

**Zeitschrift:** Die Eisenbahn = Le chemin de fer  
**Herausgeber:** A. Waldner  
**Band:** 14/15 (1881)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Ueber das räumliche Fachwerk  
**Autor:** Foepl, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-9424>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

**I N H A L T:** Ueber das räumliche Fachwerk. Von Ingenieur A. Foeppl, Oberlehrer an der städtischen Gewerbeschule in Leipzig. (Mit fünf in den Text gedruckten Zeichnungen.) — Die untere Rheinbrücke in Basel. Von Ingenieur H. Bringolf in Basel. (Mit einer Doppeltafel.) — Brücken und andere Bauten der Stadt Bern. (Schluss). — Der Antikensaal in Bern. Von Architect Salvisberg. (Schluss.) — Mittheilungen aus der eidg. Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien. Von Prof. L. Tetmajer. (Mit einer Zeichnung.) — Miscellanea: Allgemeine deutsche Ausstellung auf dem Gebiete der Hygiene und des Rettungswesens; Electrisches Licht.

## Ueber das räumliche Fachwerk.

### I.

Eine eigentliche Theorie des räumlichen Fachwerks existirt bis jetzt nicht. Kaum eine Andeutung, wie eine solche zu behandeln wäre, ja kaum der Versuch einer solchen Andeutung findet sich in der technischen Literatur.

Und doch würde eine einigermassen entwickelte Theorie dem Baue räumlicher Fachwerke dieselben wichtigen Dienste leisten können, wie sie bisher die Theorie dem Baue ebener Fachwerke erwies. Eine ausgedehntere Verwendung, eine grossartigere und kühnere Art der Ausführung wäre von der correcten, systematischen Darstellung der Theorie zu erwarten. Wenn genau und ausführlich nachgewiesen würde, wie räumliche Fachwerke zweckmässig und richtig gebaut werden müssen, so würde die Praxis wohl auch auf diesem Gebiete den Nachweis ihrer erhöhten Leistungsfähigkeit nicht schuldig bleiben.

Freilich bietet die Theorie des räumlichen Fachwerks zunächst viel mehr Schwierigkeiten als diejenige des ebenen dar. Es verhält sich damit ähnlich, wie mit der räumlichen im Vergleiche zur ebenen Geometrie.

Diese Schwierigkeiten wurzeln aber nicht allein darin, dass die graphische Darstellung eine umständlichere und die Anschauung im Raume schwieriger ist, sondern vorzüglich darin, dass die Gebilde, um die es sich handelt, erst geistig erschaffen werden müssen, gemäss gewissen *a priori* gegebenen principiellen Forderungen. Während die Theorie des ebenen Fachwerks sich heutzutage fast nur mit der Berechnung gegebener Constructionen beschäftigt, würde es die nächste Aufgabe der räumlichen Theorie sein müssen, für die verschiedenen Fälle der Anwendung die geeigneten Trägersysteme zu entwickeln.

Zu diesem Ziele beizutragen oder auch nur, wie es hier geschehen soll, zur Erreichung desselben anzuregen, scheint uns ein verdienstliches und dankbares Unternehmen zu sein.

Die allgemeinen Forderungen, die man nach unserer Ansicht

### Der Antikensaal in Bern.

Von Architect Salvisberg.

(Schluss.)

Neben diesen Statuen aus herlicher Kunstzeit gewahren wir eine Kupferplatte. Sie enthält den Stich des Raphaele Morghe aus Florenz, das Abendmahl Christi darstellend, nach dem Fresco-gemälde des Vannuchi, genannt Andrea del Sarto, im Refectorium der Abtei San Salvi bei Florenz.

Zwei 45 cm hohe Alabastervasen, mit sehr feinen Reliefs geschmückt, sogenannte Medici-Vasen.

In dem kleinern Saale für Bildhauerarbeiten ist mehr die Neuzit vertreten, allerdings in höchst bescheidenem Maasse.

Von dem Künstler Sonnenschein begegnen uns vortreffliche Modellirungen. Er gehört der Mitte des vorigen Jahrhunderts an. Seine Arbeiten zeugen von Geist und freier selbstständiger Auffassung. Man kann kaum etwas Anmuthigeres, Lebensfrischeres sehen, als die in Lebensgrösse dargestellte Büste der Fräulein H. E. Effinger (née le 23 Décembre 1764, mort le 14 Mars 1789). Die Physiognomie ist sprechend, die coquette Frisur der damaligen Zeit ist in sehr gewählter, feiner Weise angebracht. Die gleiche gewandte Hand zeigt die Büste des Rathsherrn Rudolf von Sinner aus dem vorigen Jahrhundert; ebenso den Kopf des Fürsprech Rudolf Stuber von Bern, gestorben 1804.

an eine räumliche Fachwerks-Construction zu stellen hat, sind folgende:

1) Es sollen die Stäbe, aus denen dieselbe zusammengesetzt ist, bei jeder vorkommenden Belastung im Wesentlichen nur Längsspannungen (namentlich aber keinen Biegungsspannungen) ausgesetzt sein. Dabei soll jedoch, wie bei ebenen Constructionen, von den durch die Steifigkeit der Knotenpunkte bedingten Secundärspannungen abgesehen werden; d. h. es soll als zulässig angesehen werden, die Knotenpunkte in der gewöhnlichen Weise steif zu konstruiren, in der theoretischen Behandlung jedoch die Verbindung als eine gelenkförmige zu betrachten.

2) Die Construction soll unter den soeben genannten Voraussetzungen stabil und statisch bestimmt sein.

Zur Begründung dieser Forderungen genügt es, auf die für ebene Fachwerke schon oft durchgeführten ähnlichen Erörterungen zu verweisen.

Es ist selbstverständlich, dass zu dieser allgemeinen, in jedem Falle noch besondere, dem speciellen Zwecke der Anwendung entsprechende Forderungen hinzutreten können, die aber zunächst ausser Acht gelassen werden können.

Um ferner der Erwagung Rechnung zu tragen, dass Schwierigkeiten in der practischen Ausführung möglichst vermieden werden müssen, nehmen wir an, dass bei den Auflagerungen nur vollständig festgehaltene Knotenpunkte vorkommen sollen, dass also alle Walzen- und Gleitlager zu vermeiden seien. Sind die Stäbe, anstatt gelenkförmig aufgelagert zu sein, mit dem Widerlager fest verschraubt, so ist diese Abweichung von der theoretischen Annahme ähnlich zu beurtheilen, wie die Abweichung, die durch die Ausführung steifer Knotenpunkte begangen wird, also vorläufig unberücksichtigt zu lassen.

Es sei

$a$  die Anzahl der Auflagerungen,  
 $m$  " " " Stäbe,  
 $n$  " " " Knotenpunkte (einschliesslich der  $a$  Auflagerknoten) eines Fachwerkträgers.

Das Gleichgewicht der Kräfte im Strahlenbündel liefert für jeden Knotenpunkt drei Gleichgewichtsbedingungen. Für jeden Stab haben wir eine Unbekannte (die Spannung desselben), wenn angenommen wird, dass die Lasten nur an den Knotenpunkten angreifen; und für jede Auflagerung drei Unbekannte (die drei Componenten des Auflagerdrucks). Für den statisch bestimmten räumlichen Fachwerkträger muss daher die Beziehung bestehen

$$3n = m + 3a$$

Wenn der Träger ausserdem in Folge geeigneter Anordnung und Vertheilung der Auflagerungen und der Stäbe zwischen den Knotenpunkten stabil ist, so müssen sich für jeden Belastungsfall die Stabspannungen wie die Auflagerkräfte (ohne Zuhilfenahme der Elasticitätstheorie) berechnen lassen, wenn die Knotenpunktlasten

Weitere verdienstvolle Entwürfe in kleinem Maassstabe sind: Kephalus und Prokris, Schultheiss von Sinner, Portaitgruppe in Terra cotta, die Mutter mit dem Kinde, eine nackte sinnende Psyche, eine Aphrodite etc. — Der grösste Schmuck des Saales ist die in carrarischem Marmor erstellte Statue der Eva von Bildhauer Imhof (aus Bürglen) in Rom.

Auch die Atalante, die Asteroïde, ist ein glänzendes Andenken an diesen begabten Künstler.

Hagar und Ismaël, von demselben, fesseln das Mitleid des Beobachters in hohem Maasse. Die eifersüchtige Gemahlin des frommen Abraham trieb die Hagar mit ihrem Knaben Ismaël, den sie dem Erzvater gab, aus dem elterlichen Hause. Dem vom brennenden Durste niedersinkenden Ismaël vermag Hagar kein Wasser zu bieten. Wüsste man nicht, dass der Jüngling aus der Wüste gerettet und in späteren Jahren der Stammvater vieler arabischer Stämme wurde, so würde diese dramatisch gehaltene Scene den Besucher tröstlich lassen.

Die viel umworbbene Helena, von der Künstlerin, der Fürstin Colonna d'Affry gefertigt, in kleiner, in bronzener Farbe dargestellter Figur, zeigt einen ausdrucksvoollen Kopf.

Zwei Gruppen von Bildhauer Tscharner von Bern zeigen uns die Grablegung Christi mit Maria und die heilige Verena mit Wassergeschräg und Kamm, in strenger, conventioneller Draperie. Die Figuren sind in würdiger, religiöser Weise aufgefasst, und machen, trotz der unfreien Behandlung, einen guten Eindruck.

gegeben sind. Da sich diese Behauptung streng beweisen lässt<sup>\*)</sup>, so folgt umgekehrt, dass jeder Träger labil<sup>\*\*) ist, für den sich diese Berechnung nicht durchführen lässt, obschon die angeschriebene Gleichung erfüllt ist.</sup>

Es sei hier sogleich darauf hingewiesen, dass man beim Aufstellen räumlicher Fachwerkträger sehr leicht auf labile Constructionen stösst, denen sich diese Eigenschaft nicht leicht ansehen lässt, wovon nachher ein Beispiel gegeben werden soll.

Die durchschnittliche Anzahl der Stäbe, die auf einen Knotenpunkt im statisch bestimmten Fachwerkträger entfallen, ist nach obiger Gleichung

$$\frac{m}{n} = \frac{3(n-a)}{n}$$

Da in der Regel  $a$  verhältnismässig klein gegen  $n$  sein wird, so ergibt sich, dass nahezu dreimal so viel Stäbe als Knotenpunkte vorhanden sein werden. Da nun ferner jeder Stab zwei Knotenpunkte verbindet, so folgt, dass von jedem Knotenpunkt durchschnittlich nahezu sechs Stäbe ausgehen müssen.

Man wird hiernach zu besonders einfachen und leicht zu überschenden Fachwerken gelangen, wenn man von der Mehrzahl der Knotenpunkte je sechs Stäbe ausgehen lässt, während an den übrigen eine geringere Anzahl befestigt ist. Dabei ist jedoch festzuhalten, dass von jedem Knotenpunkte, der kein Auflagerknotenpunkt ist, mindestens drei Stäbe ausgehen müssen, die nicht in derselben Ebene liegen.

Bildet man für einen hiernach construirten Fachwerkträger die Summe aus den Zahlen, die für jeden Knotenpunkt (einschliesslich der Auflagerpunkte) angeben, wie viel Stäbe weniger als sechs von ihm ausgehen, so muss diese Summe, die wir in der Folge mit  $s$  bezeichnen,

$$s = 6a$$

sein, wie sich aus dem Obigen leicht ergibt. Mit Hülfe der Summe  $s$  lässt sich am leichtesten erkennen, ob ein Fachwerkträger die richtige Anzahl Stäbe enthält. Sollten bei demselben einzelne

<sup>\*)</sup> Vgl. die Ausführungen in § 6 und § 19 meiner „Theorie des Fachwerks“, Leipzig 1880, die sich ohne Schwierigkeit auf den hier vorliegenden Fall übertragen lassen.

<sup>\*\*)</sup> Unter labilen Constructionen sind hier auch solche zu verstehen, bei denen nur eine unendlich kleine relative Beweglichkeit vorliegt. Diese äussert sich immer durch das Auftreten unendlich grosser Kräfte. Diese Constructionen würden also eigentlich stabil sein, wenn das Material der Stäbe unendlich fest wäre. Practisch sind sie natürlich den labilen Constructionen von endlicher relativer Beweglichkeit vollständig gleichzustellen, nämlich unter allen Umständen zu vermeiden.

Von Bildhauer Dorer von Baden ist das vollständige Modell des zum Bundesrathause projectirten Brunnens mit dem Grütli-schwur und den drei zu den Seiten des Piedestals angebrachten Versinnbildlichungen unserer Nationalitäten, die Füllungen der äussern Brunnenwand mit den Cantonswappen geschmückt, aufgestellt. Die Figuren sind mit ausserordentlicher Feinheit behandelt. — Von ihm ist ferner die Idee zu einem Grabmal gegeben: Ein grosses Medaillon, enthaltend im Relief zwei schwebende Engel mit Palmen, die in ihrer Mitte eine betende weibliche Figur emporführen.

Zwei grosse Vasen in Alabaster aus dem XVIII. Jahrhundert aus Florenz sind prächtige, mit Ornamenten geschmückte Arbeiten.

Der triumphirende David mit dem Schwerte Goliath's ist eine hübsche, von Chaponières aus Genf gefertigte Statue; dann Tell's Knabe, von demselben, in etwas eigenthümlicher, zu realistischer Auffassung.

Eine kleine, in Holz geschnitzte, aus der vaterländischen Geschichte gewählte Gruppe ist die des sinnenden Werner Stauffacher und seiner Gertrud, welche ihm das Schwert mit den Worten reicht:

„Die Unschuld hat im Himmel einen Freund;  
Sieh' vorwärts, Werner, und nicht hinter dich.“ —

Von Zolliker und Kuffer in Bern ist eine in Holz geschnitzte Rahme aus der Spätrenaissance zu sehen, die von grosser technischer Gewandtheit zeugt, aber im Ornament zu wenig organisch durchgebildet erscheint.

Ein Meisterwerk der Holzschnitzerei fertigte Lehmann, durch den in etwa 1/10 der natürlichen Grösse dargestellten, berühmten Nürnberger Brunnen. Lehmann hat auch das Strassburger Münster in kleinem Maassstabe und höchst getreu nachgebildet.

Das sind allerdings schöne Modelle für höhere technische Schulen, das Resultat oder der Nutzen derselben steht aber kaum

Knotenpunkte vorkommen, die mehr als sechs Stäbe enthalten, so sind die betreffenden Ueberzahlen zur Summe  $s$  als negative Glieder einzurechnen.

Zum Vergleiche erinnern wir daran, dass die ebenen Fachwerke, dem Vorstehenden entsprechend, gewöhnlich derart construit sind, dass von der Mehrzahl der Knotenpunkte je vier Stäbe aus gehen, während die Summe  $s$  bei festen Auflagern =  $4a$ , bei Balkenträgern mit zwei Auflagerpunkten beispielsweise =  $6$  sein muss.

Wie man die Figur eines ebenen Fachwerks durch Aneinanderlegen von Dreiecken erhalten kann, so lässt sich ein räumliches Fachwerk durch Aneinanderlegen von Tetraedern erzeugen. Die so erhaltenen Fachwerke sind besonders einfacher Art und bieten viele Analogien mit dem ebenen Fachwerke dar.

## II.

Nachdem wir im Vorigen einige allgemeinere Regeln entwickelt haben, die bei der Aufsuchung räumlicher Fachwerkträger zur Richtschnur dienen können, gehen wir zur Besprechung einzelner, besonders einfacher Trägertypen über.

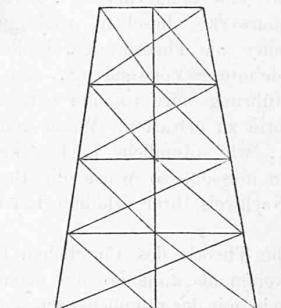


Fig. 1.

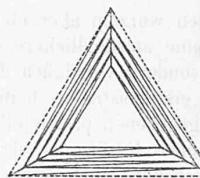


Fig. 1 zeigt einen pfeiler- oder thurmartigen Träger, bei dem alle Knotenpunkte auf drei geraden Linien, die wir die Gurtungen

mit einer so riesenhaften, minutiösen Arbeit in Uebereinstimmung. Einzelne Details würden auch vollkommen den Zweck erfüllen. Und nie wird eine solche Aufopferung auch nur annähernd bezahlt. Das hat Lehmann bei der französischen Regierung erfahren. Bildhauer Christen stellt die Büsten von Dufour, Stämpfli, Mezener und Weber dar, die letztere in Marmor, nicht mit besonderm Glück.

Der französische Bildhauer Falguière hat für die Stadt Toulouse eine Gruppe gefertigt: „La Suisse recevant dans ses bras un Mobile français, groupe offert par la ville de Toulouse à la Suisse.“ Hievon ist ein Modell in kleinerem Maassstabe vorhanden.

Von Bildhauer Schlee stammen die Büsten von Landschaftsmaler Lory, Oberst Kurz und Carl Rickli von Wangen. Zwei Figuren in mittelalterlich stark manierirter Weise, in kleinem Maassstabe, die Victoria und die Justitia, werden dem Maler und Staatsmann Manuel zugeschrieben. Sie gehörten ursprünglich in das Gestühl des Chors des hiesigen Münsters.

Eingangs des grossen Saales erblicken wir den Kopf Canova's mit seinen markigen, edlen Zügen. Der Anfang seines Wirkeins fiel in eine für die Kunst düstere Zeit. Aus der barocken Richtung eines verdorbenen Zeitalters führte seine Energie ihn zurück zu den reineren Gebilden, die aus der antiken Studie zur freien selbstständigen Arbeit sich entwickelten. Wer den Louvre sah, der erinnert sich nur mit der höchsten Bewunderung an die marmorene Gruppe von Amor und der Psyche. Sie zeigt die Anmut und die reinst seelische Empfindung in ihrer Vollendung.

Neben den beiden genannten Säulen für die Aufstellung der Antiken ist noch ein kleiner Nebensaal reservirt. Es ist auch in den erstern noch viel Platz vorhanden, aber für eine eigentliche Zukunft ist nicht gesorgt. Dafür wird es an genügendem Raume fehlen.

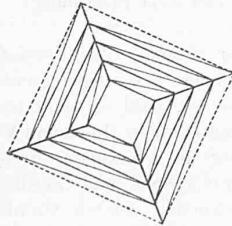
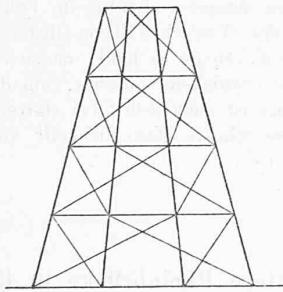
nennen wollen, enthalten sind, während die Stäbe in drei verschiedenen Ebenen liegen, wenn, wie in der Figur angenommen wurde, die drei Gurtungslinien sich in demselben Punkte schneiden.

An den meisten Knotenpunkten greifen je sechs Stäbe an, während die Summe  $s = 18$  ist, wie es sein muss. Bei Windstille und symmetrisch vertheilter Belastung sind die Diagonalstäbe ohne Spannung und die Spannungen der Gurtstäbe und der horizontalen Querstäbe lassen sich mit Leichtigkeit berechnen. Bei anderen Belastungsfällen können sämtliche Stabspannungen nach zwei verschiedenen Methoden, die der graphischen resp. der Momenten-Methode der ebenen Fachwerkstheorie entsprechen, ermittelt werden. In dieser Hinsicht soll jedoch hier nur bemerkt werden, dass man nach der letztern Methode einen (ungefähr horizontal verlaufenden) Schnitt durch die Construction legt, der sechs Stäbe trifft und drei Componenten-, sowie drei Momenten-Gleichungen für das Gleichgewicht des oberen Theiles anschreibt, woraus sich die Spannungen der geschnittenen sechs Stäbe ergeben. Indessen lässt sich auch diese Methode durch ein ihr entsprechendes graphisches Verfahren ersetzen, wodurch sie bedeutend vereinfacht wird.

Im Uebrigen soll die Berechnung dieser Constructionen in einem späteren folgenden besonderen Aufsatze besprochen werden.

In derselben Art, wie beim vorigen Beispiele, lässt sich auch auf quadratischer, wie überhaupt auf beliebig polygonaler Basis ein statisch bestimmter Fachwerkträger errichten, wovon Fig. 2 ein Beispiel gibt. Man überzeugt sich leicht, dass die Summe  $s$  die richtige Grösse hat. Dagegen lässt sich bei der Berechnung des Trägers nur noch die graphische Methode verwenden, weil sich ein Schnitt, der ausser einem beliebig gewählten nur noch fünf andere Stäbe trifft und die Construction in einen oberen und einen unteren Theil theilt, nicht führen lässt.

Fig. 2.



Bei symmetrischer Belastung ergeben sich übrigens auch hier die Stabspannungen in einfachster Weise, weil dann die Diagonalstäbe ohne Spannung sind. Die Diagonalstäbe treten nur bei unsymmetrischer Belastung (Winddruck) in Thätigkeit. Daraus geht hervor, dass sie bei verschiedenen Windrichtungen abwechselnd gezogen und gedrückt sein werden.

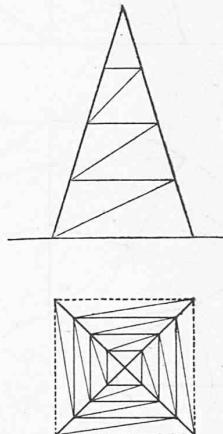
Es ist aber von Wichtigkeit, darauf hinzuweisen, dass man hier ähnlich wie beim ebenen Fachwerke verfahren kann. Man kann nämlich anstatt einer steif construirten Diagonalen zwei schlaffe „Gegendiagonalen“ anordnen, die nur gegen Zug widerstandsfähig sind. Bei der Berechnung hat man dann ebenso zu verfahren, wie etwa bei der Berechnung eines gewöhnlichen ebenen Parabelbalkens, der auch in jedem Fache Gegendiagonalen enthält, d. h. man wird zunächst nur die eine Schaar Diagonalen als vorhanden ansehen und daraus die Spannungen der Gegendiagonalen ableiten, dabei zugleich annehmen, dass durch diese überzähligen Stäbe erhebliche Eigenspannungen oder Temperaturspannungen nicht in das System herein kommen.

Es schien uns besonders wichtig, auch bei diesem Punkte wieder darauf aufmerksam zu machen, dass andere Annahmen als die, welche auch bei der Theorie des ebenen Fachwerks ohne Bedenken als zulässig angesehen werden, nicht gemacht werden müssen. Es

kann desshalb auch die Berechnung solcher räumlicher Fachwerke dasselbe Vertrauen beanspruchen, das man der Berechnung ebener Träger zu schenken gewohnt ist.

Man sieht leicht ein, dass von diesen „Pfeilern“ zu pyramidalen Dach-Constructionen oder „Zeltdächern“, wie sie etwa über Kirchtürmen sich anwenden lassen, ein kleiner Schritt führt. Man hat nur die oben verbliebene Oeffnung zu schliessen und gelangt zu Fig. 3. Die Summe  $s$  beträgt aber jetzt nur 22. Der Träger ist nicht mehr statisch bestimmt; er hat einen Stab (oder allgemein bei x seitigem Grundrisse x - 3 Stäbe) zu viel.

Fig. 3.



Das ist ohne Zweifel ein nicht gering zu achtender Uebelstand. Denn die in solchen Fällen übliche Art der Berechnung mit Hülfe der Elasticitätstheorie beruht auf Annahmen, die man mindestens als sehr gewagt, wenn nicht als ganz unzuverlässig bezeichnen muss. Man nimmt da bekanntlich gewöhnlich an, dass je vier in irgend einer Horizontalebene gelegene Punkte der vier Gurtungen auch nach der durch die Belastung hervorgerufenen Deformation noch in einer (im Allgemeinen geneigten) Ebene liegen; — eine Annahme, die sich für die hier vorliegenden Fälle in keiner Weise näher begründen lässt.

Da aber die auf die oberste Pyramide wirkenden Kräfte jedenfalls verhältnismässig gering sein werden, so dürfte dieser Uebelstand auch nicht allzu hoch anzuschlagen sein. Man sehe alsdann den Träger als einen statisch bestimmten Pfeiler an, auf dessen vier oberste Punkte von den Stäben, die von der Spitze ausgehen, als bekannt anzusehende, geschätzte oder auch nach jener Methode angenähert bestimmte Kräfte übertragen werden.

Von den „Zeltdächern“ gelangt man leicht zu den „Kuppeldächern“. Es ist dazu nur nötig, die bisher geradlinig angenommenen Gurtrippen polygonal zu gestalten und für das Basis-Polygon irgend eine grössere Seitenzahl anzunehmen. Gewöhnlich wird dieses Basis-Polygon ein regelmässiges Kreispolygon sein. Es lässt sich aber ohne Schwierigkeit auch z. B. ein elliptischer Raum durch eine derartige Construction überdecken.

In Fig. 4 ist eine Kuppel dieser Art skizzirt. Es ist angenommen, dass sie oben in einen „Nabel“ endigt, auf dem sich etwa eine „Laterne“ aufbauen könnte. Sie ist statisch bestimmt und lässt sich in derselben Weise (unter Berücksichtigung des Winddruckes) berechnen wie die vorigen Constructionen.

Soll die Kuppel durch Hinzufügung eines Scheitelknotenpunktes, von dem nach dem obersten Punkte jeder Gurtruppe ein Stab ausgeht, geschlossen werden, so wird sie statisch unbestimmt. Aber auch hier wird diese Unbestimmtheit wegen der verhältnismässig geringen Belastung der obersten Zone (für die namentlich der Winddruck sehr klein ausfallen wird) nicht sehr hoch anzuschlagen sein. Man wird ohne grossen Fehler annehmen können, dass sich die Belastung des Scheitelknotens auf die von ihm ausgehenden Stäbe gleichmässig vertheilt, wonach sich unter Berücksichtigung ihrer Richtungen die Spannungen der Stäbe ohne Weiteres ergeben. Von da ab ist aber die Construction als eine statisch bestimmte weiter zu berechnen.

Es mag noch erwähnt werden, dass es sich empfehlen wird, die vom Scheitelknotenpunkte ausgehenden Stäbe nicht zu stark, sondern so schwach als zulässig zu construiren. Man wird dadurch namentlich die Temperatur-Spannungen, die der statischen Unbestimmtheit wegen nicht ausbleiben werden, auf ein unschädliches Maass zurückführen können.

Was oben von den Gegendiagonalen gesagt wurde, gilt auch hier.

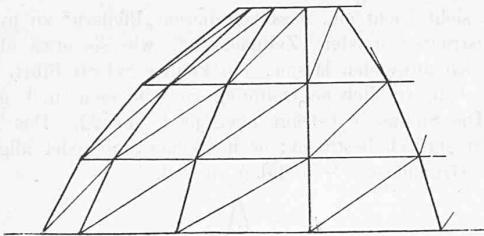
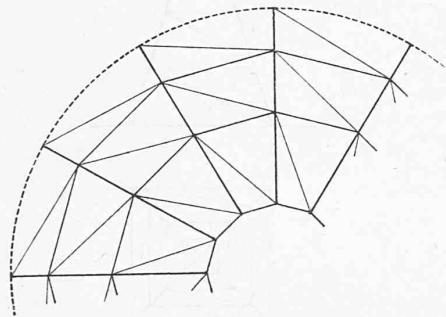
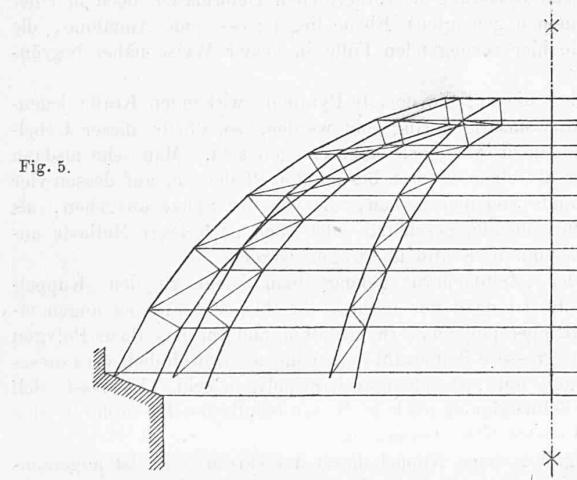


Fig. 4.



Bei einer eingehenden Behandlung dieser Kuppelträger würde namentlich auch der Einfluss zu untersuchen sein, den die verschiedenen gewählte Form der Gurtrippen auf die Spannungen, den Materialverbrauch u. s. w. ausübt. Wir werden darauf wohl später zurückkommen.



In Fig. 5 ist eine andere Kuppel-Construction dargestellt, die aber, im Gegensatz zur vorigen, als eine fehlerhafte zu bezeichnen ist. Obschon, wie man leicht bemerkt,  $s = 12x$  ist, wenn  $x$  die Zahl der „Rippen“, also  $2x$  die Zahl sämmtlicher Auflagerknotenpunkte bedeutet, ist die Kuppel weder statisch bestimmt noch stabil. Bei unsymmetrischer Belastung müssen nothwendiger Weise Verbiegungen einzelner Stäbe eintreten und es müsste der Einsturz erfolgen, wenn die Knotenpunkte wirklich gelenkförmig construirt wären. Eine irgendwie zuverlässige Berechnung der Construction ist ganz unmöglich. Durch Diagonalstreben zwischen den einzelnen Rippen lässt sich allerdings die Labilität aufheben, nicht aber die statische Unbestimmtheit.

Auch partielle Temperatur-Aenderungen, die namentlich bei Dach-Constructionen nicht ausser Betracht zu lassen sind, wirken ähnlich wie unsymmetrische Belastungen und haben hier Verbiegungen der Stäbe zur nothwendigen Folge.

Auch für Zeltdächer, die entsprechend der Figur 5 construirt sind und schon öfter ausgeführt wurden, lässt sich Aehnliches bemerkern. An Stelle dieser Constructionen sollte man etwa das System Fig. 3 anwenden, die ersten aber unbedingt vermeiden.

Bei Holz-Constructionen dieser Art befolgte man früher das Princip, möglichst viel Holz im Innern des Daches unterzubringen, „von Innen nach Aussen zu bauen“. So entstanden die Dachstühle der ältern Kirchthürme mit ihren mächtigen „Helmstangen“, die die Basis der ganzen holzverschwendenden Construction bildeten. Später ging man dann nach Moller's Vorgang dazu über, das Material mehr aussen unterzubringen. In der Verwendung der Systeme, die nach Fig. 5 gebildet sind, glauben wir aber noch einen Ueberrest jener ältern Anschauung zu erblicken, die sich dagegen sträubte, dem an der Peripherie liegenden Stabsystem den Halt des Daches anzutrauen.

Es soll indessen noch ausdrücklich bemerkt werden, dass, wenn in den nach Fig. 5 gebildeten Constructionen die beiden Gurtungen einer „Rippe“ so nahe zusammen rücken, dass sie sich nur als die beiden Theile desselben Stabes ansehen lassen, der wegen der Gefahr des Ausknickens auf diese Art einen steiferen Querschnitt erhalten sollte, dass dann diese Construction ganz berechtigt sein kann. Freilich würde die Skizze 5 für diesen Fall von vornherein durch die Skizze 4 resp. 3 zu ersetzen sein.

Schliesslich soll zur Erläuterung der an Fig. 5 geknüpften Bemerkungen noch an einem einfachen Beispiele gezeigt werden, wie es kommen kann, dass eine Construction für gewisse Belastungen (dort für symmetrische Belastung) statisch unbestimmt und in gewissem Sinne auch stabil, für Andere labil erscheinen kann. Wir betrachten zu diesem Zwecke ein Tetraeder. In diesem sind die sechs Stabspannungen immer statisch bestimmt, wenn die an den Knotenpunkten wirkenden äusseren Kräfte bekannt sind.

Lässt man es dagegen in ein ebenes Viereck übergehen, indem man die vier Knotenpunkte in dieselbe Ebene rückt, so ist die Verbindung stabil und statisch unbestimmt, so lange die an den Knotenpunkten angreifenden äusseren Kräfte im Folge geeigneter Verteilungen nur in der Vierecks-Ebene liegen können. Hört die letztere Bedingung auf, so ist es labil, da sich in den Stäben unendlich grosse Kräfte entwickeln müssten, um die Verbindung aufrecht zu erhalten. Es ist auch selbst bei starren Verbindungslien eine „unendlich kleine relative Beweglichkeit“ vorhanden.

Leipzig, im Juni 1881.

A. Foepl.

### Die untere Rheinbrücke in Basel.

Von Ingenieur H. Bringolf in Basel.

(Mit einer Doppeltafel.)

Nachdem in letzter Nummer der Verlauf der Versenkung der Strompeiler und Widerlager beschrieben und graphisch zur Darstellung gebracht worden ist, wird es nicht ohne Interesse sein, die von der Bauunternehmung (Philipp Holzmann & Co. in Frankfurt a. M. und Gebrüder Benckiser in Pforzheim) getroffenen Einrichtungen für die Versenkung der Caissons und Förderung des Materials zu untersuchen. Die Construction, wie sie für die Strompeiler in Anwendung gekommen, ist auf beiliegender Doppeltafel veranschaulicht. Die Caissons der Widerlager sind gleich construirt, nur sind sie viereckig statt abgerundet.

Der Caisson hat eine Grundrissfläche von  $121,9 \text{ m}^2$  und wiegt ca.  $52 \text{ t}$ ; die Blechstärken variieren zwischen 7 und 9 mm. Der Raum zwischen den keilförmigen Consolen und der 60 cm hohen Decke wird vor dem Versenken, der innere Arbeitsraum nach Vollendung derselben, mit Beton aus einem Theile Cement, zwei Theilen Sand und fünf Theilen Kies ausgefüllt. Ueber der Decke wird auf die Höhe der vorstehenden Blechwand Bruchsteinmauerwerk satt an diese angemauert und erst über dem Mantel beginnt die Quaderverkleidung. Die Materialbeförderung aus dem Caisson geschieht nur durch einen Schacht. Im untern Raum sind 10—14 Mann bei achtstündiger Arbeitszeit mit Ausgraben beschäftigt. Das Material wird in Kübel von  $1/11 \text{ m}^3$  Inhalt verladen, durch eine im Ausgleichskasten angebrachte, von comprimirter Luft getriebene Maschine emporgezogen und in eines der Seitenrohre entleert, von wo es durch Oeffnen des unteren Verschlusses in's Freie gelangt. Die Luft wird in ca. 12 m Entfernung vom Einsteigschacht mittelst eines besonderen Rohres direct in den Arbeitsraum geführt. Der Caisson hängt während der ganzen Versenkung in 12 Spindeln, deren Abdrehung ebenfalls durch einen auf dem Gerüst angebrachten, sehr sinnreich