

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.

Verstreungen 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 Verstreungen 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 über-raschender 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.