

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 73/74 (1919)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Von der mittelalterlichen Ornamentik des Basler Münsters  
**Autor:** Escher, K.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-35638>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

einmal  $A$  mittels der Formel (II) und dann  $A_r$  mittels (III) gerechnet, wobei sich nach einigen Versuchen gute Uebereinstimmung bei Einsatz von  $\tau' = 0,3 \text{ sek}$  ergab, wie aus nachfolgender Tabelle III zu ersehen ist.

Tabelle III

Entlastung			$\delta_{\max}$	$A$ mkg	$\tau$ sek	$A_u$ mkg	Differenz	
elektr. kW	a. d. Turb. kW	mkgsek					$A - A_r$ mkg	%
8	9,36	954,7	0,1040	949	1,685	947	+ 2	0,2
10	11,55	1178,1	0,1515	1413	2,088	1406	+ 7	0,5
12	13,78	1405,6	0,2020	1929	2,465	1942	- 13	0,7

In den selben Tachogrammen folgt auf die maximale Geschwindigkeitsteigerung ein fast linearer Verlauf des Geschwindigkeitabfalls, entsprechend dem eben sich einstellenden Ablauf; die Neigung dieser Linie gegen die Papierbahn ergibt mit obigem Trägheitsmoment und mit  $\omega = 57,5 \text{ sek}^{-1}$  das Moment der Eigenwiderstände der Maschinengruppe, bezw. die erforderliche Leistung zu

$$M_w = 2,625 \cdot \frac{0,1}{6,4} \cdot 57,5 = 2,35 \text{ mkg}$$

$$\text{bezw. } L_w = \frac{2,36 \cdot 57,5}{102} = 1,33 \text{ kW.}$$

Diese Ergebnisse können nun zur Diskussion der Tachogramme im Fall b) benützt werden (vergl. Abb. 11, Seite 265). Diese zeigen nach der ersten, der Entlastung folgenden Geschwindigkeitszunahme durch die scharfen Ecken in den Kurven eine fast plötzlich eintretende Abnahme der Energiezufuhr zur Turbine an, die eben durch die zerstreue Wirkung der Lenkflügel verursacht ist.

Tabelle IV

Entlastung			$\delta_{\max}$	$\tau$ sek	$A$ mkg	$A_u$ mkg	$\Delta$ mkg
elektr. kW	a. d. Turb. kW	mkgsek					
8	9,36	954,7	0,0435	0,61	389	286	103
10	11,55	1178,1	0,0440	0,38	393	353	40
12	13,78	1405,6	0,0501	0,38	445	421	24

In vorstehender Tabelle IV sind wieder die Werte der Entlastungen, diejenigen von  $\delta_{\max}$  und den entsprechenden Zeiten eingetragen und zudem die nach Formel (II) mittels  $\delta_{\max}$  gerechneten Werte  $A$  der wirklich in der Zeit  $\tau$  aufgenommenen Arbeiten und schliesslich die Arbeitswerte  $A_u = L_0 \tau'$  gerechnet, die während der Unempfindlichkeitszeit  $\tau = 0,3 \text{ sek}$  überschüssig von der Turbine abgegeben werden. Die Differenzen  $A - A_u$  sind in der Rubrik  $\Delta$  eingetragen; deren kleine Werte zeigen deutlich, dass die Wirkung der Zerstreung durch die Lenkflügel eine sehr rasche ist.  $\Delta$  wird kleiner mit wachsender Entlastung, was darauf hinweist, dass die Verdrehung der Lenkplatten der Grösse der Entlastung angepasst wird; es kommt dies auch in den Werten von  $\tau$  zum Ausdruck. Der weitere Verlauf der Tachogramme im Fall b) zeigt, dass nach dem ersten Geschwindigkeitsmaximum rasch wieder eine Rückführung der Lenkflügel in die meridionale Lage eintritt, sodass der wieder glatte, aber durch den Nadelverschieb reduzierte Strahl bezw. dessen Energie eine Erhebung zu einem zweiten Maximum verursacht, das jedoch das erste Maximum nicht überschreitet. Nach diesem zweiten Maximum reguliert die Nadel allein die richtige Energiezufuhr ein.

Aus den Tachogrammen Abbildung 9 ist nun zu ersehen, dass in geringem Mass bereits bei 14 und 16 kW Entlastung eine Wiederholung der Ablenkerwirkung nach dem ersten Maximum eintritt; bei der Entlastung um 17,2 kW tritt dies aber deutlich und zwar mehrfach hervor. Ein Ueberschreiten des ersten Maximums ist in keinem Falle vorhanden. Diese Wiederholungen sind durch die hohe Empfindlichkeit des intermittierenden Regulierventils für den Lenkflügel-Servomotor verursacht und weisen auf dessen energische Wirksamkeit hin.

Die Ergebnisse der mit der Versuch-Gruppe durchgeführten Prüfungsversuche und deren anhand der Theorie erfolgten Diskussion ergeben, dass das Prinzip der Energie-Vernichtung durch Strahlerstreuung in der von Ing. Seewer ausgebildeten Weise zur Anwendung für die Regulierung von Hochdruck-Pelton-Turbinen gut geeignet ist und dass bereits bei dieser ersten Ausführung von relativ niedriger Grössenordnung Ergebnisse erzielt worden sind, die erwarten lassen, dass auch bei grösseren Ausführungen der Praxis der angestrebte Erfolg erzielt werden wird.

Zürich, im Mai 1919.

## Von der mittelalterlichen Ornamentik des Basler Münsters.

Dr. K. Escher, Zürich.<sup>1)</sup>

(Mit Tafeln 23 und 24.)

Jedes mittelalterliche Münster und jede Klosterkirche der Schweiz haben ihre eigenen architektur-geschichtlichen Werte und künstlerischen Vorzüge. Wir finden im Osten die schlichte, aber in den Verhältnissen so edle Schule von Hirsau, aber auch den gediegenen schweren Pfeilerbau der Lombardei mit Pfeilern, Emporen, Gewölben und ausgiebiger Dekoration. Wir finden Bauten des Cluniazenser- und Cisterzienserordens, den romanischen Stil in seiner vollsten Reife, die zarte Frühgotik, die pompöse Hochgotik und nicht minder die Spätgotik mit ihrem eigenartigen Nebeneinander von Nüchternheit und dekorativem Aufwand. Die meisten Denkmäler haben, abgesehen von modernen Zutaten, die ursprüngliche Einheit zu bewahren gewusst; das Basler Münster dagegen zeigt eine grosse Mannigfaltigkeit von Stilen, und trotzdem wirkt es künstlerisch viel einheitlicher als manches Denkmal, das sich „altertümliche“ Ergänzungen einer gelehrten aber ideenarmen Zeit gefallen lassen musste. Schon die denkbar herrlichste Lage auf der Pfalz hoch über dem mächtigen Bogen des Rheins bringt die baulichen Werte des Münsters in einer Weise zur Geltung, wie sie keinem andern Bauwerk der Schweiz gegönnt ist. Majestätisch, wie die universale Kirche des frühen Mittelalters, herrscht das romanische Langhaus (im Oberbau), das Querschiff mit seinen grossen ruhigen Flächen und edlen Verzierungen; eine seltene Raum- und Massenschönheit entfaltet der mehrseitige Chor, dessen plastische Verzierungen auch vom Prachtbedürfnis der Kirche eine Anschauung geben. Die gotischen Teile des XIV. Jahrhunderts (Kapellen an den Seitenschiffen, oberer Teil des Chors und Fassade) bringen die allmähliche Aufteilung der schweren Mauermaße und die Belebung der Fensterflächen durch das Linienspiel des Masswerkes. Und die schlanken Türme bieten in ihrem obern Abschluss trotz der ungleichwertigen Konstruktion doch den künstlerischen Reiz der eleganten Auflösung und der elastischen Bewegung. Allein ausser diesen stets anregenden Ansichten des Aeusseren und der mit Anmut verbundenen ehrwürdigen Pracht des Innern bietet das Basler Münster auch eine Fülle von interessanten Skulpturen, figürlichen wie auch schmückenden; auf diese, die den künstlerischen Geist der Architektur im Kleinen wiederholen, soll in den folgenden Zeilen hingewiesen werden.

Da der zur Verfügung stehende Raum eine eingehende Würdigung aller in Betracht kommenden Objekte verbietet, seien einige allgemeine Gesichtspunkte hervorgehoben und dabei auf die beigelegten Illustrationen verwiesen.

Die *romanische* Dekoration haben wir einmal im Langhaus, als Gesimse an einzelnen Pfeilern und hauptsächlich an den Emporen, zu suchen, wo zwischen den Zwergpfeilern je zwei Säulchenpaare den Kämpfer und darüber die Bogen tragen (Abb. 1). Wir finden sie aber auch an den Friesen der Krypta (Abb. 2 und 3), an Friesen und Kapitellen im Chorumgang sowie an seiner Aussenseite. Das Musterwerk des romanischen Stils ist aber die Galluspforte (Tafel 23). Etwa 1180 als Hauptportal an der Westfront des Münsters errichtet, kam sie nachträglich,

<sup>1)</sup> Vergl. unter Literatur auf Seite 274 dieser Nummer. Red.



Abb. 2. Rankenfries mit Jagd, in der Krypta des Basler Münsters. — Erste Hälfte des XIII. Jahrhunderts. — Phot. Bernhard Wolf, Basel.

als man die gotische Fassade baute (gegen 1300), an die Stirnwand des nördlichen Querflügels zu stehen. Die Skulpturen der Emporen, der Krypta und des Chors stammen aus der ersten Hälfte des XIII. Jahrhunderts.

Wie der romanische Baustil mit grossen zusammenhängenden Flächen, energisch betonten Linien wie Senkrechten, Wagrechten und Halbkreisen, dazu mit wuchtigen Gliedern und im allgemeinen mit klarbetonten und geschlossenen Raumbildern wirkt, so strebt auch die Dekoration nach dem Eindruck des Geschlossenen und Würdevollen. Trotzdem die Galluspforte seitlich von übereinandergesetzten Tabernakeln begleitet ist, sprechen doch immer klare Linien und Flächen. Wie die gerade Linie, so herrscht auch der rechte Winkel. Bei den grosszügig behandelten Gesimsen sehen wir die grossen Flächen der Schmiege nicht nur durch die Deckplatte, sondern auch durch einen Schlagschatten eingefasst. Feste, stark vortretende Wulste, die gelegentlich als gedrehte Taue charakterisiert werden, dienen als sicheres Auflager für Gesimse und Kapitelle. Wo die Ecke nicht als rechter Winkel stehen bleibt, wird sie durch ein Tau oder eine Abtreppung betont. Gerade die Bogen (Bogenfeld der Galluspforte, Emporen) wollen nicht einfach Fläche an Fläche stossen lassen, sondern mit elegantem und doch festem Rundstab von der Front zur Leibung vermitteln. Die Säulen und Säulchen der Galluspforte wären zu zierlich, um die Last der Bogen aufzunehmen; darum erhalten sie das vermittelnde Gebälk. Wie unrecht tut man, die Kunst des christlichen Mittel-

alters gegenüber jener des klassischen Altertums herabzusetzen, wenn man beobachtet, wie die attische Basis (als solche ein Erbe des klassischen Altertums) mit Schwellung, Einziehung und zweiter Schwellung das elastische Emporwachsen der Säule und doch wieder ihr sicheres

Aufrufen versinnbildlichen! Ein ausgebildetes Gefühl für Ausgleich liess die Baumeister bei der genannten Basenform durch Eck-Knollen eine Verbindung zwischen unterem Wulst und quadratischer Plinthe herstellen. Das hier so häufig verwendete und in seinen Proportionen so diskrete Würfelkapitell vermittelt in der einfachsten und doch ausgiebigsten Weise vom Kreis der Säulenoberfläche zum Quadrat des aufliegenden Abacus oder Gebälks.

Gewisse Flächen sind reich verziert; aber auch hier herrscht das Gefühl für Ebene und Geschlossenheit. Nie quillt die Ornamentik vor, sondern trotz ihres Linienreichtums und ihrem vielfachen Wechsel und Licht und Schatten bleibt sie Dienerin der Fläche. In diesem Sinne sehen wir Gitterwerk, Bandgeflecht, Wellenranken und Palmettenmuster verwendet. Das Rankenwerk, gleichviel, ob mit Schossen oder mit Figuren, sucht regelmässig die geschlossene

Form des Kreises. Mag sich auch der Typus des Würfelkapitells mit prächtigem Band- und Blattwerk zeigen, so verleugnet er nie sein einheitliches Wesen. Mögen sich Tiere der Kelchform des Kapitells anschmiegen, so ergeben sie in ihrer geometrischen und unwirklichen Verwendung eine geschlossene, tektonische Form. Wenn sich an einzelnen Friesen der Krypta eine Jagd durch die Ranken zieht, so

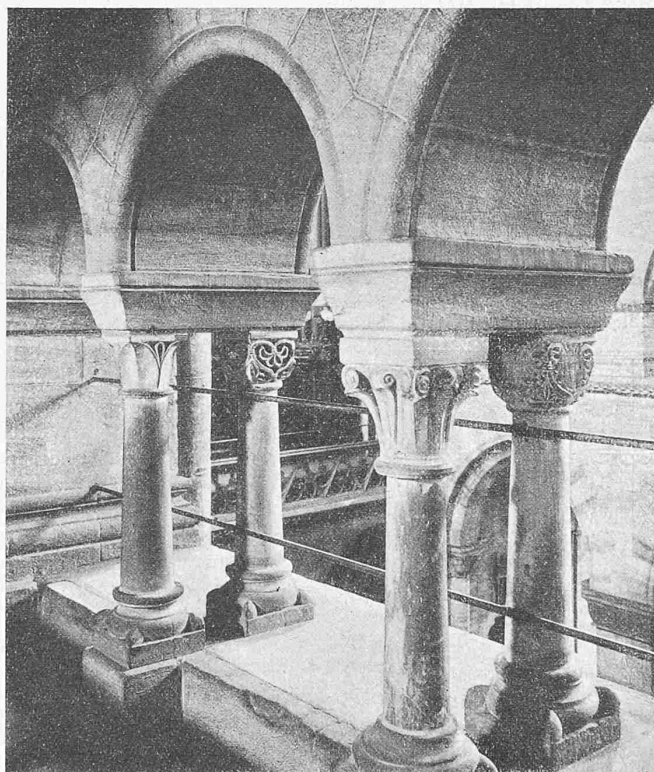
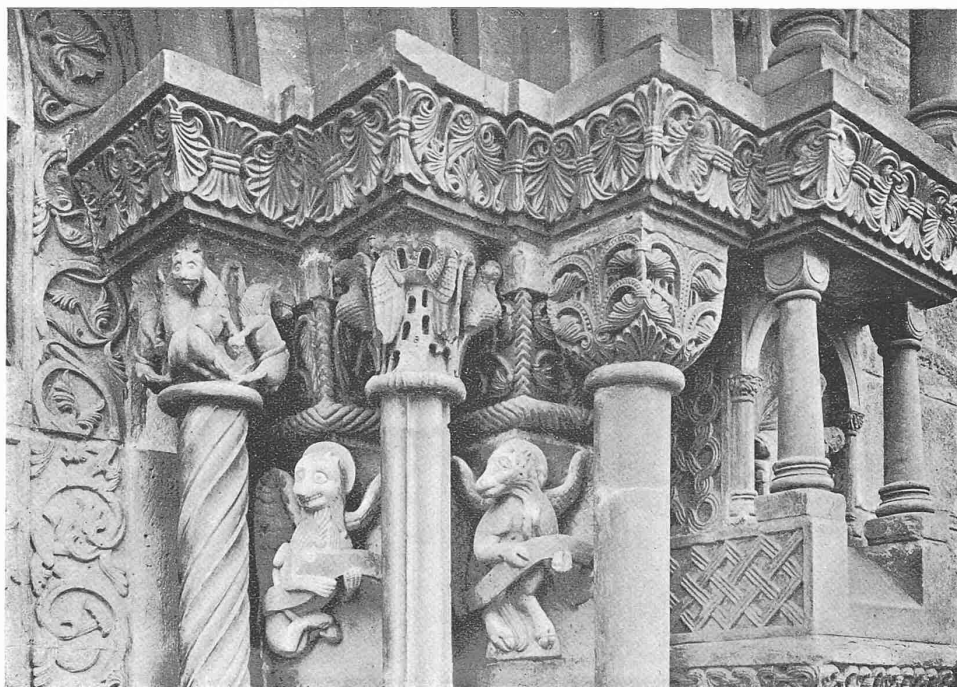


Abb. 1. Säulenstellung auf der südlichen Empore des Basler Münsters. Ende des XII. und erste Hälfte des XIII. Jahrhunderts.



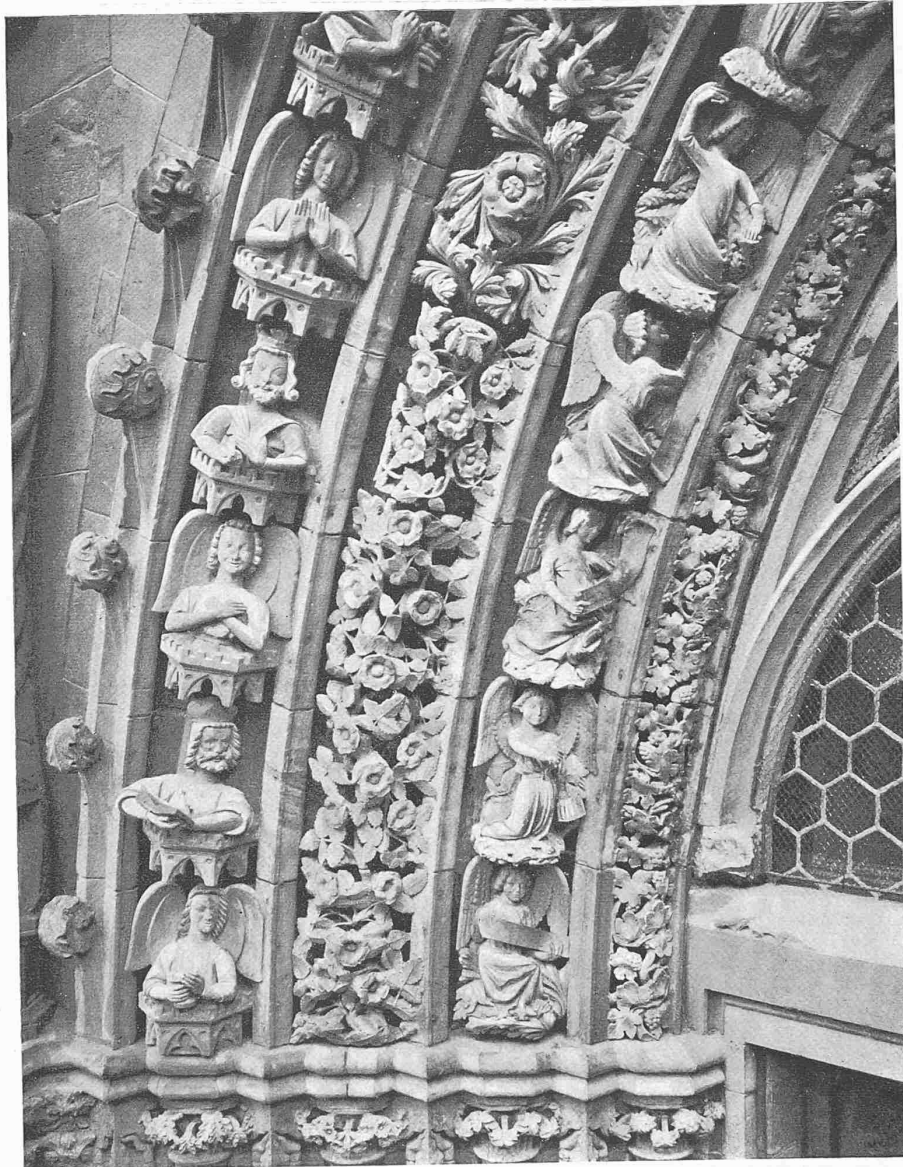
Abb. 3. Rankenfries mit Jagd, in der Krypta des Basler Münsters. — Erstes Drittel des XIII. Jahrhunderts. — Phot. Bernhard Wolf, Basel.





BASLER MÜNSTER-PHOTOGRAPHIEN VON BERNH. WOLF, BASEL  
DETAIL DER GALLUSPORTE, RECHTE WANDUNG — UM 1180





AUS DEM BASLER MÜNSTER-PHOTOGRAPHIENWERK

PHOTOGR. BERNHARD WOLF IN BASEL

DETAIL VOM HAUPTPORTALBOGEN

UM 1300

bildet sie eine latente Gerade, entweder fortlaufend oder mit ausgesprochener Symmetrie einzelner Teile. Die Blätter werden von tiefen Kerben durchzogen; so passt sich die Teilung von Licht und Schatten der klaren Linienführung an. Der gleichen künstlerischen Absicht dient auch die Bezeichnung der Blattrippen durch eine Folge von Diamanten.

Deromanische Ornamentik will also einen Bau ästhetisch angenehm gestalten, seinen Grundcharakter aber nicht aufheben oder trüben, sondern ihn vielmehr bestätigen.

Die Meisterwerke gotischer Steinplastik finden wir, abgesehen vom Masswerk der Fenster am Hauptportal, in den Masken am Helm des Georgturms (Anfang des XV. Jahrhunderts, Abb. 5) und schliesslich in den Gewölbeformen, die der grosse Kreuzgang aufzuweisen hat (Abb. 6). Das Hauptportal enthielt früher in seinem

Bogenfeld mehrere Reihen Figuren (Fusspuren auf dem Türsturz) und eine Marienstatue auf der Mittelsäule. Diese Werke sind den Bilderstürmern der Reformation zum Opfer gefallen; an die Bildwerke der Bogenläufe haben sie glücklicherweise nicht Hand angelegt! Lange haben sich diese Bildwerke frei, später unter dem Schutz eines Gitters, frisch wie am ersten Tage erhalten. Die Wegnahme dieses Schutzes gestattete eine erstmalige photographische Aufnahme dieser technisch und stilistisch so höchst

interessanten Arbeiten (Tafel 24 und Abb. 4). Die gotische Architektur reduziert die ganze Steinmasse auf ein statisch unbedingt nötiges Gerüst, das zum Tragen der Gewölbe dient; die einst so schweren Mauern lösen sich in Bogen, Fenster, Gesimse und Stützen auf, und diese Stützen, einst wuchtig und schwer, bilden sich allmählich aus lauter ganz schlanken, dünnen Säulchen. Sockel, Bogenzwickel und Gewölbekappen bleiben schliesslich allein noch als ruhige Flächen übrig, aber auch den Sockel gliedert man gern durch eine Blendarkade, und die Zwickel bekleidet man öfters mit blindem Masswerk. Für Wandgemälde ist, ausser an den Gewölbekappen, in den grossen gotischen Kirchenbauten diesseits der Alpen kein Platz mehr. Den farbigen Schmuck bestreiten hauptsächlich die Glasgemälde; aber diese schliessen sich nicht ab, sondern ver-

mitteln durch ihre Transparenz mit der Aussenwelt. Eine Architektur, die einem unendlichen Raumbild dient, kann sich natürlich keiner Dekoration bedienen, wie die romanische ist. Auch sie musste die Wandlung zur Zierlichkeit und Auflockerung durchmachen. Der Spitzbogen, der aus konstruktiven Gründen aufkam, hat nicht die Gleichmässigkeit und Ruhe in sich wie der Rundbogen, sondern er bedeutet Spannung. Die Portalwandung setzt sich nicht mehr aus einzelnen Teilen zusammen, sondern löst sich in viele

Aus: Basler Münster-Photographien von Bernhard Wolf, Basel.

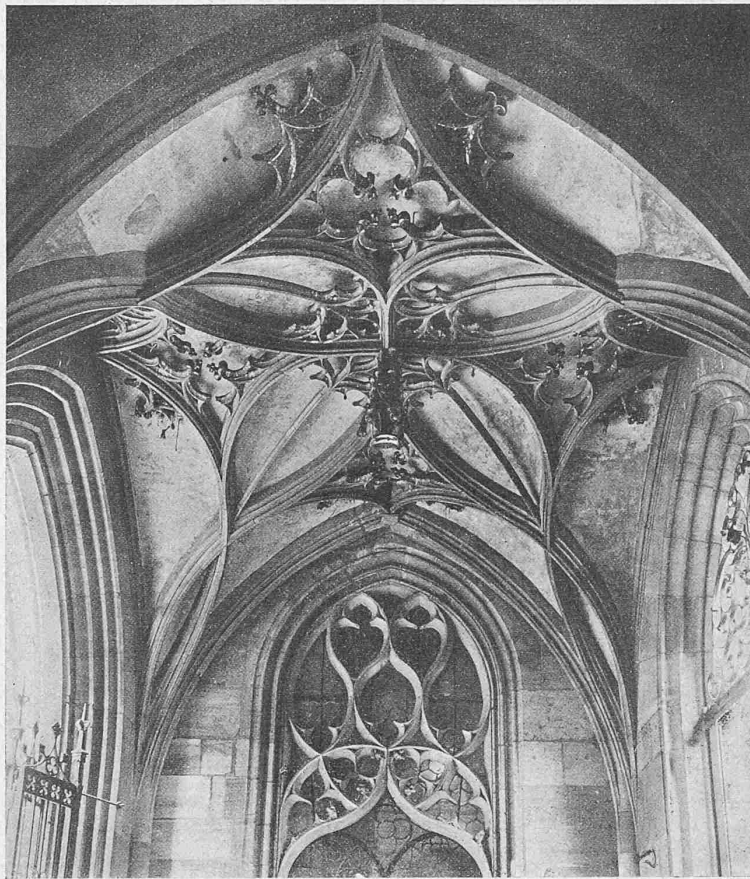


Abb. 6. Nördlichstes Joch im Westflügel des Kreuzganges. Gegen 1460.

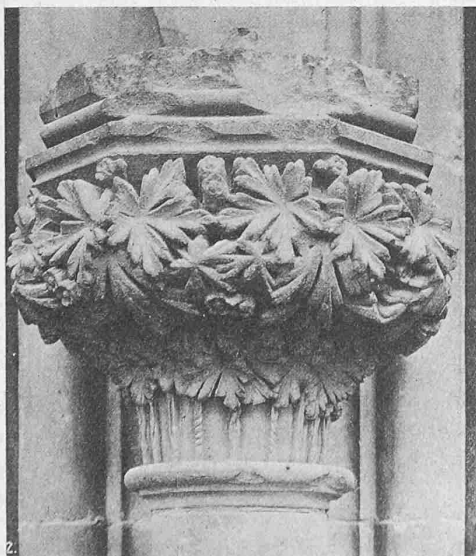


Abb. 4. Kapitell der Mittelsäule (Marien-Säule) am Hauptportal. — Um 1300.

Vertikalglieder auf; ihr Verlauf ist unruhig und wechselvoll; denn bald höhlt sie sich zu tiefen Kehlen ein, bald springt sie mit scharfen unterschnittenen Profilen vor. Die Deckplatten knicken sich zu vielseitigen Gebilden aus, und an Stelle der ruhigen senkrechten Fläche sehen wir Einkeh-lungen. Der rechte Winkel macht dem spitzen und stumpfen Platz. Was früher zusammenhing, wird in kleine Teile zerlegt, aber jedes dient seinem Zweck, und trotz der Vielheit herrscht nirgends sachliche Unklarheit. Auch die Kapitelle sind grundsätzlich anders empfunden als die romanischen. Ein Würfelkapitell wäre innerhalb dieser Konstruktion



Abb. 5. Maske am Helmansatz des Georgturms. Anfang des XV. Jahrhunderts.



widersinnig. Nur das schlanke Kelchkapitell kann hier Verwendung finden, aber auch nur so, dass sich das Blattwerk von ihm befreit, seine eigenen vorderen Relief-Ebenen sucht, ja die tektonische Grundform tunlichst leugnet. Die erste entschiedene Verselbständigung geschah durch das Knospenkapitell; seine Motive finden wir als äusserste Einfassung des Portalbogens. Die Knospen aber waren unter der Wärme einer liebevollen Naturbetrachtung aufgegangen und hatte sich zu allerlei Blättern und Blüten entfaltet, die nun nicht mehr als Teile der tektonischen Kelchform, sondern für sich betrachtet sein wollen. Unter den Säulen des Hauptportals wahrte nur die Mittelsäule die geschlossene Form des Kapitells (Abbildung 4). An diesem gotischen Blattwerk gibt es keine Licht- und Schattenbahnen mehr, sondern die natürliche Struktur schafft sich weichere Uebergänge, aber auch einen grösseren Reichtum an Nuancen. Und nun die Bogenleibung! Sie überträgt die Einrahmung des Bogenfeldes nicht mehr einheitlichen, festgeprägten Formen und klaren Konturen, wie es die Galluspforte tat; Wulste und Kehlen sind wohl viel breiter als dort, aber dafür werden sie durch scharf ausgeprägte Birnstabprofile von einander getrennt und dienen im Grunde nur zur Aufnahme reichster figürlicher und pflanzlicher Dekoration. Während an der Galluspforte das Bogenfeld als Mittelpunkt figürlicher Plastik nur tektonische Umrahmung gestattete, breitet die Gotik ihren Gedankenreichtum auch an den Bogenläufen aus. Was der Gotik an Fläche verloren ging, ersetzt sie durch Höhe und Tiefe. Aus den tiefen Schattenhöhlen der Kehlen heraus leuchten die heitern beseligten Figuren der Engel, Könige und Propheten; in der mittleren Kehle rankt sich Rosengezweig und entfaltet sich stilisierter Hahnenfuss (?); statt des inneren Rundstabes meisselt der sorgfältige Bildhauer Reben. Die Rosen speziell sind wie mit feinen Schatten und minutiöser Beobachtung jedes Zweigleins und Blättchens auf dunkeln Grund gemalt, nur als Tiefengebilde erfassbar. Man fragt nicht mehr darnach, ob sie eine vordere Reliefebene einhalten, man bewundert nur die plastische Durchführung und den Reichtum an Lichtern und Schatten. So liegt es auch durchaus im Sinne dieses Stils, wenn bei den Figuren Flügel, Arme und Gewandteile die einrahmenden Birnstäbe überschneiden. Die realistische Dekoration will nicht mehr im Stein befangen bleiben, sondern ihr Eigenleben entfalten, und dem entsprechen ja die Mienen, Gebärden und Gewänder. In den Masken am Turmhelm greift der Humor in der Mischung von Mensch, Tier und Pflanze und in der Karrierung des menschlichen Mienenspiels Platz; diese Ungetüme werden also nicht mehr so ernst genommen wie früher.

Das nördlichste Joch im Westflügel des grossen Kreuzgangs (Abb. 6) gehört zu den Meisterleistungen der Spätgotik. Zwar ist es deutlich gegen die übrigen verselbständigt, aber durch sein metallisch feines Masswerk mit z. T. freien, z. T. sogar herabhängenden Teilen und mit seinen Durchschneidungen will es ein vom Gewölbefeld unabhängiges, möglichst reiches Eigenleben entfalten.

Die Gegenwart schenkt ihre Sympathie mehr dem romanischen Stil mit seiner strengen Wahrung der Fläche und Abneigung aller Illusion; das Basler Münster vermag wohl in ausreichendem Masse diesem Geschmack Genüge zu leisten. Vieles bietet es aber auch allen denen, die in der Kunst lieber das Abbild der Wirklichkeit sehen und als ihren höchsten Triumph technische Feinheit würdigen.

## Zugspannungen des Betons im Eisenbetonbau.

Von Ing. O. Leuprecht, im Ing.-Bureau Klingler & Leuprecht, Basel.

Unter obigem Titel hatten wir in Bd. LXX, S. 151 (vom 29. September 1917) dieser Zeitschrift ein Berechnungsverfahren veröffentlicht, das die Lösung aller mit den Beton-Zugspannungen zusammenhängenden Aufgaben mit Hilfe einer dort abgebildeten Kurventafel in einfacher Weise ermöglicht; die Handhabung der Tafel wurde durch neun Zahlenbeispiele erläutert. Ob nun die Beton-Zug-

Spannungen  $\sigma_z$  oder die erforderliche Rippenbreite dafür gefunden werden soll, oder ob für ein vorgeschriebenes  $\sigma_z$  das entsprechende  $f_e$  zu bestimmen ist, der Vorgang ist immer gleich einfach und wird auch nicht verwickelter, wenn Zug- und Druckzone verschiedene Elastizitätszahlen aufweisen. Die auf Seite 271 nochmals wiedergegebene Tafel<sup>1)</sup> gilt für alle Werte  $E_e : E_b = n$  und umfasst die rechteckigen, quadratischen und plattenbalkenförmigen Eisenbeton-Querschnitte mit einfacher Bewehrung in der Zugzone.

Bisher ist nur der wichtigste Fall, nämlich die *reine Biegung*, behandelt worden. Der rege Bezug der Tafel in Originalgrösse berechtigt zu der Annahme, dass das Verfahren Eingang gefunden hat, und dass seine Vervollständigung nicht zwecklos ist. Im folgenden erweitern wir daher das Verfahren auf *doppelt armierte Querschnitte*, sowie auf *exzentrische Druck- oder Zugbelastung*, beschränken uns jedoch auf die Ermittlung der Beton-Zugspannung  $\sigma_z$ .

### I. Reine Biegung, doppelte Armierung.

#### 1. Rechteckiger und quadratischer Querschnitt.

##### Fall a) $E_d = E_z$ .

Wir ergänzen die Hauptgleichung III (Bd. LXX, S. 152 rechts) und gelangen zur Betonzugspannung

$$\sigma_z = \frac{m}{r + \mu} (1 - \mu'); \quad (25)$$

Hierin bedeutet:

$$m = i \frac{M}{0,58 \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{Gl. II}), \quad i = 0,92 \frac{h}{h_0},$$

$$\mu = \frac{n \cdot f_e}{b \cdot h}, \quad \mu' = \frac{n' \cdot f_e'}{b \cdot h};$$

$r$  ist ein Tafelwert,  $b$  = Breite,  $h$  = ganze Höhe des Querschnittes,  $h_0 = h - a$ . Für die verschiedenen  $i$ -Werte enthält die Tafel besondere Kurven. Interessieren auch die übrigen Spannungen, so rechnen wir nach Gl. (5) und (6):

$$\sigma_d = \sigma_z \cdot \frac{x}{h - x} = \sigma_z \cdot \frac{\varphi'}{1 - \varphi'} = \sigma_z \cdot \frac{x}{v}$$

$$\sigma_e = n \cdot \sigma_z \cdot \xi,$$

wo  $\xi = \frac{v - a}{v}$  und  $v = h - x$  bedeuten. Die Höhe der Druckzone setzen wir für den *doppelt* bewehrten Querschnitt  $x = \varphi' \cdot h$  und schreiben mit hinreichender Genauigkeit

$$\varphi' = \varphi (1 - \mu'). \quad (26)$$

$\varphi$  gilt für den *einfach* bewehrten Querschnitt und wird der Tafel entnommen.

Den *genauen* Wert erhalten wir aus

$$\varphi' = \frac{0,5 + \gamma \cdot \mu + \alpha' \cdot \mu'}{1 + \mu + \mu'} \quad (27)$$

mit den Grössen  $\gamma = h_0 : h$ ,  $\alpha' = a' : h$ .

Alle mit Strich (') behafteten Bezeichnungen beziehen sich auf die Druckeisen  $f_e'$ .

**Beispiel.**  $M = 8,5 \text{ mt}$ ,  $b = 30$ ,  $h = 60$ ,  $h_0 = 56 \text{ cm}$ ,  $f_e = 15$ ,  $f_e' = 10 \text{ cm}^2$ ,  $a = a' = 4 \text{ cm}$ ,  $n = 20$ ,  $n' = 10$ .  
 $\mu = \frac{20 \cdot 15}{1800} = 0,167$ ,  $\mu' = \frac{10 \cdot 10}{1800} = 0,0555$ ,  $i = 0,92 (60 : 56) = 0,985$ ; nach Gl. (II):  $m = 0,985 \frac{850000}{0,58 \cdot 30 \cdot 3600} = 13,35$ .

Für  $\gamma = 56 : 60 = 0,94$  liefert die Tafel zu diesem  $\mu$  und  $\gamma$  ein  $r = 0,253$  und  $\varphi = 0,563$ , sodass nach Gl. (25)

$$\sigma_z = \frac{13,35}{0,253 + 0,167} (1 - 0,0555) = 31,8 \cdot 0,944 = 30 \text{ kg},$$

$$\varphi' = 0,563 \cdot 0,944 = 0,533, \quad x = 32, \quad v = 28, \quad \xi = 0,855,$$

$$\sigma_d = 30 \frac{0,533}{0,467} = 34,2, \quad \sigma_e = 20 \cdot 30 \cdot 0,855 = 514 \text{ kg/cm}^2.$$

Das genaue  $\varphi'$  nach Gl. (27) wäre 0,538, womit  $\sigma_d = 34$ ,  $\sigma_e = 500$ ,  $\sigma_z = 29,7 \text{ kg/cm}^2$ . Die Nachrechnung lohnt sich also nicht.

##### Fall b) $E_d : E_z = \varepsilon$ .

Wenn  $E_d$  und  $E_z$  verschiedene Werte haben, wie beispielsweise nach den österreichischen Vorschriften, wo-

<sup>1)</sup> Im Format  $50 \times 80 \text{ cm}$  vom Verfasser zu beziehen.