

vermittelt einer Treppe oder Leiter ein Zugang in das Innere ermöglicht wird, dass also eine Öffnung entweder durch die Auskragung hindurch (s. Fig. 814 a) oder über derselben angebracht werden kann.

Die Behandlungsweise solcher Giebeltürmchen geht aus jener der grossen Türme unter Berücksichtigung der verringerten Dimensionen und der veränderten Konstruktion hervor. Wir haben also ein helmbekröntes, durch Bogenweiten allseitig geöffnetes Glockenhaus und darunter einen durch geschlossene Mauern gebildeten Raum über der Auskragung, welcher den Glockenstuhl enthält. Die Eckpfeiler des Glockenhauses können durch Strebepfeiler verstärkt sein.

An kleinen Kapellen schrumpft das Giebeltürmchen zuweilen zu zwei kräftigen Seitenpfeilern zusammen, die direkt die Zapfen einer oder mehrerer kleiner Glocken aufnehmen. Oben sind die Pfeiler durch einen Bogen verbunden oder durch ein kleines Schutzdach überdeckt.

Statt der Giebeltürmchen über der Westseite, treten bisweilen solche über dem östlichen, die Apsis überragenden Giebel auf. Schliesslich wachsen sie zuweilen aus den Dächern heraus, welche dann die Auskragung verdecken. Sie sind in diesem Falle der auf dem Triumphbogen aufgeführten Mauer aufgesetzt, wie z. B. ein reiches Türmchen zu Colmar und eins zu Zwettl. Dabei kann die Mauer über dem Triumphbogen unterhalb des Türmchens im Dachraum durchbrochen sein; an der Marienkirche zu Stargard ist sie fast bis zur ganzen Mittelschiffweite geöffnet, so dass das Dachtürmchen von einem gewaltigen Spitzbogen getragen wird, der über den Seitenschiffen hinweg durch kräftige Strebewände abgestrebt ist.

Als glanzvollstes Beispiel ist das erwähnte Türmchen der Katharinenkirche zu Colmar anzusehen, welches in kleinen Verhältnissen die Anlage des Freiburger Turmes mit all seiner Pracht, mit Eckfialen, Wimpergen über den Bogenöffnungen, Masswerk Galerie und durchbrochenem Steinhelm reproduziert.

Die sonst noch an den Kirchen auftretenden kleineren Treppentürme und Nebentürmchen zeigen ähnliche Ausbildungen wie die Haupttürme, wenn auch meist in vereinfachter Form. Vielfach leiten sie zu der Gestalt der Fialen über (s. dort).

## 5. Steinerne Turmhelme.

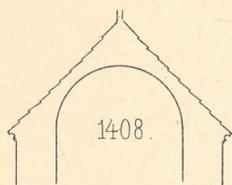
### Einfache Werksteinhelme.

Massive, gleichzeitig als Dach dienende Überdeckungen der Räume lassen sich in südlichen, holzarmen Gegenden bis in die ältesten Kulturperioden zurückverfolgen. In der byzantinischen Kunst sind kuppel- oder kegelartige, ebenso pyramidale Steindächer besonders häufig anzutreffen. Die äussere und innere Mantelfläche können gleiche Form haben oder von einander abweichen, wie in Fig. 1408, welche innen eine Kuppel, aussen eine Pyramide oder einen Kegel zeigt. Solche Kuppeln oder Helme können ganz oder teilweise aus Gusswerk, aus Bruchstein oder aus regelmässig versetzten Quadern bzw. Ziegelsteinen bestehen. Die regelmässigen Steine

Türmchen  
über dem  
Triumph-  
bogen.

Entstehung  
und Anwen-  
dung der  
Steinhelme.

Steinerne Turmhelme

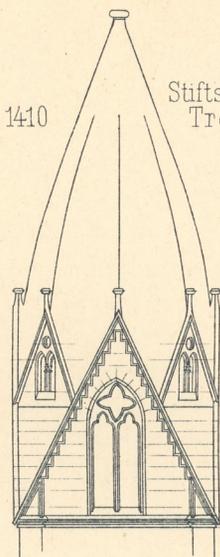


1408.



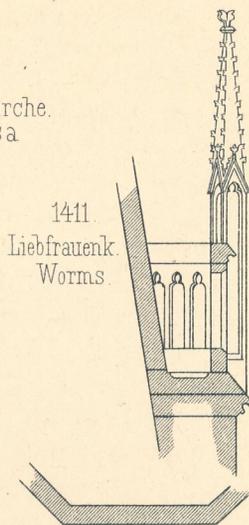
1409

St. Paul  
Worms



1410

Stifts-Kirche.  
Treysa



1411.

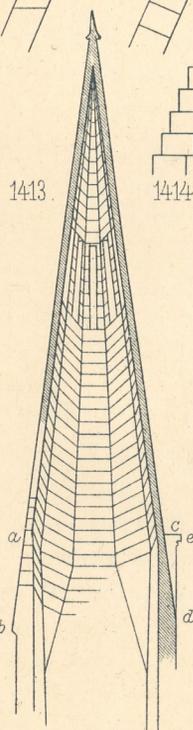
Liebfrauenk.  
Worms.



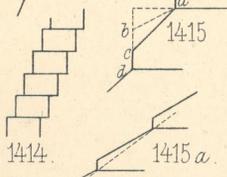
1412.



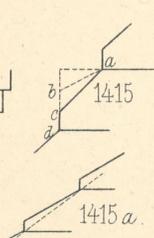
1412 a.



1413.

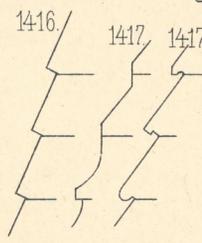


1414.



1415

1415 a.



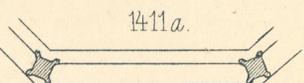
1416.

1417

1417 a

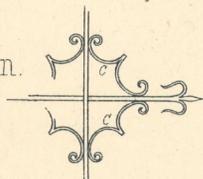
1418

1418 a.

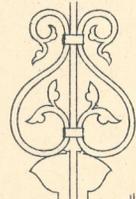


1411 a.

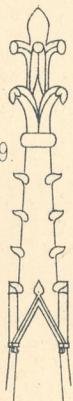
Bekrönungen.



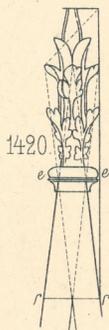
1421.



1422.



1419.



1420.



1421 a.



1423



treten aussen zu Tage, während das unregelmässige Gemäuer entweder mit geeignetem Mörtel abgeglichen wird, oder besser eine schützende Bedachung von Ziegelsteinen, Steinplatten oder auch Metall (Blei, Kupfer) erhält. So zeigen z. B. altgrusinische Bauten im Kaukasus oft kegelförmige bzw. pyramidale, massive Turmdächer mittlerer Neigung, die mit grossen Kalksteinplatten belegt sind, über deren Fugen, ähnlich wie bei griechischen bzw. römischen Dächern, Decksteine fassen.

In den nördlichen Ländern sind einfache dünne Steindächer über geschlossenen Räumen, wegen des Schwitzens der Innenfläche bei geringer Aussenwärme, wenig geeignet, bei Einschaltung isolierender Zwischenräume steht dagegen ihrer Anwendung, wenn sie sonst gut ausgeführt sind, nichts im Wege; vollends geeignet sind sie über unten offenen Räumen, wie eben den Türmen, wo sie andern Dächern gegenüber noch den Vorzug monumentaler Gestaltungsfähigkeit, grösserer Dauer und Feuersicherheit haben. Steinhelme haben sich daher zu allen Zeiten des Mittelalters behauptet und werden auch neuerdings wieder viel ausgeführt, zumal sie meist nicht teurer, vielfach sogar billiger als Holzhelme sind. Ihre Wandstärke kann gering sein, und ihr Schub ist bei genügender Steilheit sehr unbedeutend. Da nicht nur Kuppeln, sondern auch Kegeldächer und im Zusammenhang damit vierseitige Pyramiden statisch günstige Gewölbformen sind (s. S. 57 und unten S. 622), lässt ihre Ausbildung grosse Freiheit zu, selbst verwickelte Auskragungen, wie bei den Türmen von S. Paul zu Worms (s. Fig. 1409), machen keine allzu grosse Schwierigkeit. Kuppelähnliche Dächer haben die Türme von St. Leonhard in Frankfurt, und einen eigenartigen, zwischen Kuppel, Kegel und Pyramide stehenden Helm, unter dem sich zugleich eine beachtenswerte Überleitung aus dem Viereck ins Achteck findet, zeigt die Stiftskirche zu Treysa in Hessen (Fig. 1410), welche nur in Trümmern auf uns gekommen ist.

Kuppel-  
artige  
Helme.

Der Helm ist auf etwa  $\frac{2}{3}$  seiner Höhe in steiler Spitzbogenform, von da, nach einer kaum merklichen Biegung, geradlinig aufgeführt. Dabei verlieren sich in der gleichen Höhe die Kanten des Achtecks, welches sonach in den Kreis übergeht, sowie die Konstruktion ebendasselbst aus der einer achtseitigen Kuppel in jene des Kegels mit Horizontalringen umsetzt. Die schwerfällige Wirkung des genannten Helmes liegt keineswegs in der Spitzbogenlinie begründet, sondern entsteht aus dem Aufsetzen der Kanten über der vorderen Flucht der Giebelspitzen und aus seinem niedrigen Verhältnis. Dieselbe gebogene Aufrisslinie findet sich sogar an einzelnen frühgotischen Fialenriesen des Freiburger Münsters beibehalten, gewissermassen als Entasis, und ist jedenfalls bezüglich ihrer Wirkung als Form als auch aus konstruktiven Gründen den an einzelnen spätgotischen Türmen vorkommenden konkaven Helmkonturen vorzuziehen.

Im allgemeinen verschwinden in gotischer Zeit die kuppelartigen Helme, es herrscht immer mehr die achtseitige Pyramide vor, daneben findet sich ab und zu die vierseitige oder sechsseitige Pyramide und der Kegel; näheres über die Helmform und die Überleitung zu ihr ist schon im vorigen Kapitel angegeben, über die erforderliche Wandstärke u. dgl. siehe nächstes Kapitel.

Pyramidale  
Steinhelme.

Der Helm setzt sich aus Stabilitätsrücksichten auf die innere Kante der Mauer (s. Fig. 1406 und 1411), womöglich wird die Mauer noch nach innen etwas vorgekragt. Der Vorsprung der Wand nimmt einen Umgang oder eine schräge Abdeckung auf (vergl. Fig. 1355—1355 a). Es ist aber ebensogut möglich, die äussere Helmfläche über die Mauer fortzuführen, also in Fig. 1413 rechts das Stück

*ced* abzuschneiden. Da der Schwerpunkt dieses Mauerstückes weit nach aussen liegt, trägt es wenig zur Stabilität bei, es ist besonders bei verhältnismässig dicken Wänden entbehrlich oder selbst unvorteilhaft. Das bleibende Wandstück *ab* in der Fig. 1413 links, muss aber stets als gut zusammenhängendes, an der Innenseite senkrecht oder womöglich übergekragtes Mauerwerk aus nicht zu leichtem Material aufgeführt sein.

Richtung  
der  
Lagerfugen.

Die Werksteinhelme werden aus wagerechten Ringen oder Schichten aufgeführt, deren Höhe gleichgültig ist, also nach der gewöhnlichen Grösse der Steine eingerichtet werden kann. Die Lagerfugen können wagerecht liegen oder senkrecht zu der Helmfläche (Fig. 1412 und Fig. 1412 a), die Druckübertragung wird dadurch nicht beeinflusst. Die Fugen senkrecht zur Helmsteigung (Fig. 1412 a) haben den Vorteil, dass die Steine ihre winkelrechten Kanten behalten, dagegen den Mangel, dass bei schlechtem Mörtel der Regen in die geneigten Fugen eindringen kann, ausserdem werden die Eckstücke weniger einfach. Wagerechte Fugen beseitigen diese Mängel und ermöglichen einen besseren Übergang in die Steinschichten der Turmwände, wenn die Helmflächen über dieselben fortlaufen (Fig. 1413). Der einzige Nachteil der wagerechten Fugen ist die schiefwinklige Form der Steine, welche aber abgesehen von der schwierigeren Herstellung bei steilen Flächen keine Bedenken bietet. Bei zu flachen Helmen werden beide Fugenlagen ungünstiger, die eine durch zu starke Neigung, die andere durch zu spitze Winkel der Steine und beide durch die Gefahr des Gleitens der Steine nach innen oder aussen. Mit Verringerung der Steilheit häufen sich überhaupt die Schwierigkeiten nach jeder Hinsicht, während die Aufführung schlanker Helme kaum von derjenigen einer gewöhnlichen Mauer zu unterscheiden ist.

Im allgemeinen werden bei Werkstein wagerechte Lagerfugen bevorzugt, die schiefen Winkel der Steine hat man in verschiedener Weise zu umgehen gesucht. Das einfachste Mittel ist ein treppenförmiges Aufeinanderlegen der Werkstücke (Fig. 1414), die Türme zu Ver und Poitiers (s. DEHIO und BEZOLD, Tafel 277, 278) bieten Beispiele dafür. Aus der Absicht, durch Einkehlungen in den vortretenden Ringflächen das Wasser rascher abzuleiten, scheint das lebendige Motiv von nach oben gekehrten Schuppen entstanden zu sein, wie bei verschiedenen Türmen zu Périgueux, Bassac, Poitiers (s. DEHIO und BEZOLD, Taf. 249, 277). Besser führt ein Abschrägen der Ringfläche zum Ziel (Fig. 1415), sei es in flacher Richtung *ab* oder in steilerer *ac*. So lange noch ein kleines senkrechtcs Stück *cd* bleibt, ist der spitze Winkel vermieden, ausserdem erzielt man den Vorteil, die Fuge in eine vertikale statt in eine schräge Fläche zu legen. Wie Fig. 1415 a zeigt, treten die Vorteile dieser abgetreppten Schräge gegenüber der einfachen besonders bei flachen Neigungen hervor, in der That ist sie in Südfrankreich bei Dächern angewandt, die nur zwischen 30 und 45° Neigung haben. Bei steilen Helmen behält sie nur dann noch Wert, wenn die kleine Abtreppe nicht räumlich senkrecht, sondern senkrecht zu der Schräge gerichtet ist (Fig. 1416). Die Fuge kann durch Anordnungen nach den Figuren 1417 und 1417 a noch wirksamer gegen Eindringen von Wasser geschützt werden. Bei den steilen deutschen Helmen hat man sich meist mit einer glatten Aussenfläche begnügt. Bei vielen französischen Türmen hat man

die Vorsprünge (vgl. Fig. 1418) zu der Ausarbeitung von Schuppenwerk benutzt, dessen eckige oder abgerundete Spitzen nach unten gekehrt sind (s. Fig. 1418a). Das Schuppenwerk überzieht die ganze Fläche, wie beim Nordturm von St. Denis, oder es wechselt mit glatten Streifen, wie bei St. Etienne und St. Pierre zu Caen. Die Grate erhalten dabei vortretende Verstärkungsleisten mit oder ohne Kantenblumen. Das obere voll ausgemauerte Helmstück, das bei schlanken Verhältnissen weit herabreicht (meist 2—4 m), kann durch eine besondere Behandlung aussen gekennzeichnet werden, z. B. die Form eines Fialenriesen annehmen (Fig. 1419).

Die häufigste Steinbekrönung der Helmspitze ist ein runder, ein linsenförmiger oder reich profilierter Knauf, der direkt auf den Gratkanten sitzt oder durch einen Stengel emporgehoben wird; an romanischen Türmen (z. B. Worms) hat er oft eine Form, welche der Durchdringung von Kugel und Würfel ähnelt. Nicht selten erhebt sich über dem Knauf noch ein Steinkreuz, auch Tier- und Menschen gestalten oder Engel kommen vereinzelt vor. Der Knauf nimmt auch wohl die Form eines Zapfens an oder einer Knospe, aus welcher sich durch Loslösen von Blattwerk die vier-, selten sechs- oder achtarmige Kreuzblume entwickelt. Sonst gilt für die Bekrönungen das bei den Fialen Gesagte.

Bekrönungen  
aus Stein.

Die Ausladung der Bekrönung wurde in der früheren Zeit nicht übertrieben, da sie sonst leicht den aufstrebenden Charakter des Helmes lähmt und den Eindruck der Grösse schwächt. Da ihre Herstellung an die Grösse der Werkstücke gebunden ist, ist es ganz natürlich, dass grosse Türme verhältnismässig kleine Kronen erhalten. Erst die Spätzeit scheint ebenso wie bei den Fialen die Ausladung mehr in feste Beziehung zum Helm gesetzt zu haben und ist dadurch zu riesenhaften über 3 m breiten, nur mit grosser Mühe ausführbaren Kreuzblumen gelangt, wie sie z. B. die Liebfrauenkirche zu Esslingen zeigt. Neuerdings sind bei Bekrönungen und auch hochgestellten Standbildern oft Fehler gemacht, weil man der vermeintlichen Verkürzung zu sehr Rechnung getragen hat, ein geübtes Auge lässt sich aber durch Verkürzungen, wenn nicht ein Verdecken grösserer Teile damit verbunden ist, wenig täuschen, andererseits muss man stets verlangen, dass freistehende Kunstwerke auch bei fernem Standpunkt, also in fast geometrischer Ansicht, gut wirken.

Ausladung  
der Bekrönungen.

Die Bekrönungen können leicht durch Wind umgestürzt werden (zur Sicherheit rechne man wegen der Schwankungen mind. 200 oder 250 kg Winddruck gegen 1 qm der grössten Querschnittfläche). Die oberen Werkstücke müssen daher bei genügender Schwere vor allem eine hinlängliche Basis haben. Bei der Bekrönung Fig. 1420 würde man die Fuge mindestens bis *ff* hinunterschieben, im Notfall auch wohl mitten in den Knauf *ee* legen. Beides würde aber nur bei sehr grossen Abmessungen (hier wenigstens 60—90 cm Fugenbreite) genügen, bei geringerer Grösse müsste die Fuge *ff* noch weit tiefer liegen.

Sicherung  
gegen  
Umsturz.

Es wird leicht übersehen, dass die Standsicherheit eines Körpers gegen Wind nicht allein von seiner Gestalt und Schwere, sondern auch von seiner absoluten Grösse abhängt. (Das Umsturzmoment wächst nur im kubischen, die Stabilität aber im biquadratischen Verhältnis mit der linearen Grösse). Während ein Steinwürfel von 5 cm Seite bei einem spez. Gew. = 2,4 durch einen Winddruck von 120 kg pro qm umgekantet wird, würde ein Würfel von 50 cm dazu 1200 kg pro qm erfordern. — Ebenso würde bei 200 kg Winddruck ein Prisma aus demselben Stein bei 100 . 100 cm Grundfläche eine 12fache Höhe (12 m), bei 20 . 20 cm Grundfläche aber kaum eine 2½fache Höhe (48 cm) haben dürfen. In dieser Weise erklärt es sich auch, dass der Wind spezifisch schwere Körper in Form von Körnern oder Staub in die Lüfte zu heben vermag.

Ist die Bekrönung zu leicht, so durchbohrt man die Werkstücke senkrecht und lässt eine Eisenstange (weit besser Stab oder Rohr aus Kupfer oder Messing, letzteres ev. als Hülse für die Eisenstange) hindurchgreifen, die man unter der zu diesem Behuf voll gemauerten Spitze durch einen Keil (*b* in Fig. 1421), einen Splint, eine Platte oder auch ein Gewicht festhält. Neuerdings wird diese Stange meist mit einem Blitzableiter vereinigt, der aussen oder innen am Helm herabläuft. Das Vollmauern der Spitze bis 25 cm oder auch 50 und mehr cm innerer Weite empfiehlt sich gewöhnlich auch aus praktischen und statischen Gründen, viel Material ist dazu nicht erforderlich.

Wenn doch einmal eine Eisenstange angewandt wird, so liegt es nahe, dieselbe über den steinernen oder auch aus Metall getriebenen Knauf hinausragen zu lassen und sie als Kreuz, Wetterfahne, Stern oder andere Eisenbekrönung auszubilden. Ein Kreuz kann z. B. nach Fig. 1421 durch eine übergekröpfte und vernietete Querstange mit verschiedenartig gebogenen Versteifungsstäben *c* in den vier Winkeln gebildet werden. Die Dichtung über dem Knauf wird durch eine ausgeschmiedete Erbreiterung *a* und ev. auch noch ein Bleihütchen erzielt. Oberhalb des Knaufes dreht man wohl die vierkantige Stange nach Art der Fig. 1421 a, dadurch kann der Widerstand gegen Biegung nach allen Seiten etwas gleichmässiger gemacht werden. Bei grösseren Kreuzen verlangt der Stamm eine Versteifung durch 2 oder 4 Fussbügen (Fig. 1422), welche sich auf den Knauf setzen oder besser (nach VIOLLET LE DUC, tome IV, pag. 428) um denselben herumgreifen, etwa wie in Fig. 1423. Näheres über Eisenbekrönungen, die schon in sehr früher Zeit vorkommen, s. bei den Holztürmen.

#### Durchbrochene Turmhelme, Umgänge, Bereicherung der Grate usf.

Der Helm kann völlig glatt bleiben oder an den Gratkanten und auch noch auf den Mitten der Seiten (Chartres, Vendôme) Verstärkungsprofile erhalten und überdies auf den Flächen durch das erwähnte Schuppenwerk bereichert werden.

Eine wirksamere Belebung aber erhalten die Helmflächen durch einzelne oder zahlreiche Durchbrechungen, die dicht unter der Spitze des Luftaustausches wegen erwünscht sind, die sich aber auch sonst in verschiedenen Höhen bereits an den Türmen des Übergangsstiles als überbaute Dachfenster oder Luken finden. Ein Beispiel dieser Art von der Wormser Liebfrauenkirche giebt Fig. 1424 und 1424a. Bei den französischen Türmen sind diese Öffnungen recht schlank gebildet; auch ohne Überdachungen kommen sie an ihnen als lange rechteckige Schlitze in den Helmflächen vor (St. Denis, Soissons, Reims). Sie wirken sehr leicht, sind aber bei gar zu grosser Höhe statisch nicht günstig, da sie die bei dünnwandigen Türmen wichtige Ringverspannung zu stark unterbrechen.

Reicher und lebendiger erscheinen zentral gebildete Öffnungen, Vielpasse, die aus einer eingesetzten grossen Steinplatte herausgearbeitet sind oder sich auch wohl in das schichtenweise Mauerwerk einschneiden. Sie können in grösseren Abständen übereinander liegen, wie bei St. Etienne zu Caen, wo sie in den glatten, zwischen den Schuppenstreifen liegenden Mauerteilen in einer von unten nach oben

abnehmenden Grösse als Sechspass, Fünfpas, Vierpass und schliesslich oben als drei immer kleiner werdende Dreipasse die Helmwände durchbrechen. Bei den Türmen von Seez liegen sie als Fünfpasse dichter übereinander und machen oben schlanken Luken Platz. Überhaupt können die Vielpasse mit Schlitzten und mit Flächenverzierungen in abwechslungsreiche Verbindung treten.

Alle Masswerkbildungen, sowohl pfostengeteilte Fenster (beim Vierungsturm zu Lichfield in England sogar mit reichen Wimpergen darüber) als zusammengesetzte Vielpasse und Rosen können sich hier entfalten, dadurch dass sie sich einander mehr nähern und schliesslich die ganze Fläche überziehen, entsteht die überaus luftige und reiche Ausbildung der Helme, welche hauptsächlich in den Gebieten des einstigen deutschen Reiches vorkommt und im Turm des Freiburger Münsters wohl ihr vollendetes Beispiel findet.

Masswerk-  
bildungen.

Als weitere reiche Beispiele seien angeführt: Das Münster zu Strassburg, die Liebfrauenkirche zu Esslingen, deren Helm durch einen Umgang nahe der Spitze eine reizvolle Bereicherung erfahren hat, die Kirche zu Thann, ein kleiner Turm am Dom zu Meissen, das Münster zu Basel, die Kathedrale zu Burgos, die erneuerte Spitze des Stephansdomes zu Wien und die nur in Plänen auf uns gekommenen, besonders reichen Helme zu Köln, Regensburg und Ulm, die zu vollenden unseren Tagen vorbehalten blieb. Kuppelartige Türme weisen schliesslich der Dom zu Frankfurt a. M. und die Mariastiegenkirche zu Wien auf.

Es ist schon vielfach gestritten über den in der Anlage eines durchbrochenen Daches enthaltenen Widerspruch. Wenn schon es sich nicht leugnen lässt, dass wir es hier weniger mit einer aus der Konstruktion entwickelten Form als mit einer ihrer formellen Wirkung halber, allerdings in vollendeter Weise, entwickelten Konstruktion zu thun haben, so sind doch die geläufigen Einwendungen unbegründet, und das Prinzip, welches der ganzen Gestaltung zu Grunde liegt, ist wohl auf die Spitze getrieben, aber keineswegs ein falsches. Denn zunächst ist, wie der Freiburger Turm erweist, der durchbrochene Helm ja gar kein Dach, sondern er bildet die Bekrönung der oberen, nur von acht schlanken, bogenverbundenen Pfeilern eingeschlossenen, also allseitig offenen, über der Glockenstube gelegenen Halle, deren Steinboden das wirkliche Dach ist, von welchem aus das Regenwasser durch Wasserspeier abgeführt wird.

Wenn nun in Freiburg jene Halle nie zur Glockenstube bestimmt war, so würde doch auch eine Verwendung derselben in diesem Sinne leicht thünlich sein, sobald der Glockenstuhl und die in demselben enthaltenen Glocken durch eine obere Bedachung und durch ringsum angenagelte bleiüberzogene Schallbretter gesichert wäre, wie das z. B. an dem neuen Glockenstuhl in dem südlichen Turm der Kathedrale von Paris der Fall ist\*), in welchen letzteren das Regenwasser gleichfalls durch die 8 riesigen Bogenöffnungen der Glockenstube freien Zutritt hat. Sowie daher ein Verschluss der Bogenöffnungen durch jene Bedeckung des Glockenstuhles überflüssig wurde, so tritt hinsichtlich des Daches derselbe Fall ein, muss also eine Durchbrechung desselben statt-  
haft sein.

Hiernach ist die Sachlage etwa die folgende: Soweit im Innern des Turmes sich nichts findet, was durch den Regen verdorben werden kann, ist es völlig gerechtfertigt, demselben freien Zutritt zu gestatten. Dass aber in Freiburg nichts verdorben worden ist, dürfte nach Verlauf von beiläufig einem halben Jahrtausend hinlänglich bewiesen sein. Ebenso gut würden auch die Türme der Notre-dame einen durchbrochenen Helm vertragen.

Hiernach stellt die Anlage eines solchen eben die Entwicklung der höchsten Pracht dar, welche doch auch ihre Rechte besitzt. Es wird dies wenigstens so leicht niemand bezweifeln, der

\*) S. VIOLLET LE DUC, tom. II. pag. 192.

die Krone des Breisgaus gesehen hat. Sowie diese Pracht aber die höchste, und hinsichtlich des Zeitpunktes der Ausführung die letzte am Bau ist, so soll sie auch die letzte sein, an welche überhaupt zu denken ist, sie soll nur erstrebt werden, wo gar nichts anderes mehr hat fehlen müssen. Die Krone ziert nur den Purpurmantel, über dem gewöhnlichen Kleid wird sie lächerlich.

Die Wirkung der Pracht, welche den durchbrochenen Steinhelmen eigen ist, geht bei modernen Nachbildungen derselben in Gusseisen verloren. Es ist eben eine Gedankenverwirrung, das letztere Material in die Formen eines völlig fremden zu zwingen. Jene Versuche sind in der Wirklichkeit nichts anderes, als wenn man einem gusseisernen Laternenarm die Form und Stärke eines Kragsteins vorschreibt. Nun könnte man zwar keine Einwendungen erheben gegen einen gusseisernen Helm an sich, dessen Formen eben aus der Natur des Materials entwickelt wären, bis jetzt aber sind derartige Versuche, wie namentlich der Helm über dem Zentralturm der Kathedrale in Rouen zeigt, kläglich missraten.

Die Konstruktion der durchbrochenen Steinhelme ist je nach den Grössen verschieden.

In kleineren Verhältnissen, welche die Bildung der Achtecksseite aus einer einzigen Platte auf die Breite zulassen, werden diese Platten so aufeinander gestellt, dass die Stossfugen auf den Ecken abwechseln (s. *f* in Fig. 1425 sowie 1425a). Hierdurch bestimmt sich die Breite der die Helmkanten begleitenden glatten Flächen durch die Notwendigkeit, neben der Fuge *f* der anstossenden Platte noch eine hinlängliche Steinstärke zu lassen.

Einfachsten Falles würden demnach, wie Fig. 1425 zeigt, viereckige Felder zu bilden sein und in denselben das Masswerk angeordnet werden, so dass ungefähr die Höhe jedes Feldes seiner mittleren Breite gleichkäme, oder aber alle Felder ganz oder nahezu die gleiche Höhe behaupteten, wie sie das untere etwa quadratische erhält.

Grössere Freiheit in der Bildung des Masswerks ergibt sich durch ein Verlassen der viereckigen Plattenform und ein Zulassen von Lagerfugen, welche die Stränge des Masswerkes winkelrecht durchschneiden (s. Fig. 1426). Der kleine Turmhelm in Rottenburg bei Tübingen bildet eine Zwischenstufe zwischen Fig. 1425 und 1426, indem die getrennten Masswerkfiguren noch wie in Fig. 1425 beibehalten, aber aus wagerechten Schichten hergestellt sind. Zwischen je zwei Masswerkfiguren geht jedesmal der Stein in der ganzen Breite der Helmfläche als fester Balken durch. Nach demselben System können bei grösseren Dimensionen die einzelnen Achtecksseiten auch der Breite nach aus mehreren Stücken zusammengesetzt werden, immer unter der Bedingung der die Stränge des Masswerks winkelrecht durchschneidenden Fugen.

Dabei wird aber, wie bei einem scheinrechten Bogen, ein Herausdrängen der einzelnen Stücke nach den Kanten, und hierdurch in den letzteren eine, wenngleich schwache nach aussen gekehrte Schubkraft hervorgerufen.

Ein Widerstand gegen diese letztere ergibt sich durch das Gewicht und die Steifigkeit von, entweder nur nach einer oder nach beiden Seiten, vorstehenden Rippen, deren Konstruktion sich jener der Gewölberippen nahezu analog verhält; d. h. die einzelnen Werkstücke derselben setzen sich aufeinander und nehmen das durchbrochene Plattenwerk der Helmwände, wie die Wölbrippen das Kappengemäuer

in sich auf. Sie erhalten daher im Grundriss einfachsten Falles etwa die in Fig. 1427 angegebene Gestaltung.

Sowie also die Helmrippen durch ihre Stärke ein Ausweichen der Wände verhindern, so verhüten die Wände eine Einbiegung der Rippen nach innen. Zur Verstärkung dieses Widerstandes und überhaupt zu einer festeren Verbindung müssen bei grösseren Dimensionen die einzelnen Masswerkabteilungen in gewissen Höhen durch wagerecht laufende, lange Platten oder Steinbalken geschieden werden, welche als Spreizen zwischen den Rippen liegen und ringsum feste Kränze bilden.

Fig. 1428 stellt den unteren Teil einer Achtecksseite des Freiburger Helmes dar, in welchem die eigentlichen Rippen nach aussen nicht vortreten, indem die Stäbe  $r$ , denen die Laubbossen ansitzen, wenig konstruktive Bedeutung haben, und jenen Rippen nur mit einer Feder eingesetzt und weiter durch einzelne Eisen damit verbunden sind.

Die Rippen bestehen auf die Höhe jeder Abteilung aus zwei oder mehreren hochkantig aufeinandergestellten Werkstücken  $w$ , zwischen welche die einzelnen Masswerkplatten sich einsetzen, so dass also der Grundriss in der betreffenden Höhe die aus Figur 1404 sich ergebende Fugenanordnung zeigt. Ein weiterer Verband mit den Masswerkplatten ist dann bewirkt durch die Binder  $a$ , auf deren Höhe also die mit  $f$  bezeichnete Fuge wegfällt. Den Bindern  $a$  sind dann die langen Stücke  $b$  aufgelegt, deren Stossfugen, welche bald in der Mitte, bald in der doppelten Zahl zu beiden Seiten etwa bei  $x$  liegen, wieder durch das darauf liegende Stück  $d$  gebunden werden, so dass sich also in jeder Höhenabteilung des Masswerks ein Kranz bildet, dessen Unverschiebbarkeit durch eine Verbindung auf Nut und Feder in der Lagerfuge, wie der Durchschnitt Fig. 1428a zeigt, oder durch eine Verdübelung vollkommen gesichert werden kann.

In den folgenden Abteilungen des Freiburger Helmes sind die Binder  $a$  verlassen, und die Stossfugen  $f$  gehen durch bis unter die horizontalen Kränze, welche dann wieder durch den Stücken  $b$  und  $d$  entsprechende Binder mit den Rippen zusammenhängen.

Das eigentliche System dieser Konstruktion ist in dem Freiburger Helm nicht klar ausgesprochen, da jene wagerechten Kränze ebensowenig als die Rippen durch Vorsprünge bezeichnet sind.

Aus den Originalrissen der Kölner Türme aber scheint eine konsequenter Durchföhrung der Rippen und Kränze hervorzugehen, insofern beide Teile durch kräftige Gliederungen ausgesprochen sind und so ein Rahmwerk bilden, welchem die masswerkdurchbrochenen Platten sich einfügen. Dabei kann dann die Unverschiebbarkeit der Kränze entweder dadurch erzielt werden, dass sie aus zwei aufeinander liegenden Schichten mit wechselnden Stossfugen bestehen, oder dass dieser Fugenwechsel durch ihre Verbindung mit den darüber und darunter befindlichen Masswerkplatten hervorgebracht wird.

Die Rippen, welche in der Konstruktion der dünnwandigen durchbrochenen Steinhelme eine wesentliche Stellung einnehmen können, finden sich, behufs einer Verstärkung des Eckverbandes und der Ecken überhaupt, auch an den undurchbrochenen Helmen und sind dann entweder und zwar am besten aus den betreffenden Werkstücken der einzelnen Schichten genommen, erfordern also eine grössere Stärke derselben, oder in selteneren Fällen, wie die Stäbe  $r$  an dem Freiburger Helm (Fig. 1428), den Graten angelehnt und durch einzelne Binder damit vereinigt.

Ausbildung  
der Rippen.

Aus den Bindern, welche nur eine Verlängerung nach aussen erfordern würden, könnten etwa die Laubbossen abgeleitet werden, wenn sie sich nicht schon früher an andern Teilen, wie den Fialenriesen und Giebelkanten fänden, so dass die Übertragung derselben auf die Helme um ihrer dekorativen Wirkung willen als feststehend anzunehmen ist. An dem Freiburger Helme sind sie mit jenen Stäben aus denselben Stücken genommen, und letztere, wie schon oben erwähnt, durch eiserne Klammern an den Helm gebunden. Indes ist diese Konstruktion nur als Notbehelf anzusehen und die Ausarbeitung derselben aus den Werkstücken der Schichten, oder ein tieferes Einsetzen in die Helmkanten jedenfalls vorzuziehen. Über die Grösse und Abstände der Laubbossen gilt das bei den Fialenriesen Gesagte, d. h. es kann weder eine Beziehung der Zahl noch der Grösse zu den Helmdimensionen angenommen werden. Vor allem handelt es sich um eine klare, leicht erkennbare Gestaltung, so dass schon aus diesem Grunde die älteren, hornartigen Bildungen den Vorzug verdienen. An einem der Originalrisse des Strassburger Münsterturmes sind sie durch einen aus nasenbesetzten Bogen gebildeten Kamm ersetzt, der auch an Wimpergen vorkommt.

Die den Helm durchbrechenden Dachfenster, Fig. 1424, benutzen die Wände des Helmes zum Tragen der lotrechten Stirn- und Backenwände; eine derartige mässige Belastung verringert die Stabilität wenig. Ganz unschädlich, oft sogar als Ringversteifung nützlich, erweisen sich jene auf ausladenden Gesimsen angelegten, mit durchbrochenen Masswerkgalerien besetzten Umgänge (Fig. 1430), wie sie sich in einfacher Weise an den Marburger Türmen oberhalb der die Helmbasis bildenden vier Giebel finden. An einzelnen Werken der späteren Zeit finden sie sich mehrfach wiederholt, in ausgedehntester Weise in dem Originalriss eines Turmes vom Dome zu Regensburg, in welchem sie über den Helmkanten noch mit fialenbekrönten Pfeilern versehen sind, welche unterhalb der Fialenbasis mit den Helmrippen durch Strebebogen sich verbinden, die wieder unterhalb der Auskragung der nächsten darüber befindlichen Galerie anschliessen. In solcher Gestalt beherrschen sie den ganzen Aufbau und neutralisieren nahezu die Wirkung der ansteigenden Helmlinie.

Aus demselben Konstruktionsprinzip ergibt sich die Anlage eines mit Fenstern durchbrochenen Zwischengeschosses in einer beliebigen Höhe des Helmes, wodurch derselbe in zwei Abteilungen geschieden wird, etwa nach Fig. 1429. Die Stärke der lotrechten Mauern des Zwischensatzes kann grösser sein als die der unteren Helmwände und muss hinreichen, dem Schub der oberen zu widerstehen. Unterhalb der lotrechten Wände entsteht keine Schwierigkeit, da hier der Ringdruck (s. S. 634) alles ausgleicht. Die Wandstärken der beiden Helmtteile können verschieden sein.

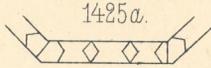
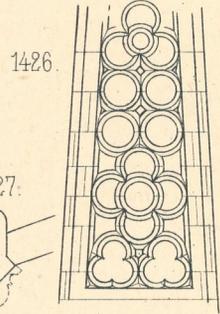
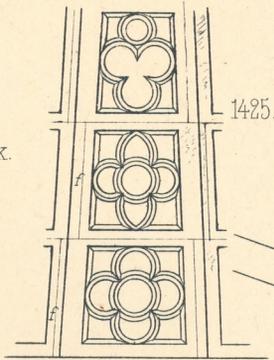
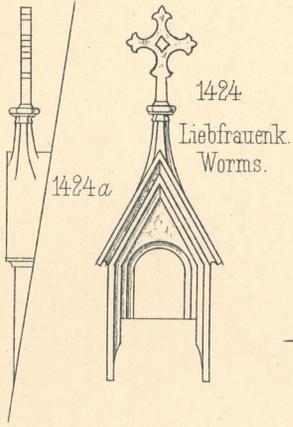
Die grossartigste und geistreichste Anwendung, welche von der Tragkraft der Helme gemacht ist, zeigt der nördliche Turm des Strassburger Münsters. Es ist die Konstruktion desselben so allbekannt und von VIOLLET LE DUC (Dict. rais. tome V. pag. 439.) so meisterhaft dargelegt worden, dass wir uns hier auf eine kurze Angabe des Systems beschränken können.

Es ist nämlich (s. Fig. 1431) jeder Helmecke in der Höhe der Basis ein Treppenturm nach

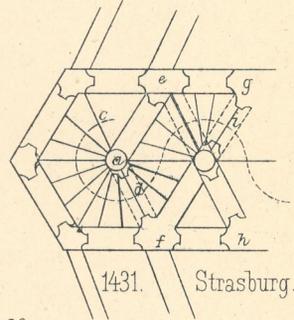
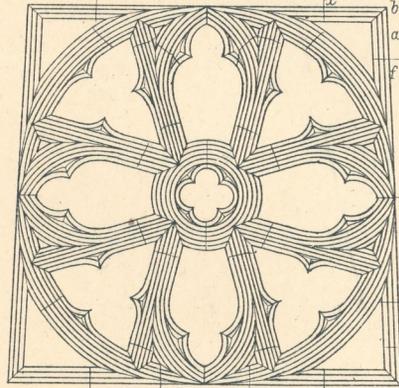
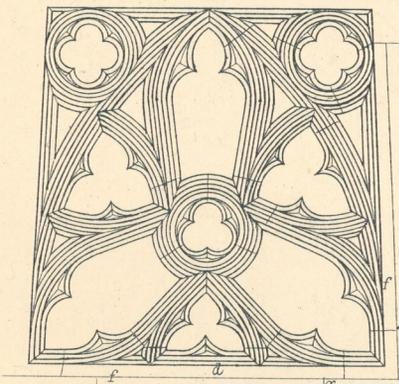
Umgänge  
und  
Zwischen-  
geschosse.

Treppen und  
Fialen auf  
den Kanten.

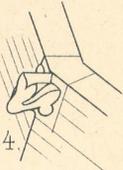
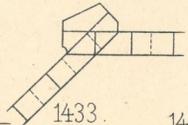
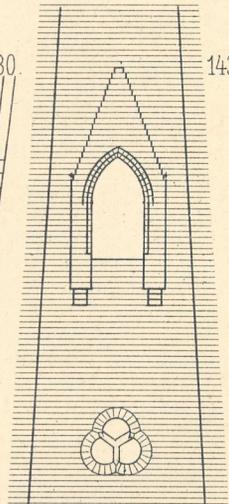
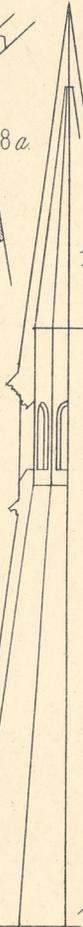
Durchbrochene Turmhelme etc.

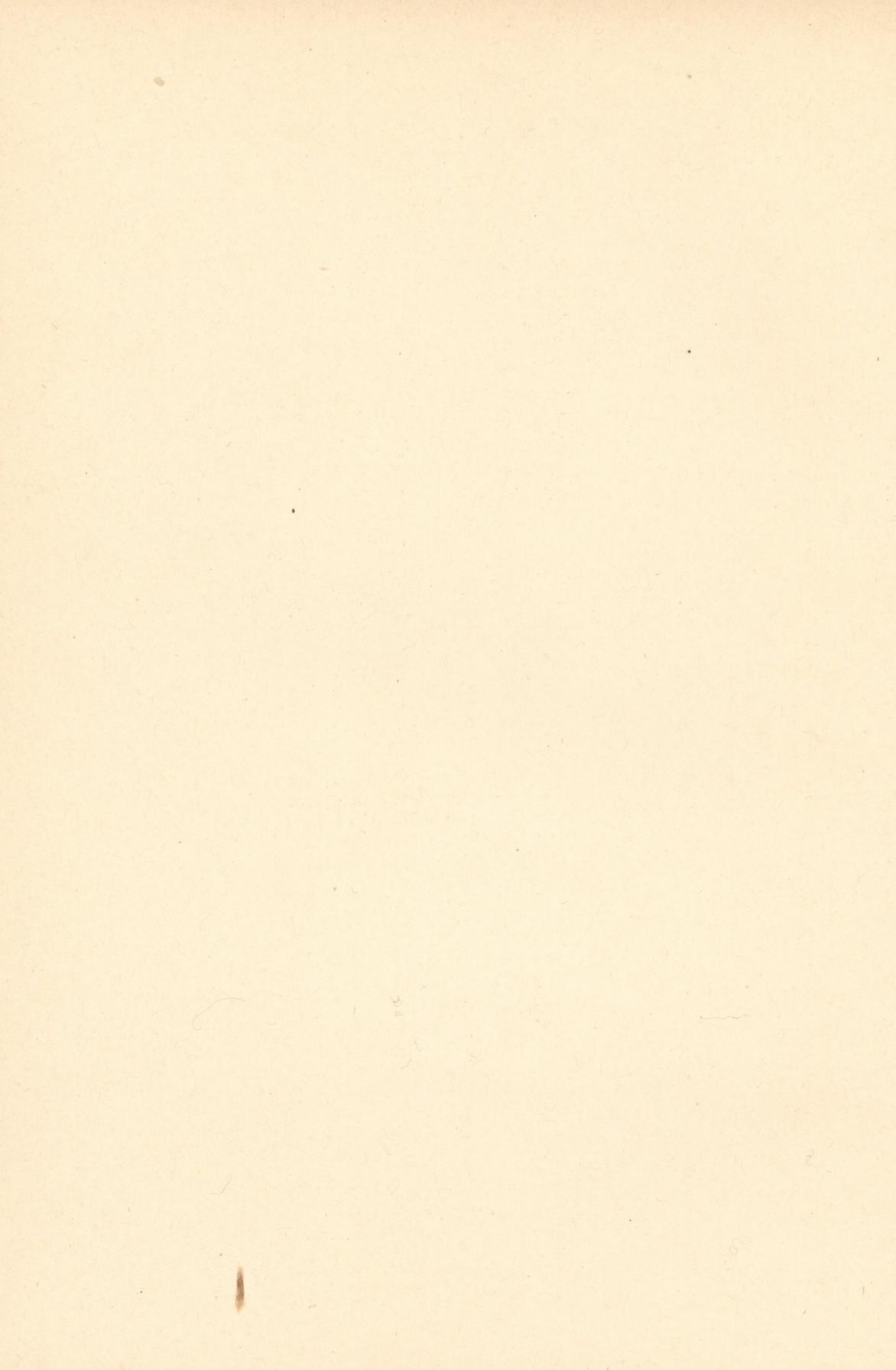


1428.  
Freiburg.



Strasburg.





vier Sechseckseiten vorgelegt, dessen Spindel im Eckpunkt *a* steht, und welcher nur die Stufen von *c—d* enthält. Aus diesem ersteren entwickelt sich dann ein zweiter Treppenturm, dessen Pfeiler *e* und *f* auf denen des unteren Turmes, während *g* und *h* auf den Helmwänden aufsetzen, der vordere Eckpfeiler ist auf die Spindel *a* gestellt. Dieser zweite Treppenturm enthält die Stufen von *d—i* und trägt in derselben Weise einen folgenden, so dass der Treppengang der in Fig. 1431 punktierten Spirale folgt. Es entwickeln sich nun auf jeder Ecke sechs solcher Treppentürme auseinander, durch welche man bis auf die Höhe einer Galerie gelangt, von der aus eine um das Zentrum des Turmes oder vielmehr um das darüber stehende, den Helm bekrönende Mitteltürmchen sich drehende Wendeltreppe weiter hinaufführt. Zwischen jenen acht Treppentürmen sind unten die Helmwände reich mit Masswerk durchbrochen.

Eine solche Belastung der Helmgrate ist statisch oft sehr günstig (s. S. 629), in anderer Form spricht sie sich durch eine Umwandlung der Laubbossen in Fialen aus, deren Ansätze aus den Werkstücken der Rippen genommen, während Leib und Riese aus besonderen Stücken aufgesetzt sind. Ein Beispiel zeigt ein Treppenturm an der Südseite des Strassburger Münsters. Derselbe gewährt indes ein eigentümlich stachliges Ansehen.

### Helme aus Ziegelstein.

Die Ausführung der Helme in Ziegelmauerwerk folgt im wesentlichen denselben Prinzipien und bedingt nur einfachere Anlage und Detailbildung, dabei können die Lagerfugen gerade wie bei Werksteinhelmen normal zur Steigung oder wagerecht gelegt werden. Wagerechte Fugen bedingen jedoch entweder besondere Formziegel oder eine treppenförmige Fläche. Indes ist dieselbe vermöge der Höhe und der aus der steilen Richtung sich ergebenden geringen Stufenbreite von unten kaum wahrnehmbar.

Eine Verzierung der Flächen ergibt sich in einfachster und angemessenster Weise durch ein aus verschiedenfarbigen Ziegeln gebildetes gemauertes Muster.

Die Endigung wird wie bei den steinernen Helmen voll ausgemauert, und die Bekrönung entweder durch ein aufgesetztes Werkstück, einen Aufsatz von gebranntem Thon, oder endlich nur durch die den Fuss der Eisenstange umkleidende und die Fuge verschliessende bleierne Hülse, welche dann jeder beliebigen reicheren Gestaltung fähig ist, gebildet.

In völlig gleicher Weise wie an den Steinhelmen können auch hier verschiedenartige Durchbrechungen gebildet werden, zunächst einfache Schlitz, ferner die lukenartigen, etwa nach Fig. 1432 gestalteten Öffnungen, letztere jedoch nur bei wagerechter Fugenrichtung. Die zur Helmsteigung normale Fugenlage ermöglicht einzelne nach Kreis- oder Vielpassformen gebildete, also mehr masswerkartige Durchbrechungen (s. Fig. 1432 unten), die natürlich vielfach gesteigert werden und grosse Flächen einnehmen können. Eine völlige Durchbrechung der Ziegelhelme nach Art der Steinhelme aus eigens geformten Masswerkteilen dagegen würde zwar nicht über die Grenzen der Möglichkeit, aber doch der Rätlichkeit hinausgehen.

Überhaupt ist die Haltbarkeit auch eines guten Ziegelmaterials an einer den Einflüssen der Witterung in so hohem Grade ausgesetzten Stelle gewissen Beschränkungen unterworfen. Zu zierliche Details soll man vermeiden, auch mit der Verwendung von Wanddicken von nur 1 Stein

oder gar  $\frac{1}{2}$  Stein für kleinere oder die oberen Stücke grösserer Türme soll man vorsichtig sein, wenn man nicht vorzügliches Material (am besten glasharte Klinker) und zuverlässigen wasserdichten Mörtel (z. B. ziemlich fetten Cement) verwenden will. Gute Glasuren können die Dauer der Ziegel wesentlich steigern, wofür der etwa aus dem 15. Jahrh. stammende s. g. blaue Turm zu Lübeck einen Beweis liefert, dessen Mauern aus wechselnden roten und schwarz glasierten Ziegeln aufgeführt sind, die ersteren sind auf einige Zoll Tiefe ausgefressen, während letztere in der ursprünglichen Flucht stehen geblieben sind. Schlechte, abbröckelnde und mit vielen Haarrissen versehene Glasuren können mehr schaden als nützen. Besonders wichtig ist es, dass zum Glasieren nur ein zuvor sehr gut gebrannter Ziegelstein benutzt wird. Als mangelhafter Ersatz für gute Glasur oder sonst wetterbeständige Ziegel kann ein Überzug aus möglichst gutem Mörtel gelten, der auch an unregelmässig aufgemauerten Steinhelmen vorkommt, er findet sich z. B. an dem in Fig. 1410 dargestellten Turm zu Treysa und dem Eschenheimer Turm zu Frankfurt. Bei Verwitterung muss der Mörtel ersetzt werden, da sonst weichere Steine darunter um so stärker an den schadhafte Stellen angegriffen werden, darin liegt der Mangel des Putzes, der im übrigen als Überzug stilistisch der Erscheinung des eigentlichen Materials nachsteht, aber nicht zu verwerfen ist, so lange er nicht ein fremdes Material erheuchelt.

Zur Ausführung der Kanten sind schon durch den stumpfen Winkel eigens geformte Ziegel nötig, welche dann auch mit einem vortretenden Stab versehen sein können. Derselbe trägt aber zu der bei dünnen Helmwänden wünschenswerten Verstärkung der Grate weniger bei, als ein in Verband gemauerter Vorsprung, z. B. nach Fig. 1433. Fester Verband an den Graten und eine innere Verstärkung oder doch wenigstens innere Ausfüllung des Winkels ist sehr vorteilhaft. Zur reicheren Zier können den Rippen oder rippenlosen Kanten Krabben aus Ziegelstein oder besser aus Werkstücken (Fig. 1434) eingebunden sein, aber auch diese erheischen Vorsicht und verlangen bestes Material.

Mit den neuerdings ausgeführten Ziegelhelmen hat man vielfach recht schlechte Erfahrungen gemacht, sie waren zum Teil so wasserdurchlässig und fielen so schnell der Verwitterung anheim, dass man sie abgetragen oder mit Metall überzogen hat. Die Mängel erklären sich daraus, dass man in Unterschätzung der Wettereinflüsse sich mit mittelmässig gutem Material begnügt und auf das volle Ausmauern der Fugen zu wenig geachtet hat. Ausserdem hat man die Wanddicken im untern Teil der Helme unnötig gross, im oberen aber zu gering gemacht. Wanddicken von  $\frac{1}{2}$  Stein können statisch nicht aber praktisch genügen, selbst Wanddicken von 1 Stein sind noch nicht zuverlässig genug. Unter der Erwägung, dass im oberen Helmstück doch nur wenig Material gespart werden kann, sollte man dort gleich mit  $1\frac{1}{2}$  Stein beginnen, dabei aber beste Durchführung nicht ausser acht lassen.

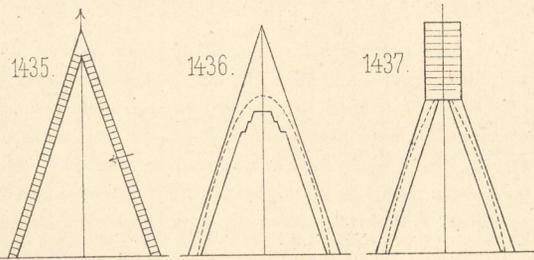
## 6. Beanspruchung, erforderliche Wandstärke und Schub steinerner Dächer.

### Kegelhelme.

Würde man zwei dünne, in einem nicht zugfesten Mörtel aufgeführte Mauern nach Art der Figur 1435 gegeneinanderstützen, so würde das Mauerwerk unter Hochheben der oberen Teile nach innen zusammenstürzen. Haltbar könnte man sie nur

dadurch machen, dass man den oberen Zwickel voll mauerte, so dass die Stützlinie darin Platz fände (Fig. 1436), oder dass man oben eine so grosse Last aufbrächte, dass sich unter deren Einfluss in jeder Wandhälfte eine entsprechend steile Stützlinie bilden könnte (Fig. 1437).

Anders verhält es sich bei einem kegelförmigen Dach, auch hier haben die Teile das Streben nach innen zusammenzufallen, sie verhindern sich aber selbst daran, indem sie sich ringförmig gegeneinander stützen (Fig. 1438). Die nach innen drängenden Massen bewirken eine ringförmige Druckspannung, die um so stärker wird, je flacher der Kegel ist.

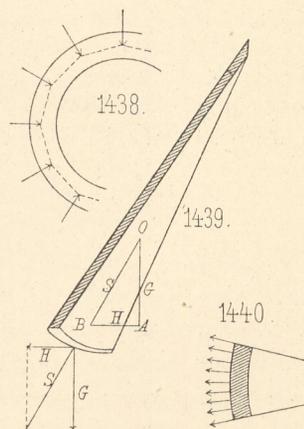


Man hat daher im Kegel zweierlei Mantelpressungen zu unterscheiden: 1. einen Ringdruck, der unten am stärksten ist und nach oben allmählich abnimmt, bis er in der Spitze zu Null wird, 2. einen schräg nach unten gerichteten Druck, der sich unter dem Einfluss der Schwere der Steine von Schicht zu Schicht überträgt und dabei auch allmählich von oben nach unten zunimmt; er möge Längsdruck heissen. Bei einem nur unter Einfluss der eigenen Schwere stehenden Kegel kann man mit hinlänglicher Genauigkeit annehmen, dass der Längsdruck allseits etwa in der Mitte der Manteldicke und in der Richtung des Mantels herabläuft, denn wenn er eine stark abweichende Richtung annehmen will, so tritt der Ringdruck als Ausgleich ein, ein Vorteil, den die Kegelgewölbe mit allen in der Ringrichtung gedrückten Kuppeln gemeinsam haben (s. S. 57).

Der Druck des Kegelhelmes auf die Mauern ergibt sich unter diesen Annahmen sehr einfach. Er ist eben der ringsherum in der Neigung des Kegelmantels heraustretende Längsdruck. Um ihn zu finden, schneidet man ein schmales Dreieck von der Spitze bis zur Basis aus dem Mantel heraus (Fig. 1439). Im Schwerpunkt denkt man sich das berechnete Gewicht  $G$  als Linie  $OA$  aufgetragen und vom oberen Punkt  $O$  eine Linie  $S$  in der Neigung des Kegels, vom unteren Punkt  $A$  eine Horizontale  $H$  gezogen, dann ist der gesuchte Druck  $S$  der Richtung und Grösse nach als Linie  $OB$  gefunden. Ebenso einfach findet man ihn aus der Gleichung:

$$S = G : \sin \alpha$$

(darin ist  $\alpha$  der Neigungswinkel des Kegels, also  $\sin \alpha = \text{Höhe} / \text{Mantellänge}$ ). Statt dieses schräg auf das Widerlager treffenden Druckes  $S$  ist es bequemer mit seinen Seitenkräften zu rechnen (siehe unteres Ende der Figur). Die senkrechte Seitenkraft belastet das Widerlager und ist ebenso gross wie das Gewicht  $G$  des betreffenden Kegelstückes, die hori-



Belastung des Widerlagers und Schub auf dasselbe.

zontale Seitenkraft  $H$  bildet eine Schubkraft gegen das Widerlager, sie findet sich nach dem Parallelogramm der Kräfte (unten in der Zeichnung) oder noch einfacher aus dem erwähnten Kräfdreieck  $OAB$ , dessen Grundlinie sie der Grösse nach darstellt. Statt sie zu zeichnen kann man sie sich berechnen aus der Gleichung:

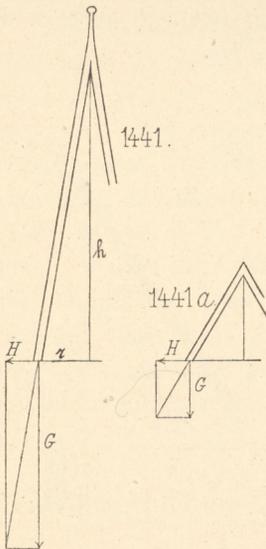
$$H = G \cdot \text{ctg } \alpha \quad (\text{oder } H = G \cdot r : h).$$

Der Schub  $H$  wirkt strahlenförmig am ganzen Umfange; setzt man in vorige Gleichung unter  $G$  das ganze Kegalgewicht ein, so bekommt man auch die Summe aller am Umfange wirkenden Schübe. Will man den Schub für ein kleineres Stück, z. B.  $\frac{1}{12}$  des Umfanges haben, so dividiert man diesen Gesamtschub durch 12 oder setzt in obige Formel für  $G$  nur  $\frac{1}{12}$  des Kegalgewichtes ein. Wenn man die Standsicherheit eines Mauerstückes gegen den Schub berechnet, so kann man nicht die in Figur 1440 gezeichneten „divergenten“ Schubkräfte gebrauchen, sondern muss deren Mittelkraft haben, die natürlich etwas kleiner ist, als die Summe der Einzelkräfte, sie berechnet sich nach der Formel:  $H_0 = G \cdot \text{ctg } \alpha \cdot \frac{\sin \beta}{\pi}$ , darin ist  $G$  das Gewicht des ganzen Kegels,  $\alpha$  dessen Neigungswinkel und  $\beta$  der halbe Zentriwinkel des betreffenden Stückes des Umfanges. Die Abweichung der Mittelkraft von der Summe der Einzelkräfte ist aber nur gering, sie beträgt für  $\frac{1}{16}$  des Umfanges 0,7%, für  $\frac{1}{12}$  des Umfanges etwa 1,2%, für  $\frac{1}{8}$  etwa 2 $\frac{3}{4}$ %, für  $\frac{1}{6}$  des Umfanges 4,7%, für  $\frac{1}{4}$  desselben 11%, für  $\frac{1}{3}$  etwa 17 $\frac{1}{2}$ % und für die Hälfte 36 $\frac{1}{3}$ %. Beim viereckigen Turm wird man in der Regel  $\frac{1}{4}$  des Umfanges (und zwar die Ecke) in Rechnung nehmen können, beim achteckigen Turm mit rundem Helm entsprechend ein Achtel, bei runden Wänden ein Wandstück zwischen grösseren Fensterdurchbrechungen oder auch ein laufendes Meter des Umfanges. Sonst ist die Berechnung der Widerlager genau so wie bei den Gewölben (s. S. 144).

Bei gleich breiten und gleich schweren Helmen verschiedener Höhe stehen die Schübe etwa im umgekehrten Verhältnis zu den Höhen, verhält sich z. B. die Höhe zur unteren Breite wie 4 : 1, so ist der Schub  $\frac{1}{8}$  des Gewichtes, beim Höhenverhältnis 3 : 1 ist der Schub  $\frac{1}{6}$  des Gewichtes, bei 2 : 1 ist er  $\frac{1}{4}$ , bei 1 : 1 aber  $\frac{1}{2}$  des Gewichtes und bei halber Höhe (Neigung von 45°) ist der Schub gerade gleich dem Gewicht.

Anders wird das Verhältnis, wenn man nicht Helme gleicher Schwere, sondern gleicher Wanddicke vergleicht, wobei also die niedrigen Helme weniger wiegen als die hohen, so dass man fast genau den gleichen Schub erhält bei Helmen von der 6fachen, 4fachen oder 2fachen Höhe, erst wenn sie noch niedriger werden, wächst der Schub merklich (siehe die letzte Spalte der Tabelle auf S. 626). Man könnte daraus schliessen, dass es der Materialersparnis wegen vorteilhafter wäre, flachere Helme zu wählen, dem ist aber nicht so, denn gerade das grössere Gewicht der hohen Helme, welches sich an der Innenkante, also an sehr günstiger Stelle auf die Widerlagswände setzt, verleiht diesen eine grössere Stabilität gegen den Schub. Ein Vergleich der Widerlagskräfte in den Figuren 1441 und 1441a macht dieses am besten klar. Ausserdem sind steile Helme leichter auszuführen und weniger der Verwitterung unterworfen, ganz zu schweigen von ihrer architektonisch vorteilhafteren Wirkung. —

Schub bei  
verschiedener  
Helm-  
höhe.



Das hier über die Kegeldächer Gesagte gilt fast genau auch für den Schub der pyramidalen Helme (s. unten).

Den Schub des Kegels kann an Stelle der Standfähigkeit der Wände ein Zugring aufnehmen, in welchem eine Spannung:  $Z = \frac{q \cdot r^2}{2 \cdot \sin \alpha}$  oder  $Z = \frac{G \cdot \text{ctg } \alpha}{2 \cdot \pi}$  herrscht. (G ist das Gesamtgewicht des Kegels, q das Gew. von 1 qm Mantelfläche,  $\alpha$  der Neigungswinkel und r der untere Halbmesser. Die an sich einfache Ableitung dieser und der oben für die Mittelkraft des Schubes angegebenen Formel dürfte hier entbehrlich sein).

Aufhebung  
des Schubes  
durch Zug-  
ringe.

Beispiel: Es soll die Grösse des Helmschubes und die Spannung in einem Zugringe an dem Fusse eines Kegelhelmes berechnet werden, der 25 cm stark aus 1800 kg f. 1 cbm schwerem Ziegelgemäuer aufgeführt ist und 6 m inneren, also 6,5 m äusseren Durchmesser und eine  $3\frac{1}{2}$ fache Höhe, also innen 21 m, aussen 22,75 m Höhe hat.

Das Gewicht findet sich durch Subtraktion der Inhalte des vollen Kegels und des Hohlraumes, beträgt also:  $G = \left( \frac{1}{4} \cdot 6,5^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{3} \cdot 22,75 - \frac{1}{4} \cdot 6^2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{3} \cdot 21 \right) \cdot 1800 = 97\,000 \text{ kg.}$

Der Gesamtschub ist:  $H = G \cdot \text{ctg } \alpha = 97\,000 \cdot \frac{1}{7} = \text{rd. } 14\,000 \text{ kg.}$  Da der Umfang etwa 20 m beträgt, kommt auf 1 lfd. m Wand 700 kg Schub. Soll der Schub nicht von der Wand, sondern einem Zugring aufgenommen werden, so ist der Ringzug nach der vorstehend mitgeteilten Formel

$Z = \frac{G \cdot \text{ctg } \alpha}{2 \cdot \pi} = \frac{14\,000}{2 \cdot 3,14} = \text{rd. } 2200 \text{ kg.}$  Das ist aber eine sehr geringe Zugkraft, die bereits ein Eisenring von 3 qcm Querschnitt aufzunehmen vermag. Statt dessen würde man durch einen Kranz verschränkter oder verklammerter Steinplatten bzw. Quader im unteren Stück des Helmes oder oberen Stück der Wand diesen winzigen Zug aufheben können, auch die einfache Verzahnung und Zugfestigkeit des Mauerwerks kann dazu ausreichen. Wenn das Mauerwerk eine Zugfestigkeit von nur  $\frac{1}{2}$  kg auf 1 qcm hat, genügt  $\frac{1}{2}$  qm Querschnitt des Mauerringes, also einige Schichten einer etwa 2 oder 3 Stein dicken Umfassungswand, den ganzen Helmschub zu beseitigen. Da aber eine grössere Höhe der Wand mitwirken kann, so ist die Zugbeanspruchung fast verschwindend. Sobald also man mit einer gewissen, noch so kleinen Zugfestigkeit des Mauerwerks rechnen wollte, was allerdings wegen etwaiger Vertikalrisse bei ungleichmässigem Setzen gewisse Bedenken hat, so würde von einer Schubwirkung steiler Turmhelme auf die Wände gar nicht die Rede sein.

Wenn man aus praktischen Gründen bei obigem Beispiele die Wanddicke auf 38 oder 51 cm erhöhen würde, so bliebe der Schub immer noch in mässigen Grenzen und könnte durch einen Eisenring von  $4\frac{1}{2}$  oder 6 qcm Querschnitt aufgehoben werden.

Zur Berechnung der Längsspannung im Kegel in einer beliebigen Höhe denkt man sich eine horizontale Ebene durch den Kegel gelegt und verwendet die bereits angeführte Formel:  $S = G : \sin \alpha$ , in welcher G das Gewicht des ganzen abgeschnittenen obern Kegelstückes oder eines Dreiecksteiles desselben sein kann, während S dementsprechend die Längsspannung am ganzen Umkreis oder an der Basis des betreffenden Dreiecks bezeichnet.

Berechnung  
der Längs-  
und Ring-  
spannung.

Die Ringspannung ermittelt sich wieder aus der Formel:  $U = \frac{g \cdot \text{ctg } \alpha}{2 \cdot \pi}$ .

Denkt man sich durch zwei parallele, wagerechte Ebenen einen Ring aus dem Kegel geschnitten und berechnet man dessen Gewicht, das man als g in diese Formel einführt, so ergibt dieselbe die in dem herausgeschnittenen Ring auftretende

Ringpressung. Will man die Summe aller von oben bis unten im ganzen Kegel wirkenden Ringdrücke haben, so hat man statt  $g$  nur das ganze Kegelgewicht  $G$  einzuführen; man erhält dann genau denselben Wert, der als Zugspannung in einem zur Aufhebung des Schubes etwa unten angebrachten Zugring auftreten würde (s. oben).

Für Kegel von gleichmässigem Mantelgewicht ( $q$  für 1 qm Fläche) findet man die Längs- und Ringpressung sowie den Schub für jede beliebige abgeschnittene Kegelhöhe auch nach den Formeln:

$$s = \frac{q}{2 \cdot h} \left( r^2 + h^2 \right) \quad u = \frac{q \cdot r^2}{h} \quad \text{und:} \quad b = \frac{q \cdot r}{2 \cdot \sin \alpha}$$

Darin ist  $s$  der Längsdruck auf 1 m Umfang,  $u$  der Ringdruck auf 1 m Länge des Mantels im Vertikalschnitt und  $b$  der Schub auf 1 lfd. Meter Umfang.  $r$  und  $h$  sind Halbmesser und Höhe des Kegels für die betreffende Stelle des Mantels. Zu bemerken ist, dass Kegel von gleicher Wanddicke nicht gleichbedeutend mit Kegeln gleichen Wandgewichtes sind, dass der Unterschied aber gering wird, wenn man alle Masse auf eine inmitten der Wanddicke liegende mathematische Kegelfläche bezieht. Die vorstehenden Formeln ermöglichen einen Vergleich zwischen der Längs- und Ringpressung, dieselben sind bei einem Kegel von  $45^\circ$  Neigung an jeder Stelle gleich gross und nehmen im übrigen proportional mit der Höhe zu. Bei flacheren Kegeln überwiegt die Ringpressung gegenüber der Längspressung, bei steilern Kegeln dagegen ist die Ringpressung viel kleiner. Nachstehende Tabelle giebt das Verhältnis von Längs- und Ringpressung für verschiedene Neigungen.

### Spannungen in gemauerten Kegeldächern.

Verhältnis der Höhe zur unteren Breite $h : 2r$		Neigungswinkel $\alpha$	Längspressung auf 1 lfd. Meter Umfang. $s$	Ringpressung auf 1 lfd. Meter Mantellänge. $u$	Verhältnis der Längs- zur Ringpressung $\frac{s}{u}$	Schub auf 1 lfd. Meter Umfang
flache Dächer	1 : 8	$14^\circ$	$2\frac{1}{8} q \cdot r$	$4 q \cdot r$	$1 : 1\frac{15}{17}$	$2,062 q \cdot r$
	1 : 4	$26\frac{1}{3}^\circ$	$1\frac{1}{4} q \cdot r$	$2 q \cdot r$	$1 : 1\frac{8}{5}$	$1,118 q \cdot r$
	1 : 2	$45^\circ$	$q \cdot r$	$q \cdot r$	$1 : 1$	$0,707 q \cdot r$
steile Helme	1 : 1	$63\frac{1}{2}^\circ$	$1\frac{1}{4} q \cdot r$	$\frac{1}{2} q \cdot r$	$2\frac{1}{2} : 1$	$0,559 q \cdot r$
	2 : 1	$76^\circ$	$2\frac{1}{8} q \cdot r$	$\frac{1}{4} q \cdot r$	$8\frac{1}{2} : 1$	$0,515 q \cdot r$
	3 : 1	$80\frac{1}{2}^\circ$	$3\frac{1}{12} q \cdot r$	$\frac{1}{6} q \cdot r$	$18\frac{1}{2} : 1$	$0,507 q \cdot r$
	4 : 1	$82\frac{3}{4}^\circ$	$4\frac{1}{16} q \cdot r$	$\frac{1}{8} q \cdot r$	$32\frac{1}{2} : 1$	$0,504 q \cdot r$
	5 : 1	$84\frac{1}{4}^\circ$	$5\frac{1}{20} q \cdot r$	$\frac{1}{10} q \cdot r$	$50\frac{1}{2} : 1$	$0,503 q \cdot r$

Beispiel: Ein grosser 12 m breiter ( $r = 6$  m) und 48 m hoher Turmhelm aus 2400 kg f. d. cbm schwerem Werkstein würde bei 40 cm Wanddicke ein Gewicht:  $q = 2400 \cdot 0,40 = 960$  kg für 1 qm Mantelfläche haben, also nach der Tabelle unten einen Längsdruck auf 1 m Umfang von  $4\frac{1}{16} \cdot 960 \cdot 6 = 23400$  kg ausüben. 1 qcm würde demzufolge mit  $23400 : 4000 = rd 6$  kg Druck beansprucht werden. In der Ringrichtung dagegen würde die Pressung unten nur:  $\frac{1}{8} \cdot 960 \cdot 6 = 720$  kg auf 1 steigendes Meter Mantel betragen, also das qcm  $720 : 4000 = 0,18$  kg Druck erhalten. Dieselbe Beanspruchung nach beiden Richtungen würde sich auch für grössere oder geringere Wanddicken ergeben.

Da die Materialbeanspruchung unabhängig von der Wanddicke ist, würde man einen nur durch sein Eigengewicht belasteten Kegel beliebig dünn mauern können. Durch unvorhergesehene schiefe Belastungen, besonders aber durch den Winddruck, welcher die Spannungen wesentlich verschiebt (hauptsächlich in der Ringrichtung), werden gewisse Grenzen gezogen. Die Ringspannung behält unter

dem Einfluss des Windes nicht mehr den genau kreisförmigen Verlauf, sondern wird an der Windseite und dieser gegenüber gegen die Aussenfläche, an den dazwischenliegenden Punkten mehr gegen die Innenfläche verschoben, wodurch sowohl grosser Kantendruck als auch Zugbeanspruchungen entstehen können und zwar am leichtesten bei Helmen mit sehr kleinem Ringdruck (schlanke Helme und kuppelartig gebogene Helme sind daher dem Winddruck gegenüber etwas im Nachteil). Sobald das Mauerwerk durch Mörtelfestigkeit oder Verzahnung nur etwas zugsicher ist, tritt eine Gefährdung durch Wind fast ganz zurück. Im allgemeinen kann man annehmen, dass eine Wanddicke von  $\frac{1}{24}$ — $\frac{1}{30}$  der Weite bei leichtem Material und von  $\frac{1}{30}$ — $\frac{1}{36}$  der Weite bei schwerem und festem Material ausreicht, dass man aber bei besonders guter Ausführung noch weit geringere Stärken nehmen kann, besonders wenn man in gewissen Höhenabständen nach innen vortretende Verstärkungsringe einmauert.

Die Wanddicke kann gleichmässig bis zur Spitze geführt werden oder nach oben abnehmen. Ziegeltürme kann man aus statischen Rücksichten bis zu 3 oder 4 m unterem Durchmesser  $\frac{1}{2}$  Stein dick, bis 7 m Durchmesser 1 St. dick machen. Es empfiehlt sich meist, die untere Stärke bis zur Spitze fortzuführen, da die geringere Dicke im oberen Stück das Gewicht wenig verringert, dafür aber eine sorgfältigere Ausführung bedingt. Die auf mittelalterlichen Mauertürmen nicht seltenen Kegelhelme haben oft nur 1 Stein oder gegen 30 cm Stärke.

Die Gefahr des Umsturzes steinerer Helme durch Wind ist nicht gross; sie tritt bei 200 kg Winddruck auf 1 qm vollen Querschnitt für  $\frac{1}{2}$  Stein dicke Ziegeltürme oder entsprechend schwere Werksteintürme bei 5—6facher Höhe ein, für Helme von 1 Stein Stärke kommt die Umsturzgefahr nicht mehr in Betracht. Über Kernlage des Druckes und die Kantenpressung bei Wind siehe weiter unten (S. 649).

### Pyramidale Steinhelme.

Die Standfähigkeit des Helmes ist am besten gewährleistet, wenn man seine Wanddicke so gross nimmt, dass man in den Grundriss noch bequem einen Kreis einzeichnen kann, wodurch dieselbe ringförmige Druckübertragung wie beim Kegel ermöglicht wird. Es ist hierzu beim Achteck eine Wanddicke von mindestens  $\frac{1}{24}$  der lichten Weite erforderlich, besser aber ist  $\frac{1}{20}$  zu nehmen, damit der Kreis etwas von den Kanten entfernt bleibt. Am leichtesten tritt der Kreis in den Winkeln  $a$  (Fig. 1442) nach innen heraus, es ist daher eine auch aus anderen Gründen günstige innere Eckverstärkung  $b$ ,  $c$  oder  $d$  sehr vorteilhaft, sie ermöglicht noch eine ringförmige Druckübertragung bei Wänden von  $\frac{1}{24}$  oder selbst  $\frac{1}{30}$  der Lichtweite.

Sind die Wände so dünn, dass sich kein Kreis mehr einzeichnen lässt, so ist die Haltbarkeit damit noch nicht ausgeschlossen, denn es können sich in den Seiten flachbogene Stützlinien ausbilden (Fig. 1443), die an den Ecken in einem Punkte  $P$  zusammenschneiden und hier eine nach aussen gerichtete Mittelkraft  $E$  erzeugen. Indem also das Mauerwerk der Seiten durch seine Schwere nach innen drängt, sucht es die Helmkanthen nach aussen zu drücken. Letzteres kann aus-

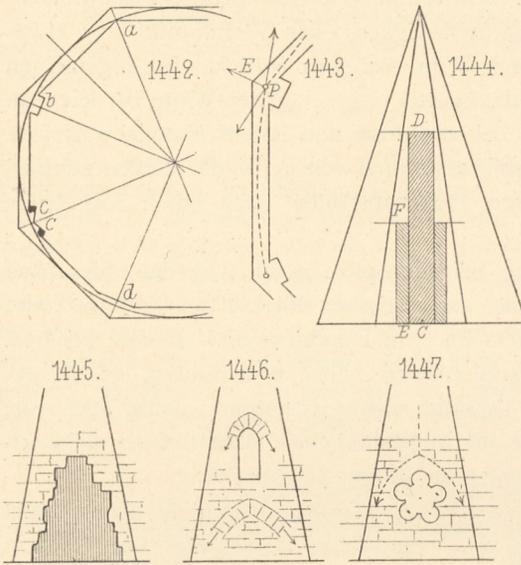
Umsturz  
durch Wind

Kreis-  
förmige Ver-  
spannung.

Polygonale  
Ver-  
spannung.

geglichen werden durch genügende Schwere  $Q$  der Grate oder Rippen, die mit einer Kraft:  $Q \cdot \text{ctg } \alpha$  nach innen drängen (s. etwas weiter unten bei Winddruck). Wenn das Gewicht der Grate mit Einschluss der damit zusammenhängenden beiderseitigen Mauerstreifen zu diesem Gegendruck nicht ausreicht, so bleibt schliesslich noch die Möglichkeit, dass sich in Figur 1444 das schraffierte Wandstück  $CD$

Ver-  
spannung  
nach oben  
und unten.



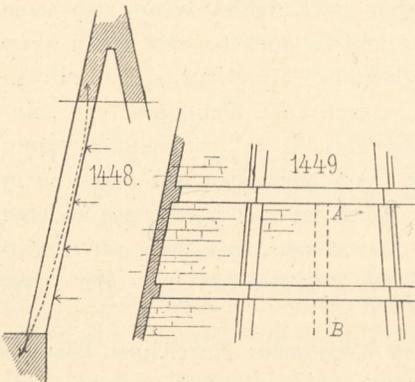
dadurch vor dem Einsturz bewahrt, dass es sich gleich einem schräg ansteigenden scheinrechten Bogen einspannt, der im Fusspunkt  $C$  und oberen Anfallpunkt  $D$  natürlich je einen grossen Enddruck (Widerlagsdruck) hervorruft. Es ist deshalb Bedingung, dass der obere Teil des Helmes auf eine grössere Höhe herab als fest zusammenhängender lastender Körper betrachtet werden kann. Weiter unten können die kürzeren Streifen  $EF$  (Fig. 1444) sich wieder in ähnlicher Weise verspannen.

Da die verschiedenen Möglichkeiten der Verspannung sich gegenseitig ergänzen, erscheint auch der achtseitige Helm als eine statisch günstige Form, so dass er in nahezu so geringen Wanddicken wie der Kegel ausgeführt werden kann. Selbst Wandstärken unter  $\frac{1}{2.4}$  der Weite oder bei Eckverstärkungen unter  $\frac{1}{3.0}$  können sich, vom Winddruck abgesehen, noch gut bewähren, besonders wenn eine ganz geringe Zugfestigkeit des Mauerwerks mit in Frage kommen darf.

Da die verschiedenen Möglichkeiten der Verspannung sich gegenseitig ergänzen, erscheint auch der

Am leichtesten könnte noch eine Schädigung durch ein Setzen des Mauerwerks unter den Mitten der Seiten und als Folge davon ein Herabdrücken des schraffierten Teiles in Fig. 1445 eintreten, der dadurch seinen Zusammenhang mit den anderen Helmtteilen verlieren und bei mangelnder Ringspannung nach innen hineinstürzen könnte, ohne dass deshalb der übrige Helm gefährdet würde. Aber auch dieses würde nur bei grösseren Verdrückungen möglich sein und durch gute Verzahnung verhindert werden.

Eindrücken  
der Wände  
durch Wind.



(Fig. 1443), und diese wird wieder an den Graten eine nach aussen gekehrte Kraft  $E$  erzeugen, welche durch die Gratlast aufgehoben werden muss. Das Eigengewicht der Grate ist, selbst bei Verstärkung aussen und innen, dazu allein meist zu winzig, so dass es erwünscht ist, ihnen die Last der Wandflächen noch

Der Winddruck sucht die Seiten nach innen einzudrücken, es wird sich ihm deshalb wie oben eine Stützzlinie entgegensetzen

zuzutragen durch Bogen mit oder ohne Öffnungen darunter (Fig. 1446), die aber der Schubwirkung wegen nicht flach sein dürfen. Den gleichen Zweck können verschiedenartig geformte Durchbrechungen (Fig. 1447) erfüllen, die gleichzeitig die Angriffsfläche des Winddruckes vermindern. Die Durchbrechungen sind also statisch durchaus nicht ohne Bedeutung.

Belastung  
und Steifig-  
keit der  
Grate.

Gerade bei den schlanken Helmen, welche nur eine kleine Ringpressung haben, ist in den unteren Teilen das Eindringen der Wandflächen durch Wind am leichtesten möglich. Um dann den nach aussen drängenden Kräften  $E$  (Fig. 1443) zu widerstehen, genügt oft das Gewicht der Grate auch bei Hinzurechnung des Eigengewichtes der Wände noch nicht, so dass ihnen eine grössere Steifigkeit gegen Ausbauchen durch Vorsprünge der Rippen nach aussen und innen zu geben ist, damit sich im Diagonalschnitt eine Stützlinie nach Art der Fig. 1448 ausbilden kann. Diese Stützlinie kann den Schub des Helmes unten ein wenig steigern (was den Widerlagern nicht schadet, da dieses nur an der Windseite eintritt), ausserdem verlangt die Stützlinie, dass die oberen Teile des Helmes als eine festzusammenhängende lastende Masse wirken, eine Abnahme der Wanddicke nach oben ist daher nicht günstig.

Bei gar zu dünnen Wänden genügt auch dieses nicht, denn die Beanspruchung durch Wind steht fast im umgekehrten quadratischen Verhältnis zu der Wanddicke, es giebt dann nur noch zwei Hilfsmittel: Das Verlassen auf die Biegungsbeanspruchung der Wand oder das Vormauern von Verstärkungsringen und Zwischenrippen.

Die Biegungsbeanspruchung setzt das Vorhandensein einer gewissen Zugfestigkeit des Mauerwerks voraus. Mit einer solchen zu rechnen ist in diesem Falle, bei sorgfältig ausgeführtem Mauerwerk ohne Risse oder starke Vordrückungen, in mässigen Grenzen wohl angängig, denn der Zug tritt in horizontaler Richtung auf, wo ihm ausser der Mörtelfestigkeit die Reibung der verzahnten und belasteten Steine entgegensteht, während bei Zug in vertikalem Sinne lediglich der Mörtel in den Lagerfugen in Frage kommt. Will man aber erreichen, dass die Zugbeanspruchung gar nicht oder doch nur beim stärksten Sturm zu Hilfe gezogen zu werden braucht, so ist bei dünnen Wänden als äusserst wirksames Versteifungsmittel die Verwendung steinerner, am einfachsten nach innen vortretender Druckringe zu empfehlen (Fig. 1449). Denselben giebt man einen Höhenabstand gleich der acht- bis zwölfwachen Wanddicke, eine Stärke in der Höhenrichtung von 20—50 cm und eine horizontale Breite von  $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{18}$  der Turmweite an der betreffenden Stelle, wenn der Ring innen rund ist; aber  $\frac{1}{12}$  bis  $\frac{1}{15}$ , wenn er innen ackteckig bleibt. (In diese Breite ist die Dicke der Wand mit einbegriffen.) Die dünne Wand verspannt sich unter Wirkung des Windes und auch ihrer Eigenlast nach oben und unten zwischen den Ringen, wie ein ansteigender scheinbarer Bogen. Bei sehr grossen Helmen kann es überdies geboten sein, ausser den Gratrippen auf jeder Seitenfläche ein oder zwei herablaufende mittlere Versteifungsrippen anzuordnen (Fig. 1449), denen man eine gleiche oder auch etwas geringere Stärke als den Ringen giebt.

Biegungs-  
festigkeit  
der Wände.

Versteifungs-  
ringe.

Hat man durch Rippen und Ringe solcher Art die Helmwände in Felder

Stärke  
der Wände.

zerlegt, deren Grösse höchstens die 8 oder 12fache Wanddicke beträgt, so kann man letztere auf  $\frac{1}{24}$ , ja selbst bis auf  $\frac{1}{36}$  der Turmweite einschränken, während man sie sonst nicht unter  $\frac{1}{16} - \frac{1}{20}$  der Weite machen sollte, zumal wenn auch die Gratkanten ohne Rippen bleiben.

Von alten Beispielen seien angeführt: der undurchbrochene Helm von der Liebfrauenkirche zu Worms (Fig. 1411 und 1411a), dessen Wände  $\frac{1}{19}$  der Weite betragen (Widerlagswände darunter aus Bruchstein, mässig durchbrochen  $\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$  der Weite) und der durchbrochene Freiburger Turmhelm (Fig. 1406, 1428), dessen Wände mit unten 56 cm bei etwa 11, m Weite noch als kühn bezeichnet werden müssen, da die Grate nur wenig, die Ringe bzw. Kränze zwischen den Masswerken aber gar nicht vortreten. Bei heftigem Wind ist der Freiburger Helm starken Beanspruchungen ausgesetzt, was bei kräftigeren Ringen, selbst mit noch dünneren Wänden, nicht der Fall sein würde. Auch die hohen schmalen Pfeiler der Glockenstube sind bei kaum  $\frac{1}{6}$  der Lichtweite als kühne Widerlager zu bezeichnen.

Der Schub polygonaler Helme berechnet sich wieder nach der Formel:

$$H = G \cdot \text{ctg } \alpha.$$

Berechnung  
des Schubes.

Wird darin für G das ganze Helmgewicht gesetzt, so liefert H entsprechend den Schub am ganzen Umkreis der Basis; wird dagegen als G das Gewicht einer Seite bzw. einer Ecke (beim Achteck also  $\frac{1}{8}$  des Turmgewichtes) eingeführt, so ergibt sich auch nur der diesem Teil zugehörige Schub. Als Winkel  $\alpha$  ist je nach Umständen mehr die Neigung der Seitenflächen oder diejenige der Gratkante, welche etwas flacher ist, oder ein mitten dazwischen liegender Wert einzufügen. Wenn die Last des Helmes sich vorwiegend an den Gratkanten nach unten fortpflanzt, so muss auch der Winkel  $\alpha$  etwa der Neigung der Gratkanten entsprechen; da dieses der ungünstigere Fall für die Grösse des Schubes ist, so thut man gut, zur Sicherheit mit ihm zu rechnen. Wenn man ausserdem die etwas zu ungünstige Annahme macht, dass die auf ein Turmchapel entfallenden Schubkräfte mit ihrem vollen Betrage in der Richtung der Diagonale wirken, so hat man Annahmen zu Grunde gelegt, bei denen die Widerlagspfeiler nicht zu schwach ausfallen.

Natürlich müssen die Widerlagspfeiler bzw. Turmwände so stark sein, dass sie ausserdem noch dem gegen sie und den Helm treffenden Winddruck widerstehen können. Wenn die Eckpfeiler des Turmes in gewissen Höhenabständen durch Mauerwerk miteinander verbunden sind, so braucht man nicht die Stabilität der Einzelpfeiler zu untersuchen, sondern die ihres Gesamtkörpers (also des ganzen hohlen Turmprismas), dessen Stabilität gegen Wind bedeutend grösser ist (s. S. 648). Sonst vollzieht sich die Berechnung der Widerlager ebenso wie bei den Gewölben.

Berechnung  
der Längs-  
pressung.

Die in den Mantelflächen und Rippen herablaufende Längspressung berechnet sich nach der Formel:

$$S = G : \sin \alpha.$$

Betreffs der Werte G und  $\alpha$  gilt dasselbe, was soeben bezüglich des Schubes gesagt ist. Ob die sich stetig nach unten steigernde Längspressung mehr in den Seiten oder den Graten fortgepflanzt wird, hängt wie gezeigt von der Ausbildung des Helmes ab (s. S. 628 unten).

Die Ringpressung überträgt sich, wenn das Helmgewicht (bezw. die Längspressung) sich ziemlich gleichmässig auf den Umfang verteilt, etwa in der Gestalt des Kreises, wird das Gewicht dagegen ausschliesslich in den Graten herabgetragen, wie bei manchen durchbrochenen Helmen, so bildet sich ein Druckpolygon, dessen Ecken in den Graten liegen. Bei zwischenliegenden Fällen entsteht ein Polygon mit etwas nach aussen gekrümmten Seiten.

Berechnung  
der Ring-  
spannung.

Im ersten Fall beim Druckkreis ist die Pressung:

$$1) \quad U = \frac{g \cdot \text{ctg } \alpha}{2 \cdot \pi} = \frac{g \cdot \text{ctg } \alpha}{6,283}$$

beim Druckpolygon ist sie

$$2) \quad U = \frac{g}{n} \cdot \frac{\text{ctg } \alpha}{2 \cdot \sin \beta}$$

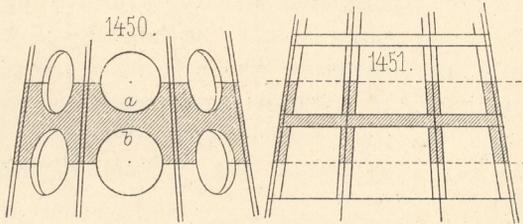
Darin ist  $g$  das Gewicht des aus dem Helm herausgeschnittenen Ringes,  $\alpha$  ist wieder der Neigungswinkel, der im ersten Fall zwischen dem der Seite und des Grates liegt, im zweiten Falle dem Grat zu entnehmen ist.  $n$  ist die Seitenzahl des Polygons, also beim Achteck gleich 8,  $\beta$  ist der halbe Centriwinkel einer Polygonseite, beim Achteck also  $22\frac{1}{2}^\circ$ , folglich  $\sin \beta = 0,3827$ . Die Formel 2) wird also beim achteckigen Helm:

$$2a) \quad U = \frac{g}{8} \cdot \frac{\text{ctg } \alpha}{2 \cdot 0,3827} = \frac{g \cdot \text{ctg } \alpha}{6,123}$$

Setzt man in die Formel 1) für  $\alpha$  den Neigungswinkel  $\alpha_0$  der Seite und in Formel 2a) die Neigung  $\alpha_1$  des Grates, so erhält man den unteren und oberen Grenzwert für den Ringdruck im achtseitigen Helm (s. u. die Tabelle).

Beim vollwandigen Helm überträgt sich der Druck  $U$  auf die ganze Höhe des betr. Ringes, den man in der Rechnung z. B. 1 m hoch annehmen kann.

Beidurchbrochenen Helmen richtet man die Höhe des in Betracht zu ziehenden Ringes nach der Art der Öffnungen, siehe die schraffierte Fläche in Figur 1450. Da wo sich die Ringbreite verengt, wie bei ab, wird sich auch der Ringdruck  $U$  durch diesen



Spannungen  
in durch-  
brochenen  
Helmen.

kleinen Querschnitt übertragen müssen. Ähnlich verhält es sich mit einem ganz in Gratrippen und Spreizen aufgelösten Helm Fig. 1451. Für denselben findet man nach Formel 2 den Ringdruck, welchen die Spreizen in ihrer Längsrichtung erhalten, indem man das Gewicht  $g$  für ein horizontales Helmstück von Mitte zu Mitte der Felderreiben einsetzt.

Ein solcher Helm ist ein vollendet durchgebildetes räumliches Fachwerk aus nur gedrückten Stäben. Der Ringdruck oder richtiger Polygondruck wird durch den Kranz der Spreizen aufgenommen und der Längsdruck durch die Gratrippen, auf welche auch die Spreizen mit ihren Enden ihr eigenes Gewicht und das der etwa darauf ruhenden Füllplatten übertragen. Um die Grösse des Längsdruckes zu berechnen, hat man demnach in der Formel:  $S = G : \sin \alpha$  für  $G$  das darüber lastende Gewicht eines Helmstücks und für  $\alpha$  den Neigungswinkel des Grates einzusetzen. Unter

gleichen Annahmen findet man aus:  $H = G \cdot \text{ctg} \alpha$  den an jeder Ecke wirkenden Horizontalschub auf die Turmwand.

Am besten besteht die Spreize aus einem langen Stein, der Biegefestigkeit genug hat, um nicht zu zerbrechen. Muss sie aber aus mehreren Stücken zusammengesetzt werden, so kann sie leicht gleich einem scheinbaren Bogen einen Schub auf die Gratrippen tragen, der diese nach aussen zu bauschen sucht. Es ist dann zu empfehlen, das Masswerk der Füllungen so einzurichten, dass es die Mitten der Spreizen stützt. Bei sehr breiten Feldern können ev. selbst Zwischenrippen zu diesem Zweck hinaufgeführt werden. Das Masswerk in den Feldern dient genau in derselben Weise zur Windverstrebung, wie die Andreaskreuze der Holzhelme, denen diese durchbrochenen Steinhelme überhaupt sehr nahe stehen (s. unten).

Um ein anschauliches Bild über die Spannungen und den Schub verschieden hoher polygonaler Helme zu geben, ist die nachstehende Tabelle aufgestellt; die ersten flachen Dächer, welche kaum zur Ausführung gelangen, sind mehr des Vergleiches wegen beigelegt. Im allgemeinen weichen die Spannungen wenig von denen gleich hoher Kegeldächer ab.

*Spannungen in achtseitigen Steinpyramiden.*

Verhältnis der Höhe zur unteren Breite $h \cdot 2 r$	Neigungs- winkel		Längspressung auf $\frac{1}{8}$ des Umfangs		Ringpressung in einem Ring vom Gewichte $g$		Schub auf eine Ecke		Seite	
	am Grat $\alpha_1$	an der Seite $\alpha_0$	S max = G $8 \cdot \sin \alpha_1$	S min = G $8 \cdot \sin \alpha_0$	U max = $g \cdot \text{ctg} \alpha_1$ 6,123	U min = $g \cdot \text{ctg} \alpha_0$ 6,283	H max = $\frac{G}{8} \cdot \text{ctg} \alpha_1$	H min = $\frac{G}{8} \cdot \text{ctg} \alpha_0$		
flache Dächer	1 : 8	13,0°	14,0°	4,45 · $\frac{G}{8}$	4,13 · $\frac{G}{8}$	0,707 · $g$	0,653 · $g$	4,33 · $\frac{G}{8}$	4 · $\frac{G}{8}$	
	1 : 4	24,8°	26,6°	2,39 · $\frac{G}{8}$	2,24 · $\frac{G}{8}$	0,354 · $g$	0,327 · $g$	2,17 · $\frac{G}{8}$	2 · $\frac{G}{8}$	
	1 : 2	42,7°	45,0°	1,47 · $\frac{G}{8}$	1,41 · $\frac{G}{8}$	0,178 · $g$	0,164 · $g$	1,08 · $\frac{G}{8}$	1 · $\frac{G}{8}$	
Helme	1 : 1	61,5°	63,4°	1,14 · $\frac{G}{8}$	1,12 · $\frac{G}{8}$	0,089 · $g$	0,082 · $g$	0,54 · $\frac{G}{8}$	0,5 · $\frac{G}{8}$	
	2 : 1	74,8°	76,0°	1,04 · $\frac{G}{8}$	1,03 · $\frac{G}{8}$	0,044 · $g$	0,041 · $g$	0,27 · $\frac{G}{8}$	0,25 · $\frac{G}{8}$	
	3 : 1	79,8°	80,5°	1,016 · $\frac{G}{8}$	1,013 · $\frac{G}{8}$	0,029 · $g$	0,027 · $g$	0,180 · $\frac{G}{8}$	0,167 · $\frac{G}{8}$	
	4 : 1	82,3°	82,9°	1,009 · $\frac{G}{8}$	1,008 · $\frac{G}{8}$	0,022 · $g$	0,020 · $g$	0,135 · $\frac{G}{8}$	0,125 · $\frac{G}{8}$	
	5 : 1	83,8°	84,3°	1,006 · $\frac{G}{8}$	1,005 · $\frac{G}{8}$	0,018 · $g$	0,016 · $g$	0,108 · $\frac{G}{8}$	0,100 · $\frac{G}{8}$	
	6 : 1	84,8°	85,2°	1,004 · $\frac{G}{8}$	1,003 · $\frac{G}{8}$	0,015 · $g$	0,014 · $g$	0,090 · $\frac{G}{8}$	0,083 · $\frac{G}{8}$	

G ist das Gesamtgewicht des Helmes über der betreffenden Stelle.

Beispiel: Ein in Ziegelstein 25 cm dick gemauerter, achtseitiger Helm von 6 m innerer und rd 6,5 m äusserer Breite B habe eine 4fache Höhe, also aussen 26 m, innen 24 m. 1 cbm Ziegelmauerwerk wiege 1800 kg, es soll die Grösse der Spannungen und des Schubes berechnet werden. Der Inhalt einer vollen achtseitigen Pyramide ist  $0,829 \cdot B^3 \cdot \frac{h}{3}$ , die vorliegende hohle

Pyramide hat demnach als Differenz zweier voller den Inhalt:  $0,829 \left( 6,5^3 \cdot \frac{26}{3} - 6,0^3 \cdot \frac{24}{3} \right) = \text{rd}$

Vergleich d.  
Spannungen  
u. Schübe  
verschieden  
hoher  
Helme.

65 cbm, sie wiegt also  $65 \cdot 1800 = 117\,000 \text{ kg} = G$ , folglich wiegt  $\frac{1}{8}$  derselben 14 625 kg. Die Längspressung beträgt nach obiger Tabelle höchstens  $1,009 \cdot \frac{G}{8}$ , also hier 14 757 oder mindestens  $1,008 \cdot \frac{G}{8} = 14\,720 \text{ kg}$ . Dieselbe verteilt sich auf  $\frac{1}{8}$  der Basis, also eine Fläche von  $\frac{1}{8} \cdot 0,829 (6,5^2 - 6,0^2) = 0,647 \text{ qm}$  oder 6470 qcm und ergibt bei gleichmässiger Verteilung  $14\,730 : 6470 = \text{rd } 2,3 \text{ kg}$  Druck auf 1 qcm, bei Durchbrechungen oder ungleicher Verteilung entsprechend mehr. (Strenggenommen hätte nicht die Grundrissfläche, sondern eine Schnittfläche etwa senkrecht zum Grat in Rechnung gebracht werden müssen, was aber bei „steilen“ Helmen keinen merklichen Unterschied giebt.)

Um die grösste Ringpressung zu finden, wird über dem Widerlager ein Ring von 1 m Höhe betrachtet, dessen Inhalt als Differenz der ganzen hohlen Pyramide und der um 1 m verkürzten, sich zu rd 5,0 cbm berechnet, der also 9000 kg wiegt. Die Ringpressung liegt nach der Tabelle zwischen  $0,020 \cdot 9000 = 180 \text{ kg}$  und  $0,022 \cdot 9000 = 198 \text{ kg}$ . Der Querschnitt des Ringes beträgt rd  $\frac{1}{4} \text{ qm}$  oder 2500 qcm, es kommt also auf 1 qcm der äusserst geringe Druck von 0,072 bis 0,079, also noch nicht  $\frac{1}{10} \text{ kg}$ . Der Ringdruck auf die ganze Kegelhöhe beläuft sich höchstens auf  $117\,000 \cdot 0,022 = 2574 \text{ kg}$ , ebenso gross würde der Zug in einem unten umgelegten Ring zur Aufhebung des Schubes sein.

Der Schub berechnet sich für jede Ecke höchstens zu  $0,135 \cdot 14\,625 = 1974 \text{ kg}$ , mutmasslich wird er etwas unter 1900 kg bleiben, die Widerlager müssen hinreichen, ihn aufzunehmen (vgl. oben Kegelhelme und Gewölbe).

### Sechsseitige und vierseitige Helme.

Die Angaben und Formeln über achtseitige Helme gelten in ähnlicher Weise für Helme anderer Polygonzahlen. Helme von mehr als acht Seiten sind selten, bei kleinen Helmen findet sich häufiger das Sechseck, das Fünfeck kommt nicht oft vor (zu Pressburg bieten zwei Klosterkirchen für jedes ein Beispiel), dagegen sind vierseitige Helme in der Frühzeit nicht selten. Je geringer die Seitenzahl wird, um so mehr häufen sich die Schwierigkeiten, da die wichtige ringförmige Verspannung unvollkommener wird. Besonders ungünstig erweist sich der Winddruck gegen die grossen Flächen. Die erwähnten Auskunftsmitel, als Versteifungsringe, Verstärkung der Grate und Mittelrippen, letztere event. bis oben hinaufreichend und selbst bogenförmig gebildet, können dazu dienen, die sonst recht kräftig zu bemessenden Wandstärken einzuschränken.

### Helme mit gebogenen Seiten, Kuppeln.

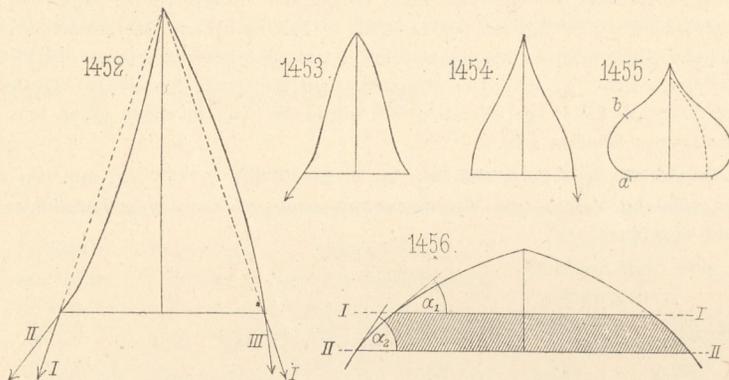
Polygonale oder runde Steinbedeckungen, die statt der geraden, eingebogene Aufrisslinien zeigen (Fig. 1452 links), haben grösseren Ringdruck aber auch grösseren Schub (vergl. die Kräfte I und II der Figur 1452); bei einem nach aussen gekrümmten Umriss verringert sich umgekehrt der Ringdruck, der selbst in Ringzug übergehen kann, dementsprechend ist aber auch der Schub auf die Widerlager geringer (vgl. d. Kräfte III und I in Fig. 1452). Der eingebogene Helm hat wegen des grösseren Ringdruckes mehr Widerstandsfähigkeit gegen unsymmetrische Belastungen, der bauchige Helm dagegen übt einen kleineren Schub auf die Wider-

Ausführbarkeit der verschiedenen Querschnitte.

lager aus. Es hängt also von obwaltenden Umständen ab, welcher von beiden in einem gegebenen Falle den Vorzug verdient.

Selbst geschweifte Helme sind in gewissen Grenzen ausführbar (Fig. 1453 und 1454). Die Richtung des Widerlagsdrucks stimmt auch hier wieder etwa mit der unteren Tangente überein, somit wird der Schub bei 1453 grösser sein als bei 1454. Die Ringspannung in den einzelnen Höhen hängt vom Verlaufe der Krümmung ab; es ist sehr wohl möglich Helme nach Art der Figur 1453 und 1454 zu mauern, ohne dass in irgend einer Höhe Ringzug entsteht, es darf die Umrisslinie nur keine zu starke Krümmung nach aussen zeigen und sich nirgends zu sehr der Senkrechten nähern. Formen wie Figur 1455 werden dagegen auf die beträchtliche Strecke *ab* Ringzug erhalten, da man diesen aber bei Mauerwerk möglichst meidet, laufen solche Helme oder Kuppeln den Forderungen des Steinbaues entgegen; nur durch besondere Hilfsmittel oder durch

Massenvergeudung, indem die Innenseite zu einer richtigen Kuppel ergänzt wird (s. rechte Seite in Fig. 1455), können sie haltbar gemacht werden. Man kann Kuppeln so formen, dass die Ringspannung überall gleich Null ist (siehe S. 56 und Fig. 126), jedoch sind Kuppeln mit Ringdruck vorzuziehen.



Berechnung  
des Schubes  
und der  
Ringspannung  
von bel.  
Kuppeln.

Da man nun Ringzug bei Mauerwerk möglichst meidet und sich über die Grösse des Ringdruckes gern Rechenschaft giebt, ist es wichtig, ein „einfaches“ Verfahren kennen zu lernen, mittelst dessen die Grösse der Ringspannung einer beliebigen Kuppel in beliebiger Höhe zu ermitteln ist (vgl. Fig. 1456).

Unter der Voraussetzung, dass die Ringspannung dafür sorgt, dass sich der Längsdruck überall annähernd in der Richtung der Tangente von oben nach unten überträgt, schneide man an der zu untersuchenden Stelle einen nicht zu hohen Ring durch die wagerechten Ebenen II und II II heraus. Den Neigungswinkel der Tangente in der Höhe II nennt man  $\alpha_1$  und den in der Höhe II II  $\alpha_2$ , und das Gewicht der über II liegenden Kuppel berechnet man als  $G_1$ , dasjenige über II II als  $G_2$ , so ist ebenso wie beim Kegel (s. S. 624) der Schub am ganzen Umkreis in der Höhe I I:

$H_1 = G_1 \cdot \text{ctg } \alpha_1$  und in der Höhe II II:  $H_2 = G_2 \cdot \text{ctg } \alpha_2$ . Der Schub  $H_d$ , welcher durch Hinzutreten des Ringes erzeugt wird, ist die Differenz von  $H_2$  und  $H_1$ , also:

$$H_d = G_2 \cdot \text{ctg } \alpha_2 - G_1 \cdot \text{ctg } \alpha_1.$$

Solange dieses  $H_d$  positiv bleibt, findet Ringdruck statt, sobald es negativ wird, Ringzug.

Die Grösse der Ringspannung aber findet man einfach nach der Formel:  $U = \frac{H_d}{2 \cdot \pi}$ .

Diese Beziehungen gelten für jede beliebige Umrisslinie der Kuppel, selbst wenn sie innerhalb des Ringes einen nach aussen oder innen gekehrten Knick zeigt. Je niedriger der Ring gewählt wird, um so genauer wird das Ergebnis, jedoch braucht man in dieser Hinsicht nicht zu ängstlich zu sein und kann bei hohen Kuppeln meist unbedenklich Ringe von 1 m Höhe heraus-schneiden, ohne dass die gewöhnlich erforderliche Genauigkeit dadurch leidet.

Für Kuppeln, deren Grundriss eckig ist, gelten die gleichen Beziehungen unter Berücksichtigung der kleinen, bei den achtseitigen Helmen etwas weiter vorn behandelten Abweichungen bzw. des Neigungswinkels. Der Horizontalschub für den ganzen Umfang ist wieder  $G = G \cdot \text{ctg } \alpha$ ,

wenn  $G$  das ganze Kuppelgewicht ist, und die Ringspannung findet sich, wie soeben gezeigt, aus der Differenz  $H_d$  der Schübe, wobei aber ihre Grösse je nach Umständen zwischen  $U = \frac{H_d}{2 \cdot \pi}$  und  $U = \frac{H_d}{n \cdot 2 \cdot \sin \beta}$  liegt ( $n$  ist die Seitenzahl des Vielecks und  $\beta$  der halbe Zentriwinkel zu einer Seite). Nach alledem zeigt sich, dass die Berechnung von gemauerten Kegeln, Pyramiden und Kuppeln mit der für die Praxis ausreichenden Genauigkeit zu den einfachsten Aufgaben gehört.

## 7. Turmhelme aus Holz.

Die oben angeführten Nachteile und Schwierigkeiten, welche mit Ausführung des Helmgemäuers im Ziegelbau verbunden sind, mögen in den Gegenden, in welchen der letztere heimisch ist, sowie der Umstand, dass nicht ein jedes Steinmaterial in der ausgesetzten Stellung der Helme den Angriffen der Witterung zu widerstehen vermag, in den Ländern des Steinbaues auf die so häufig vorkommenden hölzernen, mit Schiefer oder Metall gedeckten Helme geführt haben. Beide Gründe können in der Gegenwart fortbestehen, der Vorzug der Wohlfeilheit aber, welcher den hölzernen Helmen im Mittelalter eigen gewesen sein wird, ist in der neueren Zeit nicht mehr vorhanden, vielmehr in Gegenden, welche Steine von ausreichender Güte liefern, ins gerade Gegenteil umgeschlagen, selbst wenn man die Mauern des Glockenhauses mit Rücksicht auf die gänzliche Aufhebung jeder Schubkraft des hölzernen Helmes schwächer anlegen wollte, was indes nur in geringem Grade möglich ist (s. S. 649).

Holzhelme  
und  
Steinhelme.

Die oben angeführten Vorteile einer steilen Steigung bleiben auch für die hölzernen Helme in mehr als einer Hinsicht bestehen, die daher die nämliche Schlankheit erhalten wie die steinernen Helme, ja es wurden, wenigstens in den späteren Perioden des Mittelalters, gerade für Holzhelme fast überschlanke Gestaltungen beliebt. Wir führen hierfür den aus der ersten Zeit des 16. Jahrhunderts stammenden Helm der Kirche in Wetter an, der das Verhältnis  $1:8\frac{1}{2}$  aufweist.

Neigung.

Bei der Konstruktion der Holzhelme sind hauptsächlich drei Punkte ins Auge zu fassen:

1. Die Sicherung gegen Umsturz.
2. Die Anlage einer unverschiebbaren Basis und Aufhebung des Sparrenschubes.

Anforderungen  
an das  
Holzwerk.

3. Die Versteifung der Helmwände gegen jede Einbiegung, Verdrehung u. dgl. Die Holzverbände, welche die beiden letzteren Bedingungen erfüllen sollen, können bei Annahme einer achteckigen Grundform gelegt werden:

- a) in der Richtung der Diagonalen des Achtecks,
- b) in der Richtung eines dem Achteck einbeschriebenen Kreuzes (Fig. 1458),
- c) in der Richtung der Seiten des Polygons.

Wenden wir diese Richtung zunächst auf die Basis an, so ergibt sich zu  $a$  ein Gebälk aus diagonal laufenden Hölzern zur Aufnahme der Sparren und Streben (s. Fig. 1457). Höchstens zwei Diagonalbalken können durchlaufen und sich in der Mitte überblatten, die anderen müssen sich gegen Wechselbalken setzen, zur Verstärkung legt man in den durchlaufenden Diagonalen zweckmässig zwei

Basis  
des Helmes.

Balken nebeneinander. Die Stichbalken müssen zur Aufhebung des Sparrenschubes zugfest verbunden werden.

Zu *b* ergibt sich die in Fig. 1458 gezeigte Gebälklage.

Zu *c* ergibt sich bei Vermeidung jedes durchgehenden Gebälkes ein aus doppelten, in den Ecken überblatteten Mauerlatten bestehender unverschiebbarer Kranz (s. Fig. 1459 links), dem die zur Aufnahme der Sparren und Streben dienenden Stichbalken aufgekämmt sind. Soll ein solcher achteckiger Kranz auf den Mauern eines vierseitigen Turmes liegen (Fig. 1459, rechts), so können die Mauerlatten in den vier Ecken durch vorgekragtes Mauerwerk oder Kopfbänder unterstützt werden, meist aber ist beides entbehrlich und ein Freitragen der kurzen Stücke statthaft.

Betrachten wir nun den Sparren- und Strebenschub als dem Gewölbeschub ähnlich, so haben wir die Widerstandskraft der Widerlager hier durch Zugbalken (Fig. 1457 und 1458) oder eine kranzförmige Verankerung (Fig. 1459) ersetzt. Der Mauerlattenkranz ist auch als Unterlage des Stichgebälkes (Fig. 1457) sehr nutzbringend. Ist der Sparrenschub sicher aufgehoben, so könnte höchstens noch eine Verschiebung der ganzen Basis (bei Wind) in Frage kommen, dieselbe ist jedoch durch die Reibung des Holzes auf dem Mauerwerk fast immer unmöglich gemacht, wenn auch keinerlei Verankerung stattfindet, dagegen ist es nicht ausgeschlossen, dass bei noch ganz weichem Mörtel ein heftiger Sturm die oberen Mauerschichten samt dem Helm zum Gleiten bringt.

Zur Sicherung des Helmes gegen Umsturz muss seine eigene Schwere oder nötigenfalls eine Verankerung mit dem Mauerwerk dienen (s. S. 642).

Um die Grat- und Leersparren an einer Einbiegung zu verhindern und überhaupt jede Verschiebung und Verdrückung der Helmseiten unmöglich zu machen, müssen Verstrebrungen oder Verspreizungen hinzutreten, die wieder in einer der drei angegebenen Richtungen (Fig. 1457—1459) liegen können.

Der Fig. 1457 entsprechende Verband zunächst ergibt sich durch vier Andreaskreuze über den Diagonalen (Fig. 1460), von denen ein jedes den einander gegenüberstehenden Sparren eingeblattet ist. Diese Andreaskreuze sind so gelegt, dass ihre Durchkreuzungen in der Mitte übereinander durchgehen und wiederholen sich auf die Höhe des Helmes zwei bis drei und mehr mal. Über der letzten Durchkreuzung sitzt dann die Helmstange auf, an welche die Eckstreben mit Versatzung und Zapfen anschliessen, wie die Rippen des Gewölbes an den Schlussstein. Die Helmstange überragt noch den Anfallspunkt der Sparren und trägt das den Helm bekronende Kreuz oder seinen sonstigen oberen Schmuck. Weiter nach oben werden die Andreaskreuze oft ersetzt durch Kehlbalken und Kopfbänder. Bei grossen Helmen können die Ecksparren noch verstärkt werden durch parallel laufende, unmittelbar darunterliegende oder um einen Zwischenraum getrennte Streben, mit welchen die Andreaskreuze gleichfalls überblattet sind.

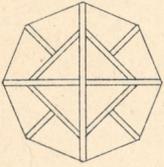
Die zweite Richtung des Verbandes ergibt sich dadurch, dass die soeben besprochenen Verstrebrungen nicht in den Diagonalebene, sondern in den Ebenen des Kreuzes (Fig. 1458) liegen. Statt dessen können in bestimmten Höhenabteilungen des Helmes (3—5 m) kreuzförmige Gebälke nach Fig. 1458 gelegt

Diagonal-  
verstrebrung.

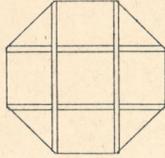
Verstrebrung  
bei kreuz-  
förmigen  
Gebälken.

Holzhelme.

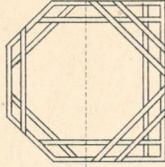
1457.



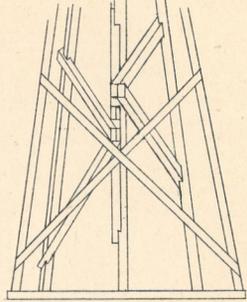
1458.



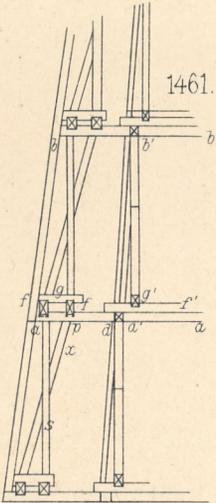
1459.



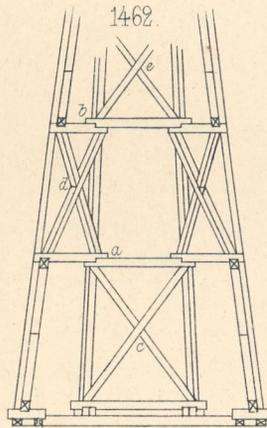
1460.



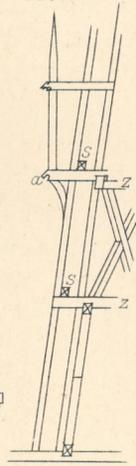
1461.



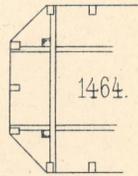
1462.



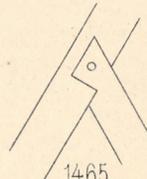
1463.



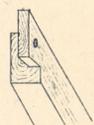
1464.



1465.



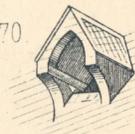
1465 a.



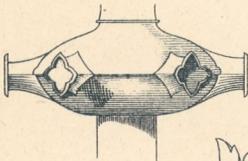
z



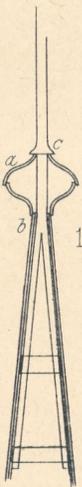
1470.



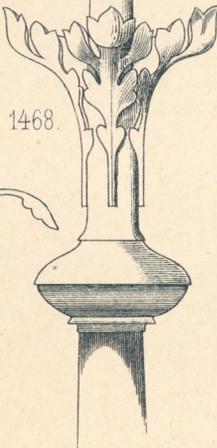
1467.



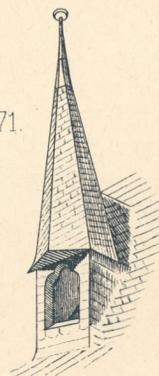
1466.



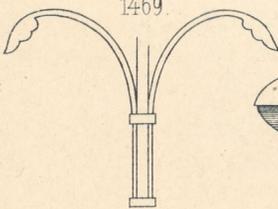
1468.



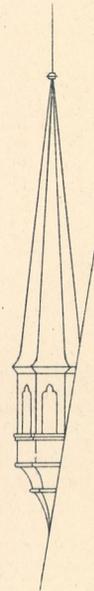
1471.



1469.



1472.





werden, so dass die einzelnen Balken gegen die Ecksparren treffen. Zur sicheren Unterstützung der Balken und zur besseren Versteifung sind dann noch Verstrebrungen einzufügen (Fig. 1461).

Das zweite Gebälk trifft in den Punkten  $a$  und  $a'$ , das dritte in den Punkten  $b$  und  $b'$  die Ecksparren usf. Es wird der Punkt  $a$  durch den Ständer  $s$  gestützt, welcher mit der Strebe  $x$  überblattet ist, so dass die letztere noch den Punkt  $p$  desselben Balkens  $aa$  sichert. Von dem Balken  $aa$  nach dem parallelliegenden sind dann die beiden Fellen  $ff$  übergelegt, welche wieder die Schwellen  $g$  und  $g'$  tragen. Letztere nehmen dann dieselbe aus einem Ständer und einer Strebe bestehende, die Balken  $bb$  und  $b'b'$  tragende Konstruktion auf, welche sich überhaupt nach oben so oft wiederholt, bis die Verengung des Helmes ein anderes einfacheres, etwa nur aus Kehlbalcken bestehendes Konstruktionssystem vorschreibt.

Dicht unter der Spitze treten die Balken der kreuzförmigen Gebälke (nach Art der Fig. 1458) so dicht zusammen, dass sie das entsprechend tief herabgeführte Helmholz (auch Kaiserstiel genannt) umklammern und somit sicher halten.

Der dritte in der Richtung der Seiten liegende Verband besteht darin, dass in gewissen, nach der Stärke der Sparren (s. unten) zu bemessenden, etwa 3—4 m betragenden Höhenabteilungen (s. Fig. 1462) wagrechte aus 8 Balkenstücken bestehende Kränze sich bilden, welche in den Ecken, also bei  $a$ ,  $b$  usw. überschritten sind und von je 4 in den Höhenabteilungen abwechselnden Andreaskreuzen  $c$ ,  $d$ ,  $e$  usw. getragen werden. Aus der Figur 1462 ist ersichtlich, dass die Andreaskreuze parallel der Ebene der Helmwanung gestellt sind und mit ihrer Aussenfläche unter die Innenflächen der Sparren zu liegen kommen, und dass dem Umfallen eines jeden Kreuzes nach innen, also z. B. des unteren  $c$ , die Schwellen der darauf stehenden Kreuze z. B.  $d$  widerstehen.

Verstrebrung  
in der Man-  
tefläche.

Auch hier sind Verdoppelungen der Ecksparren von Nutzen (Fig. 1463), wobei die inneren von den äusseren durch einen Zwischenraum getrennt und mit denselben durch Zangen  $z$  verbunden sind. Die eben beschriebene Konstruktion der Andreaskreuze kommt dann unter die inneren Streben zu stehen. Den Zangen werden Schwellen zur Unterstützung der Leersparren aufgelegt und durch eine Verlängerung der Zangen nach aussen (s.  $a$  in Fig. 1463) können äussere mit Brüstungen besetzte Galerien gebildet werden, gerade wie zwischen den inneren Streben und den Helmwänden innere Umgänge entstehen. Wenn man die Streben unmittelbar oder mit einem ganz geringen Zwischenraum unter die Ecksparren legt, so können Kränze und Kreuze zwischen Sparren und Streben liegen und damit besonders feste Verbindungen aller Teile erzielt werden. Dabei ist allerdings noch für Verhütung eines Durchbiegens der Eckstreben nach innen zu sorgen, entweder durch Verbindung mit den Ecksparren mittelst Zangen oder Schrauben oder aber durch eine verspreizende Balkenlage oberhalb jedes Kranzes, die ja ohnedies der Besteigbarkeit des Helmes wegen oft gemacht wird.

Es fehlt uns hier der Raum zu einer vollständigen Entwicklung der einzelnen Konstruktionen, die damit noch längst nicht erschöpft sind. Beispielsweise finden sich ab und zu statt der acht inneren Streben (Fig. 1463) nur vier (Fig. 1464), die sich als eine abgestumpfte Pyramide im unteren Helmstück erheben und zur sicheren Führung der kreuzförmigen oder event. auch diagonalen Verstrebrungen dienen. Sie sind besonders geeignet, wenn breite und schmale Helmseiten wechseln wie an dem südlichen Turm zu Jerichow.

Bezüglich der Holzverbindungen sei nur darauf hingewiesen, dass man an den Kreuzpunkten zur Vermeidung tief einschneidender Überblattungen die Hölzer ungern in eine Ebene legte, sondern sie nur mit einem Teil ihres Fleisches verwachsen liess. Die Enden der Hölzer liess man, wo es der Raum gestattete, überstehen; war dies nicht möglich, so bevorzugte man an Stelle des gewöhnlichen verborgenen Zapfens die in Fig. 1465 und 1465 a dargestellte Anblattung.

Die so gebildeten hölzernen Helmgerippe werden dann auf der Aussenseite mit einer aufgenagelten Verschalung oder Lattung versehen, welche die Deckung aufzunehmen hat.

Dach-  
deckung.

Bei Verwendung von Schiefer ist ein Schmuck der Flächen durch Muster aus verschiedenfarbigen Schiefeln, in minder wirksamer Weise nur durch die Art der Deckung zu erzielen. Eine Sicherung der Gratkanten wird in einfachster Weise durch das Überfassen der Deckung der einen Seite über die der anderen erzielt, besser aber durch eine Abweichung von der Deckungsweise der Flächen, so etwa, dass an jeder Seite der Kante eine besondere Schieferreihe hinaufläuft, welche über die französische oder deutsche Deckung der Flächen fasst (s. Fig. 1395). Die beste Sicherung der Kanten aber ergibt sich durch aufgelegte Bleistreifen, welche zugleich zur Belebung wesentlich beitragen, besonders wenn sie mit aus Blei getriebenen Laubbossen besetzt sind. Die Dauer und event. auch der äussere Schmuck des Helmes wird durch eine Bleideckung gesteigert, deren Tafeln wagerecht oder, wie an vielen französischen Türmen, in schräger Richtung aufgelegt sind und dadurch ein Muster bilden. Die dauerhafteste Bedachung der Holzhelme wird durch Kupfer erzielt.

Bekleidung  
und  
Bekrönung  
der  
Helmstange.

Auf die oben zugespitzte Endigung der Helmstange wird eine an ihrem Fuss nach einem umgekehrten V gespaltene Eisenstange aufgesetzt, so dass die Arme des V an dem Holz hinabfassen und daran durch Nägel oder besser durch umgelegte Eisenringe befestigt sind (Fig. 1466). Diese Stange bildet dann den lotrechten Arm der Bekrönung. Bei grösseren Dimensionen werden vier eiserne Schienen an dem Helmstiel befestigt, welche die dann auf diesen stumpf aufgesetzte lotrechte Eisenstange umklammern und mit derselben durch eine Verzahnung, sowie ferner durch Nietungen und Ringe verbunden sind. Die Spitze des Helmes muss wegen der geringen, die Zusammensetzung aus einzelnen Schieferstücken nicht mehr gestattenden Grösse der Flächen, und zugleich, um die Fuge zwischen Schiefer und Eisen dicht schliessend zu machen, mit Blei oder Kupfer abgedeckt werden.

Diese Metalldeckung findet ihren Abschluss durch einen linsenförmigen Knauf, welcher gleichfalls aus Blei oder Kupfer und zwar in der Weise getrieben ist, dass er aus zwei Hälften *a* und *b* zusammengesetzt wird (s. Fig. 1466). Dieser Knauf legt sich dann der Eisenstange an, am besten unterhalb eines an dieselbe angeschmiedeten Vorsprungs (*c* in Fig. 1466). Die Leichtigkeit der Wirkung kann hierbei noch gesteigert werden durch eine Fortführung der Helmstange über die mathematische Spitze der Pyramide hinaus und der Schmuck des Ganzen durch eine reichere Behandlung der Bleideckung des Knaufes, sowie des Eisenwerks des Kreuzes oder des Wetterhahnes.

Sehr zu statten kommt hierbei die Leichtigkeit das Blei zu treiben, vermöge welcher der Knauf ähnlich reiche Formen, wie bei Stein (s. oben Fig. 1093—1095) annehmen kann oder aber, in einer gerade für die Behandlung des Metalls so überaus charakteristischen Weise, mit einzelnen kugeligen und prismatischen Auswüchsen besetzt ist, deren vordere Öffnung durch eine angelötete Bleiplatte geschlossen ist (s. Fig. 1467).

Sie ermöglicht ferner reichere Bekrönungsformen mit Blättern oder Knospen nach Art der

Kreuzblumen, durch Aufsetzen einer zweiten bleiernen Hülse über dem Knauf (s. Fig. 1468), welcher die einzelnen Blätter der Krone angelötet werden. Die Blätter sind aus Bleitafeln in ihrer Abwicklung ausgeschnitten und dann nach dem Profil ihrer Schwingung aufgebogen. Die Bleideckung des Helmstieles kann unterhalb des Knaufes in derselben Weise durch den Kanten aufgelötete Laubbossen verziert werden (Fig. 1473). Wie erwähnt, kann der Schmuck der Laubbossen auch an den mit Blei gedeckten Helmkanten hinabgeführt werden.

Kleinere Bekrönungen begnügen sich mit einem Knauf oder einer soeben beschriebenen Kreuzblumenform, wobei die Helmstange oder die derselben aufgesetzte Eisenstange unter der durch den Schlussknauf (z. B. *k* in Fig. 1468) bewirkten Abdeckung endigt. In der Regel jedoch wird der letztere noch weit überragt durch das Kreuz.

Auch das Eisenwerk des Kreuzes ist der reichsten Gestaltung fähig und trägt zum Ausdruck des Ganzen wesentlich bei. Bemerken wir aber allem Andern zuvor, dass das Kreuz durchaus geschmiedet, nicht etwa gegossen, sein muss und auf seiner Spitze oft den Hahn trägt. Gegen diese an den alten Werken sehr oft vorkommende Verbindung von Kreuz und Wetterhahn ist durchaus nichts einzuwenden.

Kreuz und Hahn usw.

Der Schmuck des Kreuzes besteht in einer feineren Ausschmiedung seiner Endungen, in verschiedenartiger Ausbildung der Winkelbänder, welche die Arme verbinden, und bei grösserer Höhe in dem Zusatz von zwei oder vier, dem Fuss des Kreuzes angenietet oder mit Ringen befestigten, weit hinausgeschwungenen eisernen Ranken (s. Fig. 1469), deren Endungen wieder zu irgend einer blatt- oder blumenartigen Gestaltung ausgeschmiedet oder mit einer solchen verbunden sind. Kleine Türme begnügen sich nicht selten mit geschmiedeten Rankenbekrönungen ohne Kreuz. Die Eisenstange wird neuerdings, ebenso wie bei den Steinhelmen, gewöhnlich zum Anschluss eines Blitzableiters mit benutzt.

Die notwendige Zugänglichkeit der äusseren Helmflächen erfordert die wiederholte Anlage von Luken, welche zugleich zur Belebung des Turmes wesentlich beitragen. In einfachster Gestalt bilden dieselben kleine, auf Knaggen vortretende Giebeldächer, deren Holzwerk durchweg mit Schiefer oder mit Blei bekleidet wird (s. Fig. 1470). Die Wirkung dieser Giebeldächer wird wesentlich gesteigert durch Mittelstiele, welche die Giebelspitzen überragen wie die Helmstangen oder durch das Aufsetzen von wirklichen Helmen, welche häufig auch die alleinige Bedachung der Luken ausmachen, indem sie mit zwei oder drei Polygonseiten vor die Vorderflucht derselben vortreten (s. Fig. 1471) und sonach kleine Türmchen bilden, welche aus dem grossen Helm herauswachsen. Ein besonders ausgebildetes Beispiel dieser Art bilden die Helme der Teynkirche in Prag, die an vier Seiten kleine sechseckige, ausgekragte Türmchen etwa nach Fig. 1472 zeigen.

Dachluken.

Auch an den hölzernen Helmen können wagerechte Helmabteilungen erzielt werden entweder durch äussere Umgänge oder ein die Steigung unterbrechendes Zwischengeschoss mit lotrechten Wänden. Letztere sind der unteren Helmflucht aufgesetzt oder nach aussen vorgeschoben oder auch in der Weise zurückgesetzt, dass die oberen Helmflächen in die Verlängerung der unteren fallen. Die äusseren Umgänge bilden sich durch nach aussen um die beabsichtigte Galerieausladung vorspringende und von Kopfbändern gestützte Stichbalken, welche den Boden des Umgangs aufnehmen und die zuweilen eine von Fialen überragte Brüstung tragen, wobei jedoch die Fialen oben einen nochmaligen Verband mit den Sparren der oberen Helmwand erhalten müssen (Fig. 1463). Die Zwischengeschosse oder Laternen, für welche die Türme von Notredame zu Chalons sur Marne ein be-

Umgänge und Zwischengeschosse.

sonders reiches Beispiel bieten, ergeben sich mit Leichtigkeit aus jener S. 637 erwähnten Helmkonstruktion mit doppelten Eckstreben (s. Fig. 1477).

Einfache  
Turmdächer

Die Holzkonstruktion führt noch auf andere, mehr den gewöhnlichen Dächern entsprechende Turmgestaltungen, welche ihrem Charakter nach mehr weltlichen Werken eigen, dennoch bei beschränkten Mitteln auch an kirchlichen angewandt werden können und bei bescheidenen Dörfkirchen der nördlichen Länder oft auftreten; sie lassen eine grössere Mannigfaltigkeit zu und verdienen jedenfalls den Vorzug vor den neueren Versuchen, die Beibehaltung der typischen Helmform durch eine stumpfe niedrigere Gestaltung und die daraus hervorgehenden Ersparnisse zu ermöglichen. Es gehören hierher:

1. Die gewöhnlichen Giebeldächer mit steinernen und selbst mit hölzernen Giebelwänden, welche letztere die Holzkonstruktion offen darlegen oder, des Schutzes gegen die Witterung halber, geschiefert werden können. Die Mitte des Daches oder die vordere Giebelspitze sind besonders auszuzeichnen, erstere durch einen Dachreiter, letztere, in derselben Weise wie bei den Helmluken, durch eine den Sparrenanschluss überragende und das Kreuz oder die Wetterfahne aufnehmende Hängesäule.

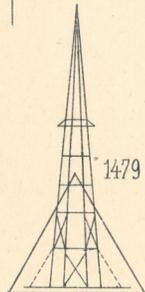
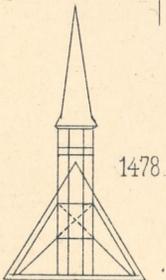
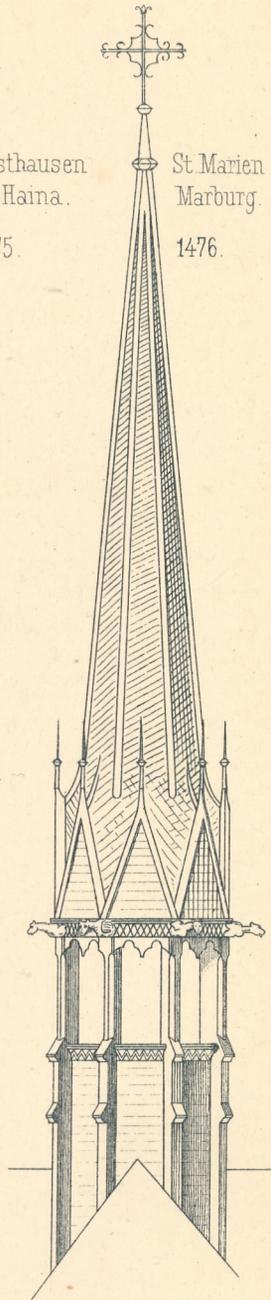
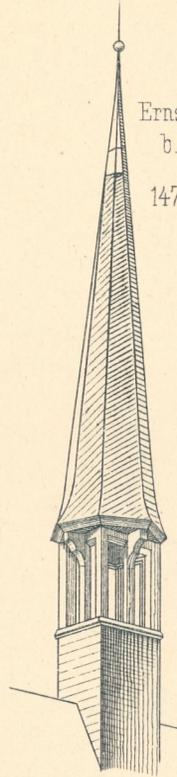
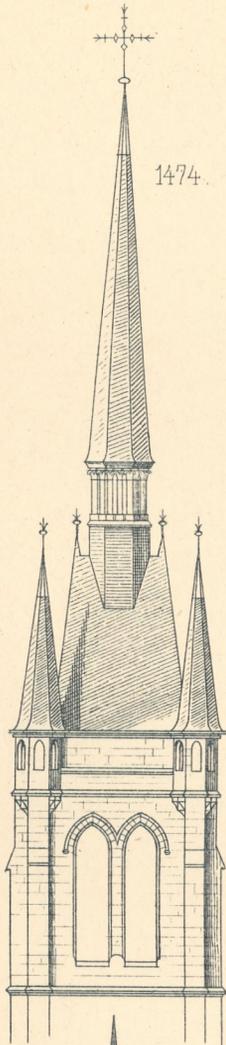
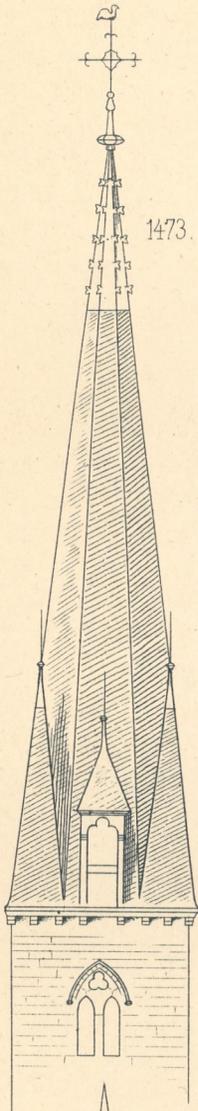
2. Die Walmdächer finden sich fast häufiger als die Giebeldächer, hauptsächlich nach jener in Fig. 1474 gezeigten Gestaltung, bei welcher durch verschiedene Neigungen der Dachflächen eine beliebige Firstlänge selbst bei quadratischen Grundrissen hervorgebracht werden kann. Dergleichen Dächer können auch über polygonaler Grundfläche ausgeführt werden, wobei meist die Länge einer Polygonecke die Firstlänge bestimmt. Wenn man geneigt ist, das Walmdach als ein Aushilfsmittel anzusehen, welches den wegen Mangels an Mitteln weggelassenen Helm ersetzen sollte, so wird ihm durch Aufsetzen eines Dachreiters jedenfalls das Gepräge einer von vornherein beabsichtigten Anlage verliehen. Die Fig. 1474 zeigt ein reicheres Beispiel dieser Art nach einem Turm in der Champagne mit Ecktürmchen über den Streben.

3. Die einander durchdringenden Giebeldächer stehen meist in Verbindung mit einem über der Mitte aufgesetzten Dachreiter (Marktkirchenturm in Hannover), zuweilen auch mit einer schlanken Helmspitze oder endlich nur einer stark erhöhten, Kreuz und Fahne tragenden Mittelsäule, an welche sich die vier Kehlsparren setzen.

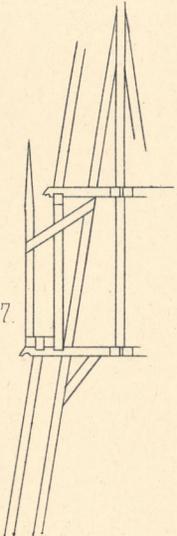
#### Von den Dachreitern.

Man versteht unter Dachreitern kleinere Türmchen, welche von einer unter der Dachfläche angeordneten Holzkonstruktion getragen werden und sonach aus dem Dach herauswachsen, so dass sie demselben und zwar in der Regel dem First rittlings aufzusitzen scheinen (Fig. 1475). Die Grundform derselben kann vier-, sechs- oder achteckig sein. In der Durchschnitiskonstruktion sind hauptsächlich zwei Arten zu unterscheiden: Entweder nämlich ist der Helm des Dachreiters von dessen darunter befindlichem Stockwerk mit lotrechten Wänden durch ein förmliches Gebälk geschieden (Fig. 1478) oder es setzen sich die Eckständer direkt in

Holzhelme und Dachreiter.



1477.





den Helmsparren fort (Fig. 1479), so dass es sich strenggenommen nur um einen durch das Dach wachsenden Helm handelt und das eigentliche Turmggeschoss nur durch die Durchbrechung gekennzeichnet wird. Ein Beispiel letzterer Art bildet der Dachreiter der Kathedrale von Paris, welcher von VIOLLET-LE-DUC ausgeführt wurde und wohl in jeder Hinsicht als unübertreffliches Muster anzusehen ist. (S. dict. rais. tom. V. pag. 454). Er unterscheidet sich von allen übrigen noch dadurch, dass die eigentliche Verstrebung, welche die Last auf die Kreuzpfeiler überträgt, wenigstens teilweise das Dach überragt. Wenn man die Last des Dachreiters nicht gut durch Hängewerke auf die Aussenwände oder Vierungspfeiler übertragen kann, so kann man ihn, falls er nicht gar zu schwer ist, auf sternförmig oder zu einander parallel gelegte lange Schwellen setzen, welche sein Gewicht auf eine möglichst grosse Zahl von Balken verteilen. Sehr leichte Dachreiter können selbst durch ein gut unterstütztes Kehlgebälk getragen werden.

Die Dachreiter sind an einfacheren Werken in der Regel durchweg geschiefert, nur die etwa den Helm oder den Giebel überragenden Endigungen der Helmstange und der Mittelsäule sind mit Blei gedeckt. Ein Beispiel dieser Art von der Marienkirche in Marburg zeigt Fig. 1476. Reichere Gestaltungen ergeben sich aus einer durchgängigen Bleiverkleidung, durch welche eine Pracht erzielt werden kann, welche der des ausgebildeten Steinbaus nicht nachsteht und dieselbe an einer wenigstens scheinbaren Kühnheit noch übertrifft. Als besonders glänzende Beispiele sind ausser dem schon erwähnten neuen Dachreiter in Paris noch die dem 14. und 15. Jahrhundert angehörigen der Minoritenkirche in Köln und der Kathedrale von Amiens anzuführen.

## 8. Beanspruchung der Holzhelme.

Holzhelme sind in statischer Beziehung den Steinhelmen so nahe verwandt, dass die für letztere abgeleiteten Formeln fast unverändert auch hier ihre Geltung behalten. Ein wesentlicher Unterschied ist lediglich darin zu sehen, dass die Zugfestigkeit des Holzes ausgenutzt werden kann, was sich besonders in der Möglichkeit kund giebt, den Schub der Sparrenenden ohne Mithilfe der Widerlagswände leicht aufzuheben.

Statt einer Wiederholung des bei den Steinhelmen Gesagten möge daher ein Beispiel zur weiteren Erläuterung dienen.

Beispiel: Es sind die Holzstärken eines grossen, mit Schiefer gedeckten Helmes zu berechnen, der mit Einschluss aller Konstruktionsteile 120 kg für jedes qm Mantelfläche wiegt und der bei 10 m unterer Breite 40 m Seitenhöhe (in der Schräge gemessen) hat.

Da die Seite eines 10 m breiten Achtecks 4,15 m beträgt, hat jede Helmfläche einen Inhalt von  $\frac{1}{2} \cdot 4,15 \cdot 40 = 83$  qm, ihr entspricht also ein Gewicht von  $83 \cdot 120 = \text{rd } 10000$  kg, so dass der ganze Helm 80000 kg wiegt.

Schub auf die Unterlage. Der Schub am ganzen Umfange ist:  $G \cdot \text{ctg } \alpha$  (s. S. 630). Der Neigungswinkel  $\alpha$  beträgt in der Seite  $82,9^\circ$ , an der Kante  $82,3^\circ$ , für beide ist genau genug  $\text{ctg } \alpha = 0,13$  zu setzen, also der Gesamtschub:  $G \cdot \text{ctg } \alpha = 80000 \cdot 0,13 = 10400$  kg. Wird angenommen, dass ausser den acht Ecksparren in jeder Fläche 3 Zwischensparren vorhanden sind, also im Ganzen 32 Sparren, die je auf einem Stichbalken stehen, so bekommt jeder der letzteren

Aufhebung  
des Schubes.