Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 92 (1974)
Heft: 23

Artikel: Projekt und Bauausführung des Eisretentionsbeckens der Sihl
Autor: Marth, Eduard
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72387

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: 13.07.2025

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

92. Jahrgang Heft 23 SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG 6. Juni 1974
HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Projekt und Bauausführung des Eisretentionsbeckens in der Sihl

Von **Eduard Marth**, Zürich

DK 627.43 : 627.51 : 627.88

1. Allgemeines, Projektgrundlagen

1.1 Problemstellung

Die Sihlhochstrasse bildet einen Bestandteil des südlichen Astes des Zürcher Express-Strassen-Konzeptes. Die Bauarbeiten am rd. 1500 m langen auf 29 Pfeilerpaaren im Fluss ruhenden Abschnitt zwischen der Allmend Brunau und dem Anschluss Sihlhölzli wurden im Frühjahr 1969 nach einer zehnjährigen Planungs- und Projektierungsphase aufgenommen und sind heute praktisch abgeschlossen (Bild 1) [1]. Die lange Zeitspanne zwischen Projektierungs- und Baubeginn war massgeblich durch das Problem des Eistriebes auf der Sihl bedingt, da sich bei besonderen klimatischen Bedingungen im Unterlauf der Sihl Eisgänge mit einem transportierten Eisvolumen bis zu 100 000 m³ bilden können. Nach Aufzeichnung des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich traten innerhalb von vierzig Jahren zwölf grössere Eisgänge auf. Letztmals bildete sich im März 1947 bei der Postbrücke oberhalb des Hauptbahnhofes eine mächtige Eisbarriere, wobei katastrophale Auswirkungen nur dank grösstem Einsatz von Spezialisten vermieden werden konnten. Auf Grund dieser Erfahrungen musste befürchtet werden, dass sich in der Sihl Eiswälle in Fliessrichtung vor den projektierten Brückenpfeilern bilden könnten, was in Verbindung mit oft den Eisgängen folgender Hochwasserführung im engeren Stadtgebiet zu äusserst kritischen Lagen führen würde. Die zuständigen eidgenössischen und kantonalen Behörden sahen sich deshalb veranlasst, an die Erteilung der Bewilligung zum Einbau von Stützen im Flussprofil die Bedingung zu knüpfen, entweder den Nachweis einer ungestörten Eisabfuhr trotz den Einbauten zu erbringen oder entsprechende Schutzmassnahmen vorzuschlagen.

1.2 Vorstudien und hydraulische Modellversuche zur Eisretention

Anfang 1960 beauftragte die Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich die auf Grund eines im Jahre 1959 durchgeführten Wettbewerbes mit der Projektierung der Sihlhochstrasse beauftragte Ingenieurgemeinschaft Sihlexpressstrasse Zürich (ISZ), gebildet von den beiden Zürcher Ingenieurbüros *Soutter & Schalcher* und *Hans Eichenberger* [2], auch mit den Studien für eine kontrollierte Eisabfuhr im Flusslauf der Sihl. Das Ingenieurbüro Eichenberger, das sich im Rahmen der genannten Ingenieurgemeinschaft dieser nicht alltäglichen Aufgabe annahm, konnte von Anfang an auf die fachliche Unterstützung der unter Leitung von Prof. *G. Schnitter* stehenden Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH Zürich (VAWE) [3] zählen. Über die Durchführung und die Ergebnisse der hydraulischen Modellversuche orientiert ein in der Folge erscheinender Beitrag [1], so dass im Rahmen dieses Aufsatzes nur auf die für die Gesamtübersicht wichtigen Punkte hingewiesen wird.

Die in den Jahren 1960 und 1961 an der VAWE durchgeführten Grundlagenversuche bestätigten die gehegten Befürchtungen bezüglich der Bildung von Eisbarrieren vor den Pfeilern und zugleich die Notwendigkeit von Schutzmassnahmen. Es stellte sich somit die Aufgabe, die Eismassen oberhalb der durch die Brückenpfeiler eingeengten Flussstrecke zurückzuhalten und nach Möglichkeit kontrolliert abzuführen. Auf Grund der topographischen Verhältnisse kam als Retentionsraum praktisch nur das Gebiet der Allmend Brunau in Frage.

Über die Art und Weise des Eisrückhaltes bestanden anfänglich mangels einschlägiger Erfahrungen keine klaren Vorstellungen. Schon bald setzte sich jedoch die Erkenntnis durch, das Eis sei in einem Staubecken schwimmend zurückzuhalten und daraus schubweise mit genügend Wasser als Transportmedium in den Unterlauf der Sihl abzugeben, wobei nach eingehenden Untersuchungen die Sperrstelle oberhalb der Gänziloo-Brücke festgelegt wurde.

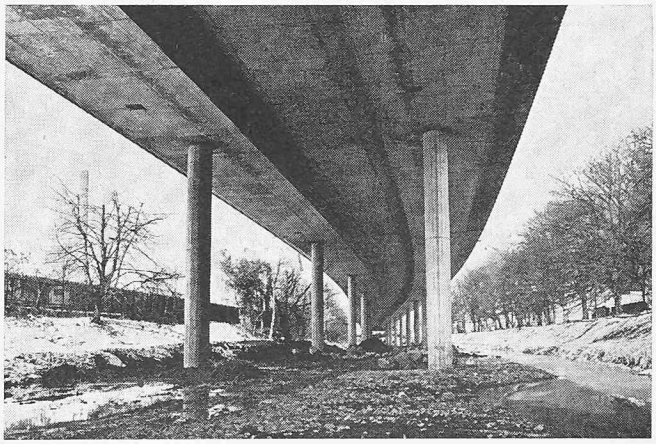
Die sehr vielfältigen Bedingungen, die an die dazu notwendigen Wehrverschlüsse gestellt werden müssen, sind

[1]) Die Sihlhochstrasse wird in einer der nächsten Nummern der Schweizerischen Bauzeitung beschrieben

[2]) Jetzt Schalcher & Partner — Eichenberger AG

[3]) Jetzt Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich (VAW)

Bild 1. Teiluntersicht der Sihlhochstrasse kurz vor Bauvollendung



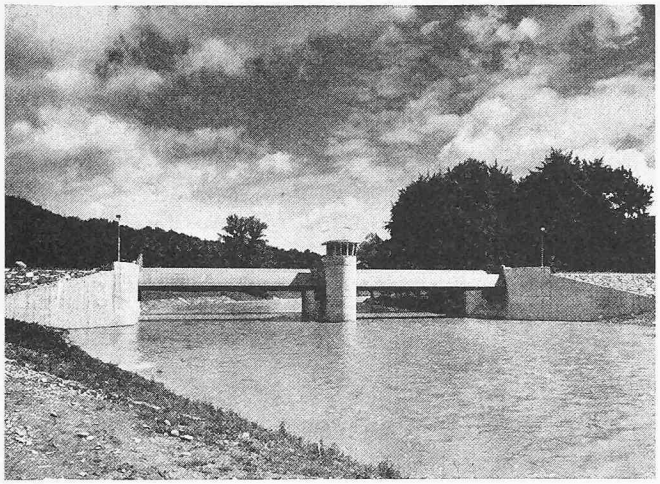


Bild 2. Eiswehr mit den Verschlussorganen in Sommerstellung, Blick von der Oberwasserseite her

im Abschnitt 2.2 «Wehranlage, Wehrverschlüsse» zusammengefasst. Ergänzend sei erwähnt, dass das Retentionsbecken in der Regel nur bei zu erwartenden Eisgängen aufgestaut wird, während in den langen Zwischenperioden die Schützen in der eine einwandfreie Ableitung des grössten Hochwassers gewährleistenden Sommerstellung (Verschlüsse über den Fliessquerschnitt hochgezogen) mechanisch verriegelt sind.

Weitere Grundlagenversuche der VAWE bestätigten ferner, dass eine kontrollierte und somit gefahrlose Eisabfuhr in der vorgeschlagenen Form zu verwirklichen ist. Die in den Jahren 1964 bis 1966 durchgeführten hydraulischen Detailuntersuchungen erbrachten vor allem die für die Projektierung wichtigen Daten, wie erforderliche Stauraumkapazität und Seeoberfläche, anzustrebende Staukote und Wasserstände am Wehr sowie Angaben über die Wehrschwellenausbildung, den Kolkschutz und die Zweckmässigkeit verschiedener Schützentypen. Es ist selbstverständlich, dass während dieser Zeit die Modellversuche und die Projektierungsarbeiten dauernd aufeinander abgestimmt werden mussten, so dass sich das Bauprojekt schliesslich als Ergebnis einer schrittweisen Bearbeitung unter Berücksichtigung der neuesten Erkenntnisse aus den hydraulischen Modellversuchen ergab.

1.3 Flussbauliche Grundlagen, geologische Verhältnisse, Grundwasserprobleme

Die flussbaulichen Grundlagen wurden weitgehend vom Kantonalen Amt für Gewässerschutz und Wasserbau zur Verfügung gestellt. Neben den Abflussstatistiken einer langen Beobachtungsperiode und konstruktiven Erfahrungen standen Aufzeichnungen über die Wasserspiegellagen des grössten beobachteten Hochwassers von 1910 und wertvolle Angaben über zahlreiche frühere Eisgänge zur Verfügung, wovon letztere insbesondere bei den Modellversuchen berücksichtigt worden sind.

Die Beurteilung der geologischen und hydrologischen Verhältnisse erfolgte durch das geologische Büro Prof. Dr. *H. Jäckli*. Neben den Ergebnissen seismischer Messungen stützte sich der Geologe auf ein Netz von dreissig im Gebiet des zukünftigen Rückhaltebeckens abgeteuften Sondierbohrungen. Das Felsprofil weist danach an dieser Stelle eine Kastenform auf und bietet einem breiten Grundwasserstrom Platz. Über dem Fels liegt eine ziemlich undurchlässige Moränenschicht unterschiedlicher Mächtigkeit, die überlagert wird vom Sihlschotter, der als eigentlicher Grundwasserträger angesprochen werden kann. Anhand der geologischen Untersuchungen waren für die Fundation der Wehranlage und der Dämme keine besonderen Schwierigkeiten zu erwarten, was sich bei der Bauausführung auch bestätigt hat. Dagegen konnte die Frage, ob in Anbetracht der guten Durchlässigkeit des kiesigen Untergrundes überhaupt ein Aufstau im vorgesehenen Rahmen möglich sei, erst nach Versickerungsversuchen durch Flächeneinstau im fraglichen Gelände positiv beantwortet werden.

Auf Grund des intensiv genutzten Grundwasserstromes der Sihl wurde untersucht, inwiefern das Grundwasser durch die Retentionsanlage in quantitativer und qualitativer Hinsicht beeinflusst werden könnte. Für die Projektierung ergab sich aus diesen Untersuchungen die schwerwiegende Auflage, den Durchflussquerschnitt des Grundwasserträgers möglichst wenig zu beeinträchtigen, weswegen beispielsweise auf im Boden verbleibende Spundwände zur Verlängerung des Sikkerweges verzichtet werden musste. Dagegen scheint sich der Chemismus des Wassers auch bei einem längerdauernden Aufstau nicht stark zu verändern, womit diesbezügliche Befürchtungen der Zürcher Papierfabrik an der Sihl (ZPS), die das Grundwasser für die Papierherstellung benötigt, beseitigt werden konnten.

1.4 Naturschutz, militärische Belange, Nebenprobleme

Die Allmend Brunau ist ein wichtiges und vielbesuchtes Erholungsgebiet am Rande der Stadt Zürich. Seitens der Behörden wurde deshalb nachdrücklich verlangt, die Naturschutzprobleme schon im Planungsstadium bevorzugt zu berücksichtigen. Für die Wehranlage wurde deshalb eine möglichst niedrige, auch den ästhetischen Gesichtspunkten Rechnung tragende Bauart angestrebt (Bild 2), während die Dammbauten mit Hilfe einer zweckmässigen Bepflanzung unauffällig im natürlichen Gelände aufgehen sollten.

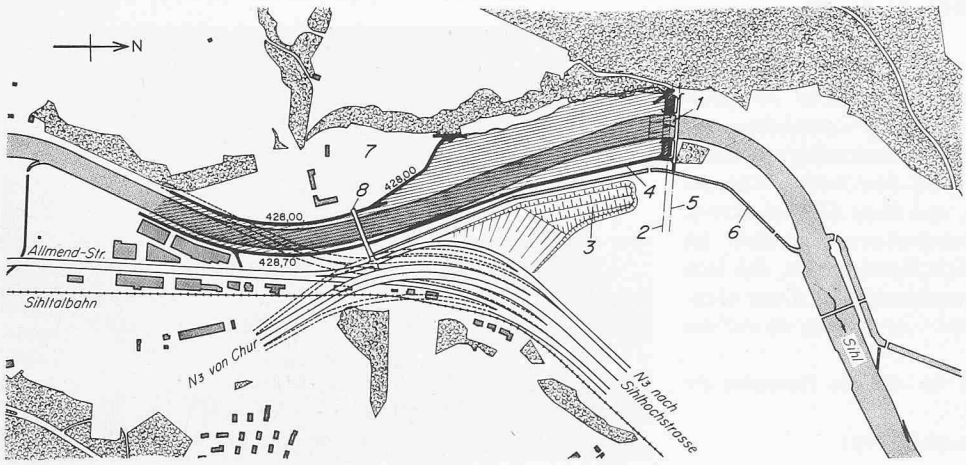


Bild 3. Gesamtübersicht Eisretentionsanlage rd. 1:15 000

1 Eisretentionsbecken in der Sihl
2 Wehrachse
3 Anschlaggarten
4 Abschlussdamm, Krone 428 m ü. M.
5 Achse der bestehenden Gänziloobrücke
6 Werkkanal der Zürcher Papierfabrik an der Sihl
7 Kurzdistanz-Schiessplatz
8 bestehende Höcklerbrücke

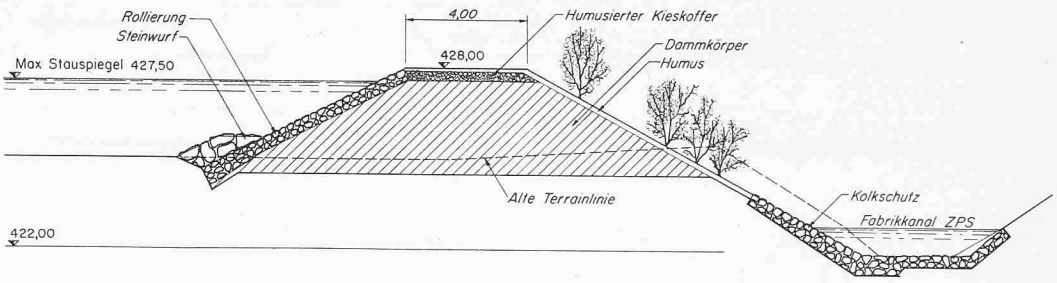


Bild 4. Normalprofil durch den Abschlussdamm längs dem Werkkanal Zürcher Papierfabrik an der Sihl

Ein beträchtlicher Anteil des für das Retentionsbecken beanspruchten Geländes dient der militärischen Ausbildung, so dass den Bedürfnissen des Dienstbetriebes weitgehend nachzukommen war. Eine wesentliche Veränderung des Übungsdispositivs ergab sich vor allem im Bereich des sogenannten Anschlaggartens (Bild 3). Da ein Überschiessen der Sihl gegen den Hangfuss des Üetliberges aus dem ursprünglichen Stellungsraum durch den rechtsufrigen Damm verunmöglicht worden wäre, entschloss man sich zu einer Hebung des Stellungsniveaus, wofür glücklicherweise überschüssiges Aushubmaterial vom unmittelbar benachbarten Entlisbergeinschnitt der N3 zur Verfügung stand. Daneben erforderte der sogenannte Kurzdistanz-Schiessplatz, der am linken Sihlufer unterhalb der Höcklerbrücke liegt, die Erstellung eines Abschlussdammes. Die zuständigen militärischen Stellen zeigten sich schon im Planungsstadium und anschliessend bei der Bauausführung sehr aufgeschlossen und entgegenkommend, wofür ihnen auch an dieser Stelle ein besonderer Dank ausgesprochen sei.

Durch die Lage des Staubeckens im besiedelten Gebiet ergaben sich eine Reihe zusätzlicher Probleme. Neben Werkleitungs- und Kanalisationsanpassungen mussten die Auswirkungen eines durch Staubetrieb erhöhten Grundwasserstandes auf benachbarte Liegenschaften untersucht werden. Schliesslich dient die Sihl im vorgesehenen Staubereich auch einer Anzahl von Meteorwasserleitungen als Vorfluter, was gewisse Anpassungen erforderte.

2. Allgemeines Bauprojekt, hydraulische und statische Berechnungen

2.1 Stauraum, Dammbauten

Beim Zugrundelegen des in den hydraulischen Modellversuchen der VAWE festgelegten Stauzieles auf Kote 427,50 umfasst der gesamte Stauraum eine Fläche von rund 92 000 m² bei einem Maximalinhalt von ungefähr 225 000 m³ (Bild 3). Bei einer Schwellenkote von 422,00 ergibt sich die grösste Tiefe am Wehr zu 5,50 m.

Auf der linken Seite des Retentionsbeckens bildet der Hangfuss des Üetliberges weitgehend die natürliche Begrenzung. Einzig der Kurzdistanz-Schiessplatz ist durch einen dem Gelände angepassten und völlig humusierten Abschlussdamm vor Überflutung geschützt. Oberhalb der Höcklerbrücke bedingte die Anpassung der Dammkrone auf Kote 428,00 eine unbedeutende Anhebung der Uferpartie.

Der rechtsseitige Abschluss des Stauraumes wird auf der gesamten Länge der Staustrecke durch einen Damm gebildet, dessen Krone bei einer Breite von 4,00 m das Befahren mit Lastwagen gestattet. Der Damm folgt zwischen der Gänziloo- und der Höcklerbrücke dem Werkkanal der ZPS und weist bei einer Schüttkote von 428,00 im Bereich der Sperrstelle mit rund 4,00 m über dem ursprünglichen Terrain seine grösste Höhe auf. Das Freibord zwischen dem maximalen Stauziel und der Dammkrone wurde in der Regel auf 50 cm beschränkt, da der höchste Stauspiegel gemäss den Betriebsvorschriften nur ausnahmsweise und auch dann nur kurzfristig erreicht werden soll. Einzig oberhalb der Höcklerbrücke, wo sich der rechtsseitige Abschluss auf der Aussenseite der Flusskrümmung befindet, wurde die Kote zum Schutz gegen überbordendes Eis auf 428,70 festgesetzt.

Das Gesamtvolumen aller Dammbauten ohne die Deponie Anschlaggarten beträgt knapp 60 000 m³. Es wurden durchwegs homogene Abschlussdammkörper aus kiesigem, leicht tonhaltigem und gut verdichtbarem Material geschüttet. Bei der Bemessung der Dämme musste der Nachweis einer genügenden Stabilität erbracht werden, während der Durchsickerung im Hinblick auf die Wasserverluste nur geringe Bedeutung zukommt. Die Böschungsneigung gegen die Sihl wurde mit 1:2 und diejenige gegen den Werkkanal ZPS mit maximal 1:1,8 ausgeführt (Bild 4). Besondere Sorgfalt wurde darauf verwendet, die Dämme entweder im gewachsenen Sihlschotter oder bei Erhöhung bestehender Dämme in einwandfreiem und gut konsolidiertem Schüttmaterial einzubinden, um einen «Kurzschluss» bezüglich der Dammdurchsickerung und damit eine akute Erosionsgefahr zu verhindern.

Dem Schutz der Damm- und Uferböschungen wurde besondere Beachtung geschenkt. Die Stellen mit erhöhter Erosionsgefahr erhielten eine als Zyklopenmauerwerk ausgeführte Trockenpflästerung aus Bruchsteinen. Die übrigen, vom Wasser benetzten Böschungen wurden durch eine Rollierung variabler Stärke geschützt, wobei – soweit möglich – das Steinmaterial des bestehenden Böschungsschutzes zur Wiederverwendung gelangte. Der Böschungsfuss des Abschlussdammes gegen den Werkkanal wurde auf der Seite des Retentionsbeckens zusätzlich mit einem Steinwurf versehen.

Bei der Projektierung des rechtsseitigen Abschlussdammes ergaben sich einige besondere Probleme. So musste der naheliegende Vorschlag, den neuen Damm bzw. die Erhöhung des bestehenden Dammes an die vorhandene Kanalböschung anzuschliessen, auf Grund von Stabilitätsbetrachtungen fallengelassen werden, da die ursprüngliche Flanke des Werkkanales in Anbetracht der zusätzlichen Beanspruchungen eine ungenügende Standfestigkeit aufwies. Abgesehen von diesen statischen Erwägungen zeigte eine Begehung an der Kanalsohle und den Böschungen deutliche Kolkerscheinungen, so dass nur eine Neuerstellung der werkkanalseitigen Dammflanke in Betracht kam. Damit erschien auch die ursprünglich in Aussicht genommene Inbetriebhaltung des Werkkanales während der Ausführung des Abschlussdammes nicht mehr zweckmässig, da eine Vergütung des Ausfalles an elektrischer Energie billiger als die zu erwartenden zusätzlichen Massnahmen war. Ausserdem ergab sich damit die Möglichkeit, den Werkkanal auch auf der Sohle und der gegenüberliegenden Böschung mit einem neuen Steinsatz zu versehen, was für die langfristige Standsicherheit des Dammes von Bedeutung ist.

Nach eingehender Prüfung im hydraulischen Modellversuch wurde einstweilen auf eine Hebung oder einen Neubau der im Staugebiet liegenden Höcklerbrücke verzichtet, da die in den Stau reichenden Kämpfer der als Bogen ausgebildeten

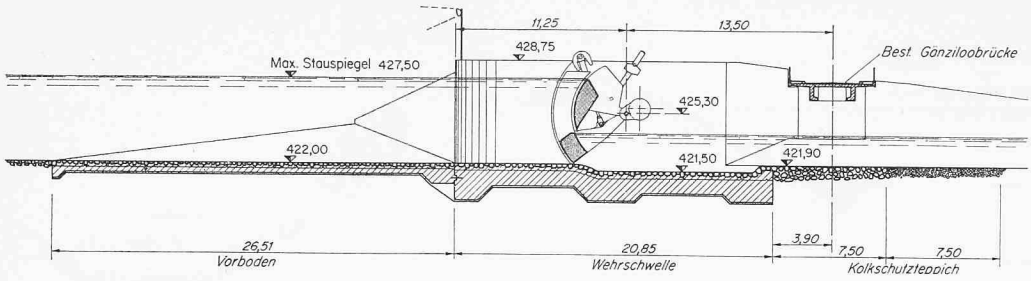


Bild 5 a. Längsschnitt der Wehranlage durch Vorboden und Wehrschwelle mit Ansicht des linken Widerlagerpfeilers, Schützen in Staustellung, 1:500

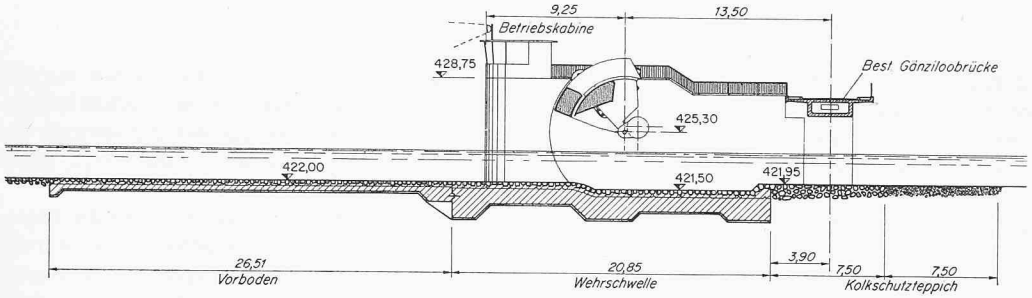


Bild 5 b. Längsschnitt der Wehranlage durch Vorboden und Wehrschwelle mit Ansicht des Mittelpfeilers, Schützen in der eine einwandfreie Hochwasserabfuhr gewährleistenden «Sommerstellung», mechanisch verriegelt, 1:500

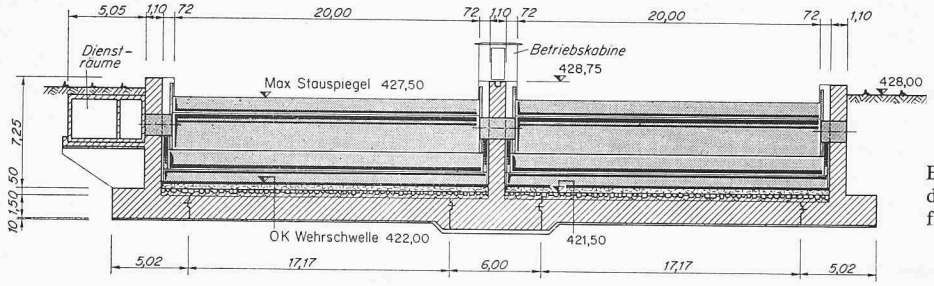


Bild 5 c. Querschnitt durch die Drehlagerträger, Blick flussaufwärts, 1:500

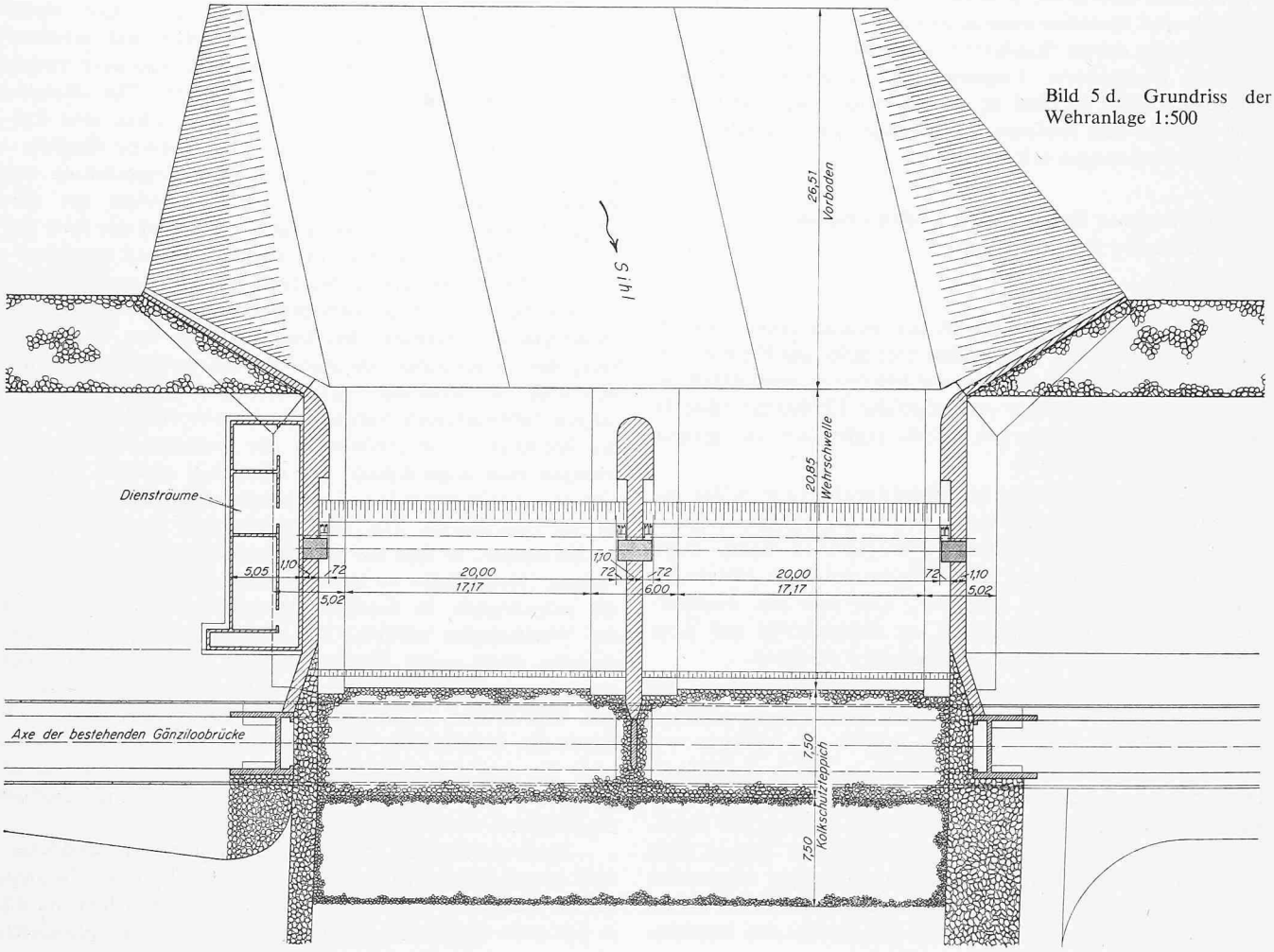


Bild 5 d. Grundriss der Wehranlage 1:500

Hauptträger den Eistransport nicht wesentlich zu beeinträchtigen scheinen. Anlässlich des ersten grossen Eisganges muss jedoch diese Frage nochmals im Massstab 1:1 studiert und allenfalls dieser Entscheid einer erneuten Prüfung unterzogen werden.

2.2 Wehranlage, Wehrverschlüsse

Für die Wehranlage (Bilder 5, 6 und 7) und insbesondere die Wehrverschlüsse ergaben sich im vorliegenden Fall sehr vielfältige Bedingungen. So muss ein Katastrophenhochwasser von 550 m³/s, wie es im Jahre 1910 bereits einmal aufgetreten ist, die Wehranlage bei gezogenen Schützen ungehindert passieren können. Im weiteren müssen bei um wenigstens 1 m abgesenktem Stauspiegel zwecks dosierter Abgabe des Eises pro Schütze 75 m³/s durch Überströmen und zur gefahrlosen Ableitung eines Hochwassers von 160 m³/s, wie es gemäss den statistischen Angaben einem Eisgang folgen kann, pro Schütze 80 m³/s durch Unterströmen – unter Zurückhaltung des Eises – abgeführt werden können. Die letztgenannte Bedingung trug massgeblich zur Festlegung des Stauzieles auf Kote 427,50 bei, da sich in den hydraulischen Modellversuchen gezeigt hatte, dass bei Unterschreiten eines gewissen minimalen Wasserstandes am Wehr bei Hochwasserentlastung Eisplatten in die durch Anhebung der Unterschützen freigegebene Öffnung hineingezogen werden können. Neben dem an sich in dieser Phase unerwünschten Eistransport würde dieser Vorgang das Risiko in sich schliessen, dass sich Eisblöcke unter den Schneiden der Unterschützen verklemmen können und somit der Stauraum mit Hilfe des Wehres nicht mehr unter Kontrolle zu halten wäre.

Aus den Grundlagenversuchen der VAWE ergab sich auch die Forderung, für die Wehranlage höchstens *einen,* möglichst schlanken Mittelpfeiler vorzusehen, da sich bei Anordnung mehrerer Pfeiler das Eis in der Regel vor diesen in Gewölbeform verkeilt hätte und nicht mehr mobilisiert werden könnte. Diese Bedingung stand mit den Gegebenheiten der bestehenden Gänziloo-Brücke, die ebenfalls zwei Felder aufweist, im Einklang, so dass der gewählten Lage der Sperrstelle unmittelbar oberhalb dieser Brücke keine grundsätzlichen Bedenken entgegenstanden. Gemäss den hydraulischen Berechnungen, die durch die Modellmessungen der VAWE bestätigt wurden, ergaben sich zwei Wehröffnungen von je 20 m Breite. Auf Notverschlüsse in Form von Dammbalken wurde verzichtet, da das Wehr nur kurze Zeit vor und während Eisgängen unter Stau steht, so dass Unterhaltsarbeiten oder allfällige Reparaturen an den Verschlussorganen während der übrigen Zeit in Anbetracht der meist geringen Wasserführung der Sihl mit bescheidenen Hilfsmassnahmen durchgeführt werden können.

Bei Annahme der auf die Wehranlage wirkenden Kräfte war vor allem die unbekannte, schwer erfassbare Eisbelastung abzuschätzen. Schliesslich wurden die horizontalen Eislasten nach der DIN-Norm 19704 angesetzt, die für Stauwände und ihre örtlichen Aussteifungen auf 3 m Tiefe an Stelle des Wasserdruckdreiecks einen gleichmässigen Flächendruck von 3,00 Mp/m² vorsieht, während das Haupttragwerk auf Wasserspiegelhöhe und am unteren Rand des Wehrverschlusses durch eine Streckenlast von 1,00 Mp/m zusätzlich belastet wird. Bezüglich der in vertikaler Richtung wirkenden Eislasten wurde auf Grund von Unterlagen früherer Eisgänge, ergänzt durch Beobachtungen anlässlich der hydraulischen Modellversuche, damit gerechnet, dass auf der Oberschütze Eisplatten mit einem Gewicht von 2,00 Mp/m liegen könnten. Weiter wurde ins Pflichtenheft für die Wehrverschlüsse aufgenommen, dass an der unteren Dichtungskante der Unterschütze zwecks Entfernung von eventuell auf der Schwelle liegenden Hindernissen ein Schliessdruck von im ungünstigsten Fall 1,00 Mp/m vorhanden sein muss, wobei sich bei einseitig unter den Dichtungen eingeklemmten Festkörpern die Schützen nur in gewissen Grenzen elastisch verformen und keinesfalls verklemmen dürfen.

Die Entwicklung von geeigneten Wehrverschlüssen, die sämtlichen genannten Abflussbedingungen und Belastungsannahmen genügen und weiteren Forderungen, wie hohe Betriebssicherheit, gute Zugänglichkeit der Antriebe auch im Betriebszustand sowie Rücksichtnahme auf die Belange des Natur- und Heimatschutzes, entsprechen, war eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, wobei sich die Erfüllung aller gestellten Forderungen besonders deshalb als schwierig erwies, weil die maximale Stauhöhe von nur 5,50 m und damit die geringe Pfeilerhöhe in einem ungünstigen Verhältnis zur Wehröffnungsbreite von 20 m stand. Deshalb sind bereits bei der Klärung der grundsätzlichen Fragen die umfassenden Erfahrungen zweier renommierter Firmen des Stahlwasserbaues, der AG Conrad Zschokke, Döttingen [4]), und der Stahlbauunternehmung Wartmann & Cie AG, Brugg [4]), eingeholt worden. Aus einer Fülle von Varianten resultierten schliesslich zwei verschiedene von den Firmen zur Ausführung vorgeschlagene Lösungen. Die AG Conrad Zschokke brachte Doppelsegmentschützen in Vorschlag, während die Firma Wartmann & Cie AG Hub-Faltschützen zur Ausführung empfahl. Auf Grund einer Submission wurde der Auftrag an die AG Conrad Zschokke vergeben, wobei neben den geringeren Kosten technische und betriebliche Überlegungen den Ausschlag gaben. Die Probleme der Wehrverschlüsse werden in einem nachfolgenden Beitrag [2] behandelt, so dass hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Beim baulichen Teil der Wehranlage sei nur auf einige Besonderheiten hingewiesen. Um den Grundwasserträger möglichst wenig einzuengen, wurde auf einen vertikalen Sporn in die verhältnismässig undurchlässige Moräne verzichtet. Die Grundbruchsicherheit der Anlage konnte durch die Anordnung eines Vorbodens sichergestellt werden, wobei sich die erforderliche Sickerstrecke nach den Kriterien von *Lane* und *Blight* ergab. Wasserdicht ausgebildete Fugen zwischen Vorböden, Wehrschwellen und Pfeilerfundamenten verhindern die ungewollte Verkürzung des Sickerweges.

Während die Stabilitätsverhältnisse der Wehrpfeiler und Wehrschwellen nach den üblichen Gesichtspunkten beurteilt worden sind, stellte die Ermittlung der maximalen Schnittkräfte und Spannungen im Bereich der Pfeilerschäfte einige interessante Probleme. Aus den Wehrverschlüssen resultieren auf den Mittelpfeiler folgende maximalen Beanspruchungen: Drehlager 2 · 260 Mp; Hubwerke der Unterschützen 2 · 178 Mp; Hubwerke der Oberschützen 2 · 108 Mp. Alle diese Reaktionen können in mannigfaltigen Kombinationen auftreten. Wie bei den Widerlagerpfeilern, muss auch beim Mittelpfeiler damit gerechnet werden, dass die Kräfte einseitig auftreten können, so dass sich die Beanspruchung der schlanken Pfeilerschäfte aus der Superposition von Scheiben- und Momentenwirkung ergibt. Nach eingehenden Studien wurde im Messlabor *H. Hossdorf,* Basel, ein statischer Modellversuch an einem mit Dehnmessstreifen versehenen Araldit-Modell durchgeführt (Bild 8), wobei in jedem der Kraftangriffspunkte die Einheitskräfte X und Y sowie die Einheitsmomente Mx und My angesetzt wurden. Mit Hilfe der zwölf auf diese Art erhaltenen Einflussflächen liessen sich sämtliche auftretenden Lastfälle berechnen. Im Bild 9 sind die Ergebnisse für einen Lastfall dargestellt.

Die maximalen Betonspannungen an den drei Lastangriffspunkten, die in der Fuge zwischen Stahlkonstruktion und Beton auftreten, wurden nach der Theorie des elastisch gelagerten Balkens bzw. des elastisch eingespannten Krag-

[4]) Jetzt Zschokke-Wartmann AG, Brugg

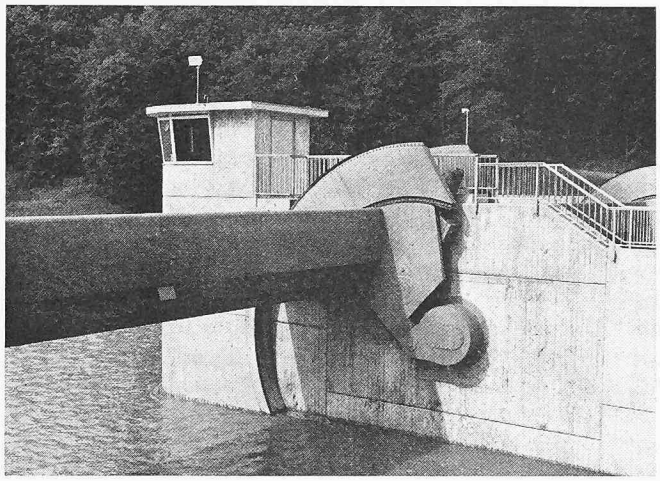


Bild 6. Mittelpfeiler von der Gänziloobrücke aus, Schützen in Sommerstellung

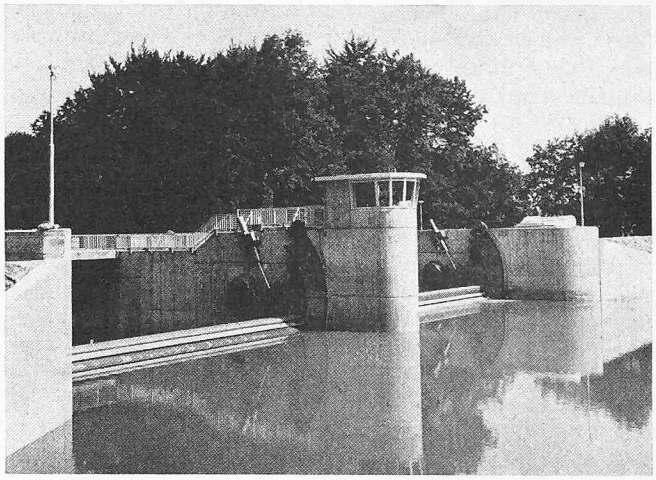


Bild 7. Staubetrieb am Wehr

armes ermittelt, wobei die Bettungsziffer des Betons und die Verteilung der Druckspannungen am Umfang durch obere und untere Grenzwerte eingegabelt wurden.

Das genaue Versetzen der Drehlager und der Pressenaufhängungen stellte grosse Probleme und musste beim Festlegen der Arbeitsfugen und der Armierung gebührend berücksichtigt werden (Bild 10), wobei sich die Wahl orthogonaler Netze als Hauptarmierung sehr vorteilhaft auswirkte.

Die Bauherrschaft beauftragte das Ingenieurbüro Dr. *E. Staudacher* und *R. Siegenthaler,* Zürich, mit der Prüfung der statischen Berechnung sämtlicher Bauteile, für dessen wertvolle Mitwirkung an dieser Stelle gedankt sei.

3. Bauausführung, Baukosten, Inbetriebnahme

3.1 Bauausführung, Bautermine, Baukosten

Anlässlich der im Sommer 1967 durchgeführten Submission für die Tiefbau und Eisenbetonarbeiten gingen zahlreiche Angebote ein. Auf Grund des Offertenvergleiches erteilte die Bauherrschaft den Auftrag für die Ausführung von Wehranlage und Dammbauten an die Firma Locher & Cie AG, Zürich.

Dem Unternehmer wurde auferlegt, in jeder Bauphase der Wehranlage mit einer Risiko-Hochwassermenge von 300 m^3/s zu rechnen. Zusätzliche Aufwendungen beim vorübergehenden Fluten von Baugruben waren in die offerierten Preise einzukalkulieren. Daneben war anzustreben, während der Wintermonate bzw. der Periode möglicher Eisgänge keine Baugrubenabschlüsse im Flussprofil zu belassen. Diese sicher nicht leichte Aufgabe löste der Unternehmer im Kontakt mit der Bauleitung derart, dass in einer ersten Bauetappe der Mittelpfeiler, der rechte Widerlagerpfeiler mit den dahinter liegenden Diensträumen und der Trafostation sowie die rechtsseitige Wehrschwelle ausgeführt wurden. In einer zweiten Bauphase folgten nach entsprechendem Umspunden der linke Widerlagerpfeiler und die anschliessende Wehrschwelle, während der Vorboden und der unterwasserseitige Kolkschutz in weiteren Etappen eingebracht wurden. Eine verhältnismässig zeitraubende Arbeit bestand im Versetzen der aus konstruktiven und ästhetischen Erwägungen heraus auf den Wehrschwellen und dem Vorboden vorgesehenen Granitstein-Verkleidung.

Gleichzeitig mit dem Wehr wurden auch die Abschlussdämme errichtet, wobei das Bauprogramm weitgehend vom militärischen Übungsbetrieb und der zu erwartenden Wasserführung der Sihl bestimmt wurde. Der rechtsseitige Dammkörper zwischen Gänziloo- und Höcklerbrücke erforderte dabei den mit Abstand grössten Zeit- und Materialaufwand. In einer ersten Bauphase wurde der Werkkanal der ZPS trockengelegt und Sohle und Wände mit einem Trockenmauerwerk aus Lägernkalk vollständig neu ausgekleidet. Um den Energieausfall in engen Grenzen zu halten, wurde der Kanal so schnell wie möglich wieder in Betrieb genommen, um in Fortsetzung der nunmehr standfesten Kanalböschung den homogenen Beckendammkörper aufzubauen.

Mit den Tiefbau- und Eisenbetonarbeiten konnte im Frühjahr 1968 begonnen werden. Nach einer Bauzeit von ungefähr fünfviertel Jahren wurden Wehranlage und Dämme im Frühsommer 1969 fertiggestellt. Die umfangreichen Installationen, unter anderem für die Beleuchtung des Stauraumes, sowie die Fertigstellungsarbeiten fanden im Herbst 1969 ihren Abschluss, wobei der Bepflanzung im Hinblick auf den Landschaftsschutz besondere Beachtung geschenkt wurde. Die gesamte Anlage konnte termingemäss im Spätherbst 1969 der Bauherrschaft übergeben werden, wobei die Einhaltung dieses Termines von besonderer Wichtigkeit war, weil bereits im Frühjahr 1969 mit dem Bau der Sihlhochstrasse begonnen worden war.

Die reinen Baukosten – ohne die Aufwendungen für Sondierungen, Modellversuche, Landerwerb und Entschädigungen sowie Honorare – beliefen sich gemäss der Schlussrechnung auf 4430000 Fr. Dieser Betrag setzt sich aus folgenden Teilleistungen zusammen: Baulicher Teil der Wehranlage (ohne Wehrverschlüsse) 1650000 Fr., Wehrverschlüsse einschl. Antriebe und Überwachungsgeräte 830000.— Fr., Dammbauten einschl. Sanierungsmassnahmen am Werkkanal 1950000.— Fr. Die Bauherrschaft konnte mit Genugtuung

---

Nebenstehende Seite, oben:

Bild 8. Ansicht (links) und Schnitt (rechts) des im Massstab 1:50 hergestellten Araldit-Modelles zur Ermittlung der Pfeilerschaft-Beanspruchungen (Modellversuch Ingenieurbüro *H. Hossdorf,* Basel; Auswertung Ingenieurbüro *Eichenberger AG,* Zürich)

Nebenstehende Seite, unten:

Bild 9. Beanspruchung des Mittelpfeilers bei Vollstau im Zeitpunkt, da die Unterschütze angehoben wird, während sich die Oberschütze im Beharrungszustand befindet. Direkt auf den Pfeiler einwirkende Wasserdrücke werden vernachlässigt. Links oben: Spannungen bei symmetrischem Lastangriff. Links unten: nur einseitiger Lastangriff, Spannungen auf der Last abgewendeten Seite [1]). Rechts unten: nur einseitiger Lastangriff, Spannungen auf der der Last abgewendeten Seite [1])

[1]) Nur einseitiger Lastangriff am Mittelpfeiler ist bei Vollstau praktisch nicht möglich, stellt jedoch die für die Widerlagerpfeiler massgebende Beanspruchungsart dar.

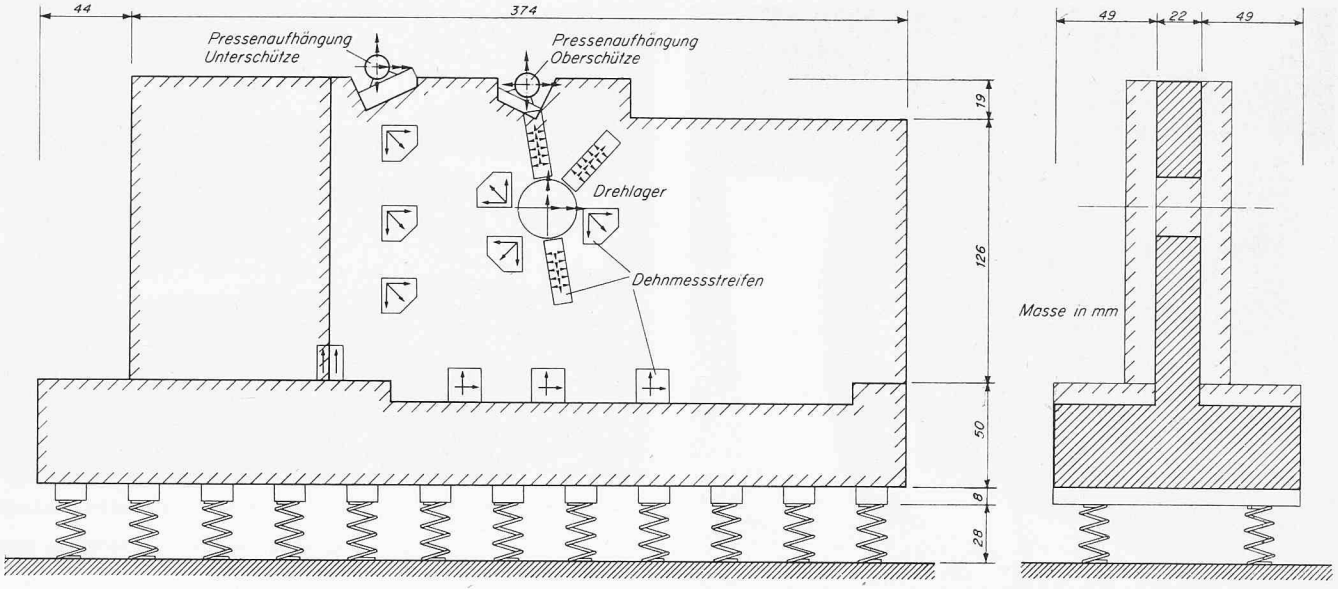
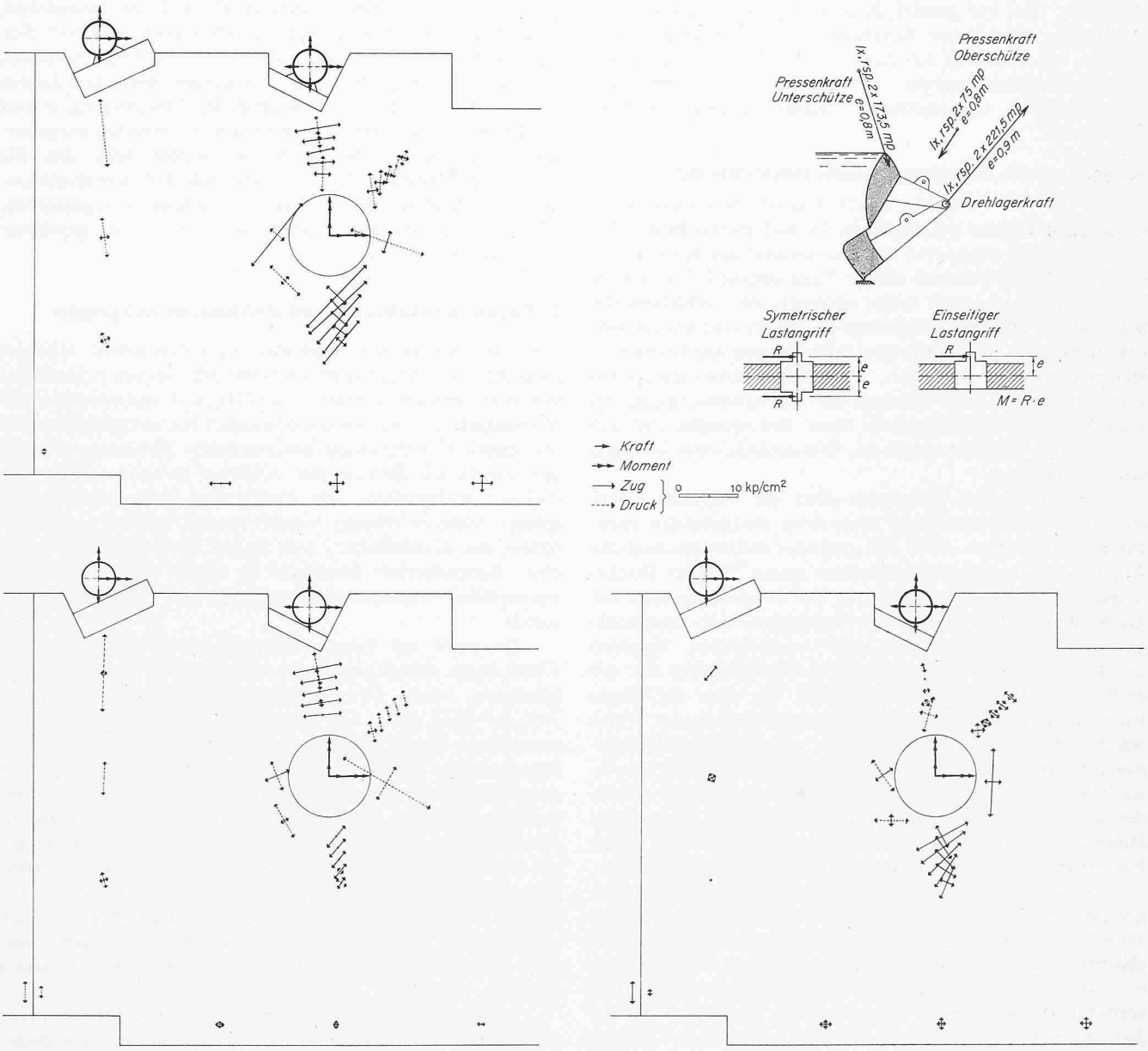
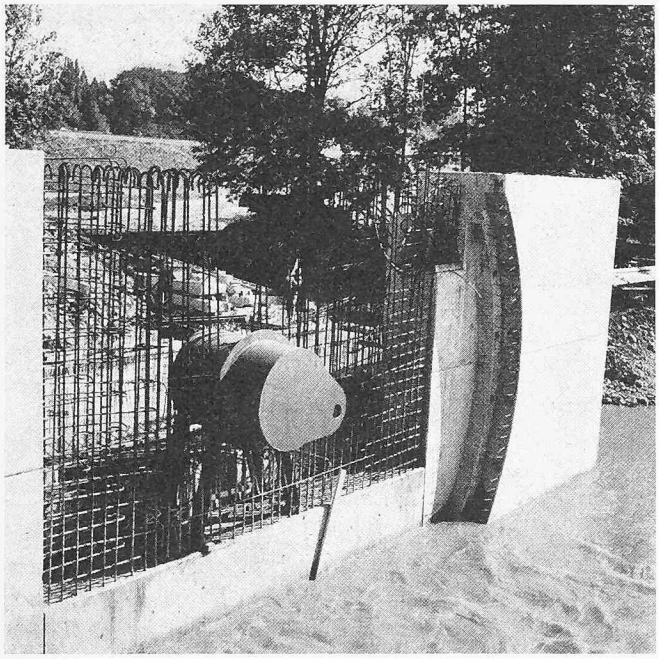

44
374
Pressenaufhängung Unterschütze
Pressenaufhängung Oberschütze
Drehlager
Dehnmessstreifen
19
126
50
8
28
49
22
49
Masse in mm

Bild 8

Bild 9


Pressenkraft Oberschütze
Pressenkraft Unterschütze
1x, rsp. 2x 173,5 mp e=0,8m
1x, rsp. 2x 75 mp e=0,8m
1x, rsp. 2x 221,5 mp e=0,9m
Drehlagerkraft
Symetrischer Lastangriff
Einseitiger Lastangriff
R
e
M = R · e
Kraft
Moment
Zug
Druck
0
10 kp/cm²



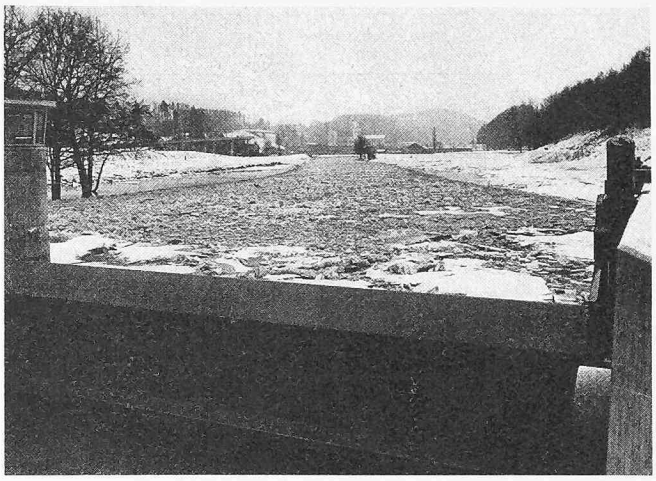


Bild 11, oben. Erster Eisgang nach Fertigstellung des Retentionsbeckens

Bild 10, links. Drehlager der Doppelsegmentschütze mit Montage- und Verankerungseinrichtung im rechten Widerlagerpfeiler

Photos: Bilder 1 und 11: *Keller;* Bilder 2 und 6: *Brügger;* Bild 7: *Signer;* Bild 10: *Fiedler.*

feststellen, dass die gemäss detailliert aufgestelltem Kostenvoranschlag bewilligten Baukredite nicht voll beansprucht wurden, was einerseits auf die im Sommer 1967 sehr günstigen Unternehmerangebote, andererseits auf das Bemühen aller Beteiligten, wirtschaftliche Lösungen zu finden, zurückzuführen ist.

3.2 Stauversuche, Abnahmeprüfungen, Inbetriebnahme

In der Zeit vom 10. bis 27. August 1969 wurden die ersten Stauversuche durchgeführt. In bestimmten Intervallen wurde der Stau sukzessive bis zum Stauziel auf Kote 427,50 erhöht und dort während einiger Tage gehalten. Der Zweck dieser Versuche bestand darin, einerseits die Dichtigkeit des Staubeckens und der Wehranlage zu prüfen und andererseits die quantitative und qualitative Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse zu verfolgen. Die Dichtigkeitskontrolle fiel zufriedenstellend aus, während der Grundwasserspiegel erwartungsgemäss schnell auf die neuen Bedingungen ansprach und sich die Veränderungen im Wasserchemismus in engen Grenzen hielten.

Nachdem am 6. November 1969 die «trockene» Abnahme der Wehrverschlüsse ohne Stau stattgefunden hatte, wurde am 21. Nov. 1969 die gesamte elektro-mechanische Anlage der Verschlussorgane einem ersten Test bei Staubedingungen unterzogen. Dabei galt das Hauptaugenmerk folgenden Punkten: Kontrolle der Dichtungen, Hub- und Senkgeschwindigkeiten der Ober- und Unterschützen, Vergleich der an den Manometern abgelesenen Pressendrücke mit den errechneten Werten sowie Kontrolle der von der Firma Franz Rittmeyer AG, Zug, gelieferten kombinierten Wehrstellungsempfänger mit eingebauten, automatischen Blockiereinrichtungen. Für detailliertere Angaben sei auf [2] verwiesen. Parallel zu diesem Versuchsprogramm wurde der Verlauf der Schwallwellen im Unterlauf der Sihl verfolgt, wodurch im Hinblick auf den späteren Betrieb Hinweise über deren Fortbewegungsgeschwindigkeit und Höhe gewonnen wurden.

Da alle Abnahmeprüfungen zur Zufriedenheit ausfielen, konnte die Eisretentionsanlage noch vor dem Wintereinbruch 1969/1970 der Wasserwehr der Stadt Zürich zur Bedienung übergeben werden. Diese Alarm- und Katastrophenorganisation verfügt über Spezialisten, die die Anlage dauernd in betriebsbereitem Zustand halten und im Bedarfsfall die Bedienung übernehmen können. Bereits im Winter 1969/70 stellte sich ein kleinerer Eisgang ein (Bild 11), der Gelegenheit zur Prüfung von Anlage und Betriebsorganisation bot. Für die eigentliche Bewährungsprobe muss allerdings noch ein repräsentativer Eisgang abgewartet werden, doch darf diesem «Ernstfall» auf Grund der eingehenden Modellversuche und der Ergebnisse aus den Stauversuchen optimistisch entgegengesehen werden. Sicher sollte es möglich sein, das Eis schwimmend zurückzuhalten und so jede Katastrophensituation zu verhindern. Wieweit das Eis nachher in sogenannten Eisschüben abgeführt werden kann, wird sich zu gegebener Zeit in der Natur erweisen.

4. Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Zum Schutz von geplanten und inzwischen teilweise ausgeführten Einbauten im Flussbett der Sihl vor Auswirkungen einer unkontrollierten Eisabfuhr und insbesondere zur Vermeidung von daraus resultierenden Katastrophensituationen durch Überflutungen verursachende Eisbarrierenbildungen wurde im Bereich der Allmend Brunau südlich des engeren Stadtgebietes von Zürich eine Eisretentionsanlage gebaut. Unseres Wissens handelt es sich um das erste Vorhaben, das ausschliesslich zum Zweck des Eisrückhaltes und einer kontrollierten Eisabfuhr in einem Fluss mit stark wechselnder Wasserführung geplant und auch ausgeführt wurde.

Da nicht auf Untersuchungsergebnisse und praktische Erfahrungen zurückgegriffen werden konnte, musste in weitgehendem Masse Grundlagenforschung betrieben werden. Auf der Basis einer von der Ingenieurgemeinschaft Sihlexpressstrasse Zürich eingebrachten Vorstudie sowie eines vom Ingenieurbüro Hans Eichenberger, Zürich, ausgearbeiteten generellen Projektes wurden an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau der Eidg. Technischen Hochschule Zürich (VAWE) im Verlaufe mehrjähriger Modelluntersuchungen die hydraulischen und eismechanischen Grundlagen erarbeitet. Anhand der dazu durchgeführten Messungen konnte nachgewiesen werden, dass unkontrollierte Eisgänge vor den projektierten Hochstrassenpfeilern zu gewölbeartigem Aufstau und somit zu katastrophalen Folgen Anlass geben können.

Aufbauend auf den Ergebnissen der dreidimensionalen Grundlagen-Modellversuche der VAWE, den von den beige-

zogenen Stahlwasserbaufirmen AG Conrad Zschokke, Döttingen, und Wartmann & Cie AG, Brugg, eingebrachten Verschlusstypen-Vorschläge sowie einem den Gegebenheiten angepassten Vorprojekt des beauftragten Ingenieurbüros wurden von der VAWE detaillierte hydraulische und eismechanische Versuche durchgeführt. Diese stellten die Funktionstüchtigkeit und Realisierbarkeit der vorgeschlagenen Eiswehr-Konstruktion unter Beweis.

Dass die Retentionsanlage als Voraussetzung für die Verwirklichung des südlichen Astes des Zürcher Expressstrassen-Konzeptes nach einer etwa achtjährigen Planungs-, Versuchs- und Projektierungsphase schliesslich in den Jahren 1968 und 1969 gebaut und Ende 1969 dem Betrieb übergeben werden konnte, ist in weitgehendem Masse der Initiative von Kantonsingenieur *H. Stüssi* zu verdanken. Seine engsten Mitarbeiter unterstützten ihn dabei wirkungsvoll und trugen sowohl während der Planungs- als auch in der Ausführungsphase wesentlich zum Gelingen des Werkes bei.

Es ist mir ein Bedürfnis, sämtlichen an Projekt und Bauausführung Beteiligten für die fruchtbare Zusammenarbeit zu danken. Möge dies ein gutes Omen für den zukünftigen Betrieb der Eisretentionsanlage sein.

Adresse des Verfassers: *Eduard Marth*, dipl. Ing. ETH, SIA, Ingenieurbüro Eichenberger AG, Sumatrastrasse 22, 8006 Zürich.

Am Bau Beteiligte

Bauherr: Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich

Oberbauleitung: Tiefbauamt des Kantons Zürich

Projekt und Bauleitung: Ingenieurbüro Eichenberger AG, Zürich, im Rahmen der Ingenieurgemeinschaft Sihlexpressstrasse Zürich, gebildet von den beiden Zürcher Ingenieurbüros Soutter & Schalcher und Hans Eichenberger (jetzt: Schalcher und Partner – Eichenberger AG)

Hydraulische und eismechanische Untersuchungen: VAWE, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH Zürich (jetzt VAW, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich)

Flussbauliche Grundlagen, Unterlagen früherer Eisgänge: Tiefbauamt des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau

Geologische Untersuchungen, Grundwasserprobleme: Geologisches Büro Prof. Dr. Heinrich Jäckli, Zürich

Tiefbauunternehmung für die Wehranlage und die Dammbauten: Locher & Cie. AG, Zürich

Stahlbauunternehmung für die Projektierung, Lieferung und Montage der beweglichen Wehrverschlüsse: AG Konrad Zschokke, Döttingen (jetzt Zschokke Wartmann AG, Brugg)

Literatur

[1] *Christian Taubmann:* Modellversuche für das Eisretentionsbecken in der Sihl (folgt in einem der nächsten Hefte der «Schweizerischen Bauzeitung»).

[2] *Lothar J. Streuli:* Die beweglichen Verschlüsse für das Eiswehr in der Sihl (folgt in einem der nächsten Hefte der «Schweizerischen Bauzeitung»).

Platten aus modifiziertem Müllgrundstoff nach Verfahren Jetzer

DK 628.443:691.31

Ergebnisse von Untersuchungen technischer Eigenschaften, ausgeführt an der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Dübendorf und St. Gallen. Versuchsetappe 1972/73. Bericht erstattet durch Prof. **H. Kühne**, EMPA, Dübendorf

Vorwort

Im Jahre 1971 gelangte das Eidg. Amt für Umweltschutz (AfU) an die Eidg. Materialprüfungsanstalt (EMPA), um Pressplatten aus nach dem Jetzer-Verfahren aufbereitetem Müllgrundstoff hinsichtlich ihrer bautechnischen Anwendbarkeit untersuchen und beurteilen zu lassen. Erstes Ziel der Untersuchungen war, eine Grundlage für eine Marktstudie zu schaffen, welche die Möglichkeiten eines wirtschaftlichen Einsatzes solcher Platten im Bauwesen ergründen soll.

Es wurde dabei geltend gemacht, dass von seiten der Allgemeinheit, im besonderen des Umweltschutzes, ein sehr grosses Interesse besteht, Verwendungsmöglichkeiten von Siedlungsabfällen zu fördern, besonders aber solche Verfahren, welche eine nutzbringende Reintegration der grossen Müllmengen oder wenigstens eines Teiles davon erlauben («Recycling»).

Auf Grund eines von der EMPA erstellten, mit dem AfU und dem Institut für Wirtschaftsforschung an der ETH (Prof. Dr. *O. Angehrn*) bereinigten Versuchsprogramms, konnten die Versuche 1972 im Auftrag des AfU in Angriff genommen werden. Der Berichterstatter übernahm die Federführung über die an der von ihm geleiteten Abteilung Holz und den Abteilungen für Akustik (Prof. Dr. *A. Lauber*), für Bauphysik (Ing. *R. Sagelsdorff*), für organische Chemie (Dr. *K. Banholzer*) und für Werkstoffbiologie (Prof. Dr. *O. Wälchli*) durchgeführten Untersuchungen. An den chemisch-analytischen Arbeiten war auch die Müllabteilung (Dr. *W. Obrist*) der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz in Dübendorf (EAWAG) beteiligt.

In den folgenden Ausführungen sind die Versuchsergebnisse dieser ersten, bis Anfang 1974 fertiggestellten Untersuchungsetappe zusammengefasst und kommentiert. In diesem Rahmen erschien es nicht sinnvoll, die gesamten versuchsmethodischen Einzelheiten nochmals aufzurollen. Durch Angabe (EMPA Nr. ... und Datum) ist bei den einzelnen Ergebnissen auf die entsprechenden Untersuchungsatteste hingewiesen, welche Angaben hierüber wie auch die Einzelergebnisse enthalten.

Versuchsmaterial

Das Versuchsmaterial, durchwegs in Plattenform, wurde von der Firma Jetzer Engineering, Neuenhof, zur Verfügung gestellt. Der grösste Teil der Platten war in zwei verschiedenen industriellen Holzspanplatten-Fabrikationsanlagen versuchsweise hergestellt worden (Platten A und B). Ergänzend wurden einige zusammengesetzte (C/D) und neun nachträglich besonders hergestellte Plattensorten (E bis N) untersucht. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Plattentypen mit einigen Herstellungsdaten. Das Aussehen der hauptsächlich untersuchten Platten ist aus Bild 1 ersichtlich.

In den vorliegenden Ausführungen ist auf die einzelnen Plattentypen nur dort Bezug genommen, wo entweder nicht alle Plattentypen untersucht wurden oder wo sich in den Eigenschaften eine deutliche Differenzierung ergab.

Die chemische Charakterisierung von Proben des angelieferten Materials durch die EAWAG zeigte u. a., dass die Trockensubstanz des schwach alkalisch reagierenden Materials je nach Holzanteil gewichtsmässig zu etwa einem Drittel bis zur Hälfte aus Zellulose besteht. An anorganischen Bestandteilen (unter anderem Metalle, Sand, Glas) sind rund 20 bis 25 Gew.-% enthalten. Interessant ist die Tatsache, dass der Stickstoffanteil nicht wesentlich grösser ist als aus dem Kunststoff-Bindemittelanteil zu erwarten. Das bedeutet, dass die leicht zersetzlichen Eiweisskomponenten des Roh-Mülls beim Vorkompostieren und durch das Jetzer-Aufbereitungsverfahren weitgehend abgebaut wurden.