Ausgewählte hydraulische Untersuchungen: Steinfang, Beckenspülung, Rohrbrücke

Autor(en): **Volkart, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 29

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85770

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

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

des Regenbeckens zu. Es entspricht der Erfahrung, dass im täglichen Betrieb nicht nur Schlamm und Schwebstoffe, sondern auch Kies-Sand-Anteile oder gar eigentliche Steinbrocken anfallen. Nun wäre es kaum sinnvoll, die Pumpen auch für die Durchmesser grösster Steine auszulegen. Es stellte sich somit die Aufgabe, schon während der Projektierungsphase eine Vorrichtung zu finden, die später im Betrieb die groben Feststoffanteile dem Pumpensumpf und damit auch der Schmutzwasserleitung zur ARA Werdhölzli fernhalten würde. Naturgemäss waren über Häufigkeit und Volumenanteil dieser Steine keine genauen Angaben möglich.

Lösungsidee

Gelangen Steine, die sich auf einer betonierten Gerinnesohle infolge der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers schiebend, rollend oder springend fortbewegen an eine tiefe Einsenkung am Boden, so werden sie sich darin ablagern. Führt man zusätzlich mittels irgendwelcher Leitwände die Strömung derart gegen diese Senke, dass sich darin Wirbel und Walzen bilden, so kann man vielleicht dahin wirken, dass die grossen Steine liegen bleiben, während sich kleinere Körner weiter stromabwärts bewegen.

Diese Idee lag dem Projektbereich «Steinfang» zugrunde. Es war also ein Quergraben im betonierten Verteilkanal vorgesehen, dessen Abmessungen das Einbringen einer auswechselbaren Metallmulde ermöglichten. In Abstimmung mit der Stadtentwässerung als Auftraggeber und dem Ing.-Büro TBF als Projektverfasser galt es für den Hydrauliker, die Form der Sohleneintiefung und deren Anströmverhältnisse im Hinblick auf das angestrebte Ablagern grober Komponenten zu optimieren.

Randbedingungen

Der Verteilkanal mit einer lichten Breite von 4 m, einer Längsneigung von 2,4‰ und einem Quergefälle von 2% ist vorgegeben. Die betrieblichen Möglichkeiten der dem Verteilkanal nachgeschalteten Pumpen führen zur Forderung, dass alle Steine mit Durchmessern vom 4 cm oder mehr im Steinfang zurückgehalten und mittels krangehobener Wechselmulden aus dem Zulauf entfernt werden sollen.

Bild 2 veranschaulicht die Anordnung des Steinfanges im Längsschnitt und gibt eine Idee der Strömungsbeeinflusser in Form von prismatischen Querbalken. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass diese Traversen nicht ins freie Hubprofil der Wechselmulde hineinragen dürfen. Berechnungen ergaben für den Steinfang einen kritischen Zufluss von 20 m³/s; dies entspricht 5 m³/s je Meter Kanalbreite und ergibt einerseits die grösste Schleppkraft an der Sohle und anderseits ein nur minimales Absetzvermögen in der Mulde. Wird dieser Zustrom überschritten, setzt Rückstau von den Becken über den Pumpensumpf ein.

Strömungsverhalten

Bild 3 gibt einen allgemeinen Einblick ins Abflussverhalten: Die sohlennahen Strömungsanteile erfahren eine Umlenkung gegen die eingetiefte Mulde hin; dies führt letztlich zu einer oder mehreren Wasserwalzen. Sind die Steine unter der Wirkung ihres Eigengewichtes in die Mulde gefallen, so bestimmen diese Walzen weitgehend die Form und Steilheit der Böschung des Ablagerungsgutes. Die Auswirkung einer günstig gewählten Traverse auf die Strömung kann anhand des Vergleiches der Bilder 4 und 5 veranschaulicht werden.

Ohne Traverse gelangt die knapp schiessende Strömung (Froude-Zahl = 1,08) zur Bodeneinsenkung, und die sohlennahen Schichten treffen mit rund 1,1 m/s auf die Gegenböschung aus Beton. Dies hat ein jähes, kleinräumiges Aufteilen in mehrere Wirbel und Walzen zur Folge. Das Schüttgut zeigt eine markante Einsenkung, in der sich vorwiegend die grössten Komponenten ansammeln. Unglücklicherweise ist dieser Zustand mit den beschriebenen brüsken Umlenkungen nicht stabil, sondern tritt pulsierend auf. Die Folge ist, dass die angehäuften Grobanteile von Zeit zu Zeit von einer stark in die Tiefe wirkenden Walze erfasst und aus der Mulde nach Unterstrom geschleudert werden. Genau dies ist aber zu vermeiden!

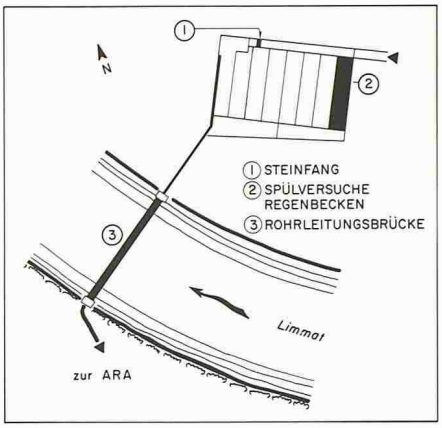


Bild 1. Lage der beschriebenen Objekte

Bild 2. Schnitt durch den Steinfang; Auswahl untersuchter Traversen

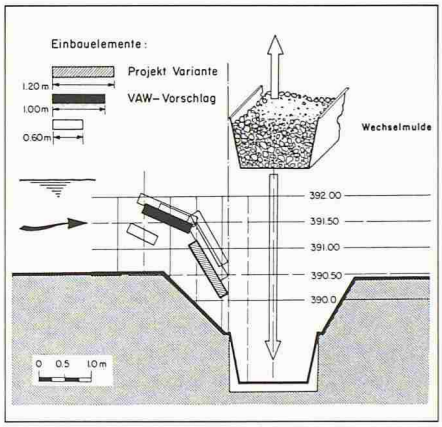


Bild 3. Schematische Darstellung der Strömung im Bereich des Steinfanges

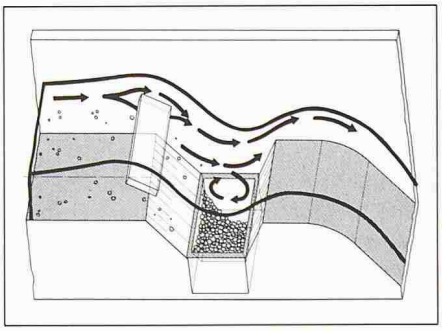


Bild 4. Ohne Traverse bildet sich eine pulsierende Strömung, einzelne Wirbel und Wasserwalzen wirken zu stark nach der Tiefe und verhindern das angestrebte Absetzen von Steinen

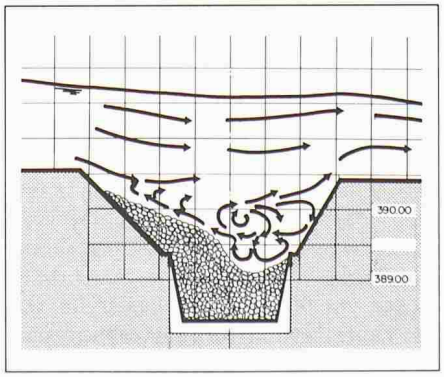
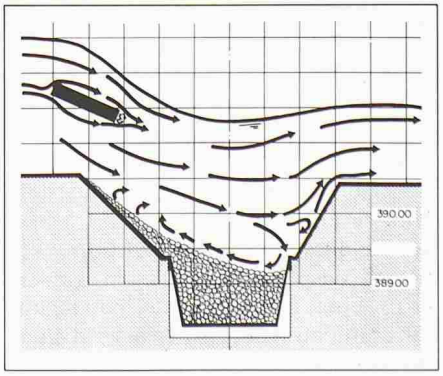


Bild 5. Dank der Traverse entsteht ein ruhigeres Strömungsbild; die Neigung der Kontaktfläche zwischen Wasser und Ablagerung wirkt günstig im Sinne der angestrebten Komponentensortierung



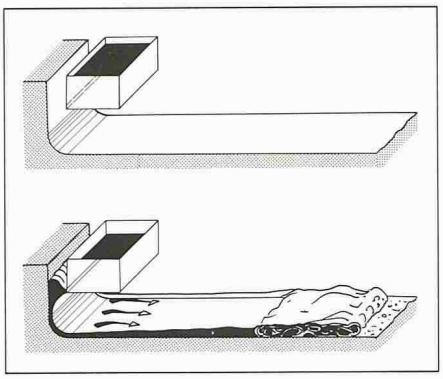


Bild 6. Schema des erstmals eingesetzten Spülkastens

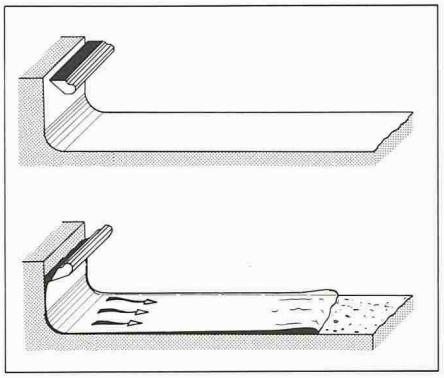


Bild 7. Schema einer Spülkippe

Im Gegensatz dazu entsteht nach Einbau eines Querbalkens vorerst eine günstigere mengenmässige Verteilung zwischen überströmendem und abtauchendem Anteil. Die massgebende sohlennahe Geschwindigkeit liegt noch bei 0,8 m/s. Entsprechend bildet sich eine grossräumige und vor allem stabile Walze. Die resultierende Böschung des Schüttgutes ist gleichmässig geneigt; grösste Komponenten liegen auf tiefstem Niveau. Die schräg aufwärts und gegen die Hauptströmungsrichtung gerichtete Fliesskomponente versucht nun, Körner aus dem Ablagerungskörper herauszulösen, anzuheben und schliesslich in die überströmende Kanalströmung zu verfrachten, von wo sie zum Pumpensumpf gelangen. Nun liegen aber die groben Körner zu weit von der Hauptströmung entfernt und werden deshalb – wie angestrebt – nicht ausgespült und bleiben liegen, sofern die Mulde in angemessenen Zeitabständen wieder entleert wird.

Die Versuche an einem Modell im Massstab 1:13,3 befassten sich ausgiebig mit Varianten von Traversen. Zu breite Elemente stauen zu stark zurück, so dass auch unerwünschte Feinanteile abgelagert werden. Im Gegensatz dazu führen allzu schmale Elemente zu instabiler und flatternder Strömung.

Lösung

Die Anordnung des zur Ausführung gelangenden Steinfanges kann bereits den Bildern 2 und 5 entnommen werden. Die Traverse soll 1 m breit, 0,20 m stark und unter 24 Grad zur Horizontalen geneigt sein. Es ist vorgesehen, dieses Element derart zu befestigen, dass eine lotrechte Verschiebung von etwa ± 50 cm möglich wäre. Tieferstellen würde die Ausräumwirkung des Steinfanges erhöhen, Höherstellen die Ablagerungstendenz vergrössern. Es ist darauf hinzuweisen, dass die getroffene Lösung nur diesem ausgewählten Projekt gerecht wird. Eine sinngemässe Übertragung auf ähnliche Anordnungen wird nicht unbedingt erfolgreich sein.

Beckenreinigung mittels Spülschwall

Allgemeine Problemstellung

Strömt Wasser aus dem Zulaufkanal über den Verteilkanal in eine oder mehrere Kammern des Regenbeckens, so erfolgt dort ein Aufstau, allenfalls bis zur Kote des jeweils an der Stirnseite angeordneten Überfalles, der in eine Sammelrinne und letztlich in den Vorfluter entlastet. Da noch während der Aufstauphase, die gleichzeitig auch dem Brechen der Hochwasserspitzen dient, der Schmutzstoss anfallen sollte, wird sich der Grossteil der absetzbaren Partikeln wunschgemäss am Beckenboden ansammeln. Nach dem anschliessenden Entleeren der Kammern findet sich Schlamm, Kies, Sand und ähnliches mehr an der Sohle; diese Stoffe müssen dem Pumpensumpf zugeleitet werden und gelangen letztlich in die benachbarte Kläranlage Werdhölzli.

Es ist allgemein üblich, durch irgendwelche Vorrichtungen an der einen Schmalseite eines Regenbeckens einen Wasserschwall zu erzeugen. Dieser ergiesst sich – meist unterstützt durch ein günstiges Längsgefälle der Beckensohle – dem Pumpensumpf oder der Auffangrinne am gegenüberliegenden Beckenende zu. Dieser Spülschwall soll nachhaltig und betriebssicher die Beckensohle reinigen. Je nach Projekt kann nicht unbesehen eine Standard-Spüleinrichtung eingesetzt werden, da wesentliche Parameter wie Kammerabmessungen, Sohlenausbildung sowie Intensität, Häufigkeit und Schmutzanteil massgebener Zuflüsse fallweise stark verschieden sind.

Gegebenheiten des Projektes

Die acht parallel angeordneten Kammern des Regenbeckens auf der Werdinsel weisen bei einem Längsgefälle der Sohle von 2,5% eine beachtliche Länge von 45 m und eine Breite von 10 m auf. Der Entleerungsvorgang nach einem markanten Regenereignis soll 8,5 h dauern. Die Verschiedenartigkeit angeschlossener Einzugsgebiete macht eine genaue Vorhersage der höchsten Schmutzfracht unmöglich.

Zielsetzung

Die Aufgabe bestand darin, eine geeignete Einrichtung zu finden, deren Spülschwall folgenden Randbedingungen gerecht wird:

- ausreichende Spülwirkung, die keine manuelle Nachreinigung mehr erfordert,
- Annahme eines extremen Verschmutzungsbildes,
- Berücksichtigung der aussergewöhnlichen Kammerlänge,
- Gewährleistung der Befahrbarkeit des Beckens, was beispielsweise glatte Keramikplatten an der Sohle ausschliesst,
- Verwendung von nicht aufbereitetem Wasser zur Spülung.

Vorgehen

Im Vordergrund stand ein sogenannter Spülkasten aus Ortsbeton. Dieser Kasten besteht, wie in Bild 6 dargestellt, aus einem Wasserbehälter, dessen Längsausdehnung der Kammerbreite entspricht. Der Boden des Behälters liegt einige Meter über der Beckensohle. Wird nun eine in die Kastenwand eingefügte, quer zur Kammerlängsachse verlaufende Metallklappe rasch geöffnet, so entleert sich schlagartig ein Wasserschwall aus dem zuvor gefüllten Behälter. Dieser Schwall bewegt sich in Längsrichtung gegen den Pumpensumpf hin und kann zur Reinspülung verwendet werden. Spülschwälle sind ja an sich nicht unbekannt und dank der sogenannten Spülkippen in die Praxis eingeführt. Eine Spülkippe wird ganz aus Metall gefertigt und hat – vereinfacht ausgedrückt – die Form einer nach oben offenen Baggerschaufel. Der Drehpunkt der Aufhängung ist auf den Schwerpunkt der gefüllten Kippe derart abgestimmt, dass letztere sich periodisch durch rasches Umkippen entleert (Bild 7).

Für die Auswahl und Gestaltung der bestgeeigneten Spüleinrichtungen bestand nunmehr die Schwierigkeit darin, dass nirgends ein derart langes, den Projektvorstellungen entsprechend geneigtes Regenbecken mit rauher Sohle zu Vergleichszwecken zur Verfügung stand. In der Kläranlage Glatt wurden vorerst in einem 40 m langen Vorklärbecken mit horizontaler Sohle verschiedenartige und extreme Verschmutzungsbilder eingebaut und die Spüleinrichtungen an diesem Becken getestet

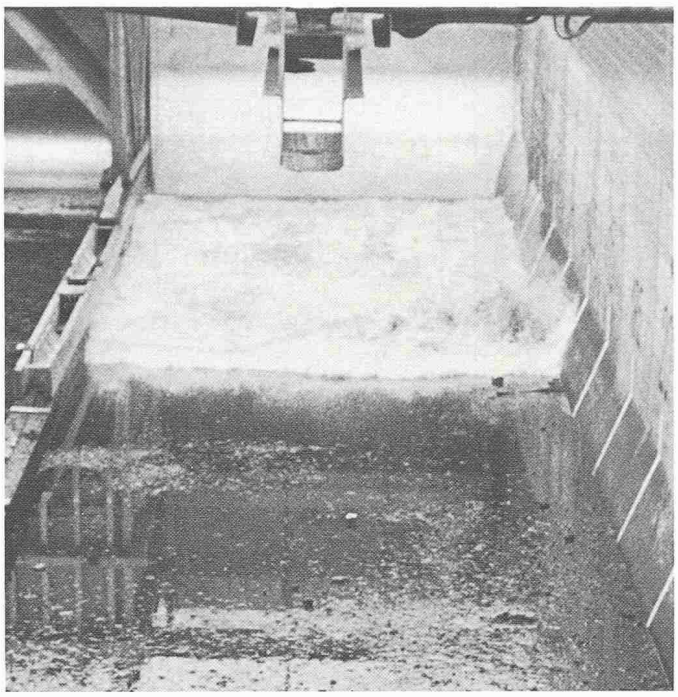


Bild 8. Spülschwall einer Spülkippe in Natur bei starker Verschmutzung durch Kanalschlamm. Die Spülfront ist messerscharf, die Frontgeschwindigkeit liegt bei 11 m/s



Bild 9. Spülvorgang mit Spülkasten in Natur bei derselben Verschmutzung. Der aufwühlenden Frontwalze folgt eine Nachlaufströmung, die zusätzlich Schmutzstoffe mitreisst

[1]. Um den Übergang auf die längeren und unter 2,5% geneigten Kammern der Werdinsel zu vollziehen, wurde in einem nächsten Schritt an der VAW ein hydraulisches Modell dieses Natur-Versuchsbeckens sowie der Spüleinrichtungen nachgebaut. Um nun ein Schmutzmaterial zu finden, das im geometrisch verkleinerten Modell ohne verfälschende Massstabseffekte verwendbar ist, wurde dessen Zusammensetzung so lange angepasst, bis sich im Modell zur Natur identische Spülbilder erzielen liessen. Erst dann wurde in einem dritten Schritt am Modell die Sohlenneigung dem Projektgefälle schrittweise angepasst; derart liess sich ein Spülvorgang veranschaulichen, aussagekräftig analysieren und zur Auswahl des geeigneten Spülverfahrens verwenden.

Spülschwälle

Es soll kurz die Wirkungsweise untersuchter Spülschwälle etwas veranschaulicht werden. Ein systematisch umfassender Vergleich ist an dieser Stelle nicht möglich. Als Beispiele eignen sich Spülkippe und Spülkasten.

Beginnt eine Spülkippe umzukippen, so bildet sich zuerst – gewissermassen infolge eines ersten Überschwappens – ein kleiner Schwall, dem Sekundenbruchteile später der intensive Kippschwall folgt. Im Bereich des gerundeten Übergangsbleches zu Beginn einer Kammer wird der volumenmässig unbedeutende erste Schwall durch den eigentlichen Spülschwall eingeholt. Wird dieses Zusammenspiel optimal genutzt, entsteht eine Art «Geschosswirkung», es ergibt sich eine scharfe Spülfront hoher Geschwindigkeit. Die Spülenergie wird anschliessend durch innere Verwirbelungsvorgänge abgebaut; diese sind vor allem ausgeprägt bei: zähen, alten Ablagerungen grösserer Schichtstärke, stark asymmetrisch über die Breite verteilten Verschmutzungen, grossen Einzelbrocken, solange diese noch nicht in rollende Bewegung übergegangen sind, sowie bei rauher Sohle und stehenden Lachen. Es ist aber zu bedenken, dass Kippen für einen einzelnen Spülvorgang mit wenig Wasservolumen operieren können; entsprechend wird alle Kraft in die eigentliche Spülfront gelegt.

Im Spülkasten geht der entsprechende Vorgang langsamer und mit mehr Wasservolumen je Entleerung vor sich. Auch hier bildet sich nach dem raschen Öffnen der Klappe ein Frontschwall, dessen Geschwindigkeit langsamer, dessen Mächtigkeit aber grösser ist. Abgelagerte Schmutzstoffe werden aufgewirbelt, grössere Brocken in Bewegung gesetzt. Abhängig vom verbleibenden Wasserstand im Kasten ergiesst sich anschliessend eine Nachlaufströmung durch das Becken; dabei werden aufgewirbelte Feststoffe im Sinne einer Gerinneströmung weiterverfrachtet, weshalb die sogenannte Wirkungslänge der Spülung relativ gross ist. Aus diesem Grunde hat sich der Bauherr für dieses Verfahren entschieden. Es ist aber wesentlich, dass die Strömung am Beckenanfang wirklich parallel zur Kammerachse verläuft und nicht Reflexionen durch Pfeiler und seitliche Störungen auftreten.

Anhand der Bilder 8 bis 11 sollen diese Spülströmungen veranschaulicht werden. Es geht darum, die kennzeichnenden Eigenschaften etwas zu verdeutlichen. Die Darstellung kann an dieser Stelle aber nur unvollständig sein.

Bild 10 gibt den Geschwindigkeitsverlauf der Spülfront in Abhängigkeit der Spüldistanz ab Beckenanfang wieder. Es wurde in Natur bei 0% Sohlenneigung gemessen. Der Ausgangswasserspiegel der 1,05 m^3/m fassenden Kippe liegt dabei 5,4 m über der Beckensohle. Bei der ersten Spülung fällt die Geschwindigkeit rascher ab, da sich das Verschmutzungsbild noch über die ganze Länge der Kammer erstreckt. Schlamm erweist sich resistenter als Kies-Sand.

Bild 11 gibt die entsprechende Darstellung für den Spülkasten. Eine Kastenfüllung entspricht etwa 7 Nutzvolumina der Kippe. Wie ersichtlich, ist hier die anfängliche Frontgeschwindigkeit kleiner, der Geschwindigkeitsabfall über die Spüllänge aber auch.

Spülvorgänge verlaufen bei derart starken Ablagerungen nie exakt gleichförmig; ein Wechsel von Phasen des Aufwühlens mit solchen des Transportierens («Pflugwirkung») ist bei beiden Einrichtungen zu beobachten und erklärt den leicht wellenförmigen Verlauf der Kurven.

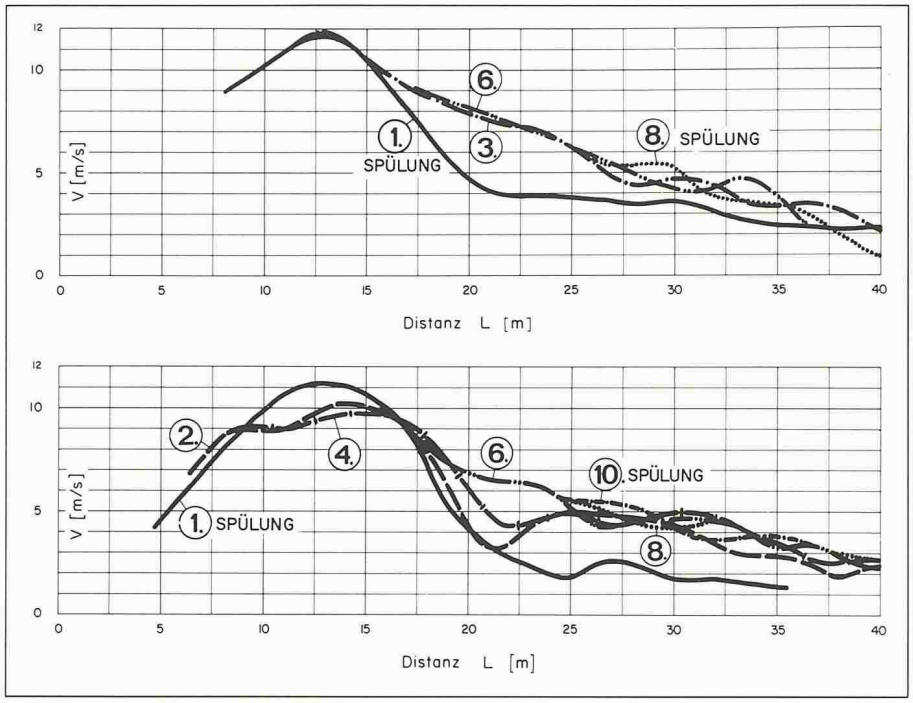


Bild 10. Geschwindigkeitsverlauf der Spülfront
Oben: Kanalschlamm der Stärke 3–5 cm + Pflästersteine
Unten: Kies-Sand bis 32 mm

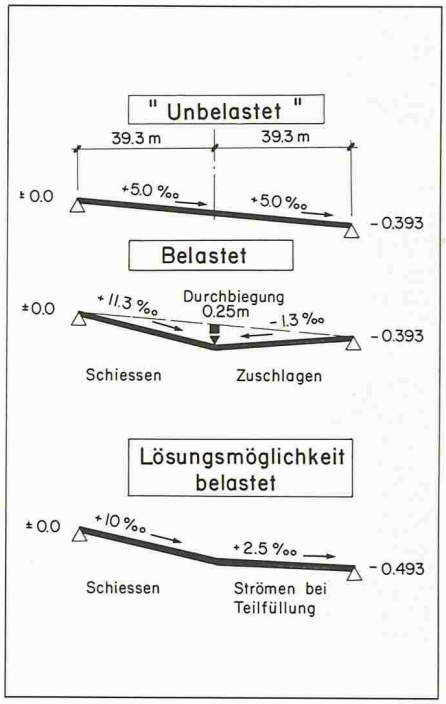


Bild 12. Auswirkung der Durchbiegung auf die Strömungsgefälle der Rohrleitung.

Bild 11. Die Bild 10 entsprechende Darstellung für den Spülkasten

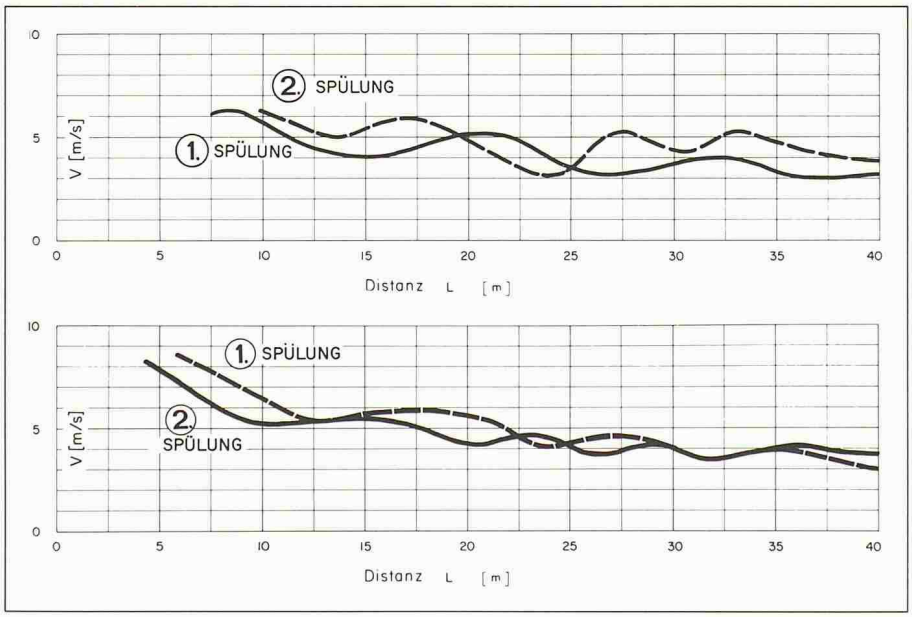
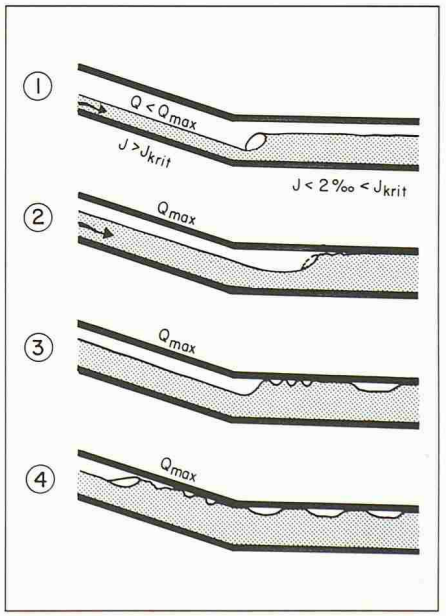


Bild 13. Vorgang des Zuschlagens beim Unterschreiten einer Neigung von 2‰



Rohrleitungsbrücke über die Limmat

Ausgangslage

Das zu behandelnde Wasser aus den Regenbecken wird mittels einer Rohrleitungsbrücke über die Limmat der erweiterten ARA Werdhölzli zugeleitet. Je nach Belastung der als Hängebrücke ausgelegten Konstruktion erfährt auch das wasserführende 1150-mm-Rohr elastische Durchbiegungen, die die Gefällsverhältnisse etwas verändern. Die folgende Betrachtung soll zeigen, wie die Durchbiegungen der Brücke und die Wasserströmung durch das aufgelegte Rohr derart in Wechselbeziehung stehen, dass der freien Gestaltung der Brücke Grenzen gesetzt sind.

Bekanntlich sind für Wasserströmungen mit freier Oberfläche prinzipiell zwei verschiedene Strömungszustände möglich, nämlich «Strömen» – gekennzeichnet durch niedrige Geschwindigkeit und grosse Fliesstiefe – bei flachen Gefällen und «Schiessen» – charakterisiert durch höhere Geschwindigkeit und kleinere Tiefe – bei grösseren Neigungen. Das Längsgefälle, das die beiden Fliesszustände trennt, wird ja mit «kritischem Gefälle», Jkrit, bezeichnet. Erfolgt in ein und demselben Rohr oder Kanal ein Übergang von Schiessen zu Strömen, so stellt sich ein Wassersprung ein. Diese Betrachtungsweise gilt auch für das teilgefüllt zu betreibende Rohr der Leitungsbrücke.

Diese Brücke kann, stark vereinfacht, mit einem an den Enden gelagerten Balken verglichen werden. Belastet man den Balken, so biegt er sich etwas durch; dasselbe geschieht mit dem wasserführenden Rohr auf der Brücke. Von Bedeutung ist nun aber, dass sich im ersten Teil der Rohrleitung das Ge-

fälle infolge der Auflast noch vergrössert, während im zweiten Teil der Spannweite eine Verflachung erfolgt.

Liegt nun die mittlere Neigung der Leitung bei nur wenig belasteter Brücke für die massgebende Durchflussmenge nahe beim kritischen Gefälle Jkrit, so können sich zusätzliche elastische Durchbiegungen in unerwünschten Strömungswechseln auswirken. Was bedeutet dies nun für die Rohrleitungsbrücke zwischen Werdinsel und Werdhölzli?

Projektdaten

Vorerst einige technische Daten: Die wirksame Spannweite liegt bei 78,6 m, das ursprünglich vorgesehene Gefälle betrug 5‰: Bild 12 (oben). Für den massgebenden Höchstdurchfluss von 1,6 m³/s sind folgende Längsneigungen von Bedeutung:

2‰ Neigung, die in einem Abschnitt erreicht sein muss, damit das Rohr bei Maximaldurchfluss teilgeführt bleibt und nicht zuschlägt,

8‰ Jkrit.

Für die Begutachtung musste von einer zusätzlichen Durchbiegung von 25 cm in Brückenmitte ausgegangen werden.

Auswirkungen der Rohrströmung

Bild 12 (Mitte) zeigt schematisch, wie sich die Gefällsverhältnisse nach dieser Durchbiegung verändern würden: Pro halbe Spannweite würde das mittlere Rohrgefälle um 6,3‰ verändert. Im ersten Abschnitt würde mit 11,3‰ Jkrit überschritten und ein schiessender Abfluss erzeugt, während im zweiten Teilstück sich gar eine Gegensteigerung von 1,3‰ ergeben würde. Das Rohr würde folglich kurz nach der Flussmitte zuschlagen und vollaufen: Bild 13. Dies ergäbe erhöhten Fliesswiderstand und hätte den Einschluss von Luft zur Folge. Ein mindest teilweiser Rückstau gegen den Brückenanfang hin ist anzunehmen, was die Durchbiegung noch in ungünstiger Weise vergrössert. Zudem wird sich in solchen Fällen Luft im Rohrscheitel in Luftpaketen ansammeln. Das Entlüften des Rohres am Brückenende wird dementsprechend in unregelmässigen zeitlichen Abständen vor sich gehen. Die Gefahr besteht also darin, dass bei Unterschreiten eines Gefälles von 2‰ in irgend einem Rohrabschnitt innerhalb der Spannweite, der Zuschlagpunkt der Strömung hin und her wandert; dies führt zu einer Wechselbeanspruchung und somit letztlich zu Lastverhältnissen, die den Annahmen der statischen Berechnung dieser Hängebrücke nicht mehr entsprechen.

Einmal erkannt, stellt das beschriebene Phänomen der wandernden Zusatzlast infolge von Strömungseffekten dem Projektierenden keine schwierigen Probleme mehr. Die gewählte Lösung ist im Bild 12 (unten) dargestellt und besteht darin, das untere Auflager 10 cm tiefer zu setzen und zusätzlich die sogenannt unbelastete Brücke in Feldmitte 10 cm zu überhöhen.

Ausblick

Eine Anlage von der Grössenordnung des Regenbeckens auf der Werdinsel bietet immer wieder hydraulische Probleme, denen nicht mit Standardlösungen begegnet werden kann. Hydraulische Modell- oder Naturversuche oder vertiefende Studien können Ansätze zu sinnvollen Projektänderungen liefern. Oft machen die Kosten solcher Studien nur einen Teil des Betrages aus, der durch unliebsame Betriebserfahrungen angefallen wäre.

Gebührender Dank gilt J. Wiesmann, Leiter der Abteilung Stadtentwässerung des Tiefbauamtes Zürich, für Anstoss und Auftrag zu den drei Teilstudien sowie für Unterstützung dieser Publikation, W. Kiefer, Projektleiter der Kläranlageerweiterung Werdhölzli und des Regenbeckens Werdinsel, und F. Conradin, Leiter der Projektierung in der Stadtentwässerung, für die konstruktive Zusammenarbeit. Verdankt seien auch W. Thürig und B. Etter, beide VAW, für Versuchsdurchführung und Darstellung bzw. für die Fotoaufnahmen.

Literatur

[1] *Peter Volkart:* «Intensive Schwallreinigung von Regenbecken mittels Spülkasten», Wasser, Energie, Luft Nr. 11/12, 1986; S. 295–299.

Adresse des Verfasser: Dr. *Peter Volkart,* Dipl.-Bauing. ETH/SIA, VAW, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Der Zulaufkanal aus Bautechnischer Sicht

Was ist zu beachten?

Umfeld

Der Zulaufkanal verläuft vom Hönggerwehr zum Regenbecken parallel zum Oberwasserkanal des Elektrizitäts-

VON PAUL LÜCHINGER, ZÜRICH

werkes. Der Abstand beträgt ungefähr 14 m. Der Verlauf des Kanals ist auf Bild 1 bei offener Baugrube gut zu erkennen.

Das Wasser im Oberwasserkanal fliesst, durch einen Damm geführt, über dem Gelände der Werdinsel. Dem allgemeinen Grundwasserstrom des Limmattales wird somit eine Querströmung vom Oberwasserkanal zur Limmat hin überlagert. Der Wasserspiegel liegt nahe unter der Geländeoberfläche oder tritt entlang des Dammes sogar als Quellhorizont zutage. Das Grundwasser im Limmattal wird vielerorts für die Wasserversorgung genutzt. Bauwerke im Grundwasser müssen dieser Tatsache Rechnung tragen. Eine Verschmutzung des Grundwassers muss unter allen Umständen vermieden werden. Auch der Grundwasserfluss darf nicht gestört werden. Insbesondere ist im Bereich des Zulaufkanals die Querströmung vom Oberwasserkanal zur Limmat zu gewährleisten. Die Nutzung der Werdinsel als Naherholungsgebiet hatte wesentlichen Einfluss auf die Geländegestaltung und somit auf die Form und das Längenprofil des Zulaufkanals.

Betrieb

Neben dem eigentlichen Regenbecken dient auch der Zulaufkanal als Speichervolumen bei starken Regenfällen. Dieser Funktion entsprechend stellen sich die unterschiedlichsten Betriebszustände ein. Bei Trockenwetter ist der Kanal leer. Bei maximalem Regenwasseranfall ist der Kanal bis knapp unter die Decke, im unteren Kanalbereich gegen das Regenbecken hin sogar mit leichtem Überdruck gefüllt. Der Druckgradient des Wassers zeigt also nicht immer in die gleiche Richtung, sondern wechselt je nach Betriebszustand von innen nach aussen oder von aussen nach innen. Dieser Umstand ist