DER STAHLBAU

Schriftleitung: Geh. Regierungsrat Professor Dr.-Jug. A. Hertwig, Berlin-Wilmersdorf, Sächsische Str. 43 Fernsprecher: 87 7421 Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 42161

Beilage zur Zeitschrift

DIE BAUTECHNIK

Fachschrift für das gesamte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

11. Jahrgang

BERLIN, 23. Dezember 1938

Heft 26

Allgemeine Gesichtspunkte für den Entwurf von Ausstellungs- und Kongreßhallen.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Prof. Dr.: Jug. K. Klöppel, Darmstadt.

(Schluß aus Heft 25.)

Wir können nach den bisherigen Feststellungen zusammenfassen, daß vor allem die Wahl des Grundrisses, der Tageslichtzuführung und der Ranganordnung über das System und die Form des Hallentragwerkes entscheidet.

Rahmenbinder rechteckiger Form dürften im Großhallenbau vorherrschen. Meist werden die verhältnismäßig breiten Pfosten nach außen oder in Nebenräume verlegt, so daß im Innern nur der Riegel sichtbar ist und der Eindruck eines Balkentragwerkes entsteht. Bei vollwandiger Ausführung sollten sie aber schöner wirken, wenn auch die Pfosten zu sehen sind und gewissermaßen aus dem Boden herauswachsen. Auch

hier sei nochmals auf die Verwendung massig wirkender, selbstverständlich gegen örtliches Beulen gut aus-gesteifter Hohlprofile aus Stahl aufmerksam gemacht. Um bei Zweigelenkrahmen Gründungsschwierigkelten oder unangenehmen Folgen von Fundamentnachglebigkeiten aus dem Wege zu gehen, die sich bei Hallenbauten insbesondere in Verklemmungen weiter Tore als Folge unzulässig großer Durchblegungen recht unangenehm bemerkbar machen können, empfiehlt sich die Anordnung von Zugbändern unterhalb des Erdbodens. Da heute die unvermeidlichen Stöße dieser Zugbänder mittels Widerstandsschweißung hergestellt werden können, braucht auch mit der gefürchteten bleibenden Längung des Zugbandes, die sich meist erst nach einiger Zeit einstellte, nicht mehr gerechnet zu werden. Aus diesem Grunde wurde auf Zugbänder meist

ganz verzichtet oder deren zulässige Beanspruchung stark vermindert. Diese Vorteile der Schweißtechnik werden übrigens bei Betrachtung des Anteiles der Schweißtechnik am Fortschritt der Bauweisen (einschließlich Eisenbetonbau) leider meist wenig oder gar nicht beachtet. Das baustofflich bedingte Auftreten bleibender Durchbiegungen, die noch lange nach Erstellung der Halle zunehmen können und zu betrieblichen Störungen, z. B. an den Toren, führen können, spielt bei Stahlbauten erfreulicherweise überhaupt keine nennenswerte Rolle.

Die Binderabstände werden im Großhallenbau aus ästhetischen Gründen meist größer gewählt, als sie sich aus Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen ergeben. Auf die bekannte Abhängigkeit zwischen Binderentsernung und Stahlauswand b, die bekanntlich als Folge der zulässigen Beanspruchungen, Durchbiegungsbestimmung und Ausnutzbarkeit der Formstähle (Widerstandsmoment: Trägheitsmoment) ein Minimum für bestimmte Binderentsernungen und Belastungen ausweist, kann dabei kaum Rücksicht genommen werden. Wenn große Binderentsernungen die Ausnutzung der zulässigen Beanspruchung in den Psetten der Durchbiegungsbestimmung wegen nicht gestatten, strebt man Psettenkonstruktionen an, die als eingespannte Träger berechnet werden können, oder wählt Fachwerkpsetten, die sich alserdings nicht in alle Abmessungs-

gegangen werden. Bei der Messehalle 7 hat man 1 wobei zu beachten ist, daß hier St 48 zur Verw zwischen durch St 52 abgelöst worden ist. Es lass sem neuen ho leichtere Stahlk wenn es geling bestimmung averständlich mis solcher Größe ebau Überhöhur den, die etwa di Eigengewichts Die Rücksichtin biegungsbestim in manchen F

Bild 16. Halle auf der Chikagoer Weltausstellung 1931.

verhältnisse harmonisch einfügen lassen und auch mit vollwandigen meist nicht befriedigend in Einklang zu bringen sind. Ein wirksames Mittel, das übrigens schon bei Erstellung der Messehalle 21 im Jahre 1927 angewendet wurde, ist die Verwendung kaltgebogener Bleche in \square -Form, womit gegenüber den gewalzten Trägern gleichen Trägheitsmomentes erheblich an Baustoff eingespart werden kann. Unter 13 m dürfte bei der Wahl der Rahmenbinderentfernung für neuzeitliche Großhallen kaum gegangen werden. Bei der Messehalle 7 hat man bereits 19,5 m erreicht, wobei zu beachten ist, daß hier St 48 zur Verwendung kam, der inzwischen durch St 52 abgelöst worden ist. Es lassen sich also mit die-

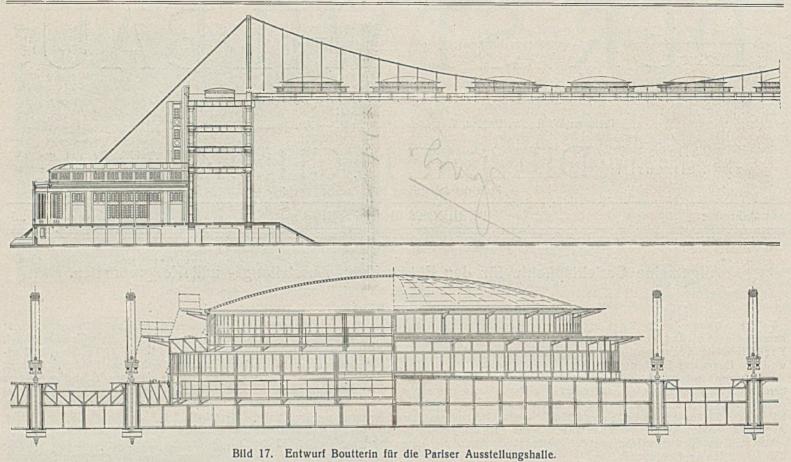
sem neuen hochwertigen Stahl noch leichtere Stahlkonstruktionen erzielen, wenn es gelingt, die Durchbiegungsbestimmung auszuschalten. Selbstverständlich müssen bei Tragwerken solcher Größe ebenso wie im Brückenbau Überhöhungen angeordnet werden, die etwa die Durchbiegung infolge Eigengewichts ausgleichen sollten. Die Rücksichtnahme auf die Durchbiegungsbestimmungen kann übrigens in manchen Fällen für die Bevorzugung des Dreigelenkbogens gegenüber dem Zweigelenkbogen sprechen.

Stählerne Hallen mit ebener Deckenunteransicht, aber ohne Zwischendecke sind bis zu etwa 100 m Spannweite ausgeführt, und zwar hält die Messehalle 7 nach wie vor diesen Rekord. Fachwerkrahmenbinder rechteckiger Form aus St 52 könnten natürlich, ohne grundsätzliche Schwierigkeiten erwarten zu müssen, bei nicht allzusehr beschränkter Bauhöhe ein

Mehrfaches dieser Spannweite erreichen. Es wird dann aber notwendig sein, einen überwiegenden Teil des Fachwerkriegels außerhalb des Halleninnenraumes anzuordnen. Die bei der Messehalte 7 bevorzugte Bauweise ermöglicht jedenfalls noch unter Wahrung recht ansprechender Gestaltung eine wesentliche Erhöhung der Spannweiten solcher Rahmenbinder. Sollte man nach dem an früherer Stelle empfohlenen Versuch das fachwerkartige Tragwerk der Großhalle im Innern zeigen, so müßte diese eine domartige Höhe erreichen, um einen günstigen schönheitlichen Eindruck zu verbürgen. Dabei wären aber Nachteile, wie große Heizkosten, schlechte Hörsamkeit usw., unvermeidlich. Man wird aber auch aus wirtschaftlichen Gründen — die Baukosten wachsen natürlich beträchtlich mit einer solchen großen Zunahme der Hallenhöhe — bei Hallenbauten mit mehreren hundert Metern Spannweite das Tragwerk oder einen wesentlichen Teil davon immer außerhalb anordnen.

So kommt man bei solchen Großhallen zu Bogen- und schließlich zu Hängekonstruktionen. In beiden Fällen ist für gute Gründung und Verankerung Sorge zu tragen. Da aber bei großen Spannweiten das Eigengewicht der Kabelkonstruktion im allgemeinen nicht unwesentlich geringer sein wird als dasjenige der Bogenkonstruktion, verdient die erstgenannte den Vorzug. Zu dem gleichen Ergebnis kommt man unter Berücksichtigung ästhetischer Momente. Die Erfahrungen aus dem Hängebrückenbau könnte man sich im weiten Maße hierbei zunutze machen. Bereits auf der Weltausstellung in Chikago 1931 ist das Hängedach für

⁶⁾ Dahlhaus, Die Bestimmung der günstigsten Abmessungen von Fachwerkbogenbindern hoher elserner Hallen. Dissertation, Berlin 1911.



eine Ausstellungshalle angewendet worden (Bild 16). Allerdings wäre bei der hier vorgelegenen Spannweite von rd. 63 m die Anwendung einer solchen Konstruktion natürlich noch nicht erforderlich gewesen. Es ist aber verständlich, wenn die Amerikaner als Meister des Hängebrückenbaues dieser Tragkonstruktion ihr besonderes Interesse entgegengebracht haben. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß schon Hängebrücken über 1000 m Spannweite dem Verkehr übergeben worden sind, so kann man sich unter Berücksichtigung dessen, daß bei der Halle in wesentlich mehr als

zwei senkrechten Tragebenen Kabelstränge angeordnet werden können, einen Begriff davon machen, welche gewaltigen, stützenfrei überspannten Hallenräume geschaffen werden können. Schon bei verschiedenen Wettbewerben ist diese Tragwerksform aufgetaucht, so bei dem Wettbewerb um die Hamburger Kongreßhalle im Jahre 1933 und kürzlich bei dem Wettbewerb um die Großhalle für die Pariser Weltausstellung 1937. Der Entwurf für diese Pariser Halle ist in Bild 17 wiedergegeben. Es handelt sich hier um die im Hallenbau noch lange nicht erreichte Spannweite von

256 m, wobei die Pylonen die stattliche Höhe von 82 m erhalten würden. Es soll allerdings nicht verkannt werden, daß die Aufgabe der äußeren architektonischen Gestaltung einer solchen Großhalle mit Hängedach, nach den bisher bekanntgewordenen Entwürfen zu urtellen, offenbar noch nicht befriedigend gelöst ist. Auch die konstruktive Durchbildung der Hallendecke, die vor allem bei Längenänderung der Kabel durch Belastungsund Temperaturwechsel nicht unbeträchtlichen Bewegungen ausgesetzt ist, bedarf gründlicher Überlegungen. Es bereitet

Schwierigkeiten, die zur Aufnahme dieser Änderungen erforderlichen Deckenfugen so auszubilden, daß undichte Stellen und Gleit- oder Reibungsgeräusche der beträchtlichen Verschiebungen vermieden werden. Die Lösung dieser Aufgabe ist dennoch erstrebenswert, denn es könnten mit solchen gewaltigen Hallenräumen großartige Wirkungen hervorgerufen werden, insbesondere, wenn eine nahezu ebene Decke gewählt wird, die bei gleichen Spannweiten den Eindruck größerer Kühnheit hervorruft als eine stark gewölbte Decke. Eine solche Halle würde auch auf jeden

Menschen neuartig wirken, da wir so große Spannweiten auch von unseren derzeitig größten Hallen her nicht gewöhnt sind und bei diesen fast nur die gewölbte Dachtorm kennen. Mit größter Spannung würde die Fachwelt die Erstellung der ersten größeren Halle dieser Baukonstruktion erwarten. An entsprechend großen Bauaufgaben sollte es auf die Dauer im neuen Deutschland nicht fehlen,

Wie schon früher betont wurde, ist natürlich nicht die größtmögliche Spannweite für eine Großhalle das unbedingt erstrebenswerte Ziel. Zwischenstützen können den

architektonischen Reiz manches Hallenraumes durchaus erhöhen (Bild 18). Es kommt dann auch der Balken für Großhallen mehr in Betracht. Seine Anwendung ist natürlich dann gegeben, wenn die Umfassungswände massiv ausgeführt sind oder die stählernen Pfosten, auf denen der Binder ruht. unten eingespannt sind, wofür z. B. der kleinere Stahlverbrauch geltend gemacht werden könnte. Auch Bogenbinder mit Zugband in Traufenhöhe müssen in diesem Zusammenhang erwähnt werden, dle aber für ästhetisch sehr befriedigende Großhallen



Stützweite 256 m.

Bild 18. Entwurf für Messehalle XIX, Leipzig.

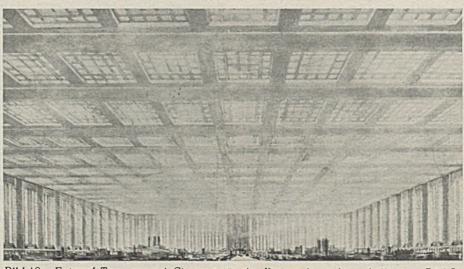


Bild 19. Entwurf Tournon und Chappey tür die Pariser Ausstellungshalle (s. a. Bild 3).



Bild 20. Festhalle Frankfurt a. M.

Bild 22. Tennishalle in Kopenhagen.

ausschalten sollten. Bogenartige Rahmenbinder mit Kämpfern in Erdgleiche werden sich im Hallenbau kaum in nennenswertem Umfange einbürgern. Überhaupt scheinen gewölbte Deckenflächen weder in festlichen Räumen sehr zu gefallen, noch akustisch besonders zu befriedigen. Der Eindruck der Kühnheit der Tragkonstruktion wird durch deren starke Wölbung gegenüber einer ebenen Anordnung (Bild 19) ebenfalls vermindert. Der Mensch, der sich täglich in Räumen mit ebener Deckenunteransicht aufhält, hat wohl für eine derartige Raumform das am besten ausgeprägte Größengefühl. Ein prismatischer Innenraum verdient offenbar in all diesen Punkten den Vorzug. Gerade unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte, der Frage der Heizkosten und der Überlegungen zur Grundriß-

lösung darf die bereits im Jahre 1907 erbaute Frankfurter Festhalle (Bild 20) wohl als ein Optimum auf dem Gebiet des Kuppelbaues bezeichnet werden, wenn davon abgesehen wird, daß diese schöne Halle den Anforderungen, die heute an eine Kampfarena gestellt werden, natürlich nicht gewachsen sein kann. Dem Bau größerer Stahlkuppeln sind aber ebenfalls für die praktisch überhaupt in Betracht kommenden Spannweiten keine statisch-konstruktiven Grenzen gesetzt. Einen interessanten Hinweis auf die Möglichkeiten einer stützenfreien Überdachung einer Kreisfläche

von 150 m Durchm, vermittelt das Projekt eines sogenannten Thermenpalastes (Bild 21), das vor mehreren Jahren in Berlin in Rede stand 7). Als Tragwerk wurde eine Schwedierkuppel gewählt, die nach der Berechnung einer Stahlbaufirma für die reine Dachkonstruktion 148 kg/m² Stahlgewicht erfordert hätte.

Schalenförmige Tragwerke aus Stahl sind besonders im Flugzeughallenbau mit Vorteil verwendet worden⁸).

Die sogenannte "Lamelienbauweise" ist als Tonnengewölbe mit

Die sogenannte "Lamellenbauweise" ist als Tonnengewölbe mit rautenförmig angeordneten Stäben gleicher Abmessungen eines der ersten stählernen Flächentragwerke im Hallenbau gewesen (Bild 22). In dieser Rautenform liegt zweifellos ein gewisser architektonischer Reiz. Ihrer Verwendung für sehr große Hallen stehen ebenfalls die allgemeinen Gründe entgegen, die mehr für eine ebene als für eine hochgewölbte

Fachfläche sprechen. Auch ihrer Sicherheitsfrage ist eine ungewöhnlich große Aufmerksamkeit bei der Berechnung und Montage zu widmen. Flächentragwerke, die über ihren ganzen Querschnitt auf Druck beansprucht werden, sind natürlich außerordentlich

7) Goldmerstein u. Stodieck, Thermenpalast. Berlin 1928, Wilh. Ernst & Sohn.

8) Mehmel, Stahlbau 1938, S. 1.

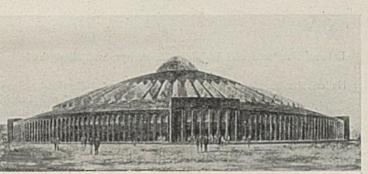


Bild 21. Entwurf zu einem Thermenpalast.

auf Ausknicken gefährdet, wenn sie infolge ihrer Weichheit aus Querbelastungen — im vorliegenden Fall sind es die Dachlasten — oder infolge fehlerhafter Montage oder infolge plastischer Nachglebigkeit des Baustoffes von ihrer ideellen, der Berechnung zugrundeliegenden Form in nicht vernachlässigbarer Größe abweichen. Aus diesem Grunde müßten der Anwendung solcher Flächentragwerke für Hallen sehr großer Spannweiten noch wichtige Untersuchungen und wohl auch Versuche vorausgehen. Wertvolle Vorarbeiten sind, wie schon erwähnt, auf dem Gebiete des Flugzeughallenbaues geleistet worden.

Es liegt nahe, die stabilitätstheoretischen Schwierigkeiten dadurch zu vermeiden, daß man das Stahldach auf Zug beansprucht. In einfachster

Form des Zeltdaches sind schon in Amerika verschweißte Blechbahnen von Anbauten zu Bunkerräumen verwendet worden⁹). Hierbel spielte aber die Isolierungsfrage offenbar keine wichtige Rolle.

Der ständige französische Pavillon 10) auf der Messe in Zagreb mit polygonal symmetrischer Grundrißund kreisförmiger Dachkante ist mit einer unversteilten kreisförmigen Stahlmembrane von 2 mm Dicke abgedeckt. Diese ist mit nach unten gekehrter Spitze an einem kreisringförmigen Kastenträger von rd. 30 m Durchmesser aufgehängt, der seiner-

seits auf zwölf Säulen ruht. Im Zentrum befindet sich eine verglaste Laterne von 3 m Durchmesser. Das Dach wird in einer rund um die Laterne laufende Rinne und durch drei radial angeordnete große Kastengerinne entwässert, die die ästhetische Wirkung dieses neuartigen Raumabschlusses leider beeinträchtigen. Der Aufbau erfolgte von außen beginnend, wobel die anfangs sehr geringe Stabilität der Konstruktion mit dem Arbeitsfortschritt rasch zunahm. Das Gewicht des geschweißten Daches einschließlich Randträger beträgt 18 kg/m². Zu einer gewaltigen Größe ist dieses Tragsystem in einem Entwurf für die beabsichtigte Großhalle der Pariser Weltausstellung entwickelt worden (Bild 23 u. 24). Der äußere Druckring von 450 m Durchmesser ist dabei auf riesige räumlich gekrümmte Bögen gelagert und mit diesen durch Diagonalen verbunden. Die Aufteilung des Halleninnern ist unterschiedlich möglich.

Die Entwässerung der Dachhaut dürfte auch hier beträchtliche Schwierigkeiten verursachen. Als Sensationsbau für eine Weltausstellung wäre diese Halle zweisellos ihrer Aufgabe gerecht geworden. Allerdings bedürfte der Entnoch wurf genauerer Einzeldurcharbeitung, die vielleicht manche zusätz-

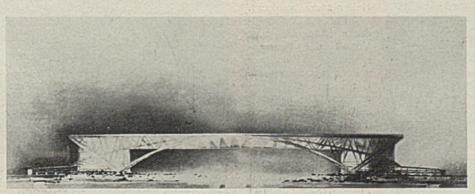


Bild 23. Entwurf Baudouin und Lods für die Pariser Ausstellungshalle.

⁹⁾ Stahlbau 1933, S. 152. ¹⁰) Techn. de Travaux 1937, Heft 11.

liche Schwierigkeit ergeben hätte; in statischer Hinsicht wären grundsätzliche Schwierigkeiten allerdings kaum zu erwarten gewesen. Zweifellos hätte man durch den Bau dieser interessanten Halle der verflossenen Weltausstellung einen Anziehungspunkt gegeben, der als bautechnische Leistung der Nachbarschaft des Eifelturmes würdig gewesen wäre.

Eine Abweichung von dem statisch Natürlichen bedeutet die Anordnung der hohen Fachwerkbinder in Längsrichtung des rechtwinkligen Grundrisses nach Bild 25. Es entstehen auf diese Weise sehr schöne Raumwirkungen, wie wir sie von Kirchen her kennen, wobei die optimale Höhe des Fachwerkträgers ohne architektonischen Nachteil eingehalten werden könnte, sofern nicht allzugroße Spannweiten vorliegen. Die Glasfläche wird dann zweckmäßigerweise in die Trägerebene verlegt und kann mehr als ausreichend groß gewählt werden. Auch für den Vierendeelträger (s. z. B. Duisburger Bahnsteighalle) bestünde gerade hier eine günstige Anwendungsgelegenheit. Selbst-

verständlich wäre hier bei der Wahl der Hallenhöhe ebenfalls auf die Heizungskosten Rücksicht zu nehmen.

Dieser Hinweis soll Veranlassung sein, auf die Frage der Anordnung von Zwischendecken zurückzukommen. Es wurde bereits ausgeführt, daß eine solche Zwischendecke betriebliche Vorteile bieten kann. Insbesondere wird der Raum zwischen Dach und Decke, in dem sich dann das Tragwerk befindet, einmal durch Verringerung des zu erwärmenden Hallenraumes und zum anderen durch die Isolationswirkung seiner ruhenden Luft die Heizungskosten gegenüber einer vergleichbaren Ausführung ohne



Bild 25. St. Thomaskirche, Berlin.

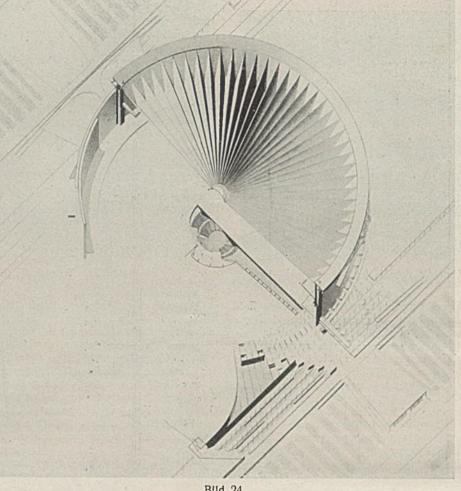


Bild 24.

Entwurf Baudouin und Lods für die Pariser Ausstellungshalle.

Zwischendecke beträchtlich vermindern. Dieser Zwischenraum wird ferner benutzt werden zur Unterbringung der Entlüftungsanlage, der Scheinwerferanlage und ähnlicher Einrichtungen. Unschöne, nur Zweckmäßigkeit entworfene Tragwerke werden von einer solchen Zwischendecke zum Vorteil der Raumwirkung des Halleninnern verdeckt.

Für die Zwischendecke kann auch der Vorteil der Feuerabschirmung im Brandfalle geltend gemacht werden. Um diese Aufgabe zu erfüllen, ist natürlich auch auf ausreichende Feuerwiderstandsfähigkeit der Aufhängevorrichtungen zu achten. Allgemein wäre hierzu zu sagen, daß die Frage, welcher Grad von Feuerwiderstands-

fähigkeit der Halle zu fordern ist, davon abhängig gemacht werden muß. welche Vorkehrungen gegen Ausbruch eines Feners jeweils getroffen werden können. Diese Maßnahmen gewinnen für stark besuchte Großhallen zum Schutze des Menschenlebens übergeordnete Bedeutung. Die Sicherung gegen Entstehung eines Brandes und einer Panikstimmung, die bekanntlich bei früheren Theaterbränden oft die meisten Menschenopfer

forderte und natürlich unabhängig ist von der Bauweise der Halle, dürfte unvergleichlich mehr Beachtung verdienen als die graduelle Erhöhung der Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile.

In Hallen mit verhältnismäßig kleinem Abstand der Stahlkonstruktion vom Hallen- oder Rangfußboden ist bei Benutzung dieser Räume für Ausstellungszwecke die Anordnung einer Sprinkleranlage sehr zu empsehlen. Diese Vorrichtungen haben sich bei wiederholten Prüfungen durch die Feuerwehr z. B. in den niedrigen Ausstellungshallen auf dem Berliner Ausstellungsgelände (Bild 26) - hervorragend

bewährt, so daß die Gefahr eines Einsturzes einer ungeschützten Tragkonstruktion bei normalen Bränden wohl ausgeschaltet ist. Bei Großhallen liegen die stählernen Tragkonstruktionen so hoch über dem Fußboden, daß dann, wenn das Feuer nicht ungewöhnlich viel Nahrung findet, wogegen eben die betrieblichen Vorbeugungsmaßnahmen schützen müssen, Einsturzgefahr nicht zu rechnen ist 11). Dennoch sollte auch hier der Einbau von Sprinkleranlagen erwogen werden.

Bei vergleichenden Betrachtungen der Widerstandsfähigkeit verschiedener Bauweisen sollte auch stets auf die vorliegenden Versuchsergebnisse 12) geachtet werden, die erkennen lassen, daß die verschiedenen Konstruktionsarten innerhalb ein und derselben Bauweise in dieser Hinsicht ganz unterschiedlich zu bewerten sind. Beispielsweise gilt ganz

Mensch, Stahlbau 1935, S. 105.

¹²⁾ Wedler, Brandversuche mit belasteten Eisenbetonbauteilen und Steineisendecken; Klöppel, Brandversuche mit verschiedenartig ummantelten Stahlstützen. Verlag des Reichsvereins Deutscher Feuerwehr-Ingenieure, Berlin 1936.

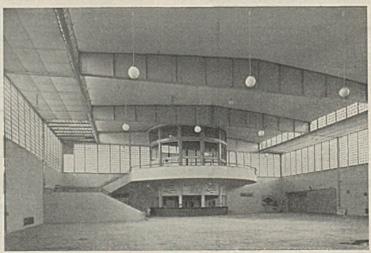


Bild 26. Ausstellungshalle VI, Berlin.

allgemein, daß aufgelöste und dünnwandige Konstruktionen die Feuerwiderstandsfähigkeit dicker von alters her gewöhnter Baukonstruktionen nicht erreichen. Für den Stahlbau wäre dazu zu sagen, daß die Widerstandsfähigkeit der ungeschützten Konstruktion gegen Feuereinwirkung um so größer ist, je kleiner die Anstrichfläche je Tonne Konstruktion ist. Die ungünstigen Erfahrungen mit sehr dünnen Fachwerkkonstruktionen in Hallen sind also nicht ohne weiteres auf massive Stahlkonstruktionen zu übertragen. Die letzteren verhalten sich im Brandfall, wie die Erfahrungen lehren 13), zweifellos günstiger. Die bereits angedeutete Heranziehung des etwaigen Betonkerns von mehrteiligen oder hohlen Druckstäben zum Mittragen äußert sich nach den Versuchsergebnissen ebenfalls in einer nicht unbeträchtlichen Erhöhung der Feuerwiderstandsfähigkeit des stählernen Tragwerkes. Insbesondere für Rahmenpfosten und Stützen, die am Fußboden in unmittelbarer Nähe eines Brandherdes liegen können, empfiehlt sich eine solche Ausführung, die im übrigen natürlich auch korrosionstechnische Vorteile bietet. Der Holzbau hilft sich bekanntlich so, daß er seine Stützen meist erst auf einem höheren Eisenbetonsockel beginnen läßt, so daß das Holz aus der unmittelbaren Zone des Brandherdes herauskommt. Häufig werden dann aber diese Stützen gleich so hoch geführt, daß das Holz nur noch als waagerechtes Tragwerk Verwendung findet.

Die Erfahrung lehrt nach wie vor, daß es vermessen wäre, bei den in Rede stehenden Hallen keinerlei Rücksicht auf spätere Umbauten und Erweiterungen zu nehmen. In dieser Beziehung ist auf alle Fälle eine skelettartige Bauweise der Umfassungswände im Vorteil. Gerade bei außerordentlichen Begebenheiten, wenn z. B. eine Großhalle in den Gesamtkomplex einer großen Ausstellung einbezogen werden soll, sind Wanddurchbrüche, um neue Zugänge oder Überleitungen in anschließende Hallen zu gewinnen, keine Seltenheit. Gleiche bauliche Maßnahmen können sich auch erforderlich machen, um außergewöhnlich große Ausstellungsstücke in die Halle zu befördern. Aus diesem Grunde sind natürlich überhaupt große Toröffnungen vorzusehen, die in zweckmäßiger Weise als Ausgang zur schnellen Entleerung der Halle bei Massenveranstaltungen oder als Notausgänge benutzt werden können.

Stahlkonstruktionen sind auch in besonderem Maße geeignet, vorübergehend mit Ausstellungsgegenständen verbunden, als Aufhängungsgelegenhelten und Kojeneinbauten verwendet zu werden. Diese Dinge scheinen nur Nebensächlichkeiten zu sein, während sie aber jeder Ausstellungsfachmann hoch einzuschätzen weiß. Die Verwendbarkeit der Halle für Ausstellungszwecke wird jedenfalls auf diese Weise beträchtlich verbessert.

Die Unterteilbarkeit einer Großhalle in gleichzeitig benutzbare Einzelräume wird oft zu einer unerläßlichen Forderung erhoben werden müssen, wenn in der als Bauherr auftretenden Großstadt auch Mangel an geeigneten Versammlungsräumen besteht. Der Einbau der hierfür erforderlichen, meist sehr hohen und großen Trennwände bedingt an sich stählerne Konstruktionen, die mit dem Hallentragwerk ohne wesentliche Beeinträchtigung des architektonischen Eindruckes geschickt verbunden werden müssen.

Bei der Anordnung von Verbänden und Traufenträgern in gewölbten Dachflächen kann die Aufnahme des Dachschubes erhöhte Beachtung verdienen.

Schließlich ist in diesem Zusammenhang noch darauf hinzuweisen, daß bei stählernen Großhallen nur dann Dehnungsfugen, die immer unliebsame Unterteilungen des Baugefüges sind, vorgesehen werden müssen, wenn die freie Beweglichkeit der Halle durch angrenzende Gebäude beeinträchtigt ist, oder wenn große massive Baukörper und großflächige Eisenbetondecken mit der Stahlkonstruktion in Verbindung stehen. Im letztgenannten Fall sind natürlich die Ausdehnungsfugen in den Eisenbetondecken anzuordnen. Genietete und geschraubte Stahlkonstruktionen verfügen an sich über beträchtliche Nachgiebigkeiten, über deren wahrscheinliche Größe man sich beim Entwurf von Großhallen aber stets einen Begriff machen sollte.

Auch über die Größe der Quersteifigkeit einer Halle sollte man sich Klarheit verschaffen, hierbei wird man fachwerkartige Verbände gegenüber Rahmenkonstruktionen schätzen lernen. Der Anteil von Zwischenwänden - auch wenn es sich nur um leichte, aber fest eingebaute Trennwände oder andere zur Aufnahme von Horizontalkräften geeignete Massivbauten handelt --, braucht jedoch bei solchen Untersuchungen nicht ohne weiteres vernachlässigt zu werden 14).

Häufig wird in ganz abwegiger Weise die Notwendigkeit der Unterhaltung stählerner Tragwerke für deren Verdeckung oder für deren Ummantelung ins Feld geführt. Tatsächlich sind die Stahlkonstruktionen mit geringen Mitteln zu unterhalten, insbesondere wenn sie wie die Hallentragwerke nicht der Witterung ausgesetzt sind. Beispielsweise wurde die vor wenigen Jahren abgerissene Zeppelinhalle in Löwenthal während ihres mehr als 20 jährigen Bestehens nicht ein einziges Mal gestrichen. Beim Abbruch

¹³) Melan, Bauing. 1931, S. 498.
 ¹⁴) Stah/bau 1932, S. 117.

zeigte sich, daß der Stahl sich noch in einem völlig einwandfreien Zustand befand. Wesentlich ist aber außerdem, daß man bei Hallen für Ausstellung- und Kongreßzwecke in der Regel lange vor Ablauf der Anstrichperiode die Konstruktion neu streicht, um der Halle bei wichtigen Veranstaltungen im besten Sinne des Wortes "einen neuen Anstrich" zu geben. Dabei wird mitunter auch die Farbe des Anstriches dem unterschiedlichen Charakter der einzelnen Ausstellungen und Veranstaltungen entsprechend gewechselt. Auch unterschiedliche Farbtönungen der Konstruktionsteile können zur schönheitlichen Wirkung des Halleninnern und zu dem stets erwünschten Eindruck der Neuartigkeit einer Ausstellung beitragen. Es bietet sich schließlich bei allen solchen Neuanstrichen auch die erwünschte Gelegenheit zu einer Generalrevision des Tragwerkes, wie sie im Interesse der Sicherheit eines solchen wichtigen Bauwerkes eigentlich auf die Dauer unentbehrlich ist. Die leichtmögliche Überprüfbarkeit des Zustandes der Stahlkonstruktion ist in dieser Hinsicht ein nicht zu unterschätzender Vorteil.

Schließlich ist aber noch zu beachten, daß die gründliche Reinigung der Oberlichter bei solchen Gelegenheiten ebenfalls leicht vorgenommen werden kann. Die Ausrüstung einer Halle zwecks Vornahme einer solchen Arbeit ist sehr teuer und zeitraubend. Es hat sich daher in neuerer Zeit als zweckmäßig erwiesen, sogenannte Untersuchungsgerüste einzubauen. Ihre Wirtschaftlichkeit ist leicht nachweisbar 15). Beispielsweise hat die Ausstellungshalle II am Kaiserdamm in Berlin ein solches Untersuchungsgerüst. Die Kosten für dieses elektrisch fahrbare Doppelgerüst belaufen sich auf 12 000 RM und damit auf eine Summe, die nur etwa 1,8 % der Bausumme betrug. Es sollte nur darauf geachtet werden, daß derartige Untersuchungsgerüste in den Giebelwänden so angeordnet werden können, daß sie den Eindruck des Halieninnern wenig beeinträchtigen. Beispielsweise wäre die Anordnung eines besonderen Abstellraumes hinter einer Glebelverkleidung bei neuzeitlichen Großhallen in Erwägung zu ziehen. Derartige Untersuchungsgerüste können schon während der Bauausführung zur Herstellung der Decken, Oberlichter und des Anstriches zweckmäßig verwendet werden und auch für Belichtungszwecke, Kinoaufnahmen und vor allen Dingen für die wichtige Beförderung leichter Ausstellungsgüter dienen. Die erforderlichen Schienen sollten sich mitunter in Höhe der Rangbrüstung recht unauffällig anbringen lassen.

In diesem Zusammenhang sei kurz auf die Sicherheitsfrage im Hallenbau hingewiesen. Man sollte sich stets vergegenwärtigen, daß bei Großhallen der Anteil des Eigengewichtes an der Ausnutzung der zulässigen Beanspruchung besonders groß ist. Die rechnerische Spannung, die bel vielen anderen Bauwerksarten kaum jemals zustande kommt, wird hier fast dauernd erreicht. Unfälle waren vielfach die Folge der unvorhersehbar zufälligen Zusammenwirkung einer größeren Anzahl ungünstiger Einflüsse oder Störungen. Die Wahrscheinlichkeit für das Zustandekommen einer solchen unglücklichen Kombination ist natürlich um so größer, je weniger ungunstige Einflüsse erforderlich sind. Bauteile, die aber dauernd durch Eigengewichtslasten fast bis zur Grenze ihrer zulässigen Beanspruchung ausgenutzt sind, bedürfen für einen Gefahrenfall zweisellos weniger zusätzlicher Einflüsse und sind deshalb insbesondere für die Sicherheit des Tragwerkes auf Stabilität ungünstiger zu beurteilen. Es sollte also auch aus diesem Grunde begrüßt werden, wenn das Tragwerk jederzeit leicht und gründlich auf seinen Zustand untersucht werden kann.

Die größte und räumlich schönste Halle wird auf die Dauer beim Publikum keinen Anklang finden, wenn man sich darin nicht wohl fühlt. Von Wichtigkeit ist die Feststellung, daß wir bei neuzeitlichen sportlichen Veranstaltungen wesentlich länger in großen Scharen, dicht bei dicht, in einer solchen Halle verweilen, als wir es sonst vom Theater oder ähnlichen Veranstaltungen her gewöhnt sind. Um so mehr muß Wert auf das Wohlbefinden der Menschen gelegt werden. Außer der bereits erwähnten blendungsfreien Ausleuchtung und ausreichenden Beheizung der Halle sind mechanische Ent- und Belüftungsanlagen unerläßlich. Gegenüber Theater- und Kinoräumen liegen die Verhältnisse hier insofern ungünstiger, als in diesen Hallen bei manchen Veranstaltungen geraucht wird. Die Baupolizei hat sich der Frage ausreichender Entlüftung solcher Großräume in letzter Zeit besonders angenommen und hierfür Richtlinien für Architekten und Bauherrn entworfen. Wesentlich ist das Untersuchungsergebnis, daß weniger der chemische Zustand der Luft, also die Anreicherung mit Kohlensäure oder gasförmigen Riech- und Ekelstoffen das Wohlbefinden der Menschen beeinflußt, als vielmehr die physikalische Beschaffenheit der Luft, also Wärmestand und Feuchtigkeitsgehalt. Bei stelgendem Wärmestand und zunehmendem Feuchtigkeitsgrad treten nämlich Wärmestauungen auf, die nicht nur das Wohlbefinden und die Arbeitsfähigkeit beeinträchtigen, sondern auf die Dauer auch die Gesundheit. Die entworsenen Richtlinien über Mindestraumbedarf, Mindestlustzusuhr und Mindestforderungen an die Lüftungsanlagen können deshalb nur begrüßt werden. Bei den Sammellüftungsanlagen, die allein für Großhallenbauten in Betracht kommen, werden einfache und Bewetterungs-

¹⁵) Klöppel, Unterhaltungskosten von Stahlbauwerken. Verlag Noske, Leipzig.

anlagen unterschieden. Bei den ersteren wird die Luft gereinigt und vorgewärmt; die Bewetterungsanlage ist in der Regel nur nötig, wenn die Anlage zugleich als Luftheizung dienen soll. Bei diesen Bewetterungsanlagen wird die Luft zusätzlich — je nach dem Bedürfnis — befeuchtet, gekühlt und getrocknet. Von den einfachen Sammelluftanlagen muß gefordert werden, daß sie die stündliche Luftzufuhr auch dann verbürgen, wenn der Unterschied zwischen dem Außen- und dem Innenwärmestand weniger als $+5^{\circ}$ beträgt. Die Frisch- und Umluft muß gereinigt werden. Um Zugfreiheit zu erreichen, darf die Strömungsgeschwindigkeit 0,3 m/sek nicht übersteigen. Die Kanäle müssen gereinigt werden können; wenn möglich, sind sie durch Filter vor dem Verschmutzen zu bewahren. Die Öffnungen der Kanäle für Zuluft und Abluft dürfen wegen der Verschmutzungsgefahr nicht im Fußboden liegen. Die Anlagen müssen auch geräuschschwach arbeiten; die Phonzahl wird noch festgelegt. Außer diesen Eigenschaften müssen die Bewetterungsanlagen so beschaffen sein, daß der Feuchtigkeitsgrad im Winter nicht unter 30 % fällt und der Raumwärmezustand auf 18°

bis 21° bleibt. Im Sommer darf bei +25° Wärmestand der Außenluft die Innenluft nicht mehr als + 22° und 70 % Feuchtigkeit haben. Bei +35° der Außenluft darf der Wärmestand der Innenluft 27° nicht überstelgen und der Feuchtigkeitsgrad nicht 60 %. Über diese Forderungen hinaus werden in erster Linie Ratschläge für Wahl und Vergebung, Bau und Betrieb der Lüftungsanlagen enthalten sein, außerdem Regeln für die Prüfung und Abnahme, wobei die Prüf-kosten in ein festes Verhältnis zu den Anlagekosten gebracht werden sollen. Um die Bedeutung solcher Anlagen zu ermessen. vergegenwärtige man sich, daß die Lüftungsmaschine für die Kampfarena der Deutschlandhalle je Stunde 185000 m3 Luft befördert 18). Die Frischluft kann hier in

der Nähe des Waldes, also außerhalb des Stadtinnern an geschützter Stelle entnommen werden. Nach Filterung und Erwärmung wird sie dem Kanalnetz im Halleninnern zugeführt. Eine besondere Einrichtung gestattet es, mit Hilfe ferngesteuerter Umschalteklappen den Luftstrom derart abzulenken, daß die Lüftungsmaschine zugleich zum Anheizen der Halle verwendet werden kann. Eine Fernwärmemesseranlage zeigt in einem Schaltraum der überwachenden Stelle den Wärmestand der Außenluft, der Heizluft, der Umluft und auch den genauen Wärmeverlauf innerhalb der Kampshalle und der Vorräume an. Auf diese Weise ist der Betriebsleiter dauernd über die Wirkung seiner Maßnahmen unterrichtet. In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, daß als Wärmemittel für derartige Großhallen ausschließlich niedriggespannter Dampf in Frage kommt. Der stündliche Wärmebedarf der Deutschlandhalle beträgt 31/4 Millionen Wärmeeinheiten. Hierzu ist eine Kesselanlage mit 500 m² Heizfläche erforderlich.

Von Kongreßhallen wird auch verlangt, daß sie eine besonders gute Hörsamkeit aufweisen 17). Diese raumakustischen Fragen sind durch die hochentwickelte Technik der mechanischen Tonübertragung keinesfalls gegenstandslos geworden. Wir sind heute auf Grund der wissenschaftlichen Erkenntnisse beim Bau eines Großraumes auch nicht mehr auf akustische Zufallsergebnisse angewiesen. Die Schallsubstanz wird vom

Bild 27. Kongreßhalle, Nürnberg.

Augenblick ihres Entstehens an eine unvermeidliche charakteristische Beeinflussung erfahren. Infolgedessen ist es selbstverständlich, daß die schlechte Hörsamkeit eines Großraumes durch Aufstellung einer Verstärkeranlage, die aus Mikrophon und örtlich verteilten Lautsprechern besteht, nicht gebessert werden kann, denn der vom Mikrophon aufgenommene Schall trägt bereits sämtliche durch die ungünstigen Eigenschaften des Raumes bedingten Unvollkommenheiten in sich. Lediglich seine Stärke kann gestelgert werden. Gute Hörsamkeit ist jedoch in Sälen normaler Ausmaße keine Frage möglichst großer Lautstärke, sondern vor allem von der Deutlichkeit der Klangwiedergabe abhängig. Die raumakustische Wissenschaft ist heute imstande, Schallverteilung und Schallwahrnehmung (Lautstärke, Nachhalldauer, Klangfarbe) auf verschiedene Weise zu erfassen. Außer den Größenverhältnissen eines Raumes spielt die Beschaffen-

heit der raumabschließenden Elemente und deren Stoffe eine überragende Bedeutung. Es kommt in erster Linie auf Vernichtung derjenigen Schall-

energie an, die einen zu großen Nachhall - bis zu einem gewissen Grad ist der Nachhall zur Vermeidung "dünner" Stimmwirkungen erwünscht — hervorrusen würde, wodurch die Wahrnehmung der unmittelbaren Wellen um so mehr stört, je weniger sie gedämpft oder zerstreut werden. In dieser Hinsicht sind unverhüllte Tragkonstruktionen zweifellos günstig; ebenso Flächen, die eine starke Streuung der ankommenden Schallwellen Aus diesem bewirken. Grunde verdienen z. B. reliefartige Wandungen vor glatten den Vorzug; große Kugel- und Zylinderflächen sind bedenklich. Die bestehenden größeren Stahlhallen haben sich in dieser Hinsicht sehr gut bewährt. Erinnert sei an die gute Hörsamkeit der Halle II am Kaiserdamm in Berlin,

wovon sich jeder überzeugen konnte, der an den früher dort ständig stattfindenden Reit- und Fahrturnieren und musikalischen Darbietungen

Im übrigen sind unsere Ansprüche an die Hörsamkeit unserer Großräume im Vergleich zu sonstigen Ansprüchen auf anderen Gebieten des Kulturlebens noch gering.

Unter den mannigfaltigen Möglichkeiten, mit den verschiedenen Baustoffen, Tragsystemen, Bauarten diejenige Lösung zu finden, die der Gesamtaufgabe einer Großhalle in betrieblicher, organisatorischer, baulicher sowie ästhetischer Hinsicht am besten gerecht wird, ist bei der Vielzahl der bestehenden Fragen außerordentlich schwierig. Ohne Zweisel wird aber der Vertreter derjenigen Bauweise im Vorteil sein, der auch imstande ist, der Gesamtheit der für die Errichtung einer Großhalle entstehenden Probleme großes Interesse und Verständnis entgegenzubringen. Es ist deshalb vielleicht nicht abwegig, der Auffassung Ausdruck zu geben, daß die Bereitwilligkeit zur Übernahme schlüsselfertiger Herstellung von Bauwerken auf dem Gebiet des Hallenbaues von beträchtlichem Einfluß auf die Baustoffwahl sein kann.

Mit 172 m Binderspannwelte wird die im Bau befindliche, architektonisch hervorragend durchgearbeitete Kongreßhalle der NSDAP in Nürnberg die größte Halle der Welt werden (Bild 27). Diese nur Kongreßzwecken dienende Großhalle erhält offenbar eine nur sehr flach gewölbte Decke.

¹⁶⁾ F. Wiemer, D. Bauztg. 1935, Nr. 50. 17) H. Hoffmann, D. Bauztg. 1931, Nr. 26.

Alle Rechte vorbehalten

Rostträgerbrücken mit fünf Hauptträgern.

Von Dipl.-Ing. Friedrich Geiger, Erfurt.

In den Heften 10, S. 78 usw., und 11, S. 86 usw., wurde ein Verfahren gezeigt, mit dem man die Lastverteilung bei Rostträgerbrücken mit drei und vier Hauptträgern erhält. Im folgenden soll nun einem vielseitigen Wunsche entsprochen werden und das Verfahren auf eine Rostbrücke mit fünf Hauptträgern Anwendung finden.

Der Rechnungsgang baut sich auf den in Heft 10, S. 78, behandelten theoretischen Grundlagen auf. Die zu ermittelnde Lastverteilung oder, besser gesagt, die Lastanteile der einzelnen Hauptträger werden aus sogenannten Quereinflußlinien gefunden. Die dort in Bild 3 und 5 dargestellten Werte der Federkonstanten haben auch in dem vorliegenden Beispiel Gültigkeit, allgemein sei gesagt, daß diese Werte unabhängig sind von der Zahl der Hauptträger.

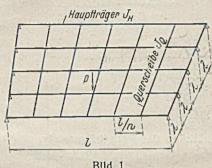


Bild 1.

Bezeichnungen (vgl. Bild I): l = Gesamte Rostlänge = Haupt-trägerlänge, λ = Hauptträgerabstand = Quer-scheibenstützwelte,

n = Anzahl der Querscheiben, = Querscheibeneinteilung,

 $J_H =$ Trägheitsmoment des Haupt-trägers, $J_Q = Trägheitsmoment$ der Querscheibe,

Federkonstante (s. Stahlbau, Heft 10, S. 79), η = Ordinate der Quereinflußlinie

Für den am häufigsten vorkommenden Fall sind folgende Annahmen zulässig:

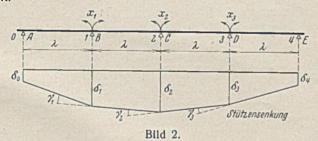
1. Die Abstände 2 der Hauptträger sind gleich.

2. Die Trägheitsmomente ${\cal J}_Q$ der Querscheiben sind gleich.

3. Die Trägheitsmomente J_H der Hauptträger sind gleich.

Es darf darauf hingewiesen werden, daß die Rechnung sich ebenso gut und leicht durchführen läßt, wenn die eine oder die andere der gemachten Vereinheitlichungen oder gar alle nicht zutreffen.

Die Aufstellung der Quereinflußlinien geschieht nun so, daß mit Hilfe des Dreimomentensatzes die Stützmomente der auf elastischen Stützen ruhenden durchlaufenden Querscheiben ermittelt werden und daß man daraus für den Lastfall des betrachteten Hauptträgers die Ordinaten ent-



Machen in Bild 2, der Darstellung einer Querscheibe auf fünf elastischen Stützen, die Stützpunkte die Senkung δ_0 , δ_1 , δ_2 , δ_3 , δ_4 , so ergeben sich in 1, 2 und 3 Stützmomente aus diesen Senkungen.

Zur Ermittlung dieser Stützmomente werden folgende drei Gleichungssysteme des Dreimomentensatzes angeschrieben:

$$\begin{split} X_0 \, \lambda \, + \, 4 \, X_1 \, \lambda \, + \, X_2 \, \lambda \, = \, 6 \, E \, J_Q \, \gamma_1, \\ X_1 \, \lambda \, + \, 4 \, X_2 \, \lambda \, + \, X_3 \, \lambda \, = \, 6 \, E \, J_Q \, \gamma_2, \\ X_2 \, \lambda \, + \, 4 \, X_3 \, \lambda \, + \, X_4 \, \lambda \, = \, 6 \, E \, J_O \, \gamma_3. \end{split}$$

In diesen Gleichungen bedeutet: y = Das Maß der elastischen Stützung,

$$\gamma_1 = \frac{1}{\lambda} (2 \, \delta_1 - \delta_0 - \delta_2), \qquad \gamma_2 = \frac{1}{\lambda} (2 \, \delta_2 - \delta_1 - \delta_3),$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{\lambda} (2 \, \delta_3 - \delta_2 - \delta_4).$$

Beachtet man, daß in den Gleichungssystemen X_0 und $X_4 = 0$ wird, und drückt ferner die Stützensenkung allgemein mit der Federkonstante aus,

$$\begin{split} \delta_0 &= \delta_K A = \delta_K \Big(A_0 + \frac{X_1}{\lambda} \Big), \qquad \delta_1 = \delta_K B = \delta_K \Big(B_0 - \frac{2 \, X'_1}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \Big), \\ \delta_2 &= \delta_K C = \delta_K \Big(C_0 - \frac{2 \, X_2}{\lambda} + \frac{X_1}{\lambda} + \frac{X_3}{\lambda} \Big), \\ \delta_3 &= \delta_K D = \delta_K \Big(D_0 - \frac{2 \, X_3}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \Big), \qquad \delta_4 = \delta_K E = \delta_K \Big(E_0 + \frac{X_3}{\lambda} \Big). \end{split}$$

Damit gehen die drei Gleichungssysteme über in:

$$\begin{split} 4\,X_1\,\lambda + X_2\,\lambda &= 6\,E\,J_Q \cdot \frac{1}{\lambda}\,(2\,\delta_1 - \delta_0 - \delta_2), \\ X_1\,\lambda + 4\,X_2\,\lambda + X_3\,\lambda &= 6\,E\,J_Q \cdot \frac{1}{\lambda}\,(2\,\delta_2 - \delta_1 - \delta_3), \\ X_2\,\delta + 4\,X_3\,\lambda &= 6\,E\,J_Q \cdot \frac{1}{\lambda}\,(2\,\delta_3 - \delta_2 - \delta_4). \end{split}$$

Setzt man

$$K = 6 E J_Q \cdot \frac{\delta_K}{\lambda^2},$$

so wird mit den Ausdrücken der Stützensenkungen:

(1)
$$4X_{1} + X_{2} = K \left[2 \left(B_{0} - \frac{2X_{1}}{\lambda} + \frac{X_{2}}{\lambda} \right) - \left(A_{0} + \frac{X_{1}}{\lambda} \right) - \left(C_{0} - \frac{2X_{2}}{\lambda} + \frac{X_{1}}{\lambda} + \frac{X_{3}}{\lambda} \right) \right].$$

(2)
$$X_1 + 4 X_2 + X_3 = K \left[2 \left(C_0 - \frac{2 X_2}{\lambda} + \frac{X_1}{\lambda} + \frac{X_3}{\lambda} \right) - \left(B_0 - \frac{2 X_1}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \right) - \left(D_6 - \frac{2 X_3}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \right) \right].$$

(3)
$$X_2 + 4 X_3 = K \left[2 \left(D_0 - \frac{2 X_3}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \right) - \left(C_0 - \frac{2 X_2}{\lambda} + \frac{X_1}{\lambda} + \frac{X_3}{\lambda} \right) - \left(E_0 + \frac{X_3}{\lambda} \right) \right].$$

Diese Gleichungen werden zunächst einzeln weiter vereinfacht. Wie in den früheren Beispielen (Heft 10 und 11) treten auch hier wieder drei Konstante auf, die für alle Trägerroste charakteristisch sind.

Es sind dies:

$$\alpha_1 = 4 + K \cdot \frac{6}{\lambda},$$

$$\alpha_2 = 1 - K \cdot \frac{4}{\lambda},$$

$$\alpha_3 = \frac{K}{\lambda}.$$

Gleichung (1).

$$4 X_{1} + X_{2} = K 2 B_{0} - 4 K \cdot \frac{X_{1}}{\lambda} + 2 K \cdot \frac{X_{2}}{\lambda} - K A_{0} - K \cdot \frac{X_{1}}{\lambda}$$

$$-K C_{0} + K \cdot \frac{2 X_{2}}{\lambda} - K \cdot \frac{X_{1}}{\lambda} - K \cdot \frac{X_{3}}{\lambda}$$

$$\left(4 + K \cdot \frac{6}{\lambda}\right) X_{1} + \left(1 - K \cdot \frac{4}{\lambda}\right) X_{2} + \frac{K}{\lambda} \cdot X_{3} = K (2 B_{0} - A_{0} - C_{0})$$
oder
$$\alpha_{1} X_{1} + \alpha_{2} X_{2} + \alpha_{3} X_{3} = K (2 B_{0} - A_{0} - C_{0})$$

Gleichung (2).

$$\begin{split} X_1 + 4 \, X_2 + X_3 &= K \, 2 \, C_0 - 4 \, K \cdot \frac{X_2}{\lambda} + 2 \, K \cdot \frac{X_1}{\lambda} + 2 \, K \cdot \frac{X_3}{\lambda} \\ &- K B_0 + K \cdot \frac{2 \, X_1}{\lambda} - K \cdot \frac{X_2}{\lambda} - K D_0 + 2 \, K \cdot \frac{X_3}{\lambda} - K \cdot \frac{X_2}{\lambda} \\ &\left(1 - K \cdot \frac{4}{\lambda}\right) X_1 + \left(4 + K \cdot \frac{6}{\lambda}\right) X_2 + \left(1 - K \cdot \frac{4}{\lambda}\right) \\ &X_3 &= K \left(2 \, C_0 - B_0 - D_0\right) \end{split}$$

$$\alpha_2 X_1 + \alpha_1 X_2 + \alpha_2 X_3 = K(2 C_0 - B_0 - D_0)$$

Gleichung (3).
$$X_2 + 4 X_3 = K 2 D_0 - 4 K \cdot \frac{X_3}{\lambda} + 2 K \cdot \frac{X_2}{\lambda} - K C_0 + K 2 \cdot \frac{X_2}{\lambda}$$

$$- K \cdot \frac{X_1}{\lambda} - K \cdot \frac{X_3}{\lambda} - K E_0 - K \cdot \frac{X_3}{\lambda}$$

$$\frac{K}{\alpha} \cdot X_1 + \left(1 - K \cdot \frac{4}{\lambda}\right) X_2 + \left(4 + K \cdot \frac{6}{\lambda}\right) X_3 = K(2 D_0 - C_0 - E_0)$$
oder
$$\alpha_3 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_1 X_3 = K(2 D_0 - C_0 - E_0).$$

 A_0 , B_0 , C_0 , D_0 und E_0 bedeuten die Auflagerdrücke des statisch bestimmten Trägers.

Auflösen dieser drei Gleichungen nach den gesuchten Stützmomenten X_1 , X_2 und X_3 mit Hilfe der Determinantenrechnung.

Allgemein ist
$$X = \frac{Z \text{ \"ahler determinante}}{\text{Nenner determinante}} = \frac{Z_x}{N}$$
.

Da die Nennerdeterminante für alle x-Ergebnisse gleich wird, so wird diese vorausbestimmt.

Nennerdeterminante:

$$N = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \alpha_2 & \alpha_1 & \alpha_2 \\ \alpha_3 & \alpha_2 & \alpha_1 \end{vmatrix}$$

$$N = \alpha_1^{\ 3} + \alpha_2^{\ 2} \, \alpha_3 + \alpha_2^{\ 2} \, \alpha_3 - \alpha_2^{\ 2} \, \alpha_1 - \alpha_2^{\ 2} \, \alpha_1 - \alpha_3^{\ 2} \, \alpha_1$$

oder

$$N = \alpha_1^3 + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_1) - \alpha_3^2 \alpha_1$$
.

Zählerdeterminante für X_1 :

$$Z_{x_1} = \begin{pmatrix} K(2 B_0 - A_0 - C_0) & \alpha_2 & \alpha_3 \\ K(2 C_0 - B_0 - D_0) & \alpha_1 & \alpha_2 \\ K(2 D_0 - C_0 - E_0) & \alpha_2 & \alpha_1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{\lambda_1} = K[(\alpha_1^2 - \alpha_2^2)(2B_0 - A_0 - C_0) + \alpha_2(\alpha_3 - \alpha_1)(2C_0 - B_0 - D_0) + (\alpha_2^2 - \alpha_1\alpha_3)(2D_0 - C_0 - E_0)].$$

Zählerdeterminante für X_2 :

$$Z_{x_2} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & K(2 B_0 - A_0 - C_0) & \alpha_3 \\ \alpha_2 & K(2 C_0 - B_0 - D_0) & \alpha_2 \\ \alpha_2 & K(2 D_0 - C_0 - E_0) & \alpha_1 \end{bmatrix}$$

$$Z_{x_2} = K \left[(\alpha_1^2 - \alpha_3^2) \left(2 C_0 - B_0 - D_0 \right) + \alpha_2 \left(\alpha_3 - \alpha_1 \right) \left(2 B_0 - A_0 - C_0 \right) + \alpha_2 \left(\alpha_3 - \alpha_1 \right) \left(2 D_0 - C_0 - E_0 \right) \right].$$

Zählerdeterminante für Xa:

$$Z_{\chi_3} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & K(2 B_0 - A_0 - C_0) \\ \alpha_2 & \alpha_1 & K(2 C_0 - B_0 - D_0) \\ \alpha_3 & \alpha_2 & K(2 D_0 - C_0 - E_0) \end{bmatrix}$$

$$Z_{x_3} = K \left[(\alpha_1^2 - \alpha_2^2) (2 D_0 - C_0 - E_0) + (\alpha_2^2 - \alpha_1 \alpha_3) (2 B_0 - A_0 - C_0) + \alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_1) (2 C_0 - B_0 - D_0) \right].$$

Die allgemeinen Ausdrücke für die Stützenmomente lauten damit:

$$X_{1} = K \cdot \frac{(\alpha_{1}^{2} - \alpha_{2}^{2})(2 B_{0} - A_{0} - C_{0}) + \alpha_{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1})(2 C_{0} - B_{0} - D_{0}) + (\alpha_{2}^{2} - \alpha_{1} \alpha_{3})(2 D_{0} - C_{0} - E_{0})}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}}$$

$$X_{2} = K \cdot \frac{(\alpha_{1}^{2} - \alpha_{3}^{2})(2 C_{0} - B_{0} - D_{0}) + \alpha_{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1})(2 B_{0} - A_{0} - C_{0}) + \alpha_{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1})(2 D_{0} - C_{0} - E_{0})}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}}$$

$$X_3 = K \cdot \frac{(\alpha_1^2 - \alpha_2^2)(2 D_0 - C_0 - E_0) + (\alpha_2^2 - \alpha_1 \alpha_3)(2 B_0 - A_0 - C_0) + \alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_1)(2 C_0 - B_0 - D_0)}{\alpha_1^3 + 2 \alpha_2^2 (\alpha_3 - \alpha_1) - \alpha_3^2 \alpha_1}.$$

Für die Ermittlung der Ordinaten der Quercinflußlinlen vereinfachen sich diese Gleichungen sehr.

Die Quereinflußlinien der Lastverleilung.

α) Außerer Hauptträger "0" bzw. ("4").

Der Hauptträger "0" bzw. ("4") erhält die Auflast P=1, dadurch erhält man den in Bild 3 dargestellten Lastfall.

Die Gleichungen der Stützmomente gehen damit über in:

$$X_{1} = -K \cdot \frac{\alpha_{1}^{2} - \alpha_{2}^{2}}{\alpha_{1}^{3} + 2\alpha_{2}^{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2}\alpha_{1}}$$

$$X_{2} = -K \cdot \frac{\alpha_{2} (\alpha_{3} - \alpha_{1})}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2} (\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}}$$

$$X_{3} = -K \cdot \frac{\alpha_{2}^{2} - \alpha_{1} \alpha_{3}}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2} (\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}}$$



Ordinaten der Quereinflußlinie des Hauptträgers "0".

$$\begin{split} \eta_0{}^0 &= 1 + \frac{X_1}{\lambda} & \eta_1{}^0 &= -\frac{2X_1}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \\ \eta_2{}^0 &= -\frac{2X_2}{\lambda} + \frac{X_1}{\lambda} & \eta_3{}^0 &= -\frac{2X_3}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \\ \eta_4{}^0 &= \frac{X_3}{\lambda} & . \end{split}$$

Ordinaten der Quereinflußlinien des Hauptträgers "4".

Durch Vertauschung unter Beachtung der in Bild 3 eingeklammerten Werte wird:

$$\eta_0^4 = \eta_4^0 \quad \eta_1^4 = \eta_3^0 \quad \eta_2^4 = \eta_2^0 \quad \eta_3^4 = \eta_1^0 \quad \eta_4^4 = \eta_0^0.$$

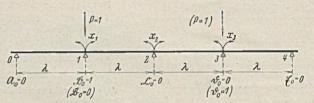
β) Innerer Hauptträger "1" bzw. ("3").

Der Hauptträger "1" bzw. ("3") erhält die Auflast P=1 (Bild 4). Die Gleichungen der Stützmomente lauten damit:

$$\begin{split} X_1 &= K \cdot \frac{2 \left(\alpha_1^2 - \alpha_2^2\right) - \alpha_2 \left(\alpha_3 - \alpha_1\right)}{\alpha_1^3 + 2 \alpha_2^2 \left(\alpha_3 - \alpha_1\right) - \alpha_3^2 \alpha_1}, \\ X_2 &= K \cdot \frac{2 \alpha_2 \left(\alpha_3 - \alpha_1\right) - \left(\alpha_1^2 - \alpha_3^2\right)}{\alpha_1^3 + 2 \alpha_2^2 \left(\alpha_3 - \alpha_1\right) - \alpha_3^2 \alpha_1}, \end{split}$$

$$X_2 = K \cdot \frac{2 \alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_1) - (\alpha_1^2 - \alpha_3^2)}{\alpha_1^3 + 2 \alpha_2^2 (\alpha_2 - \alpha_1) - \alpha_2^2 \alpha_1}$$

$$X_3 = K \cdot \frac{2(\alpha_2^2 - \alpha_1 \alpha_3) - \alpha_2(\alpha_3 - \alpha_1)}{\alpha_1^3 + 2\alpha_2^2(\alpha_3 - \alpha_1) - \alpha_3^2\alpha_1}$$



Ordinaten der Quereinflußlinien des Hauptträgers "1".

$$\begin{split} \eta_0^1 &= \frac{X_1}{\lambda} & \eta_1^1 = 1 - \frac{2X_1}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \\ \eta_2^1 &= -\frac{2X_2}{\lambda} + \frac{X_1}{\lambda} + \frac{X_3}{\lambda} & \eta_3^1 = -\frac{2X_3}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \\ & \eta_4^1 = \frac{X_3}{\lambda} \,. \end{split}$$

Ordinaten der Quereinflußlinien des Hauptträgers "3".
$$\eta_0^3 = \eta_4^1 \qquad \eta_1^8 = \eta_3^1 \qquad \eta_2^8 = \eta_2^1 \qquad \eta_3^3 = \eta_1^1 \qquad \eta_4^3 = \eta_0^1.$$

y) Innerster Hauptträger "2".

Die Auflast erhält jetzt der Hauptträger "2" (Bild 5).

Gleichungen der Stützmomente:

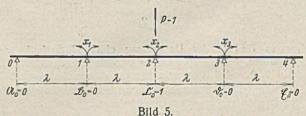
$$X_{1} = K \cdot \frac{(\alpha_{1} + 2 \alpha_{2})(\alpha_{3} - \alpha_{1})}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}}$$

$$X_2 = 2 K \cdot \frac{\alpha_1^2 - \alpha_2(\alpha_3 - \alpha_1) - \alpha_3^2}{\alpha_1^3 + 2 \alpha_2^2(\alpha_2 - \alpha_1) - \alpha_2^2 \alpha_1}$$

Thunger der Statzmönierne.
$$X_{1} = K \cdot \frac{(\alpha_{1} + 2 \alpha_{2})(\alpha_{3} - \alpha_{1})}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}},$$

$$X_{2} = 2 K \cdot \frac{\alpha_{1}^{2} - \alpha_{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2}}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}},$$

$$X_{3} = X_{1} = K \cdot \frac{(\alpha_{1} + 2 \alpha_{2})(\alpha_{3} - \alpha_{1})}{\alpha_{1}^{3} + 2 \alpha_{2}^{2}(\alpha_{3} - \alpha_{1}) - \alpha_{3}^{2} \alpha_{1}}$$



Ordinaten der Quereinflußlinien des Hauptträgers "2".
$$\eta_0^2 = \frac{X_1}{\lambda} \qquad \eta_1^2 = -\frac{2\,X_1}{\lambda} + \frac{X_2}{\lambda} \qquad \eta_2^2 = 1 - \frac{2\,X_2}{\lambda} + \frac{2\,X_1}{\lambda} \\ \eta_3^2 = \eta_1^2 \qquad \eta_4^2 = \eta_0^2.$$

Die Auswertung dieser Ausdrücke geht nun in ganz analoger Weise, wie in dem Beispiel Heft 11, S. 87 u. 88, vor sich. Die Quereinflußlinien-ordinaten lassen sich sehr rasch ermitteln, da die Konstanten $_{\pi}\alpha^{\pi}$ schnell ermittelt sind und diese nur drei verschiedene an der Zahl sich in allen Gleichungen wiederfinden.

INHALT: Allgemeine Gesichtspunkte für den Entwurf von Ausstellungs- und Kongreßhallen. (Schluß.) - Rostirägerbrücken mit fünf Hauptträgern.

Verantwortlich für den Inhalt: Geh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 9. Druck der Buchdruckerel Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.

Clowna

