DER STAHLBAU

Schriftwaltung:
Professor Dr.=3mg. 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

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

Fachschrift für das gesamte Bauingenleurwesen

14. Jahrgang

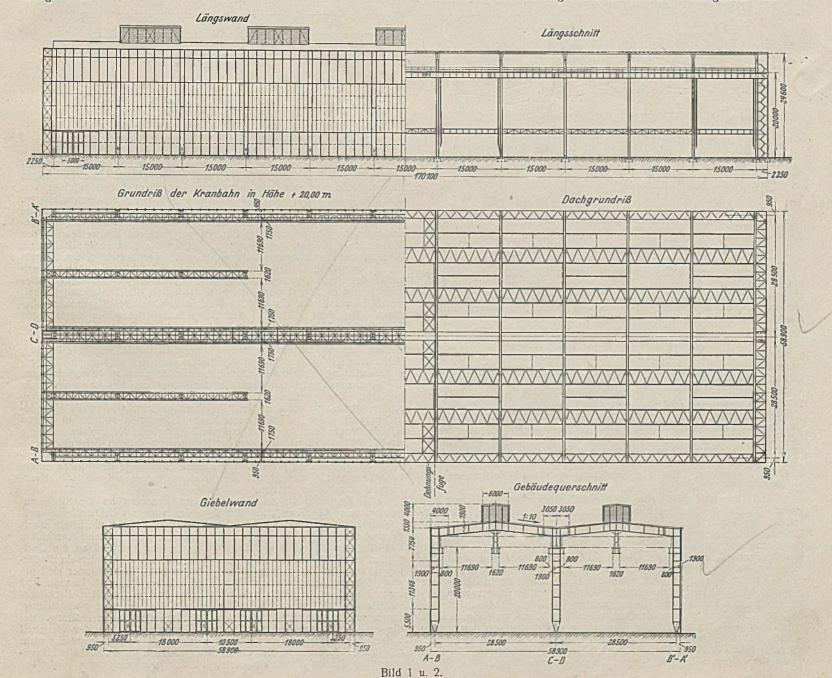
BERLIN, 7. November 1941

Heft 23/24

Stahlkonstruktion für Großschmiedehallen.

Von Dr.=Ing. Heinz Frobenius.

Ein bemerkenswertes Ingenieurbauwerk dürften die nachfolgend beschriebenen Werkshallen und ihr Herstellungsvorgang darstellen. Durch thre 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 (Bild1 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 untretenden bewiichen Aufgeben in einzugelfseite Weisersecht wird. auftretenden baulichen Aufgaben in einwandfreier Weise gerecht wird.

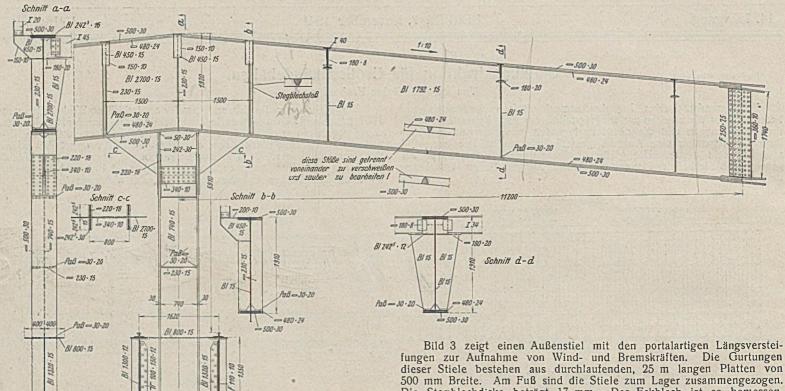


Die Entscheidung fiel zugunsten einer vollwandigen Rahmenkonstruktion aus, nachdem Überschlagsberechnungen ergaben, daß für die zu überbauenden Räume bei Anwendung der Schweißung gegenüber einer Fachwerkskonstruktion nur ein geringer Stahlgewichtsunterschied bestand und bei der Vollwandkonstruktion ein den Ausmaßen des Baues angepaßtes geschlossenes Raumbild erzielt wurde. Auch blieben die infolge nicht sehr günstigen Baugrundes bei Setzungen der Fundamente zu erwartender Setzungen bei dem gewählten Sustant zu er und geringen. den Spannungserhöhungen bei dem gewählten System nur in geringen und unbedenklichen Grenzen.

Gewählt wurde als Grundsystem der Binderrahmen ein dreistieliger Gelenkrahmen, wobei für die vorläufig einschiffige Halle der Zweigelenkrahmen als statisches System der Berechnung zugrunde gelegt wurde. Für die Berechnung waren die Bestimmungen für den Hoch- und Kranbau maßgebend. Jedoch wurde mit Rücksicht auf die Abmessungen und Lasten in bezug auf die bauliche Ausbildung nach den im Brückenbau maßgebenden Gesichtspunkten der Reichsbahnvorschriften gearbeitet. Rings um die Hallen ist ein durchlaufendes 11,4 m hohes Lichtband mit kittloser Verglasung vorgesehen, welches in 5,5 m Höhe über dem Boden beginnt. Die Scheibenbreite beträgt 1 m. Nur an den Rahmenstielen ist das Lichtband durch etwa 1 m breite hochgemauerte Felder unterbrochen. Für gute Beleuchtung des Innenraumes ist somit in besonderem Maße Sorge getragen, zugleich ist eine straffe Gliederung unterbrochen. Für gute Beleuchtung des Innenraumes ist sollen. in besonderem Maße Sorge getragen, zugleich ist eine straffe Gliederung der Längswände erreicht.

der Längswände erreicht.

Die bauliche Durchbildung der geschweißten Konstruktionsglieder, welche alltägliche Abmessungen überschreiten, bot dem gestaltenden Ingenieur manche interessante Aufgabe. Insbesondere sind bei der Ausbildung der geschweißten Rahmen die neuesten Erfahrungen auf dem Gebiete des Schweißens beachtet worden. Bei dem verwendeten Baustoff St 37 in SM-Qualität bestanden keine Bedenken, sehr lange Platten und auch Dicken bis zu 50 mm zu verwenden. Zur Verhinderung von Kerbwirkungen sind in den Zuggurten Quernähte vermieden, und die eingebauten Aussteifungen wurden mittels besonderer Paßstücke verkeilt.



Als bewegliche Belastungen sind auf einer Längshälfte des Baues je Als bewegliche Belastungen sind auf einer Langshaftet des Baues je Schiff drei Krane vorgesehen. In der anderen Hälfte wird die Kranstützweite durch eine an den Rahmen angehängte Kranbahn unterteilt, wodurch diese Rahmen zusätzlich belastet werden; in diesem Teil ist nur ein Kran je Kranbahn vorgesehen.

Die Rahmenentfernung ist zu 15 m gewählt, so daß zwölf Rahmen in der Länge der Halle angeordnet sind. Die Giebelwände sind 2,55 m

== 500·15 d Bild 4.

= 500-15

vor den Endrahmen angeordnet. Die Kranschienen-Oberkante liegt 20 m über dem Fußboden. Damit ergibt sich unter Berücksichtigung eines Lichtraumprofils für die Krane von 2,70 m sowie bei einer Dachneigung von 1:10 und 1900 mm Bauhöhe des Rahmenbinders die Höhe des Firstpunktes des Rahmens zu rd. 26 m.

Die ürsprüngliche Eindeckung der Hallen war in Bimsbetondielen gesehen. Zur Verminderung des Eigengewichts des Daches wurde vorgesehen. Zur Verminderung des Eigengewichts des Daches wurde bei der Ausführung ein Doppelpappdach aut Holzschalung und Sparren angeordnet, wodurch eine Stahlersparnis erzielt wurde.

In jedem zweiten Feld sind 4 m hohe Oberlichtaufbauten von 6.12 m angeordnet. Für die Entlüftung wurden Holzjalousien einschaut

gebaut.

Die Hallen sind durch eine in der Mitte angeordnete Dehnungsfuge Die Hallen sind durch eine in der Mitte angeordnete Dehnungsfuge unterteilt, um die Temperaturausdehnungen zu ermöglichen. Zur Ableitung der Windkräfte sind in 5,5 und 16,9 m Höhe waagerecht umlaufende Windverbände an den Wänden angeordnet. Außerdem sind in der Dachebene an den Außenfeldern und seitlich der Laternenaufbauten durchlaufende Verbände vorgesehen. In den vier Ecken sind senkrechte Eckverbände eingebaut, die vor allem den Zweck haben, die Wandstiele bei der Aufstellung zu sichern. Bei der Doppelhalle ist in 5,5 m Höhe zwischen den mittleren Rahmenstielen ein senkrechter Längsverband angeordnet, um die auf Druck beanspruchten Stiele gegen Ausknicken zu sichern. Die in der Längsrichtung wirkenden Wind- und Bremskräfte werden in jeder Hallenhälfte in den beiden Endfeldern von den beiden letzten Rahmen übernommen, welche zu diesem Zweck zu stockwerkletzten Rahmen übernommen, welche zu diesem Zweck zu stockwerkrahmenartigen Vollwand-Portalen verbunden sind und deren Riegel in Höhe der angeordneten Wind- bzw. Bremsverbände liegen.

500 mm Breite. Am Fuß sind die Stiele zum Lager zusammengezogen. Die Stegblechdicke beträgt 17 mm. Das Eckblech ist so bemessen, daß die aus den Eckmomenten sich ergebenden Gurtkräfte gut angeschlossen werden können. Im Bereich der Rahmen, bei welchen in der Mitte eine Kranbahn angehängt ist, beträgt die Dicke des Eckbleches 30 mm, bei den übrigen Rahmen 25 mm. Der Anschluß des Riegels ist so ausgebildet, daß die Riegelgurtungen bis zur äußeren Gurtplatte der Stiele durchgeführt werden. Die Lage des Baustellenstoßes zwischen dem Riegel und dem Stiel ist durch die Verlademöglichkeit des Stieles mit der einseitig im Werk angeschweißten Rahmenecke bedingt. Bei dem Mittelstiel der Doppelhalle, der einen zweiseitigen Riegelanschluß hat, wurde der zweite Anschluß erst auf der Baustelle an den Stiel angeschweißt. Da diese Verbindung aber vor dem Aufrichten des Mittelstieles am Boden hergestellt wurde, war gute Zugänglichkeit zu den Schweißstellen gesichert. Auch ließ sich durch Röntgendurchleuchtung bequem die Nachprüfung der Schweißnähte bewerkstelligen.

Alle sonstigen Baustellenstöße der Riegel und Kranbahnen wurden genietet. Die genieteten Vollstöße der Binderriegel bei den Außenstielen wurden so nahe an den Stiel herangerückt, wie es die Verlademöglichkeit unter Aufwand besonderer Maßnahmen zuließ. In diesen Stößen wurde ein Spiel von einigen Millimetern vorgesehen, um die durch das mögliche Verziehen der Rahmenecken beim Schweißen entstehenden Neigungsabweichungen der Binderriegel ohne besondere Nacharbeit ausgleichen zu können. Die genaue Höhenlage des Firstes mußte besonders mit Rücksicht auf die an den Bindern aufgehängten Kranbahnen eingehalten werden bahnen eingehalten werden.

Die Kranbahn ist mittels verdeckter Konsolen an die Stiele angeschlossen. Die Zugplatten der Konsolen sind als Schlitzbleche ausgebildet, die vor dem Anschweißen der Ecken über die Stiele übergeschoben wurden. Es ergaben sich dadurch auch einfache Anschlüsse der Bremsverbände. In der Zugzone wurde der Anschluß an die Gurtplatten der Stiele mittels Paßstücken hergestellt. In Bild 4 ist ein Binderriegel mit der Kranbahnaufhängung dargestellt. Diese Binder sind die am stärksten beanspruchten. Ihre Stegblechdicke beträgt 15 mm, und am starksten beanspruchten. Inre Stegolechdicke beträgt 15 mm, und ihre Gurtungen bestehen aus zwei zusammengeschweißten Breitflachstählen von 500 · 30 mm und 500 · 24 mm. Diese Ausbildung war bedingt durch unerwartete Schwierigkeiten bei der Werkstoffbeschaffung. Bei diesen Riegeln war der Anschluß der Kranbahnstiele in der Werkstatt wegen der Einhaltung der Lichtraummaße bei der Verfrachtung nicht möglich. Daher wurde hier ein Stoß angeordnet, derart, daß die Hängestange an das im Riegel eingesetzte Firstblech angeschlossen wird. Die in der Binderebene wirkenden Kräfte und Momente aus ungleichen Kranlasten und Seitenstößen werden durch biegungsfesten 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.



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 nm 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 Anschlußlanschen des Untergurtes und die Stege wurden im Anschluß aufgerieben und angenietet. 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.

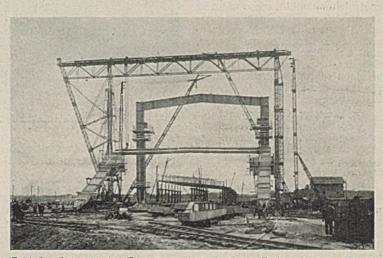
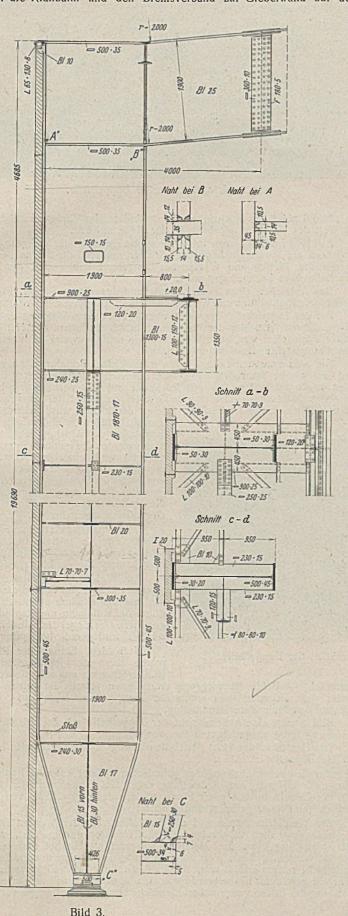


Bild 6. Rahmen der Einzelhalle während des Ziehens. Sofort nach dem Aufrichten werden die Verbindungsteile mit dem Nachbarrahmen mittels der zwei Derricks eingebaut.

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 herabreichten, mußte hier eine besondere Maßnahme getroffen werden, weil die Wagen nicht miteinander gekuppelt werden konnten.



dort angeordneten Kopfverband geleitet. Da für diese Wirkungsweise das Firstblech eigentlich wie eine Blattfeder wirken soll, ist von einem biegungsfesten 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.

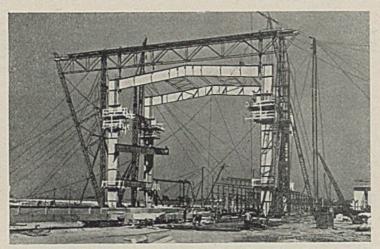


Bild 7. Rahmen hochgezogen, noch im Portalkran hångend.

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 Maschinen-Fundamente 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 Zeitersparnis 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.

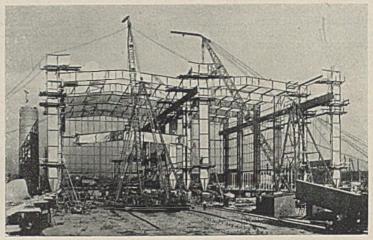


Bild 8. Längsblick in die Doppelhalle.

Bild 6 zeigt das Hochziehen eines Binders. Im Vordergrund ist noch ein Teil des Fundamentaushubs 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 Fundamentaushub 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 auf-

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 ermöglichen jeweils im dritten Feld die Freigabe der Wand- und Dach-

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 Ausmauerung 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 Krätte wurde von den Montageleitern zur glatten Abwicklung des Bauvorgangs außerordentliche Umsicht und Energie verlangt.

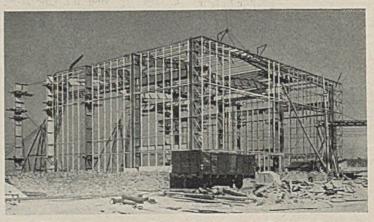


Bild 9. Ansicht der Stahlkonstruktion der Doppelhalle.

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]¹), 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 M

hervorruft, lautet bekanntlich

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

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

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

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) $\delta = C_1 e^{\omega x} + C_2 e^{-\omega x} + \mathfrak{M} - \frac{p}{\omega^2}.$ Weitzt des Marratt Hantstielsistet blasses in der Abstacht.

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

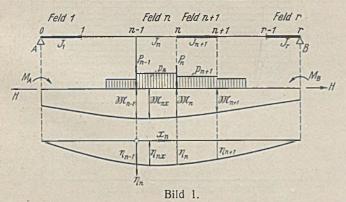
Weist das Moment Unstetigkeitsstellen auf, so ist für jeden Abschnitt

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 erwittele läßet.

andere Verfahren, da, wie im folgenden gezeigt wird, sich die große Zahl der Konstanten auf einfache Weise ermitteln läßt.



Nach Bild I wird der Träger in r Abschnitte unterteilt, so daß in jedem Abschnitt J= 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 $C_{n\,1}$ und $C_{n\,2}$ als Konstanten nach (3)

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

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

$$\begin{aligned} x_n &= 0: \quad \delta_{n-1} = C_{n1} + C_{n2} + \mathfrak{M}_{n-1} - \frac{p_n}{\omega_n^2} \\ x_n &= l_n: \quad \delta_n = C_{n1} e^{\omega_n t n} + C_{n2} e^{-\omega_n t n} + \mathfrak{M}_n - \frac{p_n}{\omega_n^2} \end{aligned}$$

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

$$\begin{split} C_{n1} &= \frac{1}{e^{\omega_n t n} - e^{-\omega_n t n}} \left[-\delta_{n-1} \, e^{-\omega_n t n} + \delta_n + \frac{p_n}{\omega_n^2} \left(1 - e^{-\omega_n t n} \right) \right. \\ &\qquad \qquad + \mathfrak{M}_{n-1} \, e^{-\omega_n t n} - \mathfrak{M}_n \bigg] \\ C_{n2} &= \frac{1}{e^{\omega_n t n} - e^{-\omega_n t n}} \left[\delta_{n-1} \, e^{\omega_n t n} - \delta_n + \frac{p_n}{\omega_n^2} \left(e^{\omega_n t n} - 1 \right) \right. \\ &\qquad \qquad - \mathfrak{M}_{n-1} \, e^{\omega_n t n} + \mathfrak{M}_n \bigg], \end{split}$$

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

$$(4) \begin{bmatrix} C_{n1} = \frac{1}{e^{\omega_n \ln_n} - e^{-\omega_n \ln_n}} \left[-c^{-\omega_n \ln_n} X_{n-1} + X_n + \frac{p_n}{\omega_n^2} (1 - e^{-\omega_n \ln_n}) \right] \\ C_{n2} = \frac{1}{e^{\omega_n \ln_n} - e^{-\omega_n \ln_n}} \left[e^{\omega_n \ln_n} X_{n-1} - X_n + \frac{p_n}{\omega_n^2} (e^{\omega_n \ln_n} - 1) \right].$$

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

$$\delta'_{nx}|_{x=1} = \delta'_{n+1,x}|_{x=0}$$

(5)
$$\begin{cases} \delta'_{nx}|_{x=l} = C_{n1} \omega_n e^{\omega_n ln} - C_{n2} \omega_n e^{-\omega_n ln} + \mathfrak{D}_n^l \\ \delta'_{n+1,x}|_{x=0} = C_{n+1,1} \omega_{n+1} - C_{n+1,2} \omega_{n+1} + \mathfrak{D}_n^l \end{cases}$$

 \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

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

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

(6)
$$-\frac{2\omega_n}{e^{\omega_n l n} - e^{-\omega_n l n}} \cdot X_{n-1}$$

$$+ \left[\frac{\omega_n \left(e^{(\omega_n l n} + e^{-(\omega_n l n)} \right)}{e^{(\omega_n l n} - e^{-(\omega_n l n)}} + \frac{\omega_{n+1} \left(e^{(\omega_n + 1 l n + 1} + e^{-(\omega_n + 1 l n + 1)} \right)}{e^{(\omega_n + 1 l n + 1} - e^{-(\omega_n + 1 l n + 1)}} \right] X_n$$

$$-\frac{2\omega_{n+1}}{e^{(\omega_n + 1 l n + 1)} - e^{-(\omega_n + 1 l n + 1)}} \cdot X_{n+1}$$

$$+ \frac{p_n}{\omega_n} \cdot \frac{e^{(\omega_n l n)} - 1}{e^{(\omega_n l n)} + 1} + \frac{p_{n+1}}{\omega_{n+1}} \cdot \frac{e^{(\omega_n + 1 l n + 1)} - 1}{e^{(\omega_n + 1 l n + 1)} + 1} + P_n = 0.$$
Die Werte für X und X eind bekannt de die Durchbiegungen und

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.

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.

- 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.
- 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. Abtig., 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.

Verschiedenes.

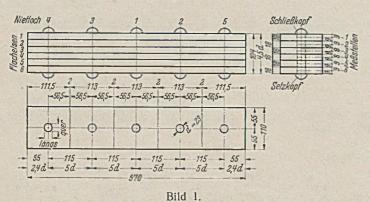
Verschiedenes

Versuche zur Feststellung der Klemmspannungen und der Lochfüllung mit Nieten aus St 44. Erfahrene Brückenbauer haben aus verschiedenen Gründen immer wieder hohe Klemmspannungen und gute Lochfüllung der Niete gefordert¹). Um eine gute Lochfüllung zu gewährlichten eine die eines Sendersichten febera antwick ihr werden? leisten, sind einige Sondernietverfahren entwickelt worden²).

Bei der Einführung der hochwertigen Baustähle im Stahlhoch- und Bei der Einführung der hochwertigen Baustähle im Stahlhoch- und Brückenbau gewannen diese Bestrebungen nach hohen Klemmspannungen und guten Lochfüllungen erhöhte Bedeutung, weil die zulässigen Spannungen erhöht wurden und weil außerdem die Niete aus Stählen höherer Festigkeit einen höheren Verformungswiderstand aufweisen als Niete aus St 34. Im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Stahlbau wurden daher seit 1934 im Institut für die Materialprüfungen des Bauwesens, Stuttgart, Versuche zur Feststellung der Klemmspannungen und Lochfüllungen von Nieten aus St 44 in Probekörpern aus St 52 durchgeführt. Der Versuchsbericht von O. Graf ist vor kurzen erschienen.

Die Versuche gliederten sich im wesentlichen in drei Gruppen.

A. Versuche in den Jahren 1934, 1935 und 1940. Zu den ersten Versuchen wurden sechs Probekörper nach Bild 1 hergestellt. Die Klemmlänge betrug etwa 4,5 d. Bei jedem Probekörper wurden die Niete nach einem anderen Verfahren eingezogen.



Beim Verfahren I wurden Rohniete nach DIN 124 im offenen Koksfeuer über die ganze Schaftlänge auf Weißglut gebracht und mit einem 13,4 kg schweren Preßlufthammer geschlagen. Die Nietzeit*) betrug 13 bis 15 sek.

Das Verfahren II unterschied sich vom Verfahren I durch die Verwendung von Rohnieten mit um 0,2 bis 0,3 mm dickeren Nietschäften und größeren Setzköpfen. Außerdem wurden die Niete in einem Zweikammerofen besonderer Bauart so angewärmt, daß sie bei der Entnahme aus dem Feuer am Setzkopf weißglühend und am Schaftende gelbglühend waren. Die Nietzeit betrug 37 bis 41 sek.

Beim Verfahren III wurden Rohniete nach DIN 124 mit einer "Stauchzange * 5) während 2 sek vorgestaucht und dann mit dem Preßlufthammer zu Verfahren I fertiggenietet. Die Niete sind in einem offenen Koksfeuer so angewärmt worden, daß ihre Glühfarbe bei der Entnahme aus dem Feuer am Setzkopf gelb, am Schaftende weiß war. Die gesamte Nietzeit, einschließlich der Zeit zum Vorstauchen und der kleinen Pause beim Wegnehmen der Stauchzange, betrug 24 bis 33 sek.

Beim Nietverfahren IV wurden die Rohniete nach DIN 124 mit einem Stauchhammer⁶) besonderer Bauart während 1 bis 2 sek vorgestaucht und dann mit dem Preßlufthammer zu Nietverfahren I fertig geschlagen. Die gesamte Nietzeit, einschließlich der Zeit zum Vorstauchen und zum Wechseln der Niethämmer, betrug 19 bis 22 sek. Im übrigen wurde wie bei Nietverfahren I vorgegangen.

Das Nietverfahren V zeichnete sich besonders durch die Verwendung von gedrehten Nieten mit zylindrischen Nietschäften aus; die Durchmesser der Nietschäfte waren nur um 0,5 mm kleiner als die Durchmesser der Nietlöcher. Die Niete wurden in einem Flammofen besonderer Bauart so erwärmt, daß sie bei der Entnahme aus dem Ofen über die ganze Länge gelbglühend waren. Zum Schlagen der Niete wurde der gleiche Preßlufthammer wie zu Nietversahren I verwendet. Die Nietzeit betrug 18 bis 23 sek.

Das Nietverfahren VI unterschied sich von den Verfahren I bis V durch die Verwendung einer Kniehebelpresse mit Druckluftbetrieb zum

1) Vgl. u. a. K. Schaechterle, Bautechn. 1928, S. 81 ff. sowie Stahlbau 1933, S. 117 ff.

3) O. Graf, Versuche mit Nietverbindungen. Heft 12 der Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau, S. 14ff. Berlin 1941, Jul. Springer.

4) Unter Nietzeit wird hier und im folgenden die Zeit verstanden,

Stauchen der Niete und zur Bildung der Schließköpfe. Die Rohniete nach DIN 124 wurden wie beim Verfahren II in einem Koksfeuer mit Vorwärmkammer erwärmt. Die Glühfarbe der Niete war bei der Entnahme aus dem Feuer am Setzkopf weiß und am Schaftende gelb. Die Nietzeit betrug 47 bis 61 sek.

Die Klemmspannungen wurden mit $\alpha = \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot 000}$ aus den federnden Verkürzungen der Nietschäfte berechnet, die nach dem seitlichen Abdrehen der Setzköpfe eintraten.). Die grundlegenden Messungen der Nietlängen wurden an den ganzen, noch nicht aufgeteilten Probekörpern ausgeführt. Hierzu wurden besondere Meßeinrichtungen mit hoher Meßgenauigkeit entwickelt.

Zur Feststellung der Lochfüllungen und der Änderungen der Niet-durchmesser, auch der Nietlochdurchmesser, wurden die Durchmesser der Nietschäfte und der Nietlöcher vor und nach dem Nieten genau gemessen.

Die höchsten Klemmspannungen wurden mit dem Nietverfahren VI (Kniehebelpresse) erzielt; sie betrugen $\sigma_K=33,6$ bis 36,9 kg/mm², im Mittel 35,4 kg/mm². Darauf folgten der Reihe nach

mit Klemmspannungen σ_K von die Nietverfahren (gewöhnliche Preßlufthammernietung) . 30,4 bis 32,4, im Mittel 31,6 kg/mm² . . 11,7 " 31,4, 20,5, " (Stauchhammer) V (gedrehte Niete) . . . III (Stauchzange) . . . II (dickere Rohniete und 16.7 6,0 8,6, 7,0 Setzkopf wärmer) . . 0,6 , 14,7, , 6,9

Die beste Lochfüllung hat das Verfahren III mit Stauchzange geliefert; die Unterschiede zwischen Nietschaftdurchmesser und Nietlochdurchmesser betrugen 0,15 bis 0,23 mm. Beinahe ebenso gut war die Lochfüllung bei den Verfahren V und II. Die Verfahren I, IV und VI lieferten wesentlich schlechtere Lochfüllungen. Die größten Unterschiede mit 0,47 mm zwischen Nietschaft- und Nietlochdurchmesser wurden bei dem Verfahren VI (Kniehebelpresse) gefunden.

Gleichzeitig mit den Probekörpern nach Bild 1 wurden drei Probe-Gleichzeitig mit den Probekorpern nach Bild I wurden drei Probekorper nach Bild 2 mit Nietlochdurchmessern von d=26,0 mm und einer Klemmlänge $s=8,2\,d$ hergestellt. Die Niete von je einem Probekörper wurden nach den Verfahren I (gewöhnliche Preßlufthammernietung), IV (Stauchhammer) und V (gedrehte zylindrische Niete) eingezogen. Zum Schlagen der Niete wurden die gleichen Niethämmer wie bei den kleineren Probekörpern verwendet. Die Probekörper lagerten dann bis zur Feststellung der Lochfüllungen und Klemmspannungen im Jahre 1940 in den Versuchstäumen des Institute in den Versuchsräumen des Instituts.

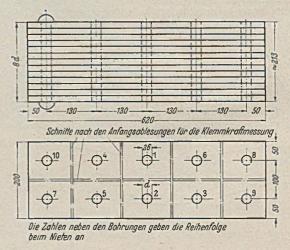


Bild 2.

Wie bei den Probekörpern nach Bild 1 waren auch bei den größeren Probekörpern nach Bild 2 die Klemmspannungen der Niete, die nach dem Verfahren V eingezogen wurden, mit dem Durchschnitt von 25,6 kg/mm² wesentlich niedriger als die Klemmspannungen der Niete, die nach den Verfahren I und IV eingezogen wurden (Mittelwerte je 31,1 kg/mm²). Dafür lieferte das Verfahren V, ebenfalls in Übereinstimmung mit den Probekörpern nach Bild 1, die weitaus beste Lochfüllung. Die Lochfüllung ist bei dem Verfahren V mit Unterschieden zwischen den Nietschaftund Nietlochdurchmessern von 0,17 bis 0,38 mm recht zufriedenstellend ausgefallen, während die Lochfüllung der Verfahren I und IV weniger gut war. gut war.

B. Versuche vom Jahre 1936. Bei den Versuchen mit den Probe-körpern nach Bild 1 war festzustellen, daß bei Preßlufthammernietung

2) Vgl. z. B. K. Schaechterle, Stahlbau 1933, S. 117ff.

Daraus dieser Auszug.

Wechseln der Werkzeuge eingerechnet.

während der die Preßlufthämmer bzw. Nietpressen auf die Niete ein-wirkten. Bei den Nietungen mit Vorstauchen sind auch die Zeiten zum

Vgl. K. Schaechterle, Stahlbau 1933, S. 119, Abb. 11.

⁹⁾ Vgl. K. Schaechterle, Stahlbau 1933, S. 120, Abb. 10 u. 13.

⁷⁾ Eine Kritik und Erläuterung zu diesen Verfahren findet sich in K. Wellinger, Eigenspannung, Gefüge und Festigkeit warmgeschlagener Nieten, S. 16ff. Berlin 1932, Wilh. Ernst & Sohn.

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.

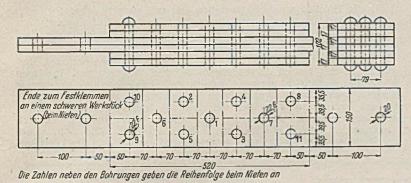


Bild 3.

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 Dekörper Erwärmen der Niete in einem Koksieuer Holzkohlenieuer						
Glühfarbe der Niete bei Beginn des Nietens ⁸)	am Schaftende beinahe weiß	am Schaftende beinahe weiß	am Schaftende beinahe weiß	am Schaftende gelbrot			
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:

- Die im Mittel höchsten Klemmspannungen wurden an dem Probekörper C gefunden, also bei hohen Niettemperaturen und kurzen Nietzeiten.
- 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

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 betrugen 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 Nieten 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 betrugen 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 Preßlufthammernietung möglich ist, bei Klemmlängen bis etwa 4,5 d mit Nieten 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 Preßlufthämmer 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 Nieten 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 Verbindungen 1) mit $\sigma: \sigma_l: \tau = 1,0:1,9:0,8$ geprüft worden 2). Dann wurden zweireihige Verbindungen mit $\sigma: \sigma_l: \tau = 1,0:1,5:0,8$ und 1,0:2,5:0,8 untersucht 3). Zuletzt wurden Versuche mit zweireihigen Verbindungen, bei denen das Verhältnis $\sigma: \tau$ verschieden war, durchgeführt. Über diese letzten Versuche hat O. Graf vor kurzem berichtet 4).

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

oei	den Verbindungen		das	Ver	hält	nis	0:0,	: 7
	der Reihe 6 nach Bild I	4				. 1,	0:1	9:0,6
	der Reihen 2 ao und 2 a nach							
	der Reihe 7 nach Bild 3							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 Kraftrichtung 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.

⁸⁾ 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.

Bei den Verbindungen der Reihen $2\,a_4$, 6 und 7 war an der Stoßfuge ein Spalt von 4 mm vorgesehen, während bei den Verbindungen der Reihe $2\,a_0$ 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 We chsel 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 $\sigma_{zu}=0,5$ kg/mm² geprüft. Die Zahl der Lastspiele in der Minute betrug bei den Versuchen mit Wechselbelgstung $\sigma_{zu}=0.0$ bei den Versuchen mit Wechselbelastung n = rd. 100, bei den Dauerschwellzugversuchen n



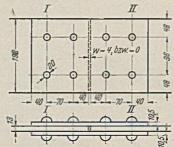


Bild 2. Nietverbindungen der Reihen $2a_4$ (w=4 mm) und $2a_0$ (w=0 mm). $\sigma: \sigma_l: \tau=1,0:1,9:0,8$.

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;
- die Belastungsannahmen sind weitreichend gewählt worden; die Zahl der Vollbelastungen ist wesentlich kleiner als die Zahl der Züge 10).

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 schnellaufende 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

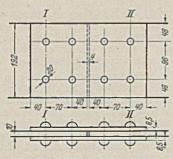


Bild 1. Nietverbindungen der Reihe 6. $\sigma: \sigma_1: \tau = 1,0:1,9:0,6$.

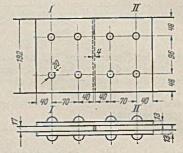


Bild 3. Nietverbindungen der Reihe 7. $\sigma: \sigma_l: \tau = 1,0:1,9:1,0.$

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

bei den Verbindungen	bei Wechselbela zwischen gleich Zug- und Druckk	großen	bei Dauerschwell- zugbelastung mit σ_{zu} 0,5 kg/mm ²
nach Bild 1 mit $\sigma: \sigma_I: \tau = 1,0:1,9:0,6$		zu 23	21,5 kg/mm²,
nach Bild 2 mit $\sigma: \sigma_t: \tau = 1,0:1,9:0,8$	$\begin{cases} \text{ mit } w = 4 \text{ mm} \\ \text{mit } w = 0 \text{ mm} \end{cases}$	zu 24,5 zu 23,5	— kg/mm², — kg/mm²,
nach Bild 3 mit $\sigma: \sigma_I: \tau = 1,0:1,9:1,0$		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 1,0 fachen auf das 0,6 fache der Zugspannungen σ der Bleche ist demnach die Schwingweite S bei Wechselbelastung annähernd gleich geblieben und bei Schweilzungelastung an σ zugbelastug rd. 1/5 größer geworden 5).

Nach den Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken der Deutschen Reichsbahn (BE 1936) dürfen die Scherspannungen τ der Niete das 0,8 fache und der Lochleibungsdruck σ_l das 2,0 fache der zulässigen Zugspannungen o der Bleche nicht überschreiten. Die Dauerfestigkeit der vorschriftsmäßig bemessenen Nietverbindungen mit $\sigma: \sigma_l: \tau = 1,0:1,9:0,8$ für 500 000 Lastspiele wurde bei Wechselbelastung zu ± 11,75 kg/mm², bei reiner Schwellzugbelastung (Ursprungsbelastung) zu 17,5 kg/mm² 6) ermittelt.

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

. . . 10,8 kg/mm², Für Wechselbelastung bei starkem Verkehr?) . . bei schwachem Verkehr§) 14,0 kg/mm², 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

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

⁸⁾ 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 4-5,2 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:

Versuchs- durchführung	Zahl der Lastspiele in der Minute	Bezeichnung der Niet- verbindungen	Zug- und Druck- spannung ø der Bleche kg/mm²	Zahl der Lastspiele bis zum Bruch	
Mit Steuer-	} 8 bis 16 {	GH 52, 1—2,4	15,0	220 090	
apparat		GH 52, 3,6—7	14,0	483 347	
Mit Pulsations-	} rd. 100 {	4—5,1	15,0	245 200	
maschine		4—5,2	14,0	246 200	

Die Widerstandsfähigkeit der Verbindungen war demnach bei "Steuerungsbetrieb" mit n=8 bis 16 Lastspielen in der Minute und bei "Pulsationsbetrieb" mit $n=\mathrm{rd}$. 100 Lastspielen in der Minute annähernd gleich; bei "Pulsationsbetrieb" eher kleiner als größer 13).

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. Daeves, E. Gerold und E. H. Schulz, St. u E. 1940, S. 100ff. E. Gaßner, 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 Großschmiedeltallen. — Berechnung von Biegeträgern mit axialer Zugkraft. — Verschledenes: 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. Kiöppel, Darmstadt. Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin W 9.
Druck: Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.