

DER STAHLBAU

Schriftleitung:

Dr.-Ing. A. Hertwig, Geh. Regierungsrat, Professor an der Technischen Hochschule Berlin, Berlin-Charlottenburg 2, Technische Hochschule
Fernsprecher: C 1 Steinplatz 0011
Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 421 61

Beilage
zur Zeitschrift

DIE BAUTECHNIK

Fachschrift für das ge-
samte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

8. Jahrgang

BERLIN, 15. Februar 1935

Heft 4

Hochdruckgasbehälter in Kugelform für die Stadt Siegen in Westfalen.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Oberregierungs- und -baurat Dr.-Ing. Herbst, Lüneburg.

Bei den bau- und betriebstechnischen Maßnahmen zur Gasversorgung gewinnt neuerdings die Druckspeicherung mehr und mehr an Bedeutung. Nachdem das Ausland bereits vor einigen Jahren in zahlreichen Fällen mit dem Bau von Hochdruckgasbehältern vorangegangen war (Amerika, England, Schweiz), ist auch in Deutschland neuerdings eine Reihe von solchen Gasspeicherbehältern zur Ausführung gelangt, wie z. B. in Stein a. Rh., in Menden i. W., in Glatz i. Schles., in Calw a. Nagold und in Bethel, wo für die Bodelschwingschen Anstalten im Landkreis Bielefeld ein Kugelgasbehälter von 19,70 m Durchmesser, von etwa 4000 m³ Rauminhalt und 5 atü im Jahre 1932 erbaut wurde.

Die Technik der Druckspeicherung kann nach den bisherigen Erfahrungen als gelöst betrachtet werden. Für diese Behälter zur Speicherung hochgespannten Gases kommen nicht die üblichen Niederdruckbehälter (Gasometer), d. h. die Glockenbehälter mit Wasserbassin und Scheibenbehälter ohne Wasserbassin, sondern nur Hochdruckgasbehälter aus Stahl in geeigneter Form und Größe in Betracht, zumal wenn sie mit einer hochgespannten Ferngasleitung verbunden sind.

Diesen Ferngasleitungen wird im allgemeinen der so wertvolle Betriebsstoff für eine bestimmte Verbrauchsstelle unter hohem Druck von 2,5 bis 5 atü und mehr entnommen, um dann zur Reserveaufspeicherung in einen bestimmten Behälter mit amtlich vorgeschriebenen Regelungs- und Sicherheitseinrichtungen für beliebige Abgabe aufbewahrt zu werden.

Die Erfahrung und der Fortschritt haben gelehrt, daß eine sparsame Gaswirtschaft große Einheiten der Gaswerke zur Versorgung von großen Gebieten in Stadt und Land durch Fernleitung hochgespannten Gases in dichten, geschweißten Stahlrohrleitungen mit geringen Beförderungskosten verlangt und daß — auch vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus gesehen — die Erzeugung von Gas am Fundort der Kohle nebst Zuleitung unter hohem Druck in die Versorgungsgebiete in vielen Fällen der Brennstoffersparnis sehr zugute kommen kann.

Zu einer Gasspeicherung in Hochdruck mußte sich im Jahre 1932 auch die Stadtverwaltung von Siegen i. Westf. wegen des Anschlusses an eine Ferngasleitung entschließen.

Bei Wahl eines Niederdruckbehälters hätte das hochgespannte Gas der Fernleitung vor Eintritt in die Behälter entspannt und beim Eintritt in das Rohrnetz wieder hochgespannt werden müssen, während in einem Hochdruckgasbehälter das Gas der Fernleitung in seinem hochgespannten Zustande aufgespeichert werden kann, um es so durch die Verteilungen den Bezirksreglern zuzuführen.

Mit dieser Regelung der Zuführung, Speicherung und Verteilung von Gas war eine größere Wirtschaftlichkeit des ganzen Betriebes verbunden, welche durch die Wahl eines Hochdruckbehälters infolge Einschränkung der Anschaffungskosten noch bedeutend gesteigert werden konnte.

Es wurde beschlossen, für die Aufspeicherung von Reservegas — in Verbindung mit dem bestehenden Leitungsnetz und einschließlich aller Betriebseinrichtungen — einen Hochdruckgasbehälter aus Stahl in Kugelform von 2000 m³ Rauminhalt für 5 atü Betriebsdruck zu errichten, der — auf atmosphärischen Druck von 1 kg/cm² bezogen — 10000 m³ Gas aufnehmen kann. Der Bau dieses Behälters wurde im Anfang des vergangenen Jahres der Kölsch-Fölzer-Werke A.-G. in Siegen übertragen.

Für die Durchbildung des neuen Behälters sah man die Form der Kugel vor, weil diese bei der erforderlichen Größe des genannten Volumens den geringsten Aufwand an Mitteln verlangt und weil sie ferner gegenüber den altgewohnten üblichen Behälterkonstruktionen die größte Betriebssicherheit bietet. Die Errichtung eines solchen Kugelhochdruckbehälters ist somit selbst in bebauten Teilen einer Stadt ungefährlich. Bei Luftangriffen bietet diese Form des Druckbehälters wegen der Kleinheit seines Körpers und des davon abhängigen Schatten-

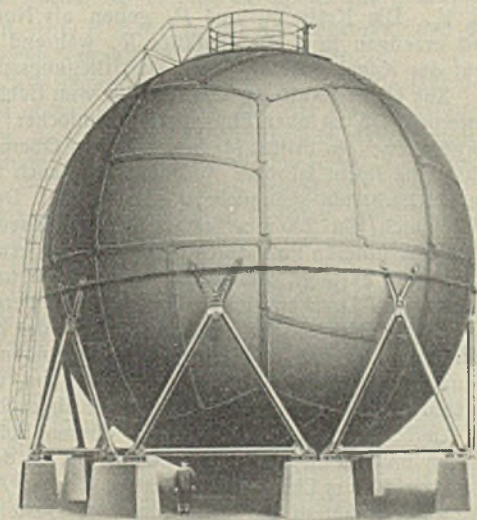


Bild 1. Modell des Gasbehälters.

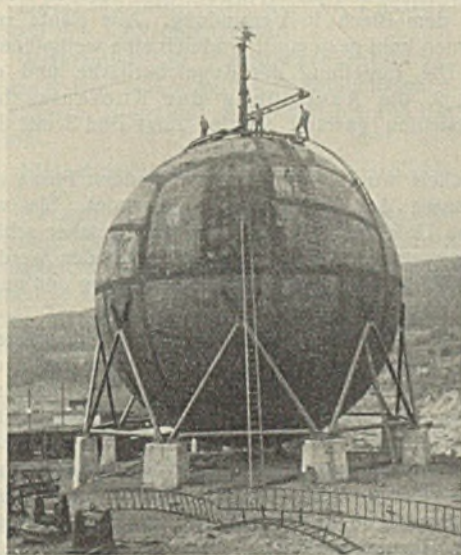


Bild 2. Ansicht des Gasbehälters kurz vor beendeter Montage.

wurfes ein geringes Sichtfeld, somit ein kleineres Ziel als ein Niederdruckbehälter genannter Ausbildung. Die Stärke der Blechhaut mindert ferner bedeutend die Gefahr und den Schaden aus Würfeln von kleinen Bomben, Brandbomben und Granatsplittern; auch würde die Krümmung der Kugelfläche selbst größere Bomben leichter ablenken, wenn diese an Stellen auftreten sollten, in denen die Tangentialebenen mit der Waagerechten große Winkel bilden. Diese Ablenkung würde dann noch um so wirksamer sein, wenn die Kugel ein Kegeldach decken würde.

Die geschlossene und einheitliche Gestalt der Kugel, welche aus diesen Gründen und aus Betriebs- und Wirtschaftlichkeitsrücksichten für die Verteilung und Speicherung dieses Betriebs- und Kraftstoffes gewählt werden muß, dürfte auch den ästhetischen Ansprüchen genügen, welche man an solche Betriebsanlagen stellen könnte und schon oft gestellt hat; dies um so mehr bei einer zweckmäßigen klaren und vertrauenerweckenden Stützung über dem Boden und bei einem der Umgebung angepaßten Farbanstrich.

Die Herstellung solcher völlig gasdichten Stahlbehälter in Kugelform muß aber in Werkstatt- und Montagearbeit als eine besonders schwierige Aufgabe der Stahlbautechnik angesehen werden.

Der neue Behälter in Siegen, der im November 1934 vollendet wurde, ist in Bild 1 in seiner Gesamterscheinung veranschaulicht (Modell nach Entwurf) und in Bild 2 in seinem Bau am 19. September 1934 kurz vor Montagevollendung.

Der nach den Maßnahmen und Anweisungen der Stadtverwaltung sowie nach den Entwürfen des Bauunternehmers vorgesehene Behälter stellt eine Hohlkugel aus Stahlblech von 15,70 m Durchmesser dar, welche mit dem Unterpol 75 cm über dem Boden schwebend von einer betonunterbauten Stützanordnung aus acht am Umfang ringsherum elastisch angreifenden Dreieckböcken (Stahlrohre) getragen und von einem 60 cm unter Oberpol hinaufreichenden, 20 cm weiten Gasein- und Gasausgangsrohr gefüllt und geleert wird.

Der Kugelbehälter ist berechnet und konstruiert für einen Höchstbetriebs-Innendruck von 5 atü (5 kg/cm²), die Unterstützung für die Aufnahme des ganzen Eigengewichtes (Stahl und komprimierte Luft), sowie des größten Winddrucks von 125 kg/cm² horizontal getroffene Kugeloberfläche (Kugelquerschnittsfläche).

Der Behälter hat einen lichten Durchmesser von 15 700 mm, eine Blechstärke von 14,5 mm und ein Eigengewicht von etwa 127 t. Die Kugel ist aus Stahl St 52, der 0,15 bis 0,25% Kupfer enthält, die Unterstützung und die Leiter aus Stahl St 37 hergestellt. Die Kugeloberfläche ist in sechs gleiche sphärische Vierecke eingeteilt, die je aus acht Blechen zweier verschiedener Größen bestehen, so daß für die ganze Blechhaut 2 × 24 Bleche von etwa 3000 × 6000 mm erforderlich wurden. Diese neuartige, aus Amerika stammende Einteilung der Kugeloberfläche in sechs gleiche sphärische Vierecke ergibt den geringsten Materialabfall, die kleinste Gesamtlänge der Nietnähte und ermöglicht es, bei so großen Kugeln mit nur zwei Blechgrößen, bei kleinen Kugeln sogar mit einer Blechgröße auszukommen.

Die Bleche sind durch Doppelaschen miteinander verbunden, von denen die äußere bei 11 mm Stärke und 262 mm Breite beiderseits der Blechfuge 2 Reihen, die innere bei 9,5 mm Stärke und 418 mm Breite 2½ Reihen Niete von 26 mm Durchmesser aus Stahl St 44 aufnimmt. Die Nietteilung ist 82,5 mm bis 86,5 mm. An den Nahtkreuzungen und Abzweigungen sind Knotenlaschen vorgesehen, wodurch auch an diesen Stellen die erforderliche Nahtfestigkeit erzielt wird. Alle Laschen treten ohne jeden Anstrich mit dem Blech in Verbindung. Alle Nähte und Niete werden außen und innen hohl gestemmt, wodurch eine weitgehende Dichtigkeit erzielt wird. Die Einteilung der Kugeloberfläche und die Nietung zeigt Bild 1 bzw. 2, die Ausbildung der Knotenlasche, welche aus Festigkeitsrücksichten gewählt wurde, zeigt Bild 3 mit den technischen Einzelheiten.

Besondere Aufmerksamkeit wurde von der ausführenden Firma der so wichtigen Unterstützung des Behälters zugewendet. Sie war bestrebt, dem Behälter eine Unterstützung zu geben, bei welcher schädliche Formveränderungen soweit wie irgend möglich vermieden werden können. Diese können bei Veränderung der Sonnenbestrahlung und unter Einwirkung des Eigengewichtes entstehen.

Die Hohlkugel soll sich unter der Einwirkung des Innenüberdrucks und der Sonnenbestrahlung ungehindert ausdehnen können, damit die von der Unterstützung herrührende Zusatzbeanspruchung der Blechhaut möglichst gering bleibt. Diese drei Bedingungen werden am besten durch die vorgesehenen Dreieckpendelstützen erfüllt, welche bei der Eigenart ihrer Konstruktion alle Kraftwirkungen aufnehmen und Bewegungsfreiheit gestatten können. Die vom Werk gewählte, gut durchdachte Stützung gestattet eine völlige Zugänglichkeit in allen Teilen des Behälters und zugunsten einer gefälligen Gesamterscheinung das Freischweben einer großen, weithin sichtbaren Kugel auf einem leichten, doch sicheren Stahlunterbau.

Bei dieser Abstützung tangiert die senkrechte Systemlinie der Stützen den größten horizontalen Kreis der neutralen Mantelblechfaser — wie auch Bild 2 rechts zeigt — so daß Horizontalkräfte durch Eigengewicht oder Wärmeausdehnung, welche ein Einbeulen der Mantelbleche hervorrufen könnten, nicht auftreten. Damit die Kugel unter den genannten Einwirkungen sich frei ausdehnen kann, sind die Stützen unten auf Linienkipplager gestellt und oben durch elastische Glieder mit den durch 46 Nieten befestigten Tragpratzen des Behälters verbunden. Die technische Anordnung der letzteren erhellt aus Bild 4. Die Dreieckstützen sind in geschweißter, überall geschlossener Rohrkonstruktion ausgeführt, die für den Anstrich einen allseitig guten Zugang gewährleistet. Die Konstruktion der Tragpratzen bewirkt wegen ihrer Ausladung nach zwei Richtungen eine gute Verteilung der Stützdrücke auf die Kugel und ist auch sehr gut für die Übertragung der Windkräfte auf die Stützen geeignet, weil durch die in einem Winkel zueinander angeordneten Rippen der Tragpratzen Biegebungsbeanspruchungen vermieden werden. Jede Rippe ist mit einem Flansch am Behälter, der im Inneren durch ein beide Rippen überbrückendes Blech verstärkt ist, angeteilt. Alle Anschlußnieten der Tragpratzen sind für Nachstemarbeiten gut zugänglich. In der horizontalen Zone der Tragpratzen ist im Inneren des Behälters ein Verstärkungsring von 420 mm Breite angebracht, der an der Außenseite der Kugel-

fläche als der die Kräfte der Tragpratze übertragende, zusammenfassende Bindeträger durch einen besonderen Farbton herausgehoben werden kann. Von den Linienkipplagern der Stützen ist je eines als Festlager, das andere als Gleitlager ausgebildet. Je ein Lager zweier benachbarter Stützen ist auf einem der acht Fundamentklötze gemeinsam verankert. Diese sind unter Flur durch Eisenbetonstege miteinander verbunden.

Betreffs der Kräfteaufnahme an den Tragpratzen ist unter Hinweis auf Bild 4 noch folgendes zu sagen:

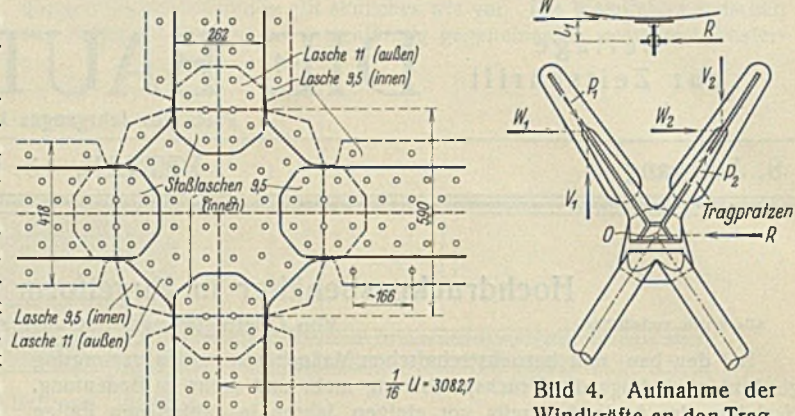


Bild 3. Kreuzknoten.

Bild 4. Aufnahme der Windkräfte an den Tragpratzen der Kugel.

Um bequem zu den Stemmkannten und Nieten der Pratzenanmietungen gelangen zu können, war es erforderlich, letztere so hoch zu rücken, daß sie nicht mehr hinter dem Knotenblech der Stütze liegen. Das ergibt aber für die Pratze einen Biegebühel von der Länge l und somit ein Biegemoment Wl . Weil im Grundriß die Stütze nicht mit dem Anschluß der Pratze an der Kugel zusammenfallen kann, erfährt die Pratze ein weiteres Biegemoment Wl_1 . Bei der für den Siegener Behälter gewählten Ausführung zerlegt sich die Windkraft bei jeder Pratze in die Teilkräfte W_1 und W_2 . Diese zerlegen sich in die Kräfte P_1, V_1 bzw. P_2, V_2 . Die Kräfte P_1 und P_2 gehen als Normalkräfte in die Pratzen und erzeugen in 0 die Reaktion R , während V_1 und V_2 in die Blechhaut der Kugel gehen. Somit sind Biegebühelspannungen vermieden.

Zur Überwachung des Inneren vom Behälter sind in der Nähe des Unterpols (75 cm über Flur) zwei Mannlöcher von 500 mm Durchmesser vorgesehen; ein drittes Mannloch ist am Oberpol vorhanden; zu diesem führt eine leicht fahrbare Korbleiter, die auch für äußere Revisionen und Anstreicherarbeiten gebraucht werden kann. Der Gas-Ein- und -Ausgang wird durch ein 200 mm weites Rohr, welches die Behälterwand in der Nähe des unteren Pols durchbricht und das etwa bis 600 mm unter dem oberen Pol ansteigt, ermöglicht; dieses Rohr kann durch einen Stahlgußschieber mit Druckausgleich abgeschlossen werden.

Zum Auslassen der Luft beim Füllen des Behälters mit Gas und zur Abführung des sich im Behälter ansammelnden Schwitzwassers dient ein besonderer Stutzen von 200 mm Weite am unteren Pol; auch dieser Stutzen ist mit einem Stahlgußschieber abgeschlossen.

Durch einen in der Nähe des oberen Pols befindlichen Stutzen ist ein am unteren Ende abgeschlossenes, bis an den unteren Pol reichendes Rohr von 50 mm Lichtweite eingefügt, das zur Aufnahme von fünf Widerstandsthermometern zur Ermittlung der Gastemperatur in verschiedenen Zonen dient.

Zur Verhütung einer Drucküberschreitung erhält der Gasbehälter ein Sicherheitsventil von 80 mm l. W., das bei einem Betriebsdruck von 5,1 atü abbläst. Das entweichende Gas wird durch ein Rohr, das an seinem freien Ende einen Sicherheitstopf mit drei Davy-Sieben besitzt, bis über den oberen Pol der Kugel geführt. Durch einen Wechselschieber läßt sich dieses Sicherheitsventil für Reparaturzwecke ausschalten und ein zweites ebenfalls eingebautes Sicherheitsventil einschalten. Diese Ventile sind in einem abschließbaren eisernen Schrank in Flurhöhe untergebracht.

Die die Betriebssicherheit des Gasbehälters überwachenden Kontroll- und Meßinstrumente, welche in einem besonderen Hause untergebracht sind, bestehen aus einer Inhaltsanzeigervorrichtung in Form eines Großmanometers von etwa 1 m Durchmesser, einem registrierenden Druckschreiber und aus einem Alarm-Manometer, das beim Überschreiten von 5 atü und Unterschreiten von 0,5 atü ein Glockensignal im Stationsgebäude und in der Wohnung des Betriebsbeamten ertönen läßt.

Als Blitzschutz erhält der Behälter eine 1 m tief im Erdreich liegende, 8 mm starke kupferne Ringleitung, welche einerseits mit den acht Behälterstützen, andererseits mit dem Wasserleitungsnetz und mit dem Gaszuführungsrohr verbunden ist.

Für die Einrichtung, Bemessung und Ausführung des Behälters waren maßgebend die „Richtlinien für die Herstellung und den Betrieb von Hochdruckgasbehältern für Stadtgas, DIN Vornorm DVG. W 3221“, ferner die „Bauvorschriften der Städtischen Werke Siegen für die Ausführung

von Kugelgasbehältern* und die „für die Erstellung eines Hochdruckkugelgasbehälters für die Städtischen Werke in Siegen“.

Die Materialprüfung und Überwachung des Baues in der Werkstatt und auf der Baustelle wurde von der Auftraggeberin dem Büro für Materialprüfungen R. Wilm's Nachf., Essen, übertragen. Der Standsicherheits- und Festigkeitsnachweis für den Behälter wurde im Auftrage der Städtischen Werke Siegen amtlich nachgeprüft.

Nach Genehmigung dieses Nachweises durch die zuständige Prüfungsstelle erfolgte im Februar 1934 Vorbereitung und Beginn des Baues. Die Lieferung der Kugelbleche wurde der Vereinigten Stahlwerke A.-G., Werk Thyssen in Mühlheim, übertragen. Inzwischen wurden in der Werkstatt zur sachgemäßen Herstellung des Behälters besondere Vorkehrungen für die Bearbeitung der Bleche getroffen, so daß nach deren Eingang im Mai mit den Werkstattarbeiten begonnen werden konnte. Alle Bleche wurden nach Schablone vorgezeichnet und in einer Vorrichtung, welche eine radiale Lage der Löcher gewährleistet, mit 23 mm Durchmesser gebohrt. In der Werkstatt wurde die Hohlkugel in zwei Hälften zusammengebaut; die Montagelöcher wurden auf 25 mm aufgerieben und die Tragpratzen sowie der in ihrer Höhe liegende innere Verstärkungsring, nach Aufreiben dieser Löcher auf 26 mm, angenietet und gestemmt.

Der Zusammenbau des Behälters auf der Baustelle, den die Bilder 5 u. 6 veranschaulichen, erfolgte in folgender Weise:

Nach dem Aufrichten des Hauptmontagemastes in der Mitte (auf den die Verstärkungsplatte des oberen Mannloches und der Mannlochstützen aufgesteckt waren), wurde zunächst ein unterstützendes Trägerviereck, an welchem acht Stützpunkte für den Bodenteil der Kugel vorgesehen waren, über Flur so gelagert, daß die darauf zu errichtende Kugelhälfte einige Zentimeter über ihre endgültige Höhenlage zu liegen kam. In dieses Kugelviereck wurde, um den Mannschaften im Inneren der Kugel einen sicheren Stand zu geben, etwas unter seinem oberen Rand ein hebbarer Montageboden von etwa 10 m Durchmesser errichtet. Nun erfolgte der Anbau der unteren Hälfte der seitlichen Kugelbleche, und zwar wurde mit einem vertikalen Pratzenblech begonnen und nach dessen Befestigung, noch ehe der Flaschenzug freigemacht wurde, mit einem Hilfszug die erste Stütze gezogen, an der Pratze angeschraubt und provisorisch auf dem Fundament abgestützt. In der Weise wurde durch abwechselnden Anbau von Blechen und Stützen verfahren, bis die ganze untere Kugelhälfte zusammengebaut war. Das Verschrauben wurde von Leitern aus bewerkstelligt. Nun konnte zur Entfernung des Trägervierecks geschritten werden. Vier hydraulische Hubzylinder dienten dazu, es soweit anzuheben, daß seine Unterklotzung ausgebaut werden konnte, um es dann wieder abzulassen und die Behälterlast auf die Stützen zu übertragen. Durch Heben bzw. Senken der Stützen wurde nun das Bauwerk so ausgerichtet, daß der obere Rand der Kugelhälfte genau in einer Horizontalen lag. Da diese Rundnaht noch durch Leitern vom Boden bzw. von der Bühne aus zu erreichen war, konnte die erste Platte der oberen Hälfte ohne weitere Hilfsmittel angebaut werden; jedoch mußte zum Anbau der anderen Seitenbleche die dafür vorgesehene Bogenleiter am vertikalen Hauptmast montiert werden, und zwar so, daß sie etwa 3 m vom Schwenkmast entfernt war. Da für diesen Kugelteil immer zwei Bleche unter sich am Erdboden verschraubt und gemeinschaftlich hochgezogen wurden, stand die Bogenleiter im Inneren des Behälters gerade der vertikalen Naht gegenüber, in welcher diese Doppelplatte jeweils an den bereits montierten Teil angebracht werden sollte. Auf der Außenseite wurde zu diesem Zwecke eine Strickleiter an den oberen Rand der montierten Bleche gehängt. Zum Einbau des oberen Kugelvierecks wurde der Schwenkmast durch einen am vertikalen Mast angebrachten Ausleger ersetzt, die Bogenleiter wieder entfernt und der innere Montageboden bis an den Rand des bis da zusammengebauten Kugelteles gehoben. Von diesem Boden auf der Innenseite und unter Zuhilfenahme von Strickleitern auf der Außenseite, die am Mast befestigt waren, konnten die jeweils angebauten Einzelplatten verschraubt werden. Für den Einbau dieser Bleche kam nun die auf den Mast gesteckte innere Verstärkungsplatte des oberen

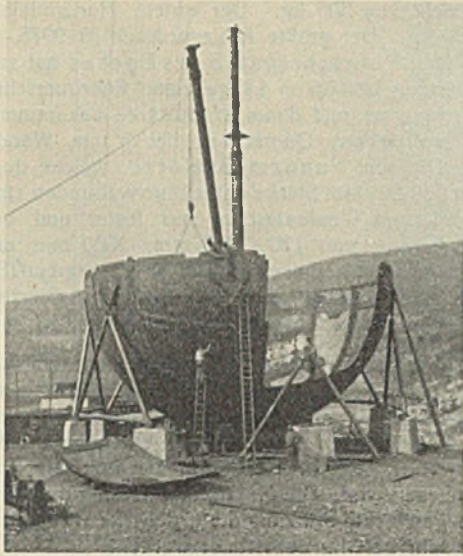


Bild 5. Zusammenbau der unteren Halbkugel.

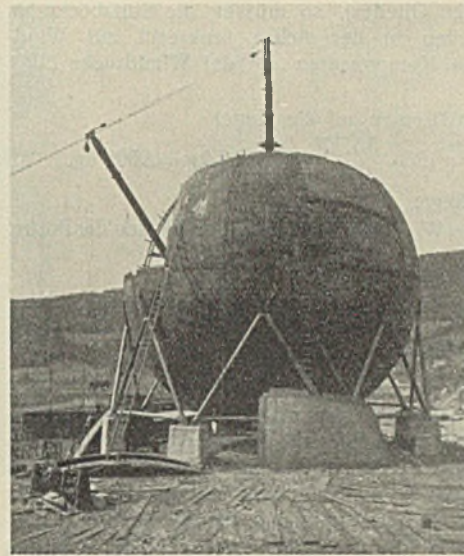


Bild 6. Zusammenbau des Behälters in der oberen Kugelhälfte.

Mannlochs gut zustatten. Diese Platte wurde vom Mast in richtiger Höhe getragen, so daß die Kugelbleche an zwei Rändern und auf der Verstärkungsplatte Unterstützung fanden.

Der Zusammenbau der Kugel hat einschließlich Aufstellen des Mastes 30 Tage gedauert. Um das Herausbringen des Mastes und der inneren Rüstungen zu ermöglichen, wurde eine untere Platte vorübergehend ausgebaut.

Zum Aufreiben der Nietlöcher auf den endgültigen Durchmesser von 26 mm und zum Abnieten und Stemmen des Behälters sind so-

wohl innen als auch außen an Leitern bewegliche Pritschen vorgesehen.

Die Druckprobe vor der Inbetriebnahme erfolgt mit Luft bei einer Pressung von 5,5 atü und unter Bestreichen der Nähte mit Seifenwasser. Außerdem wird beim Anhalten dieses Druckes während sieben Tagen der entstandene Luftverlust gemessen, der bezogen auf 15° und 76 cm QS. den Betrag von 0,947 % nicht überschreiten darf. Nach der Füllung mit Gas wird eine erneute Abpinselung der Nähte mit Seifenwasser vorgenommen. Bei Ablauf der Garantzeit, welche ein Jahr nach der Abnahme währt, wird eine weitere Druckprobe mit Gasdruck von 5 atü gemacht, bei der der Verlust während dreimal 24 Stunden den Betrag von 0,395 % nicht überschreiten darf.

Der Standsicherheits- und Festigkeits-Nachweis ist grundsätzlich wie folgt durchgeführt:

Werkstoffe: Für Blechmaterial St 52, für Nietmaterial St 44. Nietung: Dreireihige verjüngte Doppelaschen-Nietung mit einer Teilung — äußerste Nietreihe — 173 mm bis 165,1 mm, bei einer Nietstärke von 26 mm.

$$\text{Nietnahtfestigkeit} = \frac{173 - 26}{173} = 0,85 \text{ bis } \frac{165,1 - 26}{165,1} = 0,842.$$

Zulässige Beanspruchung des Blechmantels = 1800 kg/cm². Zulässige Beanspruchung der Niete auf Abscheren beim Verhalten der Festigkeit von Nietmaterial zum Blechmaterial wie 44/52 = 0,846 bei doppelten Laschen 1437 kg/cm² und bei einfachen Laschen 1150 kg/cm², ferner zulässige Beanspruchung auf Leibungsdruck = 3600 kg/cm² bzw. 2880 kg/cm².

Die Stärke des Blechmantels in der Mitte stellt sich nach der allgemeinen Formel für die Blechdicke:

$$s = \frac{1}{2} \cdot r \cdot p_i = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{zul} = 5 \cdot 1572,9 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{0,842 \cdot 1800} = 1,3 \text{ cm,}$$

wobei die Spannkraft = 1975 kg für das laufende cm ist. Rechnet man einen kleinen Sicherheitszuschlag von 1,5 mm, so ergibt sich für die Blechdicke der Ausführung 1,45 cm.

Hiernach sind nach den zulässigen Beanspruchungen die Laschenvernetzungen, die Nietnähte und Mannlochborde berechnet und bemessen worden. (Außenlasche 262 × 11 mm, Innenlasche 418 × 9,5 mm.)

Die zum Teil beweglich gelagerte Unterstützung des Kugelbehälters, welche aus acht Dreieckböcken von 4,12 m Höhe und 5,80 m Spreizung über ringverbundenen Betonklötzen besteht, hat 133 000 kg aufzunehmen, welche sich auf acht Stützpunkte mit je 133 000 : 8 = je 16 700 kg Auflast verteilen.

Die Verteilung des Winddrucks stellt sich wie folgt (vgl. Bild 7):

Die Unterstützungspunkte der Kugel verschieben sich in der Horizontalebene, in der Windrichtung, infolge des Winddrucks um ein gleiches Maß. Die zwei in der Mitte in der Windrichtung stehenden Unterstützungen können wegen der (eingebauten) elastischen Glieder keinen Winddruck aufnehmen. Die übrigen sechs Stützen müssen daher den Gesamtwinddruck aufnehmen und übertragen; dabei würde jede 1/6 desselben aufnehmen, wenn sie in der Windrichtung gleichförmig tragfähig wären. Da jedoch die Stützen nur tangential belastet werden

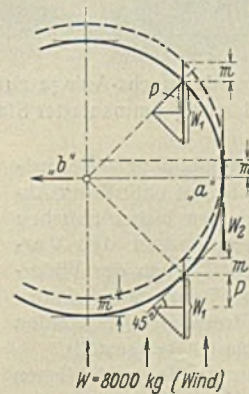


Bild 7.

können (wegen des elastischen Gliedes), so müssen die Stützböcke an den gegenüberliegenden Stellen in der Achse senkrecht zur Windrichtung „a“ und „b“ (W_2) die Komponenten „P“ der Winddrücke „ W_1 “ mit übernehmen.

Nun ist der Gesamtwinddruck auf die Kugel

$$W = 125 \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \pi \cdot 0,33 = 125 \cdot \frac{15,70^2}{4} \cdot \pi \cdot 0,33 \text{ kg} = 8000 \text{ kg.}$$

Dieser verteilt sich wie folgt:

$2W_2 + 4W_1 = 8000 \text{ kg}$; W_2 oder $W_1 =$ Reaktionen von den Spitzen der Böcke.

Nun ist:

$$P = W_1 \cdot \sin^2 45^\circ = W_1 \cdot 0,5$$

$$W_2 = W_1 + 2P = 2W_1, \text{ also } 2 \cdot 2 \cdot W_1 + 4W_1 = 8W_1 = 8000 \text{ kg}$$

$$W_1 = \frac{8000}{8} = 1000 \text{ kg, } W_2 = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ kg.}$$

Der Bock ist für den Spitzendruck von $W_2 = 2000 \text{ kg}$ neben den Kräften aus Eigengewicht (16 700 kg) berechnet und bemessen. Die Resultierende stellt sich auf rd. 16 820 kg an Bockspitze, wo die Tragpratze mit 46 Nieten an Kugelwand angeschlossen ist (s. Bild 6). In dieser läuft in der Höhe der Anschlußpratzen innen ringsherum ein Verstärkungsblechring von $420 \times 9,5 \text{ mm}$ zur besseren Kraftübertragung und zur Aussteifung.

Der Unterstütsbock übt nach der Berechnung im Kraftfluß einen Vertikaldruck von 10 475 kg auf die beiden Füße aus, von denen der eine gegen Verschiebung gesichert, der andere verschiebbar ist (z. B. Wärmeausdehnung). Die festen und beweglichen Lagerteile sind nach den anfallenden Kräften besonders berechnet. Die schrägen Streben erhalten einen größten Druck von 660 kg aus dem anfallenden Eigen-

gewicht von 500 kg. Der untere Horizontalstab erhält einen Zug von 9600 kg. Der größte Auflagerdruck ist $9975 + 500 = 10 475 \text{ kg}$.

Der Rohrschrägstab des Bockes hat zur Aufnahme von 12 600 kg Belastung bei 5,5 m Länge einen Rohrquerschnitt von 216 mm äußerem Durchmesser und 6 mm Wandstärke bekommen, der Horizontalstab einen ebenso starken Querschnitt bei 5 mm Wandstärke (Knickberechnung).

Die acht Fundamentklötze, welche durch einen Eisenbetonkranz von 500/800 mm Stärke unter Flur verbunden sind, haben zur Aufnahme der Eigen- und Windbelastung aus fester und beweglicher Lagerung eine Abmessung von 1700/1000 mm, 2500 mm unter Flur, bekommen und üben eine größte Beanspruchung von $1,9 \text{ kg/cm}^2$ (Bodenpressung) auf den tragfähigen Untergrund aus. Es treten nur senkrechte Drücke auf, da der Winddruck vom geschlossenen Fundamentring auf Erdreich übertragen wird.

Die vorgeschriebene Druckprobe wird nach den bisherigen Erfahrungen und Untersuchungen den Ansprüchen voll genügen. Der Behälter wird demnächst in den Dienst der Gasversorgung eingestellt werden. So wurde ein interessantes, wertvolles Ingenieurwerk vollendet, das Hochstand und Fortschritt neuzeitlicher Stahlbautechnik zeigt und allen Beteiligten zur Ehre gereichen wird. Die Gesamterscheinung des Kugelgasbehälters, dem durch die geschickte Stützung die Erdschwere genommen zu sein scheint, kann als sehr gefällig bezeichnet werden.

Bei dieser Gelegenheit sei auch der Stadtverwaltung und den Kölsch-Fölzer-Werken A.-G. in Siegen für die Bereitstellung der Unterlagen gedankt, die zu einer im Schrifttum der Bauingenieure bisher wenig oder gar nicht behandelten, deshalb die Fachkreise wohl interessierenden Beschreibung eines Kugelbehälters genannten Zweckes geführt haben.

Aus der technisch-wissenschaftlichen Tätigkeit des Deutschen Stahlbau-Verbandes.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Dr.-Ing. K. Klöppel, Berlin.

Vorgetragen auf der wissenschaftlichen Tagung 1934 des Deutschen Stahlbau-Verbandes, Berlin.

Das Berichtsjahr stand wohl wie keines seiner Vorgänger im Zeichen der Neubearbeitung und Herausgabe vieler Vorschriften für den Stahlbau und seine Grenzgebiete. Im Rahmen dieses Vortrages kann leider auf diese interessante und wichtige Tätigkeit, die naturgemäß auch die Wettbewerbsfähigkeit der Stahlbauweise berührt, nicht eingegangen werden. Nur einiges wird im Zusammenhang mit anderen Mitteilungen gestreift.

Von den Versuchsarbeiten können einige nur erwähnt werden. So die Knickversuche an zweiteiligen Stahlstützen mit Betonkern, die gemeinsam mit dem St. M. P. A. Dahlem für außermittige Belastungen fortgesetzt worden sind und recht günstige Ergebnisse gezeitigt haben. Der Tragfähigkeitsabfall ist bei gleichen Außermittigkeiten für kombinierte Stützen verhältnismäßig nicht größer als für reine Stahlstützen.

Die Winddruckversuche, an deren Förderung der Deutsche Stahlbau-Verband schon seit Jahren beteiligt ist, haben mit dem Studium der Windbelastungen von Fachwerken in einem Windkanal des Aerodynamischen Instituts Göttingen zunächst einen gewissen Abschluß gefunden¹⁾.

Nachdem im St. M. P. A. Dahlem ein besonderer Versuchsofen (Bild 1) geschaffen worden ist, werden auch die schon vor der Wirtschaftskrise in Aussicht genommenen Brandversuche mit verschiedenartig ummantelten Stahlstützen natürlicher Abmessungen in Kürze durchgeführt. Im Gegensatz zu den bisher üblichen Untersuchungen dieser Art werden diese Stützen während des Versuches belastet, und zwar etwa mit der Nutzlast. Neben der Widerstandsdauer gegen Feuereinwirkung bestimmten Temperaturverlaufes werden hierbei mittels Thermoelemente auch die Wärmedurchgangszahlen der verschiedenen Ummantelungsbaustoffe und -bauarten festgestellt.

Beabsichtigt ist auch die experimentelle Bestimmung der tatsächlichen Tragfähigkeit stählerner Rahmen, die sich als Aussteifungskonstruktion von Luftschutzräumen besonders gut eignen, insbesondere, weil sie sehr raumsparend und widerstandsfähig gegen waagrecht gerichtete Detonationskräfte sind. Durch diese Versuche sollen Anhaltspunkte dafür gewonnen

¹⁾ Flachsbarth, Modellversuche über die Belastung von Gitterfachwerken durch Windkräfte. I. Teil. Stahlbau 1934, Heft 9, S. 65; Heft 10, S. 73. In der gleichen Zeitschrift erscheint in Kürze ein weiterer, abschließender Bericht desselben Verfassers.

werden, inwieweit die großen plastischen Reserven des Stahles bei der Bemessung der Tragglieder für die vorgeschriebenen Höchstbelastungen der Schutzraumdecken herangezogen werden können. Für diesen ausschlaggebenden Gefahrenfall ist allein die tatsächliche Bruchfestigkeit der Tragkonstruktion entscheidend, so daß größere Verformungen nicht daran hindern sollten, den plastischen Bereich des Stahles bei diesen Konstruktionen rechnerisch weitgehend auszunutzen. Auf diese Weise könnte ein großer Vorteil der Stahlbauweise wirtschaftlich verwertet werden. Bisher werden in dieser Hinsicht alle Bauweisen gleich behandelt.

Einen erheblichen Teil der technisch-wissenschaftlichen Tätigkeit des Deutschen Stahlbau-Verbandes umfaßt seine Mitarbeit und Geschäftsführung im Ausschuß für Versuche im Stahlbau, der in diesem Jahre auf eine 25jährige Tätigkeit zurückblicken kann.

Gerade im Berichtsjahre ist mit umfassenden Dauerfestigkeitsversuchen wieder eine jahrelange Forschungsarbeit beendet worden, die sich den bekannten Versuchen zur Feststellung der Knickspannungslinie von Vollstäben anschloß. Hierüber möchte ich das wesentlichste mitteilen, und zwar im besonderen über die gleichzeitig an drei Material-

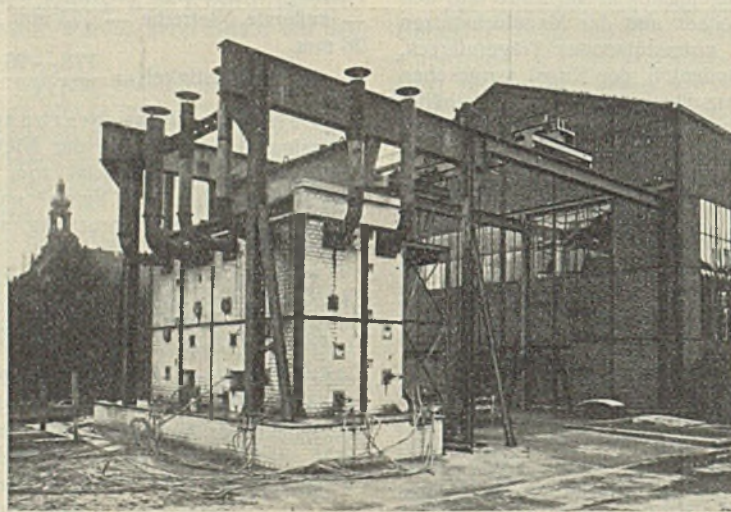


Bild 1. Brandversuchs-Anlage zur Feststellung der Widerstandsdauer verschiedenartig ummantelter Stahlstützen. (St. M. P. A. Dahlem).

prüfungsämtern durchgeführten Dauerversuche an vollen, gelochten und genieteten Stäben mit Walzhaut. Auf Pulsationsmaschinen, die damals mit beträchtlicher Unterstützung durch Reichsbahn und Stahlbau-Verband geschaffen wurden und im übrigen der Schweißtechnik sehr zustatten kamen, wurde die Schwellzugfestigkeit mit geringer Grundlast und damit nahezu die Ursprungszugfestigkeit festgestellt. Das ist diejenige Zugbeanspruchung, die im Wechsel mit dem spannungslosen Zustand beliebig oft — als praktische Grenze werden im allgemeinen 2 Mill. Lastwechsel gewählt — ertragen wird. Die Lastwechselzahl je Minute betrug 350. In einfachster Weise ist unter Benutzung von Mittelwerten aus je etwa fünf Dauerversuchsproben in Bild 2 das Ergebnis dargestellt, und zwar für St 37/34 (Stabwerkstoff = St 37; Nietwerkstoff = St 34). Die linke Ordinate gibt die statische, die rechte die Ursprungfestigkeit an. Die Darstellung veranschaulicht für jede der gewählten Probestufen den Abfall der statischen zur Ursprungfestigkeit und vergleicht außerdem die Festigkeitswerte der verschiedenartigen Probestufen bei gleichartiger Beanspruchung.

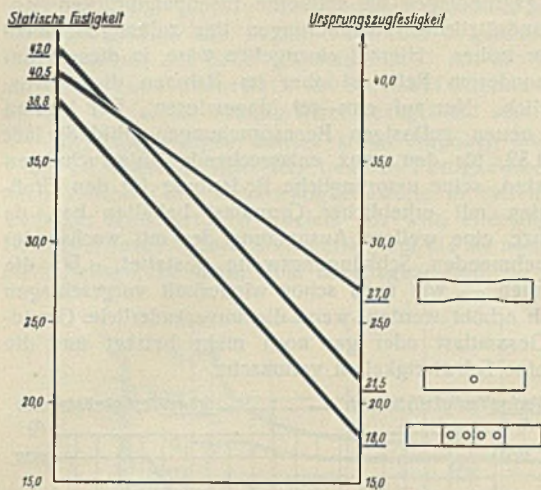


Bild 2. Statische und Ursprungszugfestigkeit genieteter, gelochter und ungelochter Stäbe aus St 37/34.

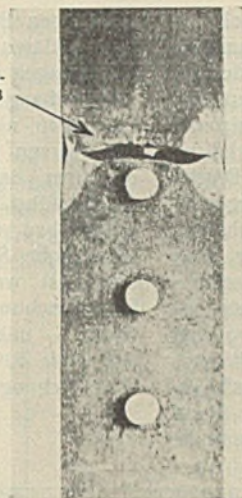


Bild 3. Verhinderung des Bruches im Lochquerschnitt durch hohen Gleitwiderstand.

Während die Verhältnisse für den vollen und gelochten Stab einigermaßen klar liegen, erforderte die Nietverbindung als der kompliziertere Mechanismus weitere Untersuchungen. Festzustellen war insbesondere die Beeinflussung der Dauerfestigkeit durch

- den Gleitwiderstand in den Zusammenbauflächen,
- das Verhältnis der rechnerischen Beanspruchungen auf Zug im Normalquerschnitt des Bleches, auf Druck in der Lochleibung und auf Abscheren in der Querschnittfläche des Nietschaftes, also durch $\sigma : \sigma_l : \tau$.

Bei der im Stahlbau üblichen Berechnung des Nietes als Bolzen, die sich insbesondere auf die Messung von Gleitungen der Nietverbindungen bei statischen Versuchen stützt, mußte es überraschen, daß der Gleitwiderstand bei der Dauerfestigkeit eine beachtliche Rolle spielt. Graf²⁾ bewies dies durch zwei recht aufschlußreiche Vorversuche, von denen ein Bruchbild (Bild 3) zeigt, daß durch großen Gleitwiderstand der Bruchquerschnitt vor die Nietreihe mit der kleinsten Querschnittfläche verlegt und damit eine Erhöhung der Dauerfestigkeit dieser Verbindung erzielt wird. Erklärlich ist diese Erscheinung in erster Linie daraus, daß der Gleitwiderstand einen Teil der Zugkraft überträgt und damit die Lochleibungskraft verringert, die die bekannten ungünstigen Spannungsverhältnisse am Nietlochrand verursacht. Ein Mittel zur Erhöhung des Gleitwiderstandes besteht nun darin, in den Zusammenbauflächen, die durch die Klemmkräfte der Niete zusammengepreßt werden, den Zwischenanstrich mit Bleimennige wegzulassen, da diese selbst im trockenen Zustand wie eine Schmierseife wirkt und dadurch den Gleitwiderstand verringert. Ein anderes Mittel ist die Verwendung weicher unlegierter Nietstähle, die größere Klemmkräfte ergeben als härtere legierte Stähle. Schließlich kann der Gleitwiderstand noch durch Verwendung besonderer Nietverfahren erhöht werden, die große Klemmkräfte und gute Ausfüllung der Nietlöcher verbürgen. Mit manchem Nietverfahren wird vor allem bei langen Nietschaften in der Nähe des Setzkopfes das Nietloch nicht ganz ausgefüllt, oder es bilden sich Einschnürungen der Nietschaften, so daß sich bei wiederholter Kraftübertragung die Bleche um das Spaltmaß gegeneinander verschieben können.

In Würdigung der Wichtigkeit eines großen Gleitwiderstandes für die Dauerfestigkeit einer Nietverbindung verlangt die Reichsbahn, daß besonders geeignete Nietverfahren bei ihren Bauwerken angewendet werden. Eine engere Auswahl der in Betracht kommenden Nietverfahren sollen weitere bereits vorbereitete Versuche bringen.

Auch weichere Nietwerkstoffe werden schon lange verwendet, namentlich St 34 für Bauwerke aus St 37 und St 44 für solche aus St 52, obwohl die größere Scherfestigkeit hochwertiger legierter Stähle sehr erwünscht war. Seit kurzem liegt auch die Erklärung für die Erfahrungstatsache vor, daß mit weicheren unlegierten Nietstählen größere Klemmkräfte erzielt werden als mit härteren legierten Stählen. E. H. Schulz und H. Buchholtz³⁾ haben durch ihre Versuche für das Forschungsinstitut der Vereinigten Stahlwerke festgestellt, daß der Nietstahl während des Abkühlungsvorganges in einem von der Art des Stahles abhängigen, praktisch jeweils aber unveränderlichem Temperaturpunkt eine Gefügewandlung (γ - α -Umwandlung) erfährt, die eine Verlängerung des Nietes nach der schematischen Darstellung des Bildes 4 verursacht. Diese unangenehme Unterbrechung der Schrumpfung des Nietschaftes erfolgt

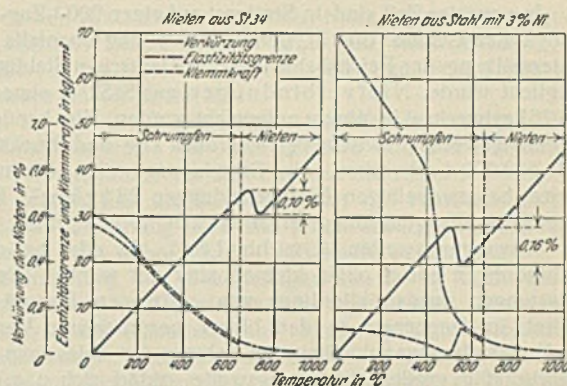


Bild 4. Unterschiedliches Verhalten legierter und unlegierter Nietstähle bei der Erzeugung der Nietklemmkraft. (Schulz-Buchholtz.)

bei legierten Stählen gerade in einem sehr ungünstigen Zeitpunkt, nämlich dann, wenn der Schließkopf bereits geschlagen ist. Nach Überwindung dieser Zwischenlänge hat sich aber der Niet schon so sehr abgekühlt, daß der noch vorhandene Temperaturabfall nicht mehr ausreicht, um den

Nietschaft so weit zu kürzen, daß eine größere Klemmkraft entsteht. Bei unseren weicheren unlegierten Stählen (St 34) liegt dagegen die Gefügewandlung bei wesentlich höherer Temperatur (etwa 700°) und fällt somit in die Zeit des Abnietens, so daß sie den Schrumpfungsvorgang nach dem Schlagen des Schließkopfes nicht mehr beeinflusst.

Die Weglassung des Bleimennige-Zwischenanstriches ist bei Fachwerkstabanschlüssen, sofern es sich um St 52 handelt, bereits vorgeschrieben, jedoch sind Dauerversuche vorbereitet, um ein Zwischenanstrichmittel zu schaffen, das den Gleitwiderstand weniger herabsetzt als die Bleimennige und doch einen größeren Korrosionswiderstand gewährleistet als wohl den Knotenpunkten ohne Zwischenanstrich zugetraut werden darf, die an den Fugen lediglich verkittet sind.

Die Abhängigkeit der Dauerfestigkeit einer Nietverbindung von den Beanspruchungsverhältnissen $\sigma : \sigma_l : \tau$ ist gesondert untersucht worden. Das Ergebnis läßt sich kurz folgendermaßen zusammenfassen: Bei schwelend beanspruchten Verbindungen aus St 37/34 sollte das Verhältnis $\sigma : \tau$ nicht kleiner als 1 : 0,9, bei Verbindungen aus St 52/44 nicht kleiner als 1 : 0,8 sein. Bemerkenswert ist weiterhin, daß die Schwellzugfestigkeit von Nietverbindungen aus St 37/34 sich nur wenig ändert, wenn der Lochleibungsdruck von etwa $1,2 \sigma_{zul}$ auf $2,4 \sigma_{zul}$ zunimmt, obwohl bei diesen Versuchen auch noch die Niet-Scherbeanspruchung von $0,5 \sigma_{zul}$ auf $0,9 \sigma_{zul}$ stieg. Innerhalb der zulässigen Grenzen ist also ein wesentlicher Einfluß von $\sigma_l : \sigma_{zul}$ nicht zu erwarten. Bei Nietverbindungen aus St 52/44 ging jedoch die Schwellzugfestigkeit deutlich zurück, wenn bei gleichbleibender Scherbeanspruchung ($\tau = 0,8 \sigma_{zul}$) die Lochleibung von 1,9 auf $2,5 \sigma_{zul}$ erhöht wurde. Auch dieses Ergebnis hat sich auf die Berechnungsvorschriften (BE) ausgewirkt, indem für Eisenbahnbrücken aus St 37 die zulässige Lochleibung von 2,5 auf $2,0 \sigma_{zul}$ herabgesetzt worden ist. Für St 52 bestand diese Spannungermäßigung schon. In den eben neu erschienenen Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau, DIN 1050, die also für vorwiegend ruhend belastete Bauteile gelten, wurde die zulässige Scherbeanspruchung auf σ_{zul} erhöht, was nach diesen und früheren⁴⁾ Dauerfestigkeitsversuchen durchaus gerechtfertigt ist.

Graf⁵⁾ stellte auch die Ursprungsdruckfestigkeit von gelochten Stäben fest und fand hierbei verhältnismäßig hoch liegende Werte, nämlich bei St 37 28 und bei St 60 30 kg/mm². Der Wert für St 37 liegt über dessen Streckgrenze. Diesen Ergebnissen entsprechen die neuen Reichsbahn-Vorschriften (BE) bis zu einem gewissen Grade ebenfalls, indem eine höhere Beanspruchung zugelassen wird, wenn die größere der beiden Grenzkraft, also max S, eine Druckkraft ist.

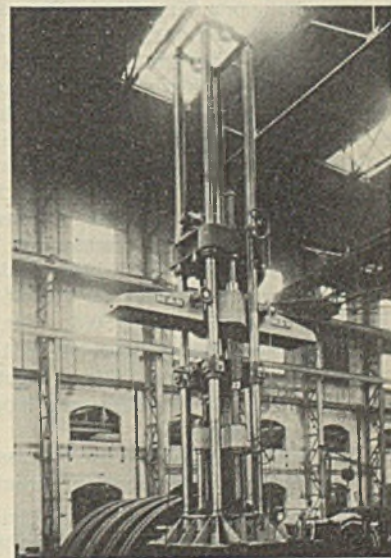


Bild 5. 200-t-Zug-Druck-Wechselstabilitätsmaschine (M. P. A. Stuttgart.)

²⁾ Graf, Dauerfestigkeit von Stählen mit Walzhaut ohne und mit Bohrung von Niet- und Schweißverbindungen. Berlin 1931, VDI-Verlag.

³⁾ St. u. E. 1933, Heft 21, S. 545.

⁴⁾ Schaechterle, Stahlbau 1932, Heft 9, S. 65.

⁵⁾ Stahlbau 1934, Heft 2, S. 9.

In neuester Zeit sind in Stuttgart auf einer 200-t-Zug-Druck-Wechsel-
festigkeitsmaschine (Bild 5), deren Anschaffung ebenfalls durch finanzielle
Unterstützung der Reichsbahn und des Deutschen Stahlbau-Verbandes er-
möglichst wurde, Nietverbindungen aus St 52/44 ohne Zwischenanstrich
bei 26 Lastwechsel je Minute untersucht worden. Hier handelt es sich also um
Spannungswechsel zwischen gleichgroßen Zug- und Druckkräften. Es betrug
bei 500 000 Lastwechsel die Schwingungswerte, die noch zum Bruche
führte, bei zweireihigen Nietverbindungen 28 kg/mm². Für die vergleich-
bare Schwellzugbelastung ergaben sich 17,5 kg/mm². Das Verhältnis
der Schwingungswerte ist mithin 1,6:1. Es wird bei dreireihigen Niet-
verbindungen aus St 52/44 kleiner, aber nur wenig. Die hohen Wechsel-
belastungen wurden allerdings von größeren Formänderungen be-
gleitet, im Gegensatz zu den bisher besprochenen Versuchen, wo sich
die Formänderungen durchaus im Rahmen des Zulässigen hielten. Die ver-
hältnismäßig große Schwingungswerte erklärt sich u. a. daraus, daß die
Zug- und Druckkraft zwei verschiedene Übertragungsflächen der Niete
und Lochwandungen beanspruchen. Mit diesen Versuchsergebnissen ist
nunmehr die Arbeitsfestigkeitslinie für bestimmte Nietverbindungen aus St 52/44
vervollständigt. Einzeluntersuchungen

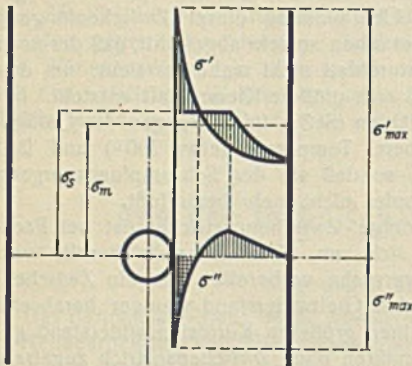


Bild 6.

Spannungsverlauf bei Be- und Entlastung
(Restspannungen σ'').

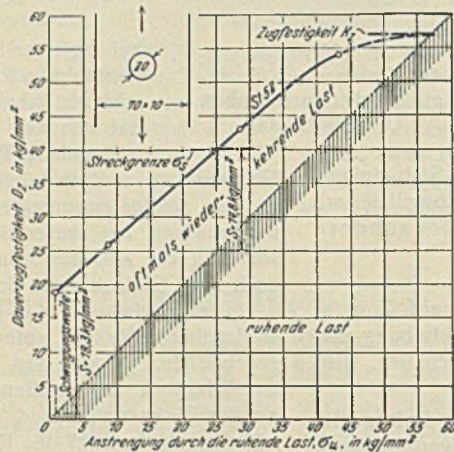


Bild 7.

Schwellzugfestigkeit des gelochten Stabes
aus St 52 (Graf).

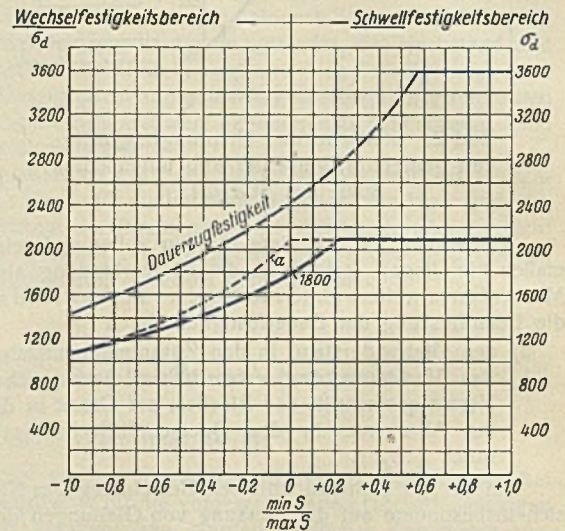


Bild 8. Zulässige Beanspruchungen nach BE (starker
Verkehr) und Dauerzugfestigkeit für genietete Stäbe aus
St 52/44. Kurve a gilt, wenn max S eine Druckkraft ist.

über den Einfluß unterschiedlicher Abmessungsverhältnisse auf die Wechsel-
festigkeit von Nietverbindungen werden sich zur weiteren Klärung wahr-
scheinlich noch anschließen müssen.

Hierbei mag daran erinnert werden, daß man früher zur Beurteilung
der Widerstandsfähigkeit verschiedener Stahlsorten gegen wechselnde Zug-
Druck-Beanspruchungen vergleichsweise auf die Biege-wechselfestigkeit
mit zyklisch-varierenden Spannungen zurückgegriffen hat, die bekanntlich
günstigere Werte ergab⁶⁾. Bei dieser Prüfung dreht sich der Probestab
unter gleichbleibender lotrechter Belastung. Mit der neuen Stuttgarter
Maschine, die die Zug-Druck-Wechselfestigkeit feststellt, kommen wir aber
den Belastungsvorgängen in dem Wechselstab einer Brücke wesentlich näher.

Es könnte gefragt werden, warum nicht erst der gelochte Stab auf
Zug-Druck-Wechselfestigkeit untersucht worden ist. Nun, man kann
kaum erwarten, daß seine Wechselfestigkeit wesentlich kleiner ist als
seine Ursprungsfestigkeit; denn an den höchstbeanspruchten Stellen des
Lochrandes treten auch schon bei Ursprungsbeanspruchung infolge von
Druckrestspannungen, die jeweils bei der Entlastung entstehen, Wechsel-
beanspruchungen auf⁷⁾ (Bild 6). Daraus erklärt sich auch die wichtige und
für die Vorschriften bestimmende Erkenntnis, daß mit steigender gleich-
gerichteter Vor- oder Grundlast die bei der Ursprungsfestigkeit vorhandene
Schwingungswerte bis zur Streckgrenze nur langsam abnimmt. Bild 7
gibt diese Verhältnisse für den gelochten Stab wieder. Die Vorlast kann
eben die gefährlichen Restspannungen am Lochrand teilweise oder ganz
aufheben und im letztgenannten Falle zwischen Zug und Druck wechselnde
Beanspruchungen ausschließen. Einschränkend ist zu bemerken, daß die
Schwingungswerte für schwellend beanspruchte Nietverbindungen nach
neuesten Versuchen mit wachsenden Vorlasten stärker abnimmt als bei
gelochten Stäben. Für St 52/44 betrug die Schwingungswerte bei 17,0 kg/mm²
Vorlast 8,5 kg/mm² und bei der Vorlast 0 (Ursprungsfestigkeit) 15,5 kg/mm²;
dabei war $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1 : 1,9 : 0,8$. Für St 37/34 und $\sigma : \sigma_1 : \tau = 1 : 2,5 : 0,9$
ergab sich die Schwingungswerte bei 16,2 kg/mm² zu 8,1 kg/mm² und bei
Vorlast 0 zu 21 kg/mm². Diese Ergebnisse lenken die Aufmerksamkeit
besonders auf die Verbesserungsmöglichkeit der Vernietungen hoch-
wertiger Baustähle.

Die mitgeteilten Versuchsergebnisse bildeten einen wesentlichen Teil
der Grundlagen⁸⁾ für die Neubearbeitung der im Jahre 1934 neu er-

⁶⁾ Schäper, Bautechn. 1934, Heft 2, S. 23.

⁷⁾ Schaechterle, Die Dauerfestigkeit von Niet- und Schweiß-
verbindungen. Abhandlungen der Internationalen Vereinigung für Brücken-
bau und Hochbau. II. Bd. Zürich 1934.

⁸⁾ Kommerell, Bautechn. 1934, Heft 2, S. 25.

schienenen Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken (BE)
und erklären die grundsätzlichen Abänderungen der zulässigen Beans-
pruchungen gegenüber früher. Hierauf einzugehen wäre, in diesem Zu-
sammenhang von besonderem Reiz, ist aber im Rahmen dieser Aus-
führungen nicht möglich. Nur auf eins sei hingewiesen. Der Verlauf
der Kurven für die neuen zulässigen Beanspruchungen (Bild 8) läßt
erkennen, daß der St 52, für den ganz entsprechende Untersuchungen
durchgeführt worden sind, seine ursprüngliche Bedeutung für den Groß-
brückenbau und Bauten mit erheblicher Grundlast behalten hat, da
seine hohe Streckgrenze eine weitere Ausnutzung der mit wachsender
Grundlast wenig abnehmenden Schwingungswerte gestattet. Ja, die
Beanspruchungen könnten — wie auch schon wiederholt vorgeschlagen
wurde — unbedenklich erhöht werden, wenn die unveränderliche Grund-
last etwa 40% der Gesamtlast oder gar noch mehr beträgt und die
Durchbiegungsfrage keine Schwierigkeiten verursacht.

Über die unmittelbare Übertragbarkeit der auf Pulsationsmaschinen
gewonnenen Erkenntnisse auf die Betriebsverhältnisse sind die Meinungen
noch sehr geteilt. Jedenfalls würde man an den tieferen Einblicken, die
nur Dauerfestigkeitsversuche gewähren, vorbeigehen, wollte man sie mit-
unter zur Veranlassung nehmen, die zulässigen Beanspruchungen ganz
allgemein herabzusetzen. Wir haben gerade gesehen, daß sie ebensogut
die Berechtigung zur Erhöhung der zulässigen Beanspruchungen bei größeren
Grundlasten liefern. Ihre einwandfreie Auswertung für die Praxis spricht
vor allem gegen Verallgemeinerungen auf alle Tragglieder und Belastungs-
arten. Weit mehr als bisher wird unterschieden werden müssen zwischen
Bauwerksteilen, die wechselnd oder schwellend, und solchen, die vor-
wiegend ruhend beansprucht werden. Die Lücke zwischen Versuchs-
ergebnis und Betriebsspannung erfordert auch deren genauere Bestimmung
an bestehenden Bauwerken. Hier erwächst der Forschung eine neue,
umfassende Aufgabe; umfassend nicht nur wegen der Notwendigkeit,
viele Bauwerke auf ihre tatsächlichen Spannungen zu untersuchen, sondern
auch deshalb, weil jetzt, wo Dauerversuchsergebnisse den Ausgangspunkt
unserer Bemessungsverfahren bilden, die Zeit und die unterschiedliche
Wahrscheinlichkeit für das millionenfache Auftreten der höchsten Beans-
pruchungen in Bauwerken und einzelnen Tragteilen eine wesentliche
Rolle spielen. In diesem Sinne hat schon die Reichsbahn unterschieden
zwischen Brücken mit starkem und Brücken mit schwachem Verkehr.
Folgerichtig müßten bei weiterem Ausbau der Bemessungsverfahren auf
der Grundlage von Dauerfestigkeitswerten — falls sich hierfür die Not-
wendigkeit ergibt — den einzelnen Belastungen bei ihrer Summierung
zur Gesamtlast auch noch verschiedene Gewichte für die Wahr-
scheinlichkeit ihrer wiederholten Zusammenwirkung zur Höchstlast beigelegt
werden, und zwar über die Auswirkungen der unterschiedlichen zulässigen
Beanspruchungen für Belastungsfall I (Hauptlasten) und II (Hauptlasten und
Zusatzlasten) hinaus.

Stets sollte man sich vor Augen halten, daß unter Zugrundelegung
der Dauerfestigkeitswerte gegen Beanspruchungen gesichert wird, die bis
zum Bruch, z. B. 2 000 000 mal erreicht werden dürfen, während andere
Baukonstruktionen oft nur gegen Bruchbelastungen gesichert werden,
bei denen schon ein einmaliges Erreichen dieser Grenze zur Zerstörung
führen kann.

Diese Überlegungen finden ihren Ausdruck in dem Verlauf der
Wöhlerlinie (Bild 9), die die Abhängigkeit zwischen Lastwechselzahl
und ertragbarer Beanspruchung regelt. Danach kann man für schwellend
belastete Bauteile, die ihre Höchstlast, welche aller Wahrscheinlichkeit
nach nur selten auftritt, nach menschlichem Ermessen z. B. kaum 100 000 mal

erreichen, eine größere Beanspruchung zulassen, als die Wöhlerlinie für 2 000 000 Lastwechsel angibt. Aus Bild 9 geht auch hervor, daß die Überlegenheit des St 52 gegenüber St 37 mit abnehmender Lastwechselzahl wächst und unterhalb 300 000 Lastwechseln beträchtlich ist, da hier wieder die Streckgrenzen maßgebend sind.

Die Ausführungen dürften schon erkennen lassen, daß wir auf dem Wege zu einer wirklichkeitsgetreueren Festigkeitsberechnung sind, wobei dann vielleicht die Dauerfestigkeitswerte in vielen Fällen nur die Rolle wichtiger Kennziffern spielen. Es wird allerdings auch Tragteile mit Beanspruchungsverhältnissen geben, auf die sie nach Berücksichtigung des Sicherheitsgrades unmittelbar übertragbar sind.

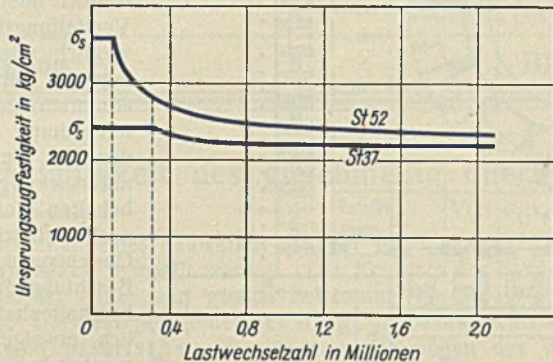


Bild 9. Wöhlerlinien gelochter Stäbe aus St 52 und St 37 für Ursprungszugfestigkeit mit Begrenzung durch die Streckgrenzen.

Erwähnt sei noch, daß der Einwand, für geringere Lastwechselzahl als 350 je Minute seien die Dauerfestigkeitswerte größer, nach neueren Untersuchungen in den in Frage kommenden Grenzen wohl nicht unbedingt stichhaltig ist. Auch läßt sich nach dem Stand der Erkenntnisse noch nichts Endgültiges darüber aussagen, ob sich die Betriebspausen auf die Dauerfestigkeitswerte günstig auswirken. Es liegt sowohl ein Versuch vor, der dies verneint, als auch ein weiterer, der zu der Annahme führen könnte, daß längere Betriebspausen unter Umständen festigkeitserhöhend wirken. Weitere Untersuchungen dieser Art werden noch zu erwarten sein.

In der gleichen Linie liegen die Hinweise, daß die in den Gemeinschaftsversuchen geprüften Laschenverbindungen mit beiderseits zwei hintereinanderliegenden Nietern ungünstigere Dauerfestigkeitswerte ergeben dürften als die stärkeren Anschlüsse in Brücken mit — vor allem senkrecht zur Belastungsrichtung — stärkerer Nietbesetzung; denn selbst wenn $\tau : \sigma$ in den zulässigen Grenzen ausgenutzt ist, wird hier der Gleitwiderstand höher sein. Wohl ist dann im allgemeinen die Verteilung der Stabkraft auf die einzelnen Niete ungleichmäßiger, aber vielleicht nur am Anfang; denn es ist ja gerade festgestellt worden, daß im Laufe der Dauerversuche mit stufenweiser Belastungszunahme ein weitgehender

Ausgleich zwischen den Anteilen der einzelnen Niete an der Übertragung der Gesamtkraft eintritt. Hierzu werden wohl auf einer größeren Maschine noch Prüfkörper zu untersuchen sein, die den praktischen Abmessungsverhältnissen besser entsprechen.

Offensichtlich ist, daß die Dauerfestigkeit der Nietverbindungen keine so weitgehende Unabhängigkeit von dem Nietbild und den Elastizitätsverhältnissen der verbundenen Teile aufweist wie die statische Festigkeit. Andererseits folgt daraus, daß die Dauerfestigkeit von Nietverbindungen durch deren bauliche Gestaltung und die schon erwähnten besonderen Herstellungsverfahren nicht unbeträchtlich verbessert werden kann.

Durch die Bestimmung der Dauerfestigkeitswerte ist auch unsere frühere Sicherheitszahl um ein Geheimnis ärmer geworden. Dieser Fortschritt in der Analyse der Sicherheitszahl rechtfertigt selbstverständlich auch deren Herabsetzung. Auch dieser Weg ist in den Berechnungsgrundlagen für stählerne Eisenbahnbrücken bereits besprochen. Aber noch manche Erkenntnis wird gewonnen werden müssen, um das verlangte Verhältnis zwischen den praktischen, d. h. unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebsverhältnisse denkbaren Grenzwerten für den größten Angriff von außen und den kleinsten Widerstand von innen für jeden Bauteil bis auf den unentbehrlichen „psychologischen Rest“ zurückführen zu können.

Mit der Auflösung des Kuratoriums für Dauerfestigkeitsversuche an Schweißverbindungen beim VDI hat sich auf stahlbautechnischem Gebiet der Schwerpunkt für schweißtechnische Forschungsarbeiten wieder auf den Ausschuß für Versuche im Stahlbau verlagert, der seinerzeit schon mit den bekannten Dresdener Versuchen die Grundlage schuf für die erstmalige Herausgabe der Vorschriften für geschweißte Stahlbauten (DIN 4100). Auch auf diesem Gebiet sind umfassende Versuche eingeleitet und zum Teil schon in der Durchführung begriffen. So werden zwei Versuchsreihen Aufschluß geben über die zweckmäßige Ausbildung von Stoßverbindungen in Blechträgern und Walzprofilträgern. Ferner untersucht eine Versuchsanstalt geschweißte Rahmenecken unter besonderer Berücksichtigung der Schrumpfspannungen. Die gleiche Frage soll durch Knickversuche mit I-Stützen geklärt werden, deren Stoßverbindung lediglich eine Stumpfnah in Stützenmitte bildet. Die Auswirkungen der Schrumpfspannungen interessieren hier deshalb besonders, weil die Knickfestigkeit nicht über der Streckgrenze liegen kann und somit ein Plastizitätsausgleich nur in einem sehr bedingten Maße in Betracht kommen kann. Schließlich wird auch noch an Trägern mit Stegblechstumpfstößen der Einfluß der Schrumpfspannungen auf die Dauerbiegefestigkeit untersucht. Auch die Wechselfestigkeit von \square -Profilanschlüssen mit Flankenkehlnähten ist schon auf der erwähnten 200 t-Maschine in Stuttgart festgestellt worden. Diese Versuche werden für Flachstäbe mit Stumpfstößen fortgesetzt. Es laufen außerdem noch einige kleinere Versuche. Mit diesen umfassenden Versuchsarbeiten sind gleichzeitig vier Materialprüfungsämter betraut.

Dieser Ausschnitt aus den technisch-wissenschaftlichen Arbeiten des Deutschen Stahlbau-Verbandes dürfte gezeigt haben, daß auch auf dem Gebiet der Forschung wieder reges Leben herrscht, dessen Ziel der Fortschritt des deutschen Stahlbaues zum Wohle unseres Vaterlandes ist.

Beitrag über die Stahlkonstruktionen der Wettbewerbsentwürfe um die Kongreßhalle in Hamburg.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Dr.-Ing. Alfred Junge, Hamburg.

(Fortsetzung aus Heft 3.)

3. Entwurfsverfasser:

Baurat Max Schmidt, Hamburg
(ein 1. Preis).

Die leitenden Entwurfsgedanken seitens des Entwurfsverfassers, die die gewählte Konstruktion begründen, seien zunächst angeben:

Ein wesentlicher Gesichtspunkt für den architektonischen Aufbau einer Riesenhalle, wie sie im Wettbewerb um die Hamburger Kongreßhalle verlangt war, bildet das konstruktive Gerippe. Die Programmforderung, 60 000 Menschen unter einem Dache so unterzubringen, daß der Redner von allen Plätzen aus sicht- und hörbar ist, zwingt zur Wahl einer Konstruktion, die außerordentliche Spannweiten ermöglicht und außerdem den Forderungen in akustischer Beziehung gerecht wird. Erfahrungsgemäß sind niedere und flache Räume akustisch besser, als hohe und insbesondere gewölbte Räume. Baurat Schmidt schlägt

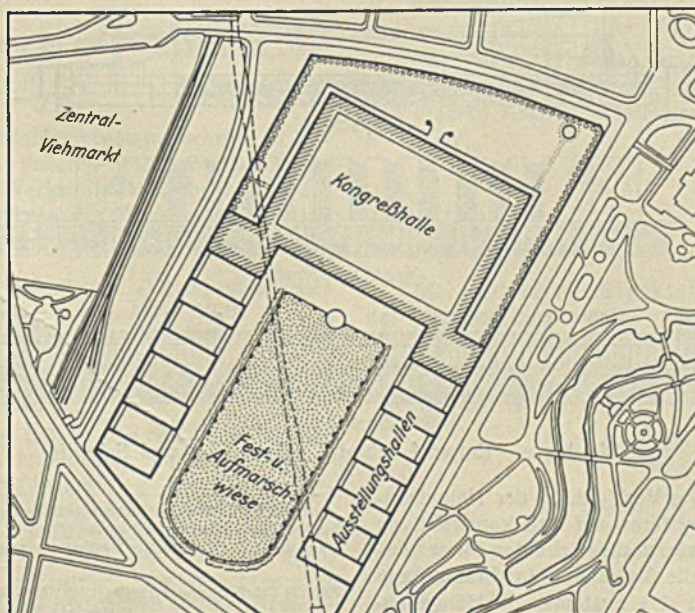


Bild 11. Entwurf Schmidt. Lageplan.

aus diesen Erwägungen heraus bei seinem Entwurfe als konstruktives Gerippe das Zugseilssystem vor, das in Bild 14c angedeutet ist. Untersuchungen über die Verwendungsmöglichkeit dieser bei Brücken vielfach erprobten Konstruktion für Hochbauten sind bereits mit Erfolg angestellt worden, so daß hier kein weiterer Nachweis zu erbringen ist. Über die grundrissliche Anordnung des Projektes sei kurz folgendes gesagt.

Mittelpunkt der Kongreßhalle ist die Sportarena (Bild 11 u. 12). Die Ausstellungs- bzw. Kongreßhallen sind unmittelbar an die Sporthalle angeschlossen und sind sowohl getrennt wie auch mit der Arena gemeinsam zu benutzen. Der Hallenbau ist mit 12 Seilen überspannt, die in 16 m Entfernung liegen. Die Spannweite der Seile beträgt 144 m. Die seitlichen Teile des Zugseiles sind aus architek-

tonischen Gründen strebepfeilerartig verkleidet. Die perspektivische Skizze (Bild 13) zeigt, daß die angewandte Konstruktion durchaus einen guten architektonischen Aufbau ermöglicht. Zwischen Sportarena und Ausstellungshallen

sind bewegliche Zwischenwände vorgesehen. Zwischenwände nebst Gleitstützen sind automatisch zu entfernen, so daß bei Massenversammlungen ein stützenfreier Raum vorhanden ist. Die Zugselle übernimmt naturgemäß die Last der Hallendecke und der aufgehängten Zwischenwände. Die Bilder 14 a bis e zeigen Schnitte und Ansichten des Entwurfs.

Die allgemeinen Entwurfsgedanken des Herrn Baurat Schmidt zeigen u. a., daß die aus dem Hängebrückenbau bekannte Konstruktion in außergewöhnlichen Fällen auch bei Hochbauten Anwendung finden kann. Die vorwiegend beständigen Lasten aus dem Eigengewicht der Konstruktion, des Daches und den untergehängten Decken gestatten, mit einem nur geringen Materialzuschlag für den Versteifungsträger auszukommen. Das Pfeilverhältnis ist hier, wie Bild 14c zeigt, relativ klein und wird in seiner Größe wesentlich von architektonischen Gesichtspunkten beeinflusst, um z. B., wie Bild 13 zeigt, eine Verkleidungsmöglichkeit der Hängekonstruktion mit Rückhaltseilen zu gewinnen. Infolge der Verkleidung wirkt die Tragkonstruktion auf den Beschauer, wie die Perspektive des Bildes 13 zeigt, ähnlich wie eine Rahmenkonstruktion mit an den Fundamenten

verstärkten und eingespannten Streben. Die Verkleidung der Hängekonstruktion als Rahmen führt somit ohne weiteres auf den konstruktiven Gedanken, das Haupttragssystem in dem wie vorher bezeichneten Sinne auszubilden. Die Kostenfrage würde hier, da die Architektur in diesem Falle unbeeinflusst bleiben würde, für die Wahl des Systems, ob Hängekonstruktion oder Rahmen, ausschlaggebend sein.

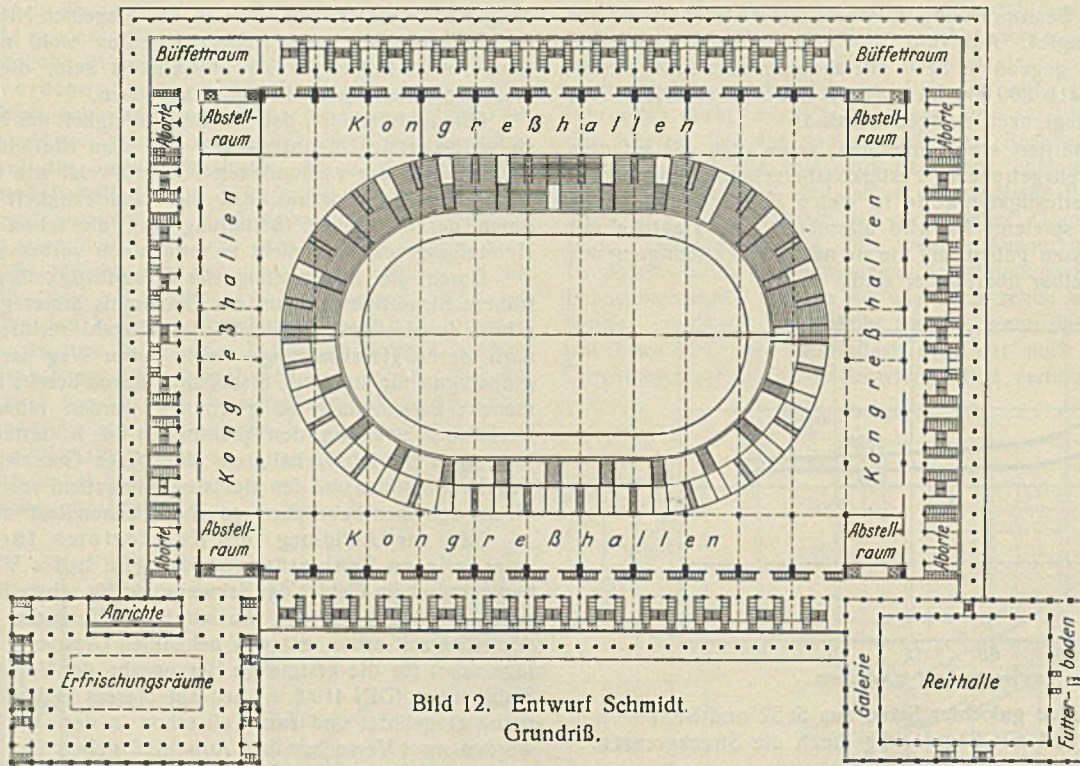


Bild 12. Entwurf Schmidt. Grundriß.

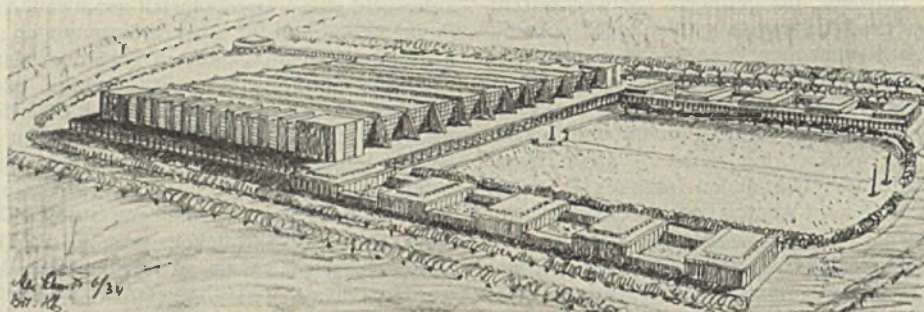


Bild 13. Entwurf Schmidt. Schaubild.

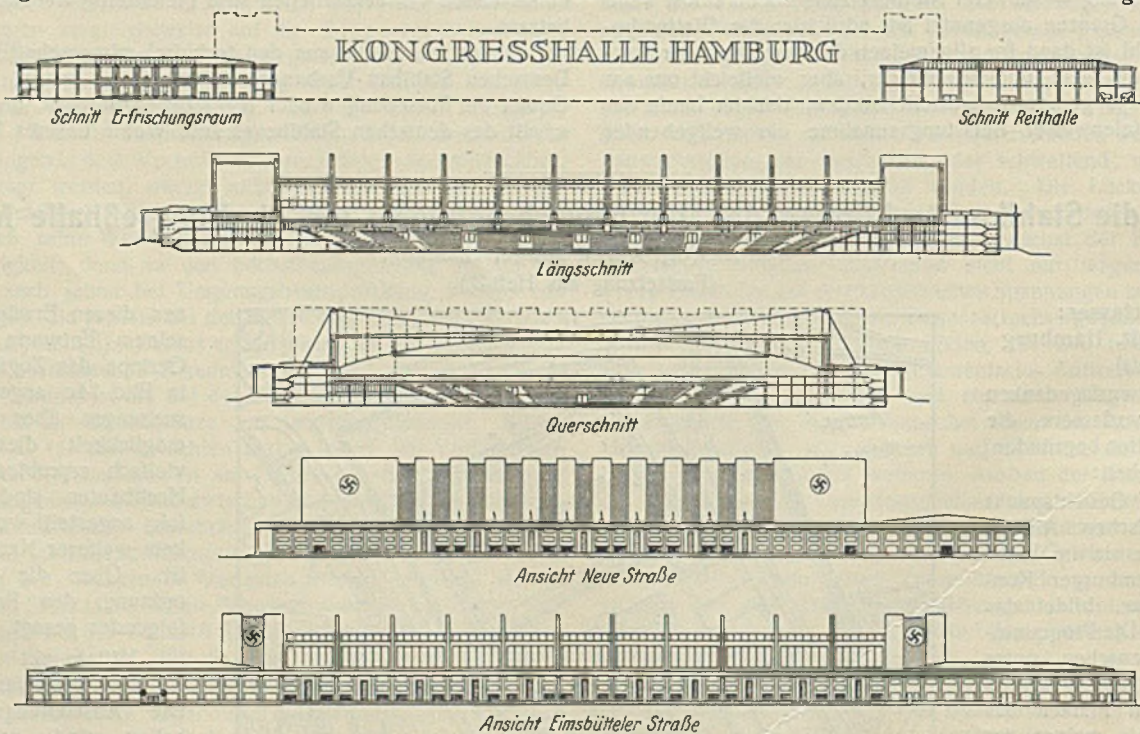


Bild 14 a bis e. Entwurf Schmidt. Ansichten und Schnitte.

Das kleine Pfeilverhältnis des Hängeseiles und die scharf an die Pylonen herangezogenen Rückhaltketten bedingen relativ große Seilquerschnitte. Die Einzelheiten der Konstruktion, ob z. B. die Auflagerung des Seiles auf den Pylonen beweglich oder fest, der Versteifungsträger beweglich oder fest zu lagern, statisch bestimmt oder statisch unbestimmt auszubilden ist, muß Einzeluntersuchungen vorbehalten bleiben, die nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten unter Beachtung der Bodenbeschaffenheit, bezüglich etwaiger Fundamentsenkungen, zu orientieren wären. Der Verfasser möchte sich für die vorliegenden Verhältnisse, wenn

auch allgemein, wie die bekannten Grüningschen Untersuchungen²⁾ zeigen, beim Vorhandensein geeigneter Bodenverhältnisse, dem statisch unbestimmten Bauwerk der Vorrang gebührt, für eine möglichst statisch bestimmte Ausbildung der Konstruktion aussprechen, bei der im besonderen der Temperatureinfluß und etwaige Stützensenkungen (in-

folge des kleinen Pfeilverhältnisses) das Kräfte-spiel möglichst nicht oder nur unbedeutend beeinflussen und bei dem zugleich eine ermöglichte Temperaturendeckung des Versteifungsträgers der Dachkonstruktion, dem Traufanschluß des Daches und dem Aufbau der Außenwände möglichst wenig Schwierigkeiten entgegengesetzt. (Schluß folgt.)

²⁾ Grünig, Statisch unbestimmte Tragwerke aus Stahl bei beliebig oft wiederholter Belastung. Berlin, W. Ernst & Sohn.

INHALT: Hochdruckgasbehälter in Kugelform für die Stadt Siegen in Westfalen. — Aus der technisch-wissenschaftlichen Tätigkeit des Deutschen Stahlbau-Verbandes. — Beitrag über die Stahlkonstruktionen der Wettbewerbsentwürfe um die Kongreßhalle in Hamburg. (Fortsetzung.)

Für die Schriftleitung verantwortlich: Oeh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 8. Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.