

Die hydraulischen Modellversuche für das Limmatkraftwerk Wettingen der Stadt Zürich

Autor(en): **Meyer-Peter, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **89/90 (1927)**

Heft 22

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-41702>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Die hydraulischen Modellversuche für das Limmatkraftwerk Wettingen der Stadt Zürich. — Romanische Architektur in Italien. — Viertaktmotor von Adreau mit ungleichen Hüben. — Mitteilungen: Von der schweizerischen Flugexpedition nach Afrika. Von der „ewigen“ Uhr. Signal- und Sicherungswesen der amerikanischen Eisenbahnen. Explosionsmotoren-Kongress in Padua. Bauwerke aus

fertigen Eisenbeton-Bauteilen. Internationale Ausstellung für dekorative Kunst in Monza. Vorsätze zur Bezeichnung der Vielfachen und Teile von Einheiten. Die Eisenerzförderung in den Vereinigten Staaten im Jahre 1926. — Wettbewerbe: Schulhaus und Turnhalle für die Bezirksschule an der Burghalde in Baden. — Literatur: Der Bau des Dieselmotors. Meyers Lexikon. Aero-Revue. — S. T. S.

Band 89.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 22

Die hydraulischen Modellversuche für das Limmatkraftwerk Wettingen der Stadt Zürich.

Von Prof. E. MEYER-PETER, Zürich.

(Schluss von Seite 279.)

IV. EINIGE SPEZIALUNTERSUCHUNGEN.

Für die Bewertung der Sicherheit, mit der auf ein bestimmtes Kolkbild in der Ausführung gerechnet werden kann, ist die Frage der Stabilität der Deckwalze von Bedeutung. Es wurde deshalb bei den verschiedenen Modellen, bei denen bei normalem Unterwasserstand eine Deckwalze auftrat, geprüft, um wieviel sich der Unterwasserstand absenken lasse, bis das Abschwemmen der Walze eintrat. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Durchführung solcher Versuche. In Abb. 6 ist für Modell W 4 eine graphische Darstellung der Unterwasserstände in Funktion der Wassermengen gegeben, bei denen die Deckwalze mit Sicherheit besteht, bzw. weggespült ist; wie ersichtlich herrscht zwischen beiden Zuständen ein ausgesprochenes Labilitätsgebiet. Abbildung 7 bezieht sich auf Modell W 10, bei dem eine Rehbock'sche Zahnschwelle vorgesehen war. Es zeigt sich, dass bei Vorhandensein dieser Einrichtung eine wesentlich höhere Stabilität der Walze besteht, während sonst — wie aus andern, hier nicht wiedergegebenen Versuchen hervorgeht — ihre Wirkung in Bezug auf den Kolk bei normalen Unterwasser-Verhältnissen nicht bemerkbar war.

Für das Modell W 1 wurde die Wirkungsweise der Saugüberfälle besonders Untersuchungen unterworfen, von denen ein Teil in Abb. 8 dargestellt ist. Die im Entwurf zur Abhaltung von Geschwemmsel und Eis vorgesehene Tauchwand hatte sich als ungünstig erwiesen, weil in dem zwischen ihr und dem Wehrkörper eingeschlossenen Raum wasserschlossartige Schwingungen eintraten, als Folge des im Verhältnis zur Einlaufgeschwindigkeit zu geringen Abstandes zwischen Tauchwand und Wehrkörper. Bei grösserer Entfernung der Tauchwand bzw. deren Wegnahme konnten diese Schwingungen vermindert bzw. beseitigt werden. Da die Einlaufkante direkt auf dem gestauten Wasserspiegel lag, der Einlauf selbst aber zu knapp bemessen war, ergab sich für die Ableitung der rechnerisch ermittelten Wassermenge von 400 m³/sek ein Ueberstau von 93 cm,

welcher Wert ziemlich genau der Geschwindigkeitshöhe im Einlaufquerschnitt entspricht. Es ist klar, dass die Kurve des Ueberstaues in Funktion der Wassermenge von der erreichten Schluckfähigkeit des Hebers an sehr rasch ansteigen muss, wie Abb. 8 zeigt.

Beim Modell W 3 war ein mehr oder weniger kräftig ausgebildeter Kolk bei den Pfeilervorköpfen im Oberwasser aufgefallen (siehe Abb. 9). Dieser wurde von Anfang an der Form der Pfeilerfundation zugeschrieben, die über die Schwellenfundation herausspringt, eine Frage, die durch die nachfolgend beschriebenen Versuche abgeklärt werden sollte. An drei etwas abgeänderten Modellformen, bei denen die Wehrfundation geradlinig und senkrecht zur Flussaxe verlief, bei denen man aber die Form der Pfeilervorköpfe veränderte, wurde die Wasseroberfläche bei einem Durchfluss von 300 m³/sek, aber völlig geöffneten Schützen aufgenommen. In Abb. 10 ist rechts diese Oberfläche durch Niveaukurven dargestellt. Es ergab sich vor den Pfeilern eine deutlich ausgesprochene Spiegelerhöhung. Diese stellt eine Zone höherer potentieller Energie dar, die eine Störung auf die Bewegungsbahnen der Wasserteilchen ausüben muss. Man kann sich die Wirkung dieses höhern Potentials als radial von der Vorderflucht des Pfeilers ausgehend vorstellen, wo der grösste Anstau entsteht. Es wird sich also vom Punkte höchsten Potentials aus eine radial gerichtete Gegenströmung einstellen, die auf die dem Pfeiler zuströmenden Wasserteilchen eine Ablenkung bewirken wird. Diese ablenkende Wirkung wird um so grösser sein, je geringer die Eigengeschwindigkeit der Teilchen ist; es werden demnach die Teilchen in Nähe der Fluss-Sohle am stärksten betroffen, während die Oberflächenteilchen erst bei der Berührung mit dem Pfeiler abgelenkt werden, indem sich zeigt, dass die Höhe des Anstaues ziemlich genau der Geschwindigkeitshöhe der Oberflächenteilchen entspricht. Die dadurch bewirkte dreidimensionale Strömung ist in Abb. 10 (links) wiedergegeben, in der durch den Versuch gleichzeitig auf der rechten Kanalhälfte die Grund-

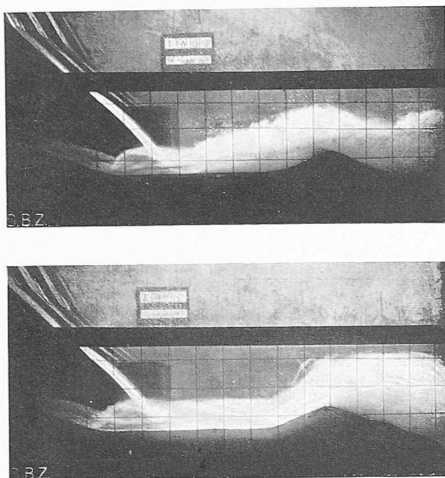


Abb. 7. Wehr W 10. Abflusstrahl bei abgesenktem W. Sp. $Q = 750 \text{ m}^3/\text{sek}$, $Q_0 = 102 \text{ m}^3/\text{sek}$, $Q_g = 643 \text{ m}^3/\text{sek}$.
Oben: Mit Zahnschwelle, O. W. Sp. 383,50, U. W. Sp. 363,4.
Unten: Ohne Z'schwelle, O. W. Sp. 383,50, U. W. Sp. 365,9.

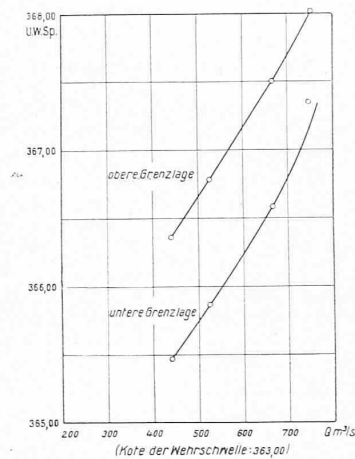


Abb. 6. Versuch mit der Wehrform W 4. Grenzlagen des Unterwasserspiegels für die Ueberlagerung des Wasserstrahls durch eine Deckwalze bei Abfluss ausschliesslich durch die Grundablässe.

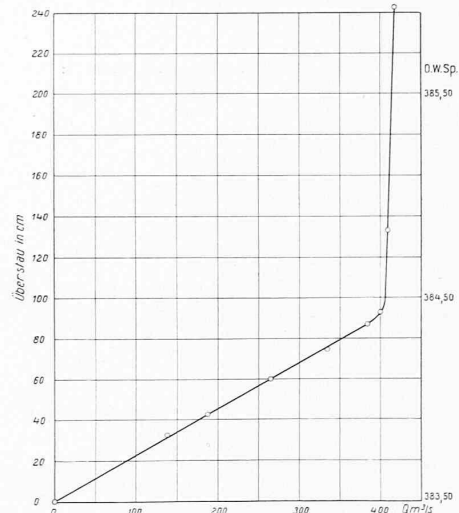
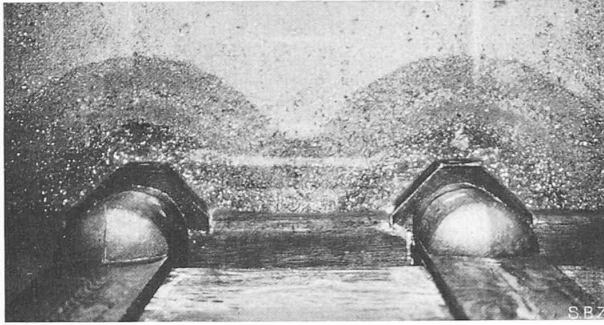
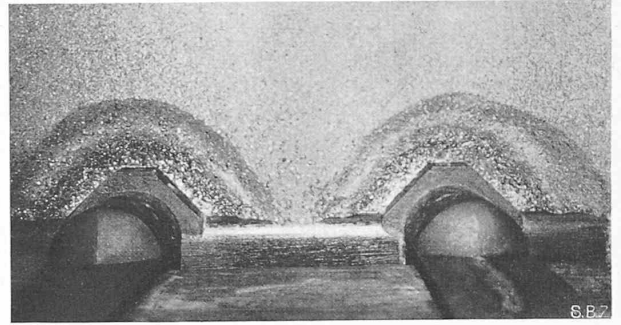


Abb. 8. Versuch mit der Wehrform II W 1. Ueberstau bei Ableitung des Wassers durch die Saugüberfälle (Tauchwand entfernt).



$Q = 750 \text{ m}^3/\text{sek}$, $Q_0 = 189 \text{ m}^3/\text{sek}$, $Q_e = 561 \text{ m}^3/\text{sek}$.



$Q = 500 \text{ m}^3/\text{sek}$, $Q_0 = 189 \text{ m}^3/\text{sek}$, $Q_e = 311 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Abb. 9. Kolkbildung vor den Pfeilerköpfen im Oberwasser des Stauwehres I W3.

strömung durch Färbung mit Kaliumpermanganat und auf der linken Seite die Oberflächenströmung durch Aufstreuen von Aluminiumpulver ersichtlich sind. Bemerkenswert ist die starke Ablenkung der Grundströmung. Dass in der Nähe der Pfeiler tatsächlich am Grunde eine radial nach auswärts gerichtete Strömung herrscht, konnte durch die Bewegung der Sandkörner durch die Spiegelglasscheibe festgestellt werden. Ihr Resultat besteht in den ebenfalls in Abb. 10 (mittlere Bilder) dargestellten Auskolkungen.

Es ergibt sich die praktische Folgerung, dass die Form der Pfeiler an sich (ob halbrund oder spitz) ziemlich belanglos ist, dass dagegen der Kolk dann verhütet wird, wenn die gesicherte Wehrschwelle über die Pfeilervorköpfe hinausragt und die Zone der stärksten Wasserspiegel-Erhöhung vor den Pfeilern noch schützt (siehe unteres Bild in Abbildung 10).

V. UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN KOLK IM UNTERWASSER UND ÜBER DIE GÜNSTIGSTE AUSBILDUNG DER WEHRSCHELLE.

Auf Grund der unter III beschriebenen Versuche hatte das Preisgericht beschlossen, der Stadt Zürich eine Ausführung des Wehres auf Grund des Entwurfs W 3 zu empfehlen, immerhin unter gleichzeitigem Auftrag an den Verfasser, noch weitere Versuche auszuführen mit dem Zwecke, die Kolkwirkung wenn möglich noch herabzumindern. Es soll hier auf eine ganze Reihe von Versuchen nicht eingetreten werden, denen die verschiedensten Formen von Wehrschwellen — immer unter Anlehnung an Modell W 3 — unterworfen wurden, da sie zum Teil ohne wesentliche Besserung in den Kolkverhältnissen verliefen und auch nicht von allgemeinem Interesse sein dürften.

Von prinzipieller Bedeutung für die nachfolgenden Versuche wurde dagegen der Versuch XIII, dessen Ergebnisse in Abbildung 11 wiedergegeben sind. Trotz bedeutender Verlängerung des Tosbeckens war nämlich der

Kolk gegenüber der ursprünglichen Form des Modells W 3 nicht günstiger, während anderseits sich ein auffallender Unterschied in den Kolk-tiefen hinter den Pfeilern und in den Axen der Wehröffnungen zeigte.

Es gelang nun, einen Zusammenhang zu finden zwischen der Kolkwirkung in der Sohle einerseits und dem Oberflächenbild des Wasserspiegels anderseits. Abbildung 12 auf Seite 294 zeigt eine schräge Draufsicht auf das Unterwasser¹⁾ während des Abflusses von $750 \text{ m}^3/\text{sek}$ durch die Grundablässe und Ueberfälle. In der Verlängerung der Wehröffnungen zeigen sich aufquellende Wirbel, von denen aus das Wasser radial nach allen Seiten abfließt. Dazwischen, in der Verlängerung der Pfeiler, liegen ruhige Oberflächenzonen, Schaumbänder, in denen keine in die Höhe aufsteigende Bewegung wahrnehmbar ist. Man hat es hier wieder mit einer dreidimensionalen Strömung zu tun, und es ist ohne weiteres anzunehmen, dass quer zur Flussaxe ebenfalls Grundströmungen vorhanden sein müssen, die den leicht feststellbaren Oberflächenquerströmungen entsprechen, die aber aus Gründen der Kontinuität umgekehrt verlaufen, also in Richtung von den ruhigen Oberflächenzonen nach den Wirbelzonen. Diese Strömungen, in analoger Weise wie dies in Abb. 10 geschehen ist, durch Färbungen im Bilde festzuhalten, erwies sich wegen der zu starken Turbulenz als unmöglich; wohl aber konnte festgestellt werden, dass die Auskolkung nicht unter den Wirbelzonen, sondern unter den ruhigen Oberflächenzonen begann, und zwar nicht nur durch Längs-, sondern auch durch Querbewegungen des Sandes. Demgemäss zeigte auch das Endergebnis

¹⁾ Die folgenden Bilder des Abflussvorganges (Seiten 294 und 295), sowie auch die in Abbildung 10, sind Vergrößerungen von kinematographischen Aufnahmen, die sich zur Festhaltung von stark schwankenden Abflussbildern als günstiger erwiesen haben als die Momentaufnahme mittels gewöhnlichem Photographenapparat.

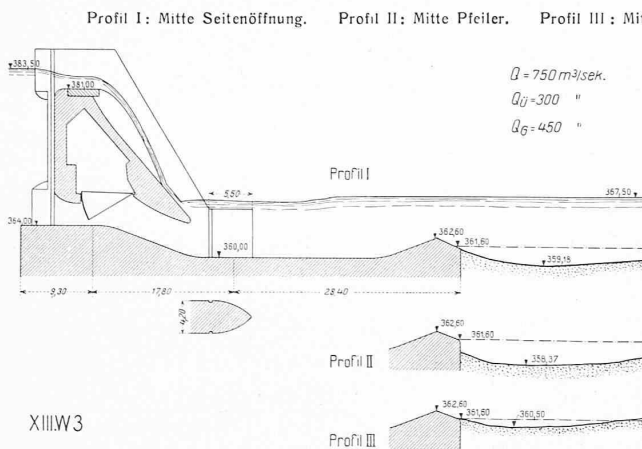


Abb. 11. Versuch mit Wehrmodell XIII W 3. Gegenüber der ursprünglichen Wehrform (Abb. 4 auf Seite 276) tiefere Ueberfallkante, und Schwellenform wie bei Modell W 10.

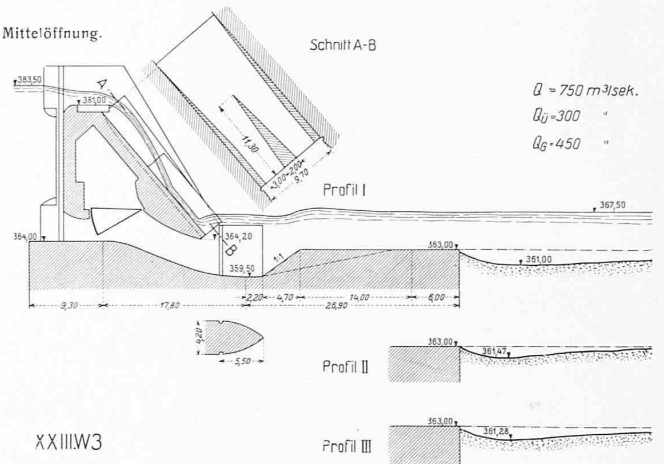
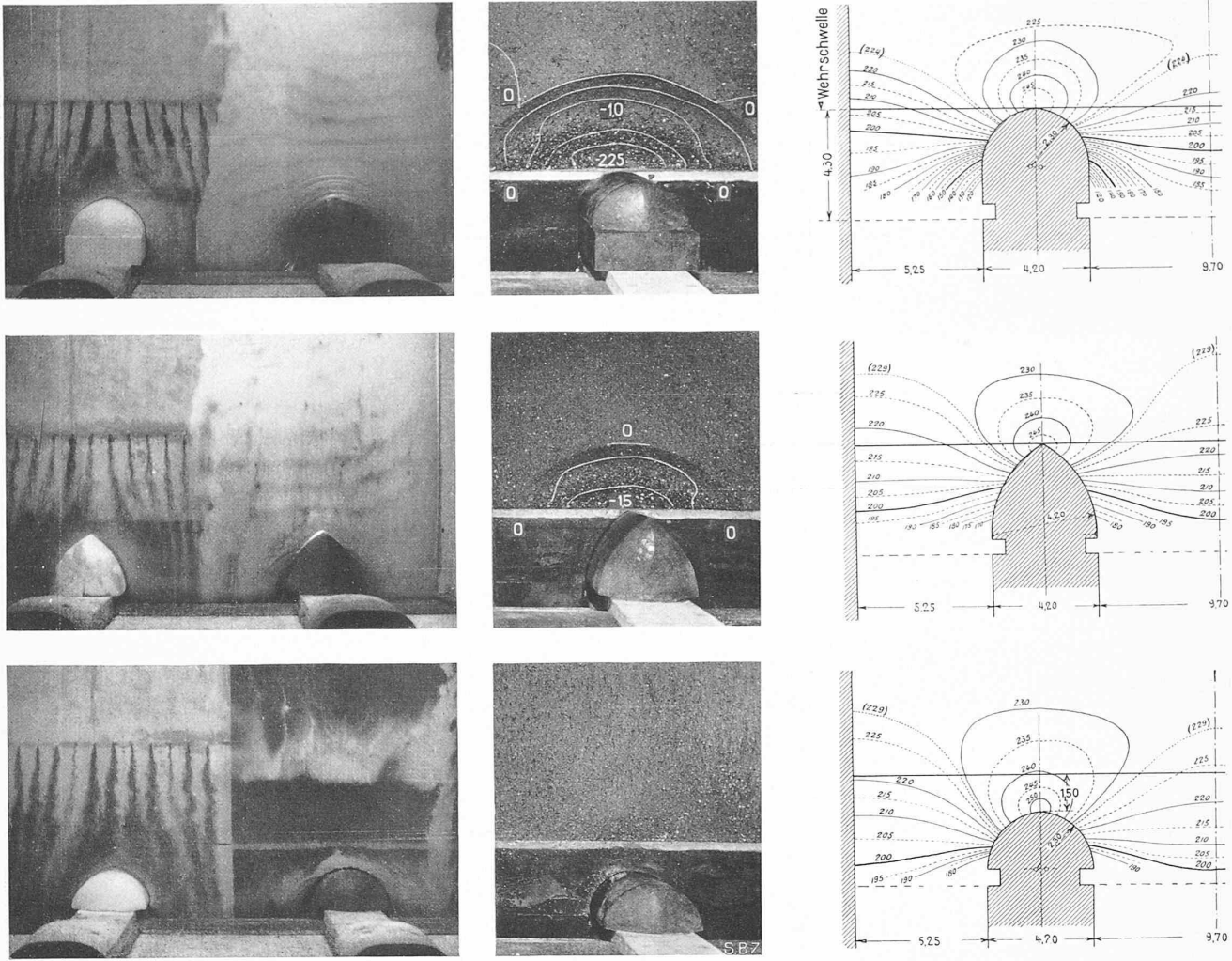


Abb. 18. Versuch mit Wehrmodell XXIII W 3. Gegenüber der ursprünglichen Wehrform (Abb. 3 auf Seite 276) Keileinbau im Ueberfallstrahl, abgeändertes Tosbecken und beidseitig verlängerte Schwelle.



Grundströmung. Oberflächenströmung. Auskolkung. Niveaulinien der Wasseroberfläche.
 Abb. 10. Grund- und Oberflächenströmung, Kolk- und Oberflächenbild im Oberwasser des Stauwehrs W 3 bei zwei verschiedenen Formen der Pfeilervorköpfe (die eine in zwei verschiedenen Anordnungen). — $Q = 300 \text{ m}^3/\text{sek}$; Schützen geöffnet.

stärkere Auskolkung unterhalb der ruhigen Oberflächenzonen, im vorliegenden Falle also in der Verlängerung der Wehrpfeiler (siehe Abb. 13).
 Um zu prüfen, ob diese Ueberlegung richtig sei, musste darnach getrachtet werden, das Oberflächenbild umzukehren, so zwar, dass die Wirbelzonen in der Ver-

längerung der Pfeiler, die ruhigen Zonen in den Wehröffnungen auftraten. Dies gelang beim vorliegenden Modell (und ist selbstverständlich als Spezialfall zu bewerten) durch Einbau seitlicher, keilförmiger Wasserführungen auf der Abschwand des Wehrkörpers (vergl. die Ansichten vom Unterwasser aus in Abb. 13 und 15). In der Tat zeigt das

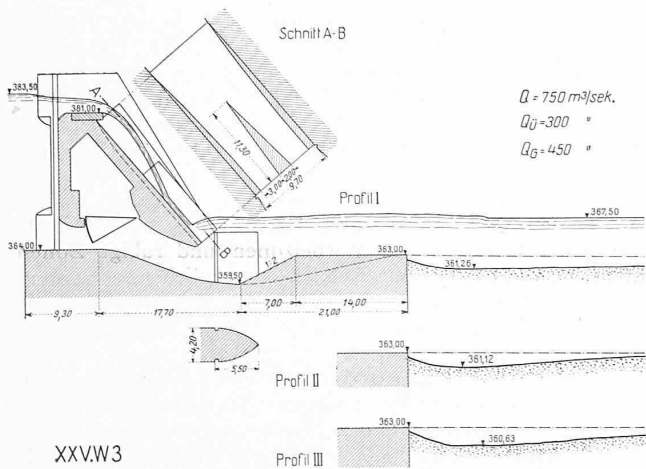


Abb. 19. Versuch mit Wehrmodell XXV W 3. Gegenüber Versuch XXIII (Abb. 18) abgeändertes Tosbecken und unterwasserseits wieder ursprüngliche, kürzere Schwelle.

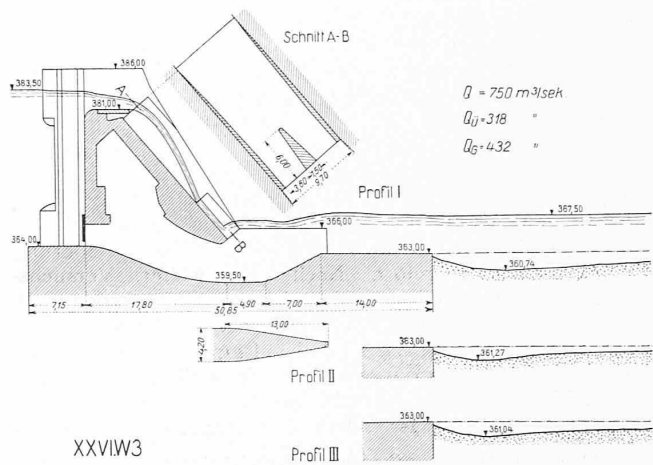


Abb. 20. Versuch mit Wehrmodell XXVI W 3. Gegenüber Versuch XXV (Abb. 19) kürzerer Keileinbau im Ueberfallstrahl, längere Pfeiler, und Rollschützen statt Segmentschützen.

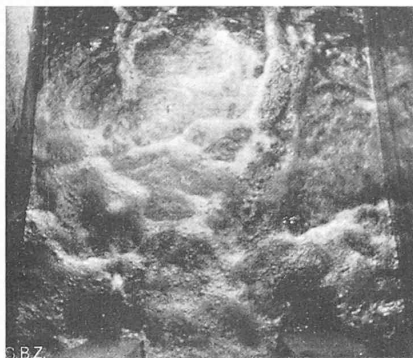


Abb. 12.



Abb. 14.

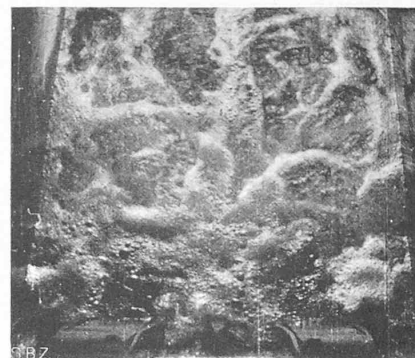


Abb. 16.

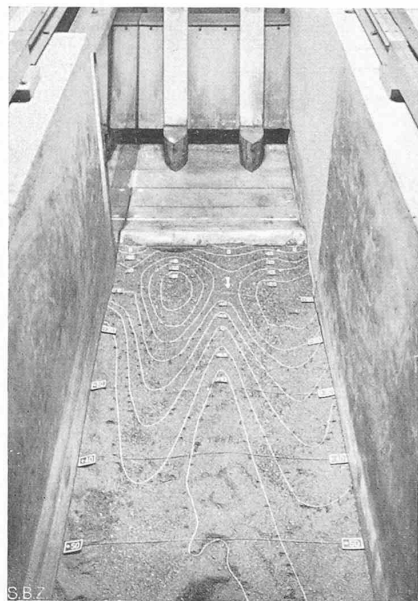


Abb. 13.



Abb. 15.



Abb. 17.

zugehörige Oberflächenbild (Abb. 14) die Wirbelzonen und ruhigen Zonen gegenüber Abb. 12 vertauscht. Dementsprechend gestaltete sich das Sohlenrelief (Abb. 15) in Bezug auf die Kolkwirkung jenem von Abb. 13 gerade entgegengesetzt.

Aber noch durch einen weitem Versuch konnte die Richtigkeit der Anschauung über die Wechselbeziehung zwischen Oberflächenbild und Sohlenrelief erwiesen werden, nämlich durch Einbau einer weitem keilförmigen Führung in der Mitte der Ueberfallstrahlen. Abb. 16 zeigt das zugehörige Oberflächenbild, das nun eine Verdoppelung der Wirbel- bzw. ruhigen Zonen erkennen lässt. Demgemäss ergibt sich aus Abb. 17¹⁾ ein viel mehr ausgeglichenes Sohlenrelief.

Wenn durch die soeben gewonnene Erkenntnis wohl ein Mittel erhalten wurde, das bei der Beurteilung der zu erwartenden Verteilung der Auskolkung gute Dienste leistete, so war damit die Aufgabe der Kolkverminderung eigentlich noch ungelöst. Nach einer weitem Versuchsreihe, die hier wiederum nicht beschrieben werden soll, gelang es beim Versuch XXIII (Abb. 18), den Kolk gegenüber dem ursprünglichen Modell auf etwa die Hälfte herabzusetzen, einfach durch Wahl einer steileren Lage des untern Teils des Tosbeckens. Da aber bei diesem Modell zu befürchten war, dass durch den Anprall der Wasser-

massen gegen den unter 1 : 1 geneigten Teil der Schwelle zu grosse Beanspruchungen des Bauwerks erfolgen würden, wurde unter gleichzeitiger Verkürzung der Wehrschwelle auf die ursprüngliche Länge der Anstieg des Tosbeckens auf 1 : 2 vermindert, wodurch sich, wie aus Versuch XXV (Abb. 19 auf Seite 293) ersichtlich, keine wesentliche Vergrößerung des Kolkes ergab.

Endlich wurde im Versuch XXVI (Abb. 20, S. 293) das Modell konstruktiv dahin abgeändert, dass anstatt des vorgesehenen Segmentschützen-Abschlusses eine Rollschütze mit vorgesetztem Dammbalkenabschluss angenommen wurde. Es wurden hier noch einige Versuche mit diesem letzten Modell angeführt, die den bereits erwähnten Zusammenhang zwischen Oberflächenbild und Sohlenrelief erneut darlegten. Die Abb. 21 und 22 beziehen sich auf den Durchfluss von 750 m³/sek, wovon 318 m³ durch Ueberfall und 432 m³ durch Grundablass. Der starken Unterteilung der Oberfläche in Wirbelzonen und ruhige Zonen entspricht wiederum ein ziemlich ausgeglichenes Sohlenrelief. Bei der getroffenen Wahl der Stärken der Führungskeile ist dabei der Kolk in den Oeffnungen etwas kräftiger als hinter den Pfeilern.

Bemerkenswert dürfte das Ergebnis der nachfolgenden Versuche sein, bei denen zunächst 318 m³/sek nur durch die Ueberfälle (Abb. 23 und 24) bzw. 432 m³/sek nur durch die Grundablässe durchgeleitet wurden (Abb. 25¹⁾ und 26). Den ruhenden Zonen hinter den Pfeilern entspricht in

¹⁾ Die in den Abb. 13, 15 und 17 ersichtlichen kleinen Symmetriefehler in der Ausbildung des Sohlenreliefs erklären sich in der Hauptsache aus der Schwierigkeit, die Wehröffnungen im Modell mit vollkommener Genauigkeit gleich zu belasten.

¹⁾ Bei Abb. 25 ist im Gegensatz zu den vorangehenden Draufsichten auf das Unterwasser die Strömungsrichtung von oben nach unten.

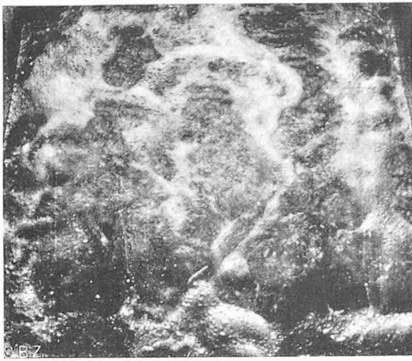


Abb. 21.

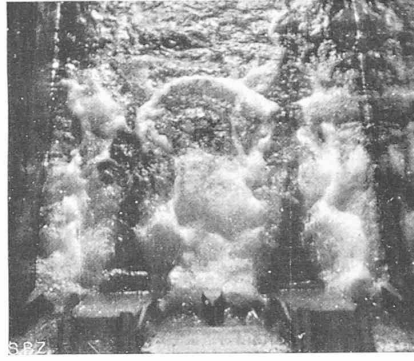


Abb. 23.

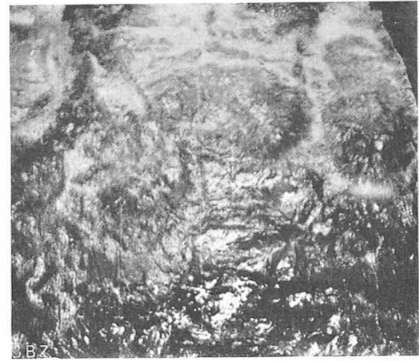


Abb. 25.

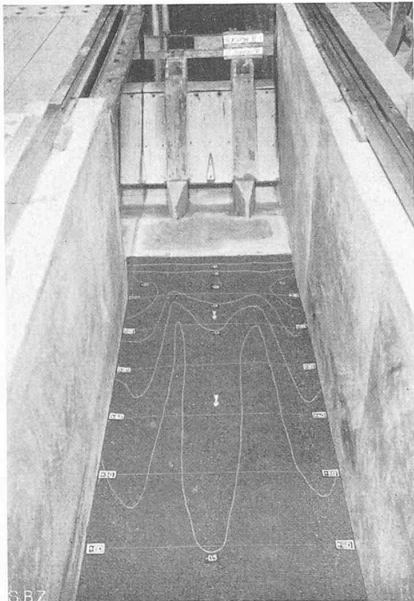


Abb. 22.

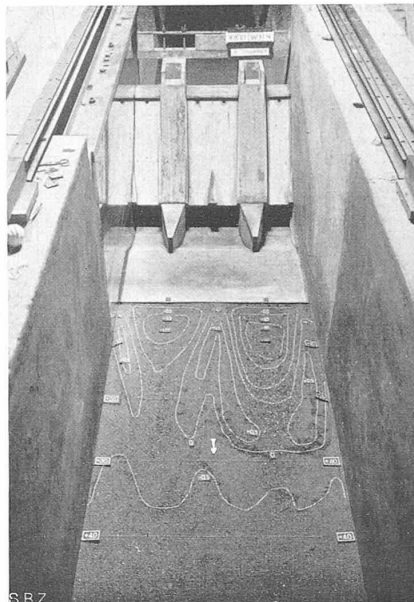


Abb. 24.



Abb. 26.

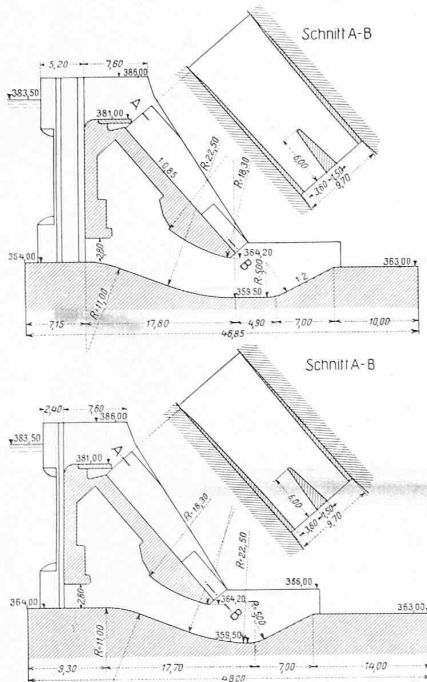
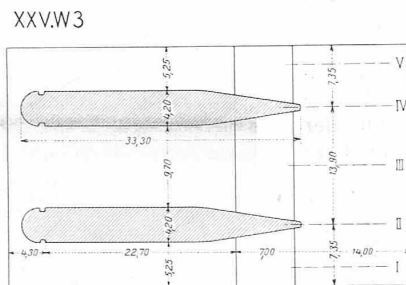
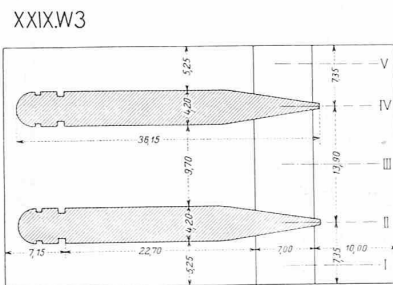


Abb. 27. Auf Grund der Modellversuche vorgeschlagene Wehrformen. Oben mit Rollschützen-Abschluss. — Unten mit Segmentschützen-Abschluss.



beiden Fällen ein vermehrter Kolk daselbst. Jedoch ist nun auffallend, dass die Kombination von Grundablass und Ueberfall gerade das umgekehrte Oberflächen- und Kolkbild zeitigt, wie die Ableitung der Teilwassermengen getrennt durch die beiden Durchlass-Vorrichtungen. Auffallend ist auch, dass jeder Einzelabfluss einer Teilwassermenge annähernd die gleiche Kolkentiefe verursacht, wie der kombinierte Abfluss der Gesamtwassermenge. Eine qualitative Erklärung dieser Tatsachen lässt sich wohl geben: Einmal bringt der Zusammenstoss zweier Strömungen verschiedener Richtungen eine starke Vernichtung der Strömungsenergie mit sich — es entspricht dies der aus den Vorversuchen bereits abgeleiteten Folgerung, — sodann aber wird durch die Einschnürung des Ueberfallstrahles eine Konzentration desselben erreicht, die den Grundablasstrahl in jeder Oeffnung in drei Teile zerschneidet, wovon die äussern sich in der Zone der Pfeilerverlängerung ausbreiten und dort eine Wirbelzone erzeugen, die beim Fehlen der Seitenkeile nicht vorhanden war.

Andererseits wird die Wirbelzone in der Oeffnung durch den Mittelkeil etwas abgeschwächt.

Durch die Aufteilung der Wirbelzonen in mehrere Zentren wird nun aber offenbar wiederum mehr Energie vernichtet, als im Falle konzentrierter Wirbel. Diese Ueberlegung erklärt die aus andern, hier nicht besonders wiedergegebenen Versuchen hervorgegangene Erscheinung, dass beim Modellversuch XXVI, wenn die keilförmigen Führungen entfernt wurden, wiederum ein verstärkter Kolk auftrat.¹⁾

Zum Schlusse sei noch auf Abb. 27 verwiesen, die die auf Grund der Modellversuche vorgeschlagenen Wehrformen zur Darstellung bringen. Die beiden Entwürfe unterscheiden sich durch die Konstruktion des Abschlussorganes: der untere entspricht dem Modell XXV mit Segmentschützen-Abschluss mit konstruktiv leicht abgeänderten Formen der keilförmigen Führungen, der obere dem Modell XXIX mit Rollschützen-Abschluss und vorgeschobener Dammbalkennut, wobei noch die Schwelle im Unterwasser um 4 m verkürzt ist.

Praktisch genommen sind in Bezug auf die Kolkverhütung beide Modelle gleichwertig. Soweit die direkte Uebertragung der Kolkiefen in die Wirklichkeit möglich ist, dürfte die Flusssohle nicht unter Kote 361,00 ausgekolkelt werden.

VI. SCHLUSSBEMERKUNGEN.

Abgesehen von einer Reihe von wohl interessanten Resultaten, die aber nach Ansicht des Verfassers nicht Anspruch auf eine allgemeine Lösung des Kolkproblems erheben, sollten die Versuche doch dargetan haben, dass es selbst bei den extremen Verhältnissen des Limmatwerkes möglich war, mit nicht zu hohen Kosten eine befriedigende Lösung dieses Einzelfalles zu finden. Dass diese Lösung ohne Modellversuche wohl kaum gefunden worden wäre, steht ausser Frage. Ich möchte deshalb an dieser Stelle den städtischen Behörden, die die Kosten nicht gescheut haben, um die Durchführung der Versuche zu ermöglichen, sowie den Behörden der E. T. H. und Herrn Prof. Prásil, die die Versuchseinrichtungen zur Verfügung gestellt haben, auch an dieser Stelle meinen Dank aussprechen.

Es ergeben sich aber auch eine Anzahl allgemein gültiger Schlussfolgerungen, und zwar sowohl in versuchstechnischer, als auch in praktischer Hinsicht.

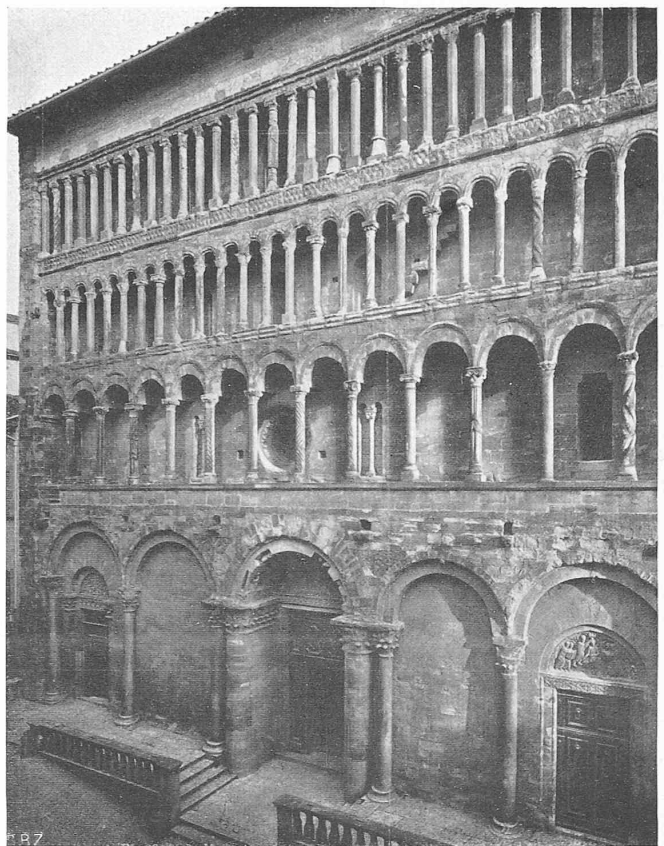
In versuchstechnischer Hinsicht ist es klar, dass nur peinlichst genaues Arbeiten zum Ziele führt. Dies beweisen die bereits erwähnten unsymmetrischen Kolkbilder. Wenn aus Modellversuchen brauchbare Schlüsse gezogen werden sollen, so können die Versuchseinrichtungen nicht vollkommen genug ausgeführt sein; dies gilt sowohl für die Konstanz der Versuchswassermenge, als auch für die Messeinrichtungen aller Art und die Beschaffenheit der Versuchsrinnen. Diese müssen in einer Versuchsanstalt, die sich gleichzeitig mit mehreren Problemen beschäftigt, in grösserer Anzahl vorhanden sein, da die Versuche oft Wochen in Anspruch nehmen. Bei Befolgung genauer Arbeitsmethoden lassen sich auch bei kleinen Modellmassstäben Schlüsse auf die Wirklichkeit ziehen; man hat dabei den Vorteil kleinerer Versuchswassermengen, rascherer Erreichung des Beharrungszustandes, kleinerer Modelle und der Möglichkeit deren leichter Abänderung, und folglich verringert Kosten.

In praktischer Hinsicht kann in erster Linie auf die Wichtigkeit gleichmässiger Regulierung der Schützen hingewiesen werden. Diese vom Betrieb oft nicht beachtete Vorsichtsmassnahme kann ganz

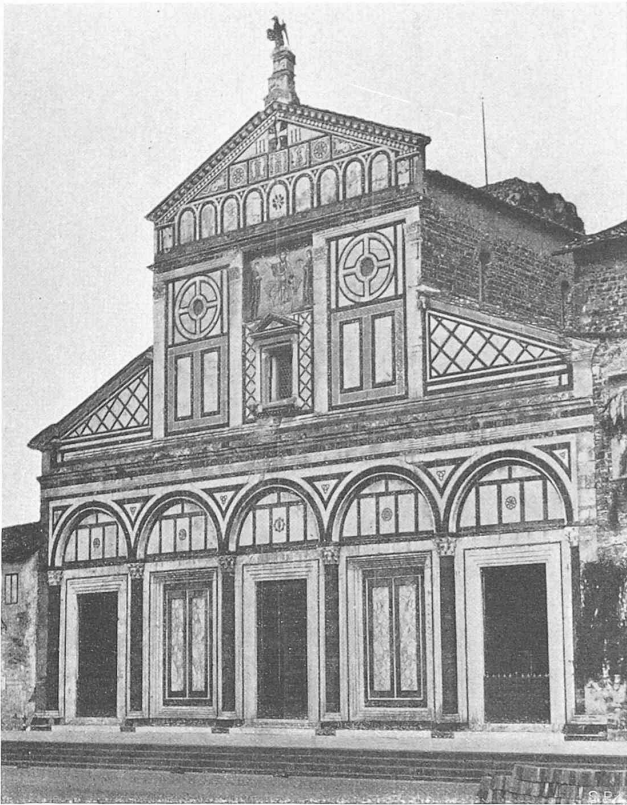
¹⁾ Im Gegensatz zu Modell XIII wurde hier das Kolkbild durch Wegnahme der Keile nicht umgekehrt, sondern lediglich der Kolk vergrössert.



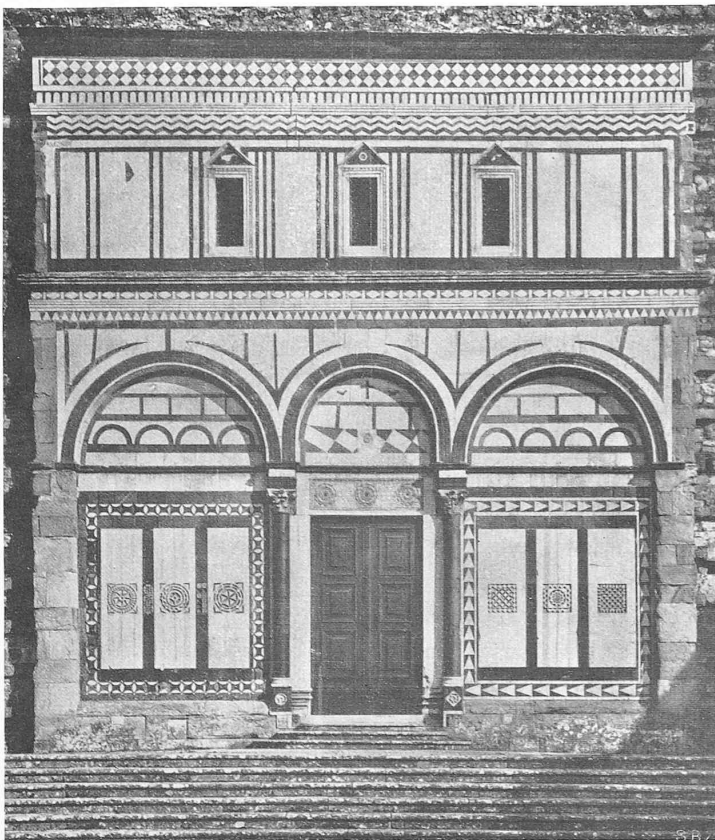
PISA, WESTFASSENDE DES DOME
SAMT DEN DREI WESTJOCHEEN ERBAUT UM 1260, DER REST SPÄTER



AREZZO, SANTA MARIA DELLA PIEVE, ERBAUT 1216



FLORENZ, SAN MINIATO AL MONTE
BAUBEGINN UM 1140, FASSADE NACH 1170



FIESOLE, BADIA, FASSADE, ERBAUT VOR 1170

wesentlich zur Verminderung des Kolkes beitragen, während stärkere Beanspruchungen einzelner Oeffnungen bei niedrigem Unterwasserspiegel sehr oft die Ursache der Wegschwemmung der Deckwalze und grosser Kolke sein können. Die mehrfach erwähnte Unsymmetrie der Kolkbilder weist klar darauf hin, und dort handelte es sich natürlich um äusserst geringe Unterschiede in den Belastungen der Oeffnungen. Als bemerkenswert darf sodann wohl auch das Auftreten dreidimensionaler Strömungen bezeichnet werden, die einen Zusammenhang zwischen Oberflächenbild und Sohlenrelief bedingen, die aber andererseits die rechnerische Lösung des Abflussproblems durch ein bewegliches Stauwehr als ziemlich hoffnungslos erscheinen lassen. Auch deshalb wird die Notwendigkeit der Modellversuche wohl noch auf lange Zeit hinaus bestehen.

Romanische Architektur in Italien.

Von Dipl. Ing. PETER MEYER, Arch., Zürich.

(Schluss von Seite 280.)

Italien hat unter den Wirren der Völkerwanderungszeit allen Anzeichen nach schwerer gelitten als Spanien und das südliche Gallien; jedenfalls braucht es länger, bis es wieder zu eigenem kulturellem Leben erwacht. Schon seit der Teilung des Reiches und dem Aufstieg der östlichen Hauptstadt Konstantinopel versinkt Rom selber in Provinzialität, muss es doch sogar den Rang einer Hauptstadt des Westens zuerst an Mailand, dann an Ravenna abtreten. Die Kaiser sind oft lange abwesend, residieren in Lyon, Trier, York. Nach den Gotensiegen des Narses fällt Ravenna für zwei Jahrhunderte an Ostrom und wird so Haupt-Ausstrahlungspunkt für den Einfluss des byzantinischen Stils auf den Westen. Das ganze frühe Mittelalter hindurch lastet über Italien eine ausgesprochene kulturelle Depression, sogar die Steinmetzenpraxis erlischt nahezu; wo man Bedürfnis nach Verzierung hat, verwendet man antike Bruchstücke. Rom verharrt durchaus in frühchristlicher Stilhaltung; eine endemische, „romanische“ Entwicklungsphase fehlt ganz; noch im XII. Jahrhundert begnügt man sich, die verfallenden Basiliken im alten Stil zu erneuern.

Ein persönliches Gesicht trägt einzig die Baukunst der Po-Ebene und der Toskana. Auch dies aber auf spätantiker Grundlage mit stark byzantinischem Einschlag, der sich hier wie überall als spezifische Dämpfung des plastischen Sinnes bemerkbar macht, in einer Entwertung aller körperlichen Gliederungen zu bloss dekorativem Flächen-Ornament, wodurch die spätantike, plastisch gliedernde Tradition durchkreuzt wird. Diese östlichen Einflüsse werden durch den Orienthandel der italischen Städte wachgehalten (Pisa, Genua, Venedig, Amalfi, Ravello), italische Griechengemeinden bauen rein byzantinisch, so in Rom Santa Maria in Cosmedin, Venedig baut San Marco, von Süd-Italien, zumal Apulien, nicht zu reden. Ausser diesen rein anatolischen Bauten gibt es dann zahlreiche Mischformen, die mehr sonderbar als überzeugend wirken: es fehlt ihnen die Einheit des Charakters.

Die „lombardische“ Architektur hat schon durch ihren Namen zu den abenteuerlichsten Missverständnissen Anlass gegeben, denn mit dem germanischen Volkstamm der Langobarden hat sie wenig zu tun. Der Name hat sich nun einmal eingebürgert, er bezeichnet nichts anderes, als „romanische Baukunst der Po-Ebene“. Dass ein langobardisches Element als Komponente neben andern