

Punkt  $a_5$  mit  $A_4, A_5, A_6$ , Punkt  $a_7$  mit  $A_6, A_7, A_8$ ; alsdann sind  $a_1, a_3, a_5, a_7$  als feste Punkte anzusehen. Nun verbinde man Punkt  $a_2$  mit  $A_2, a_1, a_3$ , Punkt  $a_4$  mit  $A_4, a_3, a_5$ , Punkt  $a_6$  mit  $A_6, a_5, a_7$ , Punkt  $a_8$  mit  $A_8, a_7, a_1$ . In solcher Weise kann man weiter bauen und erhält, abgesehen von der Spitze, ein statisch bestimmtes Raum-Fachwerk. Dasselbe kann in Holz (zweckmäßig mit eisernen Diagonalen in den Seitenflächen) ohne Schwierigkeit hergestellt werden.

## 2) Construction der hölzernen Thurmhelme.

125.  
Grundsätze.

Für die Construction der hölzernen Thürme hat *Moller*<sup>178)</sup> vor mehr als einem halben Jahrhundert Grundsätze aufgestellt, welche zum großen Theile auch heute noch als gültig aufgeführt werden können, auch in vielen Hinsichten mit denjenigen übereinstimmen, welche sich als Folgerung der vorstehenden theoretischen Untersuchungen ergeben haben.

*Moller* schreibt u. A. vor: »Das Innere des Thurmes werde möglichst leicht construirt; man verstärke dagegen die äußeren Dachwände; die langen und schweren sogenannten Helmstangen sind fortzulassen und auf eine kurze Hängefäule zum Tragen des Knopfes und zum Ansetzen der Sparren zu beschränken; die Eckpfosten oder Ecksparren (von uns als Gratsparren bezeichnet) dürfen nicht durch horizontale Hölzer unterbrochen, sondern sie müssen, wenn sie zu kurz sind, unmittelbar verlängert werden, so daß Hirnholz auf Hirnholz zu stehen kommt; die äußeren Dachwände sind so zu verbinden, daß sie keinen Seitendruck ausüben, sondern nur senkrecht auf die Mauer wirken können; dieselben sind durch horizontale Verbindungen (Kränze) in gewissen, nicht zu großen Entfernungen so abzuschließen, daß dadurch die Thurmpyramide in mehrere kleine, abgestumpfte Pyramiden zerlegt wird.«

Man sieht, *Moller* verlangt das vorstehend entwickelte Fachwerk, bei welchem die Gratsparren durchgehen, in den Höhen der einzelnen Balkenlagen umlaufende Ringe und in den trapezförmigen Seitenflächen Diagonalen angeordnet sind. Die letzteren führt er nicht besonders auf, hat sie aber in dem nach ihm benannten Thurmdach nahe den Seitenflächen angewendet. Die Kränze dienen als Pfetten, als Auflager für die Zwischensparren; der Thurm ist im Inneren möglichst frei von Constructionstheilen zu halten. Wenn *Moller* fordert, daß die Dach-Construction nur lothrechten Druck auf die Mauer übertragen könne, so ist dies leider nicht durchführbar.

Weiter fordert *Moller* von der Construction für die Dauerhaftigkeit u. A.: »Alle Zapfenlöcher, in welchen sich Wasser sammeln könnte, sind zu vermeiden; wo dieses nicht möglich ist, müssen sie unten geschlitzt werden, damit das Wasser ablaufen kann. Der Luftzug ist zu befördern.«

Für die Ausbesserungen fordert er: »Alle Hölzer sind so zu verbinden, daß die schadhafte leicht weggenommen werden können; mithin sollen die Gebälke, Sparrenbalken u. f. w. nicht unter die Hauptpfosten oder Ecksparren gelegt werden, sondern neben dieselben. Bei größeren Thürmen ist jedesmal außer den Ecksparren noch eine von denselben unabhängige Unterstützung anzubringen, so daß durch dieselbe, sowohl beim Aufschlagen, als bei Reparaturen, die Festigkeit des Ganzen gesichert wird und sie zugleich als Gerüst dienen kann. Die Kränze sind so ein-

<sup>178)</sup> A. a. O., Heft 4.

zurichten, daß dieselben als Gänge für die Bauarbeiter dienen können. In jedem Stockwerk ist wenigstens ein eisernes Fenster anzubringen, um jeden Schaden des Dachwerks leicht erkennen zu können.«

Die hauptsächlich tragenden Constructionstheile sind die Gratsparren; diese dürfen nicht durch wagrechte Hölzer unterbrochen, müssen vielmehr Hirnholz auf Hirnholz gestossen werden, wobei auch Eifen zu Hilfe genommen werden kann (Fig. 378). Bei der Verbindung der Kränze oder Ringe, welche gleichzeitig als Pfetten dienen, mit den Gratsparren sind die letzteren möglichst wenig zu schwächen; die Ringe sind etwa 2,5 cm bis 3,0 cm in die Gratsparren einzulassen und mit ihnen zu verbolzen; auch hier können eiserne Laschen zur Verbindung verwendet werden. An der Spitze treffen die Gratsparren einander auf der Helmstange, welche nur ein bis zwei Gefchofshöhen hinabzureichen braucht; an dieser schwierigen Stelle wendet man heute mit Vortheil Eifen an (siehe Fig. 378 und die Tafel bei S. 173). Die zwischen den einzelnen Gefchoffen erforderlichen Balken lagert man zweckmäsig auf den Pfetten; wo möglich befestigt man sie auch seitlich an den Gratsparren. Dadurch ist das Aufschlagen und Auswechselfn schadhafter Balken und Pfetten leicht möglich. Die Dachbalkenlage kann mit Stichbalken für jeden Sparren hergestellt werden; gewöhnlich ruht sie auf zwei umlaufenden, auf dem Thurmmauerwerk verlegten Mauerlatten. Eine solche Balkenlage zeigt Fig. 367. Man kann aber auch die Zwischensparren auf eine Art von Fußpfetten setzen, welche herumlaufend einen untersten Ring bilden; als Verbindung der Auflager wird besser ein umlaufender eiserner Ring angeordnet.

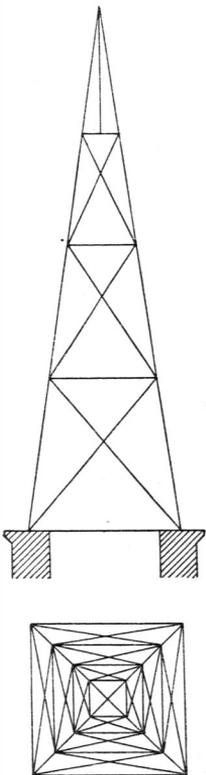
Nachstehend sind zu behandeln:

- α) das vierseitige Thurmdach;
- β) das achtseitige Thurmdach;
- γ) das Rhombenhaubendach;
- δ) das runde Thurmdach oder das Kegeldach.

α) Vierseitiges Thurmdach. Vier durchgehende, bzw. Hirn- auf Hirnholz gestossene Eckfäulen unter den Kanten der Pyramide (die Gratsparren) bilden die Hauptconstructionstheile; dazwischen gefetzte Holme theilen die ganze Höhe in eine Anzahl Stockwerke von etwa 3,0 bis 5,0 m Höhe. Die Holme nehmen die Sparren auf. Die in den geneigten Seitenflächen liegenden trapezförmigen Felder werden mit Diagonalen verstrebt, welche als gekreuzte Holzstäbe (Andreaskreuze) oder als gekreuzte Eisenstäbe (Gegendiagonalen) construirt werden können. Alle tragenden Constructionstheile liegen hier in den Seitenflächen der Pyramide. Nach Früherem (siehe Art. 119, S. 148) ist die Construction wegen der Spitze statisch unbestimmt, aber nicht labil. Eine schematische Darstellung giebt Fig. 366. Wegen der Einzelheiten, insbesondere der Verbindungen der Hölzer in den Knotenpunkten und an der Spitze, wird auf die weiterhin (Fig. 377 bis 380) folgenden Abbildungen und Erläuterungen verwiesen. Die Helmstange braucht nur ein bis zwei Stockwerke hinabzureichen.

β) Achtseitiges Thurmdach. Bei diesem kommen hier folgende Constructionen in Frage: das *Möller'sche* Thurmdach.

Fig. 366.



126.  
Vierseitiges  
Thurmdach.

127.  
*Möller'sche*  
Thurmdächer.

dach, das Thurmdach mit durchgehendem Kaiserstuhl, dasjenige des Mittelalters, endlich das neuere *Otzen'sche* Thurmdach.

2) *Moller'sche* Thurmdächer. Diese sind, als Raumfachwerk betrachtet, in Art. 123 (S. 158) bereits behandelt. Es wurde gezeigt, daß das Fachwerk streng genommen nicht allen Ansprüchen an die Stabilität genügt; dennoch haben sich diese Dächer gut gehalten; sie bedeuten gegenüber den jenerzeit üblichen Constructionen einen ganz bedeutenden Fortschritt und sind ein Beweis vom hervorragenden Constructionstalent *Moller's*. Sie sind nach den oben angeführten Grundrissen folgendermaßen hergestellt.

Die Gratparren bilden die Haupttheile; sie laufen von unten bis oben durch und setzen sich an der Spitze gegen einen lothrechten Stab, den sog. Kaiserstuhl, welcher die Aufgabe hat, den Zusammenschluß der Gratparren zu erleichtern und das Anbringen des Thurmkreuzes zu ermöglichen. Der ganze Thurm ist in einzelne Stockwerke von 3,5 bis 4,5 m Höhe zerlegt; in jedem Stockwerk sind vier Wände angebracht, deren jede aus Schwelle, Holm und zwei Streben (Andreas Kreuz) besteht. Diese Wände wechseln in den verschiedenen Stockwerken; wenn die Wände des einen Stockwerkes an den Seiten 1, 3, 5, 7 des Achteckes angeordnet sind, so sind sie in dem darüber folgenden Stockwerk in den Seiten 2, 4, 6, 8. So

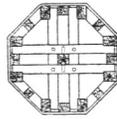
Fig. 367.  
Von der Kirche zu  
Friedrichsdorf.

1/133 n. Gr.

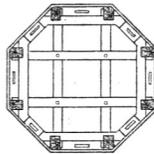
Schnitt I-I



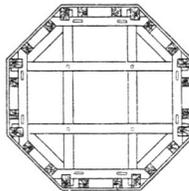
Schnitt II-II



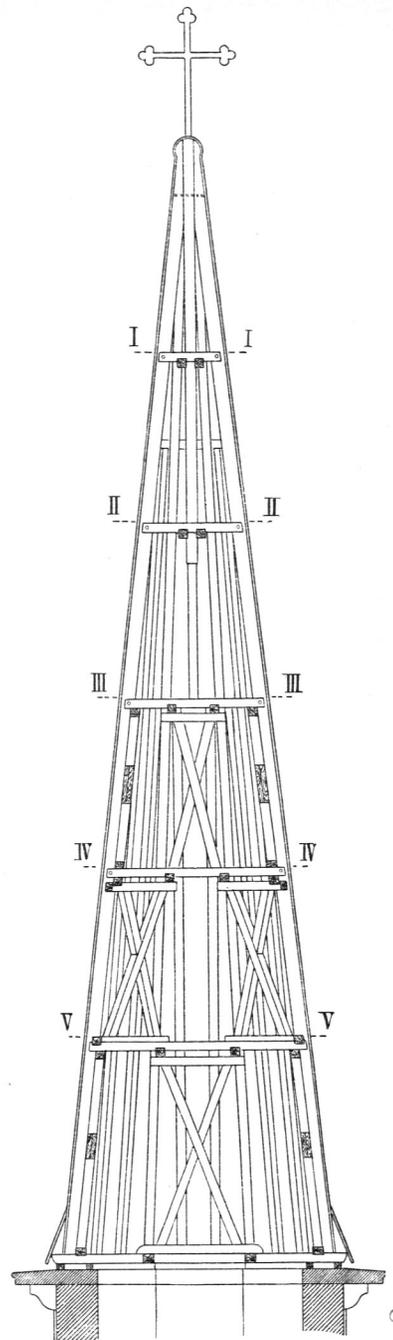
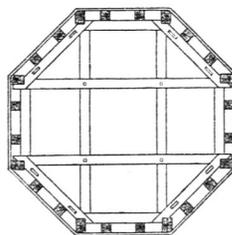
Schnitt III-III



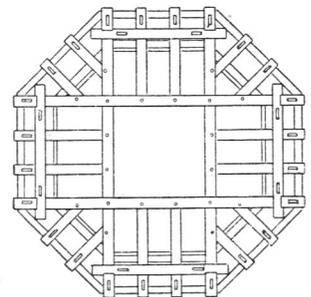
Schnitt IV-IV



Schnitt V-V



Unterste Balkenlage



bilden denn zwischen je zwei Stockwerken die Holme des unteren und die Schwellen des oberen Stockwerkes einen achteckigen Ring, gegen welchen sich auch die Zwischenparren, wie gegen Pfetten, lehnen.

Die Holme der verstreuten Wände tragen die in Art. 123 (S. 159) erwähnten Balken, welche in den vier großen, schräg liegenden Ebenen  $A_1A_4O$ ,  $A_8A_5O$ ,  $A_2A_7O$ ,  $A_3A_6O$  (Fig. 362, S. 158) angeordnet sind. Die Balken der einen Richtung sind über diejenigen der anderen, im Grundriss lothrecht dazu stehenden Richtung gelegt; beide sind etwa 2,5 cm tief mit einander verkämmt und verschraubt. Auf diese vier Balken werden nun die Schwellen der vier verstreuten Wände des nächsten Stockwerkes gelegt. Die Helmftange (der Kaiserftiel) reicht nur um eine oder zwei Gefchofshöhen hinab. Wo die Gratparren geflossen werden müssen, werden die Theile unmittelbar auf einander gesetzt. Die Stockwerkshöhe wähle man etwa 3,0 bis 4,5 m.

Fig. 368.

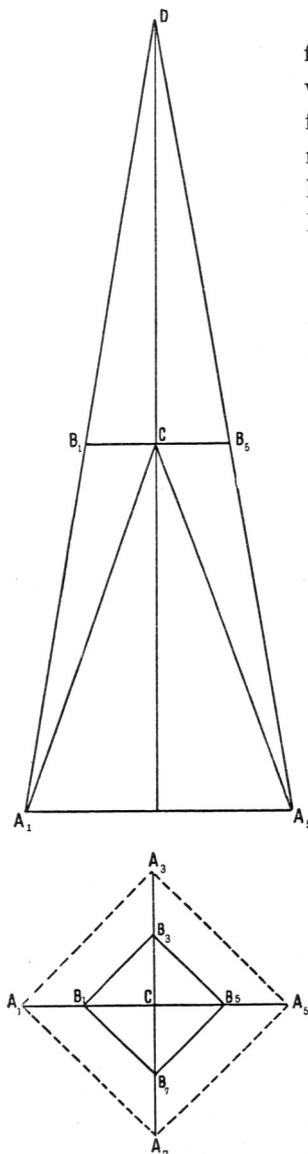


Fig. 367 zeigt einen solchen Thurm. Derselbe setzt sich auf das Gebälke, welches aus den in allen Böden sich wiederholenden vier Balken und den zwischen denselben, so wie übereck liegenden Stichbalken besteht. Diese Balken nehmen die Grat- und Zwischenparren auf. Die Balkenlage ruht auf zwei ringsum laufenden Mauerlatten; auf ihr liegen die Schwellen für die verstreuten Wände.

Vorteile der *Moller'schen* Constructionsweise sind:

a) Die vielfach bei anderen Thürmen bis zum untersten Boden hinabgeführte Helmftange, welche den Thurm unnöthig beschwert, ist bis auf das kurze Stück an der Spitze fortgelassen.

b) Das Aufschlagen des Thurmdaches ist sehr leicht. Zuerst wird die Grundbalkenlage gelegt und darauf werden die vier verstreuten Wände (die Andreaskreuze) gestellt, auf welche die vier Balken des zweiten Bodens kommen. Nuncmehr stellt man die Gratparren auf, welche jedesmal durch zwei Stockwerke reichen, jedoch so, dass bei dem einen Boden vier (etwa 1, 3, 5, 7), beim nächsten Boden die anderen vier Gratparren (etwa 2, 4, 6, 8) geflossen werden. So geht der Aufbau weiter. Ein besonderes Gerüste kann erspart werden, da die verstreuten Wände als Gerüste dienen können.

c) Das Beseitigen schadhafter und das Neueinbringen guter Hölzer ist bei dieser Construction ohne besondere Schwierigkeit möglich.

d) Der innere Thurm ist von Hölzern frei und überall leicht zugänglich.

Ein gutes Beispiel zeigt auch Fig. 395.

§) Thurmhelme mit durchgehendem Kaiserftiel.

Die hölzernen Thurm-Constructions sind bis zur neuesten Zeit vielfach mit einem bis zur Grundfläche des Thurmhelmes hinabreichenden fog. Kaiserftiel ausgeführt worden. Der Zusammenschnitt der Gratparren an der Spitze hat wohl schon

128.  
Thurmhelme  
mit  
durchgehendem  
Kaiserftiel.

früh zur Anwendung einer lothrechten Helmftange geführt, welche einerseits die Schwierigkeit der Herstellung dieses Knotenpunktes verminderte, andererseits eine gute Befestigung des Thurmkreuzes ermöglichte; zu diesem letzteren Zwecke mußte man aber die Helmftange wenigstens einige Meter weit hinabreichen lassen und das untere Ende derselben gegen seitliche Bewegungen sichern. So kam man leicht dazu, diesen Constructionstheil ganz hinab zu führen und als Haupttheil des Thurmhelmes auszubilden.

Bei niedrigen und mittelhohen Thürmen wird diese Anordnung auch heute noch vielfach ausgeführt.  $A_1, A_3, A_5, A_7$  (Fig. 368) seien vier feste Punkte in der Auflagerebene; alsdann wird Punkt  $C$  zu einem festen Punkte durch Verbindung mit dreien dieser Punkte; verwendet man zwei einander unter rechtem Winkel kreuzende Hängewerke mit gemeinsamer Hängefäule, so ist die vierte Strebe eigentlich ein überzähliger Stab, der aber das Fachwerk nicht labil macht. Eben so ist Punkt  $D$  an der Thurmspitze durch die beiden Hängewerke  $A_1DA_5$  und  $A_3DA_7$  ein fester Punkt, wobei gleichfalls ein überzähliger Stab verwendet ist. In der Höhe des Punktes  $C$  oder etwas höher, bezw. tiefer als  $C$  ordnet man Zangen  $B_1B_5$  und  $B_3B_7$  an, um die freie Knicklänge der langen Streben  $AD$  zu verringern; auch an Zwischenstellen kann man nach Bedarf Zangen zu gleichem Zwecke anordnen. Um die achtseitige Pyramide zu bilden, werden aufer den Hauptgratsparren  $A_1D, A_3D$  u. f. w. und zwischen diese noch die Nebengratsparren  $A_2D, A_4D$  u. f. w. (Fig. 369) angebracht; dieselben lehnen sich oben an den Kaiserftiel und werden gleichfalls durch Doppelzangen an den Kaiserftiel angegeschlossen, welche Zangen in etwas andere Höhe gelegt werden, als die Zangen der Hauptgratsparren. Kräfte, welche in den lothrechten Ebenen  $XDX$  oder  $YDY$  der Hauptgratsparren wirken, werden durch die Hängewerke nach den Hauptauflagern  $A_1A_5$ , bezw.  $A_3A_7$  geführt; Kräfte in den lothrechten Ebenen  $UDU$ , bezw.  $VDV$  der Nebengratsparren werden durch die Zangen, theilweise unter Beanspruchung der Hölzer auf Biegung, zunächst auf den Kaiserftiel gebracht, dann von diesem durch die Hängewerke der Ebenen  $XX$  und  $YY$  in die Hauptauflager. Die Stäbe  $B_1B_3, B_3B_5, B_5B_7, B_7B_1$  werden dabei nicht beansprucht. Kräfte, welche in Ebenen wirken, welche die Mittellinie  $CD$  nicht enthalten, verdrehen das Fachwerk; für diese kommt zur Geltung, das, wie in Art. 120 (S. 150) entwickelt ist, das Fachwerk labil ist. Die Construction ist demnach nicht einwandfrei; auch ist sie durch die Nebenaullager unklar.

Fig. 369.

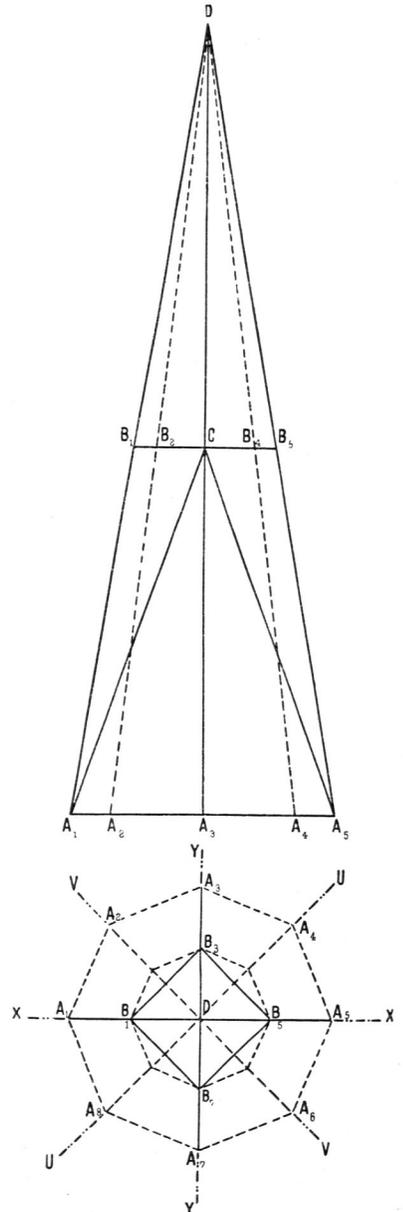
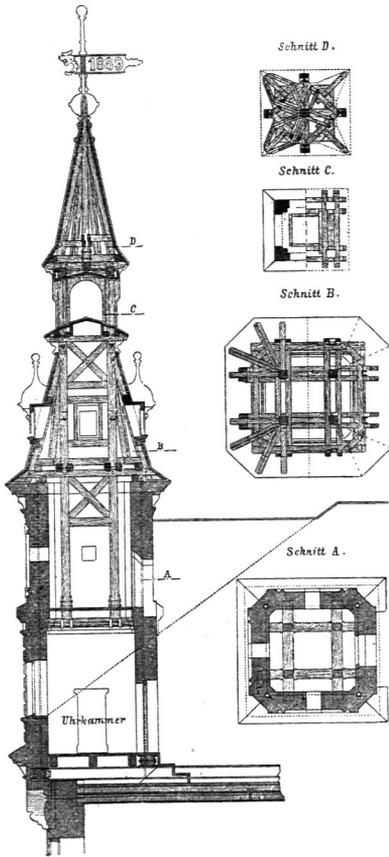
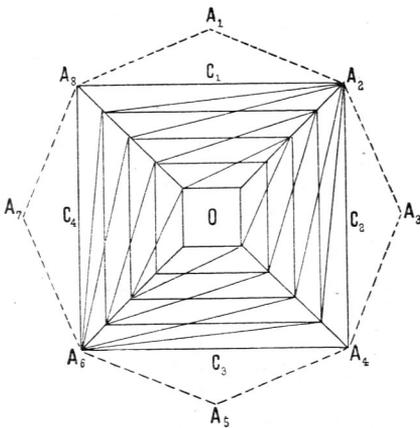


Fig. 370.

Uhrthurm des Amtsgebüudes zu  
Joslowitz <sup>179)</sup>.

in der Höhenrichtung des Thurmes schwinden und im Verein mit den vielen Fugen ein bedeutendes Sacken zur Folge haben. Kaiserftiel und Gratsparren müssen

Fig. 371.



Man könnte der Ansicht sein, durch Verbindung von  $C$  mit drei (oder vier) Auflagerpunkten  $A$  und nachherige Verbindung der vier Punkte  $B$  mit  $C$  und den Auflagern  $A_1, A_3, A_5, A_7$  werde ein stabiles Fachwerk geschaffen, an welches sich dann die anderen Stäbe zur Bildung der achtseitigen Pyramide anschließen könnten. Die in Art. 120 (S. 150) geführte Untersuchung lehrt, daß das so gebildete Fachwerk nicht stabil ist. Man hat vielfach in die Randbalken  $B_1 B_3, B_3 B_5 \dots$ , bezw. in Balken, welche diesen entsprechen, aber näher an  $C$  liegen, Stichbalken gesetzt und diese zur Unterstützung der vier Zwischengratsparren benutzt. Da das Viereck  $B_1 B_3 B_5 B_7$  nicht als eine Scheibe gelten kann, deren Eckpunkte im Raume fest gelegt sind, so können auch die Anschlußpunkte der Stichbalken nicht im Raume als fest liegend angesehen werden. Die vorderen Enden der Stichbalken hat man durch Wände unterstützt, welche mit herumlaufenden Schwellen und Ringen gebildet und durch Andreas-kreuze verstrebt sind. Daß diese Wände ein stabiles Fachwerk geben, ist oben nachgewiesen; aber bei diesem Fachwerk ist der bis zur Grundfläche reichende Kaiserftiel überflüssig. Die ganze auf diese Weise gebildete Construction ist nicht zweckmäßig. Die tragenden Wände in den schräg liegenden Seitenflächen der Thurmpyramide enthalten in den Rahmen und Schwellen viele Hölzer, welche aus einem Holze gearbeitet oder Hirnholz auf Hirnholz gestossen werden. Diese Theile setzen sich nur äußerst wenig, so daß also ein ungleichmäßiges Sacken eintritt und die einzelnen Theile aus dem Zusammenhange kommen. Diese Constructionsweise ist deshalb mit Recht verlassen worden.

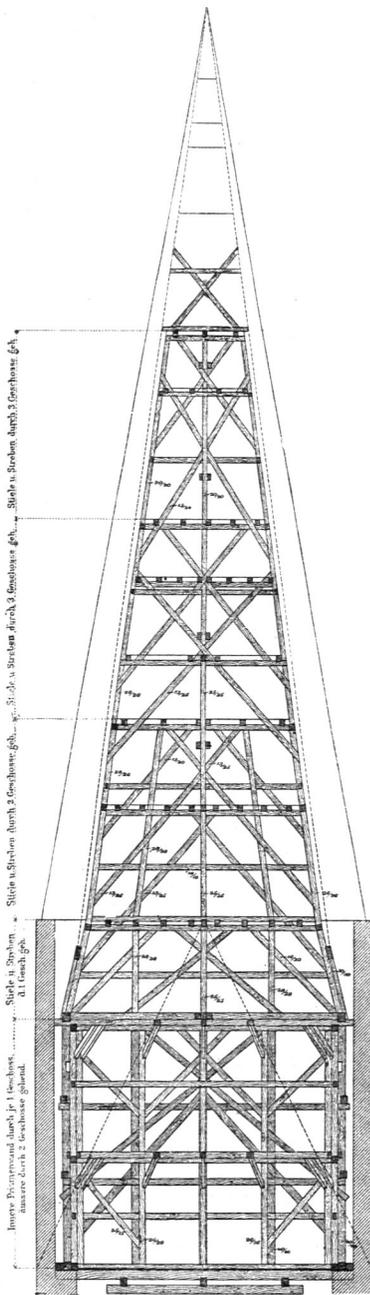
Fig. 370 <sup>179)</sup> zeigt ein ohne Weiteres verständliches Beispiel eines kleinen Thurmes mit weit hinabreichendem Kaiserftiel.

©) Thurmhelme des Mittelalters. Die bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit der mittelalterlichen Thurmhelme ist nicht der durchgehende Kaiserftiel, sondern die sichere Stützung

129.  
Thurmhelme  
des  
Mittelalters.

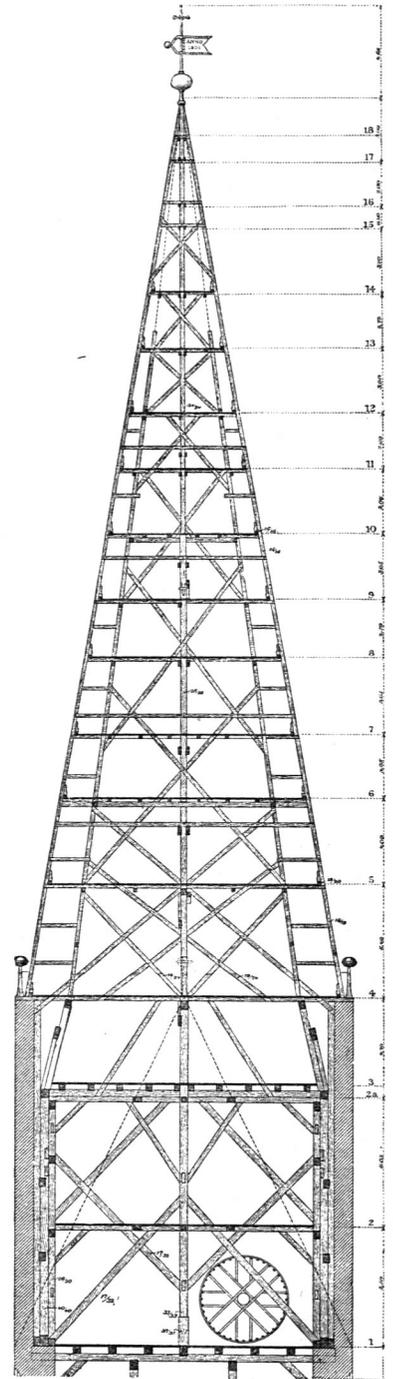
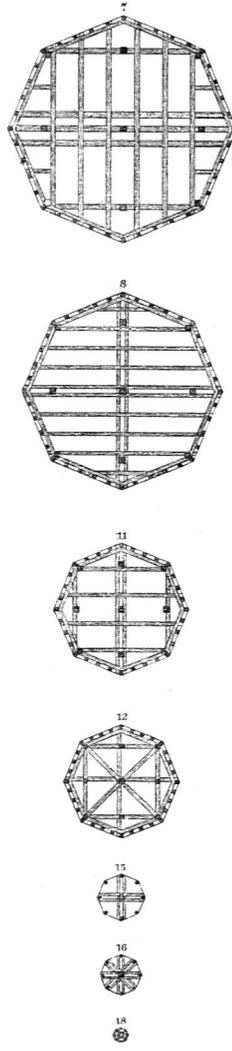
Fig. 374.

Fig. 372.



Seitenfläche der vierseitigen inneren Pyramide.

Fig. 373.



Lothrechter Schnitt durch die Mitte.

Von der Johannis-Kirche zu Lüneburg 180).

des achtseitigen Thurmdaches auf eine vierseitige Pyramide; dadurch wird die ganze Belaftung klar und sicher auf vier Punkte, die Auflagerpunkte, geführt. In der achtseitigen Thurmpyramide, welche in den Kanten die Gratsparren aufweist, steckt als tragende Construction eine nur vierseitige Pyramide  $A_2 A_4 A_6 A_8 O$  (Fig. 371), deren Kanten unter den Gratsparren liegen. Diese vierseitige Pyramide ist in einer vollständig befriedigenden Weise in ihren vier geneigten Seitenwänden mit Holmen, Streben und Stielen versehen, so daß sich ein stabiles, steifes Raumfachwerk, ein Flechtwerk, bildet. Die Holme entsprechen den heute sog. Ringen; die Streben gehen vielfach durch mehrere Stockwerke durch; man kann aber dieselbe Construction, unserer heutigen Bauweise entsprechend, so anordnen, daß jedes Stockwerk für sich verstrebt ist.

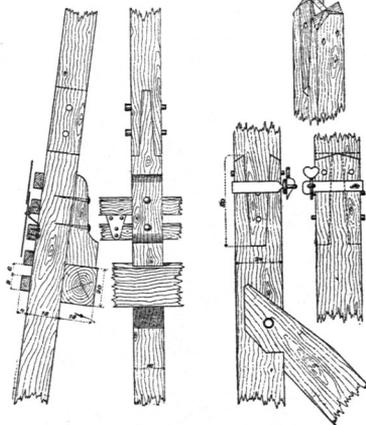
Die beschriebene Construction ist steif; dennoch ist noch eine weitere Versteifung dadurch vorgenommen, daß in zwei senkrecht zu einander stehenden lothrechten Ebenen ( $C_1 O C_3$ ,  $C_2 O C_4$  in Fig. 371) verstrebt Fachwerke angebracht sind; diese Fachwerke haben an der Schnittstelle ihrer Ebenen den sog. Kaiserfiel. Derselbe soll hauptsächlich die zu große Länge der in den beiden Ebenen liegenden Streben und Zangen verkürzen. Um nun die achtseitige Form der Thurmpyramide zu erhalten (die punktirte Grundform in Fig. 371), lagert man auf die Holme in den Seiten der vierseitigen Pyramide die Balken der Zwischenböden und versteht dieselben mit verschiedenen langen Auskragungen, so daß ihre Enden im Grundriß das verlangte Achteck bilden. Die Balken gehen in einer Richtung durch, in der dazu senkrechten Richtung werden Stichbalken angeordnet. Auf die Balkenenden werden die im Achteck herumlaufenden Pfetten gelegt, gegen welche sich sowohl die Gratsparren, wie die Zwischenparren legen. Die Balken der Zwischenböden gehen bald in der einen, bald in der zu dieser senkrechten Richtung durch.

Ein gutes Beispiel ist der in Fig. 372 bis 376 dargestellte Thurm der Johannis-kirche in Lüneburg<sup>180)</sup>.

Der lothrechte Schnitt in Fig. 374 zeigt die verstrebt Fachwand in der lothrechten Mittelebene des Thurmes; Fig. 372 veranschaulicht die Seitenwand der tragenden vierseitigen Pyramide. Die Gratsparren spielen hier kaum eine wichtigere Rolle als die anderen Sparren; beide sind gleich stark ( $15 \times 15$  cm). Fig. 375 zeigt den Sparrenstofs mittels des einfachen Scherzapfens und die Verbindung der Sparren mit den Pfetten vermittels der Knaggen. Fig. 376 giebt den sehr sorgfältig gearbeiteten Stofs des Kaiserfielses; dieselbe Abbildung zeigt das Hakenblatt, mit welchem sich die Streben an die Stiele setzen; um den Stiel dabei so wenig wie möglich zu schwächen, ist die Strebenbreite in der gezeichneten Weise am Anschlußpunkt vermindert. Der Thurm ist aus Eichenholz hergestellt und hat sich gut gehalten. *Prieß* sagt in der unten angegebenen Abhandlung<sup>180)</sup> über die Construction u. A.: »Der Helm ist in möglichst wenig Gefchoffen mit langen durchgehenden Stielen als ein starres, nach allen Seiten gut versteiftes Ganzes aufgebaut. Diese Anordnung übertrifft ohne Zweifel die der neueren Entwürfe, bei denen es üblich geworden ist, den Aufbau aus vielen niedrigen Gefchoffen mit kurzen Stielen bestehen zu lassen und dabei mehrfach über einander gelegte Hölzer in den Haupttragwänden zu verwenden, eine Ausführungsweise, die nicht nur von vornherein einen mangelhaften Verband der ganzen Spitze abgiebt, sondern die sich vor Allem auch wegen

Fig. 375.

Fig. 376.



Einzelheiten zu Fig. 372 bis 374.

 $\frac{1}{40}$  n. Gr.

<sup>180)</sup> Nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1893, S. 566 u. Bl. 55, 56.

des nothwendigen flärkeren Schwindens des Holzes in der Querfaser bei Bauten, die für längere Zeit berechnet sind, sicherlich nicht bewähren wird.«

Es empfiehlt sich, die vorstehend angeführte Bauweise wieder mehr in die Construction einzuführen: die ganze Last auf vier Gratsparren zu stellen, welche Hirnholz auf Hirnholz gefloßen werden, herumlaufende Ringe anzuordnen, die Seitenfelder durch gekreuzte (Holz- oder Eifen-) Diagonalen zu verstreben. Der Kaiserftiel braucht nur in den oberen Stockwerken vorhanden zu sein, um den Zusammenschluß der Gratsparren zu erleichtern und das Thurmkreuz aufzunehmen.

Eine ähnliche, aber wesentlich weniger gute Construction zeigen die Thurmhelme der St. Marienkirche in Lübeck<sup>181)</sup>. Auch hier ist eine innere, vierseitige Pyramide angeordnet; aber das Thurmgrüft besteht aus einzelnen, von einander unabhängigen stehenden Stühlen, welche nach oben, der Verjüngung der Innenpyramide entsprechend, geneigt sind. Die Verbindung der einzelnen Stockwerke mit einander durch die Sparren und die innere Querverstrebung ist mangelhaft. Thatfächlich sind bei diesen Thürmen bedeutende Formveränderungen im Laufe der Jahrhunderte eingetreten.

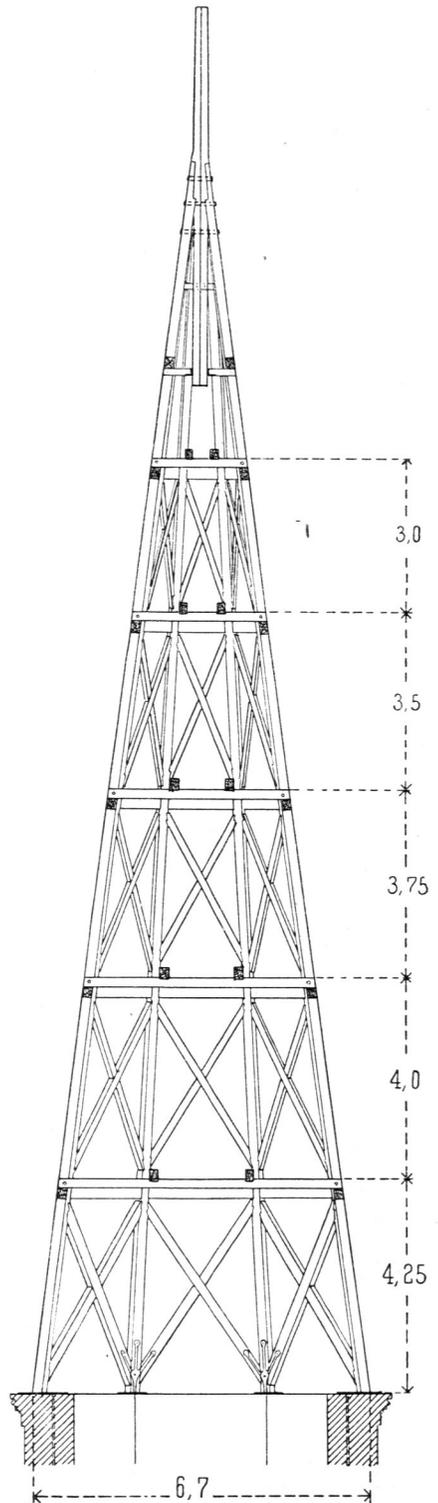
130.  
Otzen'sche  
Thurmdächer.

2) *Otzen'sche* Thurmdächer. Die von *Otzen* in neuerer Zeit construirten Thurmdächer sind sowohl in ihrer Gesamtanordnung, wie in der Ausbildung der Einzelheiten in hohem Maße bemerkenswerth. Der Gesamtanordnung zunächst ist eigenthümlich, daß alle trapezförmigen Felder der achtseitigen Thurmpyramide — so weit möglich — mit gekreuzten Schrägstäben verstrebt sind; zwischen je zwei Stockwerken ist ferner ein herumlaufender Pfettenring angeordnet, dessen einzelne Hölzer sich in die Gratsparren setzen. Werden die Gratsparren bis zur gemeinsamen Auflagerebene hinabgeführt, so ergibt sich ein stabiles, räumliches Fachwerk, wie in Art. 124 (S. 161) nachgewiesen ist. Abgesehen von der Spitze und den sich kreuzenden Gegen-diagonalen ist dieses Fachwerk sogar statisch

<sup>181)</sup> Beschrieben von *Schwiening* in: *Zeitschr. f. Bauw.* 1894, S. 503 u. Bl. 62, 63.

<sup>182)</sup> Nach den von Herrn Geheimen Regierungsrath Professor *Otzen* zu Berlin freundlichst zur Verfügung gestellten Zeichnungen.

Fig. 377.

Hauptthurm der Kirche zu Apolda<sup>182)</sup>.

$\frac{1}{150}$  n. Gr.



zur Bildung der Knotenpunkte. Auf die Ausbildung der Knotenpunkte, auch der Thurmspitze, unter geschickter Benutzung des Eisens, wird besonders aufmerksam gemacht.

Fig. 377<sup>182)</sup> zeigt im Hauptthurm der Kirche zu Apolda einen fast ausschließlich in Holz construirten Thurm.

Die Gratparren setzen sich sämmtlich auf die Auflagerebene am Thurmmauerwerk, und zwar mit dem Hirnholz unmittelbar auf die Auflagerschuhe; sie sind stumpf nur mit Langblatt gestossen, so daß Höhenveränderung möglichst ausgeschlossen ist. Die Stöße der Gratparren wechseln und sind, mit Ausnahme der obersten, stets oberhalb der Aussteifungen zwischen den Strebenfüßen (d. h. oberhalb der Ringe). Die Streben sind aus Holz hergestellte Andreaskreuze, in der Kreuzung mit einander vernagelt. Auf den Aussteifungen (den Pfettenringen) ruhen zwischen je zwei Stockwerken je zwei parallele Balken, welche einander im Grundriß unter rechtem Winkel kreuzen; die Balken sind mit den Gratparren durch Bolzen verbunden, auch an den Kreuzungsstellen mit einander verbolzt. Die Gratparren setzen sich in den aus 4 Hölzern von  $18 \times 18$  cm Querschnitt bestehenden Kaiserstiel, welcher etwa 6 m unter demjenigen Punkt hinabreicht, in dem die Gratparren zusammenschneiden; er ist mehrfach durch Winkeleisen gefasst, die einander im Grundriß unter rechten Winkeln schneiden. In der Ebene der acht Auflager verbindet ein umlaufendes Randwinkeleisen die eisernen Auflagerschuhe; außerdem sind zur Querverbindung der acht Auflager vier Winkeleisen (oder Flacheisen) angeordnet, welche einander in der Mitte schneiden. Die Gesamthöhe des Thurmes beträgt 27,75 m und die Breite des unteren Achteckes 6,70 m. Holzstärken: Gratparren  $20 \times 24$  cm, Streben  $18 \times 18$  cm, Pfettenringe  $15 \times 18$  cm, Balken  $15 \times 18$  cm. Die Stockwerkshöhen sind von unten nach oben bezw. 4,25, 4,00, 3,75, 3,50, 3,00 und 1,85 m.

Eine ausgedehnte Verwendung des Eisens zeigt Fig. 378<sup>182)</sup>, den Thurm der Lutherkirche zu Berlin darstellend.

Hier setzen sich vier von den acht Gratparren auf Giebeldreiecke, während die anderen vier Gratparren bis zu derjenigen Auflagerebene hinabreichen, auf welche sich auch die Streben der Giebeldreiecke setzen. In der Höhe der Giebelspitzen ist eine achteckige Scheibe durch umlaufende Ringhölzer und vier quer angeordnete Balken gebildet; dieser Uebergang aus dem Viereck in das Achteck ist in Art. 122 (S. 153) besprochen. Dort ist auch nachgewiesen, daß diese Construction streng genommen nicht stabil ist. Bei der in Fig. 378 vorgeführten Art der Knotenbildung kann man jedoch die Scheibe als starre Scheibe annehmen, welche gegen die Auflagerebene durch die vier Giebeldreiecke und die vier untersten Theile der Gratparren fest gelegt ist. — Auf dem Unterbau ist nun die weitere achtförmige Pyramide errichtet; die vier einander kreuzenden Balken wiederholen sich zwischen je zwei Balkenlagen; sie sind für die geometrische Bestimmtheit, also die Stabilität in diesen nicht mehr erforderlich.

Eine etwas andere Anordnung zeigt Fig. 379.

Hier setzen sich alle acht Gratparren auf Giebeldreiecke. Der mittlere Sparren jeder Pyramidenseite ist bis zur gemeinsamen Auflagerebene aller Giebeldreieckstreben hinabgeführt. Es ist zu untersuchen, ob diese Anordnung ein stabiles Raum-Fachwerk bietet; für diese Untersuchung dient Fig. 379. Die Fußpunkte der Giebelstreben seien  $A_1, A_2 \dots A_8$ , die Giebelspitzen  $a_1, a_2 \dots a_8$ . Die Giebelspitzen  $a_1 \dots a_8$  sind durch die wagrechten Stäbe  $a_1 a_2, a_2 a_3, a_3 a_4 \dots a_8 a_1$  mit einander verbunden. Wir bauen das Raum-Fachwerk von unten auf, indem wir jeden hinzukommenden Punkt mit drei bereits festen Punkten verbinden, welche mit ihm nicht in einer Ebene liegen. Die Auflagerpunkte  $A_1$  bis  $A_8$  sind fest; den ersten Giebelpunkt, etwa  $a_1$ , verbinden wir durch Stäbe 1 und 2 mit  $A_1, A_2$  und vorläufig noch durch einen Hilfsstab mit dem festen Punkte  $C$  in der wagrechten Ebene  $a_1 a_2 \dots a_8$ . Damit ist  $a_1$  ein fester Punkt.

Nun verbinde man nach einander: Punkt  $a_2$  mit  $A_2, A_3, a_1$ , Punkt  $a_3$  mit  $A_3, A_4, a_2$ , Punkt  $a_4$  mit  $A_4, A_5, a_3$ , Punkt  $a_5$  mit  $A_5, A_6, a_4$ , Punkt  $a_6$  mit  $A_6, A_7, a_5$ , Punkt  $a_7$  mit  $A_7, A_8, a_6$  und Punkt  $a_8$  mit  $A_8, A_1, a_7$ . Damit sind alle Punkte  $a$  fest, wenn  $a_1$  fest ist. An Stelle des Ersatzstabes von  $a_1$  nach  $C$  werde jetzt der Stab 25 von  $a_1$  nach  $a_5$  gesetzt. Soll dadurch ein stabiles Raum-Fachwerk entstehen, so muß die Spannung im Stabe 24 für die Kräfte  $X = 1$  im Stabe 24 einen Werth haben, der von Null verschieden ist. Man erhält leicht, wenn der Winkel des Stabes 20 mit der wagrechten Linie in der Ebene  $A_6 A_5 a_5$  mit  $\beta$  bezeichnet wird:  $S_{20}' = -\frac{I}{\sin \beta}$ ,  $S_{19}' = +\frac{I}{\sin \beta}$ ,  $S_{18}' = -\frac{I}{\sin \beta}$ ,  $S_{17}' = +\frac{I}{\sin \beta}$ , und weil das Gleichgewicht am Knotenpunkt  $a_1$  bedingt:  $0 = I + S_{17}' \sin \beta - S_{24}'$ ,  $0 = I + I - S_{24}'$ ,  $S_{24}' = 2$ . Der Stab 25 kann also an die Stelle des Ersatzstabes 24 treten; er macht das Raum-Fachwerk stabil.

Außer den in Fig. 379 gezeichneten Stäben sind noch der Randstab  $a_8 a_1$  und die Querbalken oder Querstäbe  $a_2 a_6, a_3 a_7, a_4 a_8$  angeordnet. Dieselben sind überzählige Stäbe, welche das Fachwerk statisch



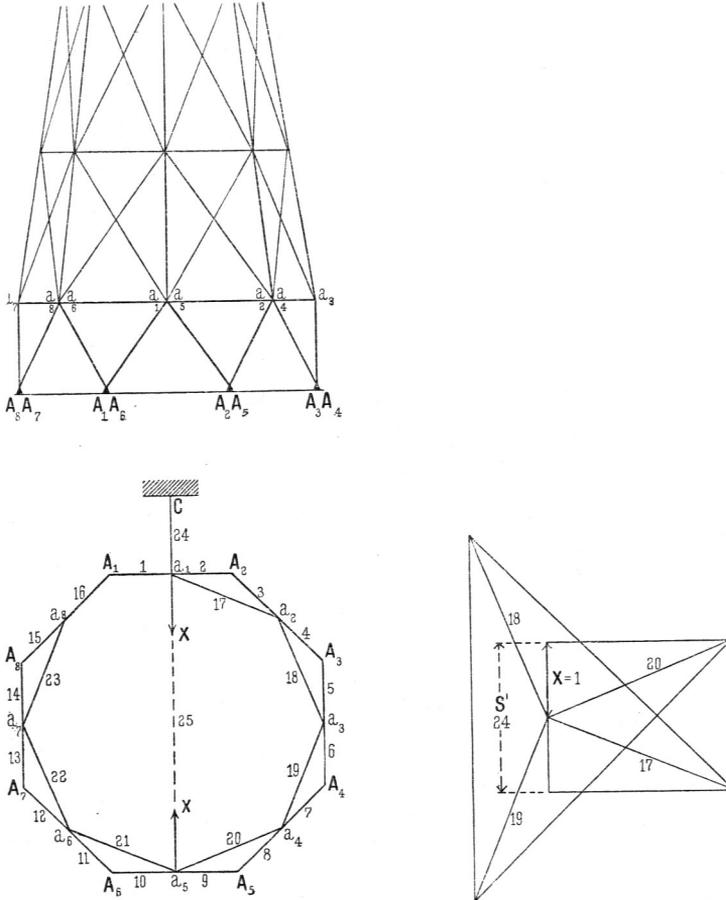




unbestimmt machen, aber die Stabilität desselben nicht ändern. Der Unterbau der Pyramide ist also stabil, und das Fachwerk bleibt stabil, wenn nunmehr auf die Punkte  $a_1, a_2 \dots a_8$  der weitere Aufbau eines Flechtwerkes erfolgt.

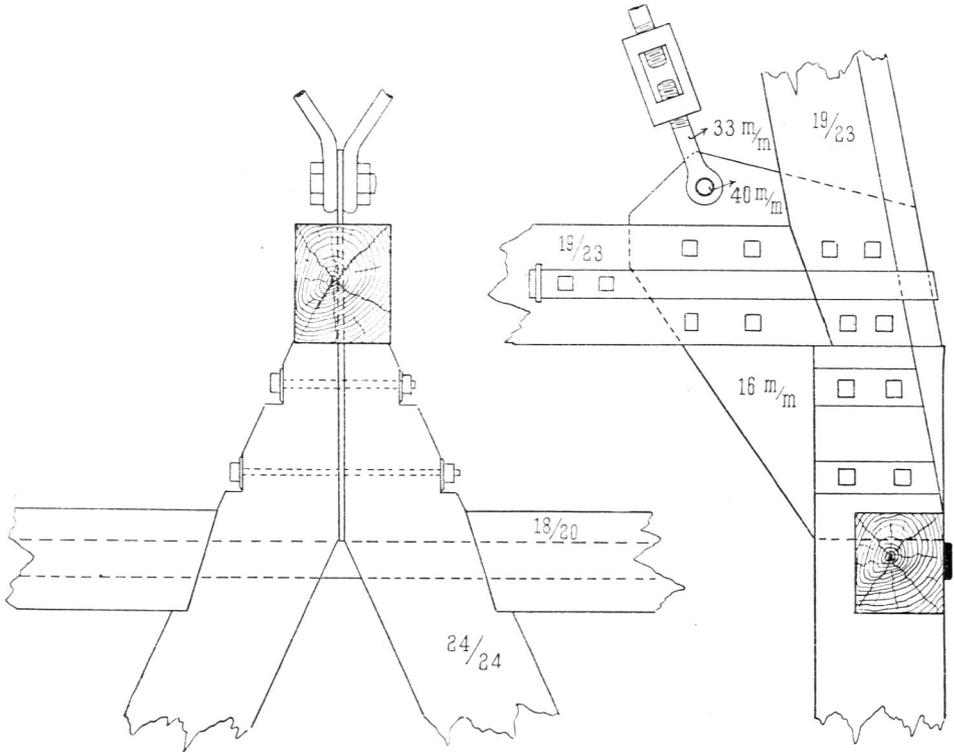
Die Einzelausbildung der Stofsstellen und Knotenpunkte ist bei den *Olzen'schen* Thurmhelmen mit Hilfe eiserner Blechlaschen vorgenommen. Die Gratparren setzen sich an den Stofsstellen auf einander und sind beiderseits mit Blechlaschen (7 bis 8 mm stark) versehen, welche durch Schraubenbolzen mit dem Holz verbunden sind; mittels solcher Stofsbleche werden auch die Querbalken an die Gratparren gefügt. Wo die Gratparren sich auf die Spitzen der Giebeldreiecke setzen, sind die verbindenden beiderseitigen Blechlaschen entsprechend gebogen, so daß sie theils in die Seitenfläche der Gratparren, theils in diejenige der Giebelstreben fallen. Die schmiedeeisernen Diagonalen der Seitenfelder sind an denselben Knoten-

Fig. 379.



blechen durch Bolzen befestigt (Fig. 378); in dem neueren Beispiel (siehe die neben stehende Tafel) sind auf die erwähnten Knotenbleche noch besondere Anschlußbleche für die Diagonalen genietet, welche zum Theile in die Seitenebenen der Pyramide fallen. Beachtenswerth ist auch die Ausbildung der Giebelspitze in Fig. 380, bei welcher ein mittleres Knotenblech zwischen die beiden Giebelstreben gelegt ist. Die Ueberfchneidung der radial angeordneten Balken ist in Fig. 378 dargestellt; ein Balken geht durch, die anderen stoßen stumpf vor diesen; die Kräfte werden durch zwei genügend große Blechlaschen, eine obere und eine untere, übertragen. An den Auflagern treffen sich bei der Anordnung in Fig. 378 je ein Hauptgratparren und zwei Streben der Giebeldreiecke; für diese Stellen sind eigenartig geformte Schuhe aus Eisenblech und Walzeisen contruirt. Ein solcher Schuh ist in Fig. 378 dargestellt; er besteht aus einem 20 mm starken Fußblech, zwei gebogenen  $\Gamma$ -Eisen (N.-Pr. Nr. 20) und zwei gleichfalls entsprechend gebogenen Stehblechen. Dieser Schuh ist durch Anker aus 39 mm starkem Rundeisen kräftig mit dem Thurmmauerwerk verankert.

Fig. 380.

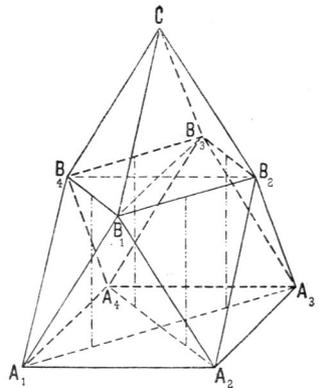
Von der Kirche zu Plagwitz-Leipzig<sup>182)</sup>. —  $\frac{1}{25}$  n. Gr.

Auch an der Spitze, wo die Gratsparren zusammenschneiden, ist Eisen verwendet. Die Helmstange in Fig. 378 ist aus Quadrateisen von 80 mm Seitenlänge; sie ist mit vier L-Eisen und trapezförmigen Seitenblechen verbunden, in welche sich die vier Hauptgratsparren setzen. Auf der umstehenden Tafel ist die Helmstange ein eisernes Rohr, welches aus einer Anzahl schwach kegelförmiger Stücke von 1,25 m Länge besteht und durch welches die gleichfalls rohrförmige eiserne Stange für den Thurmhahn hindurchreicht. Die Verbindung beider Stangen mit einander ist auf der umstehenden Tafel im Mafsstabe 1 : 10 dargestellt. Endlich ist auch die Verankerung durch herumlaufende I-förmige Walzbalken und die Verbindung der Ankerpunkte mit einander durch Querbalken veranschaulicht.

131.  
Rhomben-  
haubendach.

γ) Rhombenhaubendach. Dieses Dach, bei welchem die Gratsparren nach den Spitzen der vier Seitengiebel laufen, kann in der Weise angeordnet werden, welche in Fig. 381 schematisch dargestellt ist. Am Fuß der Giebel sind die vier Stützpunkte  $A_1, A_2, A_3, A_4$ , von denen aus die Giebelstreben  $A_1B_1, A_2B_1, A_2B_2, A_3B_2$  u. f. w. ausgehen. Die vier Giebelspitzen  $B_1, B_2, B_3, B_4$  bilden ein Viereck, welches durch die Diagonalen  $B_1B_3, B_2B_4$  versteift ist. Auf dieses Viereck setzen sich nun die Gratsparren  $CB_1, CB_2, CB_3, CB_4$ . Von den Diagonalen  $B_1B_3$  und  $B_2B_4$  ist eine wegen des Schubes in den Gratsparren nöthig (vgl. die Untersuchung auf S. 154); die zweite Diagonale ist ein überzähliger Stab. Man braucht die Punkte  $B_1, B_2, B_3, B_4$  nicht als Auflagerpunkte auszubilden; dadurch wird die Kraftwirkung unklar. Diese Auflagerung wird aber

Fig. 381.

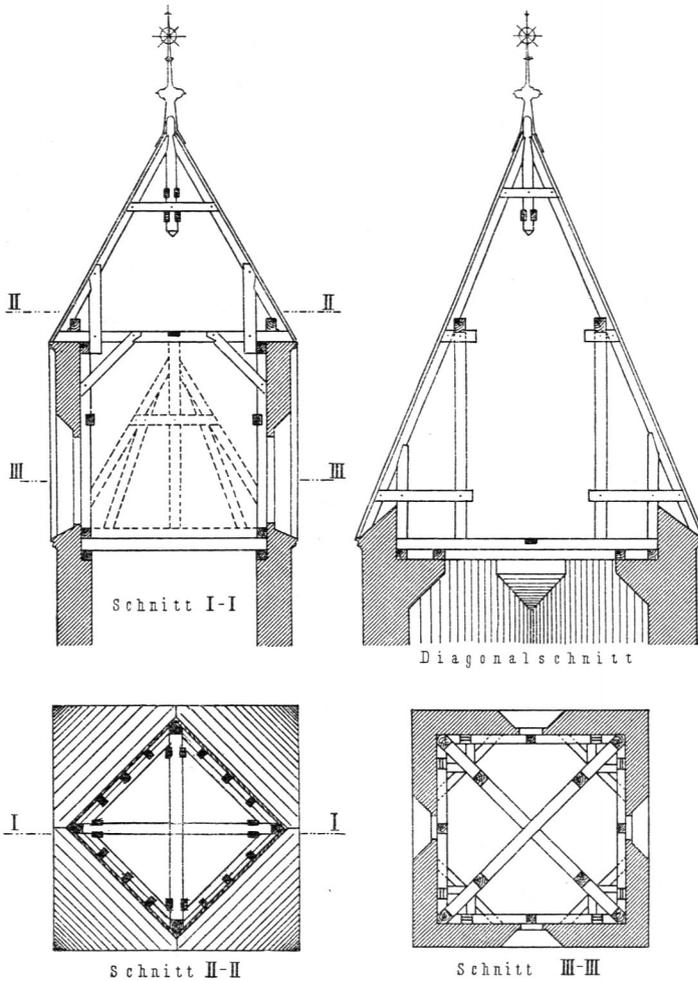


ausgeführt; z. B. findet sie sich auch in der Construction der Fig. 382. Die Linien  $B_1B_2$ ,  $B_2B_3$  . . . entsprechen Pfetten, welche einerseits durch die Diagonalbalken, andererseits durch besondere Stiele gestützt werden, die auf den Balken  $A_1A_3$  und  $A_2A_4$  stehen. Die Sparren in den rhombischen Seitenflächen schiften sich an die Giebelstreben und Gratsparren.

Ein derartiges Dach zeigt Fig. 382<sup>183)</sup>.

Die Gratsparren sind, wie oben angegeben, angeordnet; in den lothrechten Diagonalebene des Thurmes sind vier bis zur Auflagerebene  $A_1A_2A_3A_4$  reichende Sparren, welche auf den Auflagern und

Fig. 382<sup>183)</sup>.

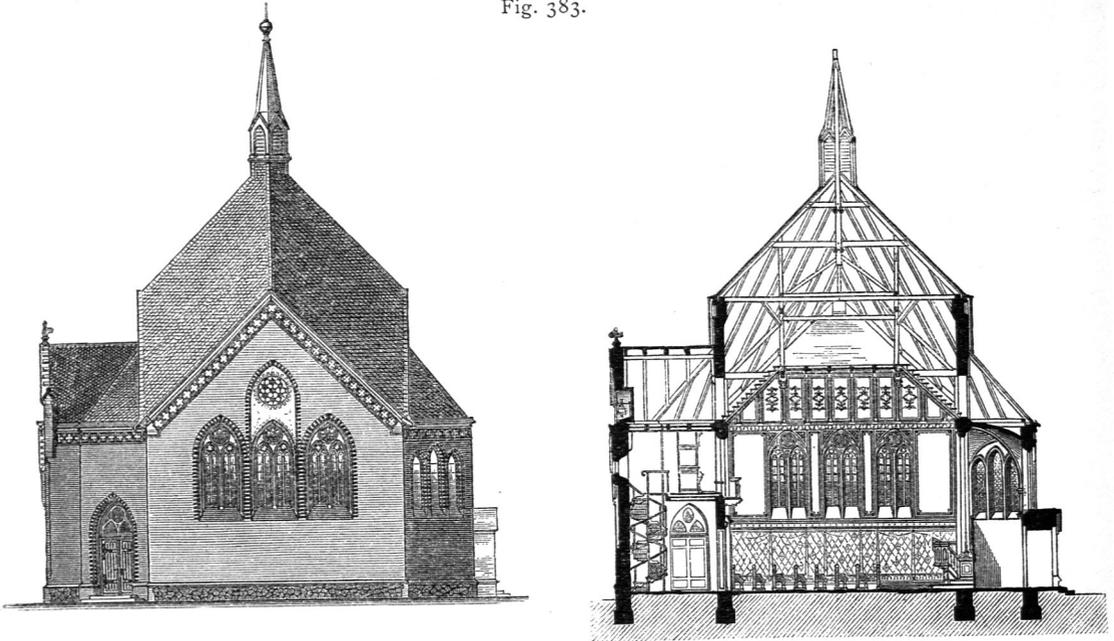


den in Höhe der Giebelspitzen umlaufenden Pfetten ruhen; diese sind in den Mitten ihrer freien Längen durch besondere in den Diagonalebene liegende Stiele gestützt. Hinter den gemauerten Giebeln laufen diesen parallel die Giebelstreben (im Querschnitt *II* punktiert), auf welchen die Schiffsparren ihr unteres Lager finden. Die Helmstange dient zum Zusammenführen der Grat- und Diagonalsparren und zum Tragen des Kreuzes; sie ist am unteren Ende durch Zangen gefasst. Damit die sich in der Auflagerebene kreuzenden Balken nicht zu weit frei liegen, sind die Ecken kragsteinartig vorgemauert.

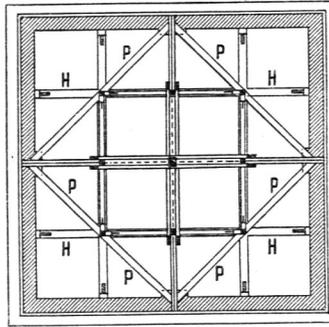
Es steht nichts im Wege, die Rhombenhaube mit einem Dache nach der *Otzen'schen* Bauweise zu versehen, demnach als Auflager nur die vier Punkte  $A_1, A_2,$

<sup>183)</sup> Nach: HARRIS, B. Die Schule des Zimmermanns. Theil I. 7. Aufl. Berlin 1889. S. 128.

Fig. 383.



Capelle der  
Univerfitäts-  
zu

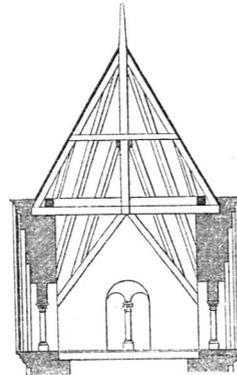
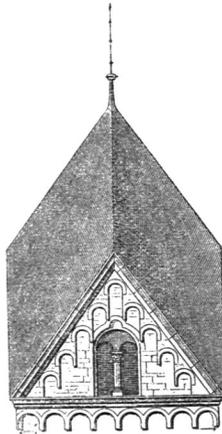


klinifchen  
Institute  
Halle a. S. 184).

$\frac{1}{300}$  n. Gr.

Fig. 384.

Von der Kirche



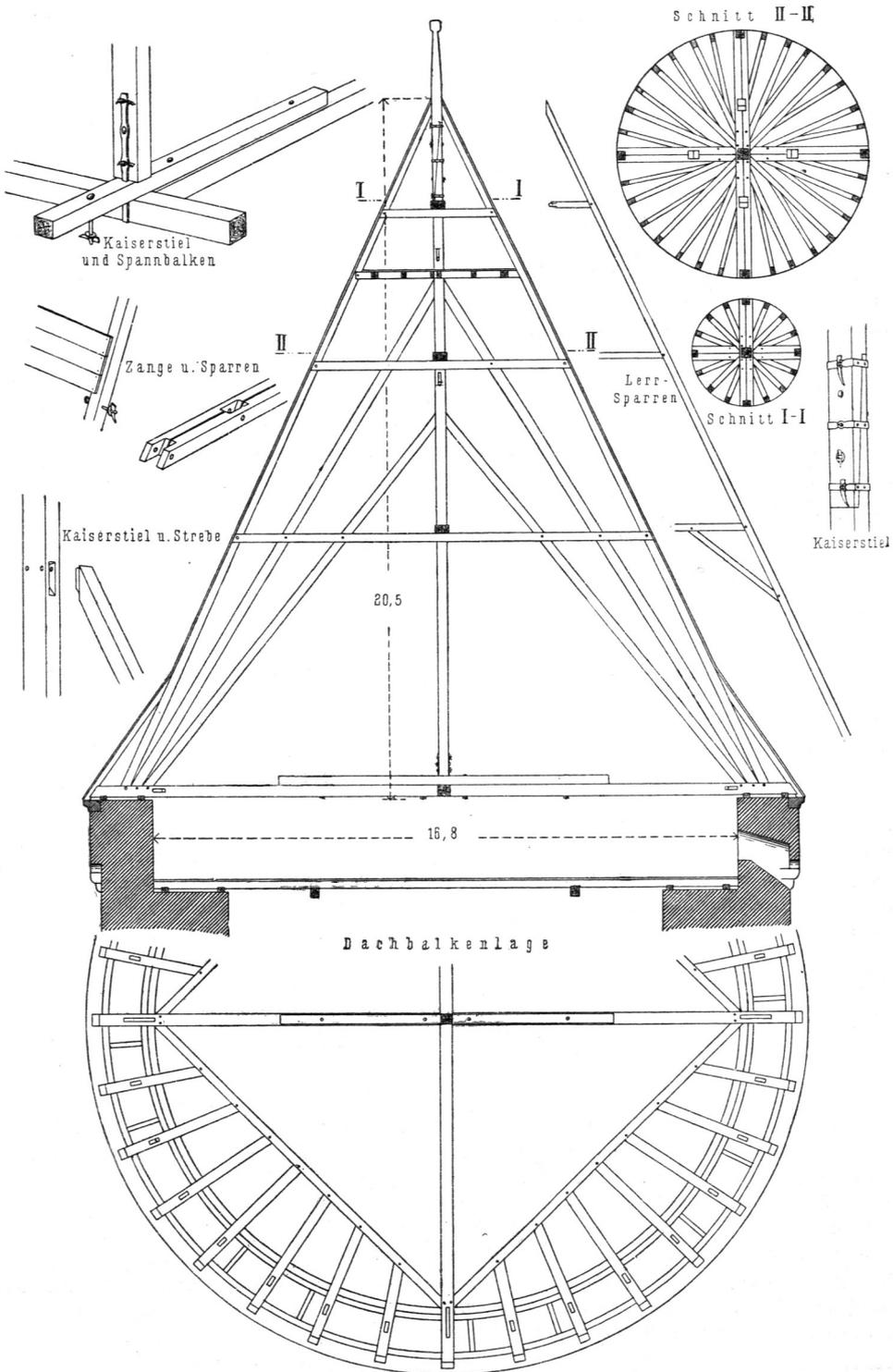
$\frac{1}{200}$  n. Gr.

zu Daufenau 185).

184) Ansicht und Schnitt Facf.-Repr. nach: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 475.

186) Facf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1893, Bl. 57.

Fig. 385.



Vom großen Zwinger zu Goslar<sup>186</sup>).

$\frac{1}{200}$  n. Gr.

$A_3, A_4$  in der unteren Ebene zu verwenden, die Giebelstreben durch eiserne Knotenbleche mit einander und mit den durchgehenden Balken zu verbinden und die beiden nach einem Auflagerpunkte  $A$  laufenden Giebelstreben in einen gemeinsamen eisernen Schuh zu setzen. Um den Zusammenschchnitt der Sparren in der Thurmspitze einfacher zu erhalten, lege man in die lothrechten Diagonalebene keine Sparren.

Fig. 383<sup>184)</sup> veranschaulicht ein Rautendach über einem quadratischen Raume von 9 m lichter Weite.

Das Dach wird durch vier Hängewerke  $H$  getragen, welche einander rechtwinklig kreuzen und ein quadratisches Mittelfeld von 4,50 m Lichtweite bilden. In der Höhe der Giebelspitzen läuft eine Pfette  $P$  rings herum, welche durch die Säulen der Hängewerke und das Mauerwerk der Giebel getragen wird. Auf die Pfetten stützen sich die Sparren der Rautenfläche, die sich außerdem an die Gratsparren und Giebelhölzer schiften; die Pfetten tragen ferner vier Balken, welche Stiele zum Stützen der Gratsparren und Streben für die Helmflange aufnehmen. Die sichtbare Decke der Kirche ist an die Hängewerke gehängt.

Fig. 384<sup>185)</sup> zeigt ein kleines, nach gleichen Grundfätzen construirtes Rhomben- haubendach.

132.  
Kegeldach.

δ) Kegeldach oder rundes Thurmdach. Die alte Constructionswiese solcher Dächer wird durch das in Fig. 385<sup>186)</sup> dargestellte Dach vom großen Zwinger in Goslar gut verdeutlicht.

Man verwendete als tragende Construction zwei Hängewerksbinder in zwei lothrechten Ebenen, die einander unter rechtem Winkel kreuzten. Wo die Binder sich durchdringen, ist der Kaiferstiel angebracht, gegen den sich die tragenden Hängewerksstreben, so wie die Binder sparren in beiden Ebenen setzen; der Kaiferstiel dient als gemeinfae Hängefäule. In verschiedenen Höhen werden Kehlbalckenlagen angebracht, und in den Höhen der Balckenlagen liegen in den Binderebenen Doppelzangen, welche einander aber nicht überschneiden, sondern über, bzw. unter einander durchgehen. In der Dachbalckenlage sind in beiden Binderebenen Spannbalken angeordnet, um den Zug aufzunehmen; diese sind in dieselbe Ebene gelegt; es kann also nur einer von beiden durchgehen. Der andere stößt stumpf vor den ersteren und ist durch ein darüber gelegtes, genügend langes Holz, eine Laeche, gestoßen. Der Kreuzungspunkt ist an der Hängefäule, dem Kaiferstiel, aufgehängt. Auf diese tragende Construction ist nun die Laft des übrigen Dachwerkes übertragen; zwischen die vier Hauptsparren der Bindergebinde setzen sich noch in jedem Viertel 7 Leer sparren, welche ihre Auflager in Stichbalcken finden; letztere sind in Wechsel geführt, die sich in die Hauptspannbalken setzen. Die Leer sparren finden weitere Unterstüttung in drei Kehlbalckenlagen, deren radial angeordnete Kehlbalcken sich nach Fig. 385 in die Doppelzangen der Hauptbinder setzen. Das ganze Dach ruht auf zwei ringförmig verlaufenden Mauerlatten. Zur Verbindung der Streben mit dem Kaiferstiel sind nur Zapfen, keine Verfaetzungen verwendet; die Binder sparren sind mit der Doppelzange durch Bolzen, die Streben mit den Doppelzangen aber nur durch starke eiserne Nägel verbunden. Um den Kaiferstiel sind die Doppelzangen einfach herumgeführt. Der Kaiferstiel ist  $30 \times 30$  cm stark; die Sparren sind unten  $25 \times 25$  cm, oben  $16 \times 16$  cm und die Stichbalcken etwa  $30 \times 30$  cm stark.

Eine etwas andere, grundsätzlic aber ähnliche Anordnung zeigen Fig. 386 bis 388<sup>187)</sup>, ebenfalls eine alte Construction.

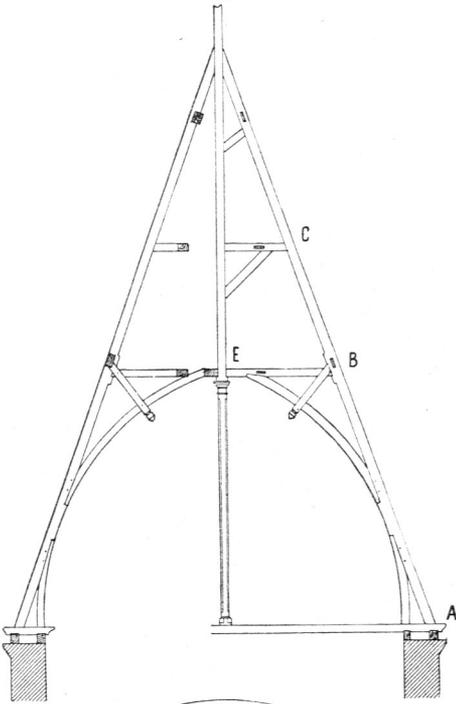
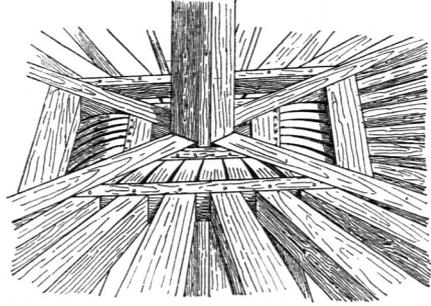
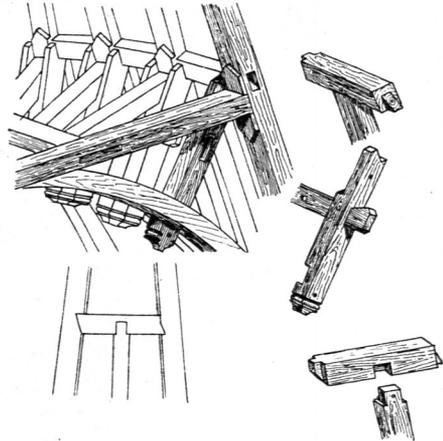
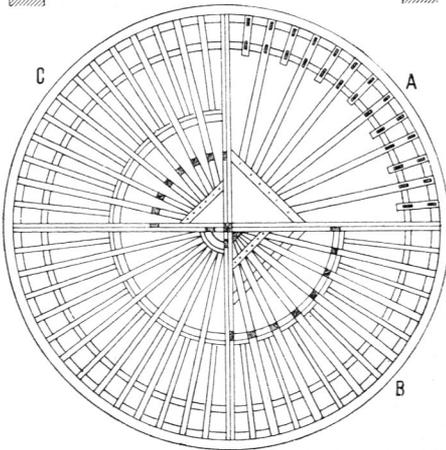
Auch dieses Kegeldach hat zwei sich im Kaiferstiel schneidende Binder, so wie Kehlbalckenlagen in verschiedenen Höhen. Die Stelle der Streben vertreten hier runde Kopfbänder; zwei Kehlbalckenlagen mit radialen Balken stützen die Sparren; bei beiden sind die Kehlbalcken in Wechsel eingezapft, welche sich in die Binderbalcken setzen. Außer den Binder sparren sind in jedem Kreisviertel 6 bis zur Spitze durchgehende Leer sparren und weitere 6 nur bis zur ersten Kehlbalckenlage reichende Leer sparren angeordnet; letztere sind in besondere, zwischen die durchgehenden Sparren eingefetzte Wechsel eingezapft. Nahe unter der Dachspitze, an welcher sich die Sparren vereinigen, finden sie eine Unterstüttung in vier pfettenartigen Hölzern, die in die vier Binder sparren eingezapft sind, je eines in jedem Viertel. Auch die Leer sparren sind durch runde Kopfbänder gestüttzt, welche sich in besondere kurze Wechsel setzen, die in der Höhe der ersten Balckenlage angebracht sind.

186) Nach: Zeitschr. f. Bauw. 1893, Bl. 57.

187) Nach: VIOUET-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française* etc. Bd. 3. Paris 1859. S. 49 ff.

Fig. 386 zeigt im Grundrifs die in den Höhen *C*, *B*, *A* und nahe unter der Spitze genommenen Schnitte, je zu ein Viertel; Fig. 387 u. 388 geben die Punkte *E* und *B* scharbildlich.

Es steht nichts im Wege, auch hier die Constructionstheile in die Dachfläche zu verlegen, das Kegeldach aus einer vielseitigen, etwa 12- oder 16- seitigen Pyramide zu entwickeln und in der von *Otzen* bei den achtseitigen Thurmpyramiden eingeführten Weise herzustellen.

Fig. 386<sup>187</sup>).Fig. 387<sup>187</sup>).Fig. 388<sup>187</sup>).

### b) Hölzerne flache Zeldächer.

Die flachen Zeldächer sind von den steilen Zeldächern oder Thurmdächern grundfätzlich nicht verschieden; auch bei ihnen schneiden sich die einzelnen Dachflächen in den fog. Graten und alle Gratlinien in einem Punkte, der Spitze. Dennoch empfiehlt es sich, die flachen Zeldächer besonders zu behandeln; die Constructions-