



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Konstruktions-Elemente in Stein, Holz und Eisen, Fundamente

Marx, Erwin

Stuttgart, 1901

3. Kap. Steinverbindung

[urn:nbn:de:hbz:466:1-78727](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-78727)

folten die aus regelmässigerem Material hergestellten Abschnitte vor den anderen vorspringen, um die Anschlussfuge zu decken (Fig. 212).

In ähnlicher Weise hat man im allgemeinen auch beim Anschluß neuer Mauerteile an alte zu verfahren. Verzahnungen sind dabei nicht zu empfehlen.

3. Kapitel.

Steinverbindung.

Zur Herstellung fester Steinkonstruktionen benutzt man die Steinverbände und in den meisten Fällen mit diesen zusammen die Steinverbindungen. Sachliche Rücksichten machen es zumeist nicht möglich, die Verbandanordnungen so zu treffen, daß durch sie allein Bewegungen einzelner Steine unmöglich werden. Um solche zu verhindern, zieht man die Steinverbindungen hinzu, welche die Befestigung der Steine untereinander bezwecken. Diese Befestigung kann, wie schon im 1. Kapitel angeführt wurde, auf dreierlei Weise erfolgen, und zwar:

- a) durch Verbindung mittels der fog. Bindemittel (Mörtel etc.);
- b) durch besondere Formung der Fugenflächen, und
- c) durch besondere Hilfsstücke.

Diese Verbindungen können entweder die Befestigung der Steine innerhalb einer Schicht (in den Stofsflächen) oder der Steine aufeinander folgender Schichten (in den Lagerflächen) oder beides gleichzeitig bezwecken.

Das letztere ist in der Regel bei den Mörtelverbindungen der Fall, während die anderen Verbindungsarten einzeln oder vereinigt zur Verwendung gelangen.

a) Verbindung der Steine durch Bindemittel.

86.
Aufgabe
der
Bindemittel.

Die Einzelbewegung eines Steines in einem Verbandmauerwerk, ein Gleiten oder ein Drehen desselben kann nur eintreten, wenn der Platz dazu vorhanden ist. Dieser Platz ist durch den Fugenraum zwischen den Steinen gegeben. Sind diese Zwischenräume sehr klein, die Fugen sehr eng (scharf), was bei sorgfältiger Bearbeitung oder Herstellung der Steine möglich ist, so wird die Bewegung eines Steines unabhängig von seinen Nachbarn nur sehr gering ausfallen können. Sie wird aber ganz verhindert, auch bei größeren Zwischenräumen, wenn dieselben mit einem Stoff von geeigneter Beschaffenheit ausgefüllt werden. Solche Stoffe sind die fog. Bindemittel, durch welche also zunächst die Unverrückbarkeit der Steine erzielt wird, woraus eine Erhöhung der Festigkeit des Verbandmauerwerkes sich ergibt. Unverrückbarkeit würde allerdings schon eintreten, wenn die Fugen zwischen den Steinen nur an einzelnen Stellen durch feste Körper scharf ausgefüllt werden. Erfolgt aber die Ausfüllung in der ganzen Ausdehnung der Fugen, so ergibt sich eine weitere Erhöhung der Festigkeit der Lagerung der Steine durch die vergrößerte Adhäsion zwischen den Steinflächen, da diese mit der Grösse der Berührungsflächen wächst. Es folgt daraus aber auch, daß es unbedingt zweckmässig ist, nicht bloß einzelne Fugen, sondern alle Fugen, und zwar vollständig zu füllen. Dazu gehört aber, daß das Bindemittel sich leicht in die Fugen bringen läßt, und anfänglich weich ist, damit es sich an alle Unebenheiten der Steine eng anschließen könne. Dadurch erhält man zugleich einen ferneren Vorteil für die Konstruktion, nämlich den einer

gleichmäßigen Druckverteilung in derselben, die nicht mehr nur durch einzelne vor-
springende Punkte vermittelt wird, sondern in der ganzen Ausdehnung der Lager-
flächen stattfindet. Es muß dabei das Bindemittel indes der Bedingung Genüge leisten,
daß es, einmal zusammengedrückt, sich nicht noch weiter zusammendrücken läßt.

Den bisher erwähnten Eigenschaften, die von einem für die Füllung von Fugen
geeigneten Bindemittel verlangt werden müssen, genügen außer den Mörteln auch
Moos und einige Erdarten, welche letzteren Stoffe denn auch in dem angedeuteten
Sinne bei den sog. Trocken- oder Feldmauern Verwendung finden.

Viele Bindemittel, die sog. Mörtel, besitzen indess noch eine weitere sehr
wertvolle Eigenschaft, nämlich die, aus einem weichen, halb flüssigen Zustande in
einen starren überzugehen und dabei fest an den Steinflächen zu haften, so daß ein
Zusammenkitten der Steine erfolgt. Es sind dies die Bindemittel im wahren Sinne
des Wortes, über welche schon in Teil I, Band 1, erste Hälfte (Abt. I, Abschn. 1,
Kap. 3) dieses »Handbuches« das Nötige mitgeteilt worden ist, und die dort in
chemische und mechanische Mörtel eingeteilt wurden. Die Mauerwerke, welche mit
Hilfe der chemischen Mörtel (Kalk-, Zement-, Gipsmörtel) hergestellt werden, nennt
man im gewöhnlichen Leben gemörtelte oder gespeifte³⁹⁾ Mauern.

Die mechanischen Mörtel (Lehm, Schamotte, Kitten, Asphalt, Schwefel, ge-
schmolzenes Blei, Lote etc.) haben eine mehr untergeordnete Bedeutung und finden
nur aus besonderen Veranlassungen Verwendung. Auch bei den chemischen Mörteln
ergibt sich fast immer nur eine mechanische Verbindung mit den Steinflächen, durch
Adhäsion und Eindringen in die Poren.

Auf die weitere Bedeutung vieler Mörtel als Mittel zur Dichtung der Fugen
gegen das Eindringen von Feuchtigkeit sei hier nur vorläufig hingewiesen. Ebenso
ist es hier nicht am Platze, auf das Besondere der Anwendung der verschiedenen
Mörtel bei den verschiedenen Steintmaterialien (auf das Mauern) einzugehen; dagegen
müssen schon hier die für alle Materialien gültigen Grundsätze der Anwendung er-
örtert werden.

Die chemischen Mörtel, wenigstens die Kalk- und die Zementmörtel, werden
in der Regel mit einem Zusatz von Sand oder einem anderen Füllstoff bereitet.
Beim Zement wird der Sand der Ersparnis, der sicheren und leichteren Verwendung
wegen zugesetzt; beim Kalk ist er notwendig, um im Mörtel die genügende Porosität
für das Eindringen der atmosphärischen Luft und damit ausreichende Säuerung des
Aetzkalkes mit Kohlenäure, möglichst vollständige Umbildung des Aetzkalkes in
kohlenfauren Kalk zu erzielen. Auch ist der Sandzusatz nötig, um genügende feste
Körperflächen zu haben, an welche der sich bildende kohlenfaure Kalk sich fest an-
legen kann. Ohne Sandzusatz wirkt der Kalkteig nur druckausgleichend zwischen
den Steinen.

Die Menge Bindestoff, welche dem Sande zur Mörtelbildung zuzusetzen ist,
entspricht der Menge von Flüssigkeit, die vom Sand unter gewöhnlichen Verhält-
nissen kapillar zurückgehalten werden kann. Es ist dies ein Mindestmaß des Kalk-
zusatzes, welches aber bei ungenügendem Luftzutritt für raschere Verfestigung des
Mörtels günstiger wirken kann, als ein reichlicherer Zusatz⁴⁰⁾. Im allgemeinen ist
aber zur Erzielung größter Festigkeit vollkommene Füllung aller Zwischenräume zu

³⁹⁾ Die Bezeichnung »Mauerpeife« oder »Speife« wird vielfach für Mörtel verwendet.

⁴⁰⁾ Siehe: HAUENSCHILD, H. Zur Frage der Erhärtung des Kalkmörtels. Notizbl. des Ziegler- und Kalkbrenner-
Vereins 1881, S. 68.

87.
Grundsatz
für chemische
Mörtel.

verlangen. Dies gilt auch vom Beton, bei dessen groben Füllmassen übrigens die Kapillarität zwischen denselben nur sehr gering sein kann. Man hat daher zur Herstellung eines guten Betons alle Steinbrocken desselben vollständig mit Bindestoff zu umhüllen; ein Mehr würde nicht nützlich sein. Alle Zwischenräume sollen eben nur ausgefüllt werden, was allerdings wegen der Körperlichkeit des Bindestoffes einen Ueberschuss an solchem über die gemessene Summe der Zwischenräume der Steinbrocken ohne Bindestoff verlangt.

Derselbe Grundsatz ist auch für die Bildung von Mörtelmauerwerk aufzustellen; nur dass bei diesem selbstverständlich die Mauerhäupter von der Benetzung mit Mörtel auszuschliessen sind. Ein so hergestelltes Mauerwerk nennt man scharf gemauert. Die Menge des notwendigen Mörtels ergibt sich dann als Summe der Zwischenräume, der Fugen, für welche das zulässig geringste Mass anzunehmen ist. Dieses geringste zulässige Mass, die Fugendicke, ist aber von der Beschaffenheit der Fugenflächen und des Mörtels abhängig.

88.
Fugendicke.

Je ebener die Fugenflächen und je feinkörniger der Füllstoff des Mörtels sind, um so enger wird man die Fugen machen können. Beides hat aber seine untere Grenze, da durch Uebertreibung der Wirksamkeit des Mörtels geschadet werden kann. An glatten Flächen haftet der Mörtel meistens schlechter, als an etwas rauhen; staubartiger Sand ist für die Mörtelbereitung untauglich; er soll immer ein gut fühlbares, scharfkantiges Korn besitzen.

Die Dicke der Fugen ist auch von der Gestalt der Steine und der Art des Steinmaterials abhängig. Ebenso wird man zwischen Lagerfugen und Stosfugen einen Unterschied machen können.

Bei der Massbestimmung der Mauerziegel wird auf die Dicke der Fugen schon Rücksicht genommen; so ist beim deutschen Normal-Ziegelformat (siehe Art. 21, S. 20) die Dicke der Stosfugen auf 10 mm festgesetzt, während die der Lagerfugen in der Regel etwas stärker angenommen werden muss, nämlich zu ca. 12 mm, wobei dann auf 1 m Höhe 13 Schichten kommen. Abgesehen von der dadurch erzielten Bequemlichkeit für die Massenberechnung ist die grössere Lagerfugendicke häufig deswegen notwendig, weil die Steine gewöhnlich etwas verschieden dick und öfters etwas über 65 mm stark sind, und man daher einigen Spielraum braucht, um die Oberkante der Steine in eine Wagrechte bringen zu können. Bei den sorgfältig zubereiteten Verblendsteinen und feinsandigem Mörtel wird man dagegen bis zu 6 bis 8 mm herabgehen dürfen, während als oberste Grenze für ordinäre Backsteine 15 mm anzunehmen wäre. Bei einer dicken Fuge wird wohl eine gleichmässige Druckverteilung zu erwarten sein, aber auch ein starkes Setzen des Mauerwerkes durch Zusammenpressen und Schwinden des Mörtels. Wenn die Römer bei ihren Ziegelbauten Fugen von 25 bis 50 mm Dicke anwendeten, so war dies wohl nur infolge ihres rasch bindenden Puzzolanmörtels zulässig.

Auch bei Mauerwerken aus bearbeiteten natürlichen Steinen ist bei Feststellung der Masse auf die Fugendicke Rücksicht zu nehmen, wenigstens auf die der Lagerfugen, die der gleichmässigen Druckverteilung wegen bei Verwendung von Mörtel nicht unter 5 bis 6 mm dick zu machen sind, sonst aber auch nicht über 12 mm. Die Stosfugendicke sucht man im allgemeinen möglichst knapp zu halten und kann dann, wenn man dieselben nach innen zu sich etwas erweitern lässt, bis zu 3 mm im Haupt herabgehen.

Bei Mauerwerk aus unregelmässigen Bruchsteinen ist selbstredend die Fugen-

dicke von der Form der Steine abhängig; doch dürfte hier, wie bei den Ziegeln, ebenfalls eine obere Grenze von 15^{mm} festzuhalten sein. Größere Höhlungen sind mit Zwickern auszufüllen.

Mit einem Mörtel wird sich nur dann die beabsichtigte Wirkung vollkommen erzielen lassen, wenn gewisse Vorichtsmafsregeln bei der Verwendung beobachtet werden. Dahin gehören Reinigen der Steinflächen, Näffen mancher Steinarten, Nichtstören des Abbindens des Mörtels und Verwendung von frischem Mörtel.

89.
Vorichts-
mafsregeln.

Vollkommene Adhäsion zwischen Mörtel und Stein kann nur eintreten, wenn keine fremden Körper zwischen ihnen sich befinden, an welche der Mörtel sich anlegen kann. Solche, wie Staub, Verunreinigungen mit Erde etc., sind daher stets vor dem Vermauern von den Steinen zu entfernen, am vollständigsten durch Wegschwemmen mit Wasser.

Dadurch wird zugleich bei vielen Steinen etwas anderes, ebenso Wichtiges erreicht, nämlich ein gewisser Feuchtigkeitsgrad der Steine, welcher bewirkt, daß dem Mörtel nicht zu rasch sein Wassergehalt entzogen wird; denn der Erhärtungsvorgang eines chemischen Mörtels kann nur dann genügend stattfinden, wenn derselbe einige Zeit eine ausreichende Feuchtigkeit behält. Bei porigen oder thonhaltigen Steinen, sowie bei Mauerziegeln, wenn sie nicht sehr scharf gebrannt sind, ist das erwähnte Annäffen der Entfernung des Staubes wegen noch nicht ausreichend; sondern es wird bei ihnen eine stärkere Durchfeuchtung durch Begießen oder Eintauchen notwendig. Dagegen kann bei dichten Steinen und Klinkern ein stärkeres Annäffen schädlich sein.

Sind die Steine einmal in ihr Mörtelbett gelegt, so dürfen sie nicht wieder verrückt oder erschüttert werden, weil der Mörtel nur einmal abbindet, was in Berührung mit dem Stein in dünner Schicht ziemlich rasch vor sich geht. Ein zweites Mal gehen die meisten Mörtel mit dem Stein keine Verbindung ein. Man muß sich daher bestreben, die Steine rasch in die richtige Lage zu bringen und sie in dieser zu belassen. Deshalb ist auch das manchen Orts beliebte Zurichten der Schichtsteine oder Bruchsteine auf der Mauer entschieden verwerflich. Eben deshalb ist es auch schwierig, bei Mauern aus schweren, mühsam verletzbaren Quadern eine wirkliche Mörtelverbindung zu erzielen, und man hat daher bei diesen den Mörtel mehr als Füllmaterial für die Fugen zu betrachten.

Wünscht man eine feste Mörtelverbindung, so ist es aus dem eben angegebenen Grunde unbedingt notwendig, dann, wenn man gezwungen ist, einen schon verletzten Stein wieder zu verrücken oder aufzuheben, den früheren Mörtel sorgfältig zu beseitigen und durch neuen zu ersetzen. Wegen des raschen Abbindens der chemischen Mörtel, namentlich der Zemente und des Gipses, darf man auch nur verhältnismäßig geringe Mengen auf einmal zubereiten, d. h. nur so viel, als man in der Zeit vom Anmachen bis zum vollendeten Abbinden zu verwenden im Stande ist. Es gilt dies auch für die Kalkmörtel, die man deswegen nicht über Nacht unverwendet und, wenn dies nicht zu umgehen ist, wenigstens nicht ohne gewisse Schutzmafsregeln stehen lassen sollte.

Ueber diese Dinge, über die Eigenschaften, die ein guter Mörtel haben soll, über die verschiedenen Arten und die Zubereitung derselben findet sich das Nähere in Teil I, Band 1, erste Hälfte (Abt. I) dieses »Handbuches«. Es mag jedoch hier noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß aufsergewöhnliche Lufttemperaturen die Mörtelverbindung eines Mauerwerkes wesentlich stören können. In heißer

90.
Schädigung
durch Hitze
und Frost.

Witterung hergestelltes Mauerwerk, namentlich von dünnen Wänden, sowie schnell künstlich getrocknetes Gemäuer erhält nur geringe Festigkeit, infolge zu rascher Entziehung der Feuchtigkeit oder infolge zu rascher Erhärtung der äusseren Mörtelteile und dadurch herbeigeführter Minderung der Porosität⁴¹⁾. Frost wird die Entwicklung einer Mörtelverbindung ganz zerstören oder wenigstens verzögern⁴²⁾.

Wo Bauausführungen bei Frostwetter nicht zu umgehen sind, muß man besondere Mafsregeln treffen, die aber entsprechende Kostenvermehrung verursachen⁴³⁾.

91.
Festigkeit von
Mörtel-
mauerwerk.

Je gleichartiger ein Stoff in seinem Gefüge ist, um so grössere Festigkeit wird er verhältnismässig besitzen. Ein Mauerwerk ist nun keine einheitliche Masse, da die einzelnen Stücke desselben durch die Fugen getrennt werden. Durch das Ausfüllen der Fugen mit Mörtel wird nun allerdings eine grössere Gleichmässigkeit erzielt; aber immerhin ist ohne weiteres anzunehmen, dass ein solches Mauerwerk weniger fest sein wird, als der einzelne Stein für sich. Im Mauerwerk haben wir eine Verbindung von Körpern verschiedener Festigkeit, in welcher die Druckverteilung ungleichmässiger ist, als in den Steinen und dem Mörtel für sich allein. Es wird dies durch die Erfahrung bestätigt.

Böhme sagt hierüber⁴⁴⁾: »Namentlich werden — wenn das Bindematerial härter als der Stein ist — die Stofsugen die Zerstörer sein, indem der darauf liegende Stein nicht zerdrückt wird, sondern zerbricht. Ist aber das Bindemittel weniger fest, so wird an den Stellen, wo der Mörtel in grosser Menge vorhanden ist (z. B. in den Stofsugen), derselbe früher zerstört werden als der Stein; der Druck geht alsdann auf eine kleinere Fläche über, beansprucht also die Flächeneinheit höher, und die übrigen Steine werden dadurch ebenfalls schneller zerstört werden müssen. — Stellt man dagegen einen Mauerklotz her, der aus genau bearbeiteten Steinen in gutem Zementmörtel ohne Verband (frei von Stofsugen) gemauert ist, so ergeben sich bedeutend günstigere Resultate; ja es ist sogar vorgekommen, dass ein solcher Mauerklotz mehr Widerstandsfähigkeit lieferte, als ein einziger Stein von der Gattung, aus welcher der Mauerklotz hergestellt war.«

Verbandmauerwerk ist nun ohne Stofsugen nicht herstellbar (höchstens bei schwachen Haufteinfelern), so dass die Versuche, welche mit Mauerklötzen angestellt wurden, die nur Lagerfugen hatten, für die Praxis eigentlich keine Bedeutung haben. Leider ist die Untersuchung von grösseren Mauerkörpern aus Verbandmauerwerk mit grossen Schwierigkeiten verknüpft, so dass solche bis jetzt wenig ausgeführt worden sind. Für Mauerziegel liegt jedoch eine von *Böhme* mitgeteilte längere Versuchsreihe vor⁴⁵⁾. Von derselben sollen hier die Schlussergebnisse mitgeteilt werden, aus welchen der wesentliche Einfluss des Mörtels auf die Festigkeit des Mauerwerkes erhellt.

Wenn mit δ die Festigkeit des gemauerten Würfels und mit δ_1 die zulässige Belastung desselben bei 10-facher Sicherheit in Prozenten der Festigkeit der unvermauerten Steine bezeichnet wird, so betragen diese Werte bei den angeführten Mörtelmischungen:

41) Ausführlicheres hierüber siehe in: GOTTGEBREU, R. Physische und chemische Beschaffenheit der Baumaterialien. Bd. II. 3. Aufl. Berlin 1881. S. 269 u. ff. — Vergl. auch das nächstfolgende Heft (Abt. III, Abfchn. 1, A, Kap. 2) dieses »Handbuches«.

42) Siehe hierüber: HAUENSCHILD, H. Zur Frage der Erhärtung von Kalkmörtel. Notizbl. des Ziegler- und Kalkbrenner-Ver. 1881, S. 68.

43) Ueber die Ausführung eines Brückenbaues bei Frostwetter siehe: Deutsche Bauz. 1880, S. 74 — desgl. über die Ausführung des Bahnhofes Friedrichsstraße in Berlin: Baugwks.-Ztg. 1885, S. 35. — Vergl. auch das nächstfolgende Heft (Abt. III, Abfchn. 1, A, Kap. 2) dieses »Handbuches«.

44) In: Die Festigkeit der Baumaterialien. Berlin 1876. S. 9.

45) In: Thätigkeit der k. Prüfungs-Station für Baumaterialien im Jahre 1878. Zeitschr. f. Bauw. 1880, S. 555. — Ueber andere Versuche folgen Mitteilungen im nächstfolgenden Heft (Abt. III, Abfchn. 1, A, Kap. 11) dieses »Handbuches«. — Mitteilungen über Prüfungen von Ziegelmauerwerk an Pfeilern von 22×22 cm Druckfläche bei 60 cm Höhe finden sich auch in: Zeitschr. f. Arch. u. Ing. 1897, Heftausg., S. 407 (nach Thonindustrie-Ztg. 1896, S. 861).

Festigkeit	Mörtelmischung:			
	I. 1 Teil Kalk, 2 Teile Sand.	II. 7 Teile Kalk, 1 Teil Zement, 16 Teile Sand.	III. 1 Teil Zement, 6 Teile Sand.	IV. 1 Teil Zement, 3 Teile Sand.
δ	44	48	55	63
δ_1	4,4	4,8	5,5	6,3

Prozent.

Unter Benutzung dieser Werte von δ_1 und der aus vielen Versuchen gefundenen Mittelwerte für die Druckfestigkeit der verschiedenen Backsteinsorten hat *Böhme* über die zulässige Belastung eines aus denselben hergestellten Verbandmauerwerkes folgende Tabelle aufgestellt.

Art der Steine	Mittlere Druckfestigkeit der unvermauerten Steine	Zulässige Belastung des Verbandmauerwerkes bei Mörtelmischung				Zulässige Belastung nach den Bestimmungen des Berliner Polizeipräsidiums		Bemerkungen
		I. $\delta_1 = 4,4$ Proz.	II. 4,8 Proz.	III. 5,5 Proz.	IV. 6,3 Proz.	Kalkmörtel	Zementmörtel	
Gewöhnliche Hintermauerungssteine	206	9,1	9,8	11,3	13	8	—	
Bessere Backsteine, Mittelbrand	258	11,4	12,4	14,2	16,3	—	11	
Klinkersteine	379	16,7	18,2	20,8	24	—	14	
Poröse Vollsteine	184	8,1	8,8	10,1	11,6	—	3 6	leicht gebrannt hart gebrannt
Poröse Lochsteine	84	3,7	4	4,6	5,3	—	—	
Lochsteine	194	8,5	9,3	10,7	12	—	—	

Kilogramm für 1 qcm.

Mit Bruchsteinen sind ähnliche Versuche zwar noch weniger angestellt worden; doch wird man bei ihnen über die für Backsteine ermittelten Prozentätze (δ_1) der Festigkeit der unvermauerten Steine nicht hinausgehen dürfen, da die Gestalt der Stücke mit in Rechnung zu ziehen ist. *Böhme* gibt folgende Tabelle, deren Zahlen aber von ihm als hohe bezeichnet werden:

Bezeichnung der Bruchsteine	Mittlere Druckfestigkeit der unvermauerten Steine für die Würfelform	Zulässige Belastung	
		für platten- oder klotzförmige Werkstücke ohne Mörtelverbindung	für Bruchsteinmauerwerk in Zementmörtel ($\delta_1 = 5,5$ Proz.)
Granit	1107	110	60
Porphyr	1302	130	72
Sandstein	460	46	25
Quader Sandstein	679	68	37
Sandsteinquarz	1523	152	84
Basaltlava	391	39	21
Basalt	1382	138	76

Kilogramm für 1 qcm.

92.
Mechanische
Mörtel.

War es bei den chemischen Mörteln im allgemeinen notwendig, die Steinflächen zu nassen, so ist das Umgekehrte bei den mechanischen Mörteln der Fall. Es sind dieselben in zwei Gattungen zu scheiden: in solche, die aus dem halb flüssigen Zustande infolge Austrocknens der mechanisch beigemengten Flüssigkeit in den festen übergehen (Lehm, Schamotte etc.), und in solche, die geschmolzen werden und durch Abkühlung erstarren (Asphalt, Blei, Schwefel etc.). Bei den ersteren würde das Nassen der Steine, ebenso wie eine zu große Feuchtigkeit des Mörtels (er braucht nur mit der Kelle verarbeitet und in die Fugen gebracht werden zu können) den Erhärtungsvorgang nur verzögern und ein stärkeres Schwinden und damit vermehrtes Setzen des Mauerwerkes verursachen. Bei den letzteren würde dagegen vorhandene Feuchtigkeit sogar schädlich (Verhinderung der Adhäsion) und unter Umständen (bei Blei) auch gefährlich für den Arbeiter werden können. Bei diesen Bindemitteln ist es daher angezeigt, die Steinflächen vor Feuchtigkeit zu schützen und etwa vorhandene durch Austrocknen zu beseitigen.

Für Lehm, Schamotte u. dergl. Mörtel gelten bezüglich der zu verwendenden Mörtelmenge und der Fugendicke dieselben Grundsätze, wie bei den chemischen Mörteln; es ist dieselbe nach Möglichkeit einzuschränken. Für die zu schmelzenden Bindemittel lassen sich in dieser Beziehung keine allgemeinen Regeln aufstellen.

93.
Trocken-
mauerwerk.

Trockene oder Feldmauern werden mit Hilfe von Moos und Erde hergestellt. Da es sich hierbei nur um Ausfüllung der Zwischenräume und feste Lagerung der Steine handelt, so muß das Bindemittel trocken zur Anwendung gelangen, damit ein späteres Schwinden und Setzen ausgeschlossen ist. Unter Trockenheit ist aber bei Erde nicht staubartige Beschaffenheit derselben zu verstehen; sondern sie muß etwas knetbar fein und sich noch gut in den Zwischenräumen durch Klopfen und Stampfen zusammenpressen lassen, wozu bei geeignetem Material nur geringe Feuchtigkeit notwendig ist.

94.
Wahl des
Bindemittels.

Die richtige Wahl eines Bindemittels für einen gegebenen Fall kann für den dauerhaften Bestand eines Bauwerkes von großer Wichtigkeit sein. Es ist hier nun nicht der Platz, auf diesen Gegenstand näher einzugehen, da hierüber einesteils schon in Teil I, Band 1, erste Hälfte (Abt. 1: Die Technik der wichtigeren Baustoffe) dieses »Handbuches« verhandelt worden ist, anderenteils dazu Veranlassung bei der Besprechung der einzelnen Konstruktionen vorliegt. Wir können uns daher hier mit allgemeinen Andeutungen begnügen.

Für die Wahl des Bindemittels kommen namentlich in Betracht: Beanspruchungen durch die Konstruktion, Einflüsse von Witterung, Feuchtigkeit, Temperatur und Benutzung des Bauwerkes, Einwirkung von Naturereignissen und benachbarten Nutzanlagen.

Werden Bauteile stark auf Zug oder Druck in Anspruch genommen, so muß ein Mörtel gewählt werden, der rasch eine eigene große Festigkeit erlangt (z. B. Portlandzement, während bei anderen, weniger beanspruchten Teilen ein Mörtel von geringerer Festigkeit oder ein solcher, der erst langsam fest wird (z. B. Luftkalkmörtel), genügen kann. Aehnlich verhält es sich, wenn bei Mauerkörpern starkes Setzen zulässig ist oder nicht (in letzterem Falle wird man einen rasch erhärtenden, nicht schwindenden Mörtel verwenden müssen), oder wenn Erschütterungen durch Naturereignisse oder benachbarte Nutzanlagen zu erwarten sind oder nicht. Häufig wiederkehrende Erschütterungen können unter Umständen einen elastischen Mörtel zweckmäßig erscheinen lassen (z. B. Asphaltbeton für Gründung von Dampfmaschinen, Dampfhämmern etc.). Die

vorausichtlichen Einflüsse von Witterung und Feuchtigkeit verlangen einen Mörtel von entsprechenden, gewöhnlich einen solchen von hydraulischen Eigenschaften. Da, wo Feuchtigkeiten am Durchdringen oder Aufsteigen verhindert werden sollen, ist ein wasserdichter Mörtel notwendig (Zement, Asphalt). Mauerwerke, die höheren Temperaturen ausgesetzt sind, müssen mit einem Mörtel hergestellt werden, der durch die Hitze nicht zersetzt wird (Lehm, Schamotte u. a. m.). Räume, in denen alkalische oder faure Dämpfe entwickelt werden, zur Fortleitung oder Aufbewahrung ähnlicher Flüssigkeiten oder von Auswurfstoffen benutzte Kanäle oder Gruben verlangen einen Mörtel, der keine chemischen Veränderungen durch die genannten Dünfte oder Stoffe erleidet. Andererseits dürfen Eisen, Blei und andere Metalle, die mit dem Mörtel des Mauerwerkes in Berührung kommen, durch diesen nicht angegriffen werden. Mauern, welche wasserdurchlässig sein sollen (Futtermauern), wird man unter Umständen als Trockenmauern aufführen können. Auch die Zusammensetzung eines und deselben Mörtels kann je nach dem Orte der Verwendung und der Beanspruchung verändert werden. So wird man Mauerkörper, welche späterhin starke Belastung erhalten, mit einem mageren Luftmörtel ausführen können, als solche, die nur wenig belastet werden; Mauerziegel hat man, des geringeren Eigengewichtes wegen, mit fetterem Luftmörtel zu vermauern, als Quader und dichte Bruchsteine.

b) Verbindung der Steine durch besondere Formung der Fugenflächen.

Zur Verbindung der Steine innerhalb einer Schicht durch besondere Formung der Stofsflächen sind namentlich folgende Mittel im Gebrauch: vieleckige Gestaltung der Steine im Grundriss, schwalbenschwanzförmige Ausbildung derselben, Verschränkung oder Auskröpfung der Stofsugen und Anwendung von Nut und Feder (Spundung). Die ersten beiden Mittel gelangen mehr im Ingenieurbauwesen zur Benutzung, müssen aber der Vollständigkeit wegen hier mit zur Erörterung kommen und können in besonderen Fällen auch im Hochbau Verwendung finden. Die beiden zuletzt angeführten Formungen der Fugenflächen sind mehr im Hochbau gebräuchlich; zum Teile haben sie allerdings auch nicht viel mehr, als geschichtliche Bedeutung.

Bei all diesen Arten der Formung der Fugenflächen ist es erforderlich, darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Kanten der Steine nicht zu spitzwinkelig ausfallen. Es wird dies um so notwendiger, je weicher das Steinmaterial ist. Auch empfiehlt es sich immer zur Ersparnis an Kosten und Erzielung genauer Arbeit, möglichst einfache Formen zu wählen.

Die vieleckige Grundrissbildung der Steine ist mit dem Polygonverband von aufgehendem Mauerwerk verwandt. Sie ist namentlich bei der Konstruktion von Leuchttürmen und Brückenpfeilern zur Anwendung gekommen, bei welchen der

95.
Verbindung
innerhalb
einer Schicht.

Fig. 213.

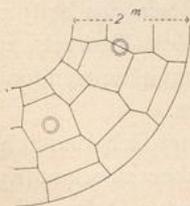
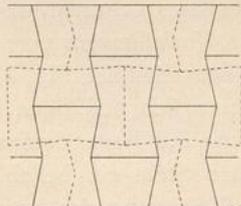


Fig. 214.



Wellenschlag, bezw. der Eisgang oft sehr bedeutende Schübe ausüben, so daß eine besondere Sicherung der Steine geboten erscheint.

In Fig. 213 ist als charakteristisches Beispiel ein Teil einer Schicht eines Leuchtturmunterbaues aus der Bucht von Plymouth mitgeteilt⁴⁶⁾. Der Fugenschnitt ist hier mit großem Verständnis behandelt. Die aufeinander folgenden Schichten sind

96.
Vieleckige
Form
der Steine.

⁴⁶⁾ Nach: MÖLLINGER, K. Elemente des Steinbaues. I. Halle 1869.

durch eiserne Ringdübel verbunden. — Eine umständlichere, spitzwinkelige Kanten nicht vermeidende Bildung zeigt das Beispiel in Fig. 214. Es würde sich dieser Mangel durch die später zu besprechende rechtwinkelige Verfränkung der Steine vermeiden lassen (siehe Fig. 219).

97.
Schwalben-
schwanzförmige
Bildung
der Steine.

Sehr viel wird zur Verbindung von Steinen einer Schicht die schwalbenschwanzförmige Gestaltung der Steine in Anwendung gebracht, weniger bei durchgängigem Quadermauerwerk (doch gehört teilweise hierher das Beispiel in Fig. 214), als bei gemischtem Mauerwerk mit Quaderverblendung aus Läufern und Bindern. Durch die in entsprechende Vertiefungen der Binder eingreifenden Vorsprünge der Läuferenden werden diese letzteren in ihrer Lage gesichert, während die Binder durch die Hintermauerung belastet und festgehalten werden (Fig. 215). — Bei zweihäutigem Mauerwerk können die Binder zu sehr wirksamen Ankersteinen gemacht werden (Fig. 217, bei *a*). Sind die Binder nicht in einer der Mauerdicke entsprechenden Länge zu beschaffen, so kann man eine ähnlich kräftige Verankerung durch Stofs zweier oder mehrerer Binder und Verklammerung der inneren Köpfe (Fig. 217, bei *b*) erzielen. — Die Schwalbenschwanzform wird oft auch zum Festbinden von vor die Mauerfluchten vorspringenden Architekturteilen benutzt (Fig. 216⁴¹).

Fig. 215.



Fig. 216.

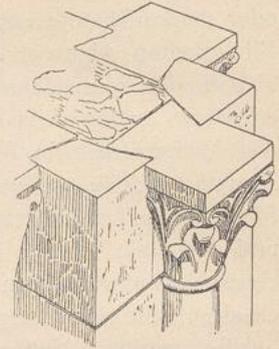


Fig. 217.

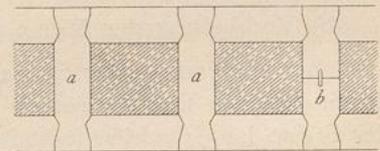


Fig. 218.

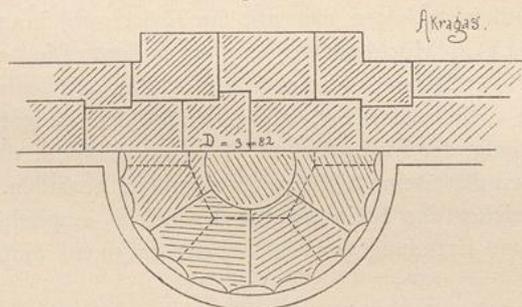
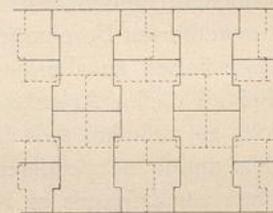


Fig. 219.



98.
Verfränkung
der
Stoßfugen.

Die Verfränkung der Stoßfugen besteht darin, daß die Fugenflächen auf einen Teil ihrer Länge rechtwinkelig ausgekröpft werden, und daß man in die so geschaffenen Winkel die Ecken anderer Steine eingreifen läßt. Diese Verbindungsweise ist bei vollem Quadermauerwerk zur Anwendung gebracht worden, wie das Beispiel in Fig. 218 zeigt, welches einen Teil der Umfassungsmauer des Zeus-Tempels zu Akragas darstellt. Fig. 219 zeigt, wie in dem Beispiel Fig. 214 durch Anwendung der Verfränkung die spitzwinkeligen Kanten sich beseitigen ließen.

99.
Verbindung
mittels
Feder u. Nut.

Die Verbindung der Steine durch Nut und Feder kennzeichnet sich dadurch, daß in den Mitten der Stoßflächen an einen Stein ein beliebig, aber zweckmäßig geformter Vorsprung in eine entsprechende Vertiefung des benachbarten Steines ein-

⁴¹) Nach: VIOLETT-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture etc.* Band I. Paris 1858. S. 504.

greift. Es ist diese Verbindungsweise im Grunde von der Verschränkung und von der schwalbenschwanzförmigen Gestaltung nicht wesentlich verschieden; sie ist aber

Fig. 220.

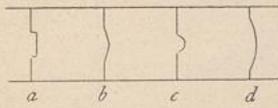
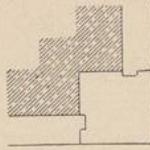


Fig. 221.



Fig. 222.



diejenige, welche im Hochbau auch heutzutage noch zumeist angewendet wird, und zwar namentlich zur engeren Verbindung von Abdeckungsplatten von Mauern, von gestoßenen Treppenstufen oder auch zur besseren Sicherung

von aufrecht gestellten Sockelplatten etc. (Beispiele hierfür bieten Fig. 220 a—d, 221 und 222.) Die

Fig. 223.

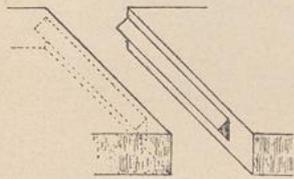
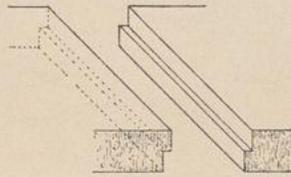


Fig. 224.



Die Griechen befestigten auf diese Weise mitunter die Metopenplatten der dorischen Tempel in den Triglyphenblöcken⁴⁸⁾. Selbstverständlich können

auch Läufer und Binder in dieser Weise verbunden werden.

Dieses Mittel wird auch zur Dichtung der Fugen von Balkonplatten, Treppenflozen, Abdeckungsplatten oder dergl. verwendet (Fig. 223). Zu demselben Zwecke wird die Ueberfaltung benutzt (Fig. 224). Diese kommt ebenfalls bei aufrecht gestellten Platten zur Anwendung. So zeigt Fig. 225 die bei dem Dachreiter der frühgotischen Kapelle zu Iben in Rheinheffen verwendete Ueberfaltung.

Fig. 225.



Zur Verbindung der Steine aufeinander folgender Schichten durch besondere Formung der Lagerfugenflächen verwendet man

die Verkämmung und auch wieder die Verbindung durch Nut und Feder.

Die Verkämmung der Lagerflächen ist der Verschränkung der Stofsflächen ganz

100.
Verbindung
in aufeinander
folgenden
Schichten.

Fig. 226.

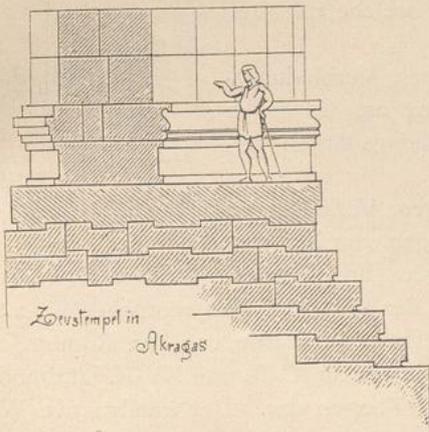
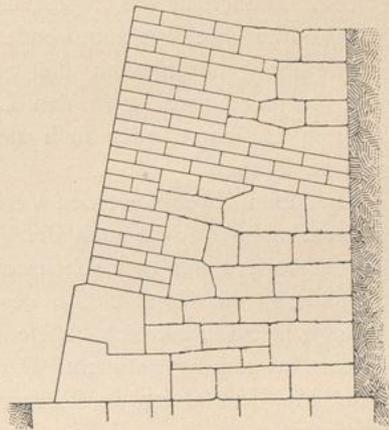
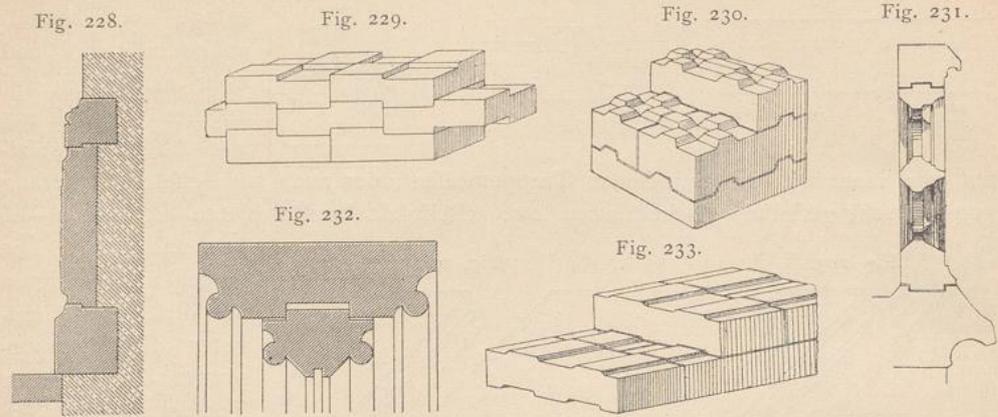


Fig. 227.



⁴⁸⁾ Siehe Teil II, Band 1 (S. 86, 2. Aufl. S. 118) dieses »Handbuches«.
Handbuch der Architektur. III. 1. (3. Aufl.)

ähnlich; sie besteht in rechtwinkligen Auskröpfungen. Ein gutes Beispiel hierfür bietet das Stylobatgemäuer des Zeus-Tempels zu Akragas (Fig. 226), von dem schon ein Stück Umfassungsmauer in Fig. 218 (S. 80) dargestellt wurde⁴⁹⁾.



Die in Fig. 229 mitgeteilte Verkämmung verhindert nach allen Richtungen hin Verschiebungen.

In Frankreich werden Backsteine nach demselben Grundgedanken hergestellt, und zwar in zwei Formen: *Brique Robert* (Fig. 233) und *Brique-blindage* (Fig. 230⁵⁰⁾.

Die Verkämmung der Lagerfugen wird öfters angewendet, um Sockelsteine und Deckplatten von Futtermauern, Stützmauern, Terrassenmauern etc. gegen Verschiebung zu sichern (Fig. 227, 234 u. 235), ebenso um aufrecht gestellte Platten von Sockelmauern festzuhalten (Fig. 228).

Die Verbindung der Lagerflächen durch Nut und Feder wird häufig zur Anwendung gebracht, um frei stehende Konstruktionssteile oder solche, die keine Belastung erhalten dürfen, gegen eine seitliche Verschiebung zu sichern, so z. B. die einzelnen Höhenabteilungen von Galerien oder Balustraden (Fig. 231) und die Fenstermaßwerke (Fig. 232).

Ganz ähnlich ist die Zapfenverbindung, welche mitunter zu verwandten Zwecken angewendet wird.

Hierher gehören auch die verschiedenen Verbindungsweisen von Wölbquadern in den Lagerfugen, um sie gegen ein Gleiten zu sichern oder auch um die Widerlagsstärken verringern zu können.

Zu diesem Zwecke werden Verkämmungen, Verhakungen oder Verzahnungen sowie auch die Verbindungen von Nut und Feder, besonders bei den scheinrechten Bogen, angewendet.

Fig. 236 zeigt die Konstruktion des Sturzes der Mittelthür des römischen Theaters zu Orange in Südfrankreich. Diese Konstruktionsweise wurde von den Römern mitunter zur Anwendung gebracht. Fig. 237 stellt die im XVII. und XVIII. Jahrhundert sehr beliebte Umbildung derselben für den Vollbogen dar. Der konstruktive Wert

Fig. 234.

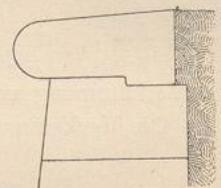
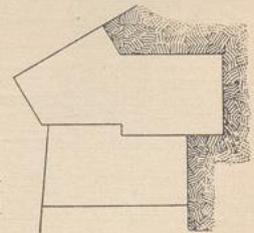


Fig. 235.



101.
Verbindung
der Wölbsteine
in den
Lagerfugen.

⁴⁹⁾ Siehe ebendaf., S. 52 (2. Aufl. S. 72).

⁵⁰⁾ Nach: *La semaine des const.*, Jahrg. 3, S. 380.

Fig. 236.

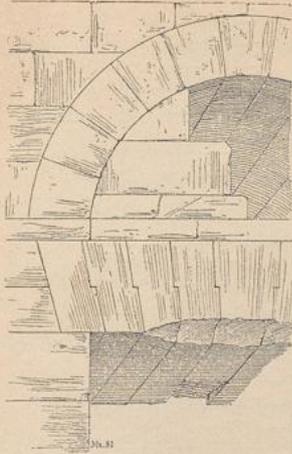


Fig. 237.

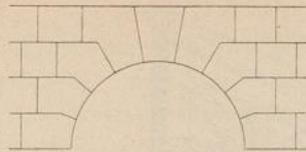


Fig. 238.

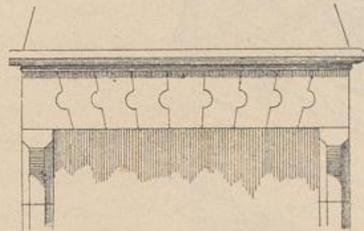
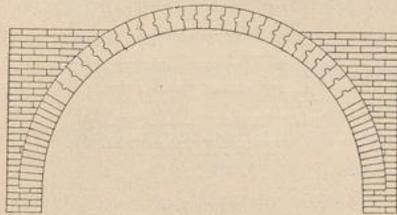


Fig. 239.



Verbindung durch Nut und Feder bietet Fig. 240⁵³⁾. Diese künstliche Verbindung wird im Äußeren der scheinrechten Bogen nicht sichtbar.

Ein ähnliches Mittel, die Zapfenverbindung, verwendeten die Römer, um die

Fig. 240.

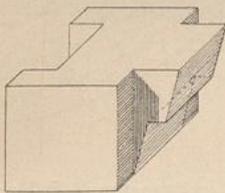
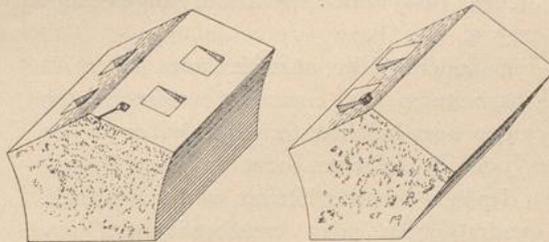


Fig. 241.



Wölbsteine der unteren Teile der Bogen aufeinander festzuhalten, da diese ohne Wölbrüstung ausgeführt wurden, so am Kolosseum in Rom (Fig. 241⁵⁴⁾).

Oefters erscheint es zweckmäfsig, sowohl die Steine der Schichten unter sich, als auch die Schichten miteinander zu verbinden. Das letztere erfolgt allerdings gewöhnlich durch Hinzuziehen besonderer Hilfsstücke, wie dies z. B. in Fig. 213

102.
Verbindung
der Steine in
den Stofs- und
Lagerflächen.

⁵¹⁾ Siehe: GWILT, J. *An encyclopedia of architecture*. London 1876. S. 568.

⁵²⁾ Vergl.: Teil II, Band 3, zweite Hälfte (Art. 32, S. 38 [2. Aufl. S. 40]) dieses »Handbuches«.

⁵³⁾ Nach: RINGLEB, A. *Lehrbuch des Steinschnittes etc.* Berlin 1844. Taf. 21.

⁵⁴⁾ Nach: CHOISY, A. *L'art de bâtir chez les Romains*. Paris 1873. S. 127.

Fig. 242.

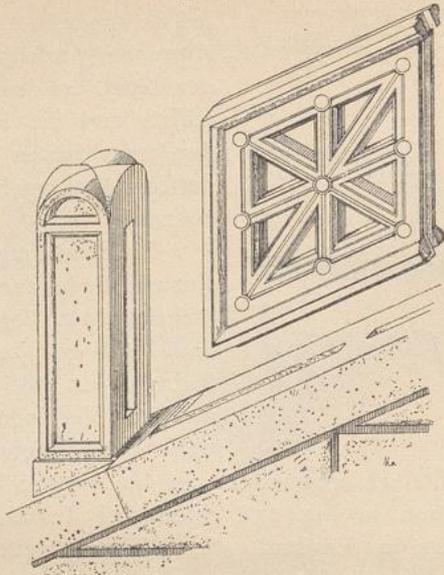
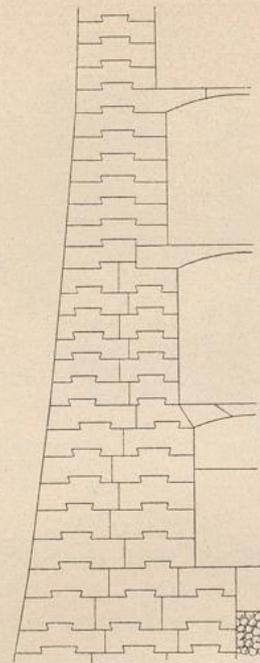


Fig. 243.



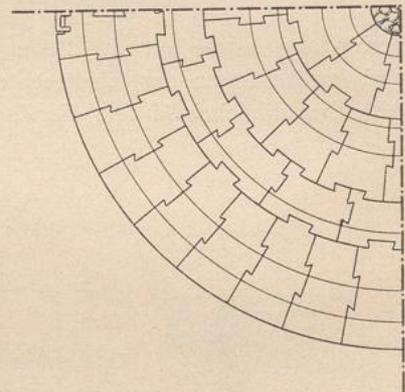
(S. 79) der Fall war. Eine allseitige Verbindung neben- und übereinander liegender Stücke durch Nut und Feder zeigt das in Fig. 242 abgebildete Stück des feineren Geländers der Freitreppe am Stadthause in Winterthur. Verbindung aller Steine in den Stofs- und Lagerfugen durch Verschränkung, bezw. Verkämmung wurde bei dem neuen Eddyfstone-Leuchtturm angewendet (Fig. 243 u. 244⁵⁵⁾.

103.
Fugen mit
Kanälen.

Ein anderes hier anzuführendes Mittel ist die Einarbeitung von einander entsprechenden dreieckigen oder halbkreisförmigen Nuten in den Lager- oder Stofsflächen oder in allen Fugenflächen der benachbarten Steine, wodurch Kanäle von quadratischem oder kreisförmigem Querschnitt von 3 bis 10 cm Breite gebildet werden, die man mit Zementmörtel oder Zementbeton ausfüllt (Fig. 246).

Zu berücksichtigen ist hier auch die Verbindung der Steine in den Stofsungen dadurch, daß man in die Stofsflächen gegenüber liegende Höhlungen (Fig. 245) einarbeitet, welche mittels eines Kanales von oben her mit Zementmörtel oder auch mit Blei ausgefüllt werden.

Fig. 244.



Vom neuen Leuchtturm zu Eddyfstone⁵⁵⁾.
1/150 w. Gr.

Fig. 245.

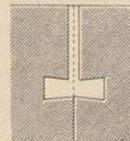
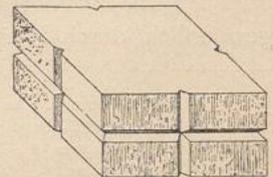


Fig. 246.



⁵⁵⁾ Nach: Zeitschr. f. Bauw. 1887, Bl. 65.

c) Verbindung der Steine durch besondere Hilfsstücke.

Die Verbindung der Steine mittels besonderer Formung der Fugenflächen ist zwar in den meisten Fällen geeignet, die sichersten und dauerhaftesten Ergebnisse zu liefern; sie ist aber immer kostspielig, nicht nur wegen des infolge des Ineinander-greifens der Steine erforderlichen größeren Materialaufwandes, sondern auch wegen der oft umständlichen und sehr genau auszuführenden Bearbeitung der Flächen und der schwierigen Versetzung der Steine. Bei nicht ganz genauer Arbeit wird der beabsichtigte Zweck entweder ungenügend oder gar nicht erreicht. Deswegen bedient man sich viel häufiger der billigeren und bequemer anzuwendenden Verbindung durch besondere Hilfsstücke, die allerdings oft, wegen der Vergänglichkeit der verwendeten Materialien und der mit denselben für die Konstruktion verknüpften Gefahren besondere Vorichtsmaßnahmen erforderlich machen. Diese Bemerkung bezieht sich auf das so oft zur Anwendung gelangende Eisen und auch auf das Holz.

Die Hilfsstücke können nämlich aus Stein, Holz und Metallen hergestellt werden. Unter den letzteren kommen zur Verwendung Kupfer, Bronze, Messing, Blei und vor allen Dingen das Eisen, als das billigste. Holz ist bekanntlich unter wechselnder Trockenheit und Feuchtigkeit von geringer Dauer; durch Einwirkung von Feuchtigkeit quillt es an und kann die verbundenen Steine zer Sprengen. Das Eisen rostet rasch, besonders unter Einwirkung von Nässe und Kalk- und Gipsmörtel, dehnt sich dabei aus und kann infolgedessen auch die Konstruktionen zerstören. Die zur Verhütung dieser Gefahren zu ergreifenden Maßnahmen sollen später besprochen werden.

Zur Verbindung der Steine in einer Schicht werden namentlich die Verklammerungen und Verankerungen verwendet. Bei den ersteren greift das Hilfsstück in der Regel nur über eine Stosfuge hinweg, während bei den letzteren eine größere Anzahl von Stosfugen übersprungen werden.

Die Klammern kommen hauptsächlich in zweierlei Gestalt in Anwendung: in der doppelt schwalbenschwanzförmigen Gestalt (Fig. 249) und als prismatischer Stab mit umgebogenen Enden (Fig. 250). Die erste Form wird entweder von einem festen

und zähen Stein (Granit, Grünstein, Marmor) oder von Metall hergestellt.

Nach *Ch. Normand*⁵⁶⁾ sind beim Pantheon in Rom doppelt schwalbenschwanzförmige Klammern aus Bronze von 280 mm Länge, 130 mm Breite und 22 mm Dicke zur Verwendung gekommen, und *Rondelet*⁵⁷⁾ teilt mit, daß beim Abbruch eines Teiles der äußeren Umfassungsmauern des Forum des *Nerva* in Rom außerordentlich gut erhaltene



Fig. 247.

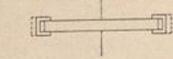


Fig. 248.



Schwalbenschwänze aus hartem Holz gefunden wurden.

Die zweite, bei weitem häufiger vorkommende Form der Klammer wird nur in Metall ausgeführt, und

⁵⁶⁾ In: *Essai sur l'existence d'une architecture métallique antique. Encyclopédie d'arch.* 1883, S. 75.

⁵⁷⁾ In: *Theoretisch-praktische Anleitung zur Kunst zu bauen.* Band 2. Aus dem Französischen von C. H. DISTELBARTH. Leipzig und Darmstadt 1834. S. 27.

Fig. 249.

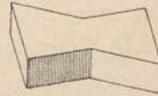


Fig. 250.

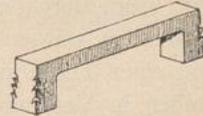


Fig. 251.

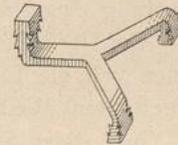


Fig. 252.

104.
Hilfsstücke.105.
Verbindungen
in einer
Schicht.

zwar gewöhnlich in Gufs- oder besser in Schmiedeeisen. Man nennt folche Klammern Steinklammern, zur Unterscheidung von den ähnlich geformten Holzklammern, welche aber spitze Füße haben und in das Holz eingeschlagen werden. Die Steinklammern werden um ihre Dicke in den oberen Lagerflächen der Steine eingelassen. Die umgebogenen, 25 bis 40 mm langen und gewöhnlich aufgehauenen Enden, die Klammerfüße oder Pratzten, greifen in entsprechend tiefe und gröfsere Löcher ein, welche sich nach aufsen etwas erweitern, um das Herausziehen derselben zu erschweren (Fig. 247). Der Raum um dieselben wird mit einem zweckentsprechenden Material (Blei, Schwefel, Gips, Zement, Asphalt, Steinkitt) fest ausgefüllt, worüber weiter unten das Nötige mitgeteilt werden wird. Die Länge und Stärke der Klammern haben sich einesteils nach der Gröfse der zu verbindenden Steine zu richten, anderenteils nach der Festigkeit des Steinmaterials, nach welcher zu beurteilen ist, wie weit von den Fugen entfernt man die Klammerlöcher anbringen kann; hiernach kann dieses Mafs 5 bis 20 cm betragen.

Zu den schmiedeeisernen Steinklammern wird Quadrat- oder Flacheisen verwendet; die umgebogenen Enden werden durch Stauchen verdickt. Bei Verwendung von Flacheisen liegt in der Regel die Klammer mit der flachen Seite auf dem Stein. Bleiben jedoch die Klammern äufserlich sichtbar, wie bei der Verbindung von Mauerabdeckungsplatten, so ist es zweckmäfsiger, dieselben hochkantig zu stellen, um sie dadurch vor der Einwirkung der Atmosphäre und vor Entwendung besser zu schützen (Fig. 248). Dasselbe kann auch mit den schwalbenschwanzförmigen Klammern geschehen (Fig. 252).

Griechen und manche andere alte Völker verwendeten bei ihren Quaderbauten vielfach verschiedenartig geformte Metallklammern⁵⁸⁾.

Klammern, welche vom oberen Lager eines aufrecht gestellten längeren Werkstückes (z. B. von einem Fenster- oder Thürgehänge) in das benachbarte Mauerwerk greifen, um den fehlenden Verband zu ersetzen, nennt man Stichklammern.

In besonderen Fällen werden die Steinklammern mit gegabelten oder auch mit entgegengesetzt umgebogenen Enden versehen. Das erstere wird angewendet, wenn durch eine Klammer mehr als zwei Steine verbunden werden sollen, das letztere, wenn Quader mit einer Hintermauerung von Ziegeln oder Bruchsteinen in Verbindung zu bringen sind. Das aufwärts gebogene Ende läfst man in die Fugen der Hintermauerung eingreifen (Fig. 251).

Bei Herstellung der Hohlmauern aus Ziegeln bedienen sich die Engländer häufig in der in Fig. 261 dargestellten Weise einer der in Fig. 253 bis 260 abgebildeten Klammerformen aus Gufs- oder Schmiedeeisen. Auch in Deutschland werden jetzt Klammern zu diesem Zwecke verwendet⁵⁹⁾, die man wohl auch aus Draht herstellt⁶⁰⁾.

Fig. 253.



Fig. 254.



Fig. 255.



Fig. 256.



Fig. 257.



Fig. 258.

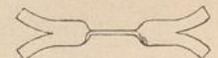


Fig. 259.

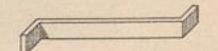
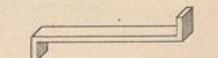


Fig. 260.

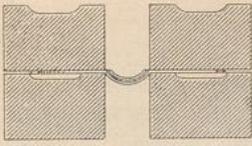


⁵⁸⁾ Siehe hierüber Teil II, Band 1 (S. 57 [2. Aufl. S. 77]) und Band 2 (S. 132) dieses »Handbuches«.

⁵⁹⁾ Vergl.: Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 455.

⁶⁰⁾ Ebendaf. 1892, S. 486.

Fig. 261.



Bei Hintermauerung von Quaderverblendungen, sowie bei Mauerwerk aus kleinstückigem Material kommen auch die eigentlichen Verankerungen in Anwendung. Die Anker sind entweder ähnlich gestaltet wie die Klammern, d. h. bei größerer Länge mit umgebogenen Enden versehen, oder sie sind wie die Balkenanker gebildet, d. h. sie haben Splinte, die in lotrechter Stellung durch Oefen am Ende der Eisenstangen gefeckt werden.

Die erstere Art wird von *Rankine*⁶¹⁾ als Reifeisenverband bezeichnet und mitunter bei Ziegelmauerwerk angewendet, um die Zugfestigkeit in der Längsrichtung zu vermehren. Die Flacheisenstangen sollen in ihren Stößen abwechseln, an den Enden um ca. 5 cm nach abwärts gebogen sein und brauchen als Querschnittsfläche nicht mehr als $\frac{1}{300}$ des Mauerquerschnittes zu haben.

Nach *H. Müller*⁶²⁾ werden zum Reifeisenverband gewöhnlich Bändeisen von 2 mm Dicke und 42 mm Breite verwendet, die im Handel in Längen von ca. 8,20 bis 8,25 m zu haben sind. Sie werden in die Lagerflächen der Backsteinschichten zu mehreren nebeneinander gelegt, und zwar so, daß sie auf keine in der Längsrichtung laufenden Stoßfugen treffen. An den Enden werden die Bändeisen um den letzten Stein herum bis zum zweiten oder dritten Stein vorher zurückgebogen. Durch die Einwirkung des Kalkmörtels werden die Bändeisenstreifen zwar nach und nach zerstört; inzwischen ist aber die Festigkeit des Mörtels selbst eine bedeutende geworden.

Brunel hat durch Versuche die große Wirksamkeit des Reifeisenverbandes nachgewiesen⁶³⁾. Er schreibt den Zuwachs an Festigkeit der Adhäsion des Zement- oder Kalkmörtels an der Oberfläche des Eisens zu, wonach eine größere Anzahl von schwachen Bändern zu besseren Ergebnissen führen würde, als eine kleinere Zahl stärkerer. An Stelle von Eisen verwendete *Brunel* auch dünne Holzlatten. Er weist übrigens auch auf die Gefahren hin, die durch die Rostbildung des Eisens für Fundamente aus porösen Ziegeln sich ergeben⁶⁴⁾.

Die Anker mit Splinten haben solche entweder nur an einem Ende (Fig. 262) oder an beiden Enden. Der Splint besteht aus Flacheisen, dessen Breite in die Längsrichtung des Ankers genommen wird, oder aus Quadrat- oder Rundeisen. Die Oefe wird entweder durch Verdrehen (Kröpfen) und Umbiegen des Flacheisens gebildet (Fig. 262), oder durch Umbiegen des Endes und Durchlochung (Fig. 263), oder durch Aus schmieden eines Ringes (Fig. 264).

Die Verankerungen werden mitunter auch so ausgeführt, daß der Anker an dem einen Ende einen Splint hat, während er mit dem anderen umgebogenen Ende in das Loch einer in der Längsrichtung der Mauer laufenden Eisenschiene greift, welche denselben Dienst auch noch anderen Ankern leistet.

Fig. 265 zeigt die Anwendung dieser Verbindungsweise beim Wiederherstellungsbau des Schlosses Saint-Germain bei Paris⁶⁵⁾.

Anzuführen sind hier auch die Verankerungen mit langen Eisenschienen, an welchen in Abständen Zapfen befestigt sind, die in die Steine eingreifen. Bei diesen und ähnlichen Konstruktionen sind die Gefahren zu berücksichtigen, die, außer durch das Rosten, auch durch die Ausdehnung und Zusammenziehung der langen Eisenschienen bei Temperaturänderungen für das Mauerwerk erwachsen können.

Sehr ausgedehnte Verankerungen kommen bei solchen Gebäuden zur Anwendung, welche gegen die Wirkungen von Erdbeben oder Bodensenkungen geschützt werden sollen. Ueber die besonderen Konstruktionen zu diesem Zwecke findet sich das Nähere in Teil III, Band 6 dieses »Handbuches« (Abt. V, Abfchn. 1, Kap. 3: Sicherungen gegen die Wirkung von Bodensenkungen und Erderschütterungen). Ver-

61) Handbuch der Bauingenieurkunst. Uebersetzt von F. KREUTER. Wien 1880. S. 432.

62) In: Die Maurerkunst. 3. Aufl. Leipzig 1879. S. 306.

63) Nach: Allg. Bauz. 1838, S. 137.

64) Ein Beispiel einer Gründung mit Bändeiseneinlagen auf nachgiebigem Boden findet sich in: Centralbl. d. Bauverw. 1898, S. 237.

65) Nach: Gaz. des arch. 1863, S. 217.

Fig. 262.

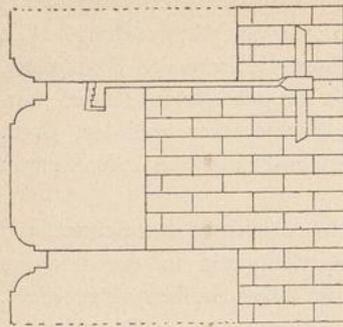


Fig. 265.

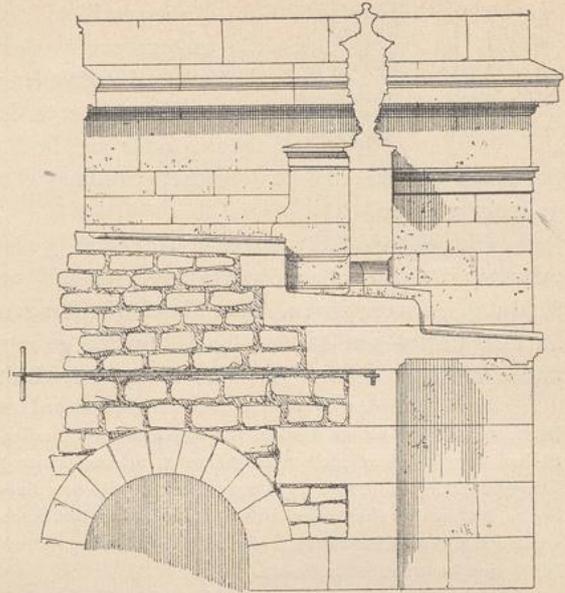


Fig. 263.

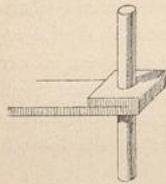
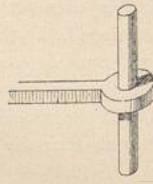


Fig. 264.



ankerungen zur Verstärkung der Festigkeit der Mauern werden auch im nächsten Bande, Heft I (Abt. III, Abchn. 1, A, Kap. 11) dieses »Handbuches« besprochen werden.

106.
Verbindung
aufeinander
folgender
Schichten.

Die Verbindung der Steine aufeinander folgender Schichten

erfolgt durch prismatisch, cylindrisch oder doppelt schwalbenschwanzförmig gestaltete Stücke von Stein, Holz oder Metall, welche in beide Lagerflächen auf angemessene Tiefe eingreifen, durch die sog. Dübel oder Dollen⁶⁶⁾.

Die steinernen Dübel werden nur da angewendet, wo die Gröfse der Quader dies gestattet; sie sind im Querschnitt quadratisch und erhalten eine Länge, die etwa dem fünften Teile der Höhe der zu verbindenden Quader entspricht, während die Breite etwa ebenso groß bis zwei Drittel davon gemacht wird. Der dazu verwendete Stein muß sehr fest und zähe sein. Sie werden häufig in das obere Lager der unteren Schicht genau passend mit Zement eingefetzt, während das Loch im unteren Lager der oberen Schicht groß genug sein muß, um ein bequemes Verfetzen zu ermöglichen. Der Zwischenraum wird in der später zu beschreibenden Weise mit Zement ausgegossen. Für das Vergießen ist es besser, umgekehrt zu verfahren und den Dübel im unteren Lager des oberen Steines zu befestigen. Es gilt dies auch für die Dübel aus anderen Stoffen.

Die hölzernen Dübel sind ähnlich gestaltet, wie die steinernen und von ähnlicher Gröfse. Sie müssen von möglichst trockenem, festem, zähem und dauerhaftem Holz (Eiche, Cypresse, Olive) hergestellt werden. Die Fugen füllt man mit Sand oder Harzkitt aus. Von den Griechen sind hölzerne Dübel bei den Tempelbauten vielfach verwendet worden.

Die metallenen Dübel (am besten von Bronze oder Kupfer, am häufigsten von Eisen) werden ähnlich wie die steinernen verfetzt, erhalten eine Länge, die auch für

⁶⁶⁾ Auch Dübhel, Düpel, Diebel, Dippel, Dobel oder Döbel genannt.

die größten Quader mit ca. 15 cm genügend, gewöhnlich aber mit 8 bis 10 cm hinlänglich groß ist, und eine Dicke von 2,5 bis 5,0 cm. Die beiden Enden werden nach entgegengesetzter Richtung aufgehauen. In den Löchern werden sie mit den schon für die Klammern angegebenen Mitteln vergossen.

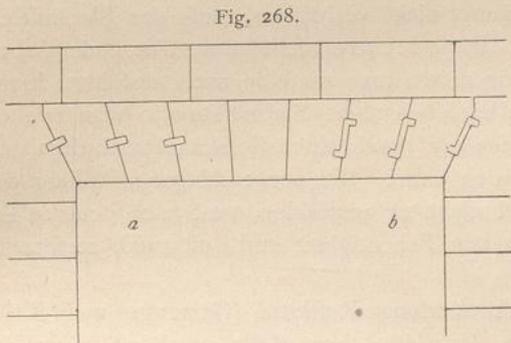
Es ist hier noch anzuführen, daß man die Metalldübel, und zwar gewöhnlich in doppelt schwalbenschwanzförmiger Gestalt (wie Fig. 252, S. 85), auch zur Verbindung der Stosfugen aufrecht gestellter Platten benutzt (Fig. 266), bei denen eine Klammerverbindung im oberen Lager eine Bewegung im unteren Teile nicht verhindern könnte, wie sie z. B. durch Gefrieren von eingedrungenem Wasser oft verursacht wird. Ebenso verwendet man zur Verbindung der Stosfugen von Deckplatten mitunter Steindübel (Fig. 267), um seitliche Verschiebungen zu verhindern. Eine besondere Fugengestaltung für diesen Zweck (Fig. 220, S. 81) ist allerdings kostspieliger, aber auch sicherer, da die Dübel bei stärkeren Steinen nicht in der ganzen Höhe der Stosflächen ausgeführt werden.

Zur Verbindung der Wölbsteine in den Lagerfugen bedient man sich mitunter auch der Dübel, ausnahmsweise der Klammern. Die Dübel werden auch zu diesem Zwecke aus Stein, Holz oder Metall angefertigt.

Beim Bau der Blackfriars-Brücke in London hat man sich beispielsweise würfelförmiger Steindübel bedient.

Die mittelalterlichen Bogen im Hofe des alten Postgebäudes zu Basel waren in sämlichen Steinen durch eiserne, in Blei vergoffene Dübel von ca. 9 cm Länge und 9 qcm Querschnitt verbunden, so daß deren Abbruch, der wegen des Wiederaufbaues derselben sorgfältig geschehen mußte, die größten Schwierigkeiten verursachte⁶⁷⁾.

Die Gewölberippen der Marien-Kirche in Stuttgart wurden durch Bleidübel verbunden. Es wurde hier Blei gewählt, um bei der allmählich fortschreitenden Belastung während des Baues die Rippen etwas biegsam zu haben. Aus demselben Grunde wurden auch die Rippenfugen mit Bleiguß ausgefüllt⁶⁸⁾.



Die Dübel müssen senkrecht zu den Lagerfugen gestellt werden (Fig. 268 a). Bei scheinrechten Bogen kommen auch Z-förmige Klammern zur Verwendung (Fig. 268 b).

Die Verankerungen von Gewölben zur Verminderung oder Aufhebung des Schubes derselben werden im nächsten Bande, Heft 3 dieses

»Handbuches« (bei den Gewölben) zur Besprechung gelangen.

Zur Verhinderung der Verschiebung von Steinen sowohl neben-, als übereinander werden die besprochenen Hilfsstücke in den Lager- und Stosfugen gleichzeitig zur Anwendung gebracht.

Sehr ausgiebigen Gebrauch in dieser Beziehung haben u. a. die Griechen bei der Herstellung ihrer Tempel gemacht, dabei aber von der Verwendung eines Mörtels abgesehen.

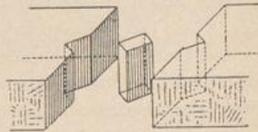
⁶⁷⁾ Siehe: Deutsches Bauwksbl. 1882, S. 115.

⁶⁸⁾ Siehe: Deutsche Bauz. 1880, S. 554.

Fig. 266.



Fig. 267.

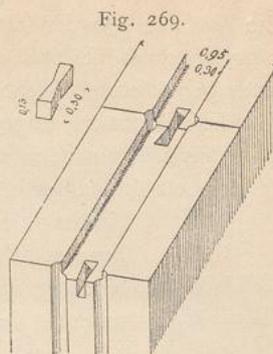


107.
Verbindung
der
Wölbsteine.

108.
Verbindung
in den Stos-
und
Lagerfugen.

Ebenso kommen die Verbindungen durch besondere Formung der Fugenflächen und durch Hilfsstücke vereinigt, in äußerst ausgedehntem Maße beim Bau der Leuchttürme zur Anwendung⁶⁹⁾.

Daly⁷⁰⁾ macht von ägyptischen Mauern Mitteilung, die er in Denderah, am sog. Hypäthraltempel von Philä und a. a. O. gefunden hat und welche in sehr bemerkenswerter Weise die vereinigte Verwendung von Mörtelkanälen und Schwalbenschwänzen (wahrscheinlich wie sonst aus Sykomorenholz) zur Herstellung einer allseitigen Unverschieblichkeit der auf das genaueste, mit ganz scharfen Fugen bearbeiteten Quader zeigen. Fig. 269 stellt einen Teil einer solchen Konstruktion dar. Die Quader haben in den oberen und unteren Lagerflächen, ebenso in den Stoßflächen, Kanäle, die mit ausgezeichnetem Mörtel ausgefüllt waren. Außerdem griffen über die Stoßfugen die schon erwähnten Schwalbenschwänze.



109.
Befestigung
der
Hilfsstücke.

Die für die Hilfsstücke in die Fugenflächen einzuarbeitenden Löcher können nicht derartig hergestellt werden, daß sie ganz dicht an erstere anschließen. Ein Herausziehen derselben bleibt also möglich. Man macht deshalb die Löcher von vornherein etwas größer und so groß, daß man sie nach dem Einbringen der Hilfsstücke bequem und sicher mit einem zweckentsprechenden Material ausfüllen kann. Man verwendet dazu, wie schon erwähnt, bei steinernen Hilfsstücken Zementmörtel; bei solchen von Holz in trockener Lage Sand und dort, wo sich Zutritt von Feuchtigkeit erwarten läßt, Harzkitt; bei Hilfsstücken von Metall Blei, Kitt, Zement, Schwefel, Gips, Asphalt. Eisenklammern kann man außerdem noch dadurch zum festen Anschluß an die Steine bringen, daß man sie vor dem Einsetzen erhitzt; beim Erkalten ziehen sie sich zusammen und pressen hierdurch die zu verbindenden Stücke aneinander.

Das Blei ist zwar teuer, aber zu dem angegebenen Zweck vorzüglich geeignet. Es wird geschmolzen und in das vorher sorgfältig zu trocknende Loch um das Metallstück gegossen. Beim Erkalten zieht es sich zusammen, legt sich infolgedessen fest an die Klammerfüße oder Dübel an, löst sich aber gleichzeitig vom Steine los. Damit die so entstehenden Hohlräume nicht verbleiben, muß das Blei mittels eines Stemmeisens nachgekeilt werden. Diese letztere nicht zu veräußernde Arbeit läßt das Blei nur da anwendbar erscheinen, wo man dieselbe auch ausführen kann, also nur bei Klammern und an einem der Dübelenden. Sie müßte also beim zweiten Dübelende unterlassen werden, weil dieses nur durch einen Gußkanal nach dem Veretzen des zweiten Steines umfüllt werden kann. Die vorgeschlagene Füllung der sich bildenden Höhlungen mit Zement ist nicht zu empfehlen, weil nach neueren Erfahrungen Zement und Kalk bei Zutritt von Feuchtigkeit und Luft rasch zeretzend auf das Blei einwirken sollen.

Von den Kitten kommen zur Anwendung Rostkitt (Gemenge von Kalk, Zement oder Gips mit Eisenfeilspänen), Harzkitt (hergestellt aus Pech, Schwefel und feinem Quarzand oder Ziegelmehl) und Oelkitt (z. B. bereitet aus Bleiglätte, Kalkhydrat und Leinölfirnis). Die Kitt sind zum Teile recht gut, oft auch teuer und können meist, wie das Blei, nur da angewendet werden, wo man sie fest in die Löcher eindrücken kann.

Sehr gut bewährt hat sich der Portlandzement, namentlich für die Befestigung von Eisen in Stein. Unter der Umhüllung von dichtem Zementmörtel rostet das

⁶⁹⁾ Ein lehrreiches Beispiel hierfür bietet: *The Chickens rock lighthouse. Engineer*, Bd. 47, S. 356.

⁷⁰⁾ In: *Revue gén. de l'arch.* 1882, S. 51.

Eisen anfänglich nur sehr wenig, wird aber durch dieselbe vor dem weiteren Rosten geschützt. Um gute Erfolge zu erzielen, muß man dem Zement die nötige Zeit und Ruhe zur völligen Erhärtung lassen; man darf ihn aber auch nicht ohne Sandzusatz verwenden, da sonst erhebliche Gefahren für die Konstruktionen entstehen können ⁷¹⁾.

Den Schwefel, der sich sehr bequem an allen Stellen anwenden läßt, sehr rasch fest wird und außerordentlich wetterbeständig ist, betrachtet man trotzdem für die Befestigung von Eisen mit einem gewissen Mißtrauen, weil sich unter Einwirkung der Luft Schwefeleisen bilden, infolge der dabei eintretenden Volumvermehrung die Steine auseinander treiben und außerdem dieselben auch braunrot färben soll. Es wird zur Verhütung dieser Uebelstände empfohlen, bei der Anwendung von Schwefel denselben weit über den Schmelzpunkt zu erhitzen, bis er eine tiefbraune Farbe annimmt. Zweckmäßig ist es, Stein und Eisen vor dem Vergießen etwas zu erwärmen. Zur Befestigung von Eisen in Stein hat sich auch das Verfahren bewährt, ein Gemenge von Schwefel und Eisenfeilspänen mit Essig zu übergießen, wodurch sich eine sich selbst erhaltende Masse ergibt, welche sich zum Vergießen eignet und nach dem Erkalten hart wird.

Der Gips ist ebenfalls sehr bequem zu verwenden und wird auch sehr rasch fest, ist aber nicht wetter- und wasserbeständig und daher nur im Trockenen brauchbar. Aber auch da befördert er beim Eisen die Rostbildung, so daß er jedenfalls nur dann benutzt werden sollte, wenn auf große Dauerhaftigkeit der Verbindung kein besonderer Wert gelegt wird.

Asphalt schützt zwar das Eisen vortrefflich, bekommt aber zu wenig eigene Festigkeit, um Bewegungen der Verbindungsstücke zu verhindern. Er ist deswegen auch nur dort anzuwenden, wo die Einwirkung von Kräften und, da er leicht schmelzbar ist, auch die von Hitze ausgeschlossen ist.

Die leichte Vergänglichkeit von Holz und Eisen, ebenso die Gefahr, welche durch die Volumvergrößerung dieser Materialien beim Quellen, bzw. Rosten herbeigeführt wird, machen besondere Vorichtsmaßnahmen bei Verwendung derselben notwendig. Es erstrecken sich diese auf den Ort der Verwendung und auf die Behandlung der Oberflächen der Verbindungsstücke.

Holz sowohl, als Eisen sollten nur an solchen Stellen zur Anwendung gelangen, wo sie den Einwirkungen der Luft und der Feuchtigkeit entzogen sind, also an voraussichtlich trocken bleibenden Orten und möglichst tief in den Mauern. Aber auch da sind die betreffenden Konstruktionsteile den Einwirkungen der Mörtelfeuchtigkeit ausgesetzt, bis dieselbe, was oft recht lange dauert, verdunstet ist. (Der trocken gewordene Mörtel wird weiterhin dann schützend wirken.) Es ist demnach in allen Fällen angezeigt, die Oberfläche der Holz- und Eisenstücke weniger empfindlich zu machen.

Bei Holz, welches vor der Verwendung schon ganz trocken sein sollte, ist tüchtiges Auskochen zu empfehlen, desgleichen Tränken mit heißem Leinölfirnis.

Für den Schutz des Eisens kommen mannigfaltige Mittel in Anwendung. Solche Schutzmittel sind: Eintauchen der noch heißen Eisenstücke in Schmiedepech oder Oelfirnis; besser Ueberzug mit heißem Asphalt; Anstrich mit Asphaltlack; ver-

⁷¹⁾ Ueber die durch Zementmörtel am *Stefans-Dom* in Wien verursachten Zerstörungen vergl.: *Centralbl. d. Bauverw.* 1889, S. 16. — *Wochschr. d. öst. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1889, S. 126. — *Baugwksztg.* 1889, S. 22, 90, 221, 543. — *Thonind.-Zeitg.* 1890, S. 486.

schiedene Metallüberzüge. Die letzteren sind im allgemeinen das empfehlenswerteste Schutzmittel. Unter ihnen ist am besten, allerdings auch am teuersten, das Verkupfern oder Verbleien. Häufiger wird das Verzinnen oder Verzinken angewendet, und zwar ist das letztere dem ersteren entschieden vorzuziehen, weil die geringste Verletzung oder Unvollständigkeit des Zinnüberzuges das Rosten geradezu befördert.

Litteratur.

Bücher über »Konstruktionselemente in Stein« und »Mauerwerkskunde«, fowie über »Steinhauerarbeit« und »Steinschnitt«.

- BOSSE, A. Kunstrichtig und probmäßige Zeichnung zum Steinhauen in der Baukunst. Aus dem Franz. von DES ARGUES. Nürnberg 1699.
- DE LA RUE, J. B. *Traité de la coupe des pierres*. Paris 1728. — 3. Aufl. 1858.
- FREZIER. *La théorie et la pratique de la coupe des pierres etc.* Straßburg 1737—39.
- LUCOTTE. *L'art de maçonnerie*. Paris 1783.
- MATTHAEY, C. Handbuch für Maurer etc. Ilmenau 1824. — 5. Aufl.: Die praktischen Arbeiten und Baukonstruktionen des Maurers und Steinhauers etc. Weimar 1879.
- DOULIOT, J. C. *Traité spécial de la coupe des pierres*. Paris 1825. — 2. Aufl. 1862. — Deutsch von C. F. DEYHLE. Stuttgart 1826.
- HÖRNIG, G. S. Theoretisch-praktisches Handbuch der verschiedenen Maurerarbeiten etc. Leipzig 1836.
- ROMBERG, J. A. Die Steinmetz-Kunst in allen ihren Theilen. Magdeburg 1837.
- ADHÉMAR, A. J. *Traité de la coupe des pierres*. Paris 1837. — Deutsch von O. MÖLLINGER. Solothurn 1842.
- ROMBERG, J. A. Die Mauerwerks-Kunst in allen ihren Theilen. Wien 1838.
- RINGLEB, A. Lehrbuch des Steinschnittes der Mauern, Bogen, Gewölbe und Treppen. Berlin 1844.
- TOUSSAINT DE SENS. *Manuel de la coupe des pierres*. Paris 1844.
- LEROY, CH. F. A. *Traité de stéréotomie etc.* Paris 1844. — Deutsch von E. F. KAUFFMANN. Stuttgart 1847.
- MENZEL, C. A. Der praktische Maurer etc. Halle 1846. — 9. Aufl.: Der Steinbau. Von F. HEINZERLING. Fulda 1893.
- Grundlage der praktischen Baukunst. I. Teil. Maurerkunst etc. 4. Aufl. Berlin 1850.
- CLAUDEL, J. & L. LAROQUE. *Pratique de l'art de construire. Maçonnerie etc.* Paris 1850. — 4. Aufl. 1870. — Deutsch von W. HERTEL. Weimar 1860.
- WEDEKE, J. C. & J. A. ROMBERG. Die Mauerwerksarbeiten. Leipzig 1853.
- HARRES, B. Die Schule des Maurers etc. Leipzig 1856. — 5. Aufl. von E. HARRES. 1881.
- HARRES, B. Die Schule des Steinmetzen etc. Leipzig 1857. — 2. Aufl. 1866.
- FREISCHINGER & BECKER. Systematische Darstellung der Baukonstruktionen. — Die Mauerwerks- oder Steinkonstruktionen. Berlin 1862—64.
- BRAND, C. v. Praktische Darstellung des Ziegelverbandes nach einfachen, allgemeinen, bisher unbekanntem Gefetzen. Berlin 1864.
- DEMANET, A. *Guide pratique du constructeur; maçonnerie*. Paris 1864.
- MENZEL, C. A. Das Mauerwerk und der Mauerverband etc. Herausg. u. verm. von C. SCHWATLO. Halle 1866.
- LAVIT, PÈRE ET FILS. *Traité de la coupe des pierres*. Marseille 1866.
- MÖLLINGER, C. Elemente des Steinbaues etc. Heft 1: Konstruktionen des Bruchstein- und Quaderbaues. Halle 1869.
- MÖLLINGER, C. Baukonstruktions-Vorlagen der Baugewerkschule zu Höxter. — Heft 1 u. 2: Mauerkonstruktionen. Höxter 1880. — Heft 3: Konstruktionen des Bruchstein- und Quaderbaues. Halle 1870.
- WEHRLE, J. Projective Abhandlung über Steinschnitt etc. Zürich 1871—74.
- MÜLLER, H. Die Maurerkunst. Leipzig 1875.
- HOFFMANN, E. H. Die Bauten von Stein. Leipzig 1875. — 3. Aufl. Deutsche bautechnische Taschenbibliothek, Heft 7. 1884.
- HAMMOND, A. *Rudiments of practical bricklaying etc.* London 1875.