

# Modellversuche für das Eisretentionsbecken in der Sihl

Autor(en): **Taubmann, Karl-Christian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **92 (1974)**

Heft 24

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-72392>

## **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.

Von Dr. K.-Chr. Taubmann, Münchenstein



Bild 2. Im Flussbett der Sihl erstellte Hochstrassenpfeiler

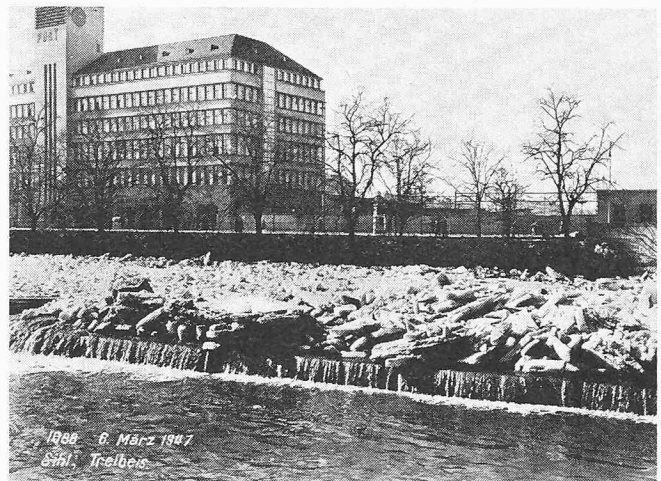


Bild 3. Auftürmung von Treibeis in der Sihl vor der Postbrücke am 6. 3. 1947; aufgestautes Sihlwasser fällt in den Schanzengraben über



Bild 1. Lageplan 1:34 000 mit Sihlverbauungen im Stadtgebiet von Zürich. 1 Höcklerbrücke, 2 Gänziloobrücke mit Stauwehr, darüber Eisretentionsbecken, 3 Sihlhölzli, 4 Postbrücke (Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 27. 7. 1970)

## 1. Problemstellung

Die im Süden der Stadt Zürich auf der Allmend Brunau sich vereinigen den beiden Autobahnen N 3 von Sargans und N 4 (geplant) von Luzern werden durch eine Expressstrasse ins Stadtzentrum hineingeführt. Diese ist zwischen Brunau und Sihlhölzli in Hochlage über dem Flussbett der Sihl trassiert (Bild 1). Das bedingt den Einbau von im Abflussprofil stehenden Hochstrassenpfeilern auf eine Flussstrecke von rund 1200 m mit einem Querabstand der Pfeiler von 13,50 m und einem Längsabstand der Pfeilerpaare von 42,40 m (Bild 2).

Da die Sihl im Fließbereich zwischen Sihlsee und ihrer Mündung in die Limmat bei plötzlichem Wechsel von einer langfristigen Kälteperiode auf eine von anschwellendem Sihlabfluss begleitete Tauperiode mit beträchtlichen Eisgängen befrachtet sein kann, bestünde eine akute Gefahr darin, dass sich zwischen den genannten Pfeilerpaaren Eisbarrieren bilden, die ihrerseits Wasserstau und Überflutungen angrenzender Quartiere zur Folge haben könnten. In den letzten vierzig Jahren sind zwölf grössere Eisgänge in der Sihl beobachtet worden, von denen derjenige vom 6. März 1947 eine Eisbarriere bei der Postbrücke am Zürcher Hauptbahnhof mit sich brachte (Bild 3). Es verblieb für den Sihlabfluss nur die Möglichkeit des Überströmens in den Schanzengraben. Ein Eisgang der Sihl kann nach Schätzungen bis zu 100 000 m<sup>3</sup> aufweisen, wobei die einzelnen Eisschollen Ausmasse von einigen Quadratmetern Fläche und bis zu 40 cm Stärke erreichen. Neben der Gefahr des Auftürmens von Eisschollen besteht auch die des Zusammenfrierens bei erneutem Kälteeinbruch, wobei das auftretende Sulzeis wie ein Bindemittel wirkt und sich eine kaum sprengbare Eisbarriere entwickeln kann.

Bei dieser Sachlage stellte sich vor Inangriffnahme des Expressstrassenbaues über der Sihl die Frage nach Sanierungsmaßnahmen zur Bannung der Gefahr von Eisbarrierenbildungen an den Pfeilern der Sihlhochstrasse. Die geeignetste Massnahme schien das Auffangen eines Eisganges in einem Sihlabschnitt oberhalb der gefährdeten Zone zu sein. Der Eisgang soll nicht am Wehrverschluss gebremst werden, sondern auf einem durch Vorstau gebil-

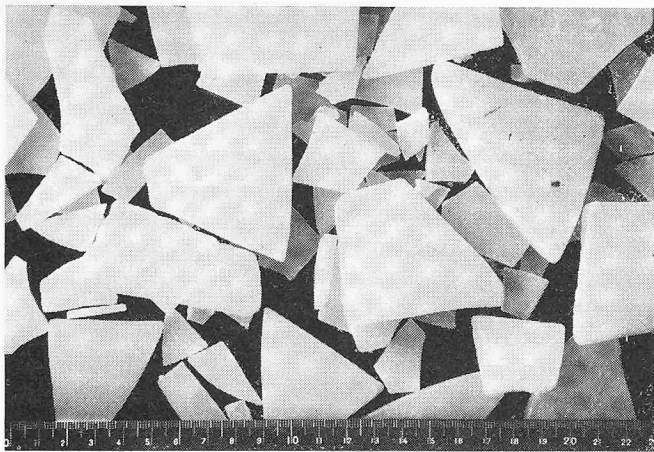


Bild 4. «Paraffineis»-Mischungprobe im Massstab 1:30

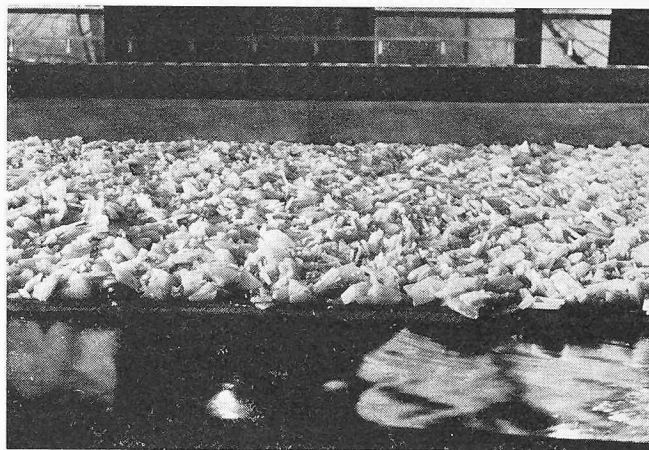


Bild 5. «Paraffineis» mit naturähnlicher Barrierenbildung in der Sihl vor der Postbrücke im Massstab 1:30

deten Wasserpolster aufschwimmen. Aus diesem Eisfangbecken soll dann mit Hilfe von Regulierorganen eine Folge von kleineren, mit möglichst hohem Wasseranteil dosierten Eisschüben abgelassen werden, die bei ausreichender «Verflüssigung» nicht mehr zur Barrierenbildung neigen. Das Hauptproblem besteht also in einer gefahrlosen Eisabfuhr in den genannten Sihlabschnitten mittels eines Auffangbeckens in der Allmend Brunau, dessen Füllung, Speicherung und Entleerung kontrolliert erfolgen soll.

Bereits im Jahr 1960 erteilte der Regierungsrat des Kantons Zürich im Einvernehmen mit dem Eidgenössischen Amt für Strassen- und Flussbau sowie mit dem Tiefbauamt der Stadt und des Kantons Zürich der Hydraulischen Abteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau (VAWE)<sup>1)</sup> an der Eidg. Technischen Hochschule Zürich, unter der Direktion von Prof. G. Schnitter, den Auftrag zur Durchführung von Modellversuchen, um die grundsätzliche Frage der Zulässigkeit von Einbauten im Sihlflussbett wegen der Verstopfungsgefahr bei Eisgängen [1] zu klären. In Ergänzung dazu wurde die VAWE mit der Durchführung von Modellversuchen für die Zurückhaltung von Eisgängen der Sihl im Gebiet der Allmend beauftragt [2]. Eine generelle Projektstudie lag dazu vom Ingenieurbüro *Eichenberger AG*, Zürich, vor.

## 2. Modellversuche

In Ermangelung von Unterlagen über Kenntnisse und Erfahrungen bei der kontrollierten Behandlung von derartigen Eisgängen im In- und Ausland war es notwendig, sich in Grundlagenversuchen sowohl qualitative als auch quantitative Erkenntnisse zu verschaffen, die die natürlichen Verhältnisse und Vorgänge möglichst naturgetreu wiedergeben. Qualitative Erkenntnisse stützen sich dabei auf die Nachbildung von Eisgängen im Modell sowie auf deren Vergleich mit beschriebenen und photographisch erfassten Naturvorgängen, insbesondere die Prüfung der Reproduzierbarkeit von an der Postbrücke beobachteten Eisbarrieren. Quantitative Erkenntnisse beziehen sich beispielsweise auf die zu transportierende Eismenge, den zeitlichen Ablauf eines Eisschubes sowie die Wasserabflussgrösse zur Erhaltung der Schwimmfähigkeit von Eisschollen.

Es war im wesentlichen das Verdienst der Ingenieure V. Caprez, Sektionschef, und seinem Mitarbeiter W. Trach-

sel, diese mehr qualitativen Grundlagenversuche in den Jahren 1960 und 1961 erfolgreich durchgeführt zu haben. Leider hat die VAWE diese beiden tüchtigen Ingenieure kurze Zeit danach durch Unglücksfälle verloren. Auf diesen Grundlagenversuchen konnten die mehr quantitativen Modellversuche aufbauen, die unter der Leitung von Sektionschef Ing. E. Bisaz und des Verfassers im Zeitraum von 1964 bis 1966 zur Durchführung gelangten. An dieser Stelle sei auch Dank und Anerkennung für die fruchtbare Zusammenarbeit mit den Fachleuten der Kantonalen Bau- und Kantonsingenieur *Stüssi*, den Ingenieuren der Abteilung für Wasserbau und Gewässerschutz *Bachofen* und *Bachofner* sowie den Projektverfassern der Ingenieurgemeinschaft Sihlexpressstrasse Zürich (Ingenieurbüro *Eichenberger AG*), insbesondere den Ingenieuren *Schöpflin* und *Marth* ausgesprochen.

### 2.1 Grundlagenversuche zur Frage der Nachbildung natürlicher Eisgänge im ruhenden und bewegten Stadium

Da ausländische Versuchsanstalten wenig derartige Modelluntersuchungen durchzuführen hatten und die Fachliteratur kaum Hinweise enthielt, musste notwendigerweise der Eistrieb als versuchstechnisches Problem in Grundlagenversuchen behandelt werden. Im wesentlichen waren folgende Fragen zu klären [3]:

1. Welches Versuchsmaterial kommt für eine naturähnliche Nachbildung von Eisgängen in Frage und welche massgebenden Eigenschaften muss dasselbe aufweisen?

Als geeignetstes Versuchsmaterial erwies sich Paraffin, das die meisten der als massgebend erachteten Eigenschaften erfüllte:

- a. Sein spezifisches Gewicht liegt mit  $0,88 \text{ g/cm}^3$  nahe bei dem von Eis mit  $0,92 \text{ g/cm}^3$  und bleibt auch bei wechselndem Aufenthalt in Wasser oder Luft weitgehend erhalten, so dass seine Schwimmfähigkeit im Gegensatz zu einem anderen Ersatzmaterial, wie beispielsweise Holz, stets gewährleistet ist.
- b. Auch die Herstellung von «Modelleis» durch Umschmelzen der Rohparaffintafeln und Brechen in jedem gewünschten Grössenverhältnis zu den Natureisplatten nach Länge und Dicke ist relativ einfach.

<sup>1)</sup> Heute: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW).

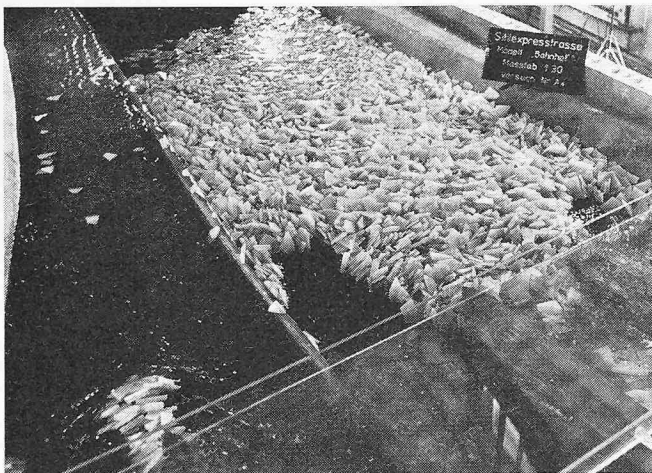


Bild 6. «Paraffineis»-Barrieren blockieren den Sihlabfluss durch die Postbrücke; Rückstau bewirkt Überfall in den Schanzengraben

- c. Es weist eine genügend hohe Abnutzungsfestigkeit bei wiederholtem Gebrauch auf und behält die dem Natureis entsprechende Form und Farbe für Vergleichsaufnahmen bei.

Diesen Vorteilen stehen lediglich die fehlende «Gefrierbarkeit» – analog zum Zusammenfrieren von Natureis tafeln – sowie die fehlende Nachbildungsmöglichkeit von Grus- und Sulzeis als sichtbare Nachteile gegenüber. Inwieweit diese für die Nachbildung eines Eisganges ins Gewicht fallen, sollen die Grundlagenversuche zeigen. Dazu ist zu bemerken, dass im allgemeinen Platteneisgänge als die relativ gefährlichsten Eisgangtypen anzusehen sind.

2. Welche Versuchsmethoden bezüglich geeigneter Beschickung mit «Modelleis» und Ablauf des Bewegungsmechanismus eines «Modelleisganges» ähnlich dem natürlichen Vorgang sind zu entwickeln?

Als geeignete Versuchsmethoden bezüglich Beschickung des Modelles mit «Paraffineis» haben sich folgende ergeben:

- Eine «natürliche» Beschickung in der Form, dass eine im trockenen Modellflussbett gleichmässig verteilte «Paraffineisschicht» vom Wasserzufluss unter- bzw. durchströmt wird und dadurch nach und nach zum Aufschwimmen gelangt.
- Eine «künstliche» Beschickung in der Form, dass einem vorgestauten Wasserpolster ein gewisses Quantum «Paraffineis» aus einem Silo über eine unter Wasser reichende Rutsche dem Modellfluss beigegeben wird.

Auf den Bewegungsablauf eines «Modelleisganges» haben sowohl Flusswasserführung als auch Menge und Mischung des Platteneis wesentlichen Einfluss.

Auf Grund des durch Photos gut dokumentierten Endstadiums eines Eisganges im Sihlabschnitt Gessnerbrücke-Postbrücke-Zollbrücke mit Eisbarrieren vor den Pfeilern der Postbrücke wurde diese Sihlflussstrecke für die erwähnten Vergleichsversuche ausgewählt. Von ihr wurden zwei Modelle, eines im Massstab 1:30 und das andere 1:60, erstellt. An diesen konnten unter naturähnlichen Bedingungen, wie 1) Platteneis-Mischung gemäss Bild 4 sowie 2) Platteneis-Menge von in Natur 15 000 m<sup>3</sup>, einschliesslich etwa 40 % Porenvolumen, unter verschiedenen Sihlabflussgrössen Eisgangmodellversuche vorgenommen werden, deren Endzustand die Vergleichsgrundlage mit dem aus Na-

turaufnahmen hervorgehenden Endzustand darstellt. Dabei wurden beide Beschickungsarten kombiniert angewendet, da nicht genügend Modelllänge für die natürliche Beschickung allein zur Verfügung stand. Bezüglich Sihlabfluss erwies sich eine Verminderung von der Naturgrösse 50 m<sup>3</sup>/s für das Modell 1:30 bis zum Inbewegungsetzen des «Paraffineisganges» auf die Naturgrösse 30 bzw. 80 m<sup>3</sup>/s für das Modell 1:60 auf 50 m<sup>3</sup>/s als realistisch. Die grösseren Abflüsse zu Versuchsbeginn waren zur Erzeugung von Aufstau vor der im Modell eingelegten «Paraffineisschicht» notwendig, da ein erheblicher Sickerwasserverlust vor Inbewegungsetzen des «Modelleisganges» auftrat. Zum Inbewegunghalten des «Paraffineisganges» konnte wegen geringeren «Sickerwasserbedarfs» der auf die genannten Grössen verminderte Abfluss als massgebend angesehen werden.

Das Hauptergebnis dieser Grundlagenversuche besteht in der qualitativ zufriedenstellenden Übereinstimmung des Endzustandes vom «Modelleisgang» mit demjenigen der Naturaufnahme, wie der Vergleich von Bild 3 mit Bild 5 zeigt. Ferner bestätigen Augenzeugen eines Natureisganges einen durchaus naturähnlichen Bewegungsablauf des Eisganges einschliesslich der Schrankenbildung an den Pfeilern der Postbrücke im Modell (Bild 6).

## 2.2 Das Eisauffangbecken in der Allmend Brunau und quantitative Versuche zu seiner Eignungsprüfung

Die eingangs genannten Sanierungsmassnahmen sehen die Schaffung eines Rückhaltebeckens in der Allmend Brunau vor, das einen Eisgang auffangen, speichern und mit Wasser genügend dosiert derart abgeben soll, dass sich im anschliessenden Sihlabschnitt an den Pfeilern keine Eisbarrieren bilden. Das Bauwerk umfasst ein Becken mit entsprechenden Staudämmen (Kronen-Kote 428 m ü. M.) sowie Rückstaudämme an der Oberliegerflussstrecke und ein Eiswehr mit einer maximalen Stauhöhe von 5,50 m über der bestehenden Flußsohle als Abschluss- und Reguliereinrichtung mit zwei, je 20 m breiten Schützenöffnungen.

### 2.2.1 Vorversuche

Die im Modell-Massstab 1:60 am Sihlabschnitt sowohl im Gebiet der Allmend Brunau als auch im Gebiet des Sihlhölzli durchgeführten Vorversuche sollten folgende Fragen beantworten [4]:

- Welche Lage des Retentionsbeckens in der Allmend Brunau ist bezüglich zweckentsprechender Bemessung am günstigsten?

Von zwei Lagevarianten des Ingenieurbüros *H. Eichenberger* wurde derjenigen mit einer Anordnung des Eiswehres unmittelbar vor der Gänziloobrücke zur Aufnahme eines grösstmöglichen Eisganges von 100 000 m<sup>3</sup> der Vorzug gegeben. Die Vorversuche zeigten, dass die Variante mit der Eiswehrlage etwa beim bestehenden Klappenwehr insofern ungünstiger wäre, als der ankommende Eisgang von mittlerer Kubatur (etwa 50 000 m<sup>3</sup>) unter Umständen in beträchtlicher Entfernung vor dem Eiswehr zum Stillstand käme.

- Was für Auswirkungen hat die ungünstigste Pfeilerkombination im Bereich der Expressstrassen-Rampen im Sihlhölzli mit einer gegenüber der Sihlhochstrasse vergrösserten Pfeilerzahl auf die Eisabfuhr?

Es zeigte sich bei diesem ungünstigsten Fall im Modellversuch, dass der Bildung von Eisbarrieren zwischen den Hochstrassenpfeilern *nur* durch einen recht grossen «Verflüssigungsgrad», d. h. einen möglichst hohen Wasseranteil im Verhältnis zur Eismenge, begegnet werden kann (Bild 7),

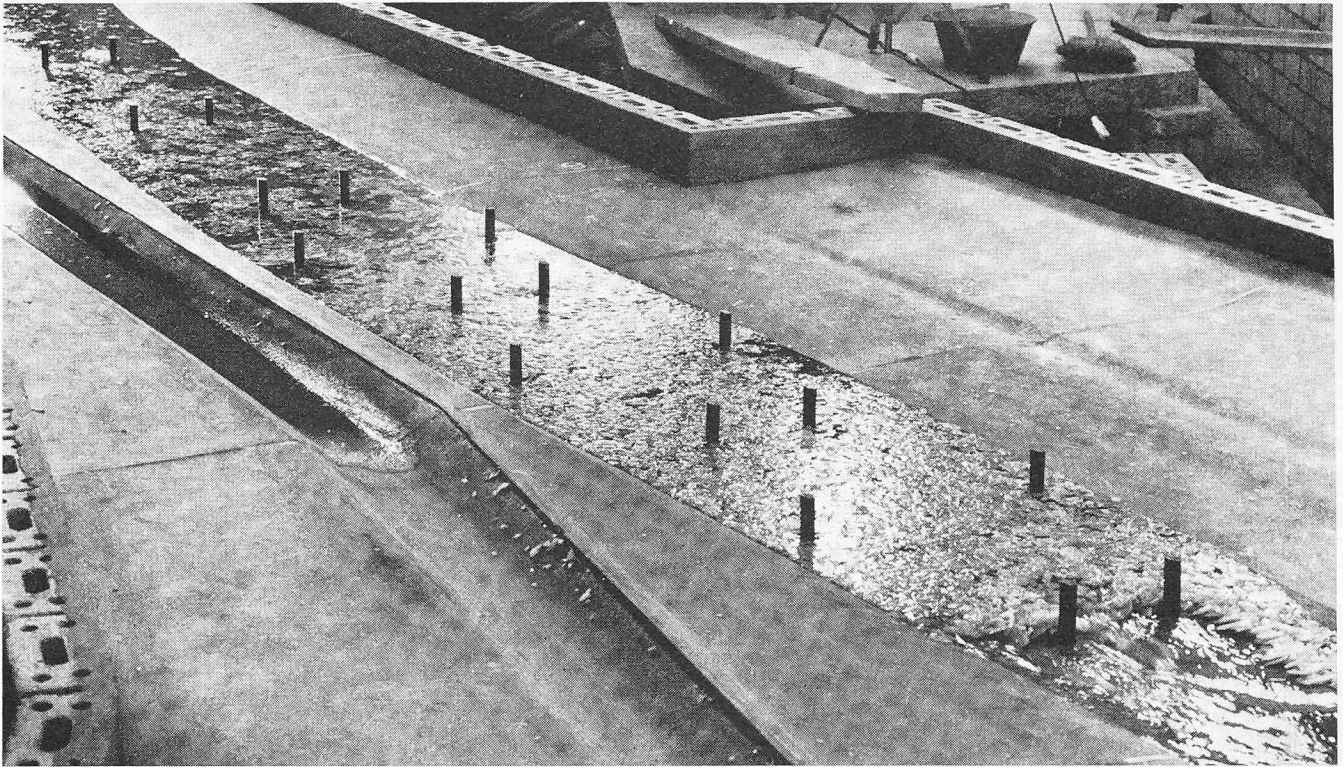


Bild 7. Sihlhochstrassenpfeiler in ungünstiger Kombination eines Anschlusses neigen zur Eisbarrierenbildung

weil sich nur so eine genügend aufgelockerte und «flüssig» schwimmende Formation von Eisschollen ergibt. Dabei soll das Eiswehr ein Verhältnis des Eis- zum Wasservolumen von mindestens 1:15 erzielen können.

3. Ist der Eisdurchgang im Bereich oberhalb des eigentlichen Retentionsbeckens, d. h. bei der Höcklerbrücke, sowie zwischen den rund 100 m flussaufwärts vorgesehenen Brückenpfeilern der Nationalstrasse N 4 gewährleistet?

Bei einer im Modellversuch erprobten Pfeileranordnung für die Überführung der N 4 erhöhte sich die Gefahr einer Eisbarrierenbildung noch nicht, und auch der freie

Durchgang eines Eisganges durch diese beiden Engpässe war unbehindert.

#### 2.22 Hauptversuche

Für die Hauptversuche wurden folgende drei Modelle erstellt [5]:

- 1) ein dreidimensionales Modell zur Funktionsprüfung des Retentionsbeckens und des Eiswehres bezüglich Auffüllen, Speichern sowie schubweisem Entleeren von Wasser mit Platteneis, umfassend die Nachbildung des rund 450 m langen Abschnittes oberhalb des Wehrbauwerkes sowie einer daran anschliessenden rund 250 m langen Sihlflusstrecke im Massstab 1:20;

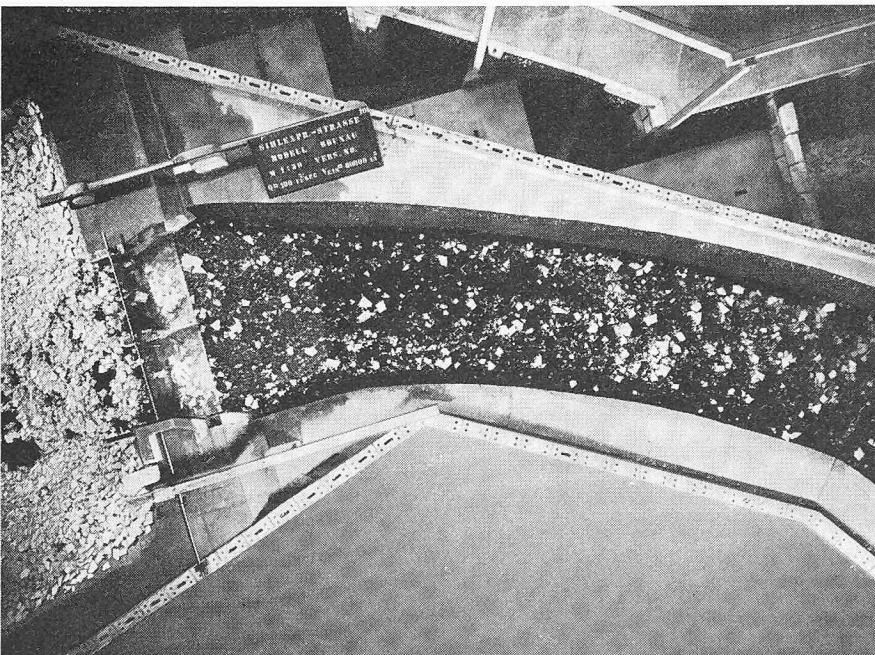


Bild 8. Herauslösen der «Paraffineisplatten» beim Überströmen im wehrnahen Bereich sowie «Verflüssigungsgrad» des Eis-Wasser-Gemisches auf der ans Wehr anschliessenden Sihl-Flusstrecke

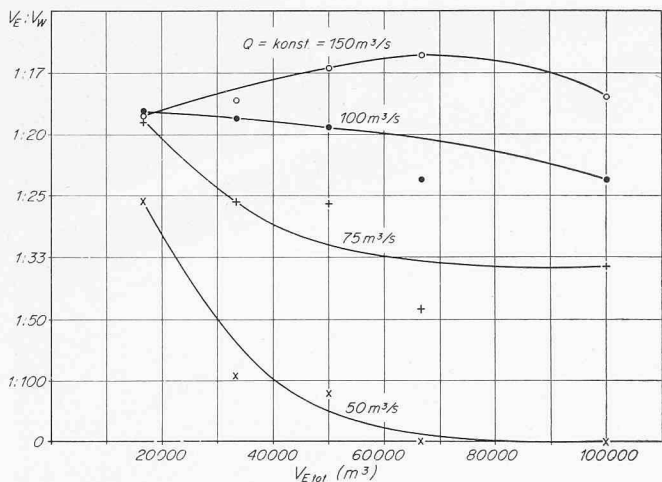


Bild 9. Verhältnis von ausgeflossenem Eis- zu Wasservolumen in Funktion des totalen Eisvolumens bei verschiedenen konstanten Wasserabflüssen

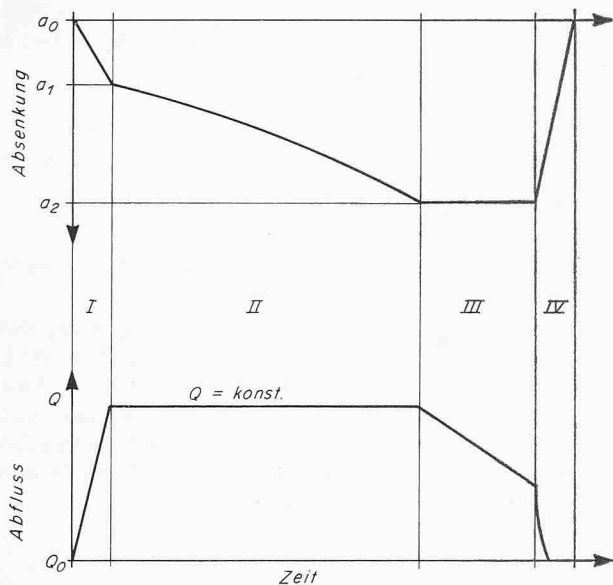


Bild 10. Öffnungsgesetz und Abflusscharakteristik für die Bedienung der Eiswehrverschlüsse zur Entleerung des Eisretentionsbeckens

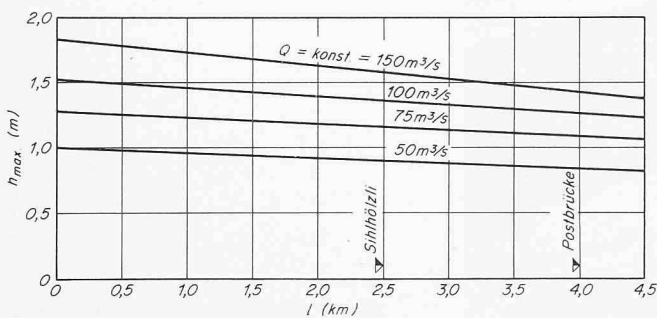


Bild 11. Änderung der Abflusstiefe längs der Sihl zwischen Retentionsbecken und Mündungsgebiet unter dem Stauziel 427,50 m ü. M. für verschiedene konstante Abflussgrößen

- 2) ein zweidimensionales Modell zur Untersuchung des Eistransportes unter ausreichender Wassertiefe auf der rund 4,5 km langen Sihlflussstrecke zwischen Retentionsbecken und Mündungsgebiet in den Massstäben 1:30 und 1:60;
- 3) ein zweidimensionales Modell für die hydraulische Untersuchung der Eiswehrverschlussorgane sowie deren Verhalten bei der Eisabfuhr im Massstab 1:20.

Der Auftrag dazu wurde mit Regierungsratsbeschluss vom 28. November 1963 der VAWE erteilt. Dem Modellbau lagen folgende Pläne zugrunde: die generellen Bauprojekte des Ingenieurbüros *Eichenberger AG* in der ersten Fassung vom 21. August 1963 und einer zweiten Fassung vom 5. November 1964 [6] sowie die Vorentwürfe der Eiswehrverschlussstypen, nämlich einer Faltschütze der Firma *Wartmann & Cie AG*, Brugg, vom 22. November 1963 und einer Doppelsegmentschütze der *AG Conrad Zschokke*, Döttingen, vom April 1964.

### 2.221 Wasser- und Eisfüllung des Retentionsbeckens

Vorausgeschickt seien die vom Kantonalen Tiefbauamt getroffenen Einschränkungen:

1. Es folgen *nicht* zwei grosse Eisgänge aufeinander.
2. Dem Eisgang folgt kein extremes Hochwasser.
3. Ein Warndienst in Hütten erlaubt mindestens sechs Stunden vor Eintreffen des Eisganges vorzustauen.

Die Aufnahmekapazität des Retentionsbeckens beträgt 225 000 m<sup>3</sup> bei einer Spiegelfläche von 92 000 m<sup>2</sup> auf Staukote 427,50 m ü. M. Damit kann ein grösstmöglicher Eisgang von rund 100 000 m<sup>3</sup> bei einem vierzigprozentigen Porenvolumen und einer Eisschichtstärke von im Mittel 1,0 m schwimmend aufgefangen werden. Daraus ergibt sich ein Verhältnis zwischen Eis- und Wasserfüllvolumen von etwa 1:2, das im Vergleich zu einer tiefer angenommenen Staukote eine erhöhte Sicherheit in der Aufnahmekapazität des Retentionsbeckens bietet. Darüber hinaus vermindert sich die Gefahr der Eisablagerung im Stauwurzelgebiet dank deren Verlagerung nach Oberwasser. Ein Steckenbleiben bzw. Anfriern des Eisganges in diesem Gebiet muss auf jeden Fall vermieden werden, da der Flussquerschnitt durch Anfriern der Eisschollen dermassen eingengt würde, dass bei neuerlichem Anschwellen der Sihl ein Überborden zu befürchten wäre.

### 2.222 Wasser- und Eisentleerung des Retentionsbeckens

Das Entleerungsoptimum lässt sich durch die Frage umschreiben: Bei welchem minimalen Wasserabfluss wird eine maximale Eismenge pro Schub abgeführt? Zum Entleeren des Eis-Wasser-Gemisches erscheint das Überströmen der Verschlussorgane am geeignetsten. Dabei soll sich das gestaute Wasser durch plötzliches Absenken der Eiswehrschützen beinahe schockartig in Bewegung setzen, wodurch sich Eisschollen aus der im Verband schwimmenden Eisschicht herauslösen und zum Wehr sowie über dieses abfließen. Die Entleerungsversuche im Modell zeigten diesen Schockeffekt allerdings nur im wehrnahen Bereich, da die durch plötzliches Öffnen der Verschlussorgane erzwungene Sunkwelle wegen der von einer prismatischen Form stark abweichenden Form des Retentionsbeckens sowie des dämpfenden Einflusses der Eisbedeckung nur in unmittelbarer Wehrnähe eine relativ steile Frontneigung aufwies (Bild 8).

Als Ergebnis dieser Entleerungsversuche ist festzuhalten, dass sich das Volumenverhältnis von 1:20, d. h. 1 Teil Eis auf 20 Teile Wasser, bei einem Wasserabfluss

von 100 m<sup>3</sup>/s erzielen liess (Bild 9), und zwar ziemlich unabhängig von der Eisbelastung des Retentionsbeckens. Demzufolge änderten sich die Volumenverhältniszahlen des ausfliessenden Eis-Wasser-Gemisches für die Abflüsse von 50, 75 und 150 m<sup>3</sup>/s ziemlich stark mit der Eisbelastung.

Das dem Volumenverhältnis 1:20 mit einem Spitzenausfluss von 100 m<sup>3</sup>/s entsprechende Öffnungsgesetz ist aus Bild 10 ersichtlich und umfasst folgende Etappen:

- I Lineares Absenken der Schützen mit in der Praxis üblicher Geschwindigkeit bis zum erforderlichen, konstanten Wasserausfluss;
- II Absenken der Schützen zwecks Nachregulierung, um den Ausfluss konstant zu halten;
- III Völliges Abgesenkthalten der Schützen bis zu einem Grenzwert des Wasserausflusses, bei dem Eisschollen an der Überfallkante der Schützen hängen zu bleiben beginnen;
- IV Möglichst schnelles Anheben der Schützen in Staustellung

Ein Entleerungsschub erfasste dabei eine Eismenge von im Mittel 7500 m<sup>3</sup> (einschliesslich Porenvolumen), wobei für diesen ein Wasservolumen von rund 150 000 m<sup>3</sup> ausfloss, was eine Absenkung des Stauspiegels auf Kote 424,50 m ü. M. mit sich brachte. Bei einem Zufluss in der Grössenordnung von wenigen m<sup>3</sup>/s wäre bis zur Abgabe des zweiten Eisschubes mit einer langdauernden Füllung des Beckens zu rechnen. Für die angestrebte schubweise Abfuhr eines Eisganges von gegen 100 000 m<sup>3</sup> wären also etwa 13 Einzelentleerungen des Staubeckens nötig. Unter Annahme eines mittleren Zuflusses der Sihl von 5 m<sup>3</sup>/s würde der Füll- und Entleerungsvorgang für den grössten Eisgang mindestens vier Tage dauern.

#### 2.223 Wasser- und Eistransport in der Sihl zwischen Retentionsbecken und Mündungsgebiet

Zur Frage des Eistransportes auf der rund 4,5 km langen Flussstrecke zwischen Retentionsbecken und Mündungsgebiet ist davon auszugehen, dass ein Wasservolumen von rund 150 000 m<sup>3</sup> unter dem angegebenen Öffnungsgesetz in die Sihl abgelassen wird. In diesem Zusammenhang ist zu fragen, ob die dadurch erzeugte Wasserwelle Abflusstiefen ergibt, die den erwünschten «flüssigen» Eistransport bis zur Postbrücke gewährleisten.

Zur Prüfung dieser Frage wurden in einem 1,0 m breiten und 40 m langen, geraden Kanal zweidimensionale Eis-Wasser-Schwallversuche durchgeführt. Dabei sind die vorgesehenen Pfeilereinbauten der Expressstrasse sowie Flusskrümmungen und bestehende Brücken vernachlässigt worden. Von den bei Modellmassstäben 1:30 und 1:60 gewonnenen Ergebnissen wurde gemäss Froudeschem Ähnlichkeitsgesetz auf die Sihlstrecke bis zur Bahnhofüberführung (Post- bzw. Zollbrücke) extrapoliert.

Dieser Eis-Wasser-Schwall ist ein instationärer Strömungsvorgang, bei dem längs der Fliessstrecke eine Abflachung der Schwallwelle und dadurch abnehmende Wassertiefen zu erwarten sind. Die Versuchsergebnisse sind in Bild 11 dargestellt. Darnach beträgt beim Abfluss des im Retentionsbecken bei Staukote 427,50 vorhandenen Wasservolumens von rund 150 000 m<sup>3</sup> und beim Mindestabfluss am Eiswehr von 100 m<sup>3</sup>/s, der über die fast gleichen Zeitspannen seines konstanten Ausflusses einen schadlosen Eistransport gewährleistet, die Abflusstiefe beim Sihlhölzli 1,35 m und bei der Postbrücke 1,25 m.

Vergleichsweise dazu wurden entsprechende Schwallversuche unter den gleichen Charakteristiken des Öffnungsge-

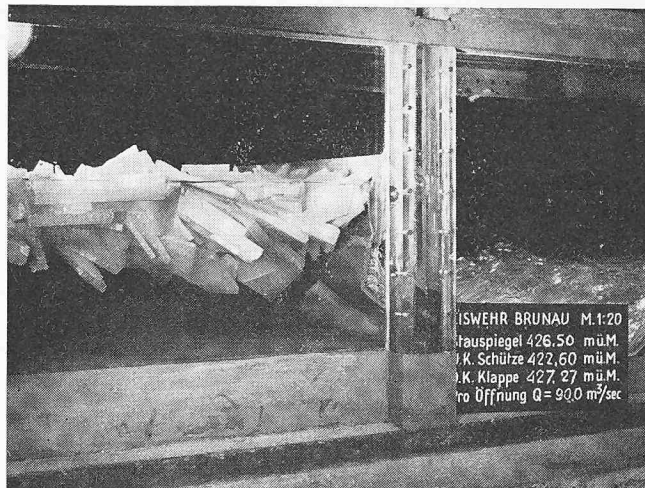


Bild 12. Für das Unterströmen der Faltschütze gefährlicher Stauspiegel wegen möglichen Mitreisens von Eisschollen in die untere Schützöffnung

setzes, jedoch bei anderen Abflussgrössen durchgeführt. Die Abflusstiefen in Funktion der Fliessstrecke sind für die konstanten Abflüsse von 50, 75 und 150 m<sup>3</sup>/s ebenfalls in Bild 11 dargestellt. Wie zu erwarten war, tritt die stärkste relative Abflachung für den Abfluss von 150 m<sup>3</sup>/s auf, bei welchem die Ausflusszeit am kürzesten ist. Im Gegensatz dazu neigt der Fall mit 50 m<sup>3</sup>/s und der dreifach längeren Ausflusszeit zum nahezu stationären Fliesszustand (Normalabfluss) mit relativ kleinster Abflachung.

Auch der durch die Untertunnelung der linksufrigen Zürichseebahn entstandene Sihlabsturz im Sihlhölzli wirkt sich auf den Eistransport in keiner Weise nachteilig aus, wie zusätzliche Versuche in diesem Abschnitt gezeigt haben. Im Gegenteil trägt der Absturz dazu bei, dass sich eine kompakt ankommende Eisdecke durch die gebildete Deckwalze in der anschliessenden Flussstrecke auflöst, so dass sich weder Deponien noch Barrieren von Eis bilden können.

#### 2.224 Detailversuche an den Eisweherschützen

Die in einem zweidimensionalen Modell im Massstab 1:20 durchgeführten Versuche an zwei Schütztypen für das Eiswehr sollen nur im Zusammenhang mit der Eisabfuhr erwähnt werden. Folgende Grundbedingungen waren zu erfüllen:

- 1) Die schubweise Entleerung des Eisretentionsbeckens mit einem Dosierungsverhältnis zwischen Eis und Wasser von 1:15 bis 1:20 hat bei einem Wasserabfluss in der Grössenordnung von 100 m<sup>3</sup>/s allein durch Überströmen der Eiswehrverschlüsse zu erfolgen.
- 2) Eine Reinwasserabgabe zwecks Freilegung des Sihlunterlaufes von Eisbildungen bzw. von bei vorangegangenen kleinen Eisschüben gestrandeten Eisplatten soll allenfalls durch Unterströmen der Verschlussorgane erfolgen können. Das birgt jedoch die Gefahr in sich, dass Eisschollen sich vor der Schütze massieren und in deren untere Öffnung hineingezogen werden (Bild 12).

Weder die von der Firma *Wartmann* vorgeschlagene Faltschütze, noch die von der Firma *Zschokke* vorgeschlagene Doppelsegmenteschütze wiesen bezüglich ihres hydraulischen und ihres den Eistransport betreffenden Verhaltens wesentliche Unterschiede auf. Lediglich im Zusammenhang mit der Gefahr des Verklemmens von Eisplatten bei Unterströmen erschien die Doppelsegment-Schützenkonstruktion robuster. Diese wurde schliesslich als Eiswehrverschluss



Bild 13. Fertiggestelltes Eisretentionsbecken mit zwei 20 m breiten Wehrröffnungen und hochgezogenen Schützen (Sommerstellung. Die Verschlusskonstruktionen sind harmonisch ins Landschaftsbild eingepasst

gewählt, da sie wegen ihrer steifen Konstruktion Beanspruchungen, die beim Schliessvorgang durch allfällig unter einer Schütze eingeklemmte Eisplatten hervorgerufen werden, besser gewachsen erscheint.

### 3. Zusammenfassung

In zahlreichen Modellversuchen wurden die Lösungsmöglichkeiten für einen schadlosen Abtransport von Eisgängen in dem durch Pfeiler verengten Flussbett der Sihl erprobt. Als ausführbare Lösung erwies sich ein Retentionsbecken zwischen der Höckler- und der Gänziloobrücke, in dem ein Eisgang aufgefangen und mittels eines Eiswehres in Teilschüben und genügend «verflüssigt» in die anschließende Sihlflussstrecke abgegeben wird. Für die Modelluntersuchung verwendete man gebrochene Paraffinplatten als Simulat des Platteneises. Um die Eignung dieses «Paraffineises» zu prüfen, wurden Vergleichsversuche in einem Modell der Sihlstrecke zwischen der Gessner-, Post- und Zollbrücke durchgeführt. Anhand von Naturaufnahmen konnte eine recht weitgehende Übereinstimmung von Eisgangstadien mit Eisbarrieren vor den Pfeilern der Postbrücke in Natur und Modell festgestellt werden. Einschränkend sei dazu bemerkt, dass sich nicht sämtliche Naturvorgänge im Zusammenhang mit einem Eisgang im Modell nachbilden lassen.

Das Retentionsbecken gewährleistet neben seiner ziemlich gleichmässigen Füllung eine fast totale Entleerung. Die vorgesehene schubweise Entleerung erfolgt mit einem genügend hohen Wasseranteil *allein durch Überströmen der Wehrverschlüsse*. Eine weitgehend gefahrlose Eisabfuhr in der Sihl zwischen Becken und Mündungsgebiet ist dank der Tatsache möglich, dass das Auffangen eines Eisganges im Becken gewährleistet ist und dass durch paketweise Abgabe eines Eisquantums in einer Wasserschwallwelle mit genügender Schwimmtiefe eine gegenüber einem Sihleisgang verringerte Eisbelastung erreicht wird.

Das auf Grund der im Schlussbericht der VAW vom Februar 1966 bereinigte Projekt wurde in den Jahren 1968 bis 1969 verwirklicht (Bild 13). Anlässlich der Abnahme dieses aussergewöhnlichen Bauwerks vom 21. November 1969 wurde ein probeweiser Schwallbetrieb, wenn auch ohne Eisabfuhr, durchgeführt. Die der Zürcher Wasserwehr übergebene Anlage ist nun betriebsbereit. Erst nach Eintreffen der ersten Eisgänge werden praktische Erfahrungen bezüglich der am Eiswehr notwendigen Manipulationen gesammelt und Vergleiche mit den Ergebnissen der Modellversuche vorgenommen werden können.

### Quellennachweis:

- [1] Auszug aus dem Protokoll des Regierungsrates des Kantons Zürich (Sitzung vom 28. April 1960; Beschluss Nr. 1780).
- [2] Auszug aus dem Protokoll des Regierungsrates des Kantons Zürich (Sitzung vom 25. August 1960; Beschluss Nr. 3529).
- [3] VAW-Bericht über die Modellversuche für die Expressstrasse Zürich-Süd Nr. 477/I: Allgemeines und Grundlagenversuche (Modelle «Postbrücke») vom 1. Juli 1961.
- [4] VAW-Bericht über die Modellversuche für die Expressstrasse Nr. 477/II: Retentionsversuche Modell «Brunau» vom 1. November 1961.
- [5] VAW-Bericht über die Modellversuche für die Expressstrasse Nr. 511 bzw. 477/III, Band I + II. Wasser-Eis-Versuche im Retentionsbecken der Sihl, Allmend Brunau, und in der daran anschliessenden Flussstrecke im Massstab 1:30 sowie Detailversuche an zwei Eiswehr-Verschlussstypen im Massstab 1:20 von 15. Februar 1966.
- [6] Generelles Bauprojekt über den Eisverbau in der Allmend Brunau des Ingenieurbüros *H. Eichenberger AG*, Zürich, vom 5. November 1964.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. *Karl-Christian Taubmann*, Dozent am Technikum beider Basel, Muttenz, vormals wissenschaftlicher Mitarbeiter der Wasserbauabteilung der VAW, ETH Zürich; Grubenstrasse 35, 4142 Münchenstein BL.

Sämtliche Photos: *E. Brügger*.