Das Projekt

Autor(en): **Conradin, Fritz / Steiner, Hansruedi**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 29

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85769

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Das Projekt

Abgrenzung zur Kläranlage Werdhölzli

Abwasserableitung und Abwasserreinigung müssen als ein Gesamtsystem betrachtet werden, das hohe hygienische

VON FRITZ CONRADIN UND HANSRUEDI STEINER, ZÜRICH

und gewässerschützerische Anforderungen zu erfüllen hat. Aus diesem Grund war die Regenwasserbehandlung bereits in der Planungsphase für die Erweiterung der Kläranlage Werdhölzli in den frühen siebziger Jahren mitberücksichtigt worden. Im damals durchgeführten Ideenwettbewerb wurden nicht nur für den Kläranlagenausbau, sondern auch für die Regenwasserbehandlung auf dem Werdhölzliareal Vorschläge erarbeitet. Sie bezogen sich auf die nicht mehr in der Kläranlage zu behandelnden Anteile des mit Regenwasser verdünnten Schmutzwassers und reichten von einer Hochgeschwindigkeits-Filtration bis zu einfachen Absetzanlagen. Bei der Verfahrenswahl für die Abwasserreinigung wurde dann gleichzeitig entschieden, dass oberhalb der Kläranlage im Rahmen eines getrennten Projektes ein Regenbecken mit genügender Speicherkapazität zu planen und zu erstellen sei.

Die Bedeutung für den Gewässerschutz

Beim Hönggerwehr, etwa 500 m oberhalb der Kläranlage Werdhölzli liegt ein grosser Entlastungskanal, der dort bis anhin in die Limmat mündete. Er dient zur Ableitung des Überlaufwassers aus den drei grössten Regenüberlaufbauwerken der Stadt Zürich, d.h. aus den links der Limmat gelegenen Entlastungen «Pfingstweid», «Hardturm» und «Europabrücke». Weitere, weniger grosse Regenentlastungen liegen im Gebiet von Höngg auf der rechten Limmatseite (Bild 1).

Diese grossen Regenentlastungen machten bisher den weitaus grössten Anteil der gesamten Überlauffracht im Einzugsgebiet der Kläranlage Werdhölzli aus. Jährlich überliefen hier bei Regenfällen rund 5 Mio m³ Mischwasser. Dies entspricht etwa 75% jener Wassermengen, die bisher noch völlig unbehandelt überlaufen konnten (Tabelle 1). Die ausserordentliche Bedeutung eines Regenbeckens, welches in der Lage ist, die Überlauffrachten der genannten Entlastungen zu speichern oder mindestens zu klären, ist somit klar ausgewiesen.

Durch die Lage fast unmittelbar vor der Kläranlage und im Einzugsgebiet des grössten Hauptzuflusskanales kann das Regenbecken jedoch noch eine andere wichtige Funktion übernehmen, nämlich diejenige eines Katastrophenbeckens. Bei irgendwelchen Unfällen auf Stadtgebiet, bei denen Problemstoffe über das Abwasser in die Kanalisation gelangen, kann das Regenbecken als Rückhaltebecken benutzt werden. Es kann damit in der Regel sowohl Limmat wie Kläranlage vor einer Vergiftung der Biozönose schützen.

Die Standortwahl

Am naheliegendsten wäre es gewesen, das Regenbecken dort anzuordnen, wo die grössten Überlaufwassermengen anfallen, also links der Limmat. Die intensive Überbauung, vor allem aber auch die Schutzzone um die Grundwasseranreicherungsanlagen Hardhof der Stadtzürcher Wasserversorgung, verunmöglichten es jedoch, hier einen Standort genügender Grösse zu finden. Hingegen bot sich die Werdinsel an, die am Fusse von Höngg zwischen Limmat und Oberwasser- bzw. Unterwasserkanal des Kraftwerkes am Giessen gelegen ist. Entwässerungstechnisch erlaubt dieser Standort gleichzeitig noch weitere, zum Teil allerdings kleinere Regenentlastungen von Höngg, rechts der Limmat gelegen, anzuschliessen. Andernfalls wären dort getrennte Regenbecken nötig gewesen.

Zusammen mit dem Bau des Hönggerwehres, einer Stauhaltung des Elektrizitätswerkes und der Wasserversorgung, konnte bereits in den Jahren 1980/81

Bild 1. Schematische Darstellung der Entlastungssituation vor der Kläranlage Werdhölzli

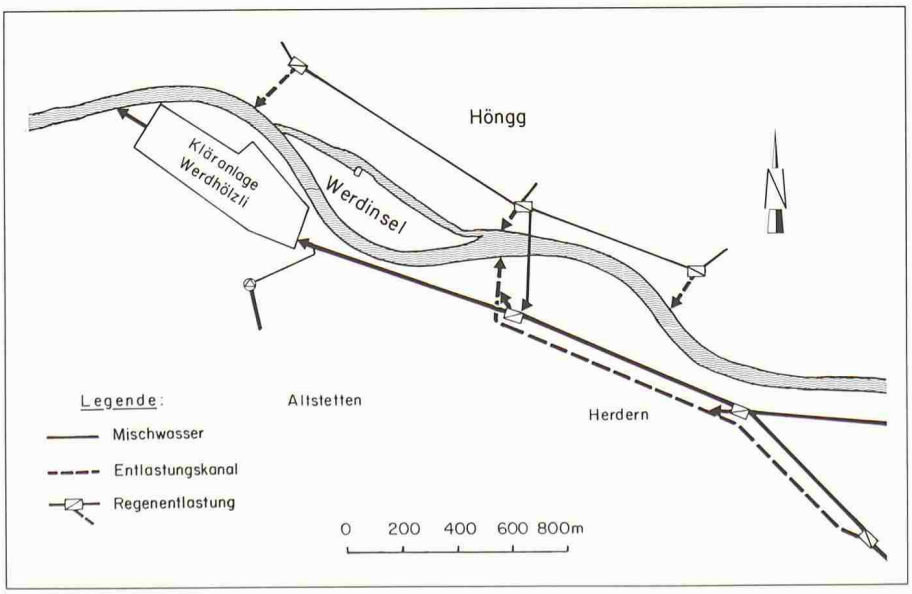


Tabelle 1. Ungefähre Regenwasserfrachten im Einzugsgebiet Werdhölzli (vor Inbetriebnahme des Regenbeckens Werdinsel)

	Mio m³/a
Gesamte im Kanalnetz abgeleitete Wassermenge	14
Davon in der Kläranlage behandelt	6
Überlauffracht, in Regenbecken vorbehandelt	1
Überlauffracht aus den Regenentlastungen «Hardturm», «Pfingstweid» und «Europabrücke»	5
Überlauffracht aus übrigen Regenentlastungen im Einzugsgebiet	2

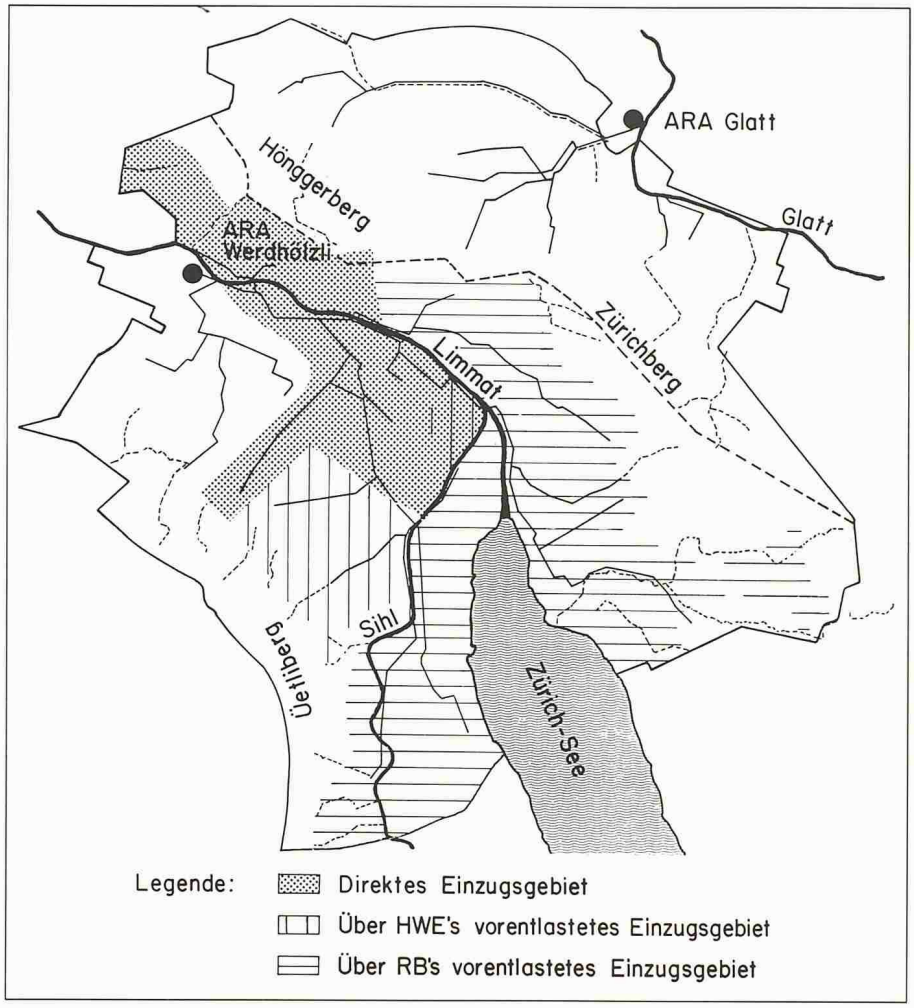


Bild 2. Das Einzugsgebiet des Regenbeckens auf der Werdinsel

die notwendige Limmatunterquerung kostengünstig erstellt werden. Die Werdinsel selbst, grösstenteils unüberbaut, bietet gute Verhältnisse für die Erstellung eines derartigen Bauwerkes.

Grundlagen und Randbedingungen für das Projekt

Das Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet des Regenbeckens Werdinsel stimmt weitgehend mit jenem der Kläranlage Werdhölzli überein. Nur das Gebiet von Altstetten ist nicht angeschlossen. Etwa 5000 ha bzw. 1400 ha red. (nur die undurchlässigen, abflusswirksamen Flächenanteile berücksichtigt) entwässern zu diesem Regenbecken. Das Einzugsgebiet des Regenbeckens Werdinsel ist in Bild 2 dargestellt.

Tabelle 2. Einzugsgebiet des Regenbekkens Werdinsel

	ha red.
Direktes Einzugsgebiet	300
Über Hochwasserentlastungen vorentlastet	230
Über Regenbecken (Q ab = 3QTW) vorentlastet	870
Total	1400

Es besteht aus Teilen, die direkt zum Regenbecken entwässern. Andere Gebiete sind über Regenauslässe, welche bei kritischen Regen der Intensität um 30 l/s und ha anspringen, vorentlastet. Das übrige Gebiet ist jenes, wo schon Regenbecken gebaut sind. Es handelt sich dabei meist um Zonen am Zürichsee oder längs des gestauten Bereiches der Limmat (Tabelle 2). Um dort bei vernünftigen Beckenvolumina und Preisen – in diesem innerstädtischen Bereich sind die Platzverhältnisse oft sehr knapp und die Baukosten ausserordentlich hoch – noch eine gute Rückhaltewirkung zu erzielen, ist der Regenbeckenablauf Richtung Kläranlage höher angesetzt worden als der übliche zweifache Trockenwetteranfall (2 QTW). Die entsprechende Reduktion vom dreifachen auf den zweifachen Trockenwetteranfall hat deshalb noch vor der Kläranlage zu erfolgen, was bei der Bemessung des Regenbekkens Werdinsel berücksichtigt worden ist.

Wassermengen

Richtung Kläranlage fliessen bei Starkregen links der Limmat im Hauptsammelkanal fast 60 m³/s Abwasser. Etwas mehr als 8 m³/s werden aus dem entsprechenden Einzugsgebiet zur Kläranlage geleitet. Ein diese Menge überschreitender Wasseranfall muss zusammen mit weiteren Überläufen von Höngg der Regenwasserbehandlung zugeführt werden. Gesamthaft muss das Regenbecken einen maximalen Zufluss von 55,4 m³/s verarbeiten können.

Schmutzfrachten

Die Schmutzstofffrachten, die bisher an der Mischwassereinleitstelle beim Hönggerwehr in die Limmat eingeleitet wurden und in Zukunft dem Becken zugeleitet werden, sind beachtlich. Die jährliche Fracht an suspendierten Stoffen war dort grösser als jene des Kläranlagenablaufes. Selbst der Biologische Sauerstoffbedarf (BSB 5) betrug mehr als die Hälfte der von der Kläranlage noch abgegebenen Menge (Bild 3).

Der Vorfluter

Als Vorfluter dient die Limmat. Die mittlere Wasserführung wird einerseits vom Zürichsee her bestimmt, welcher als Speicher eine ausgleichende Wirkung auf den Limmatabfluss hat. Anderseits fliesst die Sihl mit einem wildbachähnlichem Charakter und demzufolge stark schwankendem Abfluss der Limmat zu. Solange die Sihl wenig Wasser führt, ist die Limmat klar. Mischwassereinläufe aus Regenentlastungen sind dann leicht erkennbar. Dies war mit ein Grund, die Überlaufhäufigkeit aus dem Regenbecken möglichst gering zu halten. Bei Hochwasser in der Sihl wird allerdings auch die Limmat unterhalb des Zusammenflusses stark getrübt.

Bei sehr hohem Wasserstand in der Limmat, bei mehr als etwa 500 m³/s Abfluss, was statistisch etwa alle 25 Jahre vorkommt, kann im Kanalnetz ein Rückstau entstehen, der das ungehinderte Funktionieren der grossen Regenentlastungen beeinflusst. Dies war bei der Projektierung des Regenbeckens mit seinen Zulaufkanälen zu berücksichtigen.

Baugrund

Unter der Humusschicht sind vor allem mächtige kiesige und sandige Schichten anzutreffen. Die dichten Seebodenablagerungen sind erst in einer Tiefe von 10 bis 15 m anzutreffen. Die Wasserdurchlässigkeit der Kiessandschichten ist ziemlich gross. Der mittlere Grundwasserspiegel, teilweise durch die Stauhal-

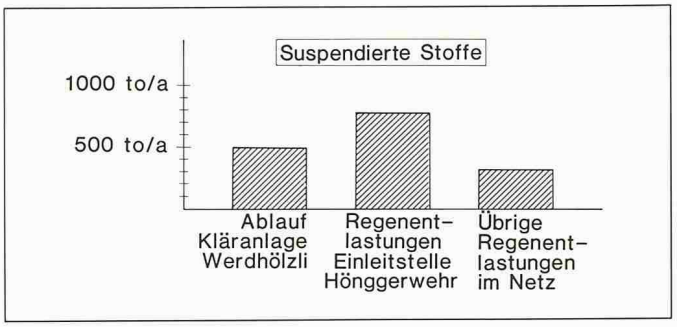


Bild 3. Anfall an suspendierten Stoffen im Einzugsgebiet der Kläranlage Werdhölzli

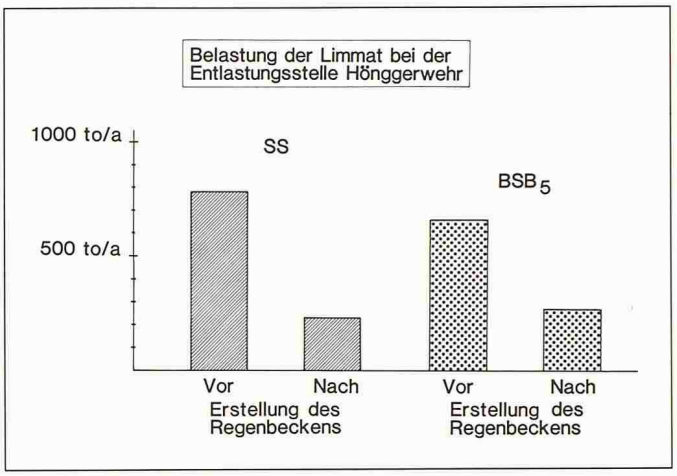


Bild 5. Die Wirkung des Regenbeckens bezüglich suspendierter Stoffe und BSB 5

tung des Kraftwerkes am Giessen gespiesen, liegt nur 1,5 m unter der Geländeoberfläche.

Die Naherholungsfunktion der Werdinsel

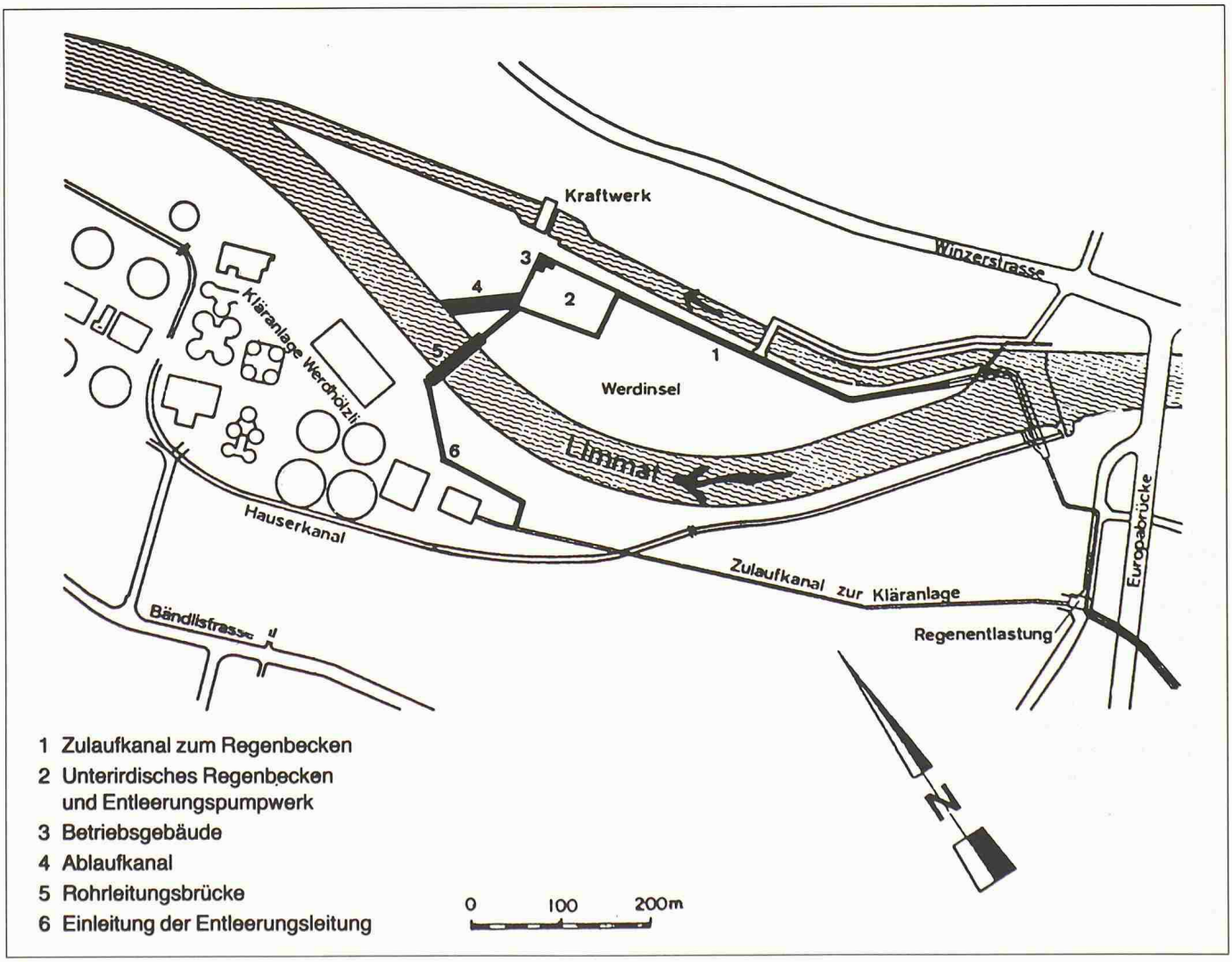
Die Werdinsel liegt am Fusse von Höngg. Neben den Gebäuden einer alten, noch aus dem letzten Jahrhundert stammenden Spinnerei und Textilfabrik ist das rund 750 m lange und 150 m breite Inselgelände unüberbaut. Die Erschliessung für Fussgänger war schon bisher durch Zugänge über das Hönggerwehr am oberen Ende der Insel sowie über einen Steg über die Limmat am unteren Ende als Verbindung zum linksufrigen Fischerweg recht gut. Die relativ unberührte Auenlandschaft zog schon immer Fussgänger und Badende an. Auf der Werdinsel sind Familiengärten und einfache Felder für Ballspiele zu finden.

Es ist selbstverständlich, dass alle diese Nutzungen nach dem Bau des Beckens wieder möglich sein müssen. Wünschbar ist sogar eine noch bessere *Gestaltung* der Werdinsel.

Anordnung und Funktionsweise des Regenbeckens

Durch die Standortwahl am Rande der Bauzone auf der Werdinsel sowie durch die geographische Lage der Regenentla-

Bild 4. Übersichtsplan Regenbecken Werdinsel



stungen und der Kläranlage war die Grobdisposition der Anlageteile, wie sie aus Bild 4 hervorgeht, weitgehend gegeben.

Die Entfernung zwischen der Entlastungsstelle beim Hönggerwehr und dem zentralen Standort des Beckens erfordert einen entsprechend langen Zulaufkanal (rund 400 m), während das Beckenüberlaufwasser in einem kurzen Ablaufkanal der Limmat zugeführt werden kann. Bedingt durch die Höhenlage der Anlagen muss die Beckenentleerung mittels Pumpen erfolgen, die in einem Betriebsgebäude untergebracht sind. Damit die gespeicherten Mischwassermengen zur Reinigung an die Kläranlage übergegeben werden können, ist eine Entleerungsleitung vom Regenbecken über die Limmat zum Kläranlagenzulauf nötig.

Das Regenbecken wird im Nebenschluss betrieben. Es wird dann beschickt, wenn es genügend stark regnet, so dass ein oder mehrere angeschlossene Regenüberläufe links oder rechts der Limmat anspringen, oder wenn im direkt angeschlossenen Trennsystem ein Regenabfluss stattfindet. Im Zulaufkanal wird das Wasser dem Regenbekken zugeführt. Im Verteilkanal, der Verlängerung des Zulaufkanales, wird es durch Öffnungen oder über Überfallkanten in die acht Beckenkammern geleitet.

Die Anlage ist als Durchlaufbecken konzipiert, da bei einem Einzugsgebiet dieser Grösse kein ausgeprägter, am Anfang des Überlaufereignisses stattfindender, überdurchschnittlich stark verschmutzter Spülstoss zu erwarten ist. Es besteht aber die Möglichkeit, den Überlauf der ersten vier Kammern zu schliessen, so dass dieser Beckenteil als Fangbecken wirkt.

Ist der Zufluss zum Regenbecken grösser als die Menge, die gespeichert werden kann, so überläuft das Wasser in den Ablaufkanal zur Limmat.

Die Entleerung des Beckens kann schon während der Füllung stattfinden, falls der Zulauf zur Kläranlage kleiner als etwa 7 m³/s ist und diese somit genügend Kapazität aufweist. Die gesamte Anlage wurde unterirdisch angelegt. Die sich aus der Hydraulik ergebende Höhenlage und die notwendige Erdüberdeckung erforderten allerdings ein Anheben der Geländeoberfläche um rund 2 m. Die Geländeanpassungen erfolgten jedoch so grossflächig, dass der auenartige Charakter der Werdinsel bestehen blieb. Oberirdisch wurde einzig das im Verhältnis zu den Beckenabmessungen kleine Betriebsgebäude erstellt. Es dient der Zugänglichkeit zu den Anlageteilen und hat Räume für Elektro- und Lüftungsanlagen.

Tabelle 3. Simulierte Überlaufmengen und -häufigkeiten bei verschieden grossen Speichervolumina (Zuflussmenge zur Kläranlage: 8,1 m³/s)

Speicher-volumen	Überlauf-menge	Überlauf-häufigkeit
30 000 m³	1 620 000 m³/a	26/a
40 000 m³	1 350 000 m³/a	23/a
50 000 m³	1 130 000 m³/a	19/a

Hydraulische und abwassertechnische Bemessung

Grundsätzliche Überlegungen

Im vorliegenden Fall handelt es sich um die Sanierung der weitaus grössten Einleitung von Überlaufwasser aus der Mischkanalisation der Stadt Zürich. Diese Tatsache hatte dazu geführt, dass man hier im Sinne eines Sanierungsschwerpunktes weitgehende Forderungen erfüllen wollte. Dies war besonders erfolgversprechend, weil hier im Vergleich zu anderen städtischen Regenbecken die Voraussetzungen für ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis durchaus gegeben waren.

Gemäss der Konzeption für die Sanierung des Stadtzürcher Kanalnetzes sollen bei Regenentlastungen Regenbekken angeordnet werden, um einerseits die Schmutzstofffrachten im Vorfluter zu verringern, und um anderseits sichtbare ästhetische Verunreinigungen beim Vorflutgewässer zu vermeiden.

Der Umstand, dass die Limmat auch während örtlichen Regengüssen über der Stadt oft klares Wasser führt, hat zur Folge, dass sichtbare Verunreinigungen durch Trübung nur durch weitgehende Verhinderung des Anspringens des Beckenüberlaufes auf ein erträgliches Mass reduziert werden können. Konsequenterweise galt es also auch aus diesem Grund, genügend Speicherkapazität zu bauen, um die Überlaufhäufigkeit gering zu halten.

Bemessung des Zulaufkanales

Massgebend dafür war die maximale zufliessende Wassermenge von rund 55 m³/s. Dadurch ergab sich beim vorhandenen Gefälle ein Kanalquerschnitt von 5,4 m × 5 m. Infolge der erwähnten Länge von rund 400 m ergibt sich hier im eingestauten Zustand bereits ein nutzbares Speichervolumen von etwa 20 000 m³.

Die Bestimmung des Speicherinhaltes

Um den notwendigen Speicherinhalt zu bestimmen, wurden die Abfluss- und Überlaufverhältnisse bei verschieden grossen Rückhaltevolumina mittels EDV simuliert. Die bei gegebenem Zufluss zur Kläranlage und verschiedenen Speichervolumina berechneten Überlauffrachten und -häufigkeiten konnten dann gewertet und verglichen werden (Tabelle 3).

Die Anzahl der Beckenbeschickungen wurde zu etwa 85/Jahr und die gesamte im Regenbecken behandelte Fracht zu etwa 4 Mio m³/Jahr berechnet. Um diese Berechnungen zu erhärten, wurden im Jahre 1982 beim Regenüberlauf Europabrücke Messungen durchgeführt. Allerdings konnten diese Untersuchungen wegen des damals stattfindenden Kläranlagenausbaues nur bei auf 5 bis 6 m³/s gedrosseltem Kläranlagenzulauf erfolgen, so dass die erhaltenen Werte wiederum auf den später zutreffenden Zulauf umgerechnet werden mussten. Unter der Annahme, dass das Jahr 1982 betreffend der Art und Häufigkeit der Niederschlagsereignisse einigermassen durchschnittlich war, sind tatsächlich etwa 80 Beckenbeschikkungen jährlich zu erwarten. 31 der Beschickungen lieferten mehr als 40 000 m³ Wasser. Wenn man bedenkt, dass der Entleerungsvorgang noch während der Beschickung anlaufen kann, dürfte bei Beckengrössen von 30 000 und 40 000 m³ auch die simulierte Überlaufhäufigkeit von etwa 20 bis 30mal pro Jahr durchaus realistisch sein.

Um nun zur definitiven Wahl eines bestimmten Beckenvolumens zu gelangen, wurden selbstverständlich auch Überlegungen zum Kosten-Nutzen-Verhältnis gemacht. Dabei konnte festgestellt werden, dass es auf Stadtgebiet wohl nirgends möglich sein wird, günstigeren Speicherraum zu erstellen. Bei innerstädtischen Verhältnissen können die Kosten je m³ gar ein Mehrfaches ausmachen. Weiter wurde erkannt, dass eine Herabsetzung des Volumens, um beispielsweise ein Viertel, nur beim Becken möglich gewesen wäre und somit weder beim Zu- und Ablaufkanal noch beim Entleerungspumpwerk, noch bei der Entleerungsleitung Einsparungen hervorgerufen hätte. Die beim Gesamtbauwerk möglichen Einsparungen wären deshalb verglichen mit dem Verlust an Speicherkapazität recht gering ausgefallen. Schliesslich entschied man sich für eine Speichergrösse von 40 000 m³ (Becken und Zulaufkanal je 20 000 m³). Der Entscheid zum grossen Speicherraum wurde auch vom Umstand beeinflusst, dass das Regenbecken im Falle einer Katastrophe – man dachte dabei bereits an Chemieunfälle – in der Lage wäre, den Trockenwetterzufluss zur Kläranlage während rund fünf Stunden zu speichern.

Die erwartete Wirkung des Regenbekkens bezüglich suspendierter Stoffe und BSB 5 ist in Bild 5 dargestellt.

Bemessung des Ablaufkanales

Der Ablaufkanal musste wie der Zulaufkanal für die Ableitung der rund 55 m³/s bemessen werden und hat deshalb eine ähnliche Querschnittfläche. Bestimmt durch die Bedingung, bei niedrigem und mittlerem Wasserstand der Limmat keinen Rückstau in diesem Kanal zu erhalten, musste die Sohle des Kanales ziemlich hochgelegt werden. Dies führte zu einem breiten, niedrigen Profil von zweimal 6×2,1 m.

Pumpwerk und Entleerungsleitung

Bei der Bemessung von Entleerungspumpwerk und -leitung waren folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

a) Die Entleerung eines Regenbeckens soll grundsätzlich rasch erfolgen, um neuen Speicherraum für später ankommende Wassermengen zu schaffen.

b) Die Entleerungswassermenge wird begrenzt durch die maximale Kapazität der Kläranlage und die momentane Zuflussmenge zu jener.

c) Die Entleerungspumpen und die Leitung sollen aus konstruktiven und wirtschaftlichen Gründen nicht zu gross werden.

Im vorliegenden Fall kam natürlich auch dem letzten Punkt eine massgebende Bedeutung zu, weil 40 000 m³ gespeichertes Wasser wegzufördern doch eine sehr grosse Menge darstellen. Schliesslich wurde eine Fördermenge von 1,4 m³/s gewählt. Dies ergibt zwar eine lange Entleerungsdauer von über 8 h. Dies wird jedoch hingenommen, weil sonst die Pumpenanlage mit vier Pumpen viel zu gross geworden wäre. Trotzdem ist hier nun die Abwasser-Pumpstation mit der grössten Leistung der Stadt Zürich installiert worden. Auch die Entleerungsleitung hat für die gewählte Rückführmenge bereits den beachtlichen Querschnitt von 1200×800 mm. Tabelle 4 zeigt die wichtigsten Abmessungen der Bauwerke.

Betriebliche Anforderungen und getroffene Lösungen

Allgemeines

Wie bei allen Ingenieurbauwerken war auch hier darauf zu achten, dass die gestellte Aufgabe auch im Betrieb auf möglichst wirtschaftliche Art und Weise erfüllt wird. Aus der Funktion des Regenbeckens als Absetzbecken – Schmutzstoffe sollen ja möglichst zurückgehalten werden – ergibt sich, dass in eingestauten Kanälen und Becken Ablagerungen entstehen. Eine der wichtigsten betrieblichen Anforderungen ist, dass der personelle Aufwand für die Reinigung möglichst gering gehalten werden kann. Dies wiederum bedeutet den Einsatz elektromechanischer Einrichtungen. Solche sind auch für die Rückförderung der gespeicherten Wassermengen in die Kläranlage nötig. Eine weitere wichtige Betriebsanforderung ist deshalb die Wahl von betriebs- und wartungsfreundlichen Konzepten und qualitativ gute Ausführungen. Eine Anlage dieser Grösse muss natürlich auch überwacht werden. Die Betriebszustände müssen jederzeit bekannt sein. Auch hier lautet die Anforderung des Betriebes: möglichst wenig personeller Aufwand bei möglichst guten Informationen. Um für die neuartigen Probleme, die sich infolge der grossen Abmessungen von Regenbecken und Zulaufkanal ergaben, zweckmässige Lösungen zu erarbeiten, wurden im Rahmen der Planung und Projektierung die Betriebsleute frühzeitig aufgefordert, Stellung zu nehmen und ihre Erfahrungen einfliessen zu lassen.

Tabelle 4. Technische Daten der Anlageteile

Einzugsgebiet	3343 ha
Maximaler Zufluss	55,4 m³/s
Speichervolumen:	
Becken	20 000 m³
Zulaufkanal	20 000 m³
Total	40 000 m³
Leistung:	
Entleerungspumpwerk	1,4 m³/s
Abmessungen:	
– Regenbecken	
Länge	85 m
Breite	60 m
Maximale Tiefe	15 m
– Zulaufkanal zum Regenbecken	
Länge	420 m
Querschnitt	5,4×5 m
– Ablaufkanal in die Limmat	
Länge	60 m
Querschnitt	2mal 6×2,1 m
– Entleerungsleitung zur Kläranlage	
Länge	360 m
Querschnitt	1,2×0,8 m

Die Verschmutzung

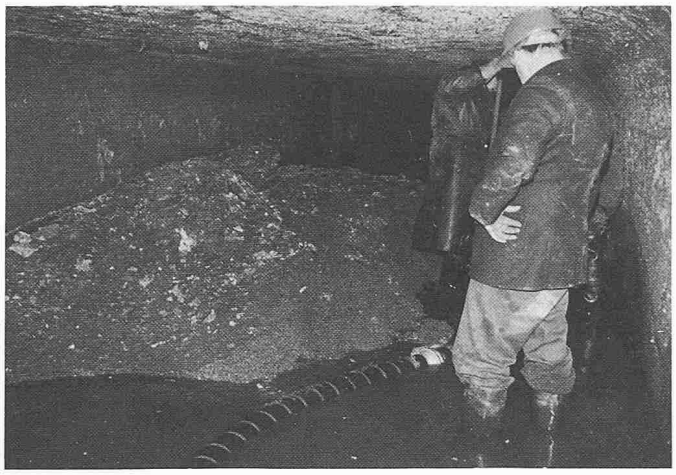
Die ins Kanalnetz gelangenden Schmutzstoffe werden nur bei gutem Gefälle und starkem Wasserstrom bis zur Kläranlage abgeschwemmt. Bei ungenügender Schleppkraft, ganz besonders bei schlechten Gefällverhältnissen, setzt sich ein Teil der Feststoffe im Kanal oder einem Regenbecken ab. In den Kanalisationen bauen sich die Ablagerungen mehr und mehr auf, verengen den Abflussquerschnitt und vermindern damit die Abflusskapazität. Im Gegensatz zu den ungewollten Ablagerungen im Kanalnetz werden diese in Regenbecken und allenfalls in Speicherkanälen ganz bewusst erzwungen. Das Entwässerungsnetz, einschl. Regenbecken, Stapelkanäle und Pumpwerke, muss daher entsprechend dem Kontrollergebnis gereinigt werden.

Die Erfahrungen des Kanalnetzbetriebes mit Regenwasserkanälen beschränkt sich in Zürich auf Kanäle mit 2,5 m Breite und Regenbecken mit kleinerem Inhalt, deren Boden so gestaltet ist, dass das Spülwasser mäanderartig in Rinnen durch das Becken geleitet wird. Dies ermöglicht eine sehr gute Reinigung des Beckens. Diese Tatsache sowie ausländische Beispiele und Erfahrungen zeigten, dass für das Regenbecken Werdinsel nicht einfach bekannte Reinigungstechniken übernommen werden konnten. Die grössten Unbekannten waren dabei die Art der Schmutzstoffe und die Korngrössen, die abgelagert werden. Ablagerungen im ehemaligen Entlastungskanal bei der Europabrücke, welcher heute zum Regenbekken führt, gaben gewisse Hinweise auf die im Stapelkanal und Regenbecken zu erwartenden Verschmutzungen (Bild 6).

Massnahmen im Projekt

Grundsätzlich war also in der Projektierung primär dafür zu sorgen, dass die Anlagen unterhaltsarm ausgestaltet wurden. In zweiter Linie waren die Voraussetzungen zu schaffen, dass der notwendige betriebliche Unterhalt mit minimalem Aufwand und trotzdem korrekt durchgeführt werden kann.

Zum ersten sind im Projekt verschiedenste Massnahmen getroffen worden. Als wichtigste sind die verschiedenen Beschickungsmöglichkeiten zu nennen, womit eine unnötige Verschmutzung vermieden wird. Bei kleinen Regenereignissen und bei Spülungen des Kanalsystems wird nur ein tiefliegender Teil des Regenbeckens mit 3000 m³ Inhalt bei den ersten vier von acht Kammern gefüllt. In diesem Fall werden weder der Zulaufkanal noch die übrigen Bekkenkammern eingestaut, also auch nicht verschmutzt. Bei mittleren Regenfällen steigt der Wasserspiegel soweit, dass ausser den ersten vier Bekkenkammern noch der Zulaufkanal eingestaut wird. Nur bei rund 25% der zu erwartenden Beckenbeschickungen



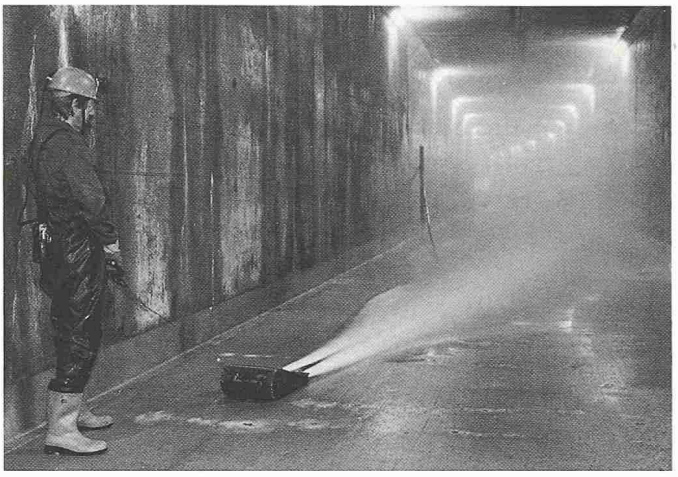


Bild 8. Schwingdüse zur Reinigung des Zulaufkanales

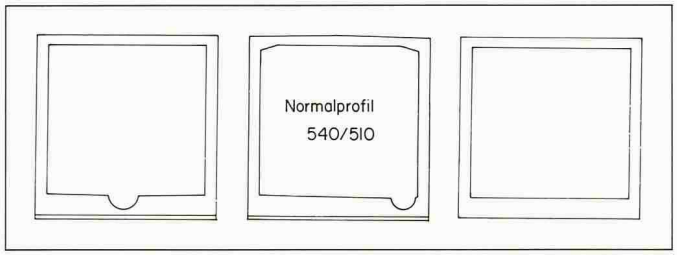


Bild 6. Ablagerungen im Entlastungskanal bei der Europabrücke

Bild 7. Untersuchte Querprofile für den Zulaufkanal

werden auch die letzten vier Beckenkammern gefüllt. Der unübersehbare Vorteil liegt also darin, dass jeweils nur die gefüllten bzw. eingestauten Anlageteile gereinigt werden müssen.

Weitere Massnahmen zielen zur Verminderung von Betriebsproblemen ab. So wurde anstelle eines Dükers unter der Limmat im Zulaufkanal eine viel unterhaltsfreundlichere Lösung gefunden. Die Limmatquerung wurde nämlich zusammen mit dem Hönggerwehr, einem Stauwehr des Elektrizitätswerkes, ausgeführt. Somit war es möglich, eine Sohle mit gleichmässigem Gefälle zu erstellen. Infolge der beschränkten Höhe wurde in diesem Bereich das Kanalprofil lediglich niedriger und breiter gewählt. Auch für die betrieblich optimale Gestaltung der Entleerungsleitung wurden verschiedene Lösungen studiert. Hier stellte sich insbesondere das Problem, wie die Wasserrückführung zum Kläranlagenzulauf auf der anderen Limmatseite am zweckmässigsten ausgeführt werden konnte. Gegenüber der Variante mit sehr langer Druckleitung unter der Limmat wurde die Lösung mit kurzer Druckleitung zur Überwindung des Höhenunterschiedes und anschliessender Freispiegelleitung bevorzugt. Ein Düker konnte hier mittels einer eleganten Hängebrükke vermieden werden.

Damit Reinigungsarbeiten möglichst gefahrlos ausgeführt werden können, wurde auf die gesamte Kanallänge und im Regenbecken eine Beleuchtung installiert. Bei allen Aus- und Einstiegschächten wurden zudem Elektrosteckdosen und Wasseranschlüsse vorgesehen, damit eine rationelle Reinigung möglich ist. Durch Kontrollstege im Regenbecken wird die Kontrolle erleichtert. Das Betriebsgebäude schafft gute Zugänglichkeiten und enthält alle notwendigen Steuereinrichtungen.

In jedem Fall aber sind auch die eingeplante gute Zugänglichkeit und die grossen Öffnungen an Becken- und Kanaldecke, welche das Hinablassen von Mulden erlaubt, wichtige betriebliche Erleichterungen.

Reinigungsmassnahmen im späteren Betrieb

Zur Entfernung der nicht vermeidbaren und gewollten Ablagerungen mussten die verschiedenen Reinigungsmöglichkeiten überprüft und bewertet werden.

Das bei kleinen Kanälen angewendete System mit Hochdruckstrahlwasser (Duisburger-Reinigung) wie auch die Reinigung mit Winden kommen hier nicht in Frage.

Saugfahrzeuge zur Reinhaltung des Kanalnetzes bei starker Verschmutzung haben sich bei grösseren Kanälen seit langem bewährt. Der dünnflüssige Schlamm wird abgesaugt, das Trübwasser wird wieder in den Kanal zurückgegeben. Die Reinigung durch Absaugen wird vielfach mit den vorgenannten Reinigungsarten kombiniert.

Doch auch diese Reinigungsart ist ungeeignet für die Reinigung des sehr grossen Zulaufkanales zum Regenbekken. In der Folge wurde die Reinigung mit Schwallspülung analysiert [1]. Die Schwallspülung bedient sich einer im Kanal eingebauten Spülvorrichtung wie Spültüren, Absperrschieber oder Klappen. Dadurch wird oberhalb der Absperrstelle Wasser oder Abwasser aufgestaut. Nach dem plötzlichen Öffnen des abgesperrten Kanalquerschnittes wirbelt die Kopfwelle des gestauten Wassers den abgelagerten Schlamm auf, und die nachfolgenden Wassermassen tragen ihn weiter. Weil die Schwallwirkung mit der Entfernung sehr schnell abnimmt, eignet sich dieses Verfahren nur für kurze Kanalstrecken. Der rund 700 m lange Zulaufkanal hätte mehrere Staustellen erfordert, weshalb auch dieses Verfahren wieder fallengelassen wurde.

Aufgrund der Erfahrungen und Abklärungen entschloss man sich, den Zulaufkanal ohne Schmutzwasserrinne zu bauen (Bild 7). Diese Anordung lässt für die Zukunft mehrere Reinigungsmöglichkeiten offen und erlaubt insbesondere auch den Einsatz von grossen Geräten.

Aufgrund von Versuchen und Erfahrungen in 2 bis 2,5 m breiten Kanälen entschied man sich für die Hochdruck-Reinigung mit einer Schwingdüse (Bild 8).

Der Kanalarbeiter schwingt die durch den Wasserdruck von 100 bar (beim Austritt) schwebende Düse an einem Seil von Kanalwand zu Kanalwand, während der Schlauch bei einer Was-

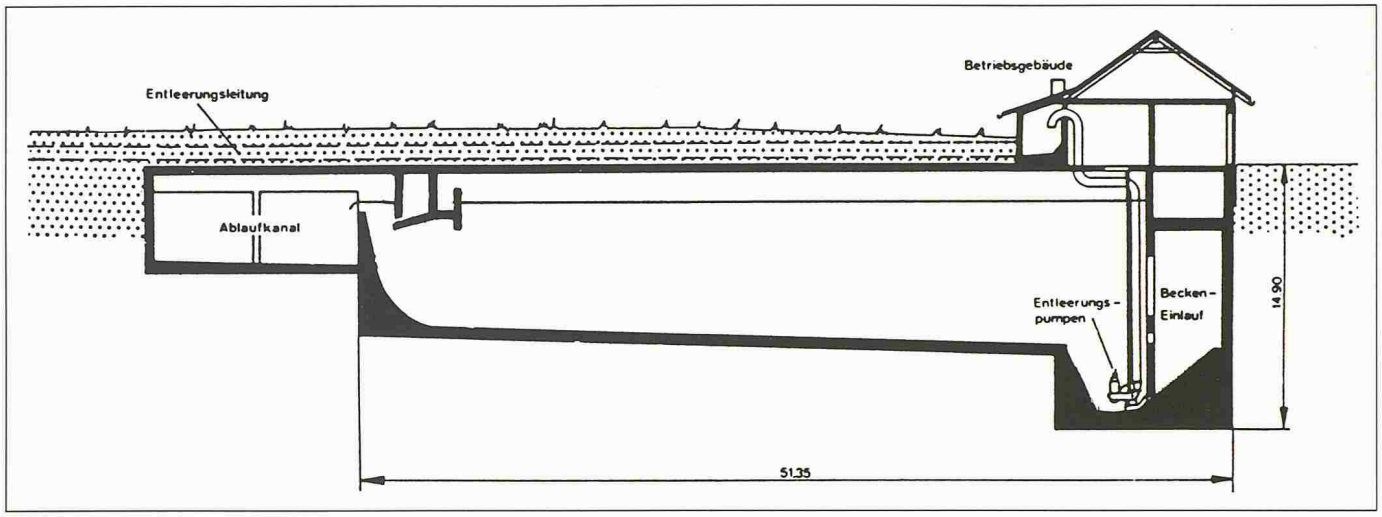


Bild 9. Schnitt durch das Regenbecken mit Spülkasten und Pumpwerk

sermenge von etwa 650 l/min zurückgezogen und das Schmutzmaterial zur nächsten Öffnung geschwemmt wird.

Die Grösse der Reinigungsöffnungen über dem Stapelkanal lässt zusätzlich jederzeit die Möglichkeit offen, kleinere Reinigungsfahrzeuge, wie etwa Schwemmwagen, mittels Kran in den Kanal abzusetzen sowie allfällige Mulden vor Entfernung der Ablagerungen in den Kanal hinabzulassen. Somit kann notfalls eine Reinigung auch mittels Schwemmwagen oder Schubkarre und Schaufel erfolgen.

Sicherheitseinrichtungen, wie Funk, sowie Rettungseinsätze sind jederzeit sicherzustellen.

Regenbecken müssen dank den vorgängig beschriebenen Selbstreinigungsvorkehrungen nur ein- bis dreimal jährlich durch Absaugen oder durch Zusammenschaufeln der Ablagerungen und Hochbringen mittels Windenzug gereinigt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Zulauf zu diesen Spezialbauwerken geschlossen werden muss, um während der Reinigung die Sicherheit der Reinigungsgruppen zu gewährleisten.

Die Ungewissheit über Grösse und Charakteristiken der Ablagerungen liessen auch hier nach einem möglichst wirkungsvollen Reinigungssystem suchen. Die Betriebserfahrung, dass der Schmutz noch in nassem Zustand nach jeder Beckenfüllung zu entfernen sei, weil er sich sonst verfestigen würde, musste berücksichtigt werden.

Die vielen Diskussionen und Abklärungen zwischen der Projektgruppe und dem Betreiber führten dazu, den früher getroffenen Entscheid, Räumerbrücke und Spüldüse zu installieren, wieder fallen zu lassen. Schwallspülung jedoch hatte sich in Regenbecken im Gegensatz zu langen Kanälen schon vielfach bewährt. Recherchen zeigten allerdings, dass auch hier die Grösse des Regenbeckens Werdinsel nach neuen Lösungen rief. Die Idee der Stadtentwässerung, einen Spülkasten zu verwenden, stellte sich in Versuchen als optimale Lösung heraus. Durch das plötzliche Öffnen einer Klappe eines am Beckenende in einer Höhe von 4 bis 5 m angeordneten Behälters wird ein Schwall erzeugt. Durch entsprechende Abrundung der Beckenendwand zum Boden wird dessen Wirkung möglichst wenig gebremst. Der dem Schwall nachfolgende Wasserzufluss aus dem Spülkasten sorgt dafür, dass die aufgewirbelten Schmutzstoffe auch wirklich zum Pumpensumpf abgeschwemmt werden. Bild 9 zeigt einen Schnitt durch das Regenbecken mit Spülkasten und Pumpwerk.

Auf die anfänglich geforderte, äusserst teure und betrieblich nicht einfach zu bedienende Zufahrtsrampe ins Becken und in den Stapelkanal wurde dank den gefundenen Lösungen für die Reinigung verzichtet.

Mechanische Ausrüstung

Beim Regenbecken Werdinsel wurde die Ansicht vertreten, dass auf mechanische Ausrüstungen und Anlageteile dort zu verzichten sei, wo diese nicht unbedingt erforderlich sind. Dadurch können die Betriebs- und Unterhaltsaufwendungen eingeschränkt werden. So wurde bei der Hochwasserentlastung Europabrücke (Bild 10) der Kläranlagenzulauf durch eine Drosselstrecke ohne irgendwelche elektrisch gesteuerte Organe begrenzt. Die Trennschärfe ist zwar nicht optimal, kleinere Überlaufmengen werden jedoch via Regenbecken- und Entleerungspumpwerk ohnehin wieder zur Kläranlage gefördert.

Die bereits beschriebene gestaffelte Beschickung der einzelnen Beckenkammern erfolgt ebenfalls einzig und allein durch die Anordnung verschieden hoher Überfallkanten.

Bei den vorhandenen Höhenverhältnissen konnte natürlich nicht auf eine Entleerungs-Pumpstation verzichtet werden. Die Disposition der Pumpen sowie

Bild 10. Hochwasserentlastung bei der Europabrücke

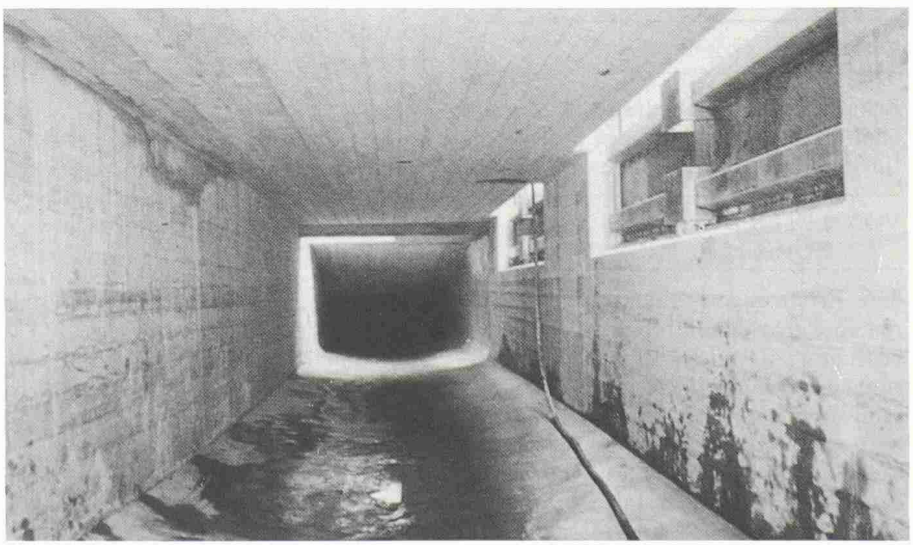


Tabelle 5. Erstellungskosten für das Regenbecken auf der Werdinsel gemäss Kostenvoranschlag

	Fr.
Zulaufkanal	9 725 000.–
Regenbecken mit Entleerungspumpwerk und Betriebsgebäude	18 940 000.–
Entleerungsleitung mit Rohrbrücke	3 070 000.–
Ablaufkanal	3 045 000.–
Grundstück, Umgebungsarbeiten, Honorare, Verschiedenes	12 880 000.–
Bauzinsen	4 340 000.–
	52 000 000.–

die Bedingung, dass zu deren Schutz ein vorgelagerter Steinfang notwendig sei, ergab sich aus der Erfahrung mit den bereits bestehenden 52 städtischen Pumpstationen. Es bedurfte jedoch einiger Recherchen, um herauszufinden, dass im vorliegenden Fall Tauchpumpen in Nassaufstellung als optimale Lösung vorzusehen waren. Die Kosten und die gegenüber innerstädtischen Schmutz- und Mischwasserpumpstationen geringere Anforderung an die Verfügbarkeit spielten auch eine Rolle. Für das Spülen waren mechanische Einrichtungen auch nicht zu umgehen, weil andernfalls der personelle Aufwand unverhältnismässig gross gewesen wäre.

Überwachung und Steuerung

Für die Pumpen sind Steuerungen mit verschiedenen Niveaumessungen notwendig. Während die Steuerung automatisch abläuft, kann die Überwachung rationell und ohne zusätzlichen Personenaufwand von der zentralen Warte der nahegelegenen Kläranlage Werdhölzli erfolgen. Wichtig sind auch Betriebshandbücher, die neben Unterhalt und Wartung auch Auskunft über Varianten der Steuerung geben, wodurch die Betriebsweise laufend den Erfahrungen angepasst werden kann.

Termine und Kosten

Nachdem entschieden worden war, das Regenbecken unabhängig vom Projekt zur Erweiterung der Kläranlage zu behandeln, wurde in den Jahren 1981 und 1982 das Genehmigungsprojekt erarbeitet. Im September 1983 wurde das Vorhaben von der stadtzürcherischen Bevölkerung mit grossem Mehr gutgeheissen.

Nach der Erstellung des Detailprojektes war der Baubeginn im Jahre 1985, und die Inbetriebnahme erfolgt im Herbst 1988.

Die Kosten belaufen sich gemäss Kostenvoranschlag auf 52 Mio Franken (Tabelle 5). Dieser Betrag mag hoch erscheinen. Es ist aber zu beachten, dass es eine Anlage mit einer im Vergleich zu anderen Regenbecken grossen Wirksamkeit darstellt. Bezogen auf einen m^3 Nutzvolumen liegen im übrigen die Kosten von anderen städtischen Regenbekken wesentlich höher.

Weil es sich um ein Projekt der Stadtentwässerung handelte, das über wenige Jahre ausserordentlich hohe Kosten verursacht hatte, können diese nicht der laufenden Betriebsrechnung belastet werden. Die eigentlichen Baukosten werden deshalb über 30 Jahre, jene der elektromechanischen Ausrüstung und der Installationen über 15 Jahre abgeschrieben. Die Stadtentwässerung finanziert die Kosten durch die Einnahmen aus den Abwassergebühren.

Literatur

[1] Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich (VAW): Spülschwall Werdhölzli. Hydraulische Berechnung des Abflusses einer künstlich erzeugten Flutwelle in dem zum Regenbecken Werdinsel führenden Zulaufkanal. Juni 1977 (unveröffentlicht)

Adressen der Verfasser: *Fritz Conradin*, Leiter Abt. Projektierung, *Hansruedi Steiner*, Leiter Abt. Betrieb, Stadtentwässerung, Bändlistrasse 108, 8064 Zürich.

Ausgewählte hydraulische Untersuchungen

Steinfang, Beckenspülung, Rohrbrücke

VON PETER VOLKART
ZÜRICH

Einleitung

Bekanntlich bieten hydraulische Natur- oder Modellversuche dann gute Hilfe für den Projektierenden, wenn besondere Erfahrungen fehlen. Häufig führen eine grosse Bandbreite an Zuströmbedingungen, ungewöhnliche Abmessungen oder die besondere Formgebung wasserführender Bauwerksteile zu dieser Ausgangslage. Entsprechend bot sich dem Verfasser als Mitarbeiter der VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich) die Möglichkeit, am Projekt der Regenbecken Werdinsel mitzuwirken.

Im Rahmen dieser Grossanlage sollen in der Folge drei Teilprobleme ausgewählt und deren hydraulische Besonderheiten dem Leser nahegebracht werden. Es sind dies die Themen:

1. Absetzen von Steinen im Verteilkanal vor dem Regenbecken,
2. Spülen der abgesetzten Schmutzstoffe in den Kammern des Regenbekkens selbst, und
3. Zusammenspiel von Strömungsverhalten und elastischer Durchbiegung an der Abwasser-Rohrleitungsbrücke.

Bild 1 zeigt schematisch und in Fliessrichtung numeriert die Lage dieser Objekte in der Situation. Die Studien stützten sich auf vernünftige Annahmen und Erfahrungswerte bezüglich Hochwasserhäufigkeit, Zusammensetzung der Feststoffe und Schmutzfracht und verlangten nach einer Optimierung unter Berücksichtigung betrieblicher Möglichkeiten. Es wurden bewusst übersichtliche Lösungsvorschläge gesucht, die auf einfache Weise und innerhalb gesetzter Grenzwerte eine Anpassung des Betriebes an die tatsächliche Beaufschlagung der Anlage erlauben sollen.

Steinfang im Verteilkanal

Problemstellung

Der Zulaufkanal setzt sich im Verteilkanal fort; dieser führt bei Starkregen das Wasser den einzelnen Kammern