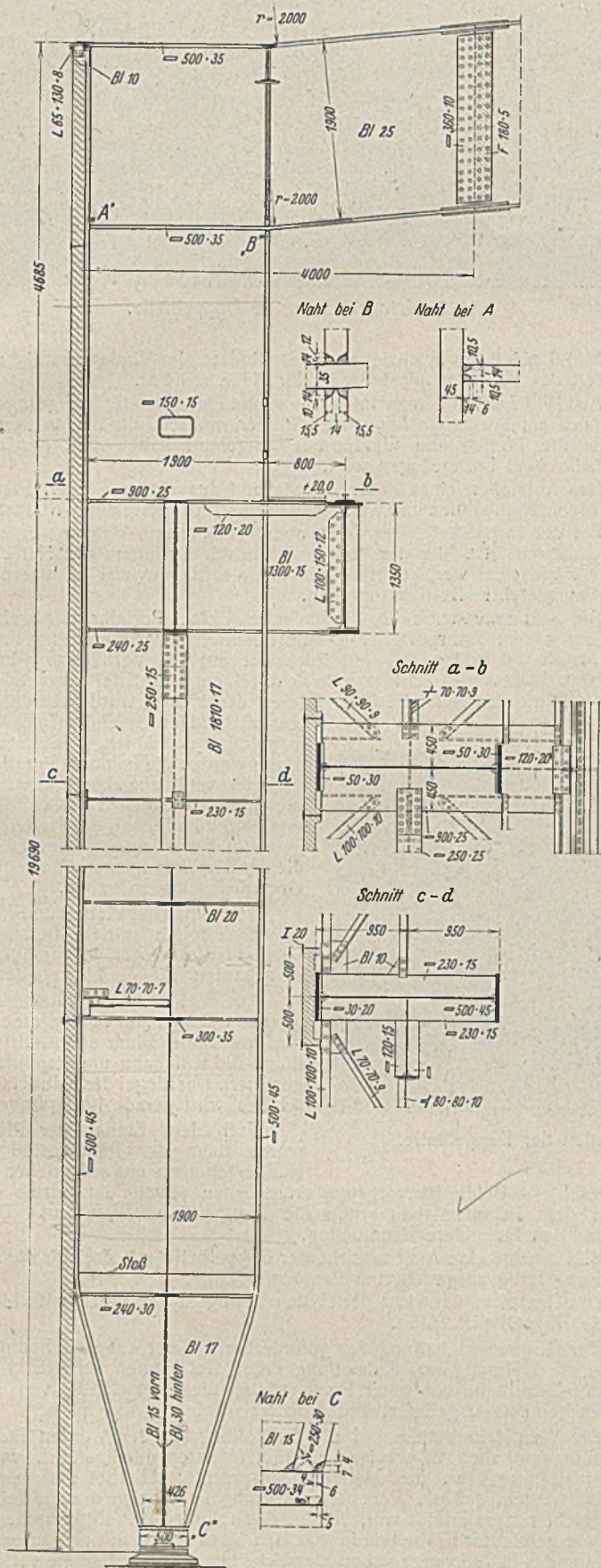


Bild 3.

dort angeordneten Kopfverband geleitet. Da für diese Wirkungsweise das Firstblech eigentlich wie eine Blattfeder wirken soll, ist von einem biegefesten Anschluß der Flanschen der Hängestangen senkrecht zur Binderebene abgesehen worden. In der Giebelwand werden die Bremskräfte durch den dort angeordneten Verband auf die Eckstiele übergeleitet.

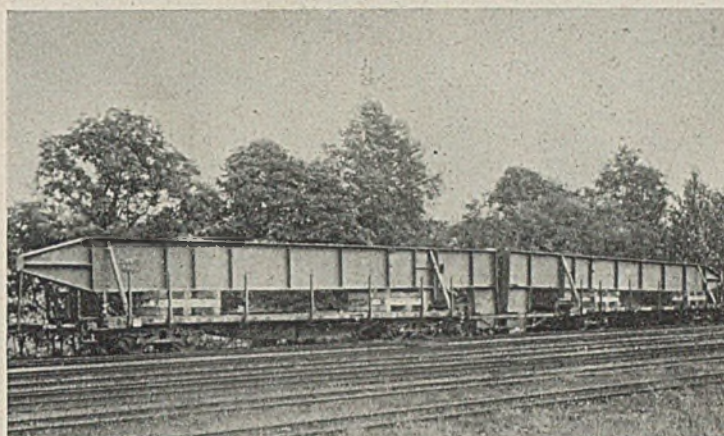


Bild 5. Sondertransport zweier Stiele, zwischen zwei Wagen das eingehängte Zwischenstück.

Dadurch, daß die Kranbahn in den Konsolen eingebunden ist, mußte den Ausgleichmöglichkeiten der Kranbahn besondere Beachtung geschenkt werden. Zu diesem Zweck war hier ein besonders großes Aufreibemaß der Befestigungslöcher vorgeschrieben, und zwischen Anschlußwinkel und Kranbahnstegblech sind Ausfütterungen vorgesehen. Es besteht so eine Ausgleichmöglichkeit von 13 mm seitlich und 4 bis 5 mm in der Höhenlage.

Die vor der Stahlkonstruktion angeordneten Giebel- und Längswände sind als Fachwerkwände für 1/2 Stein dicke Ausmauerung ausgebildet. Der Zwischenraum zwischen der Wand und dem Flansch des Rahmenstieles wurde mit fettem Mörtel ausgefüllt, um Rostansatz an diesen Stellen zu vermeiden.

Die Dachpfetten sind in einem größten Abstand von 3,45 m angeordnet. Sie stehen senkrecht zum Dach und ruhen auf den als Konsolen ausgebildeten Versteifungen des Rahmenbinders. Zur Erzielung der statischen Wirkung als durchlaufende Balken wurden die Oberflansche mit dem Binder-Obergurt nach dem Abnieten des Binders auf der Baustelle verschweißt. Die Anschlußflanschen des Untergurtes und die Stege wurden im Anschluß aufgerieben und angelietet. In den Feldern mit den Oberlichtaufbauten ist keine Firstpfette vorhanden. Die Dachverbände laufen beiderseits der Laternen durch den ganzen Bau bis zu den Giebelwänden durch.

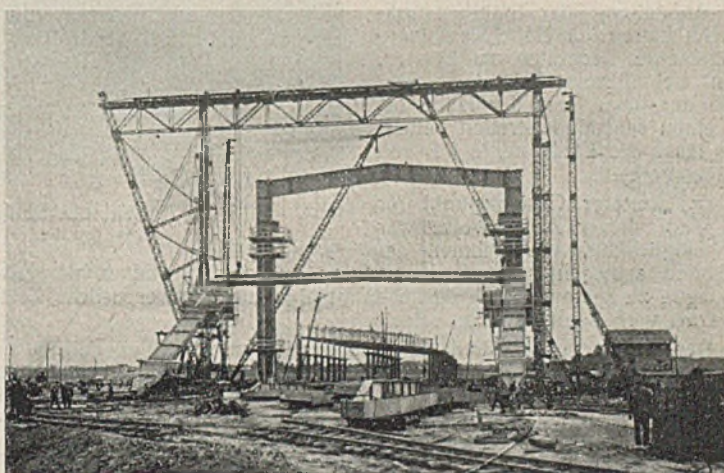


Bild 6. Rahmen der Einzelhalle während des Ziehens. Sofort nach dem Aufrichten werden die Verbindungsteile mit dem Nachbarrahmen mittels der zwei Derricks eingebaut.

In Höhe der Kranbahn sind Bedienungsstege vorgesehen. Außerdem ist ein Bedienungsgang längs der Fensterbrüstung angeordnet. An jedem Ende der Halle sind Treppenaufgänge bis zum Dach durchgeführt.

Für die Verfrachtung wurde mit der Deutschen Reichsbahn eine Vereinbarung über die Einsetzung von Spezialzügen getroffen, welche als Pendelzüge zwischen dem Werk und der Baustelle eingesetzt wurden. Ein Zug förderte immer jeweils einen vollständigen Rahmen, bestehend aus den Stielen und dem Riegel. Die Einzelteile wurden auf SSLA-Wagen verladen, und bei überragenden Teilen wurden Schutzwagen angesetzt. Da die Stiele jedoch mit ihrem Eckanschluß bis auf das Mindestprofilmaß über Schienenoberkante herabreichen, mußte hier eine besondere Maßnahme getroffen werden, weil die Wagen nicht miteinander gekuppelt werden konnten.

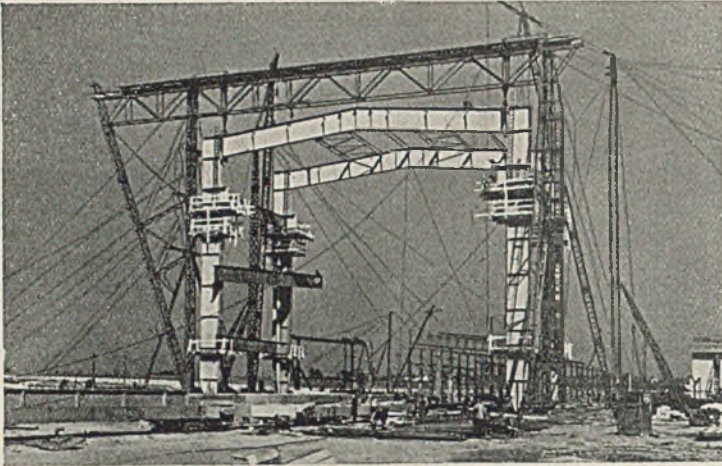


Bild 7. Rahmen hochgezogen, noch im Portalkran hängend.

Zwischen zwei Wagen wurde daher ein aus einem Stahlrahmen bestehendes Zwischenstück eingehängt (Bild 5). Dieses Zwischenstück war mit Puffern und vollständigen Kupplungen versehen und erlaubte so das ungehinderte Hindurchragen der Stielenden. Bild 5 zeigt einen zur Abfertigung zusammengestellten Zug, auf welchem zwei Stiele verladen sind. Die getroffene Anordnung hat allen Anforderungen genügt, selbst bei Einreihung des Spezialzuges in normale Güterzüge traten keine Störungen auf.

Bei der zur Verfügung stehenden kurzen Aufstellungszeit war eine besonders sorgfältige Planung notwendig, um durch richtiges Arbeitstempo in der Werkstatt unter Berücksichtigung der Anfuhrspanne keine Stockungen auf der Baustelle eintreten zu lassen. So ist es gelungen, die Hallen trotz der zum Teil erschwerten Verfrachtung nicht nur in der vorgeschriebenen Zeit aufzustellen, sondern bei der Einzelhalle noch eine Verkürzung der vorgesehenen Bauzeit zu erreichen.

Für die beiden Hallen waren durch die Ausbildung der einen als Doppel- und der anderen als Einzelhalle ganz verschiedene Montagevorgänge geboten.

Für die Einzelhalle wurde ein kombinierter Montagevorgang gewählt, indem zur Aufstellung der Rahmenbinder ein Portalkran vorgesehen war, während durch zwei nachlaufende Derricks die Kranbahnen, Pfetten und Wandkonstruktion eingebaut wurden (Bild 6).

Auch wurden so die Wünsche der Bauleitung erfüllt, schon während der Aufstellung der Stahlkonstruktion im Innern der Halle Maschinenfundamente herstellen zu können, denn bei diesem Montagevorgang blieb der Innenraum der Halle bis auf einen schmalen Streifen beiderseits längs der Fundamente frei von Montagegeräten.

Ein weiterer Gesichtspunkt für die Wahl dieser Arbeitsweise war die Möglichkeit, die Rahmen am Erdboden auslegen und zusammennieten zu können und somit Nietrüstungen zu sparen. Auch dürfte damit eine nicht unwesentliche Zeiterparnis verbunden gewesen sein.

Der Portalkran war für das Ziehen der im ungünstigsten Fall bis zu 70 t schweren Binder vorgesehen. Da ein Verfahren des Portalkrans unter Last nicht vorzusehen war, wurde das Fahrwerk nur für Eigenlasten konstruiert. Beim Ziehen des Binders wurden die Stiele auf einem jeweils behelfsmäßig hergestellten Rost abgestützt. Die Spreizverbände der Portalfüße waren nach den größten zu erwartenden Windkräften bei eingehängtem Binder bemessen. Abgesehen davon waren Abfangseile nach beiden Seiten angeordnet. Tatsächlich verursachte auch ein heftiger Sturm, der an sonstigen Anlagen erheblichen Schaden anrichtete, keinerlei Störung des Bauvorganges.

Für die Berechnung des Portals war eine seitliche Seilabweichung aus der Lotrechten von etwa 1:8 vorgesehen. Die Höhe des Obergurtes des Portalkrans betrug 29,2 m, die Spannweite 33 m.

Die Füße der Stiele wurden beim Hochziehen zur Verminderung der Reibung auf Schleppwägelchen gesetzt.

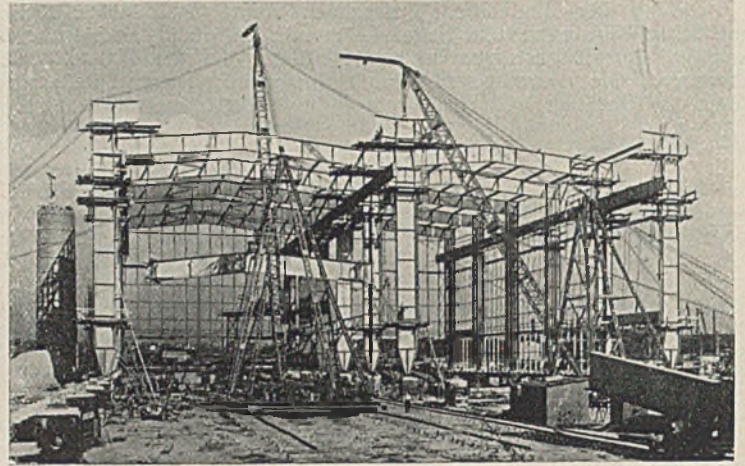


Bild 8. Längsblick in die Doppelhalle.

Bild 6 zeigt das Hochziehen eines Binders. Im Vordergrund ist noch ein Teil des Fundamentausbaus in der Halle sichtbar.

Aus Bild 7 erkennt man im Vordergrund einen bereits hochgezogenen und noch am Portalkran hängenden Binder, während die beiden Derricks bereits die Pfetten und Windportale eingebaut haben und der erste Kranbahnträger hochgezogen wird.

Das Aufstellen eines Feldes, bestehend aus einem Binder, Pfetten, Verbänden, Kranbahnen und Wandkonstruktion, erforderte nur 5 Arbeitstage.

Bei der Doppelhalle war der oben geschilderte Bauvorgang nicht durchzuführen. Da hier der Fundamentausbau im Innern der Halle erst später vorgesehen war, konnte die Montage mittels zweier im Innern der Halle aufgestellter Derricks erfolgen.

Die ankommenden Teile wurden mittels eines Portalkrans abgeladen und auf einem Transportgleis in die Reichweite der Derricks gebracht. Hier wurde am Boden das mit Rücksicht auf die Verfrachtung in der Werkstatt nicht angebrachte zweite Eckblech am Mittelstiel angeschweißt. Dann erfolgte das Aufstellen der Stiele. Jeder Stiel wurde einzeln aufgestellt und durch Einbau der Kranbahnträger und Abfangseile gesichert. Dann wurden die Rahmenriegel hochgezogen und eingebaut. Das Abnieten des Riegelanschlusses durfte erst nach dem Einbau der Pfetten vorgenommen werden, um dem Rahmen die der Berechnung zugrunde liegende Grundbelastung zu geben.

Der Einbau der Pfetten und Wandglieder erfolgte mittels besonderer leichter Hilfsausleger, welche über die eingebauten Riegel hinwegreichten.

Aus Bild 8 ist der Montagevorgang zu erkennen. Im Vordergrund sind die drei Stiele schon aufgestellt und durch die Kranbahn und Randpfetten gesichert. Der Riegel des einen Hallenschiffes wird gerade hochgezogen.

Nach dem Einbau der Pfetten wurde dann der Rahmenstoß von Hängerüstungen aus aufgerieben und

vernietet. — Beide Bauvorgänge ermöglichen jeweils im dritten Feld hinter dem Rahmeneinbau schon die Freigabe der Wand- und Dachkonstruktion für andere Bauarbeiten.

Bild 9 zeigt eine Außenansicht der Doppelhalle mit drei für die Außenmauerung fertig ausgerichteten Rahmenfeldern.

Das Gesamtstahlgewicht der Hallen betrug für die Einzelhalle 1490 t, für die Doppelhalle 2445 t.

Zur sicheren Einhaltung der geforderten äußerst knappen Baufristen wurde die Lieferung und Aufstellung unter drei Firmen verteilt, derart, daß die Einzelhalle von einer Firma allein, die Doppelhalle von zwei Firmen gemeinsam geliefert und errichtet wurde.

Die Werkstattarbeiten und die Aufstellungsarbeiten wurden für das Gesamtbauvorhaben in weniger als fünf Monaten durchgeführt, wovon die Aufstellung etwa drei Monate beanspruchte. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die Werkstoffanlieferung bei Beginn der Aufstellung noch nicht restlos erfolgt war. Infolge des auf der Baustelle herrschenden Mangels geschulter Kräfte wurde von den Montageleitern zur glatten Abwicklung des Bauvorganges außerordentliche Umsicht und Energie verlangt.

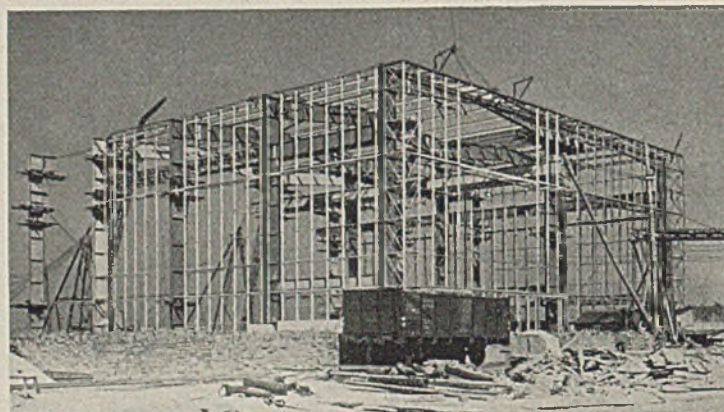


Bild 9. Ansicht der Stahlkonstruktion der Doppelhalle.

Alle Rechte vorbehalten.

Berechnung von Biegeträgern mit axialer Zugkraft.

Von Dr. techn. Felix Cichocki, Dortmund.

Die Ermittlung der Durchbiegungen und Momente eines Trägers, der neben lotrechter Belastung auch durch eine axial wirkende Zugkraft belastet ist, hat in neuerer Zeit erhöhte Bedeutung erlangt. Wie die theoretische Behandlung der Berechnung echter Hängebrücken nach der Theorie zweiter Ordnung ergibt (siehe Timoshenko [1], Stüssi [2], K. H. Lie [3]), läßt sich die Berechnung dieser Tragwerke auf die Berechnung eines Trägers mit axialer Zugkraft unter Berücksichtigung der Verformung zurückführen²⁾.

Die Differentialgleichung für die Durchbiegung eines solchen Trägers mit der Zugkraft H und einer Belastung, die am Biegeträger das Moment \mathfrak{M} hervorruft, lautet bekanntlich

$$(1) \quad EJ_{(x)} \eta'' - H \eta = -\mathfrak{M}.$$

Für konstantes Trägheitsmoment J ist die Lösung nach Melan [4], welcher eine entsprechende Gleichung für das Hängebrückenproblem entwickelt hat,

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \eta = \frac{1}{H} \left(C_1 e^{\omega x} + C_2 e^{-\omega x} + \mathfrak{M} + \frac{\mathfrak{M}''}{\omega^2} + \frac{\mathfrak{M}^{IV}}{\omega^4} + \dots \right) \\ \text{mit } \omega^2 = \frac{H}{EJ}. \end{array} \right.$$

Die Lösung ist vollständig genau, wenn die Belastung derart ist, daß \mathfrak{M}^{IV} oder die höheren Ableitungen verschwinden. Setzt man, wie es hier geschehen soll, nur Einzellasten oder gleichmäßige Streckenlasten voraus, so erhält man mit $\mathfrak{M}'' = -p$ und $\delta = H \eta$ die Lösung

$$(3) \quad \delta = C_1 e^{\omega x} + C_2 e^{-\omega x} + \mathfrak{M} - \frac{p}{\omega^2}.$$

Weist das Moment Unstetigkeitsstellen auf, so ist für jeden Abschnitt eine Lösung nach (3) vorhanden. Statt der Funktionen $e^{\omega x}$ und $e^{-\omega x}$ können auch die hyperbolischen Funktionen verwendet werden. K. H. Lie [3] gibt mit diesen die Lösungen für eine Reihe einfacher Belastungsfälle an.

Träger mit konstantem J werden als Versteifungsträger von Hängebrücken — auch bei einfachen Balken — kaum ausgeführt werden. Besonders aber bei durchlaufendem Versteifungsträger ist über den Stützen eine beträchtliche Erhöhung des J erforderlich, welche auch in der Rechnung berücksichtigt werden muß. Stüssi [2] geht hierzu — im Sinne des von M. Grüning [6] eingeschlagenen Weges — statt von der Differentialgleichung von der entsprechenden Differenzenbeziehung dreier aufeinanderfolgender Punkte aus und löst das entstehende System dreigliedriger Gleichungen. K. H. Lie [3] bestimmt die Biegelinie für veränderliches J auf Grund schrittweiser Näherungen, wobei die Konvergenz durch besondere Maßnahmen erzielt wird.

Bei Trägern großer Länge, wie es bei Versteifungsträgern großer Brücken der Fall ist, wird J auf größere Strecken konstant sein oder durch einen Mittelwert ersetzt werden können. Der Träger besteht dann aus mehreren Abschnitten mit konstantem J . In diesem Fall bietet auch die genaue Lösung keine Schwierigkeiten und ist nicht zeitraubender als andere Verfahren, da, wie im folgenden gezeigt wird, sich die große Zahl der Konstanten auf einfache Weise ermitteln läßt.

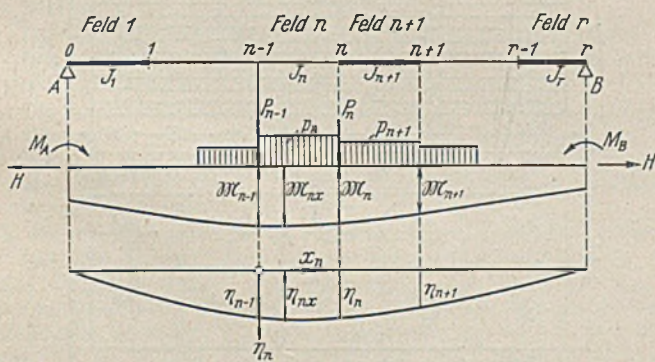


Bild 1.

Nach Bild 1 wird der Träger in r Abschnitte unterteilt, so daß in jedem Abschnitt $J = \text{konstant}$ ist und keine Einzellasten vorhanden sind. Dann ergibt sich für jedes Feld eine Lösung der Differentialgleichung mit zwei Konstanten. Zu deren Berechnung sind zwei Bestimmungen über die Durchbiegung an den Trägerenden, $r-1$ Bedingungen für gleiche Durchbiegungen und $r-1$ Bedingungen für gleiche Tangenten in den Punkten n vorhanden. Diese $2r$ Gleichungen lassen sich aber auf ein dreigliedriges Gleichungssystem mit $r-1$ Gleichungen reduzieren.

Für jedes Feld wird ein Koordinatenanfangspunkt am linken Feldende angenommen. Für jedes Feld ist mit C_{n1} und C_{n2} als Konstanten nach (3)

$$\delta_{nx} = C_{n1} e^{\omega nx} + C_{n2} e^{-\omega nx} + \mathfrak{M}_{nx} - \frac{p}{\omega^2}.$$

¹⁾ Die in eckigen Klammern stehenden Zahlen beziehen sich auf die Schrifttumangaben am Schluß der Arbeit.

²⁾ Über die Berechnung solcher Träger siehe auch die Arbeit von J. Ratzersdorfer [5].

Für Feldanfang und Feldende sind die Durchbiegungen

$$x_n = 0: \quad \delta_{n-1} = C_{n1} + C_{n2} + \mathfrak{M}_{n-1} - \frac{p}{\omega^2}$$

$$x_n = l_n: \quad \delta_n = C_{n1} e^{\omega n l_n} + C_{n2} e^{-\omega n l_n} + \mathfrak{M}_n - \frac{p}{\omega^2}.$$

Rechnet man aus diesen beiden Gleichungen die Konstanten als Funktionen der Durchbiegungen aus, so erhält man

$$C_{n1} = \frac{1}{e^{\omega n l_n} - e^{-\omega n l_n}} \left[-\delta_{n-1} e^{-\omega n l_n} + \delta_n + \frac{p}{\omega^2} (1 - e^{-\omega n l_n}) + \mathfrak{M}_{n-1} e^{-\omega n l_n} - \mathfrak{M}_n \right]$$

$$C_{n2} = \frac{1}{e^{\omega n l_n} - e^{-\omega n l_n}} \left[\delta_{n-1} e^{\omega n l_n} - \delta_n + \frac{p}{\omega^2} (e^{\omega n l_n} - 1) - \mathfrak{M}_{n-1} e^{\omega n l_n} + \mathfrak{M}_n \right],$$

und mit Einführung von $X_n = \delta_n - \mathfrak{M}_n$ als neuer Unbekannten

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} C_{n1} = \frac{1}{e^{\omega n l_n} - e^{-\omega n l_n}} \left[-e^{-\omega n l_n} X_{n-1} + X_n + \frac{p}{\omega^2} (1 - e^{-\omega n l_n}) \right] \\ C_{n2} = \frac{1}{e^{\omega n l_n} - e^{-\omega n l_n}} \left[e^{\omega n l_n} X_{n-1} - X_n + \frac{p}{\omega^2} (e^{\omega n l_n} - 1) \right]. \end{array} \right.$$

Die Bedingung, daß im Punkte n die beiden Äste ohne Knick aneinanderstoßen, lautet:

$$\delta'_n x|_{x=l_n} = \delta'_{n+1} x|_{x=0}.$$

Es ist

$$(5) \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta'_n x|_{x=l_n} = C_{n1} \omega_n e^{\omega n l_n} - C_{n2} \omega_n e^{-\omega n l_n} + \mathfrak{D}_n^l \\ \delta'_{n+1} x|_{x=0} = C_{n+1,1} \omega_{n+1} - C_{n+1,2} \omega_{n+1} + \mathfrak{D}_n^r \end{array} \right.$$

\mathfrak{D}_n^l und \mathfrak{D}_n^r sind die Querkräfte aus der Belastung links und rechts vom Punkte n . Ist im Punkt n eine Einzellast vorhanden, so ist

$$\mathfrak{D}_n^l - \mathfrak{D}_n^r = P_n.$$

Die Gleichsetzung der beiden Ausdrücke (5) mit der Einführung von (4) für C_{n1} und C_{n2} und entsprechend für $C_{n+1,1}$ und $C_{n+1,2}$ liefert nach Vereinfachung das dreigliedrige Gleichungssystem für die Werte X_n :

$$(6) \quad \frac{2 \omega_n}{e^{\omega n l_n} - e^{-\omega n l_n}} X_{n-1} + \left[\frac{\omega_n (e^{\omega n l_n} + e^{-\omega n l_n})}{e^{\omega n l_n} - e^{-\omega n l_n}} + \frac{\omega_{n+1} (e^{\omega_{n+1} l_{n+1}} + e^{-\omega_{n+1} l_{n+1}})}{e^{\omega_{n+1} l_{n+1}} - e^{-\omega_{n+1} l_{n+1}}} \right] X_n - \frac{2 \omega_{n+1}}{e^{\omega_{n+1} l_{n+1}} - e^{-\omega_{n+1} l_{n+1}}} X_{n+1} + \frac{p_n}{\omega_n} \cdot \frac{e^{\omega n l_n} - 1}{e^{\omega n l_n} + 1} + \frac{p_{n+1}}{\omega_{n+1}} \cdot \frac{e^{\omega_{n+1} l_{n+1}} - 1}{e^{\omega_{n+1} l_{n+1}} + 1} + P_n = 0.$$

Die Werte für X_0 und X_r sind bekannt, da die Durchbiegungen und etwa am Trägerende wirkende Momente bekannt sein müssen. Nach der Auflösung der Gl. (6) ergeben sich die C_{n1} und C_{n2} nach (4). Die gesuchte Biegelinie des Trägers ist damit gefunden.

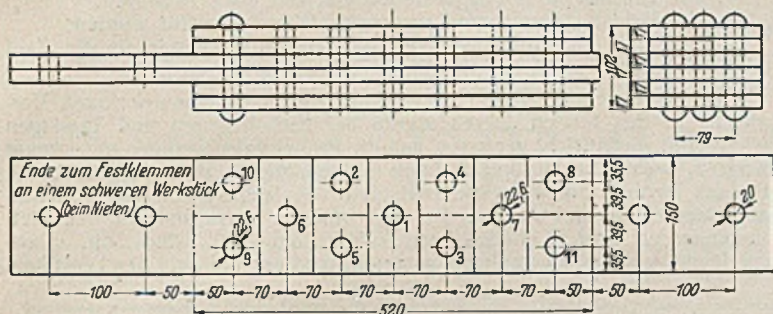
Die Einflußlinie der Durchbiegung eines Punktes n ist in bekannter Art als Biegelinie für $P=1$ in n zu berechnen. Die Momente M ergeben sich aus $M = \mathfrak{M} - H \eta = \mathfrak{M} - \delta$.

Wie K. H. Lie [3] zeigte, ist bei einem Träger auf zwei Stützen mit der axialen Zugkraft H die Einflußlinie des Moments M_n auch gleich der Momentenzustandslinie für $P=1$ in n . Sie kann aber auch aus $[M] = [\mathfrak{M}] - H[\eta]$ ermittelt werden, wobei die $[\]$ Einflußlinien bezeichnen sollen.

Schrifttum.

- [1] S. Timoshenko u. S. Way, Hängebrücken mit durchlaufendem Versteifungstragwerk. I. V. B. H. Abh., II. Bd., 1933/34.
- [2] F. Stüssi, Zur Berechnung verankerter Hängebrücken, I. V. B. H. Abh., IV. Bd., 1936.
- [3] K. H. Lie, Praktische Berechnung von Hängebrücken nach der Theorie II. Ordnung. Diss. T. H. Darmstadt, 1940.
- [4] J. Melan, Der Brückenbau, Handb. d. Ing. Wiss., II. Bd., 5. Abt., 1925.
- [5] J. Ratzersdorfer, Durchgehende Balken mit beliebig vielen Öffnungen, bei Beanspruchung durch längs- und querwirkende Kräfte. Der Eisenbau 1919, S. 93.
- [6] M. Grüning, Der Eisenbau I, 1929.

um so höhere Klemmspannungen entstanden, je hellglühender die Niete aus dem Feuer genommen wurden und je kürzer die Nietzeiten waren. Zur Nachprüfung dieser Feststellungen wurden im Jahre 1936 Versuche mit vier Probekörpern nach Bild 3 durchgeführt. Die Nietlochdurchmesser waren auf 22,6 mm herabgesetzt, um eine gute Lochfüllung zu erreichen.



Die Zahlen neben den Bohrungen geben die Reihenfolge beim Nieten an

Bild 3.

Die Klemmlänge der Niete betrug 102 mm, entsprechend rd. 4,5 d. Zum Schlagen der Niete wurde der 13,4 kg schwere Preßlufthammer von den Versuchen unter A und zum Gegenhalten ein 11,15 kg schwerer Preßluftgegenhalter verwendet. Beim Nieten wurden gemäß der folgenden Aufstellung Unterschiede in der Art des Nietfeuers, der Glühfarbe der Niete und der Nietzeit gemacht.

Probekörper	A	B	C	D
	Koksfeuer	Erwärmen der Niete in einem Holzkohlenfeuer		
Glühfarbe der Niete bei Beginn des Nietens ⁹⁾	am Schaftende beinahe weiß	am Schaftende beinahe weiß	am Schaftende beinahe weiß	am Schaftende gelbbrot
Nietzeit	10 sek	40 sek	10 bis 11 sek	11 bis 12 sek

Es war vorgesehen, alle Niete im Koksfeuer zu erwärmen. Beim Einbringen der Niete in die Nietlöcher des Probekörpers A wurde jedoch der zähe Zunder, der an den Nietschäften haftete, an die Übergänge zu den Setzköpfen geschoben, so daß die Setzköpfe der geschlagenen Niete nicht satt anlagen. Der Zunder konnte auch durch kräftiges Bürsten und Abklopfen nicht entfernt werden. Die Niete der Probekörper B, C und D wurden deshalb im Holzkohlenfeuer erwärmt, wodurch das Übel beseitigt war. Nietlöcher mit 22,6 mm Durchm. sind offenbar zu eng, wenn die Rohniete nach DIN 124 im Koksfeuer erwärmt werden.

Aus den Versuchsergebnissen sei folgendes hervorgehoben:

1. Die im Mittel höchsten Klemmspannungen wurden an dem Probekörper C gefunden, also bei hohen Niettemperaturen und kurzen Nietzeiten.
2. Die Klemmspannungen des Probekörpers B mit hohen Niettemperaturen und langen Nietzeiten waren im Mittel um ein Viertel niedriger als die Klemmspannungen im Probekörper C.
3. Die niedrigsten und ungleichmäßigsten Klemmspannungen entstanden am Probekörper D mit niedriger Niettemperatur und kurzer Nietzeit. Sie waren im Mittel um mehr als ein Drittel niedriger als beim Probekörper C; bei zwei Nieten entstanden überhaupt keine Klemmspannungen.
4. Die Lochfüllungen der im Holzkohlenfeuer erwärmten Niete waren trotz der kleinen Nietlochdurchmesser nicht befriedigend.

Die Versuche haben also hinsichtlich des Einflusses der Niettemperaturen und der Nietzeiten auf die Klemmspannungen die früheren Feststellungen bestätigt. Die mittleren Klemmspannungen sind aber in keinem Fall so niedrig geworden wie bei den Verfahren II, III und V bei den Versuchen unter A.

C. Versuche vom Jahre 1938. Bei den letzten Versuchen wurden drei Probekörper geprüft, deren Niete ohne Vorstauchen mit Nietzeiten von 6 bis 7, 11 und 18 sek eingezogen wurden. Zum Schlagen der Niete

⁹⁾ Bei den Versuchen, über die hier berichtet wird, dienten die Glühfarben der Niete als Maßstab für die Niettemperaturen. Dieses Verfahren ist angängig, wenn wie bei diesen Versuchen dafür gesorgt wird, daß an den Arbeitsstellen annähernd die gleiche Lichtstärke vorhanden ist. Für die Versuche unter B wurde ein Zelt aus Wagenplanen aufgebaut, weil die Niettemperaturen auch mit einer verlaufenden Grauscheibe mit Blaufiltervorsatz (Pyroversum) gemessen wurden. Bei den Versuchen unter A und C wurden alle Nietungen in Brückenbauwerkstätten mit Oberlicht ausgeführt. Bei Ausführung der Nietarbeiten an genieteten Stahlbauten sind die Lichtstärken an den Arbeitsstellen sehr verschieden. Das eine Mal wird z. B. bei einbrechender Dämmerung in den Brückenbauwerkstätten, das andere Mal bei Sonnenschein an der Baustelle genietet. Bei so verschiedenen Lichtstärken sind die Niettemperaturen bei gleicher Glühfarbe der Niete sehr verschieden. Für die Warmverformbarkeit der Niete sind aber die Niettemperaturen maßgebend und nicht die Glühfarben. Bei der Anwendung der Versuchsergebnisse auf praktische Fälle ist daher der Einfluß der Lichtstärke zu beachten.

wurde der 13,4 kg schwere Preßlufthammer von den Versuchen unter A verwendet. Bei einem vierten Probekörper wurden die Niete während rd. 1 sek mit dem Preßluftstauchhammer vorgestaucht und anschließend während 8 bis 10 sek mit dem 13,4 kg schweren Preßlufthammer fertiggenietet. Beim fünften Probekörper wurden die Niete nur mit dem Stauchhammer 2 sek lang gestaucht. Die Probekörper hatten, abgesehen von den Nietlochdurchmessern, die Abmessungen nach Bild 3; die Durchmesser der Nietlöcher waren auf 22,7 mm erhöht worden. Trotzdem setzte sich bei einem Teil der Niete der zähe Zunder, der beim Einbringen der im offenen Koksfeuer erwärmten Niete vom Nietschaft abgestreift wurde, wieder am Übergang vom Nietschaft zum Setzkopf fest und verhinderte dadurch das satte Anliegen der Setzköpfe. Der Schaftdurchmesser der Rohniete betrug am Setzkopf 22,1 bis 22,2 mm, am Schaftende 21,4 bis 21,5 mm. Die Niete waren bei der Entnahme aus dem Feuer am Setzkopf gelbweißglühend und am Schaftende weißglühend. Zum Gegenhalten wurde eine rd. 19 kg schwere Drehwinde verwendet.

Die Klemmspannungen wurden bei 6 bis 7 sek Nietzeit am größten und am gleichmäßigsten; sie betragen im Mittel 27,9 kg/mm². Bei 11 und 18 sek Nietzeit entstanden weniger gleichmäßige Klemmspannungen; die Mittelwerte (26,0 und 26,2 kg/mm²) sind jedoch nur wenig niedriger als bei 6 bis 7 sek Nietzeit. Die Klemmspannungen der mit dem Stauchhammer vorgestauchten Niete sind sehr ungleichmäßig (4,8 bis 34,5 kg/mm²) ausgefallen; auch war der Mittelwert (19,7 kg/mm²) wesentlich niedriger als bei den drei anderen Probekörpern.

Die Lochfüllung ist bei den nicht vorgestauchten Niete mit 18 sek Nietzeit am besten und ganz zufriedenstellend ausgefallen. Der Unterschied zwischen den Durchmessern der Nietschäfte und Nietlöcher betrug im Mittel aus drei Versuchen etwa 0,20 bis 0,25 mm. Dann folgten die Niete mit 11 sek Nietzeit. Am schlechtesten war die Lochfüllung der nicht vorgestauchten Niete mit 6 bis 7 sek Nietzeit; hier betrug die Unterschiede zwischen Nietschaft und Nietloch 0,22 bis 0,34 mm. Die Lochfüllung der mit dem Stauchhammer vorgestauchten Niete lag etwa in der Mitte zwischen den Lochfüllungen der nicht vorgestauchten Niete mit 11 und 18 sek Nietzeit. Die Lochfüllung der nur mit dem Stauchhammer vorgestauchten und nicht fertiggenieteten Niete war noch etwa 0,1 mm schlechter als die Lochfüllung der nicht vorgestauchten Niete mit 6 bis 7 sek Nietzeit.

D. Schlußfolgerungen. Die Versuche haben gezeigt, daß es mit Preßluftammernietung möglich ist, bei Klemmlängen bis etwa 4,5 d mit Niete aus St 44 gute Lochfüllungen und zufriedenstellende Klemmspannungen zu erreichen. Voraussetzung ist, daß bei rd. 23 mm Nietlochdurchmesser zwischen den Durchmessern d der Rohniete, vgl. DIN 124, und den Nietlochdurchmessern ein Unterschied von etwa 0,6 mm vorhanden ist, daß die Niete bei der Entnahme aus dem Feuer über die ganze Schaftlänge nahezu weißglühend sind und sofort geschlagen werden und daß die Nietzeit 10 bis 18 sek beträgt. Allerdings besteht bei so kleinen Unterschieden zwischen Rohniet- und Nietlochdurchmessern die Gefahr, daß die Setzköpfe wegen des abgestreiften Glühzunders nicht zum Anliegen kommen.

Die Bedeutung des Gewichts der Preßluftämmer und der Bauart der Gegenhalter ist noch festzustellen. Auch wäre zu untersuchen, ob bei den Nietverfahren II, III und V bei Anwendung kürzerer Nietzeiten und höherer Niettemperaturen höhere Klemmspannungen entstehen. Mit dem Stauchhammer ist die Lochfüllung unter sonst gleichen Umständen nur wenig verbessert worden.

Bei Klemmlängen von etwa 8 d kann zunächst nur die Verwendung von gedrehten Niete mit geringem Spiel zwischen Nietschaft und Nietloch empfohlen werden. Bei diesen Versuchen haben zylindrische Niete mit 0,5 mm Unterschied zwischen Nietschaft- und Nietlochdurchmesser zufriedenstellende Ergebnisse geliefert. Fritz Munzinger, Stuttgart.

Über Dauerversuche mit Nietverbindungen. Seit 1933 sind im Auftrag des Deutschen Ausschusses für Stahlbau im Institut für die Materialprüfungen des Bauwesens in Stuttgart Wechselbelastungsversuche und Schwellzugversuche mit großen Nietverbindungen aus St 52 im Gang. Zuerst sind zwei- und dreireihige Verbindungen¹⁾ mit $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 0,8$ geprüft worden²⁾. Dann wurden zweireihige Verbindungen mit $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,5 : 0,8$ und $1,0 : 2,5 : 0,8$ untersucht³⁾. Zuletzt wurden Versuche mit zweireihigen Verbindungen, bei denen das Verhältnis $\sigma : \tau$ verschieden war, durchgeführt. Über diese letzten Versuche hat O. Graf vor kurzem berichtet⁴⁾.

Die Bauart und die Abmessungen der Verbindungen sind in den Bildern 1 bis 3 wiedergegeben. Es betrug

bei den Verbindungen	das Verhältnis $\sigma : \sigma_1 : \tau$
der Reihe 6 nach Bild 1	1,0 : 1,9 : 0,6,
der Reihen 2 a ₀ und 2 a ₄ nach Bild 2	1,0 : 1,9 : 0,8,
der Reihe 7 nach Bild 3	1,0 : 1,9 : 1,0.

¹⁾ Hier und im folgenden werden Verbindungen als zwei-, drei- oder mehrreihig bezeichnet, wenn die Niete in 2, 3 oder mehr Reihen quer zur Krafrichtung angeordnet sind.

²⁾ Vgl. O. Graf, Dauerversuche mit Nietverbindungen, Heft 5 der Berichte des Ausschusses für Versuche im Stahlbau, Ausgabe B, S. 42ff.

³⁾ Vgl. O. Graf, Stahlbau 1936, S. 185ff. sowie Heft 12 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, S. 2ff.

⁴⁾ Vgl. O. Graf, Versuche mit Nietverbindungen, Heft 12 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, S. 9ff.

Bei den Verbindungen der Reihen 2 a₁, 6 und 7 war an der Stoßfuge ein Spalt von 4 mm vorgesehen, während bei den Verbindungen der Reihe 2 a₀ die Stirnflächen der Mittelbleche planparallel bearbeitet waren und ohne Zwischenraum gegeneinanderstießen.

Bei der Herstellung der Verbindungen im Institut für die Materialprüfungen des Bauwesens in Stuttgart sind die Vorschriften der Deutschen Reichsbahn beachtet worden. Die Nietlöcher wurden aufgerieben. Die Berührungsflächen der Mittelbleche und Laschen wurden vor dem Zusammenfügen sorgfältig entfettet.

Zwei bis vier Verbindungen jeder Versuchsreihe wurden oftmaligem Wechsel zwischen gleich großen Zug- und Druckkräften unterworfen. Außerdem wurden je zwei Verbindungen der Reihe 6 mit $\sigma : \tau = 1,0 : 0,6$ und der Reihe 7 mit $\sigma : \tau = 1,0 : 1,0$ durch Dauerschwellzugversuche mit einer Unterzugspannung $\sigma_{zu} = 0,5 \text{ kg/mm}^2$ geprüft. Die Zahl der Lastspiele in der Minute betrug bei den Versuchen mit Wechselbelastung $n = \text{rd. } 100$, bei den Dauerschwellzugversuchen $n = \text{rd. } 170$.

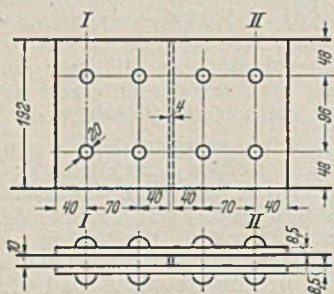


Bild 1 Nietverbindungen der Reihe 6. $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 0,6$.

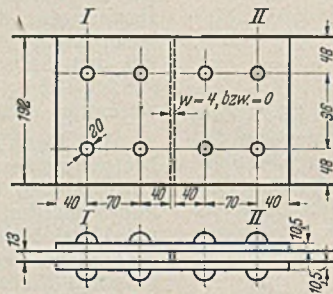


Bild 2. Nietverbindungen der Reihen 2 a₁ ($w = 4 \text{ mm}$) und 2 a₀ ($w = 0 \text{ mm}$). $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 0,8$.

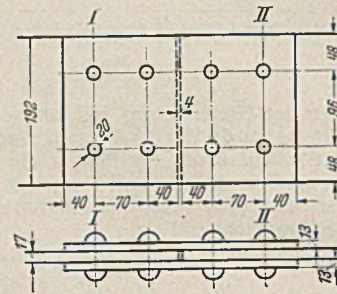


Bild 3. Nietverbindungen der Reihe 7. $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 1,0$.

von 60 Jahren⁹⁾ voraussetzt, kommen bei insgesamt 500 000 Lastspielen im Durchschnitt rd. 23 Züge auf den Tag.

Schadenfälle an genieteten Brücken aus St 52 sind jedoch bis jetzt nicht bekannt geworden. Diese gute Erfahrung kann u. a. durch folgendes begründet sein:

1. die Brücken aus St 52 bestehen erst seit etwa 10 Jahren;
2. die Belastungsannahmen sind weitreichend gewählt worden;
3. die Zahl der Vollbelastungen ist wesentlich kleiner als die Zahl der Züge¹⁰⁾.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse gestatten einen weiteren Vergleich. In den letzten Jahren wurde bei Fachsitzungen und Tagungen wiederholt die Ansicht vertreten, daß die Probekörper weniger angestrengt würden, wenn die Lastspiele durch schnelllaufende Pulsationsmaschinen erzeugt werden, als wenn die Lastspiele mit langsamlaufenden „Steuerapparaten“ gesteuert werden. Bei den früheren Versuchen mit den Nietverbindungen GH 52. 1–2,4 und GH 52. 3,6–7¹¹⁾ sind die Lastspiele mit einem Steuerapparat gesteuert worden; die Zahl der Lastspiele

Die Schwingweite S, die 500 000 mal ertragen wurde, ergab sich

bei den Verbindungen	bei Wechselbelastung zwischen gleich großen Zug- und Druckkräften	bei Dauerschwellzugbelastung mit $\sigma_{zu} = 0,5 \text{ kg/mm}^2$
nach Bild 1 mit $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 0,6$	zu 23	21,5 kg/mm ² ,
nach Bild 2 mit $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 0,8$	{ mit $w = 4 \text{ mm}$ zu 24,5 mit $w = 0 \text{ mm}$ zu 23,5	— kg/mm ² , — kg/mm ² ,
nach Bild 3 mit $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 1,0$	zu 24	18,5 kg/mm ² .

Bei allen Verbindungen sind die Mittelbleche im Nietlochquerschnitt einer äußeren Nietreihe gebrochen. An den Verbindungen der Reihe 7 mit $\sigma : \tau = 1,0 : 1,0$ sind bei Wechselbelastung außerdem Niete gebrochen. Durch Ermäßigung der Scherspannung τ der Niete vom 1,0fachen auf das 0,6fache der Zugspannungen σ der Bleche ist demnach die Schwingweite S bei Wechselbelastung annähernd gleich geblieben und bei Schwellzugbelastung rd. $\frac{1}{5}$ größer geworden⁹⁾.

Nach den Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken der Deutschen Reichsbahn (BE 1936) dürfen die Scherspannungen τ der Niete das 0,8fache und der Lochleibungsdruck σ_1 das 2,0fache der zulässigen Zugspannungen σ der Bleche nicht überschreiten. Die Dauerfestigkeit der vorschriftsmäßig bemessenen Nietverbindungen mit $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1,0 : 1,9 : 0,8$ für 500 000 Lastspiele wurde bei Wechselbelastung zu $\pm 11,75 \text{ kg/mm}^2$, bei reiner Schwellzugbelastung (Ursprungsbelastung) zu $17,5 \text{ kg/mm}^2$ ⁶⁾ ermittelt.

Nach den Vorschriften der Deutschen Reichsbahn (BE) sind, wenn nur die Hauptkräfte berücksichtigt werden, zulässig:

Für Wechselbelastung bei starkem Verkehr ⁷⁾	10,8 kg/mm ² ,
bei schwachem Verkehr ⁸⁾	14,0 kg/mm ² ,
für reine Schwellzugbelastung bei starkem Verkehr ⁷⁾	18,0 kg/mm ² ,
bei schwachem Verkehr ⁸⁾	21,0 kg/mm ² .

Die ermittelten Dauerfestigkeiten für 500 000 Lastspiele liegen bei Wechselbelastung nur wenig oberhalb und bei reiner Schwellzugbelastung knapp unterhalb der zulässigen Spannungen für starken Verkehr mit mehr als 25 Zügen im Tag. Wenn man eine mittlere Lebensdauer der Brücken

⁵⁾ Bei diesen Vergleichen ist zu beachten, daß auch die Rauigkeit der Blechoberflächen eine Rolle spielte. Die Rauigkeit wurde nicht gemessen; sie war aber dem Aussehen nach bei den Blechen mit verschiedener Dicke deutlich verschieden.

⁶⁾ Vgl. O. Graf, Dauerversuche mit Nietverbindungen. Berichte des Ausschusses für Versuche im Stahlbau, Ausgabe B, Heft 5, S. 47.

⁷⁾ Mehr als 25 Züge im Tag.

⁸⁾ Bis 25 Züge im Tag.

in der Minute betrug $n = 8$ bis 16. Bei den Versuchen mit den Verbindungen 4–5,1 und 4–5,2¹²⁾ wurden dagegen die Lastspiele mit einer Pulsationsmaschine erzeugt. Alle vier Verbindungen sind aber aus Werkstoffen der gleichen Lieferung in gleicher Weise hergestellt worden.

Die Wechselbelastungsversuche mit den Verbindungen haben folgendes ergeben:

Versuchsdurchführung	Zahl der Lastspiele in der Minute	Bezeichnung der Nietverbindungen	Zug- und Druckspannung σ der Bleche kg/mm ²	Zahl der Lastspiele bis zum Bruch
Mit Steuerapparat	8 bis 16	GH 52. 1–2,4	15,0	220 090
		GH 52. 3,6–7	14,0	483 347
Mit Pulsationsmaschine	rd. 100	4–5,1	15,0	245 200
		4–5,2	14,0	246 200

Die Widerstandsfähigkeit der Verbindungen war demnach bei „Steuerbetrieb“ mit $n = 8$ bis 16 Lastspielen in der Minute und bei „Pulsationsbetrieb“ mit $n = \text{rd. } 100$ Lastspielen in der Minute annähernd gleich; bei „Pulsationsbetrieb“ eher kleiner als größer¹³⁾.

Fritz Munziger, Stuttgart.

⁹⁾ Vgl. K. Klöppel, Beitrag zur Frage der Unterhaltungskosten von Stahlbauwerken. Diss. 1934; Technische Hochschule Breslau.

¹⁰⁾ Der Einfluß von oftmals wiederholten Belastungen, die kleiner sind als die Vollbelastungen, auf die Lebensdauer von größeren Bauteilen muß noch erkundet werden. Versuche mit kleinen Probestäben liegen vor; vgl. z. B. K. Daevs, E. Gerold und E. H. Schulz, St. u. E. 1940, S. 100ff. E. Gäbner, Luftwiss. Bd. 6 (1939), S. 61ff.

¹¹⁾ Vgl. O. Graf, Heft 5 der Berichte des Ausschusses für Versuche im Stahlbau, S. 42/43, Zusammenstellung 6.

¹²⁾ Vgl. O. Graf, Heft 12 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, S. 12.

¹³⁾ Vgl. auch O. Graf, Versuche über den Einfluß der Zahl der minutlich auftretenden Lastwechsel auf die Ursprungszugfestigkeit von Nietverbindungen. Stahlbau 1936, S. 48.

INHALT: Stahlkonstruktion für Großschmiedehallen. — Berechnung von Biegeträgern mit axialer Zugkraft. — Verschiedenes: Versuche zur Feststellung der Klemmspannungen und der Lochfüllung mit Nieten aus St 44. — Über Dauerversuche mit Nietverbindungen.

Verantwortlich für den Inhalt: Professor Dr.-Ing. K. Klöppel, Darmstadt.
Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin W 9.
Druck: Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.