

IX. Die Aufrissentwicklung der Türme.*)

1. Die Ausbildung der Türme von der altchristlichen bis zur gotischen Zeit.

Zweck der Türme. Türme treten als Bestandteile der Kirchen seit dem 6. und 7. Jahrhundert sowohl in den östlichen wie in den westlichen Ländern immer zahlreicher auf. Sie waren kleine angebaute Treppentürme oder Warttürme, letztere gewöhnlich frei neben der Kirche aufgeführt. Um die gleiche Zeit dehnte sich auch der Gebrauch der Glocken aus, die man in freien Gerüsten neben der Kirche oder an geeigneten Stellen an bzw. über derselben aufhängte. Waren Türme vorhanden, die sich zur Aufnahme der Glocken eigneten, so war nichts natürlicher, als dass man sie darin unterbrachte. Wo es angängig war, passte man von vornherein die Ausbildung und Weite des Turmes diesem Zwecke an, bisweilen wurde auch der Zwischenbau zwischen zwei kleineren Treppentürmen genügend hoch hinaufgezogen, um oben eine Glockenstube zu liefern. Allmählich wurde die Bergung der an Zahl und Grösse zunehmenden Glocken immer mehr bestimmend für die Ausbildung eines oder mehrerer Haupttürme. Daneben behielten auch einfachere Treppentürme ihre Geltung, die mit den Glockentürmen zusammen zu den vornehmsten äusseren Wahrzeichen der Würde des Gotteshauses wurden.

Frei-stehende Türme. In Italien blieben die Glockentürme gewöhnlich von der Kirche getrennt, während sie in den nördlichen Ländern organisch mit derselben verbunden wurden. In Deutschland hat sich, abgesehen von den frühesten, nicht erhaltenen Holzkirchen, nur in einzelnen Gegenden (Böhmen, Schlesien, Nordseeküste) der Brauch eines getrennten Turmes im Mittelalter einige Geltung verschafft. Die schwierigere aber auch lohnendere Aufgabe wurde dem Baukünstler durch die Verschmelzung der Turmanlage mit dem Gotteshause gestellt. Nach dieser Richtung hat die romanische und gotische Kunst ihre endlos schöpferische Kraft wieder in staunenswerter Fülle und Vielseitigkeit bethätigt; man kann wohl behaupten, dass keine Möglichkeit der Turmlösung unversucht geblieben ist. Besonders entspann sich ein Wettstreit

Angebaute Türme.

*) Grundrisse s. S. 308.

zwischen dem östlichen und westlichen Teil der Kirche, und das nicht allein bei der doppelhörigen Anlage, sondern auch bei dem ausgesprochen gegen Osten hin entwickelten Grundriss.

Im Osten wurde die Vierung durch einen Aufbau hervorgehoben, der, von zwei oder vier schlanken Türmen begleitet, in Gemeinschaft mit dem Querschiff und den reichen Chorendigungen ein wunderbares perspektivisches Bild lieferte. Auf der anderen Seite rang der Westbau nach Bedeutung, den Zugang zu der Kirche betonend und zum Eintritt durch seine Glockenrufe einladend. Je nachdem die Westseite oder die Vierung den Vorrang gewann oder beide sich in ein gewisses Gleichgewicht setzten, war, unter Mitwirkung der wechselvollen Ausbildung der verschiedenen Türme, die grösste Mannigfaltigkeit gegeben.

Türme der Osthälfte.

Der Vierungsturm konnte quadratisch aus den Dächern heraustreten und sich in 2, 3 und mehr Geschossen zu einer ansehnlichen Höhe über den Bau erheben, wie bei Gross-St.-Martin zu Köln, St. Georg zu Bochartville, St. Philibert zu Tournus, den Kirchen zu Tours, Cluny und vielen englischen Werken, oder er konnte in das Achteck überführt werden, sei es oberhalb des Daches wie zu Königslutter oder bereits unterhalb der Dachfläche, wie bei den romanischen Kirchen des Rheinlandes, deren hochgeführte Vierungsgewölbe auch im Innern in das Achteck übergehen. Die Kathedrale zu Toro in Spanien hat einen zweigeschossigen sechzehneckigen Vierungsturm mit vier angelehnten Seitentürmchen. Solche mit dem Mittelbau verwachsene Eck- oder Treppentürmchen treten auch bei anderen Beispielen in der Ein-, Zwei- oder Vierzahl auf, bei Gross-St.-Martin zu Köln überragen sie das Hauptgesims des Vierungsturmes noch um zwei Geschosse.

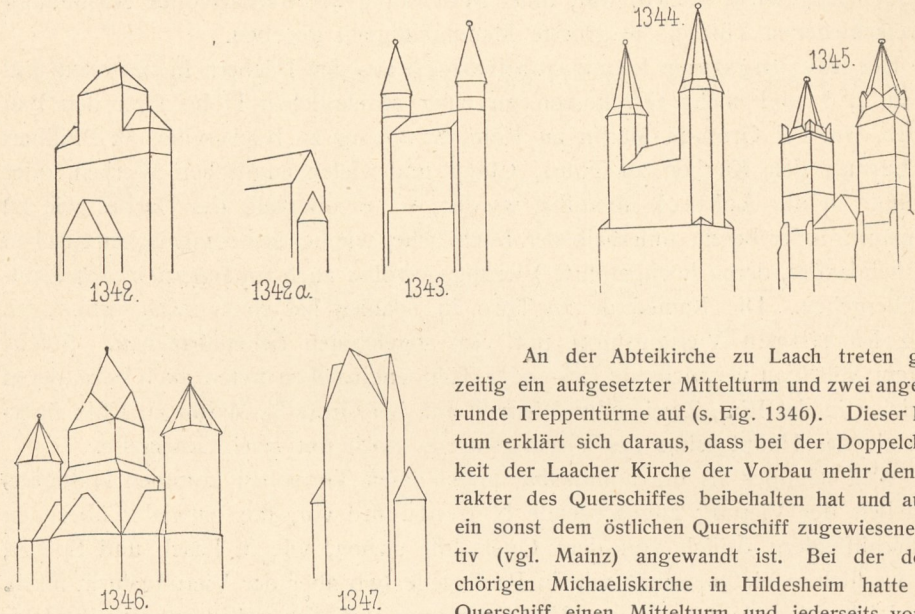
Weit häufiger als die unmittelbar angelehnten Türmchen kommen kräftigere, frei neben der Vierung aufwachsende Nebentürme vor, die entweder über den Seitenschiffeldern östlich von dem Querschiff stehen, wie in Laach und Speyer, oder westlich vom Querschiff wie in Paulinzelle (wo aber der Vierungsturm fehlt). Das gleichzeitige Auftreten eines Vierungsturmes mit vier völlig entwickelten Begleittürmen ist selten. Die Nebentürme sind viereckig, achteckig oder rund (Worms) und mit hölzernem oder massivem Helm bedeckt, während der Vierungsturm selbst durch einen schlanken Helm, ein flacheres Zeltdach (St. Aposteln zu Köln) oder eine Kuppel gekrönt wird. Bald sind die Nebentürme höher geführt, bald der Mittelbau. Bedenkt man nun noch, dass auch an den Enden des Querschiffes und neben oder über dem Ostschluss der Kirche einfache oder gepaarte Türme und Türmchen auftreten, so lässt die Mannigfaltigkeit der Turmbildungen der östlichen Hälfte nichts zu wünschen übrig.

Fast ebenso zahlreiche Abwandlungen lässt die Westseite zu, wenn auch weniger im Grundriss als im Aufriss. Während die italienischen Basiliken vorn häufig durch eine einfache Wand, der sich höchstens unten eine Vorhalle oder ein Vorhof vorlegt, abgeschnitten sind, pflegen die deutschen und französischen Kirchen schon in früher Zeit einen, vielleicht auf die doppelhörigen Anlagen zurückführenden, höher geführten westlichen Querbau aufzuweisen. Derselbe nimmt einfachsten Falles die Treppen im Innern ohne äussere Kennzeichnung auf und ist oben durch ein gerades, querliegendes Dach geschlossen.

Türme der Westseite.

Weit lebendiger wird der Aufbau, wenn er sich in der Mitte etwas erhebt (s. Fig. 1342, Dom zu Minden), wodurch die erste Entwicklungsstufe eines „einfachen“ Mittelturmes gewonnen ist, der sich in beliebig gesteigerter Höhenentwicklung auf dem Querbau erhebt, entweder einfach aufgesetzt oder organisch von unten auf vorbereitet.

Einen anderen Entwicklungsgang nimmt der Westbau, wenn ihm seitlich Treppentürmchen angebaut werden (Fig. 1342a). Sobald dieselben oben hinausragen, ist der Keim für die Ausbildung zweier Westtürme gelegt (s. Fig. 1343, Liebfrauenkirche zu Maastricht).



An der Abteikirche zu Laach treten gleichzeitig ein aufgesetzter Mittelturm und zwei angebaute runde Treppentürme auf (s. Fig. 1346). Dieser Reichtum erklärt sich daraus, dass bei der Doppelchörigkeit der Laacher Kirche der Vorbau mehr den Charakter des Querschiffes beibehalten hat und auf ihn ein sonst dem östlichen Querschiff zugewiesenes Motiv (vgl. Mainz) angewandt ist. Bei der doppelchörigen Michaeliskirche in Hildesheim hatte jedes Querschiff einen Mittelturm und jederseits vor dem Giebel einen runden Treppenturm. Sonst ist bei dem ausgesprochenen westlichen Vorbau die Dreitürmigkeit selten; häufiger kommt es schon vor, dass sich der Querbau zu einem hohen Mittelturm zusammenzieht und diesem direkt seitliche Treppentürme angesetzt sind (so am Dom zu Paderborn, Fig. 1347).

Die einfachen Westtürme treten naturgemäss bei den kleinen einschiffigen Kirchen auf, während die grossen mehrschiffigen Stadtkirchen und besonders die Dome mit wenigen Ausnahmen (wie Paderborn, Freiburg, Ulm) zwei Westtürme erhalten haben.

Die beiden Türme können mit dem Querbau darunter ohne namhafte senkrechte oder wagerechte Teilung zu einer einzigen Masse verwachsen sein, wie bei vielen alten niedersächsischen Bauten, s. Fig. 1344, Neuwerker Kirche zu Goslar; oder sie setzen sich auf eine Gesimsteilung in Traufenhöhe des Querbaues, wie bei der Pfarrkirche zu Andernach oder zeigen sich schliesslich schon von unten auf als selbständige Baukörper ausgesprochen, sei es durch trennende Lisenen oder Strebepfeiler, sei es durch ein Vorspringen des Zwischenbaues (Jerichow), oder sei es durch ein Vortreten der Turmfluchten. Diese Absonderung der Türme von ihrem Zwischenbau kommt schon in früher Zeit vor und verschafft sich gegen Schluss der romanischen Zeit mehr Geltung, bis sie in der Gotik zur alleinigen Herrschaft gelangt. Dabei kann der Zwischenbau sein quer gerichtetes Dach bewahren, was besonders in Niedersachsen noch lange der Fall war, oder es

kann der Giebel des Mittelschiffes an der Westseite zu Tage treten, wie es sich schon früh an den rheinischen, süddeutschen, südfranzösischen und normannischen Kirchen zeigt. Siehe als Beispiel Figur 1345, Kirche zu Gebweiler.

Ihrer Grundform nach waren die alten Treppentürme häufig rund (S. Vitale zu Ravenna, Aachen, Gernrode), aber auch runde Glockentürme kommen vor (Ravenna); in Deutschland sind runde Türme vielfach am Rhein anzutreffen, auch die Gegend zwischen Bremen und Hamburg zeigt häufiger runde Ziegeltürme an der Westseite der Kirche; die Regel bildet aber für den romanischen Turm die quadratische Form, die sich bis oben zu dem Zeltdach oder bis zu der aus den Giebeln wachsenden vierseitigen Haube ohne Veränderung emporhebt. Beachtenswert ist, dass die niedersächsischen Kirchen schon sehr früh eine Überführung in das Achteck zeigen, sei es hoch oben, wie an der Stiftskirche zu Königslutter, oder schon weit unten, wie am Dom zu Braunschweig, der Neuwirkerkirche zu Goslar (Fig. 1344).

Eine Geschossteilung ist bei manchen altchristlichen und romanischen Türmen, zumal bei den Türmen schlichter Dorfkirchen, überhaupt nicht ausgesprochen, sie wachsen von unten ab ohne Gurtgesims in die Höhe (Königslutter) und werden durch Fenster oder Schallöffnungen, deren Grösse sich nach oben steigert, belebt. Ebenso findet sich ein ungeteiltes Aufwachsen bis zur Höhe des Mittelschiffes und von dort ab eine Zerlegung in zwei oder drei stärker durchbrochene Geschosse. Schliesslich kommt schon in früher Zeit, allgemeiner aber in dem späteren romanischen Kunstabschnitt, eine Geschossteilung von unten herauf vor, wobei die Zahl der Stockwerke zwischen vier und sechs zu liegen pflegt, sich aber auch bis acht steigert (vgl. Osttürme zu Bamberg, Turm zu Pisa; der Glockenturm zu Pomposa hat sogar 10 Geschosse). Die gotischen Kathedralen gehen meist auf 4 hohe Turmgeschosse zurück, die sich mit der Kirche in angemessene Beziehung setzen (s. unten).

Die Turmverteilung hatte sich überhaupt mit Eintritt der Gotik ziemlich abgeklärt, der Wettstreit war zu Gunsten der Westseite entschieden, welche ein oder zwei hoch hinaufragende Türme erhielt, die Ostseite entfaltete dagegen ihren Reiz in einer reichen und lieblichen Gruppierung des Querschiffes und der Chorendigung, der sich bei grossen Werken ein Kranz zierlicher Kapellen anfügte. So war die Richtung der Kirche von Westen nach Osten klar zum Ausdruck gebracht. Gegenüber dem reichen Chorabschluss nahm die Bedeutung der Vierung im Innern und Äussern ab, sie blieb daher ohne besondere Kennzeichnung oder begnügte sich mit einem kleinen schlanken Dachreiter. Grössere gotische Vierungstürme treten, abgesehen von Zentralkirchen, nur in einzelnen Gebieten (z. B. England) etwas häufiger auf; Deutschland hat nur wenige Beispiele aufzuweisen (Katharinenkirche zu Oppenheim, St. Thomas in Strassburg). Im ganzen ist in gotischer Zeit der Turmreichtum etwas eingeschränkt, ein oder zwei Haupttürme beherrschen den Bau, weitere kleine bekronende Türmchen oder Treppentürme dienen nur zur Belebung der einzelnen Baukörper.

Wo besondere Umstände, mochten sie in der Örtlichkeit oder dem inneren

Organismus des Baues begründet liegen, darauf hinleiteten, scheute man sich nicht vor unsymmetrischen Turmbildungen.

Im allgemeinen ist der Turmreichtum ein Massstab für die Bedeutung des Gotteshauses; während kleinere Ordenskirchen gemäss ihrer sonstigen Einfachheit sich mit einem Dach- oder Giebelreiter zu begnügen pflegten und die Dorfkirchen meist einen den Bau wenig überragenden schlichten Westturm erhielten, wetteiferten die Stadtkirchen und Kathedralen in den grossartigsten Turmentfaltungen, die nur zum kleineren Teil fertig auf uns gekommen sind, zum grösseren Teil dem Geschmacke späterer Zeiten sich haben beugen müssen oder auch ihre Vollendung nie erreicht haben, da die hohen Ziele der ersten Erbauer von deren Nachkommen nicht mehr verstanden wurden.

2. Die Stockwerkteilung der Türme.

Die Zusammengehörigkeit der Türme mit der Kirche führte auf eine Übereinstimmung oder doch auf bestimmte Beziehungen zwischen den Höhenteilungen beider. Beziehung zur Kirche. Da bei organischer Durchbildung die wagerechten Abteilungen an allen Bauteilen der Kirche möglichst gleichartig durchgeführt sind, hat die Stellung der Türme zur Kirche in dieser Hinsicht wenig Einfluss, es wird also ein dem Mittelschiff vorgelegter Turm im wesentlichen dieselbe Aufrissentwicklung fordern, wie die den Seitenschiffen vorliegenden Doppeltürme.

Bei den Basiliken haben die Türme gewöhnlich vier Geschosse, von denen Zahl der Geschosse. das erste den Seitenschiffen entspricht, das folgende dem höherragenden Mittelschiff. Das dritte Geschoss hebt die Türme über die Dachhöhe des Mittelschiffes hinaus und das vierte, alle Teile der Kirche unter sich lassende Stockwerk nimmt endlich die Glocken auf und bildet die Überleitung zu dem Helm; aus diesem Grunde ist es oft in die achteckige Grundrissform überführt. Besonders klar zeigt sich die Vierteilung in den Doppeltürmen zu Reims, Köln und Strassburg und in dem Einzelturm zu Ulm ausgesprochen. Die Vierteilung oder, unter Einrechnung des Helmes, Fünfteilung der Höhe ist aber durchaus nichts unbedingt Feststehendes, es finden sich ebenso oft Zusammenziehungen zweier Geschosse, wie Zerlegungen einzelner in Unterabteilungen. Besonders oft und mit voller Berechtigung zeigt sich die Höhe des Seitenschiffdaches bzw. der Triforien als eine Unterabteilung des zweiten Geschosses oder als eine selbständige kleinere Zwischenteilung ausgesprochen, wie zu Amiens, Paris und Mantes (Fig. 939). Wo das Seitenschiff Emporen hat, überträgt sich seine Zweiteilung der Höhe auch auf den Turm, wie zu Limburg; ähnlich ist bei der Elisabethkirche zu Marburg die Teilung des Seitenschiffes durchgeführt, während infolge der Hallenform darüber eine Abteilung ausfällt, wie sich überhaupt bei Hallenkirchen die einfachere Höhenteilung auch im Turm kundgibt. Die beiden oberen Turmgeschosse werden nicht selten zu einem vereinigt, auch wird wohl das vierte zu Gunsten einer reichen Überleitung in den Helm unterdrückt, wie an der Kathedrale zu Seez.

Die Höhe der Geschosse kann ganz oder nahezu gleich sein, wie zu Ulm und Köln, oder sie kann nach oben eine allmähliche Steigerung und umgekehrt eine Abnahme zeigen. Höhe der Geschosse. Schön ist auch ein Wechsel von niedrigen und hohen

Teilen, besonders wenn damit eine Steigerung nach oben verbunden ist. Schliesslich kann das starke Vorherrschen eines Geschosses eine glückliche Wirkung hervorrufen (Marburg). Alle diese Lösungen sind durch schöne Beispiele vertreten.

Die beiden unteren Turmgeschosse.

Der Raum des unteren Turmstockwerks der Westtürme ist, wie bei der Grundrissentwicklung angeführt, entweder von der Kirche abgeschieden und dient zur Vorhalle, oder er ist zu dem Innern derselben gezogen. Im ersteren Falle können sämtliche freistehende Turmseiten, oder, wie in Freiburg, nur die westliche von Bogenöffnungen durchbrochen sein und das eigentliche Portal in der östlichen sich finden. Immer aber sind die Eckpfeiler als die wesentlichen Stützen des ganzen Turmbaues anzusehen.

Das untere Stockwerk.

Die Höhe der Vorhalle wird bei Anlage eines überhöhten Mittelschiffs durch die der Seitenschiffe, bei gleichen Schiffshöhen und den Seitenschiffen eingebauten Emporen oder Galerien durch die Bodenhöhen derselben, oder bei doppelten Fensterreihen durch die vor der oberen Fensterreihe befindlichen Umgänge bestimmt. Die Gründe hierfür ergeben sich aus der Bedingung der Kommunikation der beiderseitigen Triforien, Umgänge oder Emporen. Ferner müssen aus denselben Gründen die Höhen der beiden unteren Turmstockwerke zusammen der Mittelschiffshöhe gleichkommen.

Es bildet das zweite Geschoss einen gewölbten Saal, welcher entweder zum Innern gezogen oder gegen die Kirche geschlossen und wie eine zweite Vorhalle nach aussen geöffnet ist, die zum Durchlassen des Lichtes nach dem Schiffe dienen kann.

Zweites Geschoss nach aussen geöffnet.

Der Fussboden des oberen nach aussen geöffneten Turmraumes muss in der Weise konstruiert werden, dass das durch die Bogenöffnungen hereinkommende Wasser dem unteren Gewölbe nicht nachteilig wird und vermittelt rings umgelegter Rinnen und Ausgüsse leicht abgeführt werden kann. Beispiele von Mittelschiffstürmen dieser Art wüssten wir nicht anzuführen, an einzelnen französischen Seitenschiffstürmen findet sich indes diese Anlage, unstreitig die grossartigste von allen.

Öffnet sich der Turm nach dem Innern der Kirche, so wird sich in seinem unteren Geschosse ein dem Vorhallengewölbe entsprechendes inneres Gewölbe bilden, das ganz frei zum Innenraum gezogen oder durch nochmaligen Thürabschluss zu einem geschlossenen Vorraum (Windfang) umgebildet werden kann. Das Geschoss darüber bildet eine gegen das Mittelschiff offene Empore, die neuerdings meist zum Unterbringen der Orgel oder des Sängerkhores benutzt wird.

Nach innern geöffnete Türme.

Unter Voraussetzung einer ausreichenden Stärke der Eckpfeiler können die Fenster die volle Breite zwischen denselben ausfüllen. Ja es kann durch eine starke Verringerung der Fensterbreite unter die der Thüröffnungen der Stabilität eher Eintrag geschehen, weil die auflastenden Wandmassen den Schub des Thürbogens vergrössern.

Wo eine geringere Fensterweite dennoch geboten sein sollte oder die Fenster ganz fehlen, wie dies teils durch die Einfachheit der ganzen Anlage, teils durch die Aufstellung des Orgelwerks in dem zweiten Turmstockwerke bedingt sein kann, da sind Blenden am Platze, welche die obere Mauerlast verringern und nach innen oder nach aussen sichtbar sein können.

Wenn das Bedürfnis nach einer solchen Empore nicht vorliegt, besonders bei kleinen einschiffigen oder Hallenkirchen, so können die beiden Geschosse zu einem einheitlichen freien Mittelraum von der Höhe des Mittelschiffes verschmolzen werden. Das architektonische System der Kirche, also bei überhöhtem Mittelschiff die Triforien und oberen Lichtgaden, wird dann im Turm gerade so herumgeführt, wie in allen übrigen Teilen der Kirche.

Dabei aber kann die Fortführung der Triforien unter Umständen besser durch eine um die Eckpfeiler herumleitende innere oder äussere Auskrägung, als durch eine Durchbrechung derselben bewirkt werden. Direkte Beispiele der Art von mittelalterlichen Werken vermögen wir nicht anzugeben, indes mag dafür der ziemlich analoge Fall des Zentralturmes von St. Maclou in Rouen eintreten (s. Fig. 1348), in welchem ein oberhalb der Mittelschiffsgewölbe angelegter Umgang über den Seiten des Quadrats innerhalb der Mauerdicke, vor den Eckpfeilern aber auf einer nach dem vierten Teil eines Achtecks im Grundriss gebildeten Auskrägung angeordnet ist. Eine Anwendung auf den vorliegenden Fall würde etwa der in Fig. 1349 dargestellte Grundriss geben. Derselbe lässt sich auch nach 1349 a dahin ändern, dass der Umgang vom Triforium aus auf einer oberhalb der Seitenschiffsgewölbe angelegten Auskrägung *a*, und durch die Giebelmauer hindurch bei *c* nach aussen, und dann entweder durch die Turmmauer zurück auf ein inneres Triforium geführt würde, oder aber, wie Fig. 1349 a zeigt, auf der äusseren Turmseite sich fortsetzte.

In jedem Falle entsteht also aus der Fortführung der Triforien zwischen dem Portalstockwerk und dem oberen Lichtgaden eine Zwischenabteilung, die natürlich verschiedene Gestaltung annehmen muss, je nachdem die Rückwand des Triforiums oder Umgangs nach innen oder aussen gelegt, fensterdurchbrochen oder geschlossen ist. Ferner entsteht, wie an den Giebelmauern, an der Sohle des oberen Lichtgadens ein zweiter von dem unteren getragener Umgang. Gleichwie aber für die Giebel auf S. 426 bemerkt wurde, können die Höhenverhältnisse auf eine Weglassung des oberen Umganges, mithin eine Herabsenkung der Fensteröffnungen bis zur Sohle des unteren, also auf dieselbe Anlage führen, welche sich aus der Zweiteiligkeit der Seitenschiffe oder Seitenschiffsmauern bei Hallenkirchen ergibt.

Fehlt bei Hallenkirchen oder einschiffigen Kirchen jene Zweiteiligkeit, so kann, wenn sie nicht im Turme dennoch angenommen ist, das obere Fenster konsequenterweise bis auf den Portalgiebel hinabgehen, oder selbst nach der S. 569 angegebenen Anordnung mit dem Portal in Verbindung treten.

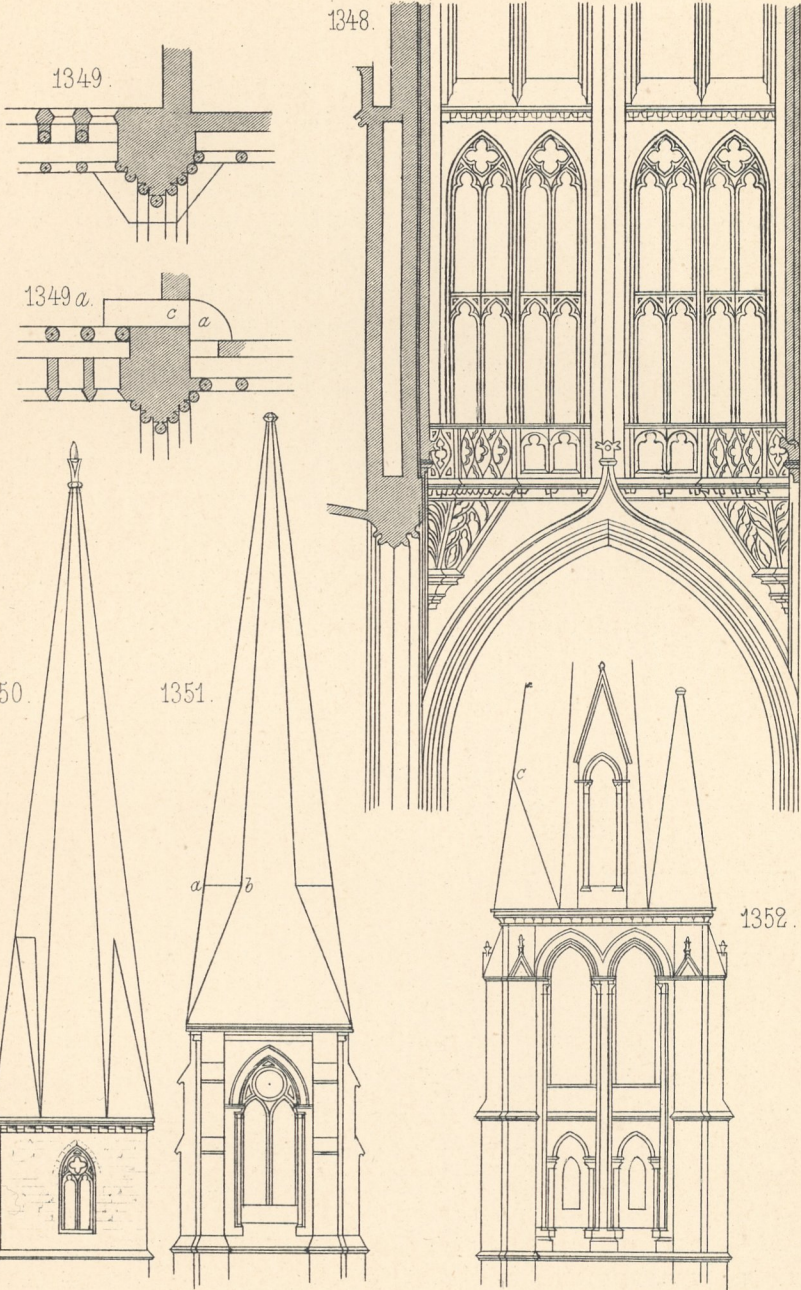
Verlegen wir nun das Portal und das Mittelschiffsfenster in die östliche Turmwand, so kann sich eine Vorhalle von einer dem Mittelschiff gleichen Höhe ergeben, welche sich nach aussen durch Bogen von der gleichen Höhe öffnet. Eine solche Anordnung ist aus verschiedenen Gründen verfehlt. Erstlich wird der Zweck der Überdeckung der Vorhalle durch das Missverhältnis der Höhe der Öffnungen zu der Tiefe des Raumes bei unserem Klima in ähnlicher Weise in Frage gestellt, wie an den antiken, nach dem üblichen Kanon angelegten Säulenportiken, zweitens der Begriff der Vorhalle durch die dem Inneren gleiche Höhe aufgehoben, drittens die Wirkung der sonstigen Aufrissteile durch die Höhe dieser Öffnungen beeinträchtigt.

Wie bereits oben bemerkt, gilt alles seither Gesagte auch von den den Seiten-

Vereinigung
der beiden
unteren
Geschosse
im Innern.

Vereinigung
der unteren
Geschosse
im Aussen.

Aufrissbildung der Türme.



schiffen vorgelegten Doppeltürmen. Wenn hier gewöhnlich der untere Turmraum mit den Seitenschiffen die gleiche Höhe einhält und die Höhe des oberen durch die der Mittelschiffsgewölbe sich bestimmt, so findet sich doch auch zuweilen, wie an der Kathedrale von Noyon, die Vereinigung beider Höhenabteilungen durch die Weglassung jener Zwischengewölbe bewirkt, gerade wie bei den dem Mittelschiff vorgelegten Türmen. Hiernach also bilden diese Turmräume in Verbindung mit dem westlichen Mittelschiffsjoch gleichsam ein zweites westliches Kreuzschiff, welches je nach der Grundfläche der Türme entweder nach Süden und Norden über die Seitenschiffsfluchten hinauspringt, oder damit abschliesst, im Übrigen aber sich dem wirklichen Kreuzschiff völlig analog verhält.

Die unteren
Geschosse
bei Doppel-
türmen.

Es öffnen sich also die Turmräume unten nach den Seitenschiffen und oben nach dem dazwischen liegenden Mittelschiffsjoch durch entsprechende Bogenöffnungen, die Triforien setzen sich an je drei Turmseiten fort und stehen durch das in der westlichen Giebelmauer befindliche mit einander in Verbindung, und darüber sind ebenso je drei Turmseiten mit Fenstern durchbrochen. Aus Hallenkirchen mit zweistöckigen Seitenschiffen oder Seitenschiffsmauern ergeben sich auch hier die entsprechenden Anlagen, also entweder ein Zwischengewölbe oder ein einfacher Umgang. Wie bei den Mittelschiffstürmen indes können auch hier den Türmen Emporbühnen selbst dann eingebaut sein, wenn sie den Seitenschiffen fehlen, wie in St. Elisabeth in Marburg.

Das dritte Turmgeschoss.

Das folgende Turmstockwerk, das dritte also, wenn wir die dem Triforium angehörige Höhenabteilung übergehen, erfüllt zunächst den Zweck, die Glockenstube über das Kirchendach emporzuheben, damit der Glockenklang sich nach allen Seiten verbreiten kann, bildet also eigentlich den Unterbau der Glockenstube, und enthält demgemäss häufig die unteren Teile des Glockenstuhls.

Hiernach ergibt sich die nächstliegende Höhenbestimmung aus der Dachhöhe. Indes liegt hierzu keine direkte Nötigung vor, und es finden sich Beispiele für Abweichungen nach oben und unten. Bei nur einem Westturme liegt das Kirchendach der östlichen Mauer dieses Stockwerks an und wird bei Hallenkirchen oft noch in das folgende Stockwerk hineinragen müssen, wenn es über die gesamte Langhausbreite gelegt ist.

Es ist dieses Stockwerk das untergeordnetste von allen und erscheint mehr als Zwischengeschoss zwischen den unteren den Schiffen angehörigen Turmteilen und der Glockenstube. An einfacheren Werken zeigt es daher nur geschlossene, von kleinen Fenstern spärlich durchbrochene Mauern, die jedoch durch innere Blenden erleichtert sein können. Der etwaige äussere Rücksprung der Mauerflucht gegen die des darunter liegenden Stockwerks, welcher sich durch die Absetzung der Mauerstärken ergibt, wird einfachsten Falles durch einen Wasserschlag gebildet, kann indes bei grösseren Dimensionen auch zur Anlage eines Umgangs dienen, welcher die beiderseitigen Dachgalerien verbindet und mit einer geschlossenen oder durchbrochenen Brüstung versehen ist und so den unteren Turmteilen einen

Umgänge
und
umlaufende
Arkaden.

reicherer Abschluss gewährt. Hieraus ergibt sich ein sehr folgenreiches und verschiedenster Behandlung fähiges Motiv für die Aufrissentwicklung. Nehmen wir an, dass über diesem Geschoss, also am Fusse der Glockenstube, ein zweiter Umgang anzulegen sei, der allerdings durch die Disposition der Glocken gefordert erscheinen kann als Erweiterung des durch letztere ausgefüllten Raumes, so würde die Mauerdicke kaum eine nochmalige, hierzu ausreichende Absetzung gestatten. Mithin würde entweder eine Auskragung des oberen Umgangs, oder eine Benutzung des unteren Rücksprungs für eine auf dem Rande desselben stehende Säulenstellung zur Unterstützung der oberen Bodenplatten gefordert sein, in derselben Weise wie in den Schiffen der vor dem oberen Lichtgaden befindliche Umgang von den Säulenstellungen des Triforiums getragen wird, oder wie der Boden des letzteren an den Giebelmauern der Kreuzschiffe auf den Säulenstellungen des vor den unteren Fenstern befindlichen Umgangs sein Auflager findet (s. S. 426). Alle dort aufgeführten Konstruktionen sind daher auch hier anwendbar, Beispiele dieser Art bieten die Kathedrale von Paris und die Kollegiatkirche in Mantes (s. Fig. 939).

Mittelschiff-
dach
und Terrasse
zwischen
den Türmen.

Bei doppelten Türmen ohne hochgeführten Mittelbau dringt das Mittelschiffsdach bis in die vordere Flucht, wobei jedoch die Rinne zwischen den Türmen weiter nach innen, mithin höher hinaufrückt als auf den Langseiten der Kirche. Da sie zudem durch die lotrechte Stellung der Turmmauer wesentlich verengt wird, so würde sie besser noch weiter hinaufzurücken, und von derselben aus eine kurze Dachfläche nach der Turmmauer hin anzulegen sein. Da nun ferner die Ableitung des Wassers nach vorn durch die die Türme verbindende, sich vor dem Westgiebel hinziehende Arkadengalerie gewisse Schwierigkeiten darbietet, so erklärt sich hieraus der Abschluss des Kirchendaches an der östlichen Turmflucht, und die Anlage einer Terrasse über den westlichen Mittelschiffjochen, wie sie an der Kathedrale von Paris sich findet, und welche allen jenen Schwierigkeiten ausweicht.

Blenden
und Blend-
arkaden,
Bogen-
öffnungen.

Die Wand des dritten Turmstockwerkes hinter den umlaufenden Säulenstellungen kann von Fenstern durchbrochen und wieder in wirksamer Weise von den zur Erleichterung der Mauermasse dienenden Blenden belebt werden. An der Kathedrale von Paris sind auf jeder Seite des Turmquadrats zwei innere Blenden angelegt, so dass das konstruktive System des betreffenden Stockwerkes, ausser den vier Eckpfeilern, noch ebensoviele Mittelpfeiler enthält, welche auf die Bogenscheitel der unteren Fenster zu stehen kommen. Zwei oder mehr solcher Blenden können auch beim Fehlen jener Säulenstellungen das Motiv der Gestaltung für das in Rede stehende Turmstockwerk abgeben, wie an den Kathedralen von Laon und von Strassburg, an welchen die Blenden nach aussen gelegt oder selbst zu wirklichen Bogenöffnungen werden.

In der Anlage der Blenden muss indes in allen Fällen eine gewisse sichtbare Beziehung sowohl zu den Durchbrechungen des darunter wie des darüber befindlichen Stockwerkes gewahrt werden, wir werden darauf, sowie auf die etwaige Vorbereitung der polygonen Glockenstube, weiterhin nach der Untersuchung der letzteren zurückkommen.

Die dekorative Wirkung der das Dachstockwerk umziehenden Umgänge und Säulenstel-

lungen kann in kleineren Dimensionen dadurch angestrebt werden, dass mit Weglassung der Umgänge die Säulen der Mauerflucht völlig oder beinahe anliegen, und durch Kapitäl und Basis und etwa noch durch Binder damit zusammenhängen, während die auf denselben geschlagenen Bogen der Mauer eingebunden sind. Zuweilen bestehen auch die letzteren aus einzelnen der Mauer vorgeblendeten Platten, die dann aber mehr masswerkartig gehalten und je nach dem Schema des Masswerks durchbrochen sind. Ferner sind häufig auch die Säulchen den eingebundenen Schichten angearbeitet, und schliesslich an den späteren Werken durch kapitällose, das einfache Masswerkprofil der Bogen fortsetzende Pfosten ersetzt. Als ein nüchterner Nachklang sind vier durch Bogenfriese verbundene Ecklisenen anzusehen, welche sich an den einfacheren Türmen der spätesten Periode häufig finden, deren Bogen kleinen Kragsteinen aufsitzen, wenn nicht ihre Gliederung einfach über den unteren wagerechten Abschnitt herumgekröpft ist.

Die beiden Hauptanordnungen des Dachstockwerks, die Säulenstellungen und Bogenöffnungen, differieren hinsichtlich ihres Grundcharakters in wesentlicher Weise, indem erstere mehr eine horizontale Scheidung der darüber und darunter befindlichen Stockwerke bewirken, letztere dagegen eine Verbindung derselben in vertikaler Richtung darstellen. Die Anwendung einer Säulenstellung beschränkt sich indes nicht auf den hier angegebenen Ort, sondern kann auch an anderen Turmstockwerken angeordnet werden, und zwar selbst als Gitterwerk vor grösseren die Rückwand durchbrechenden Fensteröffnungen.

Das vierte Turmgeschoss.

Das vierte Turmstockwerk, welches die Glockenstube enthält, ist das wichtigste von allen und soll sich auch im Äussern durch Höhe und Gestaltung als solches kundgeben. Es bildet seiner Bestimmung gemäss einen in verschiedener Weise gedeckten Raum, der durch weite und hohe Bogenöffnungen den Glockenklang ausströmen lässt.

Die Schallöffnungen.

Bei jenen einfacheren, dem Bruchstein- oder Ziegelbau angehörigen Türmen kleinerer Dorfkirchen, die überhaupt nur spärlich durchbrochen sind, ist auch die Grösse der Schallöffnungen eine geringere. Bei den romanischen und frühgotischen Dorfkirchen der norddeutschen Tiefebene sind oft die Schallöffnungen in Form zweier durch Säulchen getrennter Bogenfenster die einzigen Turmdurchbrechungen; selbst äussere Thüren fehlen vielfach an diesen einst als Zufluchtsstätte dienenden Türmen. In jedem Falle sollte bei den Schallöffnungen eines vorherrschen, entweder wie in Fig. 1350 die Mauermasse, oder wie in Fig. 1351 die Grösse der Durchbrechungen. An den grösseren französischen Türmen mit Glockenstuben von viereckiger Grundform, wie zu Paris, Soissons Mantes (s. Fig. 939), findet sich jede Seite von zwei hohen Bogenöffnungen durchbrochen. Die Vorteile dieser schon an den romanischen Türmen zuweilen vorkommenden Zweiteilung sind verschiedenartig und von Bedeutung. Nehmen wir hier zunächst den wagerechten Abschluss der genannten Türme als ursprünglich beabsichtigt an, so wird die Konstruktion der Steindecke, welche etwa nach Fig. 96 geschehen müsste, wesentlich erleichtert durch die von Mittelpfeiler zu Mittelpfeiler geschlagenen Halbierungsrippen. Ebenso ist die Tiefe der Pfeilerleibung für die Anordnung der Schallbretter weitaus günstiger, als die geringe Stärke der

durch eine einzelne Bogenöffnung immerhin geforderten Mittelpfosten. Ferner wird der aufstrebende Charakter des ganzen Turmbaus durch jene vertikale Teilung gesteigert, und die Möglichkeit einer minderen Höhe dafür gewonnen, als sie durch eine einzelne die volle Weite ausfüllende Bogenöffnung gefordert sein würde. Auch die Festigkeit des Turmes wird durch tragende Pfeiler inmitten der Turmseiten sehr gefördert. An anderen französischen Türmen, wie denen zu Noyon und zu Dormans in der Champagne, finden sich ferner drei Bogenöffnungen auf jeder Seite, die gleichfalls aus dem Romanischen übernommen sind.

Es handelt sich bei ein, zwei oder drei Öffnungen in gleicher Weise darum, die Schallausbreitung so vollkommen als möglich zu machen.

Wie bereits oben bemerkt, ist eine gewisse Beziehung zwischen den Bogenöffnungen der verschiedenen Stockwerke, und dann eine Unterscheidung der letzteren von einander, je nach ihrer Bedeutung, erforderlich. Die Glockenstube kennzeichnet sich eben durch diese mehrfachen freien Bogenöffnungen über den geschlossenen Mauerflächen oder Säulenstellungen des unteren Stockwerks, wie Fig. 939 zeigt. Es würde aber diese Wirkung wesentlich geschwächt werden, wenn das untere Stockwerk dieselbe Einteilung in einer konkurrierenden Weise aufwiese. Es müsste daher, wenn überhaupt die gleiche Teilung, z. B. die Zweiteilung für beide Stockwerke angenommen werden soll, das untere durch mindere Höhe und durch geringere Grösse der eigentlichen Durchbrechungen von dem oberen unterschieden werden, was bei vielen romanischen und frühgotischen Beispielen der Fall ist, oder es müsste, was namentlich in kleineren Verhältnissen vorteilhaft ist, eine der S. 413 angeführten Vereinigung der Triforien mit den Fenstern analoge Anordnung, etwa nach Fig. 1352, getroffen werden. Sie findet sich auch an dem Freiburger Turme, nur unter veränderten Verhältnissen.

Ebenso würde aber auch eine vertikale Teilung des obersten Stockwerks durch eine freistehende oder anliegende Säulenstellung und selbst durch blosses Blendensockel bewirkt werden können, unter der Voraussetzung, dass dieselbe nicht schon in dem darunter befindlichen Stockwerk sich in gleicher Weise findet. Überhaupt giebt die Übereinanderstellung verschiedener, aber zu einander in Beziehung stehender und gewissermassen einander bedingender Anordnungen, ein charakteristisches Merkmal des gotischen Turmbaus ab, gegenüber der an den romanischen Türmen in Deutschland und Italien nicht seltenen, gar zu gleichartigen Wiederholung, die der guten Wirkung ebenso nachteilig ist, als sie dem Wesen der Sache zuwiderläuft.

Während die Höhen der übrigen Stockwerke sich gewissermassen aus den verschiedenen Höhenabteilungen der Kirche ergeben, fällt für die Glockenstube eine solche Beschränkung weg. In den einfacheren Bauten mit grossen geschlossenen Mauerflächen, die in Deutschland, auf dem Lande wenigstens, vorherrschend sind, wechselt die Höhe etwa von der halben Diagonale des äusseren Grundrissquadrats bis zu dessen selten überstiegener Seite. Schlankere Verhältnisse bis zur doppelten Seite finden sich nur an reicheren Werken und gehören überhaupt schon mehr dem ausgesprochenen Pfeilerbau an.

Jene bisher angenommene Einteilung des Turmes in vier Geschosse darf, wie es im Wesen

Beziehung
der
Öffnungen
der einzelnen
Geschosse.

der Sache und im Begriff der künstlerischen Freiheit liegt, nicht zu streng genommen werden, sondern kann, wie schon zu Anfang dieses Kapitels ausgeführt, mehrfache Abweichungen unterfallen, wobei jedoch immer die Zusammengehörigkeit mit der Kirche gewahrt bleiben muss. Wir haben bereits die aus der Hallenkirche sich ergebende Vereinigung des Portalstockes mit dem Fensterstocke erwähnt und in Fig. 1352 ein Beispiel für eine wenigstens formale Vereinigung der beiden oberen Stockwerke gegeben, welche nach den Verhältnissen auch zu einer wirklichen ausgedehnt werden könnte. Weiter würde bei einfacherer Ausführung und kleineren Verhältnissen der ganze Turm bis unter die Glockenstube ungeteilt bleiben und letztere selbst in den Helm verlegt werden können, wie weiterhin gezeigt werden wird.

Abweichungen von der angegeb. Geschoss-
teilung.

Eine Vermehrung der Höhenabteilungen ist andererseits schon in der erwähnten Herumführung der Triforien in den Turmmauern enthalten und an den Türmen von Amiens noch dadurch gesteigert, dass über den Triforien sich eine zweite niedrigere Akadengalerie findet, in welcher die Säulenweiten durch Figuren ausgefüllt sind, deren Höhe die Differenz bildet zwischen der Höhe des Lichtgadens im Langhaus und jener des westlichen Radfensers.

Ebenso kann aber auch eine völlig gleichberechtigte Abteilung sich ergeben aus der Anlage von gewölbten Galerien über den Seitenschiffen, wie an den Türmen von Mantes (s. Fig. 939), es würde die hiermit verbundene, in Mantes fehlende Anlage des Triforiums durch ihre Herumführung im Turm die Zahl der Abteilungen um noch eine vermehren.

Ferner finden sich Unterabteilungen auch an den höheren Stockwerken, wie in Freiburg, wo die eigentliche Glockenstube in einer solchen Unterabteilung des obersten Turmstockwerkes enthalten ist, eine Anordnung, auf welche wir weiterhin zurückkommen werden.

Oberer Abschluss der Türme.

Die üblichste Turmendigung bildet ein pyramidalen Helm (s. Seite 597), die einfachste ein wagerechter Abschluss, also die Überdeckung des Glockenhauses mit einer Terrasse, welche am natürlichsten wohl durch eine Lage von Steinplatten zu bilden ist, an der Kathedrale von Paris aber durch ein niedriges Bleidach mit umlaufendem Umgang ersetzt worden ist. In jeden Falle ergibt sich bei flachen Türmen eine Masswerkbrüstung über dem mehr oder weniger reich gebildeten, immer aber kräftigen Dachgesimse. Zur Sicherung einer Brüstung sind dann häufig Fialen in regelmässigen Abständen angeordnet (s. Fig. 939), welche zugleich den wagerechten Abschluss beleben. Dieselbe Wirkung wird in höherem Grade gewonnen durch die Endigungen der Strebepfeiler oder im vollkommensten durch die Anlage von Ecktürmchen.

Türme ohne Helm.

Letztere werden bedingt durch die Notwendigkeit der auf die oberen Terrassen führenden Treppen. Hierbei aber ergibt sich ein wesentlicher Unterschied, je nach den verschiedenen Stellungen der Türme. So wird ein dem Mittelschiff vorgelegter Turm unter Voraussetzung des wagerechten Abschlusses, mindestens zwei solcher Ecktürme, und zwar den zweiten aus ästhetischen Gründen fordern, weil dabei die Wirkung der Giebelseite auf das Kulminieren in dem mittleren Höhenbau berechnet ist, welcher Wirkung durch das einseitige Emporstreben der einen Ecke notwendig Eintrag geschähe. Die für die Längensicht erzeugte Abweichung von der Symmetrie des Turmes kann aus dem Grunde nicht stören, weil die Wirkung der ganzen Kirche, die auf das Emporstreben der einen Endigung berechnet ist, dadurch nur noch gesteigert werden kann. Dagegen würde die Wirkung eines mit wagerechtem Abschluss versehenen Zentralturmes, in welchem

Treppentürme an denselben.

also das ganze Kirchengebäude nach allen Seiten kulminiert, durch jede Abweichung von der konzentrischen Symmetrie gestört werden, mithin sind hier vier Ecktürme erforderlich.

Für Doppeltürme fällt die Notwendigkeit einer symmetrischen Gestaltung weg, weil dieselben nicht für sich, sondern erst in Verbindung mit der ganzen Giebelseite eine architektonische Selbständigkeit beanspruchen, sie können sich mit je einem Treppenturm an der innern oder äussern Kante begnügen, überhaupt Abweichungen von der Symmetrie im Einzelnen ertragen. So sehen wir die Türme von Mantes (s. Fig. 939) bis in das dem Lichtgaden der Kirche entsprechende Stockwerk nahezu symmetrisch gestaltet. Oberhalb dieses letzteren aber wird durch die Türmchen auf den äussersten Eckpfeilern und die denselben umziehenden Säulenstellungen die Symmetrie soweit aufgehoben, dass die Mittelpfeiler der doppelten Schallöffnungen der Glockenstube sich gegen die Mittellinie der unteren Fenster bezw. der ganzen Turmseiten verschieben.

Der Abschluss, welcher sich durch diese wagerechte Bedeckung der Türme ergibt, ist immerhin ein gewaltsamer, so dass es überhaupt zweifelhaft erscheint, ob nicht nach den ursprünglichen Plänen auch für die gegenwärtig mit Terrassen gedeckten Türme pyramidale Abdeckungen beabsichtigt waren. Hiergegen spricht zunächst die grosse Anzahl derselben, welche es als einen sonderbaren Zufall erscheinen lassen müsste, dass man eben auch bei allen gerade bis zum Aufsetzen des Helmes gediehen sein sollte, sowie der Umstand, dass diese Turmform sich auf Frankreich, Belgien und England beschränkt. Der wichtigste Grund, der sich für die Ursprünglichkeit der Form anführen lässt, ist aber der, dass an allen mit Helmen versehenen Türmen von grösserer Bedeutung und feinerer Durchführung, die Aufnahme der Helme durch die ganze Gestaltung der Glockenstube in der Weise vorbereitet ist, dass beide Teile einander bedingen. Eine solche Vorbereitung in der Grundform der Glockenstube fehlt aber nicht allein an den in Rede stehenden Türmen, sondern es ist die Aufsetzung der Helme sogar wesentlich erschwert durch jene Abweichungen von der symmetrischen Anlage, wie sie sich in Mantes, noch entschiedener aber an den Türmen von St. Gudule in Brüssel finden, wonach die Mittellinie der lotrechten Mauerteile von jener des doch mit Notwendigkeit dem ganzen Turm zugehörigen, also über der Mitte des Grundquadrates oder doch der Grundform der Glockenstube aufgesetzten Helmes abweicht, eine völlig organische Verbindung also unmöglich macht. Diesen unsymmetrischen helmlosen Türmen stehen andererseits gegenüber eine nicht geringe Zahl von Türmen der Normandie, zu welchen auch einzelne englische zu zählen sind, denen bei unsymmetrischer Anlage ein Helm aufgesetzt ist. Der letztere müsste dann als nachträgliche durch die Pracht anderer französischer Türme hervorgerufene Zuthat erscheinen. Die Streitfrage über die Ursprünglichkeit der flachgedeckten Helme möge hier unentschieden bleiben.

3. Grundformen der Helme und Überleitung in dieselben.

Helme runder und vieleckiger Türme.

Runde Türme haben fast ausnahmslos runde Dächer, mögen diese die Form von Kegeln, flachen oder steilen Kuppeln oder auch die eines Helmes mit eingebogenen Seiten haben. Als Ausnahme sind unter anderen die Seitentürme der Abteikirche zu Laach anzuführen, die bei runder Grundform achteckige Helme erhalten haben; die Überführung in das Achteck ist im Bogenfries des Hauptgesimses vollzogen.

Vergleich
von Türmen
mit und
ohne Helm.

Kegel- und
Kuppel-
dächer.

Vieleckige Türme zeigen selten eine vieleckige Kuppel (wie die Kirchen zu Bari, Lecce), häufiger eine runde, wie Notre Dame zu Avignon, Saint Honorat zu Arles usw. gewöhnlich aber pyramidale Helme von der Seitenzahl des Turmes. Letztere treten ebenso wohl als Steindächer auf, wie als Holzkonstruktionen, die mit Metall, Schiefer oder Ziegeln bedacht wurden; ihre Wirkung hängt sehr von der Neigung ihrer Seiten ab (vgl. Fig. 1353 und 1354). In der romanischen Zeit kommen sowohl flache Zeltdächer vor, deren Höhe unter der Breite bleibt und die sich besonders für breitere Türme eignen, als auch Helme mit ausgesprochener Höhenrichtung, die sich aber gewöhnlich nicht über das Höhenverhältnis 2:1 erheben, nur vereinzelt treten schlanke Helme von etwa dreifacher Höhe auf. Die gotischen Helme werden schlanker; eine Höhe, welche die Breite viermal überschreitet, kann etwa als Mittelwert gelten, sie findet sich ziemlich genau an den Türmen zu Köln, Ulm, St. Denis. Etwas niedriger sind die Helme zu Chartres, Freiburg ($3\frac{3}{4}$), schlanker dagegen die zu Seez und Marburg. Ein Verhältnis von 5:1 ist schon selten, jedoch gehen einzelne alte und neue Türme, besonders aber zierliche Dachreiter auch noch merklich darüber hinaus, der Helm des Stephansdomes zu Wien hat sogar eine Neigung erhalten, die zwischen 6:1 und 7:1 liegt.

Pyramidale
Helme.

Die Pyramide kann sich bis zur Aussenkante der Turmmauer erstrecken oder gegen dieselbe etwas zurückgesetzt sein, wobei der Rücksprung durch eine flachere Schräge (Fig. 1355), eine Ausrundung (Fig. 1355a) oder einen wagerechten Umgang (Fig. 1355b) abgedeckt ist. Alle acht Seiten können Giebel erhalten, s. Fig. 1356 (als Beispiele seien die Vierungstürme zu Sinzig und Limburg erwähnt); handelt es sich um die Hervorhebung von 4 Hauptseiten, so können diese allein durch Giebel geziert sein, zumal wenn sie breiter sind als die andern Seiten, s. Fig. 1357, St. Eusèbe zu Auxerre. Eine ganz andere Helmform bildet sich durch Drehen der Pyramide um $22\frac{1}{2}^{\circ}$, es treten dabei ihre Kanten auf die Spitzen der Giebel, s. Fig. 1358, Vierungsturm zu Bonn.

Wenn die Anschlusslinie der Helmf lächen mit der Vorderkante der Giebel zusammenfallen soll (Fig. 1358) oder derselben parallel laufen soll (Fig. 1358a), so ist die Höhe des Helmes von der Giebelhöhe abhängig, sie muss etwa $6\frac{1}{5}$ mal so gross sein als die Giebelhöhe in der Anschlussenebene *ac* gemessen (vgl. *h* in Fig. 1358a). Bei einer Giebelneigung von 45° ergibt sich daraus eine Helmhöhe, die nahezu die anderthalbfache Breite beträgt, bei 60° dagegen nahezu die zweieinhalbfache Breite. Ein steilerer Helm führt entweder zu einem wagerechten Knick in der Linie *ab* (Fig. 1358a) oder zu einem Zurückweichen der Anschlusslinie *ac* nach unten (Fig. 1358b). Ein stumpferer Helm würde umgekehrt zu einer Gratkante in *ab* (Fig. 1358a) oder zu einem Zurückgehen des Anschlusses *ac* (Fig. 1358c) nach der Giebelspitze zu Anlass geben; letztere Lösung des stumpferen Helmes ist nicht sehr befriedigend, die erstere mit einer Kante über den Giebelspitzen aber geradezu hässlich, sie lässt den Helm verkümmert erscheinen. Um beide zu meiden, ist man mutmasslich auf die in Fig. 1359 dargestellte eigenartige romanische Helmform mit wechselnden Graten und Kehlen gekommen, sie findet sich häufig am Rhein (z. B. St. Aposteln zu Köln), sowohl bei achteckigen als viereckigen Türmen, selbst auf Chorpolygone ist sie übertragen (Münstermayfeld). Aus Holz sind solche Dächer unschwer ausführbar, bei Stein muss die Kehle verstärkt sein oder noch besser durch einen untergelegten steilen Bogen getragen werden. Die Kehle kann auch durch eine flache Ausrundung ersetzt sein.

Stern-
förmiger
Helmgrund-
riss.

Helme vierseitiger Türme.

Ein vierseitiger Turm kann oben durch ein Giebel- oder Walmdach mit

oder ohne Dachreiter abgeschlossen sein, diese besonders für rechteckige Grundrisse geeignete Bekrönung beschränkt sich jedoch, wenn von den ältesten Turmbauten und späteren kleineren Dorfkirchen abgesehen wird, mehr auf profane Gebäude. Die naturgemässeste und einfachste Bedeckung liefert auch hier das Zeltdach oder die Pyramide (Fig. 1360), sie kann ebenso wie beim Achteck unten eingezogen oder geschweift sein (s. Fig. 1355); andererseits haben die romanischen vierseitigen Steinhelme bisweilen eine aus statischen Gründen äusserst vorteilhafte Schwellung (Fig. 1361), die bei stärkerer Krümmung zu der vierseitigen Walmkuppel überleitet, s. Fig. 1362, Klosterk. bei Zsámbék (vgl. Kunstdenkm. d. österr. Kaiserstaates).

Über den vier Turmseiten können sich wiederum Giebel befinden; wird gleichzeitig der Helm um 45° gedreht, so dass seine Grate auf die vier Giebelspitzen treffen, so ergibt sich der in Fig. 1363 und 1364 dargestellte, sehr verbreitete romanische Turmabschluss (Halberstadt, Limburg, Laach, Koblenz, Maastricht usw.). Die Helmhöhe beträgt bei regelrechtem Anschluss das Doppelte der Giebelhöhe, die vier Helmflächen sind regelmässige Rauten. Abweichungen von den Neigungsbeziehungen zwischen Helm und Giebel vollziehen sich ebenso wie beim achteckigen Turm, vgl. Fig. 1358 bis 1358c.

Auch gefaltete Dächer (Fig. 1365) können sich über dem Quadrat ergeben. Letzteren nahe verwandt sind Durchkreuzungen von Giebeldächern (Fig. 1366), wie sie sich zu Paderborn (Fig. 1347) und an der Marktkirche zu Hannover finden, bei letzterem Beispiele mit einem hier fast mit Notwendigkeit geforderten Dachreiter in der Mitte.

Die Figuren 1364 bis 1367 sind trotz ihrer scheinbaren Verschiedenheit nahe verwandt, da sie sämtlich dadurch entstehen, dass gerade Linien (Sparren) von den Fusspunkten *c* und Spitzen *a*, *b* der Giebel zur Helmspitze gelegt werden. Ist die Helmhöhe doppelt so gross wie die Giebelhöhe, so entsteht Fig. 1364, ist sie nur 1 bis 2 mal so hoch, so entsteht Fig. 1365, ist sie ihr gleich, so ergibt sich das Kreuzdach 1366, und hat der Helm mehr als die doppelte Giebelhöhe, so entsteht schliesslich eine achtseitige Pyramide, Fig. 1367. (Über deren Kantenwinkel und Schlankheit s. unten S. 601).

Als Ausnahmebildung möge das gefaltete Dach über Zwillingsgiebeln von St. Gereon zu Köln (Fig. 1368) erwähnt werden.

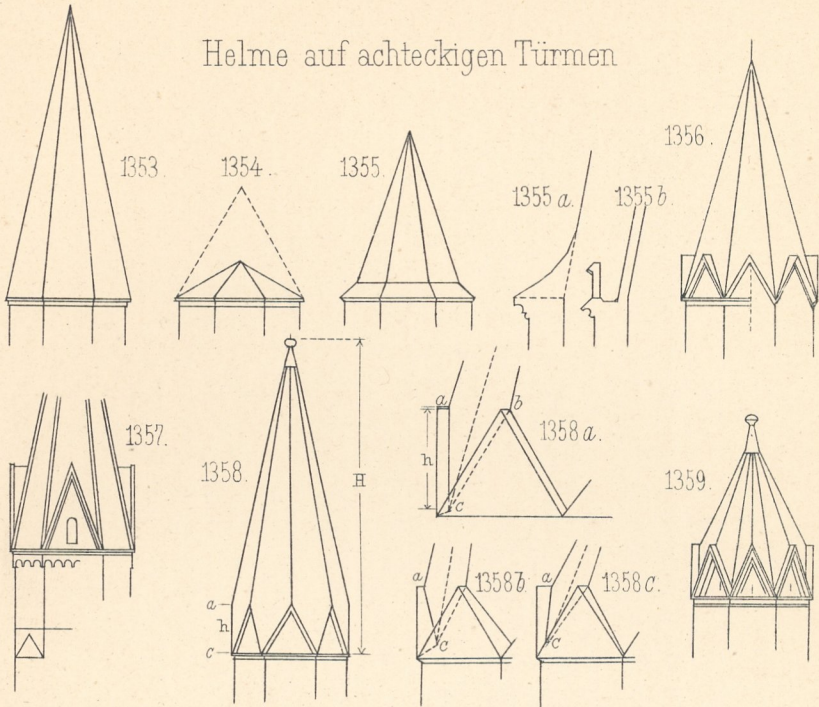
Die letzten Beispiele 1365—1368 zeigen Überleitungen aus dem Viereck in andere reichere Grundformen der Dächer, damit sind wir zu einem Kapitel gekommen, das in der Entwicklungsgeschichte des Turmbaues einen besonders hervorragenden Platz einnimmt. Vierseitige Helme bieten bei der Herstellung in Stein konstruktive Schwierigkeiten (s. unten), ausserdem wirkt ihre bei Veränderung des Standpunktes stark wechselnde Umrisslinie nicht von allen Seiten gleich günstig, was sich leicht erklärt, wenn man bedenkt, dass ein Quadrat in der Diagonale gesehen 1,414 mal so breit ist, als seine Seite, also ein Helm, der von vorn gesehen das Verhältnis 4 : 1 hat, in der Diagonale nur 2,8 : 1 zeigt. Da aber die Meister des Mittelalters wohl mehr als die irgend einer anderen Zeit nicht lediglich Flächenarchitekturen (sog. Façaden), sondern räumliche Baukörper entwarfen, so waren sie in diesem Punkte äusserst feinfühling. Sie leiteten daher mindestens die Bedachung, sehr oft auch das ganze obere Stück der viereckigen Türme in eine mehr zentrale Grundform über; vereinzelt tritt der Kreisgrundriss in Gestalt von Kuppeln und Kegeln auf, häufiger aber das Vieleck und zwar das Achteck, das sich am ungezwungensten aus dem Quadrat entwickelt.

Giebel- oder
Walm-
dächer.

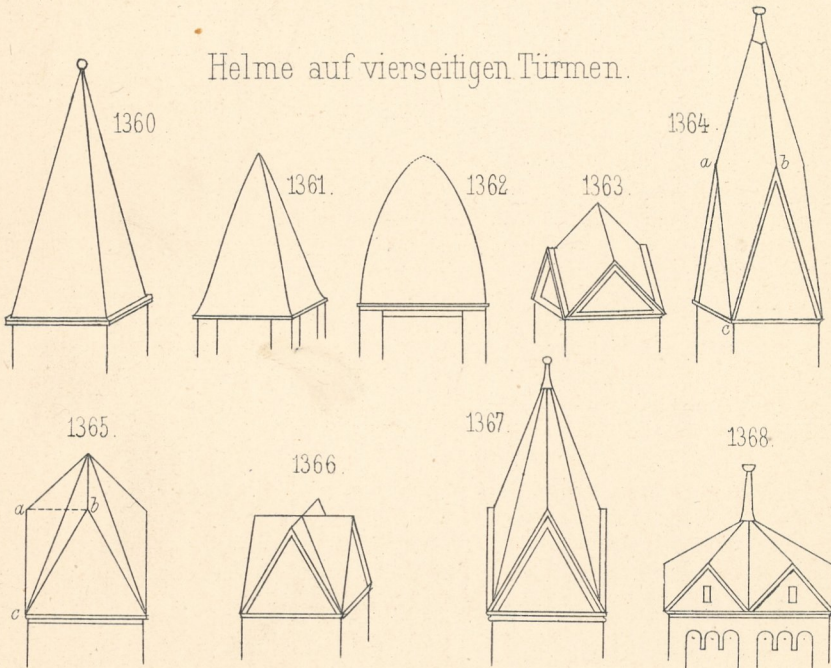
Vierseitige
Pyramiden.

Andere
Dachformen.

Helme auf achteckigen Türmen



Helme auf vierseitigen Türmen



Achteckige Helme auf viereckigen Türmen.

Hat, wie wir soeben sahen, das Viereck den Mangel, sich in der Diagonalansicht bedeutend zu erbreitern, so fällt dieses für das Achteck fast ganz fort, denn seine Diagonale ist nur 1,082 mal so gross wie seine geringste Breite, oder mit andern Worten die Diagonalansicht verhält sich zu der geometrischen etwa wie 13:12 (statt 14:10 beim Quadrat). Ein Helm, der in der Vorderansicht das Höhenverhältnis 4:1 zeigt, wird schräg gesehen nicht niedriger als 3,7:1 erscheinen können.

Setzt man demzufolge auf einen vierseitigen Turm einen achtseitigen Helm, so ist dem Helm als solchem geholfen, um so schreiender tritt aber in der Diagonalansicht ein anderer Mangel hervor. Dadurch nämlich, dass der Helm in dieser Ansicht gleichfalls eine geringste Breite, der Turm darunter aber seine grösste Breite zeigt, fällt der unvermittelte Übergang beider an der Ecke sehr hässlich ins Auge (s. Fig. 1369). Wenn nun gar der Helm unten etwas zu Gunsten eines Umganges zurückgesetzt ist und überdies noch die Brüstung des letzteren den unteren Teil verdeckt, so steigert sich die ungünstige Wirkung noch bedeutend, zumal beim Anblick von unten.

Eine gute Vermittelung beider Teile ist also ein unabweisbares Erfordernis, dem auf vielen Wegen Genüge geleistet werden kann. Zunächst kann im Helm selbst eine Überleitung des Vierecks in das Achteck vollzogen werden, dann können auf den freibleibenden Ecken vermittelnde Aufbauten errichtet werden, ferner kann ein überleitendes Zwischenglied zwischen Turm und Helm treten und schliesslich die Überführung schon im Turm selbst hoch oben oder weiter unten Platz finden. Alle diese Lösungen sind in mannigfaltigen Spielarten zum Ausdruck gebracht worden, die wichtigsten mögen in Kürze erläutert werden:

Eine Überleitung im Helm selbst ergibt sich nach Art der Fig. 1370 und der zugehörigen Diagonalansicht 1370a am einfachsten, wenn derselbe unten vierkantig beginnt, durch vier Schrägen an den Ecken aber derart abgefast wird, dass er in einer gewissen Höhe einen regelmässigen achteckigen Grundriss erreicht und nun als achtseitige Pyramide sich fortsetzt. In den Linien *ab* und *cd* erhalten die vier Eckflächen einen schwachen Knick, während die vier anderen Seiten in einer Ebene aufwachsen. Wenn der Übergang in der Diagonalansicht allmählich vor sich gehen soll, so darf die Höhe *ea* der Abschrägungen nicht zu gering sein, sie sollte dann mindestens $\frac{1}{2}$ oder $\frac{2}{3}$ der unteren Helmbreite betragen. Bei neuen Türmen sind in dieser Hinsicht häufig Fehler gemacht, so dass die Übergänge bei einem tiefen Standpunkt überhaupt nicht wahrgenommen werden.

Überleitung
des viersei-
tigen Helmes
in den acht-
seitigen
durch Ab-
schrägung.

Wird dieselbe Überleitung auf Helme angewandt, die unten eine flachere Neigung haben, so ergibt sich auf allen acht Helmseiten ein Knick, s. Fig. 1371 u. 1371a. Abgesehen davon, dass eine kleine Einziehung sich der Schubverminderung wegen bisweilen rechtfertigen lässt, pflegt sie der Wirkung des ganzen Turmes nicht günstig zu sein. Die Überführung wird in der Diagonalansicht wieder recht schroff und die Helmhöhe wird unnötig dadurch vermindert. Ein hoher Helm trägt aber gerade besonders zu einer feierlichen und schönen Wirkung des Turmes bei, ausserdem lässt sich auch aus finanziellen Gründen die einmal beabsichtigte Turmhöhe vorteilhafter

durch hohe Helme als hohe Mauern erreichen. Trotzdem hat man in späterer Zeit bei den Holzhelmen vieler Dorfkirchen und Profanbauten durch Verwendung flacher oder geschweifter Aufschieblinge die eigentliche Helmbasis so viel als möglich nach innen gezogen, dafür aber entsprechend die Schlankheit der Pyramide gesteigert (s. Fig. 1372). Bei kleineren zierlichen Bauten lassen sich solche Helme wohl verteidigen, jedenfalls kann man vielen bei dem Geschick, mit dem sie entworfen sind, im Gegensatz zu manchen matten neuen Versuchen den Vorzug einer gewissen Entschiedenheit nicht absprechen.

Nicht selten finden sich in der Spätgotik und den folgenden Zeiten schlanke achtseitige Pyramiden derart auf die quadratischen Turmmauern gesetzt, dass vier Grate auf die Mitten der Quadratseiten stossen und die vier anderen Helmseiten unten durch eine Ausschweifung soweit vorgeschoben sind, dass sie die Mauercken erreichen. Dabei gehen die Helmseiten unten in windschiefe Flächen über.

Die Überleitung des Turmes in den Helm wird erleichtert bei Vorhandensein von vier Giebeln über den Turmseiten. Eine Form, die sich dem bereits nähert, zeigt Fig. 1373; man kann sie sich entweder durch Abstutzen der Pyramidenkanten (in Fig. 1364 entstanden denken oder durch gewöhnliches Aufsetzen einer achteckigen Pyramide auf einen viereckigen Turm unter Verlängerung von vier die Turmecken abschneidenden Pyramidenseiten nach unten. Fig. 1373a und 1373b zeigen Durchschnitte nach den Seiten und den Diagonalen. Werden die Giebel nach oben vervollständigt, so heben sie sich entweder frei von der Helmfläche ab, wie an der linken Seite der Fig. 1374, oder schneiden mit ihren Seiten dachartig ein, wie rechts in Fig. 1374. Wenn in der Höhe *cc* kein Knick entstehen soll, so ist die Helmhöhe von der Giebelhöhe abhängig und zwar ergibt sie sich beim Aufsetzen auf die vordere Giebelkante gerade gleich der doppelten Giebelhöhe. Soll der Helm schlanker werden, so entsteht entweder in der Linie *cc* (Fig. 1374a) ein Knick, oder die Anschlusslinie weicht nach unten zurück (Fig. 1374b). Vgl. darüber auch oben Fig. 1358a bis 1358c. In der Diagonalansicht liefern derartige Türme einen ähnlichen Umriss wie der in Fig. 1370a gezeichnete.

Soll der Übergang noch stetiger sein, so können den Ecken die in Fig. 1375 gezeichneten Fialen oder angelegten Strebepfeiler oder andere schicklicher geformte, die Ecken zugleich vorteilhaft belastende Mauerkörper aufgesetzt sein. Die Werkstücke des Giebelgesimses nehmen die aus Fig. 1375b und 1375c ersichtliche, etwas komplizierte Gestalt an. Wenn die Giebelschenkel wimpergartig vorgelegt sind (Fig. 1375d), so wird auch das Werkstück eine entsprechende Form erhalten.

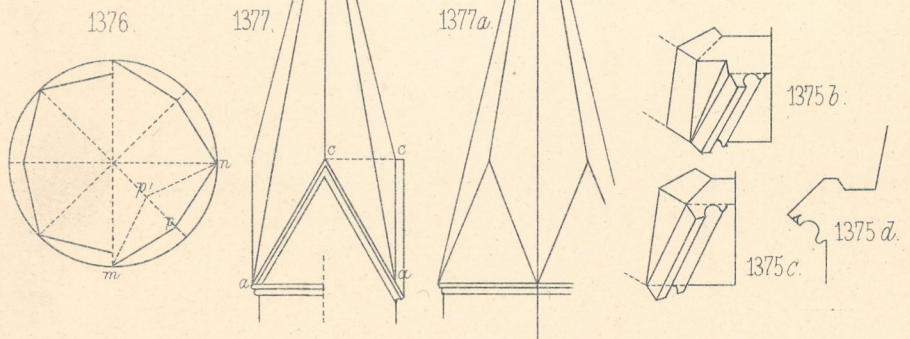
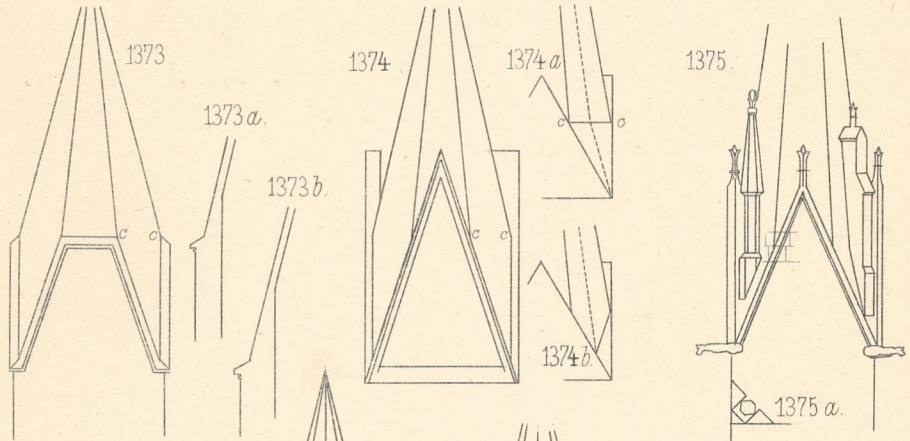
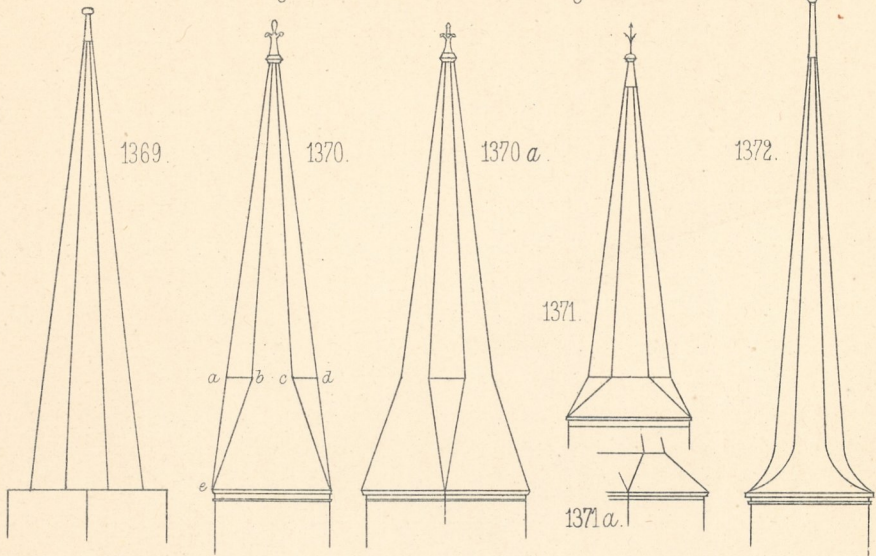
Wenn die Helmbasis sich verkleinert, so werden die vier Giebeldächer freier zu Tage treten, bis sie sich schliesslich zwei gekreuzten Giebeln (Fig. 1366) mit einem mittleren Dachreiter in ihrer Wirkung nähern.

Durch Übereckstellung des Helmes in der Weise, dass vier Kanten auf die Giebelspitzen, vier andere auf die Turmecken stossen, wird ein besonders günstiger allmählicher Übergang sowohl in der geraden als schrägen Ansicht hervorgerufen (Fig. 1377 u. 1377a), der sich schon viel bei romanischen Türmen findet. Wenn die Anschlusslinie in die Giebelkante (oder eine Parallele zu dieser) fällt, so ist der Helm vom tiefsten Punkt bis zur Spitze 3,414 mal so hoch wie der Giebel. Bei einer Giebelneigung von 45° ergibt sich die Helmhöhe zu 1,707 mal

Überleitung
durch
4 Giebel.

Übereck-
stellung
des Helmes.

Achteckige Helme auf vierseitigen Türmen.



die Quadratseite oder 1,21 mal die Quadratdiagonale des unteren Anfanges aa , bei einer Giebelneigung von 60° aber zu 2,96 mal die untere Breite aa oder 2,09 mal die Diagonale.

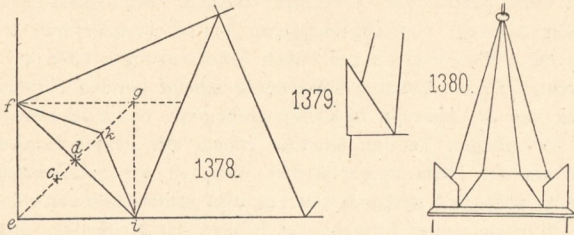
Soll der Helm steiler bezw. flacher werden, so wird in der Linie cc ein Knick entstehen, oder es wird die Anschlusslinie ac nicht mehr parallel der Giebelkante bleiben. Schliesslich giebt es noch den auch zuweilen vorkommenden Ausweg, vom regelmässigen Achteck abzuweichen, so dass in der Höhe cc der Helmgrundriss bei steilerem Helm der linken Seite von Figur 1376 entspricht, bei flacherem Helm aber der rechten Seite. Letztere Abweichung scheint bei den Türmen zu Speier (Fig. 1367) und beim Westbau von St. Aposteln zu Köln vorzuliegen. Es sei bei diesem Anlass bemerkt, dass man auch über rechteckigen Türmen ähnliche Helme mit entsprechenden Unregelmässigkeiten errichten kann. Wenn der Helm immer flacher wird, so wird schliesslich der Punkt p (Fig. 1376) in die Linie mn fallen und infolgedessen aus dem achteckigen der viereckige Helm von Fig. 1364 entstehen, ein noch weiter fortgesetztes Senken der Helmspitze und Verbindung derselben mit den entsprechenden Eckpunkten würde endlich auf den gefalteten Helm mit dem sternförmigen Grundriss $mp'n$ führen (Fig. 1376 und 1365). Zur Belebung und Belastung der Ecken können sich auch bei diesen Türmen wieder Fialen oder Türmchen zwischen die Giebel setzen, die auf den Turmmauern oder auch zum Teil auf Eckstrebebepfeilern fussen. Dabei kann den Ecktürmchen zu Liebe die Giebelbreite beschränkt werden, St. Patroklos zu Soest bietet ein sehr altes Beispiel dafür. Die Giebeldreiecke werden durch Bogenöffnungen, Vielpasse, Blenden oder Masswerk belebt, bisweilen sind auch die Schallöffnungen des Turmgeschosses bis in die Giebel hineingezogen.

An dieser Stelle sei auch der eigenartige Helm von Treysa (Fig. 1410) erwähnt, der zwischen den vier Hauptgiebeln kleinere schrägstehende Giebel hat, die mit ihrer Spitze ebenfalls Helmgrate aufnehmen.

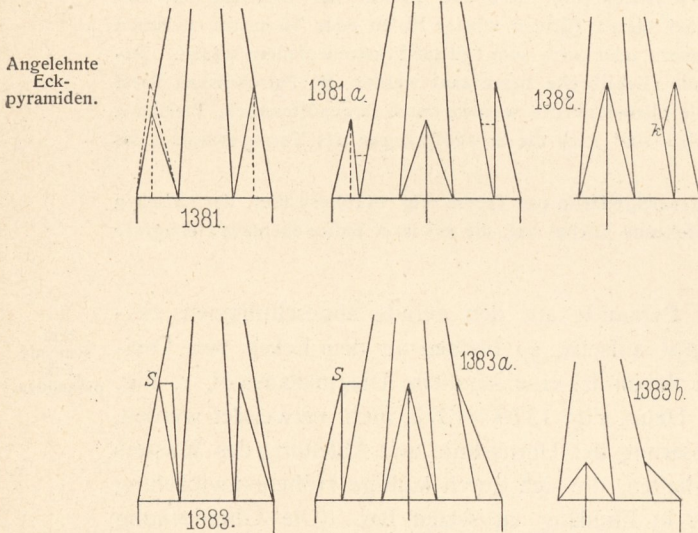
Wenn sich die achtseitige Pyramide auf den gerade abgeschnittenen vierseitigen Turm ohne Giebel stumpf aufsetzt, so bleiben an den Ecken vier Dreiecke frei (Fig. 1378), die Folge davon ist eine hässliche Diagonalansicht, s. Fig. 1369. Soll nun der überleitende Helm, Fig. 1370—1372, nicht verwendet werden, so müssen diese Dreiecke zur Besserung der Umrisslinie und Ableitung des Wassers eine selbständige Überdeckung erhalten, die sich durch kräftige Höhenentwicklung mit der Schlankheit des Helmes in Einklang zu setzen hat. (Die Überdeckung des Turmes lässt sich vergleichen mit der Bedachung einer dreischiffigen Hallenkirche, die entweder ein gemeinsames Dach oder ein grösseres Mitteldach mit verschiedenartig angeschlossenen Nebendächern erhält.) Die Dreiecke können zunächst je einen selbständigen, dem Haupthelm ähnlichen Eckhelm erhalten, der die Form einer dreiseitigen Pyramide annimmt. Die Spitze der Pyramide kann über der äusseren Ecke (e in Fig. 1378) liegen, vgl. Fig. 1379 und Fig. 1380 von der Kirche zu Gebweiler, sie kann über den Mittelpunkt c des Dreiecks fallen, vgl. Fig. 1381 links und kann sich schliesslich auf die Mitte der Dreiecksseite d hinüberschieben, vgl. Fig. 1378 und 1381 rechts. Fig. 1381a zeigt die beiden letzten Fälle in der Diagonalansicht, zwischen dem Haupthelm und den Nebenhelmen bildet sich ein scharfer Einschnitt mit einer kleinen Rille unten, zu deren Vermeidung besser ein kleines Satteldach eingeschoben würde, wie es die punktierte Linie andeutet. Einfacher vermeidet man den tiefen Einschnitt, indem man die dreiseitige Pyramide durch Zufügung einer symmetrischen Hälfte zu einer vierseitigen Pyramide ergänzt, die über $efgi$ in Fig. 1378 steht und sich mit der hinteren

Frei-
stehende
Eck-
pyramiden.

Kante in die Helmfläche bei k einschneidet, wie es die in dem Umriss bedeutend günstiger wirkende Diagonalansicht, Fig. 1382 erweist, die geometrische Ansicht ist dieselbe geblieben. Die Wirkung eines solchen achtseitigen, mit vier kleinen Eckpyramiden umgebenen Helmes, der sich an vielen deutschen und französischen



Türmen in Stein und Holz findet, ist wegen ihrer Einfachheit und Klarheit besonders mächtig und ansprechend. Fig. 1384 zeigt ein Beispiel von einem Nebentürmchen des Freiburger Münsters, bei dem die Ecktürmchen steiler sind als der Haupthelm, häufiger haben beide gleiche Neigung.



Ein ganz anderes Bild entsteht in beiden Ansichten, wenn die Eckpyramide, möge sie Form 1381 links oder rechts haben, durch ein bis oben hinaufragendes Satteldach mit der dahinterliegenden Helmseite verbunden ist, s. Fig. 1383 und 1383a links; sie erscheint jetzt bereits als ein zugehöriger Teil des Haupthelmes, was um so mehr der Fall ist, wenn die Spitze s mehr gegen die Helmseite gerückt wird, in die sie schliesslich ganz hineinfallen kann,

s. Fig. 1383 und 1383a rechts. Dadurch ist die einfachste Abdeckung der Ecken erreicht, sie kommt in steiler und flacher (Fig. 1383b) Neigung, ebenso wie die vorhergehende, an zahlreichen Türmen der frühen und späten Zeit vor und nähert sich in der Wirkung wieder dem gemeinsamen Helm, Fig. 1370.

Überleitung in den achteckigen Helm durch ein Zwischenstück.

Wenngleich wir gesehen haben, dass es sehr wohl möglich ist, den vier-eckigen Turm mit der darauf ruhenden achtseitigen Pyramide wohlthuend zu ver-mitteln, so kann man doch dieses Ziel noch besser erreichen, wenn man die Über-leitung schon unterhalb der Helmbasis anbahnt (vgl. als Beispiele Fig. 1396 und den rechtsseitigen Turm der Kirche zu Gebweiler, Fig. 1345). Es lässt sich das erreichen durch eine entsprechende Ausbildung des oberen Stückes des letzten Turmgoschosses (Glockenhauses), es kann sich aber auch über dem Glockenhaus

noch eine kleine Zwischenteilung, gleichsam ein Sockel des Helmes erheben, was besonders bei Vorhandensein eines Umganges angebracht ist. Wie bereits gesagt, liegt es nahe, bei Zurücksetzung der Helmwände die Differenz der Helmstärke und der Mauerstärke zur Anlage eines äusseren Umganges am Fusse der Helmbasis zu benutzen, welcher mit einer Masswerkbrüstung besetzt, deren Ecken durch Fialen gesichert sein können, einen reichen Schmuck des ganzen Turmes abgibt.

Umgang
am Fusse
des Helmes.

Da nun mit Recht auf die Anlage eines solchen Umgangs in der bedeutenden, eine weite Aussicht gestattenden Höhe vom Volk ein grosser Wert gelegt wird, so wollen wir hier einschalten, dass dieselbe auch bei einem nicht zurückgesetzten Helme zu ermöglichen ist, indem die Bodenplatten des Umganges von einer auf dem unteren vollen Helmteil fussenden Säulenstellung getragen werden können (s. Fig. 1386). Der Übergang aus dem Viereck in das Achteck bleibt unterhalb der Galerie durch die Säulenstellungen hindurch sichtbar.

Ein guter Übergang wird bei Zurücksetzung des Helmes mit Galerieanlage aber fast noch mehr gefordert als sonst, er kann sich unmittelbar über dem Umgang vollziehen nach einer der Lösungen 1370 bis 1377 oder, wie gesagt, in wirkungsvollere Weise durch ein niedriges, um die Galerienbreite zurückgesetztes Stockwerk (s. Fig. 1385) über dieselbe gehoben, sonst aber nach jedem der bis dahin besprochenen Systeme gebildet werden.

Aufgesetztes
viereckiges
Zwischen-
stockwerk.

Wenn nun eine Belastung der Eckpfeiler durch Türmchen als konstruktiv günstig zu bezeichnen ist, so wird dieselbe gerade in dem letzteren Fall noch den weiteren Nutzen gewähren, die Mauern des aufgesetzten Stockwerks zu verstärken und mit dem Glockenhouse in eine engere Verbindung zu bringen. Auch zur schönen Überleitung werden Ecktürmchen gerade wegen der durch die Galerien hervorgebrachten horizontalen Teilung fast notwendig.

Beide Zwecke werden in vollkommenerem Masse erreicht durch Fialen von einer etwa der Mauerstärke entsprechenden oder noch darüber hinausgehenden Grösse. Es können dieselben zum Teil auf den Strebepfeilern fussen, wenn letztere auf die volle Höhe des Glockenhauses emporwachsen.

Von den Marburger Türmen hat der südliche viereckige, der nördliche achteckige Fialen. Die viereckigen (Fig. 1389) haben die Breite der Strebepfeiler und springen mit diesen etwas vor der Wandflucht vor, die achteckigen (Fig. 1389a) sind breiter als die Strebepfeiler, so dass die äussere in der Diagonale liegende Achteckseite über den Winkel zwischen den beiden Strebepfeilern auskragt. Die hintere Ecke der Fialen hängt mit der Ecke des zurückgesetzten Stockwerks zusammen, nur unten ist eine Durchbrechung zur Erzielung eines Umganges vorgenommen (s. Fig. 1389 und 1389a).

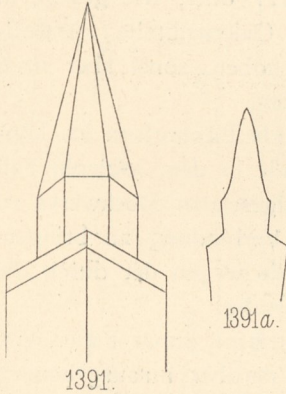
Eine ähnliche, nur einfachere Anordnung mit höher hinauf gezogenen Strebepfeilern zeigt der Turm der Frankenberger Kirche, an welchem freilich statt des ursprünglich beabsichtigten Steinhelmes nur eine provisorische Bedachung zur Ausführung gekommen ist, so dass wir in Fig. 1387 und 1387a den Helmansatz sowohl wie die Strebepfeilerendungen ergänzen müssen.

An den späteren Werken finden sich die Dimensionen der entweder den Strebepfeilern oder den Mauerecken aufgesetzten Fialen oft soweit verringert, dass sie vor den Mauern jenes zurückgesetzten Stockwerkes völlig frei liegen, mithin ohne konstruktive Bedeutung für dasselbe sind.

Dennoch ist zuweilen eine Verbindung hergestellt, die jedoch eher fast zur Sicher-

stellung der mehr dekorativen Fialen, als der Mauerecken dient, und in übereckgeschlagenen Bogen bzw. Strebebogen besteht, oder durch die Fialen durchdringende Wasserrinnen bewirkt wird. Beispiele dieser Art zeigen, freilich auch in veränderter Weise, die Türme von Wildungen (s. Fig. 1388) und von Volkmarshausen. Immerhin ist die Wirkung dieser Anordnung noch eine sehr malerische, wenn sie auch den Vergleich mit den älteren Beispielen nicht aushält.

Die Notwendigkeit eines Übergangs aus dem Viereck ins Achteck kann umgangen werden, wenn das obere zurückgesetzte Stockwerk nach dem Achteck gebildet ist. Die Wirkung ist jedoch, insbesondere in der Ansicht übereck, keine günstige, weil die Ecken des Turmvierecks einen übermässigen Vorsprung bilden und von unten gesehen einen grossen Teil des oberen Stockwerks weg-schneiden (s. Fig. 1391). Jedenfalls bedarf diese Anlage stärkerer Eckfialen, und wird eine Verbindung derselben mit den Ecken des Achtecks vorteilhaft, etwa nach Fig. 1390.



Es soll nicht unterlassen werden darauf hinzuweisen, dass eine optische Täuschung der unangenehmen Wirkung noch zu Hilfe kommt. Aus hier nicht zu erörternden physiologischen und psychologischen Gründen erscheinen uns spitze Winkel meist weniger spitz, und stumpfe Winkel weniger stumpf als sie wirklich sind, das hat zur Folge, dass der Turm Fig. 1391 den Umriss 1391a zu haben scheint, d. h. sowohl der Turm als der Zwischenstock scheinen sich nach oben zu erbreitern. Die Dossierung der Wände und selbst Schrägstellung der Säulen am griechischen Tempel dürfte zum Teil auf ähnliche Erscheinungen zurückzuführen sein; das Mittelalter hatte zur Bekämpfung dieser Täuschung neben der etwa verwendbaren stetigen oder in Absätzen erfolgenden Verjüngung der Wände nach oben noch ein wirksameres Mittel in den nach unten stark erbreiterten Strebpfeilern. In dem besonderen, hier vorliegenden Falle kann auch durch Eckfialen oder andere Überleitungen an den fraglichen Punkten viel erreicht werden.

Wenn das achteckige Zwischengeschoss sehr niedrig wird oder gar ganz fehlt, so tritt in der Diagonalansicht die bei der Figur 1369 besprochene Wirkung ein, die sich aber noch mehr steigert, da ja der Turmhelm um die Breite des Umganges jederseits noch geschmälert ist. Es ist daher diese Lösung als wenig günstig zu bezeichnen; wo sie dennoch zur Anwendung gelangt, erfordert sie eine um so geschicktere Durchbildung. Als Beispiel seien die Türme der Teynkirche zu Prag angeführt.

Hier ist der Übergang vermittelt durch vier den Ecken des Glockenhauses aufgesetzte, aber stark ausgekragte achteckige Ecktürmchen mit spitzen Helmen, die mit dem grossen Helm durch in diagonaler Richtung gelegte Schirmdächer verbunden sind. Wenn nun auch die ganzen Türme sich durch jene mächtigen Auskragungen der Ecktürmchen wie der Galerie mehr dem weltlichen Charakter nähern, so steht doch gerade diese Anordnung im schönsten Einklang mit den in Fig. 1472 dargestellten, weiter oben am Helm ausgekragten Türmchen, und es erregt dieselbe die lebhafteste Bewunderung für den Meister, der es verstand, ein von Grund aus nicht günstiges Motiv durch die Konsequenz der Durchbildung zu einer so malerischen Wirkung zu erheben.

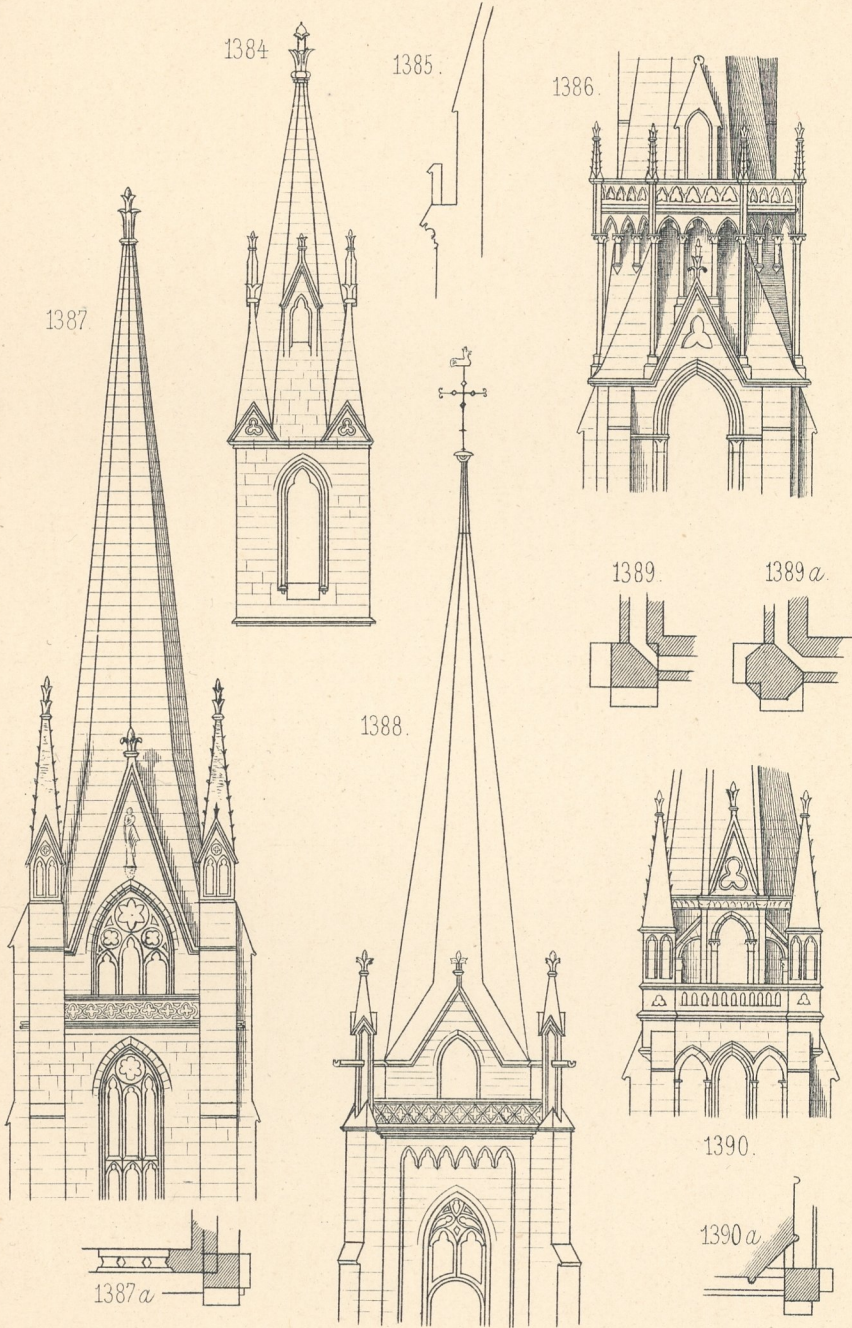
Die Wirkung eines zwischen Turm und Helm eingeschalteten Zwischenstücks wird, wenn auch nur scheinbar, dadurch erreicht, dass die in Fig. 1382 dargestellten Eckpyramiden durch einen Unterbau mit lotrechten Flächen oder bogenverbundene Säulen über die Helmbasis gehoben sind, also zu wirklichen Türmchen werden

Achtseitiges
Zwischen-
stockwerk.

Fehlen eines
Zwischen-
geschosses
über dem
Umgang.

Eck-
türmchen in
der Höhe
der Helm-
basis.

Ueberleitung in das Achteck.



(Fig. 1392). Sie können dann auch in eine direkte Beziehung zu den Strebepfeilern treten, wenn zum Beispiel zwei ihrer Eckpfeiler, wie Fig. 1393 zeigt, sich auf dieselben setzen, so dass sich ein übereck-stehendes Quadrat für die Ecktürmchen ergibt. Dabei können die Strebepfeiler entweder in dem umkröpfenden Gesims des Glockenhauses abschliessen oder tiefer unterhalb desselben sich durch eine Dachung anlegen; der letzteren setzen sich dann die vor dem Gesims des Glockenhauses hinabgehenden Eckpfeiler der Türmchen auf.

Es ergibt sich sodann für diese Ecktürmchen die Grundform des Achtecks, wenn sie auf jedem Strebepfeiler mit zwei Pfeilern fussen (s. Fig. 1393a), so dass also die Strebepfeilerbreite mit einer Achteckseite übereinstimmt. Der geöffnete Winkel zwischen den Strebepfeilern lässt sich dann durch Auskragungen, wie Fig. 1394 zeigt, ausfüllen, so dass er die Ergänzung des Achtecks bildet. Es ergibt sich dieser Übergang um so leichter, wenn, wie in Fig. 1393a, die Strebepfeiler von den Ecken des Quadrats abgerückt sind, so dass letztere zwischen denselben eine einfache oder doppelte Abtreppung bilden.

Derartige Anlagen finden sich an einzelnen französischen Türmen, an anderen, wie denen zu Noyon und Soissons, sind sie, wie sich mit Bestimmtheit erkennen lässt, beabsichtigt gewesen, und an dem letztgenannten wenigstens in der Gestalt von kleinen, vor die abschliessende Terrasse vorspringenden und über den Boden derselben um einige Stufen erhöhten Eckbalkonen zur Ausfüh- rung gekommen.

Das Innere solcher offener Ecktürmchen bekommt einen wagerechten Boden, von welchem das Wasser durch Ausgüsse abgeführt wird, und ist vermittelt der die diagonalen Helmwände durchbrechenden Thüren zugänglich gemacht. Je nach der Grundform des Ganzen können zwischen diesen Ecktürmchen noch kleine wagerechte Flächen liegen bleiben, und zur Anlage von Wasserspeiern unter den Helmkanten Veranlassung geben.

Es lassen sich mit diesen Ecktürmen wiederum Umgänge an der Helmbasis vereinigen, welche durch die Ecktürmchen hindurchführen, oder auf einer Auskragung dieselben umziehen. Letztere Anordnung findet sich an einem der Spätzeit der Gotik angehörigen Turm zu Löwen in der Weise, dass den Strebepfeilern undurchbrochene Ecktürmchen aufgesetzt sind und der Umgang um dieselben herum ausgekragt ist. Der reich mit Masswerk durchbrochene Helm fängt dahinter mit viereckiger Basis an, setzt aber unmittelbar vom Galerieboden ab durch einen nach Fig. 1370 gestalteten Übergang ins Achteck um.

An den französischen Türmen ist die durch die Ecktürmchen hervorgebrachte Wirkung häufig noch dadurch gesteigert, dass den dem Quadrat parallel stehenden Achteckseiten des Helmes überbaute Dachluken, gleichfalls in der Höhe der Basis, aufsitzen, aber in so schlanken Verhältnissen, dass sie mit den Ecktürmchen zusammen eine Krone bilden, aus welcher der Turmhelm in gar stattlicher Weise herauswächst. Diese Dachluken sind dann entweder gleichfalls mit Helmen, und zwar in der Regel mit viereckigen, oder mit spitzen Giebeln abgeschlossen, welche jedoch freistehen, so dass ihre hintere Seite eine lotrechte Fläche oder einen steilen Walm bildet. In beiden Fällen liegt eine Rinne zwischen denselben und dem Helm (s. Fig. 1392).

Dachluken
an den
4 Seiten.

Eck-
türmchen an
Holzhelmen.

An vielen einfacheren Türmen ohne Strebepfeiler, und zwar in der Regel an solchen mit hölzernen Helmen sind die Ecktürmchen teilweise ausgekragt und dann entweder von Mauerwerk, wie an dem Turm von St. Petri in Lübeck, oder gleich dem Helm aus Holz aufgeführt, wie an einer grossen Anzahl von hessischen Dorfkirchen. Dabei ist dann das Helmgebälk durch das Vorstrecken einzelner Balken oder Stichbalken zur Auskragung benutzt; die Ecktürmchen selbst sind nach dem Achteck, häufiger noch nach dem Sechseck konstruiert, nach dem Helm zu durch eine Thür, auf ihren freistehenden Seiten durch kleinere Luken durchbrochen und wie der Helm mit Schiefer bekleidet (s. Fig. 1395).

Dasselbe Motiv der Auskragung durch vorgestreckte Balkenköpfe ist in kleineren Dimensionen zuweilen auch zur Bildung des Übergangs aus dem quadratischen Turm in den polygonalen Helm benutzt (s. Fig. 1475).

Überleitung des oberen Turmstückes (Glockenhauses) in das Achteck.

Die Überleitung des viereckigen Turmes in den achteckigen Helm wird bedeutend erleichtert, wenn sie sich im Turm selbst vollziehen kann, so dass der obere Teil, insbesondere die Glockenstube, bereits achteckig ist, was aber nur zugänglich ist, wenn dabei ein genügender Raum für die Aufhängung und Bewegung der Glocken gewahrt bleibt.

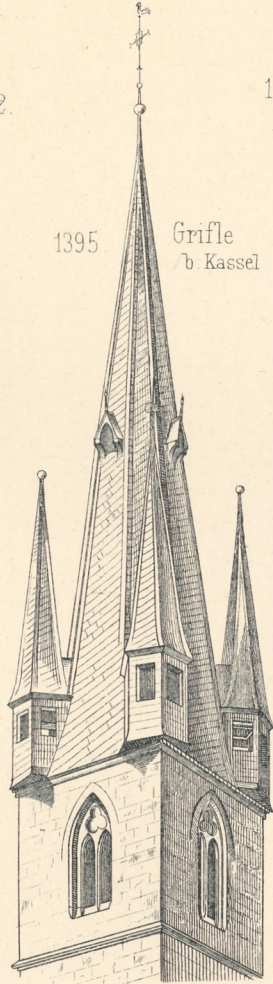
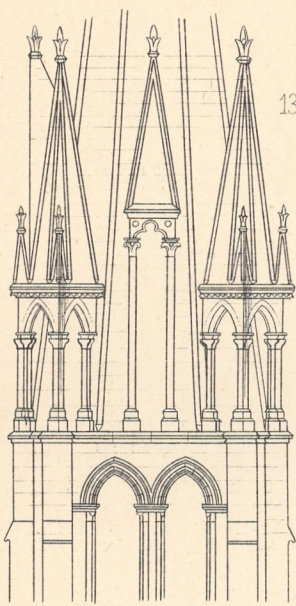
Innere Über-
führung in
das Achteck,
Über-
kragung.

Als Zwischenstufe zwischen dem quadratischen und polygonalen Glocken-
haus können jene Anordnungen gelten, bei welchen entweder über dem Glocken-
haus noch ein niedriges, zurückgesetztes achteckiges Stockwerk sich findet (s. Fig. 1387 und 1388), oder der Übergang in das Achteck unterhalb der Helmbasis nach Art der Fig. 1396 oder ähnlich bewirkt ist. In beiden Fällen kommen die Mauern der in die diagonale Richtung fallenden Achtecksseiten zum Teil auf Hohle zu stehen, wie das freilich mit den Helmwänden in gleicher Weise der Fall ist, hier aber durch eine Fortführung der Steigung des Helmes im Inneren bis in die Winkel des Quadrats in leichtester Weise vermittelt werden konnte (s. Fig. 1413). Die lotrechten Achtecksmauern in diagonaler Richtung, welche je nach ihrer Höhe doch einen stärkeren Druck nach unten ausüben, könnten zwar in gleicher Weise auf steile Auskragungen gestellt werden, sind jedoch in der Regel von kugel- oder kegelartigen Flächen (Fig. 1397 bis 1399) oder von Bogen getragen (1400—1402).

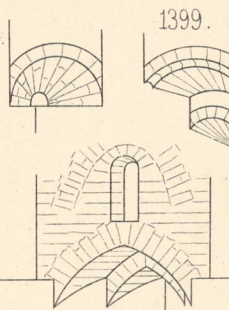
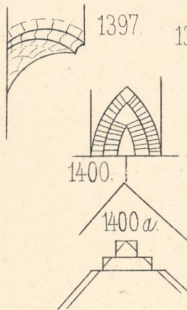
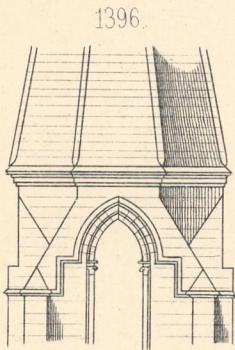
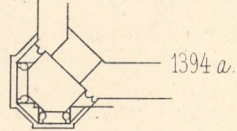
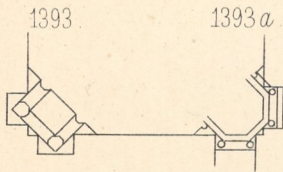
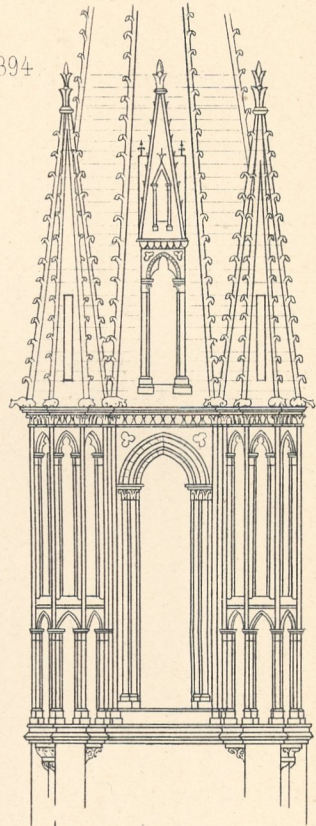
Diese letzteren bestehen aus zwei oder mehreren konzentrischen Schichten, welche sich zwischen die Innenfluchten der Mauern des Glockenhauses spannen und mit ihren winkelfrechten Anfängen entweder ausgekragt sind oder auf einem Mauervorsprung sitzen. Die Fig. 1400 und 1400a zeigen die letztere Anordnung aus den Türmen der Liebfrauenkirche in Worms. Diese Bogen übertragen also die Last teils seitwärts auf die Mauern des Glockenhauses, teils aber aufeinander, und so schliesslich auf die Ecke. An dem Freiburger Turm findet sich eine ähnliche Anordnung, nur fassen die einzelnen Bogenschichten nicht mit wagerechten, sondern mit schräg gestellten Lagerfugen aufeinander und nähern sich so der Form der Halbkuppeln oder Kuppel-segmente (s. Fig. 1405).

Fig. 1401 zeigt die Auskragung im Domturm zu Paderborn (nach einer Mitteilung des Baurats Güldenpfennig daselbst). Die Bogen setzen sich hier teilweise auf einen Mauervorsprung,

Ueberleitung in das Achteck



Griffl
b Kassel



teils schneiden sie sich schräg aus der Wand heraus. Bei vollen Rundbogen oder Spitzbogen können die vor die Wandflucht tretenden Bogenteile von Kragsteinen oder Säulchen getragen werden. Fig. 1402 zeigt beides und ausserdem im unteren Teil eine sehr oft auftretende zwickelartige Auskrägung. Besonders mannigfaltige Übergänge zeigen die höher geführten Kuppeln in den Vierungstürmen der rheinischen und französischen romanischen Bauten, denen auch die Figuren 1397—1399 entnommen sind.

Durch Hinabrücken dieser Übergangsgewölbe unter den Boden des Glockenhauses ergibt sich sodann die achteckige Grundform für dasselbe, welche jedoch an sich der Anordnung der Glockenstühle ungünstig ist, und den für die Schwingungen der Glocken erforderlichen Raum möglicher Weise beschränken kann. Deshalb ist an einzelnen französischen Türmen, wie zu Chartres und Reims, das achteckige Glockenhaus mit den nunmehr in der Bodenhöhe desselben aufsitzenden und hier den Übergang aus dem Viereck bildenden Ecktürmchen vermittelt der Bogenöffnungen, welche die in der diagonalen Richtung liegenden Achteckseiten durchbrechen, in Verbindung gebracht, so dass wenigstens für das Innere des Glockenhauses die viereckige Grundform wiedergewonnen ist (s. Fig. 1394 a).

Innen achteckige und viereckige Glockenstuben.

Jene Ecktürmchen setzen sich dann in der Bodenhöhe des Glockenhauses gerade so auf die Strebepfeiler, wie sonst in der Höhe der Helmbasis, und sind der verschiedenartigsten Gestaltungen fähig. Was zunächst die Höhe betrifft, so können sie die gleiche Höhe mit dem Glockenhaus haben (s. Fig. 1394), also von dessen Gesims umzogen werden, wie in Reims und Laon, und oberhalb desselben unmittelbar mit Helmen bekrönt sein, welche Anordnung an den genannten Werken wenigstens beabsichtigt war. Statt dessen können über dem Gesims noch niedrige Stockwerke aufgesetzt sein, welche die Helme tragen, oder endlich können die Ecktürme niedriger sein, als das Glockenhaus, so dass ihre Helme sich den Mauern desselben teilweise oder auf ihre ganze Höhe anlegen, wie in Senlis und Chartres.

Form der Ecktürme.

Sie können ferner auf ihre ganze Höhe aus durchgehenden, bogenverbundenen Säulchen gebildet sein, wie in Reims, oder durch einen Boden in zwei Stockwerke geschieden werden, wie in Laon und an dem Naumburger Dom. Diese Stockwerke können die gleiche Grundform haben, wie in Naumburg, oder wie in Laon in der Weise von einander abweichen, dass auf dem unteren, nach dem übereck-stehenden Viereck gebildeten, das obere aus fünf Achteckseiten bestehende auf sitzt, wobei jedoch das obere Stockwerk nicht zugänglich und deshalb der Boden desselben von kolossalen, zwischen den Säulchen sich herausbiegenden Tiergestaltungen besetzt ist.

Einer der Ecktürme kann den auf die Höhe der Helmbasis führenden Treppenturm einschliessen, entweder so, dass der letztere seine besonderen Mauern oder Pfeiler hat, welche innerhalb der Pfeiler des Eckturms gleich wie in einem Käfig stehen, wie in Reims und Senlis, oder so, dass die Treppenstufen und Wangen unmittelbar von den Pfeilern des Eckturmes getragen werden, wie an einzelnen späteren Werken, auf welche wir weiterhin zurückkommen werden.

Treppentürme.

Hierbei ist es selbst statthaft, dass der Treppenturm auf einer Ecke den Eckturm geradehin ersetzt, und durch seine andere Gestalt eine Abweichung von der Symmetrie herbeiführt.

Wenn wir oben die Ecktürme als für die Herstellung eines im Innern viereckigen Glockenhauses verwertbar bezeichnet haben, so ist doch dieser Nutzen

nicht immer daraus gezogen, und sind z. B. in Laon und Senlis die diagonalen Achtecksseiten nach den Ecktürmen nur durch Thüren geöffnet, so dass durch die Türmchen neben der Gewinnung von überdachten Austritten nur noch der Nutzen einer Belastung der Ecken erzielt wird.

Turm zu
Freiburg.

An dem Freiburger Münsterturm findet sich eine eigentümlich geistreiche, allen Bedingungen in schönster Weise entsprechende Umbildung des Motivs der Ecktürmchen, auf welche wir hier näher eingehen müssen.

Wie bereits angegeben, ist der Zweck der Türmchen ein mehrfacher, sie dienen zur Herstellung der quadratischen Grundform des Innern, zur Belastung der Ecken und zugleich zur Bildung des Übergangs aus dem Viereck ins Achteck. Demnach sitzt in Freiburg das Glockenhaus nach der in der unteren Hälfte von Fig. 1404 gegebenen Grundform auf dem Turmquadrat, d. h. es ist innen viereckig und im äussern ist der Übergang aus dem Quadrat in das nach dem gleichseitigen Dreieck gebildete geschlossene Ecktürmchen (s. Fig. 1403) angebahnt. Letzteres geht als zugänglicher Raum auf nahezu die volle Höhe des Glockenhauses hinauf, also soweit die Beibehaltung der quadratischen Grundform im Innern von Wert ist, und schliesst nach innen ab durch jene oben erwähnten, die diagonalen Achtecksseiten tragenden Eckgewölbe. Die Fig. 1405, welche den inneren Raum des Glockenhauses im Diagonalschnitt darstellt, macht diese Anordnung anschaulich, die bereits in Fig. 96 gegebenen, die Steinplattendecke tragenden Pfosten über den Rippen sind nicht gezeichnet.

Über dem Glockenhaus findet sich dann eine hohe, achteckige, durch acht grosse pfostengeteilte Bogenöffnungen nach allen Seiten geöffnete, von dem durchbrochenen Helm bekrönte Halle, deren Grundriss durch *abcC* in Fig. 1404 dargestellt ist.

Auf die Höhe dieser letzteren haben also die Ecktürmchen nur noch den Zweck die Eckpfeiler zu belasten und bestehen demnach in der bekannten Tabernakelbildung, deren Schlussfiale die Helmbasis überragt.

Die Wirkung der tabernakelartigen Aufsätze wird dadurch noch gesteigert, dass sie den in den diagonalen Achtecksseiten befindlichen Bogenöffnungen vorstehen. Es sind dieselben also eigentlich als die Helme jener dreiseitigen Ecktürmchen anzusehen, deren geschlossene, reich mit Pfosten und Masswerk verzierte Mauerflächen eine besonders glückliche Verbindung bilden zwischen dem einfachen unteren Turmstockwerke und den reichen und luftigen Formen der achteckigen Halle und des Helmes. Dieser Zusammenhang wird dadurch noch enger, dass die Grundform der Glockenstube, also das Achteck mit den vier den diagonalen Seiten anliegenden Dreiecken sich noch auf eine kurze Strecke in das Turmquadrat hinab fortsetzt und dann erst durch Wasser schläge in das volle Quadrat übergeht, so dass die Strebepfeiler des letzteren mit ihren Dächern an die Seitenflächen jener dreieckigen Mauerkörper anlaufen, und dass die weite Ausladung der an der Basis des Glockenhauses sich herunziehenden, von Kragsteinen gestützten Galerie den scharfen Ausdruck der einzelnen Stockwerke steigert, ohne jedoch die innige Beziehung aller Teile zu einander im mindesten zu stören.

Fassen wir nun die den Freiburger Turm von den bisher erwähnten französischen unterscheidenden Eigentümlichkeiten nochmals zusammen, so haben wir von Mauern umschlossene Ecktürmchen statt der offenen, eine dieselben bekrönende Tabernakelbildung statt der einfachen Helme, statt des an den französischen Türmen unmittelbar vom Helm überdeckten Glockenhauses eine demselben aufgesetzte Halle und als Zusätze die Umgänge am Fusse des Glockenhauses und des Helmes.

Diese Umgänge sind offenbar in der Absicht entstanden, dem Volke zugängliche Räume zu eröffnen, demselben die Gelegenheit eines weiten Ausblickes über das Land hin zu bieten, und so dem Turmbau die Vermittlung der Kirche mit dem Leben zu übertragen.

Sie ersetzen in vollkommener Weise die an den französischen Kirchen häufige, mit der eintürmigen Anlage nicht vereinbare Terrasse über dem Mittelschiff. Dass aber das Volk von dem ihm gewährten Boden Besitz nahm und fort und fort sich daran erfreut, kann jeder gewahren,

der diese Plätze aufsucht. Wir möchten daher diese Stücke Deutschlands oben in den Lüften nicht entbehren, wie sie das Freiburger Münster und das Strassburger in seiner Terrasse bieten, von welcher uns noch Goethe in goldenem Rheinwein zugetrunken hat; ist doch seine Beziehung zum Strassburger Münster nicht die letzte, die ihn uns wert macht.

Die Verbindung der Ecktürme mit dem Inneren fehlt an den späteren deutschen Prachttürmen. Es mochte wohl der Reiz jener Tabernakelbildungen, welche in Freiburg nur als Bekrönungen dienen, dazu verleiten, sie zum Hauptgegenstand zu erheben, d. h. die Ecktürmchen nunmehr als Eckpfeiler aus immer künstlicher werdenden Kombinationen von Figurengehäusen und Fialen zu konstruieren, und so schliesslich blosse Schaustücke zu bilden, welche von der Basis des Achtecks an sich als „volle“ Massen erhebend, nur noch zur Belastung der Eckpfeiler dienen, bei aller Pracht aber das vermessen lassen, was sich in Freiburg findet, nämlich die Erfüllung eines mit dem Ganzen verwachsenen Zweckes.

Tabernakel-
bildungen
statt der
Ecktürme.

An einzelnen späteren Werken, wie dem Turm von St. Bartholomäi in Frankfurt, erhielten jene Tabernakelbildungen noch eine weitere Bestimmung, indem man sie durch kleine, nach den Eckpfeilern des achteckigen Glockenhauses geschlagene Strebebogen gewissermassen als Stützen dieses letzteren charakterisierte.

An dem Freiburger Turm ist, wie oben bemerkt, der Übergang aus dem Viereck ins Achteck bereits in dem unterhalb der Glockenstube befindlichen, dem Kirchendach entsprechenden Stockwerk angebahnt. Ein weiterer Schritt besteht darin, dass die Anfänge des Übergangs als Motiv für die Gestaltung des vorletzten Stockwerks auf seine volle Höhe benutzt werden, wie an den Kölner Domtürmen, an welchen die Strebepfeiler des Turmachtecks an den Mauern des Vierecks bis auf die von der Mittelschiffshöhe bestimmte Gürtung hinablaufen.

Fortführung
des Acht-
ecks nach
unten.

An einzelnen kleineren Türmen, wie dem der Nikolaikirche in Frankfurt und der Kapelle zu Kidrich, geht das Turmachteck selbst bis auf das Portalstockwerk hinab. Die Übergänge finden sich oberhalb desselben an dem ersteren Turm in einfacher Weise durch Wasserschläge, an dem letzteren durch eine der Achteckseite anliegende Tabernakelbildung bewirkt. Dass die tiefe Überführung ins Achteck schon an romanischen Werken vorkommt, ist bereits S. 587 erwähnt.

Die vollständige Durchbrechung der Seiten des Turmvierecks durch zwei Fenster, wie zu Köln und Ulm, bringt es mit sich, dass die Eckpfeiler des Achtecks je auf einen Fensterbogen zu stehen kommen. Die Höhe dieses Überganges zum Achteck findet sich in Köln oberhalb des zweiten, an anderen Türmen oberhalb des darauf folgenden Stockwerks. Wird das Achteck des Turmes versetzt, so dass zwei Diagonalen desselben mit denen des Vierecks zusammenfallen (s. Fig. 1407), so erwächst hieraus die Notwendigkeit, wegen der verstärkten Schubkraft der vier in den Ecken liegenden, durch die Pfeiler belasteten Übergangsgewölbe, in den Mitten der Vierecksseiten, wie in der unteren Hälfte von Fig. 1407, oder aber da, wo jene Übergangsgewölbe die Mauern treffen, wie in der oberen Hälfte, kräftige, etwa durch Strebepfeiler verstärkte Pfeiler anzulegen, während die eigentlichen Eckpfeiler des Vierecks entlastet werden und in eine ziemlich müssige Stellung rücken. Die durch die Mittelpfeiler hervorgebrachte Zweiteiligkeit der Seiten des Turmvierecks kann dann in jeder Höhenabteilung, zunächst aber über dem Portalvorsprung,

Übereck-
stellung des
Achtecks.

wie in Fig. 761, dadurch wieder aufgelöst werden, dass die Mittelpfeiler sich auf einen Bogenscheitel setzen.

Diese Zweiteiligkeit kann sich indes auch aus der Grundrissanlage ergeben, wenn nämlich die Türme doppelten Seitenschiffen angehören, wie an dem Dom von Köln, und ist nur an der Kathedrale von Paris durch jene eigentümliche S. 311 näher beschriebene Anordnung des unteren Turmgewölbes vermieden worden.

Ausbildung
und Bekrö-
nung des
Turm-
eckes.

Am Turmachteck sind sämtliche Seiten oder nur die dem Quadrat parallelen von Bogenöffnungen durchbrochen. Letzteres dann, wenn die übrigen vier Seiten von anliegenden Ecktürmchen oder anderen Überführungen in Anspruch genommen werden.

Die Bogenöffnungen selbst sind je nach ihrer Grösse einfach oder pfostengeteilt; Pfosten sind freilich hier, wo es sich um eine Verglasung handelt, wesentlich dekorativ, erschweren selbst die Anbringung der Schallbretter und fehlen deshalb an den meisten älteren französischen Türmen.

Die Ecken des Turmachtecks zeigen sich als einfache Kanten oder sind durch vortretende, dem Mauerwerk eingebundene Säulchen oder auch durch Pfeilerbildungen verstärkt.

Jene Ecksäulchen können dann entweder mit ihren Kapitälern in dem das Turmachteck abschliessenden Gesims verwachsen, wie in Fig. 1403, oder den in der Helmbasis befindlichen Wasserspeiern ein Auflager bieten, oder, wenn letztere fehlen, unmittelbar die Helmrippen aufnehmen, wie in Fig. 1390, oder endlich, wenn ein Umgang am Fusse des Helmes angeordnet ist, die Fialen tragen, welche die Galerie verstärkend überragen. Die Eckpfeiler können, wie in Freiburg (Fig. 1404), nach zwei Seiten des Quadrats oder wie gewöhnliche Chorstrebeböfeler gebildet sein, sich mit ihren Dächern den Kanten des Glockenhauses oder auch des Helmes anlegen oder mit, die Galerie überragenden, einfachen oder zusammengesetzten Fialen gekrönt sein, wie in Freiburg (s. Fig. 1403) und Köln. Wir machen jedoch darauf aufmerksam, dass in Freiburg, um die Beugung des Umgangs zu vermeiden, die innere der vier kleinen Fialen weggelassen ist (s. Fig. 1404 bei *d*).

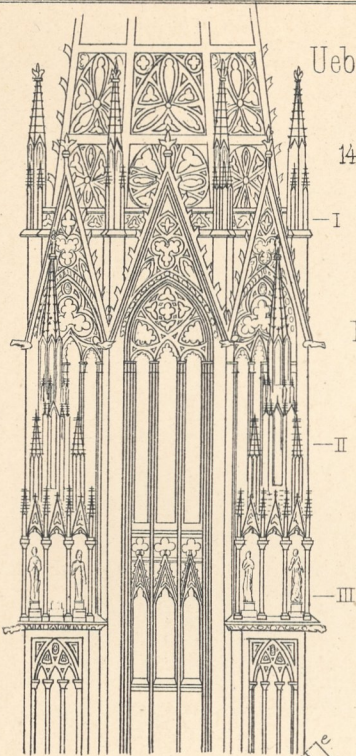
Treppen-
türme.

Zwischen jene Eckpfeiler verspannen sich dann an den genannten Türmen, wie an vielen anderen, die die Bogenöffnungen bekrönenden und die Galerien überragenden Wimpergen, die indes in keiner wesentlichen Hinsicht von den an anderen Stellen vorkommenden abweichen. Nur gehen in Freiburg die Masswerkgalerien nicht hinter den Wimpergen durch, sondern schliessen von beiden Seiten an dieselben an. Diese sechzehnfache Krone, welche die Wimpergen mit den Fialen bilden, bietet einen Ersatz für die acht Nebentürmchen der altfranzösischen Helme, erreicht jedoch, wir müssen es sagen, die grossartige Wirkung der letzteren nicht, wenn schon er sie an Reichtum übertrifft.

Wir haben bereits S. 607 Treppentürme erwähnt, welche von den den Übergang in das Achteck bildenden Ecktürmchen umschlossen sind. Es stehen denselben diejenigen der Türme von Freiburg und Köln gegenüber, wo eine völlige Trennung beider stattfindet, indem die Treppentürme in einer ihrer Bestimmung angemessenen abweichenden Gestalt sich den Ecktürmen in ihren unteren Teilen anlehnen, in der Höhenentwicklung aber davon frei werden. Hierdurch wird aller-

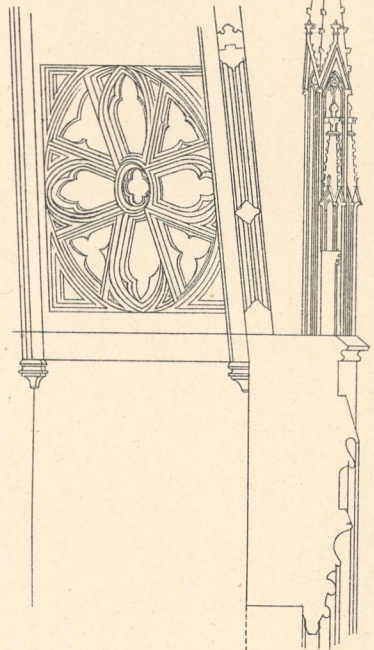
Ueberleitung vom Viereck in das Achteck.

1403



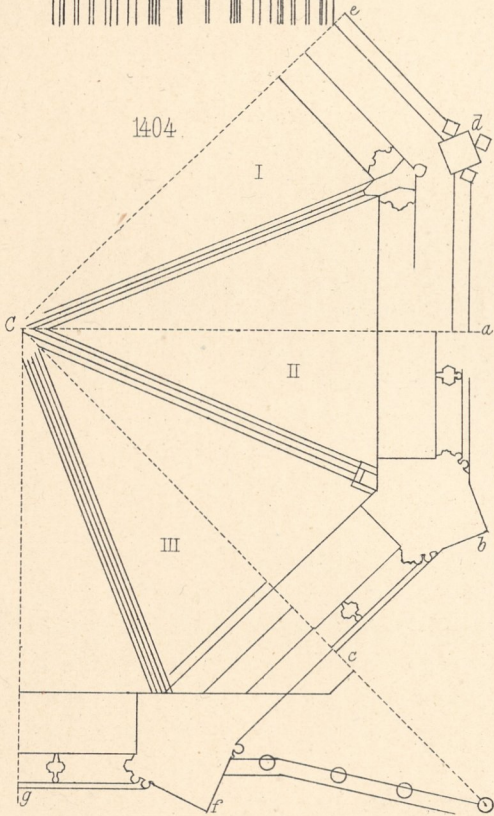
Turm zu
Freiburg i.B.

Fig 1403 1406.

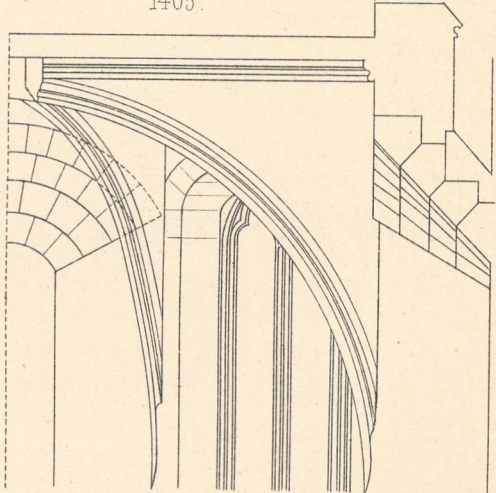


1406.

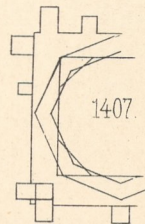
1404



1405



1407



dings, da man nur eines Treppenturmes bedurfte, die Symmetrie etwas gestört, die malerische Wirkung aber wesentlich gesteigert.

An den späteren Prachttürmen von Strassburg und Ulm dagegen sind vollkommen symmetrische Anlagen dadurch ermöglicht, dass jeder der vier Ecktürme zum Treppenturm wird. Es stehen dieselben von dem Glockenhouse völlig getrennt, überragen die obere Galerie und sind mit dem Boden derselben durch Brücken verbunden. An dem Strassburger Turm, dessen Konstruktion bis in die Spitzen des Helmes hinauf durch das System der Treppenanlagen in ihrem Charakter bestimmt wird, rechtfertigt eben diese Konsequenz, diese sinnreiche Durchführung, die fast moderne Anlage von drei überflüssigen Treppen, während in Ulm die aus den Originalrissen ersichtliche Absicht der symmetrischen Durchführung um jeden Preis doch einigermaßen störend wird. Bei dem jetzt zur Ausführung gelangten Ulmer Turme wird die Helmspitze ebenso wie bei der Frauenkirche in Esslingen zugänglich gemacht durch eine in der Mitte der Helmpyramide hochgeführte durchbrochene Wendeltreppe. Der fortlaufende Querverband, welchen solche Treppentürmchen durch die Stufen erhalten, giebt denselben eine ausserordentliche Stabilität und ermöglicht die geringsten Wandstärken.

Noch erwähnen wir die vielleicht einzige Treppenanlage der Türme des Meissner Domes, welche nicht in besonderen Gehäusen angelegt sind, sondern sich innerhalb der Mauerdicken finden, aber sich in den Seiten des Turmquadrats in geradlinig ansteigenden, durch die Durchbrechungen hindurch sichtbaren Läufen bewegen.

4. Kleinere Türmchen.

Wir haben schon in Fig. 814a ein Beispiel eines Türmchens gegeben, das von den der Giebelmauer vorstehenden Strebpfeilern getragen wird und vor dieselben auskragt. Fehlen die Strebpfeiler, so geht die Auskragung natürlich von der Mauerflucht aus und muss dann je nach den Verhältnissen stärker sein. Hierbei ist jedoch zu beobachten, dass des Gleichgewichts wegen die Weite der Auskragung nach beiden Seiten der Mauer ganz oder nahezu gleich sein muss.

Türmchen
über dem
Westgiebel.

Die Grundform solcher Türmchen kann das Quadrat sein oder jedes beliebige Polygon, und zwar machen die kleinen Dimensionen, welche hier gewöhnlich sind, das Sechseck besonders geeignet.

Die Gestaltung der Auskragung bestimmt sich zunächst aus der Grundform und kann dieselbe in radialer Richtung mittels einzelner übereinander vortretender Schichten angelegt oder durch einzelne mit Werkstücken überdeckte oder bogenverbundene Kragsteine bewirkt werden. Die erstere Anordnung ist der quadraten Grundform minder angemessen als der polygonalen. Die Grösse der Last macht ferner eine steile Richtung der Auskragung vorteilhaft, welche sowohl durch die Profilierungen der Schichten selbst als auch dadurch gewonnen werden kann, dass die auskragenden Schichten durch andere die lotrechte Flucht haltende getrennt werden. Immer muss die Auskragung so tief beginnen, dass vom Dachboden aus

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 Mittelschiffsweite 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.

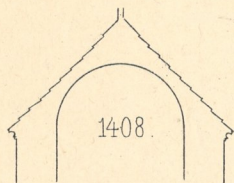
Einfache Werksteinhelme.

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

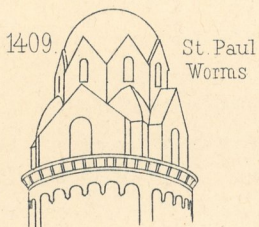
Türmchen
über dem
Triumph-
bogen.

Entstehung
und Anwen-
dung der
Steinhelme.

Steinerne Turmhelme

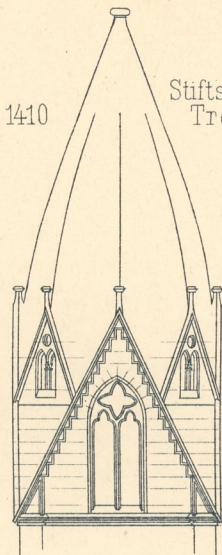


1408.



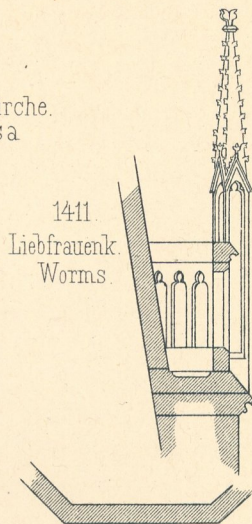
1409

St. Paul
Worms



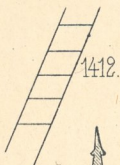
1410

Stifts-Kirche.
Treysa

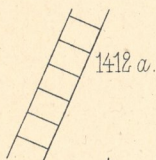


1411.

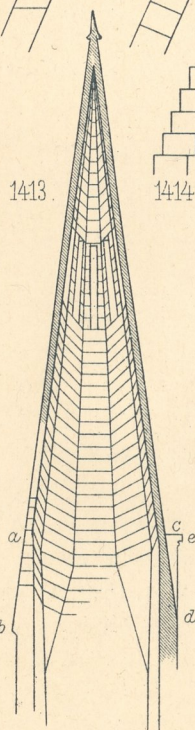
Liebfrauenk.
Worms.



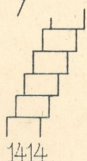
1412.



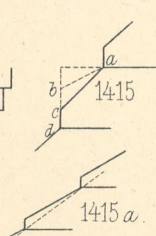
1412 a.



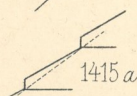
1413.



1414.



1415



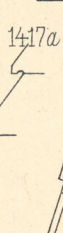
1415 a.



1416.



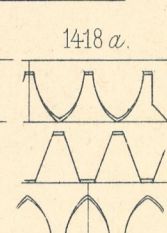
1417



1417 a.

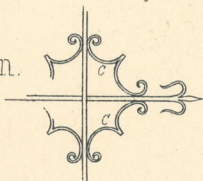


1418

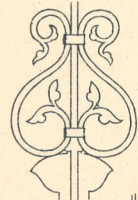


1418 a.

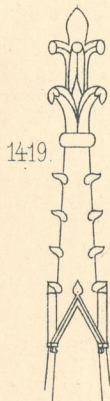
Bekrönungen.



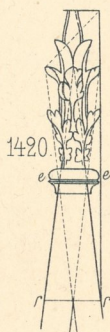
1421.



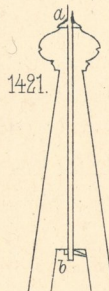
1422.



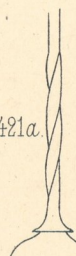
1419.



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.

Kuppelartige 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.

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 pfeilgeteilte 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 konsequenterere Durchführung 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.

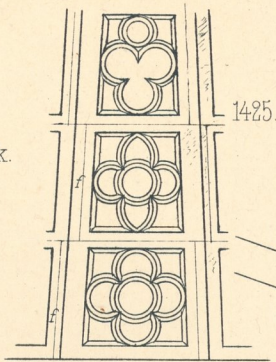
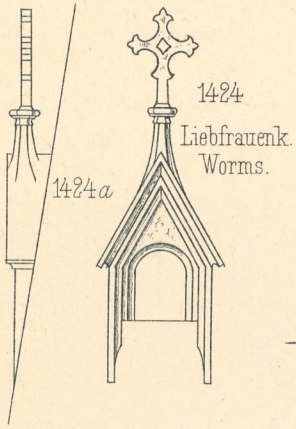
Die grossartigste und geistreichste Anwendung, welche von der Tragkraft der Helme gemacht ist, zeigt der nördliche Turm des Strassburger Münsters. Es ist die Konstruktion desselben so allbekannt und von VIOLLET LE DUC (Dict. rais. tome V. pag. 439.) so meisterhaft dargelegt worden, dass wir uns hier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

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

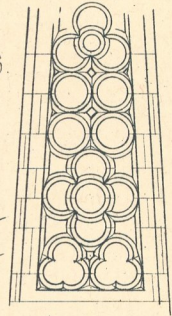
Umgänge
und
Zwischen-
geschosse.

Treppen und
Fialen auf
den Kanten.

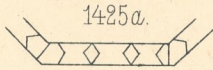
Durchbrochene Turmhelme etc.



1426.

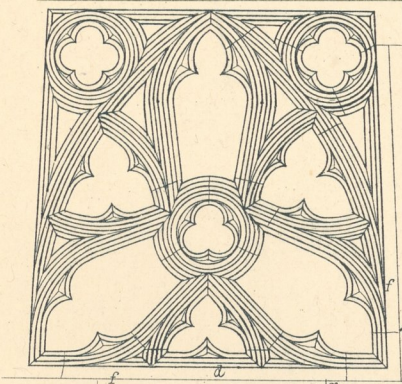


1427.

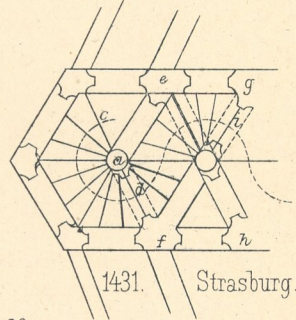
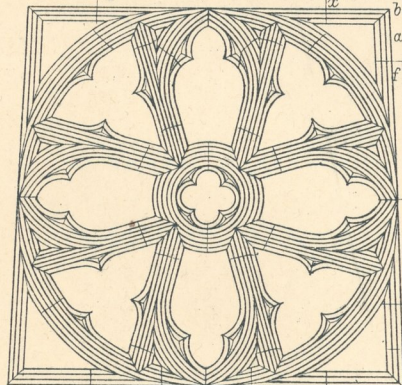


1425a.

1428.
Freiburg.



1428a



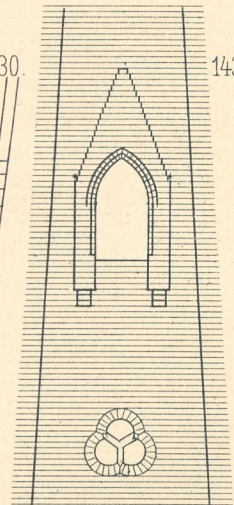
1431.

Strasburg.

1429.

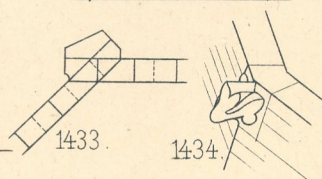
1430.

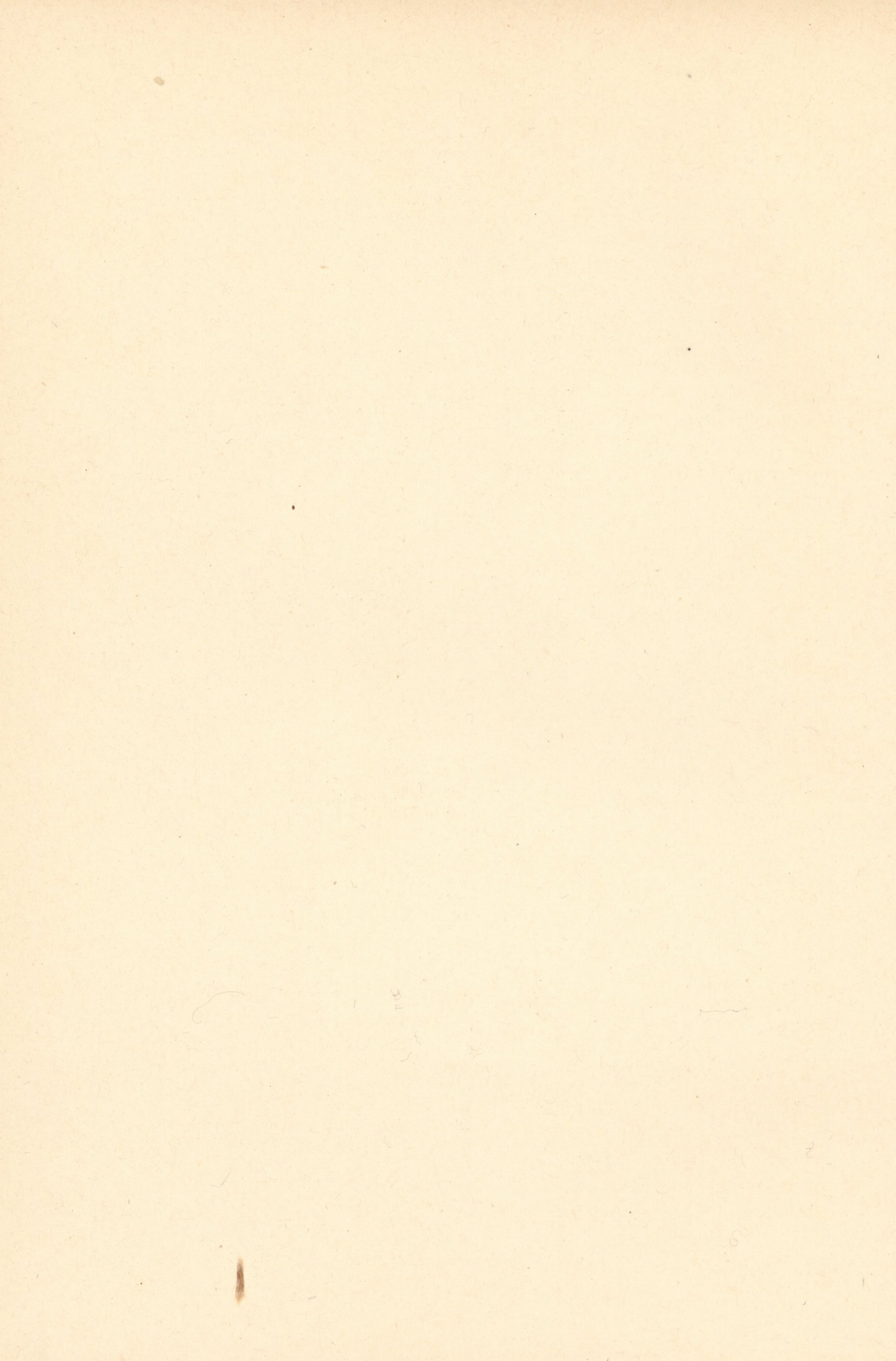
1432.



1433.

1434.





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.

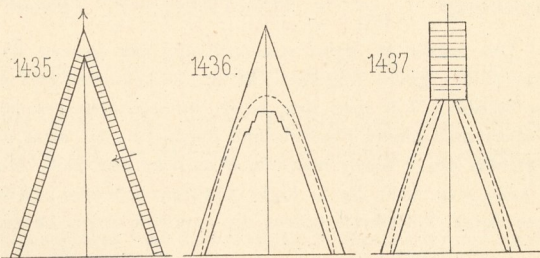
6. Beanspruchung, erforderliche Wandstärke und Schub steinerner Dächer.

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.

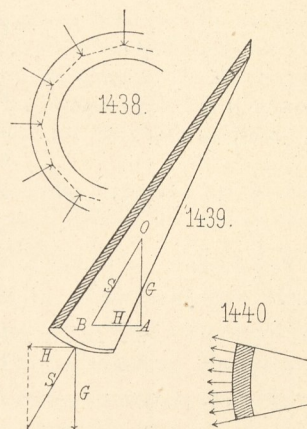


Man hat daher im Kegel zweierlei Mantelpressungen zu unterscheiden: 1. einen Ringdruck, der unten am stärksten ist und nach oben allmählich abnimmt, bis er in der Spitze zu Null wird, 2. einen schräg nach unten gerichteten Druck, der sich unter dem Einfluss der Schwere der Steine von Schicht zu Schicht 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 α 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:

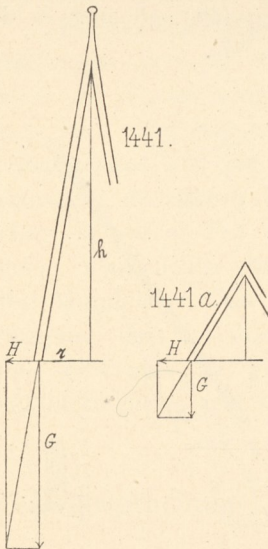
$$H = G \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (\text{oder } H = G \cdot r : h).$$

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: $H_0 = G \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot \frac{\sin \beta}{\pi}$, darin ist G das Gewicht des ganzen Kegels, α dessen Neigungswinkel und β 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, α 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° 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 α	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	$2\frac{1}{8} q \cdot r$	$4 q \cdot r$	1 : $1\frac{15}{17}$	2,062 $q \cdot r$
	1 : 4	$1\frac{1}{4} q \cdot r$	$2 q \cdot r$	1 : $1\frac{8}{5}$	1,118 $q \cdot r$
	1 : 2	$q \cdot r$	$q \cdot r$	1 : 1	0,707 $q \cdot r$
steile Helme	1 : 1	$1\frac{1}{4} q \cdot r$	$\frac{1}{2} q \cdot r$	$2\frac{1}{2} : 1$	0,559 $q \cdot r$
	2 : 1	$2\frac{1}{8} q \cdot r$	$\frac{1}{4} q \cdot r$	$8\frac{1}{2} : 1$	0,515 $q \cdot r$
	3 : 1	$3\frac{1}{12} q \cdot r$	$\frac{1}{6} q \cdot r$	$18\frac{1}{2} : 1$	0,507 $q \cdot r$
	4 : 1	$4\frac{1}{16} q \cdot r$	$\frac{1}{8} q \cdot r$	$32\frac{1}{2} : 1$	0,504 $q \cdot r$
	5 : 1	$5\frac{1}{20} q \cdot r$	$\frac{1}{10} q \cdot r$	$50\frac{1}{2} : 1$	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 steinerner 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-

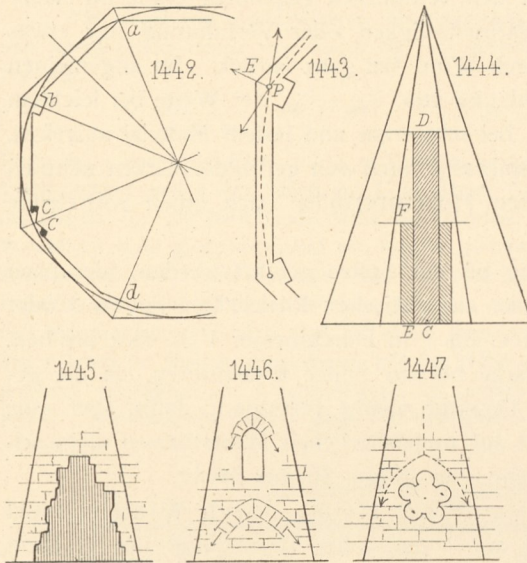
Umsturz
durch Wind

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

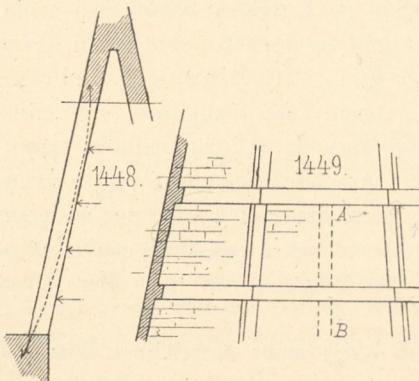
Ver-
spannung
nach oben
und unten.



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.

Eindrücken
der Wände
durch Wind.



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.

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

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 Biegebungsbeanspruchung der Wand oder das Vormauern von Verstärkungsringen und Zwischenrippen.

Die Biegebungsbeanspruchung 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.

Biegebungs-
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 α 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 α 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 α 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

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

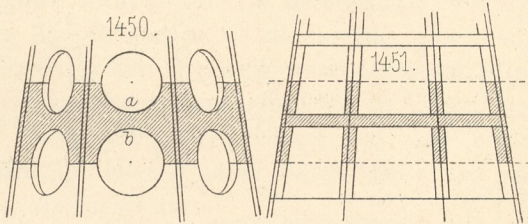
Darin ist g das Gewicht des aus dem Helm herausgeschnittenen Ringes, α ist wieder der Neigungswinkel, der im ersten Fall zwischen dem der Seite und des Grates liegt, im zweiten Falle dem Grat zu entnehmen ist. n ist die Seitenzahl des Polygones, also beim Achteck gleich 8, β ist der halbe Centriwinkel 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 α den Neigungswinkel α_0 der Seite und in Formel 2a) die Neigung α_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 Felderreihen 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 Helmmantels und für α 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 Windverbreitung, 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 α_1	an der Seite α_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.

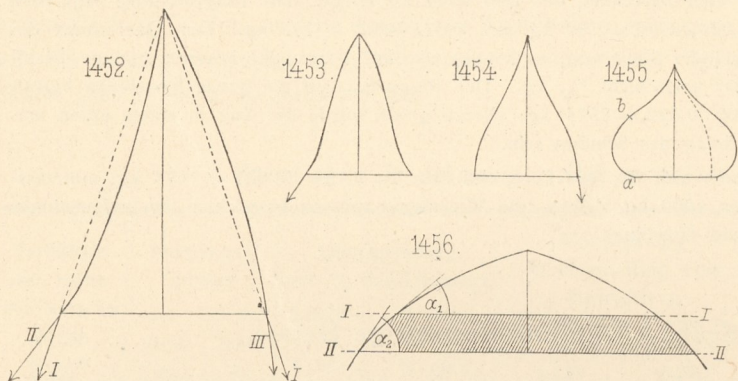
Polygonale oder runde Steinbedeckungen, die statt der geraden, eingebogene Aufrisslinien zeigen (Fig. 1452 links), haben grösseren Ringdruck aber auch grösseren Schub (vergl. die Kräfte I und II der Figur 1452); bei einem nach aussen gekrümmten Umriss verringert sich umgekehrt der Ringdruck, der selbst 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 beliebigen 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 α_1 und den in der Höhe II II α_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 β 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.

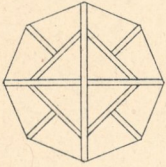
Die zweite Richtung des Verbandes ergibt sich dadurch, dass die soeben besprochenen Verstrebrungen nicht in den Diagonalebene, sondern in den Ebenen des Kreuzes (Fig. 1458) liegen. Statt dessen können in bestimmten Höhenabteilungen des Helmes (3—5 m) kreuzförmige Gebälke nach Fig. 1458 gelegt

Diagonal-
verstrebrung.

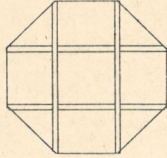
Verstrebrung
bei kreuz-
förmigen
Gebälken.

Holzhelme.

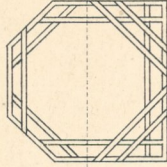
1457.



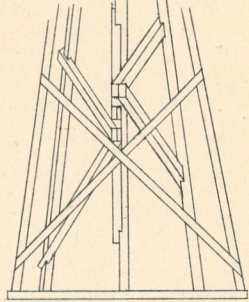
1458.



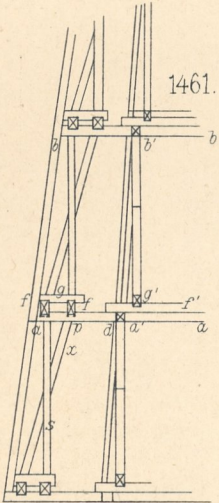
1459.



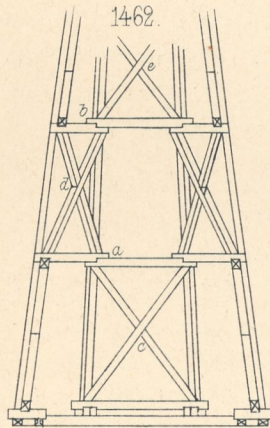
1460.



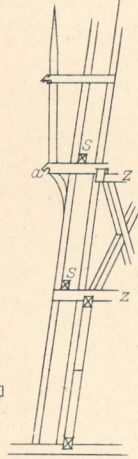
1461.



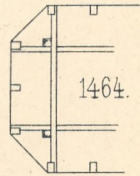
1462.



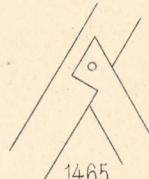
1463.



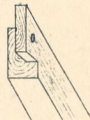
1464.



1465.



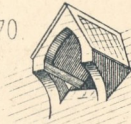
1465 a.



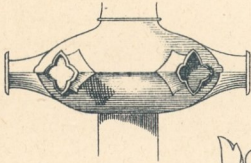
z



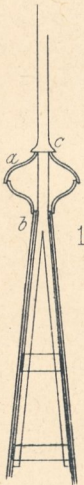
1470.



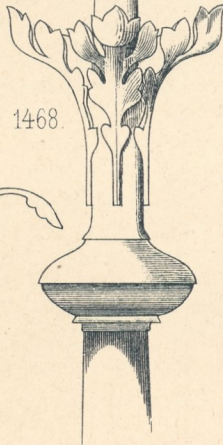
1467.



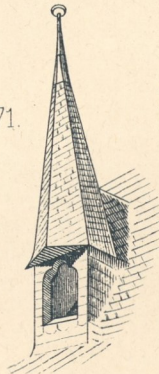
1466.



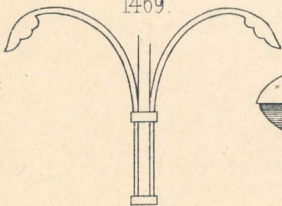
1468.



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 Verstrebrung
in der Man-
tefläche. 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.

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.

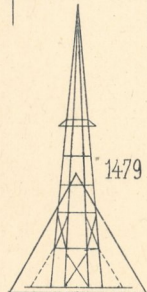
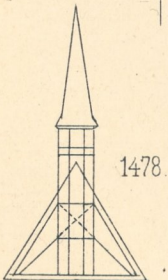
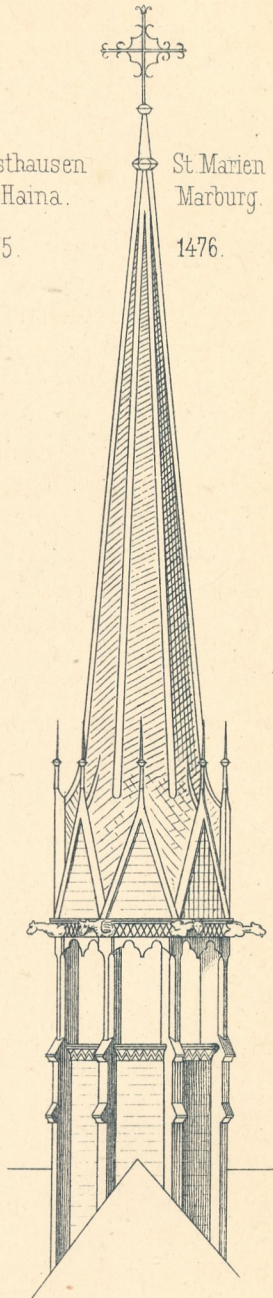
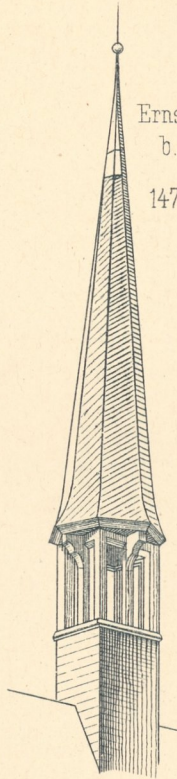
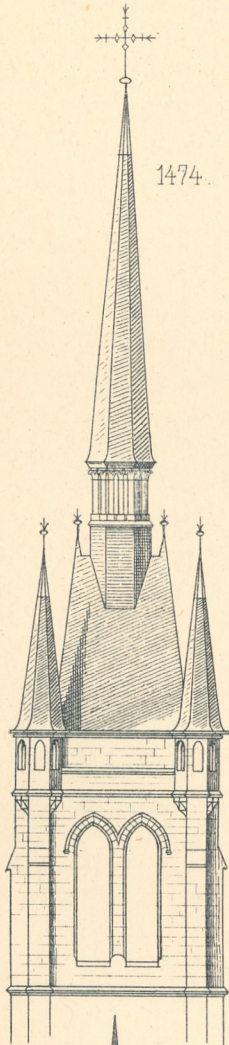
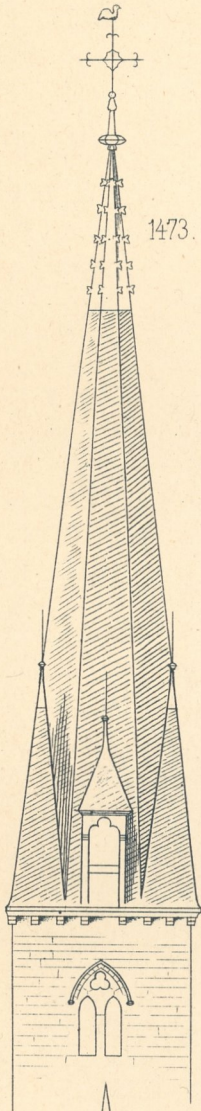
2. Die Walmdächer finden sich fast häufiger als die Giebeldächer, hauptsächlich nach jener in Fig. 1474 gezeigten Gestaltung, bei welcher durch verschiedene Neigungen der Dachflächen eine beliebige Firstlänge selbst bei quadratischen Grundrissen hervorgebracht werden kann. Dergleichen Dächer können auch 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.

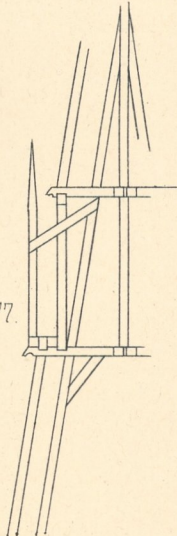
Von den Dachreitern.

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 α 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.

bei gleichmässiger Verteilung einen Schub von $10400 : 32 = 325$ kg. Würde der Schub allein auf die Ecken treffen, so hätten die acht Balken in Fig. 1457 je einen Schub, also auch eine Zugkraft in der Längsrichtung, von $10400 : 8 = 1300$ kg aufzunehmen. (Bei den kreuzförmigen Balken in Fig. 1458 etwa dasselbe.) Da 1 qcm Holzquerschnitt mit etwa 80 kg auf Zug beansprucht werden darf, so würde ein Querschnitt von $1300 : 80 = \text{rd } 16$ qcm, also je eine dünne Latte von $4 \cdot 4$ cm genügen; bei flacheren Helmen würden sich etwas grössere Werte, bei steileren aber noch kleinere ergeben. Man sieht, es kommt weniger auf die Stärke der Stichbalken an, als auf eine genügend zuverlässige Befestigung der Enden, besonders an den Anschlussstellen der Stichbalken und Wechsel. Diesen Punkt darf man trotz der Geringfügigkeit der Kräfte nicht vernachlässigen, denn sonst übertragen eben die Stichbalken den Sparrenschub vermöge ihrer Reibung auf das Mauerwerk, was man ja verhüten will (wenngleich die Wände in vielen Fällen stark genug sind, den Schub aufzunehmen).

Zuverlässiger ist immer die Aufhebung des Schubes durch einen Kranz von doppelten Mauerlatten (Fig. 1459), selbst dann, wenn sich noch ein Stich- oder Kreuzgebälk darüber befindet. Der Kranzzug beträgt nach Seite 625 und 631:

$$U = \frac{G \cdot \text{ctg } \alpha}{8 \cdot 2 \cdot \sin 22,5^\circ} = \frac{8000 \cdot 0,13}{8 \cdot 2 \cdot 0,38} = \text{rd } 1700 \text{ kg.}$$

Nimmt man zur Sicherheit an, dass schon eine der beiden Mauerlatten, und zwar die innere, stark genug sein soll, diesen Zug aufzunehmen, so erfordert sie einen Querschnitt von $1700 : 80 = 22$ qcm, also eine Stärke von $5 \cdot 4,5$ cm. Da man aber den Mauerlatten mindestens den 4 bis 8 fachen Querschnitt zu geben pflegt, so ist völlige Sicherheit vorhanden, wenn sie nur einigermaßen fest mit einander verkämmt oder verblattet werden und wenn die Faserlage zwischen den beiden Kränzen lang genug ist, um nicht abgesichert zu werden. Rechnet man die Scherfestigkeit des Holzes in der Faserrichtung nur zu 10 oder selbst 5 kg, so würde bei 12 cm Holzbreite nur $(1700 : 10) : 12 = 14$ cm Faserlänge bzw. $(1700 : 5) : 12 = 28$ cm Faserlänge, oder was dasselbe sagt, 14 bzw. 28 cm Abstand der beiden Mauerlatten erforderlich sein. Ausserdem würden an den Kreuzpunkten noch die durchgeschlagenen Holznägel ihre Schuldigkeit thun.

Sicherheit
gegen Um-
sturz durch
Wind.

Umsturz durch Wind. Nimmt man an, dass der Wind auf dem ganzen 10 m breiten und rd 40 m hohen dreieckigen Querschnitt voll zur Geltung käme, so würde Umsturz erfolgen, wenn das Umsturmmoment: $W_o \cdot 10 \cdot \frac{40}{2} \cdot \frac{40}{3}$ gleich oder grösser als das Stabilitätsmoment:

$80000 \cdot 5,0$ wäre, also bei einer Windstärke von $W_o = 150$ kg auf d. qm. Wird der schräge Einfall des Windes auf die Seiten in Rücksicht gezogen, so ist seine Wirkung nur etwa $\frac{3}{4}$ mal so gross, es würde dann erst der Umsturz bei einer Windstärke von etwa 200 kg auf d. qm erfolgen. Da der grösste in Europa beobachtete Winddruck etwa 200 kg auf d. qm beträgt, so dürfte die Stabilität soeben ausreichen, eine kleine Verankerung der acht Ecksparren am Mauerwerk könnte sich aber trotzdem empfehlen. Sie würde unbedingt nötig bei leichteren Türmen.

Es möge, um dieses zu zeigen, die Stärke der Anker für den Fall berechnet werden, dass der vorliegende Helm bei Metaldeckung und äusserst leichtem Holzwerk nur 60 kg f. d. qm wiegt, also im Ganzen 40000 kg und dass er gegen einen auf die volle Querschnittsfläche berechneten Winddruck von 200 kg auf das qm Widerstand leisten soll. Dabei möge ferner angenommen werden, dass nur die beiden am weitesten von der Kippkante entfernten und zwar um 9,5 m von derselben abstehenden senkrechten Maueranker in Wirksamkeit treten sollen. Ist Z die Zugkraft in einem Anker, so ist bei Gleichstellung der Stabilitäts- und Umsturmmente: $2 \cdot Z \cdot 9,5 + 40000 \cdot 5,0 = 200 \cdot 10 \cdot \frac{40}{2} \cdot \frac{40}{3}$. Daraus berechnet sich Z zu 17500 kg, d. h. jede senkrechte Stange muss bei 1000 kg Beanspruchung 17,5 qcm Querschnitt haben und so tief herabgehen, dass über ihrem unteren Splint 17500 kg oder 7 bis 10 cbm Mauerwerk je nach Schwere lastet. Da die Anker der übrigen Eckpunkte, wenn auch erst in zweiter Linie, helfend mit eingreifen, würde man die Verankerung etwas leichter machen können; überhaupt wird sich selten eine so grosse Umsturzgefahr ergeben, da Helme von solcher Grösse schwerer ausfallen würden. Das Beispiel dürfte aber immerhin dargethan haben, wie wichtig die Verankerung unter Umständen

werden kann. Im Mittelalter pflegte man dieselbe dadurch zu bewirken, dass man entsprechend verbundene Hölzer ein Geschoss tief herabreichen liess.

Beanspruchung der Sparren und Streben. Nach S. 624 u. 631 wirkt in der Längsrichtung der Sparren am ganzen Umfang ein Druck $G : \sin \alpha$, also hier $80\,000 : 0,99 = 81\,000$ kg. Auf jeden der 32 Sparren würde im Durchschnitt rd 2500 kg entfallen oder, wenn die 8 Ecksparren allein den Druck aufnehmen, auf diese je 10100 kg; das würde bei 60 kg zulässigem Druck nur einen Querschnitt von 170 qcm oder $10 \cdot 17$ cm erfordern. Wegen der Gefahr des Ausbauchens (Knickens) infolge der grossen freien Längen und besonders wegen der Steigerung des Druckes bei Wind sind aber grössere Stärken erforderlich.

Sparren-
druck.

Die ungünstigste Beanspruchung durch Wind würde eintreten, wenn der Helm im Begriffe stände umzufallen und sich dabei mit seiner ganzen Last auf die beiden Gratsparren bzw. Eckstreben der Kippkante stützen würde. Jedes dieser Hölzer würde dann 40000 kg tragen, also bei 60 kg zul. Druck 666 qcm oder etwa $22\frac{1}{2} \cdot 30$ cm Querschnitt erfordern. Ein Ausbauchen würde bei guter Verstrebung nur für die freie Länge zwischen je 2 Kränzen möglich sein, aber bei so grossen Holzstärken und nicht zu grossem Abstand der Kränze (3—4 m) kaum in Frage kommen; Aufschluss darüber würde die auf S. 503 mitgeteilte Formel geben, in welcher bei Holz zu setzen ist: $s = 10$ und $E = 100\,000$ (bei Schmiedeeisen $s = 5$ oder 6 , $E = 2\,000\,000$). Bei solchen grossen Helmen würde man wohl immer statt eines sehr starken Gratsparrens einen nur mässig starken Sparren mit einer kräftigen Eckstrebe darunter (s. Fig. 1463) anwenden. Die berechnete Stärke würde sich mit Rücksicht auf Mithilfe der übrigen Sparren usw. etwas einschränken lassen, besonders bei verankerten Helmen, so dass man es als ausreichend ansehen kann, die tragenden Ecksparren bzw. Streben: bei 8—10 m breiten Helmen etwa $18 \cdot 24$ bis $20 \cdot 26$ cm, bei 6—8 m Weite $16 \cdot 20$ bis $18 \cdot 24$ cm, bei 4—6 m Weite $16 \cdot 18$ bis $16 \cdot 20$ cm stark zu machen. In diesem Verhältnis kann man auch die Stärke nach oben abnehmen lassen, was die Beschaffung langer Hölzer sehr erleichtert.

Die Zwischensparren braucht man bei 3—5 m Abstand ihrer Stützpunkte mit Rücksicht auf Durchbiegung durch Deckungslast und Wind nur so stark zu machen, wie die gewöhnlichen Dachsparren.

Ring- oder Kranzdruck. Ohne Wirkung des Windes ist der Druck in den Kränzen sehr gering, er berechnet sich (nach S. 631) nach der Formel: $U = \frac{g \cdot \text{ctg } \alpha}{6,123}$. Hat der erste

Ringdruck.

Kranz oberhalb der Basis etwa 9 m Weite und ist der Abstand der Kränze 4 m, so gehört zu diesem Kranz eine horizontale Abteilung des Turmes von ungefähr 120 qm Oberfläche, die bei 120 kg Gewicht f. d. qm ein Gesamtgewicht $g = 14\,400$ kg hat. Da $\text{ctg } \alpha = 0,13$ ist, ergibt sich also ein Druck in den Kranzhölzern $U = 14\,400 \cdot 0,13 : 6,123 = 306$ kg. Mit Rücksicht auf Wind ist es gut, die Kranzhölzer so stark zu machen, dass sie ungünstigsten Falles die Hälfte des auf die entsprechende Abteilung treffenden Winddruckes übertragen können. Die dem unteren Kranz zugehörige Höhenabteilung bietet dem Winde eine Angriffsfläche von etwa $4,0 \cdot 9,0 = 36$ qm. Wird der Winddruck mit 200 kg angesetzt, wegen des teilweisen schrägen Auffalles aber nur mit $0,707 \cdot 200$, also 141 kg in Rechnung gestellt, so ergibt sich rd 5200 kg, also auf ein Kranzholz 2600 kg Druck. Es würde ein Querschnitt von $2600 : 60 = 43$ qcm oder $6 \cdot 8$ cm, wegen der Knickgefahr (s. oben) bei etwa 3,6 m freier Länge aber von $15 \cdot 15$ cm anzuwenden sein. Da die oberen Kränze noch weit weniger beansprucht werden, sind die üblichen Holzstärken stets ausreichend; eine gute, womöglich zu einer geringen Zugübertragung geeignete Verbindung der Eckpunkte ist auch hier wichtiger als grosse Holzstärken.

Windverstrebenungen. Bei alleiniger Wirkung der Eigenbelastungen würde der Helm aus dünnen Sparren und Kränzen aufgeführt werden können. Die Wirkung des Windes zwingt, wie wir gesehen haben, nicht allein diesen Hölzern grössere Abmessungen auf, sondern verlangt noch weitere Verstrebenungen, die nach Massgabe der Figuren 1460—1463 im Inneren des Helmes oder in der Mantelfläche liegen können.

Spannungen
in den Ver-
strebenungen.

Die Kreuze in der Mantelfläche (Fig. 1462) haben jede Biegung und Verdrehung der Flächen zu verhindern; die grösste Beanspruchung für eine Kreuzstrebe dürfte eintreten, wenn sie gezwungen wäre, den ganzen für das Kranzholz berechneten Winddruck, also im unteren

Felde 2600 kg, allein auf den folgenden Grat zu übertragen. Wegen der Neigung, die im unteren Felde 45° betragen möge, vergrössert sich bei entsprechender Zerlegung der Kraft dieser Druck in dem Verhältnis $2600 : \sin 45^\circ = 2600 : 0,707 = \text{rd } 3700 \text{ kg}$. Wegen der grösseren Länge, die reichlich 5 m beträgt, wächst auch die Knickgefahr, so dass sich nach der Knickformel (s. oben und S. 503) ein Querschnitt von etwa $19 \cdot 19 \text{ cm}$ berechnet. Werden die Streben am Kreuzpunkte ohne zu starke Schwächung fest verknüpft, so wird dadurch die Knickgefahr verringert, wenn ausserdem die Enden zugfest angeschlossen sind (Fig. 1465), so kann die Gegenstrebe vermöge ihrer Zugfestigkeit entlastend wirken. Es werden deshalb Stärken von $16 \cdot 20 \text{ cm}$ genügen, im oberen Teil und bei kleineren Türmen können sie schwächer genommen werden.

Ein Mangel ist es, dass die Kreuzstreben im oberen Turmteil sehr steil stehen und dadurch viel an Wirkung einbüßen. Haben sie hier auch nur eine geringere Bedeutung, so kann es doch in vielen Fällen vorteilhafter sein, sie nicht mit den Enden gegen die Kranzhölzer zu setzen, sondern sie in etwas flachere Richtung direkt in die Gratsparren oder Gratstreben einzulassen. Es wird dadurch auch das Zwischentreten von dem Querholz der Kränze vermieden. Wenn die Kreuze abwechselnd in den Feldern bis auf $\frac{2}{3}$ der Höhe des Helmes angewandt sind, so können Verdrückungen nur noch infolge des Schwindens der Hölzer und Auflockerung der Verbindungen eintreten, es kann sich z. B. unter Wirkung des Windes das Grundrisspolygon in mittlerer Höhe des Turmes etwas platt drücken. Um auch dieses zu verhindern, kann man über einzelnen oder allen Kränzen kreuzförmige Balken (Fig. 1458) anwenden, die man aber nicht, wie es üblich ist, zwischen die Kranzhölzer legen, sondern denselben aufkammen sollte, an die Gratsparren bzw. Streben blattet man sie seitwärts an. Einige Balkenlagen sind ja ohnedies der Besteigbarkeit wegen erwünscht. Bemerkte sei noch, dass auch die Brettverschalung, mit 2 Nägeln auf jedem Brettende, eine sehr wirksame Windverstrebung bildet, die im oberen Turmteil die Andreaskreuze völlig ersetzt.

Verstreubungen nach Art der Figur 1460 haben den Vorteil, dass sie die vom Winde getroffenen Grate direkt mit den gegenüberliegenden verbinden, wegen ihrer grossen Länge bauchen sie aber leicht bei Druckbeanspruchung aus, es kann sich deshalb empfehlen durch Balken den Druck zu übertragen, während die Schräghölzer dann zu Zugstäben werden.

Wenn die Verstreubungen unvollkommen sind, so kann, abgesehen von einer Zerstörung durch Wind oder einer Schädigung der Deckung durch starke Schwankungen, eine allmähliche Formveränderung des Helmes eintreten. Die hygroskopischen Bewegungen des Holzes, die wiederholte einseitige Windbeanspruchung und die wandelnde Erwärmung durch Sonnenstrahlen können zusammenwirken, um Krümmungen und selbst schraubenartige Verdrehungen des ganzen Helmes hervorzurufen, wie sie an den Türmen zu Gelnhausen in geradezu überraschender Weise eingetreten waren.

Ein Drehen der Helme kann man an Dutzenden von Beispielen mehr oder weniger stark wahrnehmen. Die Schraubendrehung vollzieht sich immer in der Richtung der wandelnden Sonne, also nach Art eines linksdrehenden Gewindes.

Eiserne Turmhelme werden gleichfalls nach Fig. 1462 aus Sparren, Kränzen und Kreuzen hergestellt; die letzteren werden auf Zug beansprucht, während die Sparren und Kränze Druck bekommen. Die Berechnung eiserner Turmhelme, die sich mit wenig Materialaufwand aus sehr zierlichen Profilen zusammensetzen lassen, kann mit genügender Genauigkeit gleichfalls in der vorbeschriebenen Weise durchgeführt werden.

9. Beanspruchung der Turmwände.

Druckbeanspruchung durch Eigengewicht.

Bei den Türmen kommt das Eigengewicht, der Schub der gemauerten Helme und Gewölbe und der Winddruck in Frage.

Bei den ansehnlichen Höhen der Türme spielt die Druckbeanspruchung unter der eigenen Last eine ganz bedeutende Rolle, sie zieht bei wenig festen Baustoffen sogar sehr enge Grenzen. Will man z. B. gleichmässig dicke Wände oder prismatische Pfeiler aus Lehm- oder magerem Kalkstampfwerk aufführen, das f. d. cbm 1500 kg wiegt und dem man nur 2 kg Druck auf 1 qcm zumuten kann, so würde sich die zulässige Höhe berechnen wie folgt: Ein Würfel von 1 m Seite würde die 10000 qcm grosse Grundfläche mit 1500 kg belasten, also 1 qcm mit $1500:10000 = 0,15$ kg. Für jeden weitem Würfel, den man hinaufsetzen würde, entstände eine Steigerung der Pressung um 0,15 kg; bis die zulässige Pressung von 2 kg f. d. qcm erreicht wäre, könnte man also nur $2:0,15 = 13\frac{1}{3}$ Würfel aufbauen, d. h. gerade aufsteigende Mauerkörper irgend welcher Grundform dürfen aus diesem Material nur $13\frac{1}{3}$ m hoch gemauert werden.

In entsprechender Weise würde für gerade aufsteigendes Ziegelgemäuer bei 1600 kg Gewicht f. d. cbm und $7\frac{1}{2}$ kg zulässiger Beanspruchung für 1 qcm eine Höhe statthaft sein bis zu: $\frac{7,5 \cdot 10000}{1600} = \text{rd } 47 \text{ m.}$

Ebenso würde sich für harte Ziegel oder Klinker bei 2000 kg Gewicht und 15 kg Beanspruchung eine Höhe ergeben von: $15 \cdot 10000:2000 = 75 \text{ m}$ und für Werkstein von 2600 kg Schwere und 30 kg Beanspruchung $30 \cdot 10000:2600 = 115 \text{ m.}$

Treten Belastungen durch Decken und dergl. hinzu, so verringern sich entsprechend die zulässigen Höhen, dasselbe ist der Fall, wenn der Druck durch Gewölbschübe oder Wind excentrisch wird, und sich somit die Pressung an einer Kante steigert.

Es hat demnach den Anschein, als ob der Höhe der Bauwerke aus unseren gewöhnlichen Baumaterialien ziemlich enge Grenzen gezogen seien, dem ist jedoch nicht so, man kann vielmehr durch günstige Massenverteilung weit über die angegebenen Zahlen hinausgelangen. Lässt man z. B. die Dicke gerade aufsteigender Mauern gleichmässig bis Null abnehmen, so kann man sie doppelt so hoch machen als bei gleicher Stärke, dasselbe ist der Fall bei einer hohlen Pyramide oder einem hohlen Kegel mit konstantem Mantelgewicht. Führt man aber einen Turm in Gestalt einer vollen Pyramide oder auch einer hohlen Pyramide mit nach oben gleichmässig abnehmender Wandstärke auf, so ist sogar die dreifache Höhe denkbar, also bei den obigen Annahmen: für Ziegelmauerwerk 140, Klinker 225 und Werkstein 345 m.

Den alten Meistern waren diese Vorteile nicht entgangen, schon die Ägypter führten ihre höchsten Bauwerke in der Form von Pyramiden auf, die sie aber

Pris-
matische
und pyra-
midale
Baukörper.

nahezu voll ausmauerten, wodurch sie Steinkörper schufen, die entsetzlich plump erscheinen gegenüber den wunderbar leichten Türmen der Gotik. Letztere näherten sich nicht allein in der Hauptgestalt der vorteilhafteren Form der hohlen Pyramide, sondern gingen in der Zweckmässigkeit der Massenverteilung selbst noch darüber hinaus, was nach den weiter unten folgenden Ausführungen möglich ist. Dabei wurden alle weiteren Anforderungen als Überdeckung der Innenräume, Auflösung der vollen Wände in tragende Einzelpfeiler, Verstrebrungen gegen Umsturz durch Wind usf. so meisterhaft mit einander vereinigt, und gleichzeitig wurde dem ganzen Bau der Stempel eines so formvollendeten Kunstwerkes aufgeprägt, dass es nur mit der höchsten Bewunderung erfüllen kann, Werke wie die Türme des Kölner Domes von diesen Gesichtspunkten aus zu betrachten. Wenn man bedenkt, wie weit der Weg ist von dem gerade aufsteigenden Turm der altchristlichen und frühromanischen Zeit mit seinen fast unverminderten Mauerstärken bis zu dieser nach jeder Richtung abgewogenen statischen Schöpfung, so muss man staunen über die Leichtigkeit, mit der die Alten dieses Ziel erreichten.

Wir sagten, man könne noch zweckmässige Massenverteilungen als die der Pyramide ermöglichen; in der That kann man nicht nur dieses, sondern theoretisch genommen ist es sogar denkbar, ein Bauwerk unendlich hoch aufzuführen, ohne dass der Druck an der Basis einen bestimmten Wert überschreitet. Dabei ziehen sich allerdings die oberen Teile rasch zu einer so geringen Stärke zusammen, dass die Ausführbarkeit und besonders die Gefahr des Umsturzes sehr bald der Höhe ein Ziel setzen.

Das hier nicht näher abzuleitende Gesetz, nach dem ein Baukörper, der in jeder Höhe die gleiche Pressung auf die Flächeneinheit zeigt, gebildet sein muss, lautet: $\log \text{nat} (b_2 : b_1) = \gamma \cdot h : k$.

Darin sind b_2 und b_1 die Inhalte zweier beliebiger horizontaler Schnitte (in qm), welche einen Abstand h (in Meter) von einander haben. k ist die zulässige Belastung (in kg auf 1 qm) und γ das Einheitsgewicht des Mauerwerks (in kg f. d. cbm).

Nimmt man an, dass zwei Flächen herausgeschnitten sind, von denen die untere b_2 doppelt so gross ist als die obere b_1 , so ist $\log \text{nat} (b_2 : b_1) = \log \text{nat} 2 = 0,69315$. Dieses oben eingesetzt ergibt: $0,69315 = \gamma \cdot h : k$, daraus folgt aber: $h = 0,69315 \cdot k : \gamma$. Hiernach kann man für Mauerwerk einer gegebenen Schwere und einer bestimmten zulässigen Beanspruchung berechnen, in welchen Höhenabsätzen sich die Grundfläche jedesmal verdoppelt haben muss. Nehmen wir z. B. an, wir haben das obere Stück eines Turmes aus 1600 kg f. d. cbm schwerem Ziegelmauerwerk so projektiert, dass sich für 1 qm Grundfläche eine Belastung von $7\frac{1}{2}$ kg, also für 1 qm 75000 kg berechnet, und wir wollen den Turm nach unten verlängern, ohne dass die Pressung steigt, so haben wir allmählich die Grundfläche so zu vergrössern, dass sie in einer Tiefe von $h = 0,69315 \cdot 75000 : 1600$ also $h = 32,5$ Meter doppelt so gross geworden ist. Nach abermals 32,5 m muss [sich dann die Fläche wieder verdoppeln, gegen die erste also vervierfachen, ebenso muss sie sich bis zu der folgenden Höhenabteilung verachtfachen, dann versechszehnfachen usf. Dabei steigt der Materialbedarf nach unten schliesslich so schnell, dass eine praktische Grenze bald gezogen wird.

Jedenfalls sehen wir aber, dass die oben für Pyramiden angegebenen Höhen noch nicht die äusserste Grenze erreichen. Für das angeführte Klinkermauerwerk von 2000 kg Gewicht und 15 kg Beanspruchung auf 1 qm, also 15000 f. d. qm, würde sich die Verdoppelung der Grundfläche in Absätzen von je $0,69315 \cdot 15000 : 2000 = 52$ m vollziehen müssen, bei Werkstein von 2600 kg Gewicht und 30 kg Beanspruchung in solchen von $0,69315 \cdot 300000 : 2600 = 80$ m Höhe usf. Türme aus letzterem Material von 400 und 500 m Höhe aufzuführen würde gar nicht so schwierig sein. Mit Hilfe von Granit oder Basalt, den man bei 1000 kg oder selbst 2000 bis 3000 kg Druckfestigkeit auf 1 qm unbedenklich mit 60, ja 100 kg und darüber belasten könnte, liessen sich aber selbst Höhen erzielen, neben denen unsere modernen Riesentürme, wie der Eiffel-

turm, Zwerge sein würden. Wir sehen, unser ehrwürdiger Werkstein braucht noch lange nicht dem Eisen den Platz einzuräumen.

Wir müssen hier noch der irrigen Ansicht entgegenreten, dass man die Festigkeit der Werksteine wegen der geringen Mörtelfestigkeit nicht genügend ausnutzen könne. Allerdings hängt die Festigkeit von Gusswerk oder wenig lagerhaftem Bruchsteingemäuer fast nur von der Mörtelbeschaffenheit ab, anders ist es aber schon bei Ziegelmauerwerk. Versuche in der technischen Versuchsanstalt zu Berlin (s. Mitteilung ders. von 1884, S. 80) ergaben für 3 Monate alte Mauerwürfel aus gleichen Ziegelsteinen in Kalk und Zementmörtel die wenig von einander abweichenden Festigkeiten von 44 bzw. 63 kg, während die Festigkeiten der verwendeten Mörtelarten den gewaltigen Unterschied von $12\frac{1}{2}$ zu 211 kg aufwiesen. Bei längerer Erhärtungszeit und dickeren Mauern würde unseres Erachtens die Verschiedenheit beim Mauerwerk noch geringer ausfallen. Für grosse Quader aber mit gleichmässigen, dünnen Fugen dürfte der Einfluss des Mörtels fast ganz verschwinden, vorausgesetzt, dass letzterer die sonst erforderlichen Eigenschaften hat, die in erster Linie darin beruhen, dass er sich in alle Unebenheiten hineinpresst, ohne bei dem jeweiligen Druck aus einzelnen Fugenteilen ganz herausgepresst zu werden. Unter diesen Bedingungen würde es beispielsweise ziemlich gleichgiltig sein, ob man Zement, Kalk, Blei, Kreide oder Lehmpulver verwendet, man würde bei ausgewählt guten Steinen ruhig eine Belastung bis zu $\frac{1}{10}$ oder doch mindestens $\frac{1}{20}$ der Druckfestigkeit des Steines wagen können und dabei jedenfalls bedeutend sicherer bauen, als wenn man es jetzt allgemein für gut befindet, das leicht rostende Eisen bis $\frac{1}{4}$ oder selbst $\frac{1}{3}$ seiner Festigkeit (bei Verbindungen, die zum Teil nicht zuverlässiger sind als die Mörtelfuge) zu beanspruchen. Böse Erfahrungen hat man an Brückeneinstürzen ja sattsam gemacht. —

Wir sehen aus alledem, dass unseren Bauwerken bei nachgiebigen Materialien und unvorteilhafter Massenverteilung sehr geringe Höhen zugemessen sind, dass andererseits aber bei Verwertung guter Baustoffe, die Grenzen weniger durch die Festigkeit als durch praktische Gründe anderer Art gezogen werden.

Standsicherheit gegen Winddruck.

Die Standsicherheit eines Körpers vergrössert sich mit seiner Schwere und seiner Grundfläche, nimmt dagegen ab mit der Vergrösserung der dem Winde dargebotenen Fläche. Daher ist es wichtig, dass man ganz besonders die oberen Teile, die man ja möglichst leicht herzustellen sucht, unter gebührender Berücksichtigung des Winddruckes entwirft. Weiter unten kann man dann die Massenverteilung mehr nach den vorhin angegebenen Gesetzen vornehmen. Der Winddruck ist am grössten, wenn er eine Fläche senkrecht trifft und verringert sich bedeutend bei starker Neigung der Fläche, sei es im Aufriss oder im Grundriss (siehe S. 169). So ist nach den üblichen Rechenmethoden der Winddruck gegen die Ecke eines im Grundriss quadratischen Turmes trotz der grösseren Diagonaltiefe nur 0,707 mal so gross wie der Druck gegen die Seitenfläche. Der Druck gegen einen Zylinder ist 0,785, der gegen ein achteckiges Prisma 0,707 mal so gross wie der Druck gegen eine senkrecht getroffene Fläche gleicher Breite. Da bei Feststellung dieser Werte die Reibung an den Flächen vernachlässigt wurde, ist es besser, sie etwas zu erhöhen, besonders bei grösseren Vorsprüngen auf den Flächen. Leider fehlen zuverlässige Versuche über die Grösse des Winddruckes, so dass man oft gut thut statt komplizierter Berechnungen des Winddruckes auf geneigte Flächen, den Winddruck auf die Projektion des Körpers zu bestimmen. Man rechnet dabei mit entsprechend grösserer Sicherheit.

Grösse des
Wind-
drucks.

Die Grösse des Winddruckes pflegt selten über 120 kg auf 1 qm hinauszugehen, ist aber vereinzelt bis etwa 200 kg in Europa beobachtet. Wo es sich darum handelt, die Spannungen in Dachkonstruktionen oder die Kantenpressung im Mauerwerk usw. zu berechnen, pflegt man sich mit der Annahme von 120 kg auf 1 qm zu begnügen, zumal an geschützt liegender Stelle. Es ist dies insofern zu verteidigen, als man die Festigkeit des Materials ja nur in gewissen Grenzen beansprucht, also immer noch eine gewisse Sicherheit behält. Handelt es sich um hochragende Dächer oder Mauern, so empfiehlt es sich, diesen Wert auch unter den beregten Umständen auf 150 bezw. 180 kg zu erhöhen. Ganz anders liegen aber die Verhältnisse, wenn die Umsturzgefahr (z. B. die eines unverankerten hölzernen oder eisernen Turmhelmes), bei der keine Sicherheit vorliegt, zu berechnen ist; hier sollte man bei viereckigen Baukörpern mindestens 250 kg auf die senkrecht getroffene Fläche, bei runden und achteckigen Türmen oder Helmen aber mindestens 200 kg auf den vollen senkrechten Querschnitt in Ansatz bringen. Wollte man mit kleineren Werten z. B. 120 kg rechnen, so müsste man auch hier wieder eine gewisse Sicherheit einführen und z. B. verlangen, dass das Stabilitätsmoment mindestens doppelt so gross wäre als das Umsturzmoment.

Will man die Stabilität durch Rechnung untersuchen, so hat man sich zunächst davon zu überzeugen, dass keine direkte Umsturzgefahr vorliegt (s. S. 141); damit kann man sich meist aber noch nicht begnügen, sondern muss bei Türmen aus Holz und Eisen verfolgen, ob die Stäbe, welche die Konstruktion dicht vor dem Umsturz tragen würden, stark genug sind (s. Beispiel auf S. 642) und bei Stein, ob die Kantenpressung sich nicht zu sehr steigert. Zu letzterem Zweck sucht man den Durchgangspunkt des resultierenden Druckes durch die Grundfläche (s. S. 144, 173, 336, 380) und bestimmt nun nach S. 145—149 die Kantenpressung.

Wenn der Turm auf einzelnen, sehr hohen Pfeilern steht, so kann es nötig werden, diese für sich auf Umkippen oder auch auf Durchbiegung besonders zu berechnen (vergl. S. 362 und S. 176 unten), gewöhnlich sind aber in entsprechenden Höhenabteilungen die Pfeiler und ebenso die Wandteile der Türme so fest mit einander verbunden, dass man den ganzen Turm als einen zusammenhängenden Kasten betrachten kann. Man sieht dann die Grundfläche, trotzdem sie unter Umständen ganz in einzelne Pfeiler aufgelöst ist, als eine fest verbundene zusammengehörige Figur an.

Zur Benutzung der Formel 5 auf Seite 148 hat man für den Grundriss das Trägheitsmoment aufzustellen, das man für zusammengesetzte Flächen bekanntlich durch Addition bezw. Subtraktion der Trägheitsmomente der Einzelflächen findet; es ist z. B. für den Kreisring, wenn D und d der äussere und innere Durchmesser ist: $\frac{1}{64} \pi \cdot D^4 - \frac{1}{64} \pi \cdot d^4$, für das hohle Rechteck mit den äusseren Seiten B, H und den inneren b, h ist es ebenso: $\frac{1}{12} B \cdot H^3 - \frac{1}{12} b \cdot h^3$ usf. Die Kernfigur solcher ringförmiger oder hohler Flächen ist grösser als diejenige voller Querschnitte und berechnet sich nach Formel 4 auf S. 147. Sie ist z. B. für den Kreisring ein Kreis von einem Durchmesser $= \frac{D^2 + d^2}{4D}$, für das hohle Quadrat ein übereckstehendes Quadrat mit einer Diagonallänge $= \frac{B^2 + b^2}{3 \cdot B}$, für das hohle Achteck ein Achteck mit der Diagonale $= 0,27 \frac{B^2 + b^2}{B}$. Je dünner die Wanddicke wird, um so grösser wird der Kern; in dem Grenzfall, dass die Wandstärke unendlich dünn würde, wäre $D = d$ bezw. $B = b$, folglich die Kernbreiten für

Kreis, Quadrat und Achteck $\frac{1}{2} D$ bzw. $\frac{2}{3} B$ bzw. $0,54 B$, d. h. doppelt so gross als bei dem vollen Querschnitt. Das ist aber sehr günstig, denn es kann der resultierende Druck in solchen hohlen Querschnitten weit stärker vom Schwerpunkt abweichen, ohne dass sich die Kantenpressung zu sehr steigert. Erst wenn der Druck bei dem hohlen Quadrat mit dünnen Wänden aus den mittleren $\frac{2}{3}$ fällt, d. h. sich dem äussersten Sechstel nähert, verdoppelt sich der Kantendruck. Mit Rücksicht auf die Steigerung der Kantenpressung durch Wind oder Wölbschub darf man aber immerhin die zulässige Beanspruchung durch die Eigenlast nicht voll ausnutzen, einen Werkstein z. B., der 30 kg tragen darf, wird man je nach Lage der Verhältnisse nur mit 20 oder 24 kg durch Eigengewicht belasten.

Türme mit steinernen Helmen und inneren Gewölben pflegen so schwer zu sein, dass ihre Standsicherheit durch Wind nicht gefährdet ist, ja es pflegt sich bei ihnen selbst der Kantendruck nur ganz unbedeutend zu steigern. Bei dünnwandigen Türmen mit Holzhelmen dagegen kann der Wind auf die Festsetzung der Mauerdicken wesentlichen Einfluss üben. Bei diesen muss auch darauf geachtet werden, dass die vom Wind getroffene Wand sich nicht durchbiegt oder im Grundriss betrachtet gleich einem scheinrechten Bogen die Nachbarwände hinausdrückt. Gar zu dünn kann man daher auch bei Türmen ohne Helm- und Wölbschübe die Mauern nicht machen.

Wenn die Mauer Massen sich nach oben rasch vermindern, so ist die Untersuchung der Standsicherheit auch auf höher liegende Grundrisse auszudehnen, ganz besonders muss sie aber für die Helme Platz greifen. Wie bereits das Beispiel auf S. 642 gezeigt hat, kann bei Holzhelmen sehr leicht eine Verankerung nötig werden, ohne eine solche bieten dieselben einem gegen die volle Querschnittsfläche gerechneten Winddruck von 200 kg auf 1 qm nur dann Widerstand, wenn sie beim Höhenverhältnis 2:1 ein Gewicht von mindestens 75 kg, bei 3:1—115 kg, bei 4:1—160 kg, bei 5:1—200 kg und bei 6:1—240 kg für 1 qm Oberfläche des Mantels haben.

Stand-
sicherheit
der Helme.

Bei steinernen Helmen von $\frac{1}{2}$ St. Stärke tritt die Gefahr des Umsturzes bei einem Höhenverhältnis von 5:1 bis 6:1 ein und der Druck tritt aus dem Kern bei der $2\frac{1}{2}$ — $3\frac{1}{2}$ fachen Höhe, mit genügender Sicherheit könnte man $\frac{1}{2}$ St. starke Helme in etwa 4facher Höhe aufführen, wenn man die obere Spitze vollmauern und überhaupt der oberen Endigung sein Augenmerk zuwenden würde (s. S. 615); bei sehr schweren Klinkern kann man auch bis $4\frac{1}{2}$:1 gehen. Helme von 1 St. Stärke gestatten die doppelten Höhen, brauchen daher nicht weiter untersucht zu werden.

Schub der Helme und Gewölbe des Turmes.

Wenn die etwaige Aufhebung des Helmschubes durch die Zugfestigkeit des oberen Mauerstückes des Turmes (s. S. 625) ausser acht gelassen wird, so müssen die Wände genügend stark sein, den Schub zu bewältigen. Man untersucht die Widerlager bei einem viereckigen Turme, indem man eine Ecke, also $\frac{1}{4}$ des des Turmes, für sich betrachtet, beim Achteck ebenso ein Achtel. Wenn die Widerlager senkrecht nach unten gehen, so müssen sie gleich oben erhebliche Stärken oder richtiger erhebliche Schwere haben, um die schräg gerichtete Wider-

Schub
der Helme.

lagskraft der Helme rasch in eine steilere Richtung umzulenken. Erbreitern sich die Wände dagegen allmählich nach aussen oder liegen ihnen Strebepfeiler vor, die staffelförmig nach unten vorspringen, so können die Massen des Widerlagers erheblich eingeschränkt werden und zwar um so mehr, je schräger die äussere Fläche ist. Der Grenzfall würde der sein, dass die Turmwände aussen und innen geneigt wären und die Verlängerung der Helmflächen bildeten. Die rechnerische oder graphische Untersuchung der Widerlager kann nach dem, was über die Wölbwiderlager (s. S. 125—158) gesagt worden, keine Schwierigkeit bieten.

Da für Gewölbe, die sich im Inneren des Turmes befinden, der auf die Ecken kommende Schub sehr gering ausfällt (s. Fig. 366) und da die Widerlagerstärken, wie die Tabellen auf S. 156—158 zeigen, selbst für Gewölbe in unendlicher Höhe, wenn das Mauerwerk nicht unter der Eigenlast zerdrückt würde, nicht übermässig gross zu sein brauchten, so liegt kein Grund vor, die Gewölbe nicht bis in die oberen Teile des Turmes hinaufzuschieben. Die in den angeführten Tabellen angegebenen Stärken der Widerlager könnten dabei wesentlich reduziert werden, da einmal grössere Oberlasten vorliegen, dann aber durch schräge Lage oder selbst Überkragung der Wände nach innen es stets leicht möglich ist, die Stützlinie ohne grosse Mauerquerschnitte überall etwa in der Mitte der tragenden Teile zu halten. Dieses anzustreben und dabei unter Berücksichtigung des Winddruckes die Mauermassen möglichst nach dem durch die Lastzunahme bedingten Gesetz (s. S. 645) nach unten zu steigern, das sind die Punkte, die beim Entwerfen hoher Türme ins Auge zu fassen sind. Man kann recht hohe Türme sehr sparsam erbauen, man kann aber auch bei ihnen in ganz unverantwortlicher Weise Mauermassen vergeuden. —

Schub der
Gewölbe.