

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 26

Artikel: Bauen unter Hochwasserrisiko
Autor: Landis, Werner
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85968>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

Sihltal-Zürich-Uetliberg-Bahn (SZU)

Bauen unter Hochwasserrisiko

Ein hochwassersicheres Bauen des SZU-Tunnelbauwerkes im Flussabschnitt der Sihl war nicht möglich, da bereits ohne Einbauten im Fluss bei extremen Hochwassern lokal das volle Abflussprofil benötigt wird. Die Etappierung der Bauphasen und die Ausbildung der Baugrubenabschlüsse war daher so festzulegen, dass jederzeit ein allfälliges Hochwasser mit bis zu 500 m³/s ohne grossen Schaden abfliessen konnte. Mit dem aufgestellten Alarm- und Organisationskonzept war der Eintritt eines Hochwasserereignisses rechtzeitig erfassbar, um im Ernstfall noch schadenvermindernde Massnahmen ausführen und die Baustelle fluten zu können.

Abflussverhältnisse in der Sihl

Das Einzugsgebiet der Sihl liegt zu zwei Dritteln im Voralpengebiet, wo bei rascher Schneeschmelze, starken Gewit-

VON WERNER LANDIS,
ZÜRICH

tern oder länger andauernden Regenfällen grosse Abflussmengen anfallen können. Die Zuflüsse zum Sihlsee werden dort aufgefangen und teilweise zur Elektrizitätserzeugung über die Zentrale in Altendorf in den Obersee geleitet (Bild 1). Bei vollem Speichersee wird gemäss dem Wehrreglement Wasser über die Staumauer abgelassen. Dieses

fliesst dann mit den Zuflüssen von Alp und Biber sowie jenen aus dem Sihltal direkt durch das Sihltal ab. In Zürich können dadurch die Hochwasser einen stark an- und abschwellenden Charakter aufweisen. Währenddem die durchschnittliche Jahresabflussmenge der Sihl in Zürich nur rund 7 m³/s beträgt, wurde seit Inbetriebnahme des Stausees im Jahre 1937 am 6. August 1939 die maximale Abflussmenge von Q = 290 m³/s gemessen.

Die Darstellung der maximalen monatlichen Abflussspitzen der Periode 1938-1984 (Bild 2) zeigt, dass im hydraulischen «Winterhalbjahr» von Dezember bis Mai deutlich kleinere Hochwasserspitzen gemessen wurden als im hydraulischen «Sommerhalbjahr» von

Juni bis November. Daraus ergab sich dann auch die Forderung des Amtes für Gewässerschutz (AGW), dass während dem Bau der SZU in der Sihl im «Winterhalbjahr» der Abfluss eines Extremhochwassers von Q = 200 m³/s und im «Sommerhalbjahr» eines solchen von Q = 500 m³/s im Baustellenbereich zu garantieren war.

Im Endzustand ist vom Tunnelbauwerk in der Sihl nur noch der nördliche Ausgang der Station Zürich Selnau mit dem in der Sihl stehenden Zugangsbauwerk auf die Sihlbrücke sichtbar. Um die hydraulischen Auswirkungen des rund 5,35 m breiten Bauwerkes in der Sihl für den Endzustand zu untersuchen, wurde an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETHZ (VAW) ein Modell über eine Flussstrecke von 450 m im Massstab 1:50 nachgebildet [1]. Anhand von Versuchen wurde die optimale Schachtform ermittelt und nachgewiesen, dass auch mit dem heute ausgeführten SZU-Zugang das Abflussprofil der Sihl genügt, um extreme Hochwassermengen von Q = 550 m³/s ohne Überschwemmungsgefahr aufzunehmen (Bild 3).

Zur Beurteilung des Abflussgeschehens in der Sihl konnte auch auf die Untersuchungen und Erfahrungen beim Bau der S-Bahn Zürich, Baulos 2.02, in wel-

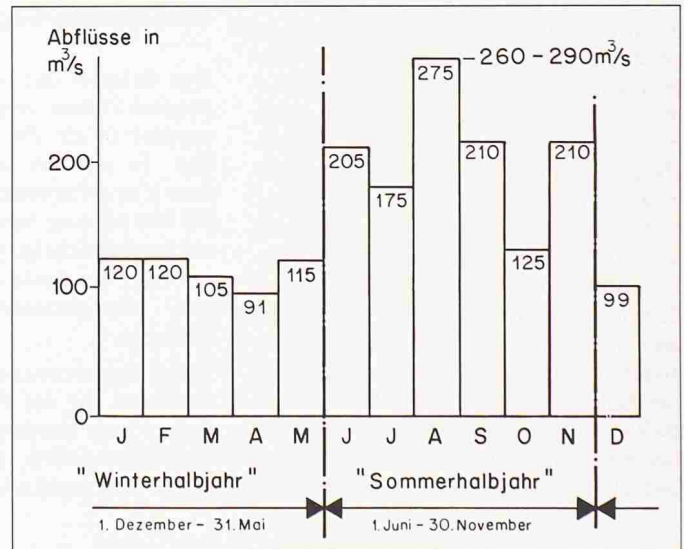
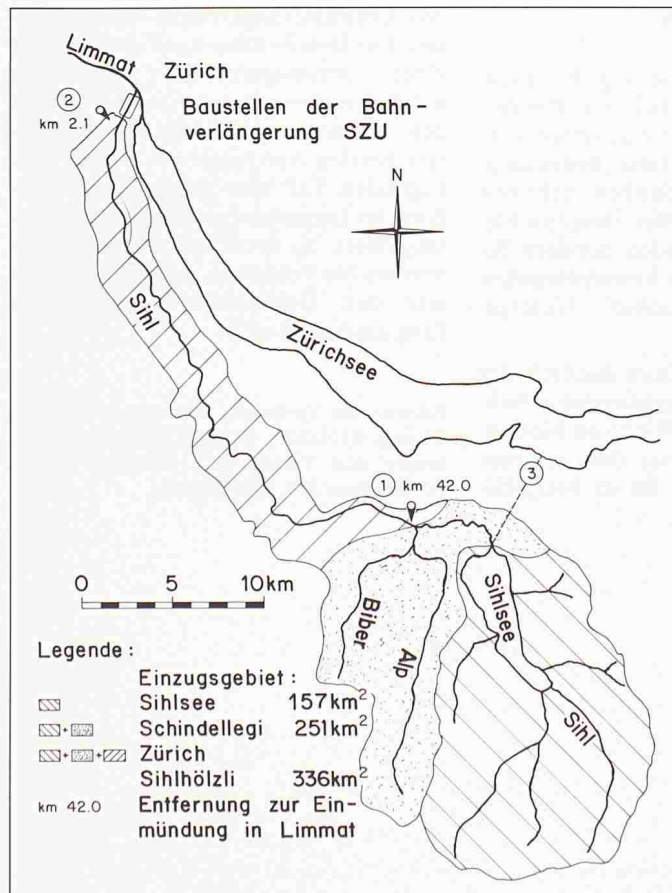


Bild 2. Monatsspitzen der Abflussmenge in Zürich-Sihlhölzli, Periode 1938-1984

Bild 1. Einzugsgebiet der Sihl: 1 - Hydrometrische Station Schindellegi-Geissboden. Max. Abflussmenge Q = 135 m³/s (1965-1984) 2 - Hydrometrische Station Zürich-Sihlhölzli. Max. Abflussmenge Q = 290 m³/s (1938-1984). 3 - Zentrale Etselwerk AG in Altendorf

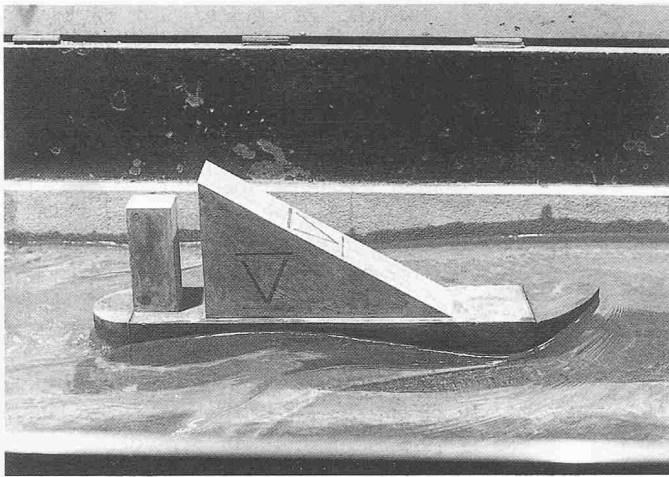


Bild 3. Modellversuch für den Aufgang Sihlbrücke mit dem Wasserspiegelverlauf bei einer Abflussmenge von $Q = 550 \text{ m}^3/\text{s}$. Ein minimales Freibord von 50 cm ist überall gewährleistet

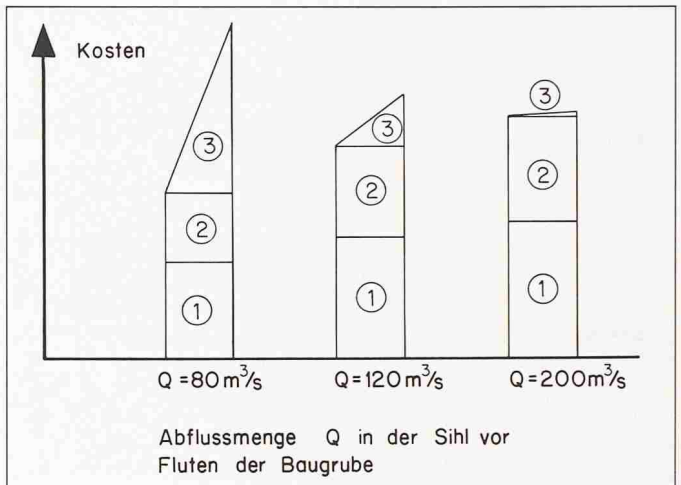


Bild 5. Optimierung der Höhe des Baugrubenabschlusses: 1 – Kosten Baugrubenabschluss gegen die Sihl, 2 – Kosten für Kolk- und Erosionsschutz sowie Ufersicherung, Instandstellungsarbeiten usw., 3 – Schadenrisiko bei Fluten der Baugruben

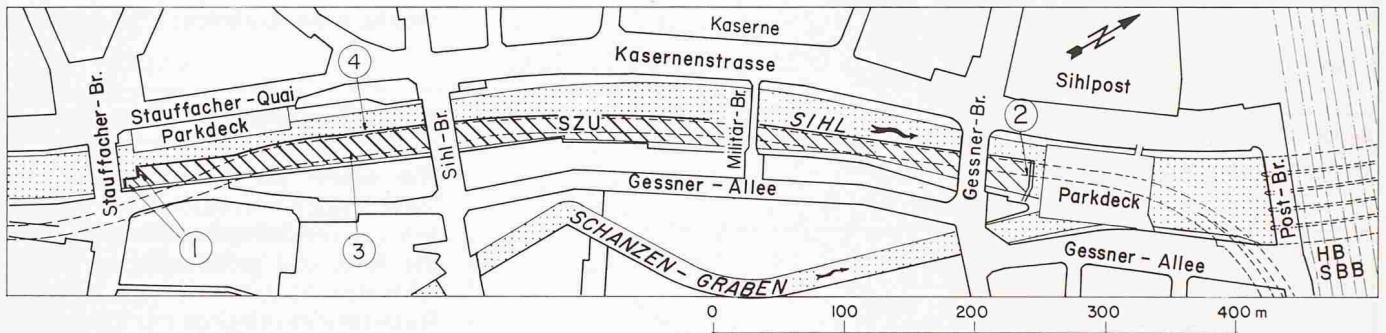


Bild 4. Baugrubenabschluss in der Sihl im «Winterhalbjahr» 1987/88: 1 – Oberwasserseitige Fluttore, 2 – Unterwasserseitige Fluttore, 3 – Baugrube SZU, 4 – Sihlseitiger Baugrubenabschluss

chem die Sihl in 3 Etappen unterquert wurde, zurückgegriffen werden [2].

Das Hochwasserrisiko während dem Bau der SZU

Für die Erstellung des Tunnelbauwerkes im Flussbereich der Sihl musste das Sihl-Abflussprofil während der 3jährigen Bauzeit lokal bis über die Hälfte eingeeignet werden (Bild 4), wodurch ein hochwassersicheres Bauen nicht möglich war. Der Abfluss von Extremhochwassern mit bis zu $500 \text{ m}^3/\text{s}$ wäre im verbleibenden Flussquerschnitt entlang den bis 800 m langen Baustellen nicht möglich gewesen, sondern nur mit dem zusätzlichen Fluten und Durchfliessen der Baugruben. Dabei war je nach Bauzustand mit teils beträchtlichem Schadenrisiko zu rechnen.

Zur Verminderung von Hochwasserspitzen wurden mehrere Varianten untersucht. Mit einer Reduktion der maximalen Abflussmenge im Bereich der SZU-Baustellen hätte gerechnet werden können, wenn beispielsweise die Hochwasser-Zuflüsse in den Sihlsee dort in jedem Fall vorübergehend hätten auf-

gefangen werden können, sei es durch kurzzeitiges Überstauen des Sihlsees oder künstliches Tiefhalten des Seespiegels. Die Freihaltung des erforderlichen Stauraumes für die Abflussmenge eines grösseren Gewitters kam jedoch aus betrieblichen und finanziellen Gründen nicht in Frage.

Je höher der Baugrubenabschluss über die Sihlsohle aufragt, desto grössere Hochwasser können naturgemäss neben der Baustelle schadlos abgeleitet werden. Das Risiko einer Flutung nimmt ab, die Kosten für die Spundwand und den Kolksschutz nehmen jedoch zu. Für die diversen Baugruben in der Sihl wurde der Aufwand für den Baugrubenabschluss und den Kolksschutz für verschiedene Abflussmengen gerechnet. Auch das minimale und maximale Schadenpotential wurde unter Variation der Anzahl Flutereignisse und der Grösse der Baugruben abgeschätzt (Bild 5). Die Baukommission hat sich schliesslich für eine Lösung mit mittleren Kosten und begrenztem Risiko entschieden. In der Ausführung wurde eine Abschlusshöhe gewählt, mit welcher im «Winterhalbjahr» eine Abflussmenge von $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ und im

«Sommerhalbjahr» eine solche von $Q = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ ohne Fluten der Baustellen abgeleitet werden konnte. Die Statistik zeigte, dass in der Periode 1938–1984 Hochwasser mit grösseren Abflussmengen, welche ein Fluten der Baugruben erfordert hätten, durchschnittlich im «Sommerhalbjahr» alle 3 Jahre und im «Winterhalbjahr» alle 23 Jahre eingetreten sind.

Bedingungen für die Ausführung der Baugruben in der Sihl

Der Projektverfasser bestimmte in enger Zusammenarbeit mit der Projektleitung, dem AGW und der VAW mögliche Baugrubenformen für das «Winter- und Sommerhalbjahr», insbesondere waren kritische Bauphasen mit grosser Flusseinengung nur im «Winterhalbjahr» ausführbar. Dazu wurden die minimalen Durchfluss- und Fluttorbreiten, die erforderlichen Erosions-, Kolk- und Uferschutzmassnahmen sowie die Höhe des Baugrubenabschlusses gegen die Sihl für die Abflussmenge $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $160 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben. Den Submittenten stand es unter Einhal-

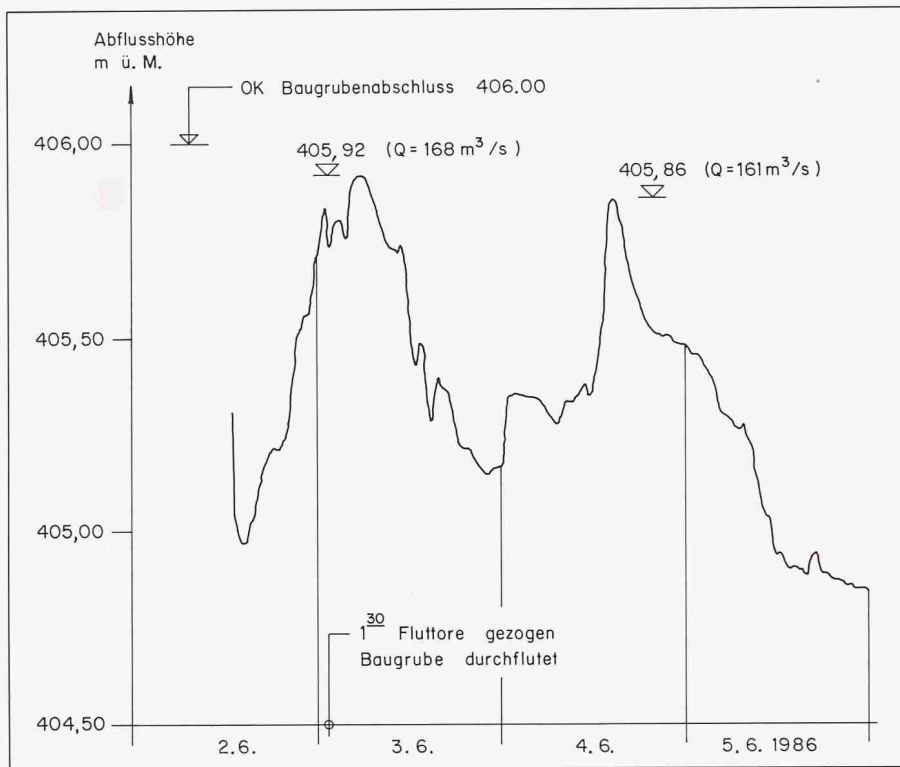


Bild 6. Hochwasserereignis vom 2.–6. Juni 1986: Schreibpegelaufzeichnung beim Linnigraph am linken Sihlufer oberhalb Postbrücke

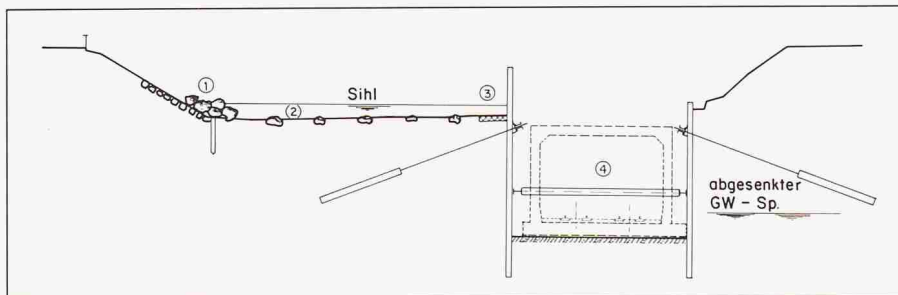


Bild 7. Kolk-, Erosions- und Uferschutz an gefährdeten Stellen: 1 – Sicherung des Böschungsfusses an kritischen Stellen, 2 – Erosionsschutz auf Sihlsohle bei engen Durchflussstellen, 3 – Kolkschutz mit 2 m breiten Gabions auf ganzer Länge des Baugrubenabschlusses gegen die Sihl, 4 – Schutzmassnahmen innerhalb der Baugrube für Fall von Flutungen, z.B. Blockwurf bei Flutoren, Böschungen vor Häusern usw.

tung von weiteren Bedingungen offen, davon abweichende Baugruben oder Bauphasen zu wählen, was diese jedoch nur in bescheidenem Masse benutzten.

In der Ausführungsphase wurden dann für die von der Arbeitsgemeinschaft gewählten Bauetappen die Abschlusshöhen, Schutzmassnahmen und allfällige weitere Bedingungen im Detail bestimmt. Für einen optimalen Bauablauf erwies sich eine möglichst langgestreckte Baugrube als günstig. So war die Sihl zeitweise bis auf eine Länge von rund 800 m durch eine Baugrube eingengt (Bild 4). Auch vom hydraulischen Gesichtspunkt aus waren eine kleinere Anzahl und dafür eher längere Baugruben zu begrüssen, da bei jeder neuen Einengung und Erweiterung im Sihlfluss mit Energieverlusten bzw. höheren oberwasserseitigen Wasserständen

zu rechnen war. Dazu verminderten sich auch die Möglichkeiten und Unsicherheiten über Geschiebeabtrag und Auflandungen. Demgegenüber musste jedoch bei längeren Baugruben im Falle einer Flutung mit einem grösseren Schaden gerechnet werden.

Alarm- und Organisationsplan für Hochwasser

Bei beobachteten Hochwasserereignissen betrug die Zeitspanne zwischen der Pegelmeldung von Schindellegi-Geissboden $Q = 39 \text{ m}^3/\text{s}$ und dem Erreichen einer Abflussmenge von $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ in Zürich teils nur rund 3 Stunden. Um das Fluten der Baugruben rechtzeitig zu ermöglichen und aus der Baustelle grössere Hindernisse und Maschinen noch

entfernen zu können, wurde ein Alarm- und Organisationsplan mit einem Piktogramm rund um die Uhr aufgestellt. Die Baustellen waren so zu organisieren, dass sie jederzeit innerhalb von zwei Stunden weitmöglichst geräumt und die Baugruben für das Ableiten eines grösseren Hochwassers geöffnet werden konnten. Für die laufende Übermittlung der Pegelstände von Schindellegi wurde die dortige Mess- und Fernwirkstation erweitert und in der Bauleitungsbaracke ein Schaltschrank mit Telefonalarm und einem Bandschreiber installiert, auf welchem die Pegelstände von Schindellegi sowie bei der Stauffacher- und Postbrücke aufgezeichnet wurden. Für die Lagebeurteilung im Normal- und Alarmfall konnte die Bauleitung bei weiteren Stellen Informationen über den Sihlsee- und Zürichseestand, die Abflussmenge in Zürich-Sihlhölzli, die Wetterentwicklung usw. einholen.

Kolk-, Erosions- und Uferschutz

Wie bereits die Modellversuche der VAW zeigten, war infolge der Baugruben im verbleibenden Sihlfluss lokal mit Kolk und grossflächig im eingeschnürten Flusslauf infolge erhöhter Wassergeschwindigkeit mit Erosion zu rechnen. Im Modellversuch ergaben sich z.B. entlang dem Baugrubenabschluss Erosionstiefen von bis zu 1,8 m sowie im Staubereich und nach der Baugrube Auflandungen.

In enger Zusammenarbeit mit der VAW wurden zuerst auf dem Papier und während der Bauausführung an Ort und Stelle für die verschiedenen Bauphasen die Schutzmassnahmen bei den kritischen Stellen festgelegt (Bild 7). Im Abschnitt Stauffacher- bis Sihlbrücke wurde ein grossflächiger Erosionsschutz mit einem durchschnittlichen Block-Belegungsgewicht von 3 kN/m^2 angeordnet. Dabei zeigten die Erfahrungen, dass bei den eingetretenen Hochwassern mit Abflussmengen bis rund $170 \text{ m}^3/\text{s}$ die mit Blöcken belegte Sihlsohle mehr oder weniger stabil blieb.

Die Wirkung eines Fließwechsels, wie er z.B. am Ende der Baugrube bei der Gessnerbrücke eintreten konnte, zeigte sich deutlich an einer lokalen Sohlenvertiefung von rund 2,5 m in einem Bereich ohne Blockwurf. Die Ufersicherung mittels Blockbelegung daneben hat sich jedoch bewährt.

Entlang den Baugrubenabschlüssen wurde als Kolkschutz ein 2 m breiter Streifen mit Gabions verlangt. Die kolkgefährdeten Stellen am Baugrubenanfang und -ende sowie bei Brück-

kenpfeilern wurden mit einer Blockbelegung von 10 kN/m^2 gesichert. Zur Stabilisierung des Böschungsfusses an kolkgefährdeten Stellen bewährte sich ein Blockwurf aus Blöcken mit Durchmesser von 50–70 cm und einem Belegungsgewicht von rund 40 kN/m .

Im Endzustand war auf Wunsch des AGW eine Niederwasserrinne auf der linken Flussseite auszubilden. Über der SZU-Decke wurde eine mindestens 60 cm dicke Kiesschicht verlangt, welche als Lebensraum für Kleinlebewesen dient. Um das Ausschwemmen des Kie ses im erhöhten Flussteil während Hochwasserereignissen zu verhindern, wurden grössere Blöcke auf der Tunneldecke verlegt und einzementiert. Diese leicht erhöhte Uferpartie soll allenfalls später für Fussgänger erschlossen werden und als Erholungsgebiet mitten in der Stadt Zürich aufgewertet werden.

Hochwasserereignis vom 2.–6. Juni 1986

Die starken Niederschläge vom 2.–6. Juni 1986 und die Schneeschmelze im Einzugsgebiet der Sihl führten im Baustellenbereich am 3. und 4. Juni zu zwei Abflussspitzen von 168 und $161 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bild 6). Zu diesem Zeitpunkt waren die Baugrubenabschlüsse im Abschnitt Stauffacher- bis Sihlbrücke nur teilwei-



Bild 8. Fluttore unterhalb der Sihlbrücke. Linkes Tor während Bauarbeiten gezogen für die Durchfahrt des Baustellenverkehrs (Aufnahme SZU)

se eingerammt und die Fluttore noch nicht montiert. Im Abschnitt Parkdeck Gessnerallee bis Postbrücke war die Baugrube auf der ganzen Länge von der Sihl abgetrennt, und die oberwasserseitigen Fluttore waren versetzt und geschlossen. Die eigentlichen Bauarbeiten hatten zu diesem Zeitpunkt noch nicht begonnen, und der Durchfluss durch die Baugruben war nur durch wenig Baumaterial behindert. Die Alarm- und Pikettorganisation funktionierte gut. So wurden die Fluttore bei einer Abflussmenge $Q = 144 \text{ m}^3/\text{s}$ geöffnet, noch bevor Wasser über die Baugrubenabschlüsse strömte.

Dass den Kolkenschutzmassnahmen gebührend Beachtung zu schenken ist, zeigte die lokale Unterspülung und Absackung des Fundamentes der Parkdeck-Auffahrtsrampe während dem Hochwasserereignis. Zu diesem Zeitpunkt war der Kolkenschutz im Bö-

schungsbereich neben dem Fluttorepfosten noch nicht vollflächig hergestellt. Die Rampe konnte noch gleichentags behelfsmässig gesichert und später ohne Unterbrechung der Parkdeck-Zufahrt neu fundiert werden. Das eingetretene Hochwasser diente somit in einer Bauphase mit relativ geringem Schadenpotential als Test für die Pikettorganisation und die Funktionstüchtigkeit der Fluttore (Bild 8). Während den weiteren SZU-Bauarbeiten in der Sihl traten glücklicherweise nur noch Hochwasserereignisse mit geringeren maximalen Abflussmengen ein, welche ein Öffnen der Fluttore erübrigten.

Adresse des Verfassers: Werner Landis, dipl. Bauing. ETH, Ingenieurbüro Eichenberger AG, Sumatrastr. 22, Postfach, 8023 Zürich.

Literatur

- [1] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETHZ: Verlängerung der Sihltal-Zürich-Uetliberg-Bahn unter der Sihl, Bericht über die Modellversuche, April 1984
- [2] Basler & Hofmann: Zürcher S-Bahn, Das Hochwasserrisiko während der Sihlquerung, Bericht Jan. 1984