Der Zulaufkanal aus Bautechnischer Sicht

Autor(en): **Lüchinger, Paul**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 29

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85771

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

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



Bild 1. Zulaufkanal und Regenbecken im Bauzustand Sommer 1986

in die Überlegungen für die Abdichtungen einzubeziehen.

Das Regenwasser schleppt viel und unterschiedliche Feststoffe mit. Der Zulaufkanal muss periodisch gereinigt werden. Aus betrieblichen Gründen hat sich die Reinigung mit Schlauch und Hochdruckwasserstrahl als die günstigste herauskristallisiert.

Anforderungen an die Tragstruktur

Tragsicherheit

Der Zulaufkanal liegt vollständig eingebettet im Grundwasser führenden Erdreich. Die Tragstruktur wird deshalb im Querschnitt gesehen ausschliesslich durch Erd- und Wasserdrücke beansprucht (Bild 2). Gegenüber diesen Kräften ist der Kanalquerschnitt ausreichend bemessen. In Längsrichtung ist der Kanal über die ganze Länge gleichartig eingebettet und gelagert. Ungleichmässige Setzungen sind nicht zu erwarten. Aus diesem Grunde sind in Bezug auf die Tragsicherheit keine Einwirkungen zu berücksichtigen.

Der Grundwasserspiegel steigt bis zum oberen Drittel der Kanalhöhe. Im leeren Zustand genügt die geringe Erdüberdeckung nicht, um eine ausreichende Sicherheit gegenüber Auftrieb zu gewährleisten. Massnahmen zur Erhöhung der stabilisierenden Kräfte sind notwendig.

Gebrauchstauglichkeit

Wenn der Zulaufkanal voll ist, muss die Tragstruktur dicht sein, damit kein Schmutzwasser in das Grundwasser dringt, das ja für die Wasserversorgung genutzt wird. Im leeren Zustand muss die Tragstruktur ebenfalls dicht sein, denn alles eindringende Wasser wird im Regenbecken gesammelt und muss über Pumpen der Kläranlage Werdhölzli zugeführt werden. Dadurch würden erkleckliche Betriebskosten auflaufen. Vordringlichste Anforderung an die Tragstruktur in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit ist also die Dichtigkeit (Bild 3). Die Reinigung mit Schlauch und Hochdruck führt zu einer hohen Beanspruchung der Betonoberfläche. Auch die einzelnen Konstruktionselemente, wie beispielsweise die Dilationsfugen, müssen dieser Beanspruchung standhalten.

Massnahmen, die zum Ziel führen

Die Anforderungen an die Tragstruktur können nicht mit einem linearen Prozess von Massnahmen erfüllt werden. Vielmehr ist ein Netzwerk von verschiedenen Vorkehrungen zu beachten. Im vorliegenden Fall standen neben einer sauberen konstruktiven Gestaltung und einer ausreichenden Bemessung aber auch eine sorgfältige Auswahl der Baustoffe und die Abstimmung der Ausführung auf die Erfordernisse im Vordergrund (Bild 4). Im nachfolgenden werden die getroffenen Massnahmen für zwei spezifische Problemkreise, nämlich für die Auftriebssicherung und für die Dichtigkeit, näher vorgestellt.

Auftriebssicherung

Während der Untersuchungen über die Herstellung des Zulaufkanals standen schon in einer frühen Projektphase zwei Bauverfahren einander gegenüber, die sich gerade bezüglich der Auftriebssicherung im Bauzustand wesentlich unterscheiden (Bild 5):

A) Nach dem Schlagen der kurzen Spundwände, die nur 2 bis 3 m unter

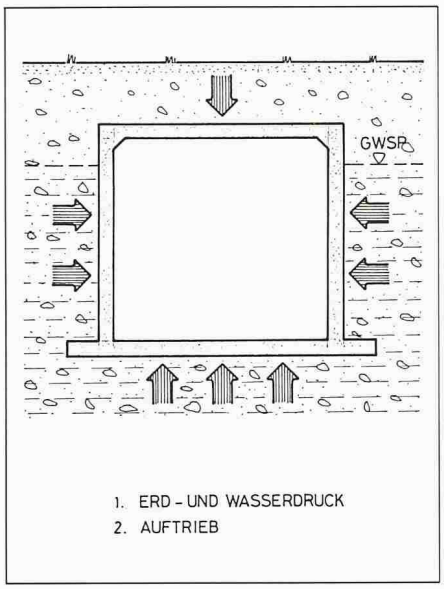


Bild 2. Einwirkungen im Bruchzustand

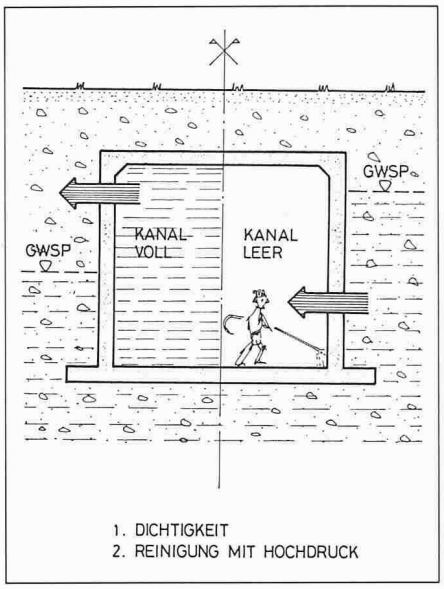


Bild 3. Anforderungen bezüglich Gebrauchstauglichkeit

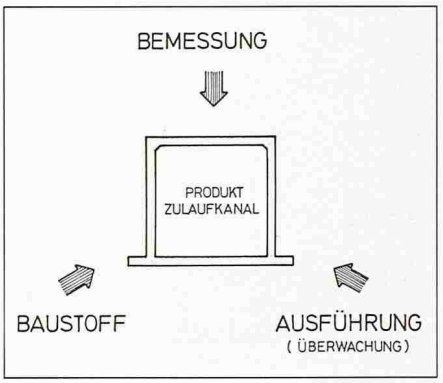
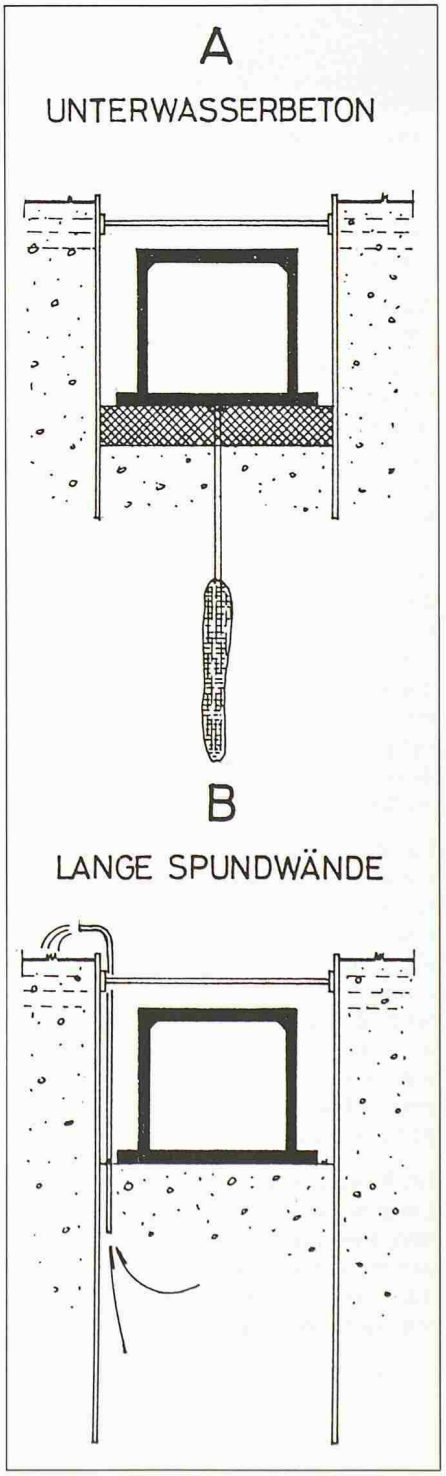


Bild 4. Massnahmenplanung bezüglich Gebrauchstauglichkeit

Bild 5. Mögliche Bauverfahren



der Bodenplatte des Kanals eingebunden sind, wird das Erdreich unter Wasser ausgehoben und eine Schutzplatte ebenfalls unter Wasser betoniert. Diese Platte muss gegen Auftrieb mit Erdankern gesichert werden. Sie nimmt die Kräfte aus der Baugrubensohle auf und dient gleichzeitig als untere Abstützung für die Spundwände, so dass bei diesem Bauverfahren nur eine Spriesslage aus Stahlprofilen notwendig ist. In diesem Zustand kann die Baugrube leergepumpt werden und steht für die Herstellung des Zulaufkanals bereit.

B) Es werden lange Spundwände geschlagen und das Grundwasser innerhalb mit Filterbrunnen abgesenkt. Die Länge der Spundwände wird so bestimmt, dass eine ausreichende Sicherheit gegenüber hydraulischem Grundbruch besteht. Grundsätzlich ist bei diesem Bauverfahren nur eine obere Spriesslage aus Stahlprofilen notwendig. Die seitlichen Erd- und Wasserdrücke werden im unteren Bereich mit der tiefen Einbindelänge der Spundwände selbst aufgenommen. Sowohl der Aushub als auch alle Betonarbeiten können bei diesem Bauverfahren im Trockenen ausgeführt werden.

Zur Ausführung gelangte das zweite Bauverfahren. Auf diese Weise wurde erreicht, dass erstens die Auftriebssicherung nicht auf Erdanker abgestellt werden musste, deren Tragfähigkeit aus Vorversuchen als schlecht bekannt war, dass zweitens die Grundwasserquerströmung nicht durch eine dichte Verankerungszone der Erdanker dauernd unterbunden wurde, und dass drittens das Ziehen der Spundwände nicht durch eine als Unterwasserbeton eingebrachte Schutzplatte in Frage gestellt wurde. Im Endzustand wird die Auftriebssicherung durch die Erdaufschüttung gewährleistet. Die Bodenplatte wurde ausserhalb der Kanalwände verbreitert. Die auf diese seitlichen Konsolen wirkenden Auflasten haben eine erhebliche Erhöhung der Auftriebssicherheit zur Folge.

Dichtigkeit

Die vordringlichste Eigenschaft, die vom Zulaufkanal verlangt wird, ist dessen Dichtigkeit. Eine Tragstruktur kann als Gesamtes nur dicht sein, wenn einerseits der Beton im ungerissenen Bereich selbst dicht ist und wenn anderseits die unvermeidlichen Risse fein und gleichmässig verteilt sind. Darüberhinaus müssen alle Konstruktionselemente, wie beispielsweise die Arbeits- und Dilatationsfugen, ebenfalls dicht sein.

Die nachfolgenden Überlegungen konzentrieren sich auf die Rissesicherung. Dazu sind zwei wesentliche Tatsachen zu beachten:

1. Der Kanal ist auf dem ganzen Umfang erdberührt. Bei einer Längsbewegung des Kanals werden sehr grosse Reibungskräfte aufgebaut. Die Zugfestigkeit wird durch diese Beanspruchung in kurzen Abständen überschritten. Wenn Risse weitgehend vermieden werden müssten, wären Dehnfugen in einem Abstand von ungefähr 12 bis 15 m notwendig. Grössere Fugenabstände nützen für die Rissesicherung nichts.

2. Der Kanal liegt weitgehend im Grundwasser; im Inneren dient er zum Wassertransport. Der Beton trocknet nie aus; das Schwindmass wird gegenüber einem Tragwerk im Freien klein sein. Die Temperaturschwankungen

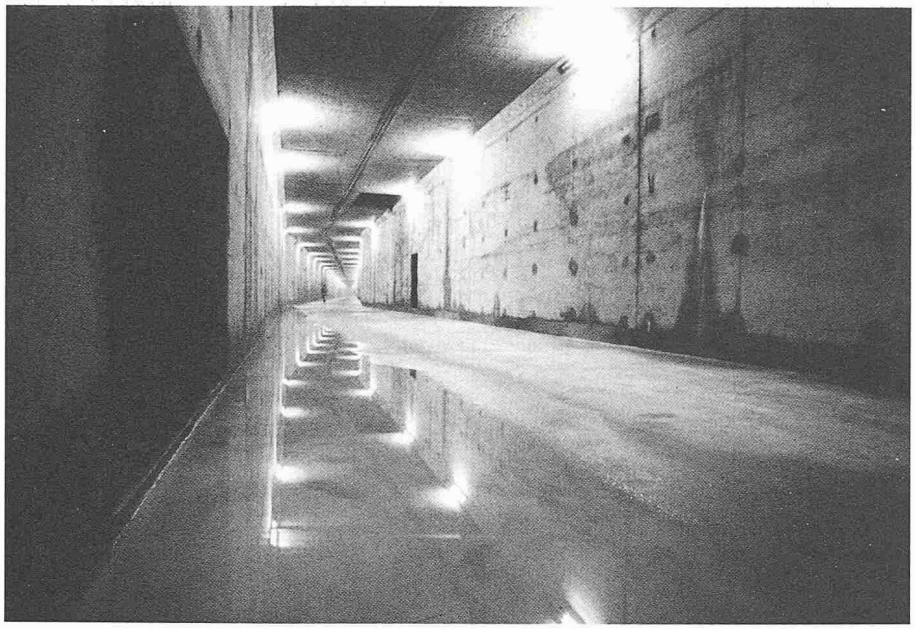


Bild 6. Innenansicht Zulaufkanal im Rohbauzustand

sind sowohl ausserhalb als auch innerhalb des Kanals beschränkt.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde entschieden, dass der Zulaufkanal über die ganze Länge von 427 m ohne Dilatationsfuge konzipiert wurde.

Auf der Ebene der Baustoffwahl wurde die Dichtigkeit der Tragstruktur mit einer ausholenden Evaluation der Betonrezeptur angezielt. Es wurde nach einem Beton gesucht, der ein geringes Schwindmass und gleichzeitig auch eine hohe Dichtigkeit erreicht. Ein Beton, der diesen Anforderungen gerecht wird, konnte hergestellt werden, indem der Wasser-Zement-Wert unter Zugabe eines Hochleistungsverflüssigers niedrig gehalten wurde und indem ein Teil des Zementes durch einen Filter ersetzt wurde.

Für die Ausführung wurde ein etappenweiser Bauvorgang gewählt, der das anfängliche Schwinden des Betons der einzelnen Etappen ohne Behinderung abklingen liess. Als zweite Massnahme während der Ausführung wurde verlangt, dass die Wände und die Decke jeweils kurz nach der Bodenplatte betoniert wurden. Damit bleibt das differentiele Schwinden zwischen der Bodenplatte und den Wänden beschränkt.

Im Rahmen der Bemessung wurde die Längsbewehrung aufgrund der neuesten Erkenntnisse der Forschung bestimmt, die im übrigen auch Eingang in die zukünftige Norm SIA 162 für Betonbauten gefunden haben. Die Längsbewehrung genügt in Bezug auf die Rissesicherung den sogenannt hohen Anforderungen, wie sie in der obgenannten Norm klassifiziert werden. Die trotz der Baustoffwahl und Ausführungsmassnahmen verbleibende Schwindverkürzung wird mit dieser starken Längsbewehrung auf feine Risse verteilt.

Erfolg der fugenlosen Konstruktion

Dilatationsfugen im Grundwasser sind meistens schwächstes Glied in einer Konstruktion. Ihre Dichtigkeit ist nur mit grossem konstruktivem Aufwand und mit einer äusserst sorgfältigen Ausführung zu gewährleisten. Dilatationsfugen sind auch diejenigen Konstruktionselemente, die im Betrieb am schnellsten abnützen. Insbesondere ist im vorliegenden Fall eine Reinigung mit Schlauch und Hochdruck nur möglich, wenn die dichtenden Membrane der Dilatationsfugen mit einem hochfesten Stahlblech geschützt werden. Ein Stahlblech, das im übrigen auch aus korrosionsarmem Stahl angefertigt werden musste, wenn es unter den gegebenen Betriebsbedingungen dauerhaft sein soll. Durch eine solcherart ausgebildete Dialationsfuge am Anfang und Ende des Zulaufkanals und im Zwischenbereich eine fugenlose Konstruktion konnten allein gegen 50% der Kosten des ausgeführten Bauwerks eingespart werden.

Mit einer beschränkten Anzahl Risse wurde von Anfang an gerechnet. Massnahmen für deren Sanierung wurden vorgesehen und entsprechend schon im Leistungsverzeichnis des Unternehmers ausgeschrieben. Am ausgeführten Bauwerk konnten folgende Arten von Rissen beobachtet werden:

1. Querrisse in der ersten Bauetappe, die über den ganzen Kanalumfang verlaufen. Diese Risse sind auf normale Anlaufschwierigkeiten beim Beginn einer anspruchsvollen Betonarbeit zurückzuführen und sind im Rahmen der Abschlussarbeiten ausinjiziert worden.

2. Vertikale Risse in den Wänden. Diese Risse beginnen am Wandfuss und steigen bis auf ungefähr ein Drittel der Wandhöhe. Sie wurden durch das differentielle Schwinden der Kanalwände gegenüber der Bodenplatte verursacht. Diese vertikalen Risse sind in der Zwischenzeit grösstenteils ausgesintert.

3. Querrisse im Deckenbereich. Diese dritte Art von Rissen sind einerseits ebenfalls die Folge von differentiellem Schwinden der Kanaldecke gegenüber den Wänden und anderseits von einer leichten Abkühlung der Decke im Winter. Sie sind auch dann aufgetreten, nachdem der Zulaufkanal für weitere Bauarbeiten nach aussen abgeschlossen wurde und die starke Zugluft im Kanal nicht mehr für eine über den Umfang gleichmässige Temperatur sorgte. Auch diese Risse sind teilweise ausgesintert, und teilweise werden sie sich schliessen, wenn im Betriebszustand eine gleichmässige Temperatur vorherrscht.

Im Ganzen gesehen weist die Tragstruktur ein Verhalten auf, wie es in der Projektierungsphase vorausgesagt wurde. Dazu haben auch die bis ins Detail vorbereitete und auf die Absichten der Projektierung abgestimmte Ausführung beigetragen (Bild 6). Die hohen Anforderungen in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit und die dazu getroffenen Massnahmen zielten auf einen optimalen Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel ab. Der Erfolg konnte anlässlich der Abnahme durch die für den Gewässerschutz zuständigen Behörden gemessen werden.

Adresse des Verfassers: Dr. *Paul Lüchinger*, Wenaweser + Dr. Wolfensberger AG, Reinhardstrasse 10, 8034 Zürich.