

# Ausführungstechnologische Belange

Autor(en): **Bürki, Th. / Hartmann, O. / Müntener, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 32

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85781>

## **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.

nicht zu vermeiden, dass sich die Phasen von Bau, Prüfungen, Abnahmen, Mängelbehebungen und Inbetriebsetzungen oft überschneiden und auch ernste Kapazitätsprobleme bei den Beteiligten auftraten. Das Projektteam RBW hat bei diesem Projekt die Möglichkeit, diese Phasen jederzeit sauber voneinander zu trennen, d.h. die nächstfolgende Phase erst nach Abschluss der vorangegangenen freizugeben. Die Inbetriebsetzung kann beim Regenbecken «en bloc» erfolgen. Das Engineering dafür wurde bereits von Anfang an einem Privatbüro anvertraut, und zwar nicht in Form einer Personalüberlassung, wie es seinerzeit bei EKW unumgänglich war, sondern als verantwortliches Ingenieurmandat.

### Schlussbemerkung

Das System der Einzelleistungsträger hat sich auch beim Regenbecken bewährt, ebenso das Prinzip, Funktionen auch bauherrenseitig bis weit hinauf privat zu vergeben, um den Verwaltungsapparat nicht zusätzlich zu belasten.

Bei den in nächster Zukunft zur Verwirklichung anstehenden Projekten der Stadtentwässerung, wie Gasspeicherung, Schlammbehandlung, Kläranlage Glatt, dürften die vorgestellten Modelle, mit den nötigen projektspezifischen Änderungen, wieder zur Anwendung gelangen. Wobei zu bedenken bleibt, dass Systeme genau so gut sind wie die Personen, die damit arbeiten...

### Literatur

- [1] Wiesmann, J., Knöpfel, H., und Kiefer, H. (1983): «Erweiterung Kläranlage Werdhölzli - Projektorganisation», Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 51/52, S. 1212-1218  
 [2] Held, H., und Knöpfel, H. (1983): «Erweiterung Kläranlage Werdhölzli - Kosten- und Terminüberwachung», Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 51/52, S. 1219-1225

Adressen der Verfasser: H. Kiefer, Projektleiter RBW, Bändlistrasse 110, 8064 Zürich, und Hans Held, dipl. Arch. ETH/SIA, Direktor, IBB Institut für Bauberatung AG, Meinrad-Lienert-Strasse 1, 8003 Zürich.

## Ausführungstechnische Belange

### Baugrube und Betonarbeiten

#### Zulaufkanal

Der Zulaufkanal führt von der bestehenden Limmatquerung (Hönggerwehr) bis zum Regenbecken. Er ist

VON TH. BÜRKI, O. HARTMANN,  
W. MÜNTENER UND  
E. NAEF

rund 400 m lang, weist einen Querschnitt von 5,40x5,10 m auf und liegt 3 bis 4 m im Grundwasser. Im oberen Bereich, auf einer Länge von etwa 150 m, durchquert der Kanal das Areal der Badanstalt. Im Bauablauf wurde auf die Benutzer des Bades Rücksicht genommen, d.h. die Bauarbeiten begannen nach der Badesaison 1985 und konnten im Badareal vor den Sommerferien 1986 abgeschlossen werden.

Die Ausführung dieses langen Bauwerks erfolgte in Etappen von rund 20 m Länge in einem eigentlichen Taktverfahren, welches einen optimalen Einsatz der vorhandenen Mittel gewährleistete. Die Wände und Decken wurden in einem Arbeitsgang betoniert, einerseits aus Termingründen und andererseits um zusätzliche Arbeitsfugen zu vermeiden. Die innere Schalung war als umgekehrtes U ausgebildet und konnte nach der Erhärtung des Betons als Ganzes abgesenkt und in die nächste Etappe vorgezogen werden.

Der Baugrubenabschluss wurde aus rund 18 m langen Spundwandbohlen Larssen 23 gebildet, welche bis in eine

ziemlich undurchlässige Sandschicht hinab reichten. Zu Beginn der Ausführung wurden die Spundwände auf eine Länge von rund 60 m gerammt und jedesmal nach Fertigstellung einer Betonieretappe entsprechend umgesetzt.

Die Baugrube war mit 2 Spriesslagen ausgesteift. Um ein rasches Umsetzen zu ermöglichen, wurde bei jedem Spriess eine hydraulische Stellringpresse eingebaut. Es zeigte sich, dass auf Querabschottungen verzichtet werden konnte, da die vorhandenen Filterbrunnen von 60 cm Durchmesser für die Wasserhaltung ausreichten. Mit dem Baufortschritt waren auch die Filterbrunnen entsprechend umzusetzen.

Da der Zulaufkanal, wie sämtliche Bauwerke auf der Werdinsel, im Grundwasser liegt, wurde Sperrbeton verwendet. Der Projektverfasser hatte schon im Submissionsprojekt die erforderlichen Betoneigenschaften, die sogenannten Zielgrößen, spezifiziert (Wasserleitfähigkeit 10 g/m<sup>2</sup>h, Endschwindmass 0,40 o/oo, Druckfestigkeit 30 N/mm<sup>2</sup>). Mit Vorversuchen wurde die Betonrezeptur, welche zum Erreichen dieser Zielgrößen notwendig war, festgelegt: Zementdosierung: 250 kg PC, Zusatzstoff: 50 kg Flugasche, Zusatzmittel: 1% Verflüssiger, Kiessand: 0-50 bzw. 0-30 mm gemäss SIA-Siebkurve, Wasserzementfaktor: 0,48. Während der Ausführung wurden bei jeder Betonieretappe die relevanten Steuergrößen, d.h. die Betonkonsistenz sowie der W/Z-Faktor überwacht. Zudem kontrollierte die EMPA an getrennten Pro-

bekörpern die verlangten Betoneigenschaften. Die Ergebnisse bestätigten, dass die vorhandene Betonqualität den Zielgrößen entsprach. Für die übrigen Bauwerke wurde derselbe Beton verwendet und die gleichen Kontrollen durchgeführt.

Im oberen Kanalbereich, unweit des Hönggerwehrs, steht eine schützenswerte Silberpappel. Während der Ausführungsarbeiten wurde das Trasse des Kanals noch so weit wie möglich gegen die Limmat verschoben, um sicherzustellen, dass auch bei den Spundwandarbeiten keine Beschädigungen des geschützten Baumes eintreten konnten. Diese Massnahme hat sich sicher gelohnt, steht die Silberpappel doch auch heute in alter Pracht an ihrem Standort.

Die Unternehmung hatte die Arbeiten für den Zulaufkanal einschl. Spundwände und Wasserhaltung als Globale übernommen. Die Globale bietet den Vorteil, dass einerseits die Erstellungskosten fest sind und andererseits der Unternehmer an der Optimierung des komplexen Baugrubenabschlusses und der Wasserhaltung selbst stark interessiert ist.

### Regenbecken

Das Regenbecken liegt südöstlich vom Kraftwerk zum Giessen und weist eine Grundfläche von rund 5000 m<sup>2</sup> auf. Es steht im Grundwasser und reicht im Pumpenhaus bis etwa 15 m unter das Gelände. Der Baugrubenabschluss des Regenbeckens wird durch rückverankerte Spundwände gebildet. Das Einvibrieren der Spundwände stellte keine besonderen Probleme ausser im Bereich Pumpenhaus, wo die 25 m langen Bohlen Larssen 25 nur mittels eines



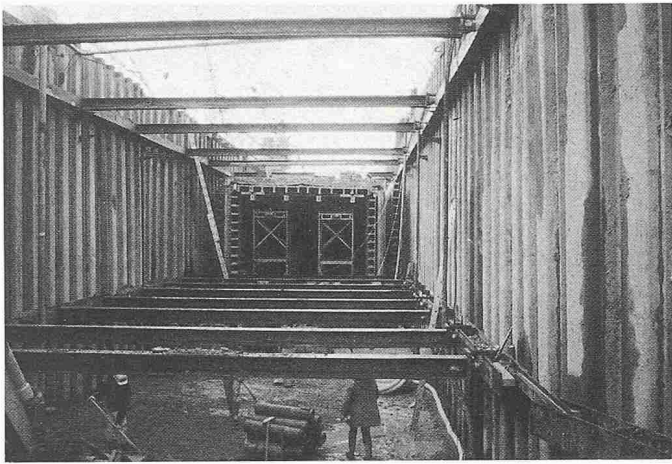


Bild 1. Zulaufkanal: Blick in die ausgesteifte Baugrube

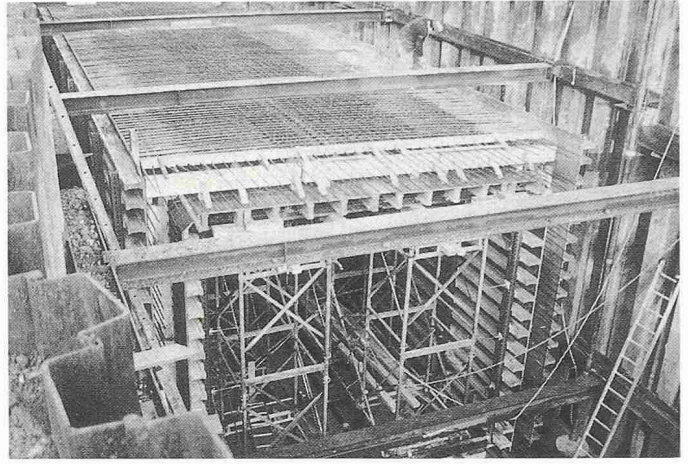


Bild 2. Zulaufkanal: 20-m-Etappe vor dem Betonieren

Rambbärs mühsam auf die erforderliche Tiefe gerammt werden konnten. Ab 18 bis 20 m Tiefe erhöhte sich der Rammwiderstand beträchtlich, was auf eine hart gelagerte Siltschicht zurückzuführen war. Beim Ziehen der Spundwände stellten sich dieselben Schwierigkeiten ein. Die 25-m-Bohlen konnten trotz Zugversuchen mit den grössten in der Schweiz zur Verfügung stehenden Geräten nicht mehr ausgebaut werden. Da in diesem Bereich das Pumpenhaus bis in den undurchlässigen Silt hinab reicht, stellen die 25-m-Spundwände kein zusätzliches Hindernis für den Grundwasserstrom dar. Aus diesem Grund war das Amt für Gewässerschutz bereit, den Verbleib von rund 1200 m<sup>2</sup> 25-m-Bohlen im Boden zu tolerieren.

Die Spundwände erwiesen sich als erstaunlich wenig wasserdicht, da eine Selbstabdichtung durch Feinanteile des anstehenden Materials ausblieb. Im eigentlichen Grundwasserträger fehlten offensichtlich diese Feinanteile und die erwartete Kolmatierung der Spundwandschlösser stellte sich nicht ein. Der Wasserdurchfluss war teilweise so gross, dass in gewissen Bereichen die Spundwandschlösser mittels PU-Schaum abgedichtet wurden. Aller-

dings erwies sich diese Massnahme als kostenaufwendig und blieb auf ein Minimum beschränkt.

Im Submissionsprojekt waren für die Wasserhaltung 6 Filterbrunnen sowie 80 Wellpoint-Filter vorgesehen. Bei den Aushubarbeiten hat sich dann gezeigt, dass mit dieser installierten Leistung der Grundwasserspiegel in der Baugrube nicht abgesenkt werden konnte. Es musste eine zusätzliche offene Wasserhaltung, bestehend aus Pumpensämpfen und Sickergräben, eingeführt werden. Der Aushub für die Sickergräben im wassergesättigten Feinsand, welcher praktisch keine Standfestigkeit aufwies, konnte nur in äusserst kurzen Etappen bewerkstelligt werden. Die schlechte Ergiebigkeit der Filterbrunnen sowie der WP-Anlage ist im wesentlichen auf die geringe Durchlässigkeit der sandigen Ablagerungen zurückzuführen. Die gepumpte Wassermenge betrug zwischen 4 bis 8 m<sup>3</sup>/min, mit Spitzenwerten bis zu 10 m<sup>3</sup>/min. Das Pumpwasser wurde über drei Klärbecken in den Unterwasserkanal als Vorfluter abgegeben. Beim Aushub im Silt zeigte sich, dass die im Wasser aufgelösten, sehr feinen Materialanteile sich kaum absetzten und in den Vorfluter gelangten. Mit gezielten Massnahmen in der

Baugrube (Sickerpackungen usw.) war es möglich, diese Feinanteile im Pumpwasser praktisch auszuscheiden.

Die Herstellung der 50-t-Anker im sandig-siltigen Material erwies sich als sehr schwierig. Befriedigende Ergebnisse liessen sich nur mit ein- bis zweimaligem Nachinjizieren erzielen. Der mittlere Zementverbrauch je Anker betrug etwa 1500 kg. Die Abdichtung der Ankerdurchführung in der Spundwand konnte nur mittels aufgeschweisster Trompeten zufriedenstellend gelöst werden. Grundsätzlich waren sämtliche Anker auszubauen, aber in der 3. und 4. Ankerlage war dies nur teilweise möglich. Mit einer freien Ankerlänge von rund 24 m war man für die Ausbaubarkeit wohl an eine obere Grenze gestossen.

Die Überwachung der Standfestigkeit des Baugrubenabschlusses wurde im üblichen Rahmen (Druckmessdosens, geodätische Messungen, Slope-Indicator) durchgeführt. Im Bereich des Pumpenhauses wurde diese Überwachung für den Aushub von der 3. zur 4. Ankerlage allerdings intensiviert, da diese Phase einen kritischen Bauzustand darstellte. Als sich dann die westliche Spundwand über eine Mittagspause um etwa 3 cm verformte, musste die vorbe-

Bild 3. Regenbecken: Eisbildung infolge von Wassereintritt durch die Spundwand

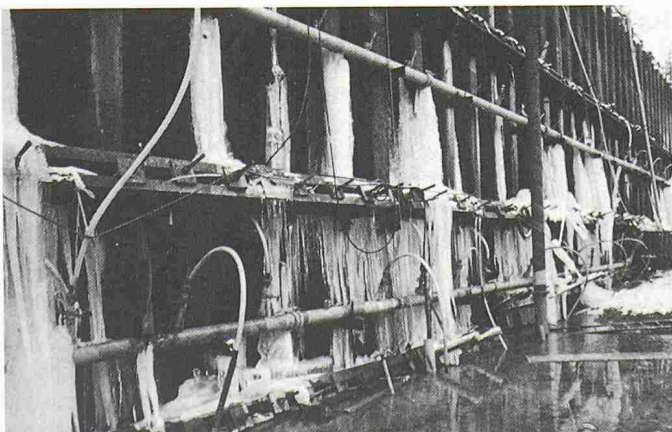


Bild 4. Überflutung vom Juni 1986. Blick vom Höneggerwehr limmataabwärts





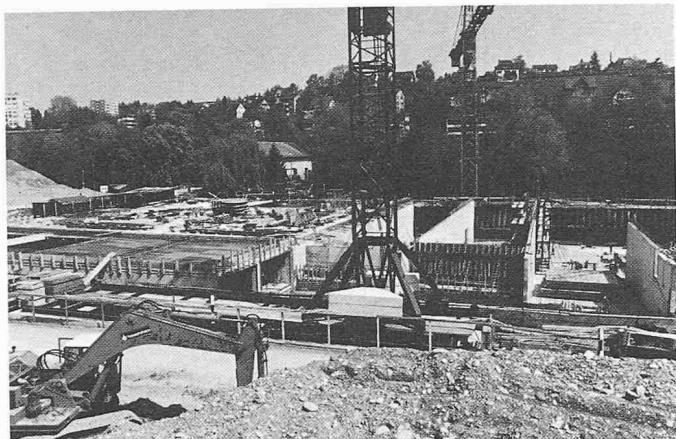


Bild 5. Regenbecken: Bauzustand vom Sommer 1987



Bild 6. Ablaufkanal: Auslauf in die Limmat

reitete Massnahme einer Notschüttung eingeleitet werden. Mit einer Aufteilung der Arbeiten in kleinere Etappen konnte diese schwierige Phase dann überwunden werden, wobei ein Verzug von rund einem Monat in Kauf genommen werden musste.

Während der Ausführung der Baugrube traten am angrenzenden Oberwasserkanal, welcher in dieser Periode kein Wasser führte, kleinere Schäden auf. Es wurden Risse in der linksufrigen Einlaufmauer und dem Damm sowie ein Trichter in der Kanalsohle festgestellt. Ein Zusammenhang mit den Arbeiten für die Baugrube des Regenbeckens war anzunehmen, und die Sanierungskosten wurden deshalb von der Bauwesenversicherung übernommen.

In der Nacht vom 2. auf den 3. Juni 1986 wurde die Baustelle durch ein Limmathochwasser überflutet. Der Limmatwasserspiegel überstieg die Oberkante der Spundwände beim Anschluss Höggerwehr. Das Wasser überflutete die Decke des Zulaufkanals und drang durch offene Deckenausparungen in den Zulaufkanal ein und gelangte von dort in die Baugrube des Regenbeckens.

Das aufgetretene Hochwasser wurde vom Amt für Gewässerschutz als etwa 5jähriges Hochwasser eingestuft, was einer Durchflussmenge von rund 420 m<sup>3</sup> entspricht. Dass dennoch eine Überflutung auftreten konnte, lag an der falschen Voraussage des Limmatwasserspiegels unterhalb des Höggerwehrs. Diese Voraussage stützte sich nur auf theoretische Berechnungen mit unsicheren Annahmen ab, da seit dem Bau des neuen Höggerwehrs kein vergleichbares Hochwasser vorgekommen war. Während des Hochwassers und der Überflutung bestand zu keinem Zeitpunkt eine Gefährdung für Personen sowie für den Baugrubenabschluss. Der Schaden begrenzte sich auf eine Verzögerung von rund einer Woche sowie die Reinigung der verschmutzten Bauteile.

Nach Fertigstellung der Baugrube wurde mit den Betonarbeiten im Juli 1986 begonnen. Es galt, die rund 15 000 m<sup>3</sup> Beton und 1500 t Armierungsstahl in 15 Monaten einzubauen. Um dieses Ziel zu erreichen, installierte der Baumeister zwei Krane von 40 und 60 m Ausladung, welche die ganze Fläche des Regenbeckens abdeckten, und wählte einen Bauablauf, welcher einen rationellen Einsatz der Grossflächenschalungen für Wände und Decken erlaubte. Die Ausführung der Beckenkammern erfolgte programmgemäss. Allerdings entstand infolge einer Projektänderung der Spülkästen eine Verzögerung von rund 8 Wochen, welche aber mit Beschleunigungsmassnahmen weitgehend wettgemacht werden konnte.

### Ablaufkanal

Der Ablaufkanal führt vom Regenbecken zur Limmat. Er weist eine Länge von rund 50 m und einen Gesamtquerschnitt von 2,10 × 12 m auf. Die Ausführung dieses Objekts erfolgte in 6 Monaten, nämlich vom Januar bis Juni 1987. Die 3 m tiefe Baugrube wurde mit ungespriessten Spundwänden abgeschlossen. Im Bereich der Abspannpoller der Hängebrücke musste mit kürzeren Bohlen die Polleranker überfahren werden. Während der Rammarbeiten wurden die Spannkkräfte dieser Anker laufend überwacht, wobei kein Kraftabfall festzustellen war. Sämtliche Arbeiten für den Ablaufkanal konnten reibungslos gemäss Bauprogramm abgewickelt werden.

### Rohrleitungsbrücke

Die Rohrleitungsbrücke überquert die Limmat und verbindet die Werdinsel mit dem Areal der Kläranlage Werdhölzli. Sie dient als Träger von verschiedensten Leitungen (Hochspannung, Niederspannung, Druckluft, Brauchwasser), aber besonders als Stütze für die Entleerungsleitung, welche vom Regenbecken zum Einlauf der Kläranlage führt.

Die Rohrleitungsbrücke ist aus Gründen des Heimatschutzes als stählerne Hängebrücke konzipiert. Etwa 800 m flussabwärts schwingt sich schon eine Hängebrücke über die Limmat (GVO) – und deshalb wurde für das vorliegende Objekt dasselbe Tragsystem gewählt.

Die Tragkonstruktion der Rohrleitungsbrücke besteht im wesentlichen aus zwei auf Pfählen gegründeten Widerlagern, den 80 m langen Längsträgern aus Stahl samt Querträger und Windverbände sowie den zwei Stahlseilen mit den entsprechenden Pylonen und Abspannpollern. Die Stahlträger sind auf dem Widerlager Werdhölzli fest und auf der Seite Werdinsel beweglich gelagert.

Die Ausführung der Brücke begann im Frühjahr 1984, da im Herbst 1984 ein Hochspannungskabel des EWZ von Höngg zur Kläranlage Werdhölzli geführt werden musste, um die Inbetriebsetzung der erweiterten Anlage zu gewährleisten.

Die Stahlkonstruktion wurde auf der Werdinsel montiert und mittels eines in der Limmat stehenden Hilfejoches eingeschoben.

Die Entleerungsleitung war auf der Brücke aus Gewichtsgründen nicht wie in den angrenzenden Bereichen als Betonquerschnitt, sondern als Rohr von 120 cm Durchmesser konzipiert. An dieses Rohr wurden hohe Anforderungen bezüglich Beständigkeit und Unterhaltsfreundlichkeit gestellt. Diese Anforderungen hatten dazu geführt, dass einerseits das im Abwassersektor bewährte Polyäthylen als Rohrmaterial gewählt und andererseits, um unterhaltsaufwendige Fugenkonstruktionen zu vermeiden, das fugenlose Rohr in beiden Widerlagern fest einbetoniert wurde.

Die Anlieferung des Rohrs erfolgte in Stücken von 8 m Länge, welche mittels Spiegelschweissung miteinander ver-



bunden wurden. Durch die feste Einbindung des Rohrs in den beiden Widerlagern wurden Längenänderungen infolge Temperaturschwankungen verhindert, und es entstanden im Rohr entsprechende Zug- oder Druckkräfte. Offensichtlich war eine der Schweisstellen den Zugkräften, welche im Winter 1984/85 auftraten, nicht gewachsen, denn im Frühjahr 1985 wurde ein Rohrbruch in einer Schweissung festgestellt. Umfangreiche Abklärungen ergaben, dass Spiegelschweißungen von kleineren Durchmessern wohl einwandfrei beherrscht werden, dass aber kraftschlüssiges Verschweissen auf Baustellen von grossen Rohrdurchmessern als problematisch zu beurteilen ist. Aus diesem Grunde wurde das Polyäthylenrohr durch ein glasfaserverstärktes Kunststoffrohr ersetzt, bei welchem eine kraftschlüssige Verbindung der einzelnen Rohrstücke mittels Laminierung einwandfrei beherrscht wird.

Bei dem ausgewählten Rohr handelt es sich um ein geschleudertes GFK-Rohr, dessen tragendes Laminat in diesem Fall aus Kurzglasfasern und ungesättigtem Polyesterharz besteht. Zur Erhöhung der UV-Beständigkeit ist der äusseren Schicht ein hoher Anteil an Quarzsand beigefügt worden. Eine in der Dicke den Erfordernissen angepasste innere Deckschicht aus Reinharz dient zum Schutz von Abrieb und Medienangriff auf das tragende Laminat.

Die Rohre wurden in 6-m-Schüssen hergestellt und teilweise im Herstellerwerk bzw. auf der Baustelle durch Verbindungslamine aneinandergeschnitten. Die Verbindungslamine sind so ausgelegt, dass neben einer Klebeverbindung, die alleine schon völlig ausreichend wäre, die auftretenden Längskräfte zu übertragen, eine mechanische «Verkrallung» zwischen Rohrschaft und Laminat entsteht.

Durch physikalische und mechanische Prüfungen, die bei der ComTec GmbH in Aachen durchgeführt wurden, konnten folgende Material-Eigenschaften als gegeben festgestellt werden:

Zugfestigkeit in	
Längsrichtung:	98 N/mm <sup>2</sup>
Bruchdehnung in	
Längsrichtung:	1,45 %
Elastizitätsmodul in	
Längsrichtung:	9800 N/mm <sup>2</sup>
Wärmeausdehnungskoeffizient	
in Längsrichtung:	$20 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Bei einer Fixmontage würden die Widerlager infolge der verhinderten Rohrausdehnung mit rund 100 t Zug bzw. Druck beansprucht, wofür sie aber nicht ausgelegt waren, was den Einbau eines Kompensators im Bereich des be-



Bild 7. Rohrleitungsbrücke

weglichen Brückenlagers erforderlich machte. Um der Forderung nach Unterhaltsfreundlichkeit einigermaßen nachzukommen, wurde der Kompensator so ausgebildet, dass er einfach ausgetauscht werden kann.

### Elektromechanische Anlagenteile

Die Erfahrungen nach der Inbetriebnahme der erweiterten Kläranlage Werdhölzli haben dazu geführt, dass bei der Planung und der Bauausführung des Regenbeckens den elektromechanischen Komponenten (Absperrorgane, Spülklappen, Pumpen, Krananlage, Drucktore, Schlosserarbeiten) erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Vor allem der Konstruktion und der Materialwahl wurde verstärkt Gewicht beigemessen. Damit die hohen Ansprüche erfüllt werden konnten, wurden die einzelnen Bauteile nach einem detaillierten Qualitätssicherungskonzept kontrolliert. Im folgenden werden Problematik und Bauüberwachung am Beispiel von zwei funktionell wichtigen Gruppen von elektromechanischen

Komponenten aufgezeigt: den Absperrorganen und den Spülklappen.

### Absperrorgane

In der Regenbecken-Anlage sind folgende Schützen und Dammpfatten installiert:

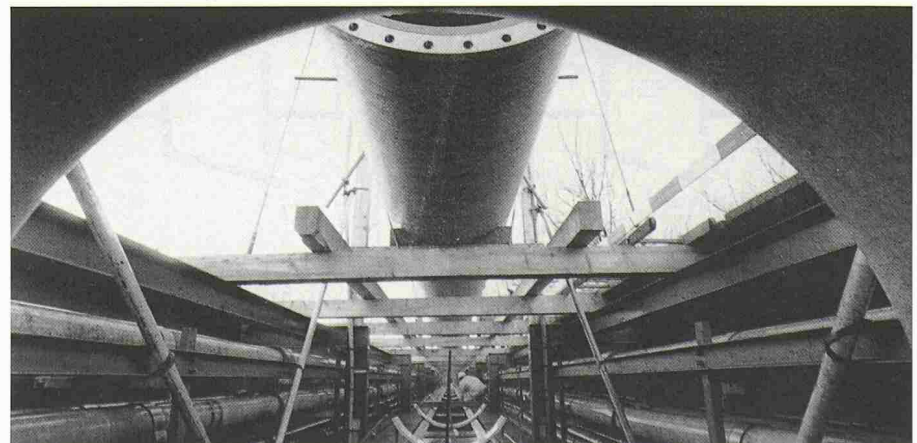
#### Absperrschützen Höngrwehr

Sie können zum Erzeugen eines Wasserschwalls für die Spülung des Zulaufkanals herangezogen werden. Im normalen Betriebszustand sind sie geöffnet. Ihrer Funktion entsprechend dichten sie nur gegen zuströmendes Abwasser aus Richtung Europabrücke/Pfingstweid.

#### Notauslass-Schützen Höngrwehr

Sie dienen zur Entlastung des Zulaufkanals in die Limmat, wenn dieser nicht mit Abwasser beschickt werden kann. Normalerweise sind diese Schützen geschlossen. Damit im Normalzustand weder Abwasser direkt in die Limmat noch Limmatwasser in den Zulaufkanal gelangen kann, sind die Schützen beidseitig dichtend ausgeführt.

Bild 8. Rohrleitungsbrücke. Versetzen des GFK-Rohres





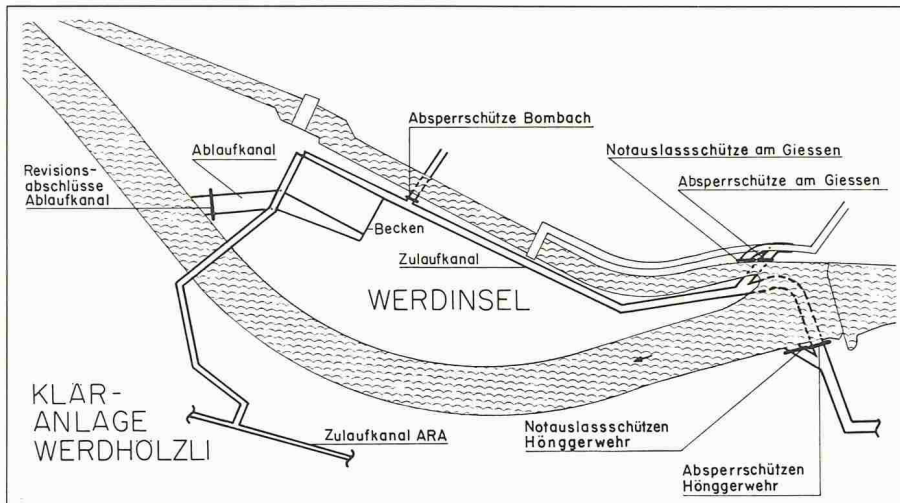


Bild 9. Übersichtsplan mit Standort der Schützen

**Absperrschütze Entlastungsleitung am Giessen**

Diese dient als Abschluss des Zulaufkanals von Hönngg und ist im Normalbetriebszustand offen. Sie ist nur auf der Oberwasserseite dichtend ausgebildet.

**Notauslass-Schütze am Giessen**

Sie dient als Notauslass des Zulaufkanals von Hönngg, wenn dieser das Abwasser nicht in den Zulaufkanal abgeben kann. Analog den Notauslass-Schützen am Hönnggerwehr ist sie beidseitig dichtend ausgeführt.

**Absperrschütze der Unterquerung des Oberwasserkanals, Anschluss Bombach**

Diese dient als Abschluss des bestehenden Kanals gegen den Zulaufkanal; sie ist normalerweise offen und beidseitig dichtend ausgebildet.

**Revisionsabschlüsse im Ablaufkanal**

Die Revisionsabschlüsse dienen zum Abschluss des Ablaufkanals bei Unterhaltsarbeiten; sie sind als Dammplatten ausgebildet. Im Normalzustand sind diese Abschlussorgane im Dammplattenlager der ARA Werdhölzli deponiert und werden im Bedarfsfall mit Fahrzeugen zu den Schächten gebracht und eingesetzt.

tenlager der ARA Werdhölzli deponiert und werden im Bedarfsfall mit Fahrzeugen zu den Schächten gebracht und eingesetzt.

Aus Korrosionsschutzgründen sind alle Schützen aus CrNiMo-Stahl hergestellt, ebenso die einbetonierten Seitenführungen und Fussarmaturen. Um die Bildung galvanischer Elemente zu verhindern, musste streng darauf geachtet werden, dass kein metallischer Kontakt zwischen Schützen-Führungen und Armierungseisen besteht. Die Kontaktfreiheit wurde durch Widerstandsmessungen während des Einbaus und nach dem Eingiessen des Betons überprüft.

Die maximal zulässige Leckrate aller Absperrorgane beträgt 0,1 Liter Abwasser je Sekunde und Laufmeter Dichtung.

Alle Schützen sind mit ölhdraulisch betätigten Druckzylindern ausgerüstet und werden mit einem mobilen Ölhdraulikaggregat angetrieben.

Wegen des bezüglich Korrosion weit unproblematischeren Einsatzes der beiden Dammplatten im Ablaufkanal

wurden sie aus Kostengründen aus RSt 37-2 gefertigt und gemäss den Korrosionsschutzrichtlinien der Stadtentwässerung Zürich beschichtet. Zum Ein- und Ausbau mit einem fahrbaren Kran sind an den Platten entsprechend bemessene, rostfreie Stahlseile mit Halteösen angebracht.

**Spülklappen**

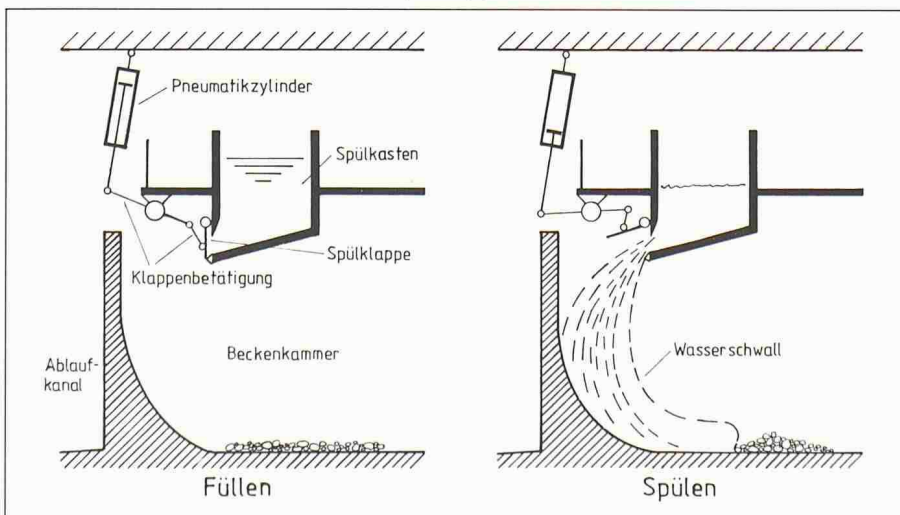
Nach der Beschickung der Beckenkammern mit Abwasser und deren Entleerung wird es nötig sein, die Böden vom abgelagerten Schlamm zu reinigen. Dies geschieht mit einem Wasserschwall. Das dazu benötigte Grundwasser wird in Spülkästen am oberen Kammerrand gepumpt, welche durch pneumatisch betätigte Spülklappen dicht abgeschlossen sind. Bei Spülbeginn werden die Klappen innert kurzer Zeit geöffnet, wodurch das Wasser als Schwall durch die Kammer strömt und den Boden freispült.

Die optimale Geometrie von Spülkästen, Klappen und Kammer (Bild 10) wurde anhand von Versuchen festgelegt, welche von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich ausgeführt wurden [1].

Dabei zeigte sich auch, dass die Spülklappen nach spätestens einer Sekunde soweit geöffnet sein müssen, dass sie das freie Ausströmen des Wassers nicht mehr behindern. So ist gewährleistet, dass der Spülschwall die nötige Intensität aufweist.

Die Dichtigkeit der Spülklappen wurde so definiert, dass die Leckrate maximal 0,5 l Wasser je Minute und Laufmeter Dichtungslänge betragen darf. Um Korrosionsproblemen vorzubeugen, ist die ganze Klappenkonstruktion aus CrNiMo-Stahl (WSt Nrn. 1.4404 und 1.4435) gefertigt und musste kontaktfrei zur Armierung versetzt werden. Während diese Bedingung erfüllt wurde, zeigte sich, dass die Jordahlschienen, an welchen die Klappenlager befestigt sind, Kontakt zur Armierung aufweisen. Da die Betonüberdeckung der Armierung praktisch überall grösser als 3 cm ist, kann aber nach heutigen Erkenntnissen gefolgert werden, dass die Passivität der Armierungseisen genügend hoch ist, um einem Korrosionsangriff zu widerstehen. An einer Stelle ist die Betonüberdeckung deutlich kleiner als 3 cm; dort wurde durch Aufbringen einer Kunstharzschicht der Korrosionsschutz gewährleistet.

Bild 10. Geometrie von Spülkästen, Spülklappen und Beckenkammer



**Qualitätssicherungskonzept/ Versuche**

Die elektromechanischen Komponenten wurden der Konstruktion und den



Anforderungen entsprechenden Qualitätskontrollen unterzogen. Während der Herstellungsphase erfolgte die Qualitätssicherung in den Werken durch Einforderung von Materialzeugnissen bei der Verarbeitung von CrNiMo-Stählen sowie durch Werkskontrollen (Massgenauigkeit, materialgerechte Verarbeitung, Montageendkontrolle im Werk). Anschliessend wurde die Qualitätskontrolle durch regelmässige Prüfungen am Bau während der einzelnen Phasen vorgenommen; so wurden Anlieferungs-, Einbau-, Montageend-, Korrosionsschutz- und schliesslich Funktionskontrollen durchgeführt.

Daran anschliessend begann eine Serie von Versuchen, bestehend aus Komponententest im Trockenzustand, Nass-test, Abnahmetest (Übergabe an den Bauherrn) und schliesslich der integrierte Systemtest (Inbetriebsetzung der gesamten Anlage). Die bis heute vorgenommenen Kontrollen haben gezeigt, dass sich das Qualitätssicherungskonzept bewährt hat.

Während der Versuche an den Absperrorganen wurde deren vorgesehene Funktion überprüft und die Dichtigkeit nachgewiesen.

Die Spülklappen wurden erst der Funktionskontrolle unterworfen; hier hat sich gezeigt, dass die Öffnungsgeschwindigkeit den Anforderungen des Pflichtenhefts genügt. Die hohen strömungstechnischen Anforderungen an alle benetzten Teile, vor allem im Bereich des Spülklappenrahmens, haben zu engen Bautoleranzen geführt, und es wurden strömungsgünstig optimal ausgeführte Bauteile und Übergänge zwischen den Bauteilen gefordert. Die Qualität der Ausführung wurde diesen Anforderungen gerecht, so dass gute Spülergebnisse anlässlich der Nassversuche erwartet werden können.

## Korrosionsschutz

Um Korrosionsprobleme an eintauchenden Metallkonstruktionen weitgehend zu verhüten, kommt heute in Kläranlagen zunehmend rostfreier Stahl zur Anwendung. Dieser Grundsatz wurde auch beim Bau des Regenbeckens Werdsinsel befolgt. Es wäre nun aber falsch, zu glauben, dass allein schon durch die Verwendung von nichtrostenden Stählen die Korrosionsgefahr vollständig behoben sei. Vielmehr sind eine Anzahl von begleitenden Massnahmen erforderlich, um einen umfassenden Korrosionsschutz zu erzielen.

Nichtrostende Stähle gehören zu den sogenannten passiven Metallen. Ihr

Korrosionsschutz beruht auf einem hauchdünnen Oxidfilm, welcher die gesamte Metalloberfläche bedeckt und der sich bei Verletzungen normalerweise sofort wieder neu bildet. Die Korrosionsfestigkeit hängt somit von der Qualität dieses Schutzfilmes ab und sie kann drastisch vermindert werden, falls dieser nicht homogen aufgebaut ist oder seine ständige Erneuerung durch Störfaktoren behindert wird. Solche Faktoren sind hauptsächlich:

- Heterogener Oxidfilmaufbau
- Kaltverformung durch unsachgemässe Verarbeitung
- Gefügeveränderungen durch unsachgemäss durchgeführte Schweissarbeiten
- Nichtmetallische oder fremdmetallische Einschlüsse

Es ist deshalb sehr wichtig, dass bei der Verarbeitung nichtrostender Stähle folgende Grundregeln und Vorsichtsmassnahmen berücksichtigt werden:

- Als Werkstoff sollen grundsätzlich nur werkseitig lösungsgeglühte und abgeschreckte nichtrostende Stähle verwendet werden.

- Für geschweisste Konstruktionen müssen nichtrostende Stähle mit einem Gehalt von weniger als 0,04% C zur Anwendung kommen. Ferner muss das Schweissgut (Elektrodenmaterial) mindestens die gleiche Korrosionsbeständigkeit wie das zu verschweisende Halbzeug aufweisen (Basler Norm).

- Die Schweissnähte und die unmittelbar angrenzenden Zonen müssen nach der Bearbeitung sorgfältig nachbehandelt, d. h. gebeizt und passiviert werden. Sofern Schweissnähte geschliffen werden müssen, soll dies möglichst feinkörnig geschehen, um tiefe Schleifspuren zu vermeiden.

- Bei Konstruktionen aus nichtrostenden Stählen müssen enge und tiefe Spalten zwischen Metallteilen unbedingt vermieden werden, da sonst die für solche Stähle typischen Spaltkorrosionen auftreten. Wo solche Spalten nicht durch konstruktive Massnahmen verhütet werden können (z. B. bei Flanschverbindungen), müssen sie mittels eines anschmiegsamen, nicht hygroskopischen und elektrisch nicht leitenden Dichtungsmaterials ausgefüllt werden.

- Werden Konstruktionen aus nichtrostenden Stählen im Feucht-, Nass- oder Unterwasserbereich eingesetzt, müssen metallische Kontakte zwischen ihnen und anderen (vor allem elektrochemisch unedleren) Metallen durch geeignete Montagetechniken verhindert werden, da es sonst zu Korrosionsan-

griffen durch Makroelementbildung kommt. Eine solche Trennung soll, wo immer dies möglich ist, zwischen Konstruktionen aus nichtrostenden Stählen und der Betonarmierung von Bauwerken zur Anwendung kommen. Zwar weist Armierungsstahl, sofern er von einer genügend dicken Betonschicht (Minimum 30 mm) satt eingehüllt ist, praktisch das gleiche Korrosionspotential wie rostfreier Stahl auf, so dass sich theoretisch kein Makroelement zwischen den beiden bilden sollte. Bei dünnerer Umhüllung besteht aber, durch die zunehmende Karbonatisierung des Betons im Laufe der Zeit von der Oberfläche her nach innen, die Gefahr einer mindestens stellenweisen Depassivierung des Armierungsstahls mit entsprechendem Potentialrückgang und damit, im Falle eines metallischen Kontaktes zur benachbarten Konstruktion aus nichtrostendem Stahl, zur Makroelementbildung zwischen den beiden. Dies führt in der Folge zu Korrosionsangriffen an der Betonarmierung mit fortschreitender «Absprengung» des Hüllbetons durch Volumenzunahme der Korrosionsprodukte. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich bei Verwendung von einbetonierten Jordahlschienen für die Befestigung von Metallkonstruktionen an Bauwerken erfahrungsgemäss metallische Kontakte zur Betonarmierung kaum verhüten lassen. Sofern also eine galvanische Trennung gegenüber der Betonarmierung angestrebt wird, sollten zur Befestigung von Konstruktionen aus rostfreiem Stahl wenn möglich sogenannte «Klebanker» mit Gewindebolzen aus ebenfalls rostfreiem Stahl verwendet werden. Sollte unter extrem schwierigen Verhältnissen eine galvanische Trennung zwischen Betonarmierung und äusserer Metallkonstruktion mit vernünftigen Aufwände nicht zu erreichen sein, so muss darauf geachtet werden, dass die Betonüberdeckung der Betonarmierung unbedingt bei 30 mm oder darüber liegt (Kontrollmessungen) oder dass die Betonoberfläche durch eine geeignete Kunststoffbeschichtung «versiegelt» wird, um den Karbonatisierungsprozess zu verlangsamen.

## Literatur

- [1] P. Volkart: Ausgewählte hydraulische Untersuchungen für das Regenbeken Werdsinsel SIA Heft Nr. 29, 1988; S. 854-859

Adressen der Verfasser: Dr. Th. Bürki, Fietz AG Bauingenieure, 8001 Zürich, O. Hartmann, Büro für Korrosionsschutz, 8810 Horgen, W. Müntener, Fietz AG Bauingenieure, 8001 Zürich, E. Naef, Fietz AG Bauingenieure, 8001 Zürich.