



---

# Richtlinie Werterhaltung begehbbarer Kanäle

**4. Auflage, Mai 2020**





### **Herausgeber**

#### **Stadt Zürich**

Tiefbau- und Entsorgungsdepartement  
Tiefbauamt, Projektierung + Realisierung  
ERZ Entsorgung + Recycling, Entwässerung

### **Mitglieder der Arbeitsgruppe**

Christoph Wyss	Stadt Zürich, Tiefbauamt
Daniel Sommerhalder	Stadt Zürich, ERZ Entsorgung + Recycling
Knut Storm	Stadt Zürich, ERZ Entsorgung + Recycling
Dominik Börrnert	Hunziker Betatech AG, Winterthur

## Inhalt

1	Vorwort .....	5
2	Geltungsbereich .....	5
3	Projektlauf .....	6
4	Arbeiten in begehbaren Kanälen .....	7
4.1	Gefahren .....	7
4.2	Schutzmassnahmen .....	8
4.3	Verkehrssicherheit .....	11
4.4	Rettungsmassnahmen .....	11
5	Schadensarten .....	12
5.1	Statische Schäden .....	12
5.2	Mechanische Schädigungen .....	12
5.3	Korrosion .....	14
6	Zustandserfassung .....	16
6.1	Grundlagen für die Zustandserfassung .....	16
6.2	Visuelle Zustandserfassung .....	16
6.3	Zerstörungsfreie Untersuchungen .....	17
6.4	Ergänzende zerstörende Untersuchungen .....	17
6.5	Laboruntersuchungen .....	19
7	Statische Beurteilung .....	20
7.1	Ziel der statischen Beurteilung .....	20
7.2	Grenzen der statischen Beurteilung .....	20
7.3	Ablauf der statischen Beurteilung .....	21
7.4	Grundlagen für die statische Beurteilung .....	22
7.5	Einwirkungen .....	22
7.6	Modellbildung .....	23
7.7	Rechnerische Nachweise .....	26
7.8	Statische Beurteilung und Massnahmenempfehlung .....	27
8	Beurteilung des untersuchten Kanals .....	28
9	Werterhaltungsmassnahmen .....	30
9.1	Allgemein .....	30
9.2	Massnahmen und Verfahren .....	31
10	Anforderungen an Materialien und Ausführung .....	32
10.1	Produkte .....	32
10.2	Sanierung .....	34
11	Bauausführung .....	40
11.1	Qualitätssicherung .....	40
11.2	Kanal-Provisorien .....	40
11.3	Umleitungen .....	41
11.4	Notfallorganisation .....	42
12	Literatur- und Quellverzeichnis .....	43
12.1	Sicherheitsmassnahmen .....	43

4 / 44

12.2	Normen und Richtlinien .....	43
	Abbildungsverzeichnis .....	44
	Tabellenverzeichnis .....	44

Beilage:

– Kontrollplan



## **1 Vorwort**

Die vorliegende Richtlinie ersetzt die Wegleitung «Werterhaltung von begehbaren Kanälen, 3. Auflage» vom Oktober 2008.

## **2 Geltungsbereich**

Diese Richtlinie gilt für begehbare Kanäle im öffentlichen Kanalnetz der Stadt Zürich. Ab einem lichten Mass von 800 mm dürfen Personen für Arbeiten in Leitungen eingesetzt werden. In kleineren Rohrleitungen ist eine Tätigkeit nur erlaubt, wenn ein Einsatz von Manipulatoren (z.B. Roboter) nicht möglich oder nicht angemessen ist. (Art. 83, BauAV).

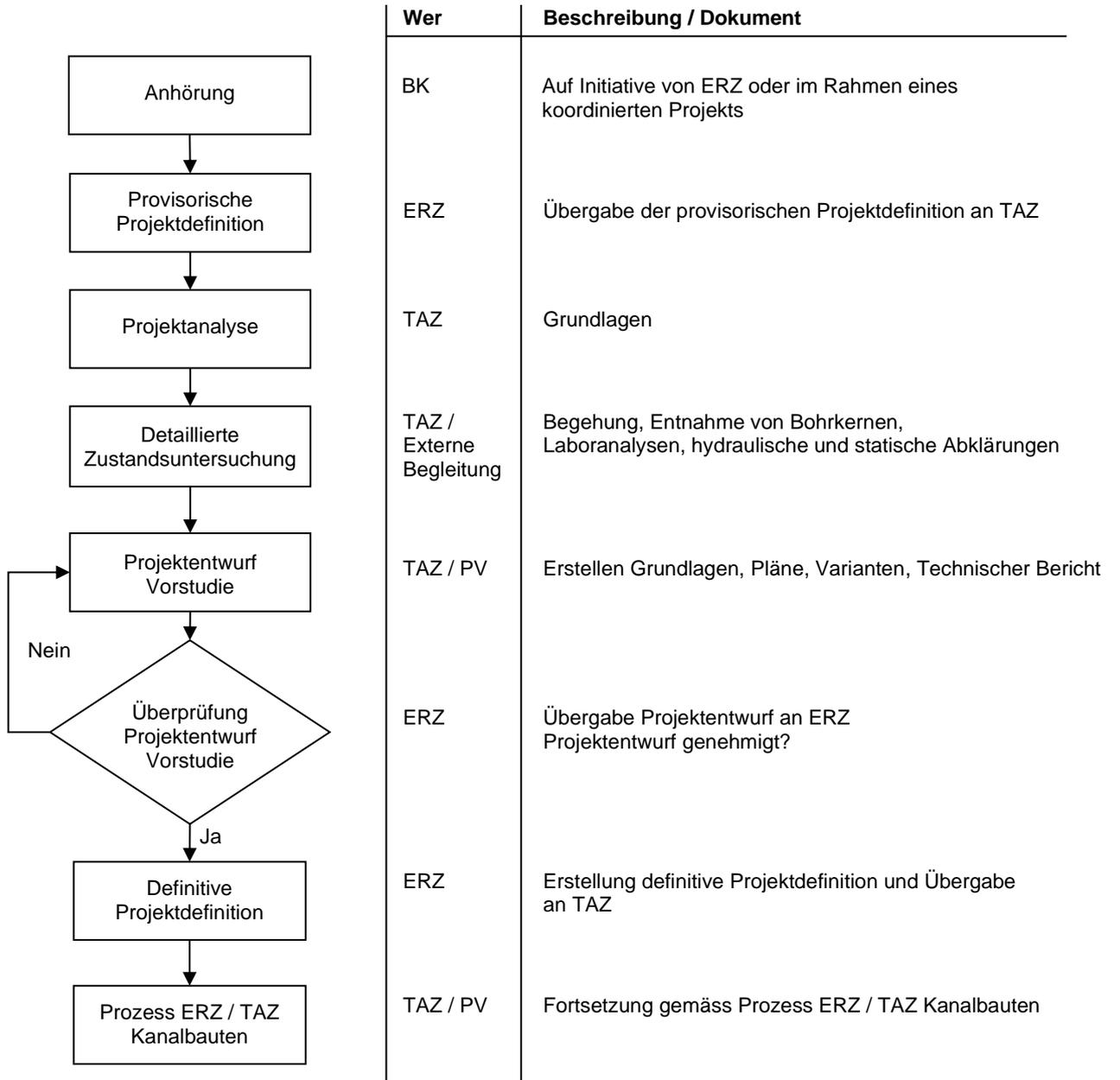
Für den betrieblichen Unterhalt bestehender Kanäle werden in der Stadt Zürich ab den folgenden Dimensionen Personen im Kanalnetz eingesetzt:

- Kreis-Profile: 1250 mm
- Ei-Profile: 800/1200 mm

Flächige Innensanierungen werden ab einer Profilhöhe von 1200 mm durchgeführt, davon ausgenommen sind kleinere Abschnitte oder lokale Reparaturen.



### 3 Projekttablauf



Legende

- ERZ Entsorgung + Recycling Zürich, Entwässerung
- TAZ Tiefbauamt
- PV Projektverfasser
- PD Projektdefinition
- BK Baukoordination



## **4 Arbeiten in begehbaren Kanälen**

Nachfolgend sollen die Gefahren aufgezeigt werden, welche bei Arbeiten in begehbaren Abwasserkanälen auftreten können. Gleichzeitig werden die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen angegeben, die bei Arbeiten in begehbaren Kanälen zwingend einzuhalten sind.

Dieses Kapitel erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Einhaltung der notwendigen Sicherungs- und Schutzmassnahmen liegt in der Eigenverantwortung der mit den Arbeiten beauftragten Unternehmung.

### **4.1 Gefahren**

#### **4.1.1 Gefahren durch Stoffe**

Eine Gefährdung kann von Feststoffen, Flüssigkeiten, Aerosolen, Dämpfen oder Gasen in potenziell gefährlicher Menge oder Konzentration, sowie infolge Sauerstoff verdrängender Medien oder Krankheitserreger ausgehen.

Diese Stoffe können von aussen eingebracht werden, infolge biologischer Vorgänge (z.B. Gärung, Fäulnis) entstehen oder aufgrund chemischer Reaktionen (z.B. bei Vermischung von Abwässern) auftreten. Gefahren durch Stoffe bestehen oder entstehen z.B. durch:

- Gase, Dämpfe oder Nebel, durch die Brände oder Explosionen entstehen können,
- Sauerstoffmangel, der zum Ersticken führen kann,
- sehr giftige, giftige, mindergiftige, ätzende, reizende, sensibilisierende, krebserregende oder erbgutverändernde (gesundheitsschädliche) Stoffe, die durch die Haut oder den Mund aufgenommen oder eingeatmet werden können,
- thermische Gefährdung, z.B. durch Einleitung von sehr heissen Abwässern,
- plötzliche, starke Wasserführung, z.B. infolge starken Regens, Wassereinbruch durch defekte Wasserleitung, Entleerungsvorgängen bei Becken (Industrie, Bäder),
- Kleinstlebewesen bzw. Keime und deren Stoffwechselprodukte, die zu Infektionen oder allergischen Beschwerden beim Menschen führen können.

#### **4.1.2 Gefahren durch Absturz**

Absturzgefahren entstehen z.B. bei geöffneten Schächten, beim Begehen von Steigleitern oder bei nicht ausreichend fest angebrachten Leitern und Tritten.

Bauliche Mängel wie falsch eingebaute, nicht festsitzende, korrodierte oder fehlende Steigeisen, erhöhter Verschleiss und überdurchschnittliche Beanspruchung des Materials durch aggressive Umgebungsbedingungen oder glitschige Standflächen können Ursachen für Absturzgefahren sein. Die Nichtkenntnis der örtlichen Begebenheiten im Kanalnetz (plötzlicher Gefällewechsel, Leaping Weir, Wirbelfallschacht) können ebenfalls Absturzgefahren beinhalten.

Die Gefahr des Absturzes wird beim Betreten von Schächten durch das mögliche Vorhandensein von Stoffen erhöht, die sofortige körperliche oder geistige Beeinträchtigung beim Einsteigenden auslösen können.



### **4.1.3 Gefahren durch Einrichtungen**

Besondere Gefahren entstehen z.B. durch:

- sich schliessende oder öffnende Schieber oder Klappen in Spezial- und Sonderbauwerken,
- elektrische Betriebsmittel, z.B. Handleuchten oder Elektrowerkzeuge,
- Reinigungsgeräte, z.B. Arbeiten mit Hochdruckwasserstrahl,
- Hilfsmittel, wie Leitern oder Podeste.

## **4.2 Schutzmassnahmen**

Für die Prävention kommt folgende Hierarchie zur Anwendung (TOP-Prinzip):

1. Technische Massnahmen,
2. Organisatorische Massnahmen,
3. Personenbezogene Massnahmen.

### **4.2.1 Unterweisung aller beteiligten Personen**

Alle an den Arbeiten in begehbaren Kanälen beteiligten Personen müssen vor Beginn der Arbeiten über die potentiellen Gefährdungen und die erforderlichen Schutzmassnahmen unterwiesen werden. Mit ihrer Unterschrift bestätigen sie, dass sie über die Gefahren orientiert und über die Notfallorganisation geschult wurden.

Jeder beteiligten Person muss die genaue Lage des Arbeitsortes oder die genaue Strassenbezeichnung bekannt sein (Notfallorganisation).

### **4.2.2 Sicherung**

Bei Arbeiten in begehbaren Kanälen muss der Unternehmer je einen Sicherheitsposten beim Kanaleinstieg und der nächstfolgenden Kanalöffnung einsetzen. Eine ständige Verbindung mit allen sich im Kanal befindenden Personen muss gewährleistet sein. Die gegenseitige Verständigung kann durch eine Sprechverbindung geschehen oder durch eine zusätzliche Verbindungsperson (unterhalb des Einstieges) im Kanal (Sichtkontakt).

Personen, die mit Sicherheitsaufgaben beauftragt sind, müssen zuverlässig sein und über die erforderlichen geistigen, sprachlichen und körperlichen Fähigkeiten verfügen. Sie dürfen mit keinen zusätzlichen Aufgaben betraut werden und ihren Standort nur bei Gefahr verlassen. Der Sicherungsposten muss mit den festgelegten Rettungsmassnahmen vertraut sein und muss jederzeit Hilfe herbeiholen können.

Die Anzahl der Personen zur Aufrechterhaltung der Sicht- oder Sprechverbindung richtet sich nach der Grösse des Bauwerks.



#### **4.2.3 Persönliche Schutzausrüstung**

Als persönliche Schutzmassnahme beim Einstieg in begehbbare Kanäle muss jede Person mit folgenden Geräten und Schutzkleidung ausgerüstet sein. Sie ist dazu verpflichtet, diese zu benutzen bzw. zu tragen:

- Schutzhelm
- Arbeitshandschuhe
- geeignetes Schuhwerk (z.B. Gummistiefel mit Schutzkappen)
- geeignete Arbeitsschutzkleidung
- Arbeitskombi mit eingenähtem Rettungsgurt und Nackenöse oder Rettungsgurt über dem Arbeitskombi
- Handlampe oder am Helm befestigte Lampe
- Augen- und / oder Gesichtsschutz (nach Bedarf)
- Gehörschutz (nach Bedarf)

#### **4.2.4 Ausrüstung Arbeitsgruppe**

Jede Arbeitsgruppe, die in einen begehbbaren Kanal einsteigt, muss neben der persönlichen Schutzausrüstung wie folgt ausgestattet sein:

- Gaswarngerät (4-Stoff-Messgerät, mindestens CO, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, Ex)
- Isoliergerät (Sauerstoffseltretter, deponiert im Arbeitsbereich)
- Sicherungsleinen und Rettungsleinen (nach Bedarf)
- Dreibein mit Höhensicherungsgerät und Rettungshubeinrichtung
- Lüftungsanlage (je nach Situation zur Beseitigung einer vorhandenen oder entstehenden gefährlichen Atmosphäre)
- Kommunikationsmittel (Gegensprechanlage, evtl. Funk, Mobiltelefon)
- Sanitätsmaterial (Erste-Hilfe-Koffer im Fahrzeug)

#### **4.2.5 Schutzmassnahmen gegen gefährliche Atmosphäre**

Vor und während der Arbeiten in begehbbaren Kanälen muss mittels natürlicher oder künstlicher Lüftung sichergestellt sein, dass keine explosionsfähige Atmosphäre, kein Sauerstoffmangel und keine Gase und Dämpfe in gesundheitsschädlicher Konzentration auftreten können.

Eine ausreichende Lüftung kann erreicht werden, indem die benachbarten Schachtdeckel geöffnet werden und der Kanal vor dem Einsteigen während einer ausreichenden Zeitdauer natürlich durchlüftet wird.

Kanäle, die sich nicht ausreichend natürlich belüften lassen (z.B. infolge Querschnittsverengungen, Dücker), müssen künstlich belüftet werden. Eine technische Lüftung kann als ausreichend angesehen werden, wenn bei Kanälen mindestens eine Luftgeschwindigkeit von 0,5 m pro Sekunde erreicht wird (deutlich spürbarer Luftzug). Es ist zu beachten, dass die Luft nicht auf Bodenhöhe angesaugt wird, sondern auf einer Höhe von mindestens 2,0 m über der Strassenoberfläche.

Bei allen Arbeiten in Kanälen muss die Atmosphäre permanent mit einem Gaswarngerät überwacht werden.



#### **4.2.6 Schutzmassnahmen gegen elektrische Gefährdung**

Bei Verwendung von elektrischen Geräten in begehbaren Kanälen sind entsprechende Schutzmassnahmen gegen erhöhte Gefährdung durch elektrischen Strom zu treffen. Es sind die Vorschriften gemäss SUVA Merkblatt "Sicheres Einsteigen und Arbeiten in Schächten, Gruben und Kanälen» (Kapitel 4.3.2) zu berücksichtigen.

#### **4.2.7 Schutzmassnahmen gegen Absturz**

Jeder geöffnete Einstieg ist gegen Absturz von Personen und Tieren zu sichern.

Bei senkrechten Einstiegen sind ab 5 m Tiefe geeignete Absturzsicherungen zu verwenden, sofern keine baulichen Schutzmassnahmen vorhanden sind. Als geeignete Absturzsicherung gelten Höhensicherungsgeräte mit Aufhängevorrichtung (Dreibein) inkl. Rettungshubgerät mit einer selbsttätigen Lastrücklaufsperre.

Eine Gefährdung durch herabfallende Gegenstände ist durch Abdecken mit einem Schutzgitter auszu-schliessen.

#### **4.2.8 Schutzmassnahmen bei starker Wasserführung**

Vor Beginn der Arbeiten in begehbaren Kanälen sind entsprechende Alarmierungs- und Schutzmassnahmen zu treffen, um eine Gefährdung durch starke Wasserführung zu vermeiden. Dies kann z.B. durch folgende Massnahmen geschehen:

- Teilabschottung, Sperrung bzw. Umleitung der Abwasserzuflüsse in Absprache mit ERZ Entsorgung + Recycling Zürich
- Alarmanlage, Alarmierung durch Niveaumessung
- Beobachten der Wetterlage (Wetterprognose, Niederschlagsradar)
- Abklären von Bauarbeiten (z.B. Grabenbau - Wasserleitungsbruch) im Einzugsbereich des zu sanierenden Kanals
- Anbringen einer Sicherungsleine
- Haltestangen (z.B. Spriesswinden) am Ende eines Kanalabschnitts
- Keine losen, ungesicherten Gegenstände im Kanal nach Arbeitsende

Bei plötzlichem Einsetzen starker Wasserführung ist die Arbeit unverzüglich einzustellen. Die begehbaren Kanäle müssen sofort verlassen werden. Die Kanäle dürfen erst wieder betreten werden, wenn die Gefahrensituation abgeklärt und vorüber ist.

#### **4.2.9 Hygiene**

Der persönlichen Hygiene ist bei Kontakt mit Abwasser und insbesondere mit gesundheitsgefährdenden Stoffen grösste Beachtung zu schenken. Desinfizierendes Handreinigungsmittel muss immer zur Verfügung stehen.

In Bezug auf den allgemeinen Impfschutz empfiehlt die SUVA die gängigen Schutzimpfungen (Hepatitis A und B, Polio, Tetanus).

Rauchen, Essen und Trinken sind in Kanälen und abwassertechnischen Anlagen verboten.



### **4.3 Verkehrssicherheit**

Arbeitsstellen im Bereich des öffentlichen Verkehrs sind durch Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen zu kennzeichnen. Der Arbeitsbereich ist so abzusperren bzw. zu markieren, dass keine Absturzgefahr besteht und die Beteiligten vor Gefahren des Verkehrs geschützt sind. Die Einsatzfahrzeuge sollten so aufgestellt werden, dass Personen im Schutz der verkehrsabgewandten Seite der Fahrzeuge arbeiten können. Sie müssen Warnkleidung gemäss Norm SN 640 710 «Warnkleidungen bei Arbeiten im öffentlichen Strassenraum; Anforderungen» der Schweizerischen Strassenfachleute (VSS) tragen.

Für alle Arbeitsstellen ist die Norm VSS SN 640 886 «Temporäre Signalisation auf Haupt- und Nebenstrassen» anzuwenden.

### **4.4 Rettungsmassnahmen**

Bei einem Notfall in einem begehbaren Kanal müssen von den vor Ort beschäftigten Personen die notwendigen Rettungsmassnahmen eingeleitet werden bzw. wirksame Erste Hilfe geleistet werden können. Es ist zu empfehlen, jeden in der Arbeitsgruppe zum Nothelfer ausbilden zu lassen.

Sollte es zur Bewusstlosigkeit einer im Kanal beschäftigten Person kommen, darf der Überwachende auf keinen Fall in den Kanal einsteigen, bevor nicht weitere Hilfe (z.B. Schutz und Rettung Zürich) angefordert wurde. Bei der Bergung der sich in Not befindlichen Person muss der Retter ein von der Umgebungsluft unabhängiges Atemschutzgerät tragen. Bei akuten Erstickungs- oder Vergiftungsanzeichen müssen die Verletzten umgehend mit Atemluft versorgt werden.



## **5 Schadensarten**

Abwasserkanäle unterliegen einer hohen Beanspruchung aufgrund von physikalischen, chemischen und biologischen Einwirkungen. Nachfolgend werden die einzelnen Schadensbilder und deren Ursachen beschrieben.

### **5.1 Statische Schäden**

#### **5.1.1 Verformungen**

Je nach Verformungsgrad führen die daraus resultierenden Schäden zu einer Beeinträchtigung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Kanals bis hin zum Verlust der Tragfähigkeit des Kanals. Verformungen entstehen durch:

- Überbelastungen, Erschütterungen, z.B. durch Baustellenverkehr
- Planungsfehler bei der Konstruktion
- Fehler in der Ausführung
- Setzungen des Baugrunds
- Änderungen der Grundwasserverhältnisse (z.B. Auftrieb)
- Einbau ungeeigneter Materialien
- Abnahme der Materialeigenschaften (Betonkorrosion, Korrosion der Bewehrungseisen etc.)
- Verringerung der Bauwerksstabilität aufgrund mechanischen Verschleisses

#### **5.1.2 Risse**

Risse treten überwiegend durch Überbeanspruchung des Materials oder in Arbeitsfugen auf, können jedoch auch konstruktionsbedingt sein (z.B. Schwindrisse oder Risse durch Setzungen). Ausschlaggebend für die Beurteilung sind das sich einstellende Rissbild, die Rissbreiten und ob der Riss wasserführend oder trocken ist. Man unterscheidet in:

- Längsrisse
- Querrisse / Radialrisse

### **5.2 Mechanische Schädigungen**

#### **5.2.1 Undichtigkeiten (Infiltration/Exfiltration)**

Undichte Stellen in Kanälen können das Grundwasser gefährden. Undichtigkeiten entstehen z.B. durch:

- Risse
- Auswaschungen
- unsachgemäss hergestellte Anschlüsse
- Fehler bei der Ausführung (Hohlstellen, Kiesnester), Materialfehler
- Fehlstellen, Risse im Sohlenbereich
- undichte Fugen

Man unterscheidet in:

#### **Infiltration = Eindringen von Grundwasser**

Eindringendes Grundwasser verursacht zusätzliche Kosten bei der Reinigung von Abwasser. Durch das Fremdwasser eingespülte Bodenpartikel führen zudem oft zu unerwünschten Ablagerungen im Kanal. Weiter kann es durch Infiltration zu Unterspülungen bzw. Hohlräumen im Erdreich kommen.

### Exfiltration = Austritt von Abwasser

Der Austritt von Abwasser aus dem Kanal führt zu einer Kontamination des Grundwassers und des Erdreichs. Zudem kann das austretende Wasser zu einer Aufweichung des Bodens führen.

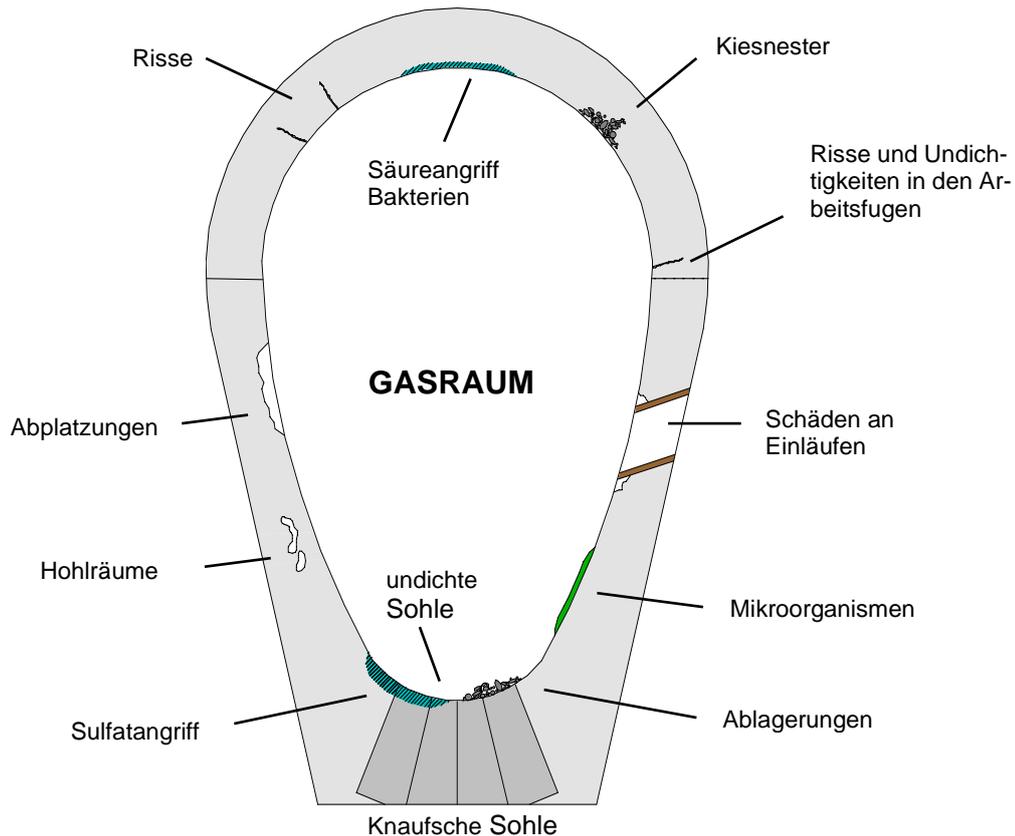


Abbildung 1: Schadensbilder bei unbewehrten Kanälen

### 5.2.2 Ablagerungen

Ablagerungen in Kanälen entstehen aus vorhandenen Feststoffen im Abwasser (mineralische und organische Bestandteile), die sich beim Unterschreiten der minimalen Fließgeschwindigkeit absetzen. Die Fließgeschwindigkeit wird beeinflusst durch:

- Kanalgeometrie
- Art und Menge der im Abwasser enthaltenen Feststoffe
- hydraulisches Gefälle
- Rauheit der Rohrwand

Kalkablagerungen entstehen durch Ausfällungen des im Wasser gelösten Kalkes in Kalkkristalle, welche über die Jahre hinweg eine immer stärker werdende Kalkschicht bilden.



### **5.2.3 Mechanischer Verschleiss (Abrasion)**

Ein mechanischer Verschleiss führt zu Abtrag von Materialien an den Innenflächen des Kanalbauwerks. Dies geschieht z.B. durch Abrieb von im Abwasser enthaltenen Feststoffen, unsachgemässe Ausführung von Reinigungsarbeiten (Hochdruck) oder Sanierungsarbeiten.

## **5.3 Korrosion**

Bei Korrosion im Kanalnetz handelt es sich hauptsächlich um Schädigungen von zementhaltigen Materialien. Bei Stahlbeton muss zwischen der Korrosion des Betons und der Korrosion der Bewehrung unterschieden werden.

Zudem entsteht Korrosion an metallischen Bauteilen im Kanalnetz (z.B. Aufhängungen, Schieber, Armaturen etc.).

### **5.3.1 Lösender Angriff durch Säuren**

Beton ist ein heterogener Baustoff, bestehend aus mineralischen Zuschlagstoffen und dem abgebundenen Bindemittel, das als Zementstein bezeichnet wird. Der Zementstein besteht chemisch aus Kalziumsilikathydraten, Kalziumaluminathydraten und zu etwa einem Drittel seiner Masse aus Kalziumhydroxid. Durch Säureangriff wird der Zementstein aufgelöst, der Angriffsgrad ist überwiegend abhängig vom pH-Wert. Organische Säuren führen in der Regel zu geringeren Schädigungen als die starken anorganischen Säuren, da deren pH-Wert niedriger ist und die Salze weniger löslich sind. Folgende Faktoren beeinflussen die Bildung der Säurekorrosion:

- Fließgeschwindigkeit des Abwassers
- Belüftung des Kanals
- Verweilzeit des Abwassers im Kanal
- Temperatur des Abwassers und der Luft im Kanal
- Gehalt an Schwefelverbindungen im Abwasser

### **5.3.2 Treibender Angriff**

Bei der Einwirkung von chlorid- und vor allem sulfathaltigem Abwasser erfolgt eine Einlagerung im Betongefüge unter Bildung von neuen Stoffen. Infolge des Eintrags von Sulfationen wird Ettringit und bei höheren Sulfatkonzentrationen Gips gebildet. Die neu entstehenden Produkte sind so voluminös, dass sie eine Ausdehnung des Betons bewirken (Strukturzerstörung), die auch zu Rissbildung und Abplatzungen führen kann.

### **5.3.3 Biologische Korrosion**

Die Korrosion von Beton kann von Mikroorganismen beschleunigt werden. Sie siedeln sich in Form von Biofilmen auf den Oberflächen an und können die korrosionsrelevanten Parameter wie pH-Wert und Salzgehalt beeinflussen. In erster Linie ist jedoch die Säureproduktion der Bakterien für die Betonkorrosion ausschlaggebend.

### 5.3.4 Korrosion der Bewehrung

Stahl ist in Beton durch die Alkalität des Porenwassers (pH-Wert 12,5 bis 13,5) vor Korrosion geschützt. Im Bereich solcher pH-Werte bildet sich auf der Stahloberfläche eine mikroskopisch dünne Oxidschicht, welche die anodische Eisenauflösung unterbindet. Wenn der pH-Wert des Betons auf  $< 9$  abfällt oder der Chloridgehalt des Betons einen kritischen Grenzwert überschreitet, geht die Passivschicht und damit der Korrosionsschutz entweder örtlich oder über grössere Oberflächenbereiche verloren.

Korrosion an der Bewehrung ist aber erst möglich, nachdem die Karbonatisierung oder ein kritischer Chloridgehalt die Oberfläche der Bewehrung erreicht haben.

#### Korrosion infolge Karbonatisierung:

Bei einer ausreichenden Gas- und Wasserdurchlässigkeit des Betons durch Fehlstellen, Poren und Risse wird kohlendioxidhaltige Luft oder schadstoffhaltiges Wasser ungehindert an den Stahl herangeführt. Das gelöste Kalziumhydroxid karbonatisiert. Damit sinkt der pH-Wert des Porenwassers auf 9 bis 10 ab. Der Korrosionsschutz, der durch den hohen pH-Wert (alkalischer Schutz) und durch die Passivierung des Stahls (durch Silikat) besteht, geht verloren. Die Bewehrung kann korrodieren (Volumenvergrösserung).

#### Korrosion infolge Chlorids:

Bei Überschreitung eines kritischen Chloridgehalts an der Bewehrungsoberfläche kommt es in einem ersten Schritt zum lokalen Durchbrechen der Passivschicht. Die chloridinduzierte Korrosion führt zu Anfressungen (Lochfrass) mit relativ kleinen Abmessungen. Die korrodierende und nichtkorrodierende, d.h. die nach wie vor passive Oberfläche der Bewehrung bilden dann ein starkes Makroelement.

Gleichmässig hohe Chloridgehalte im Beton können zu einer Vielzahl von Löchern in der Bewehrung führen, die mit der Zeit zusammenwachsen.

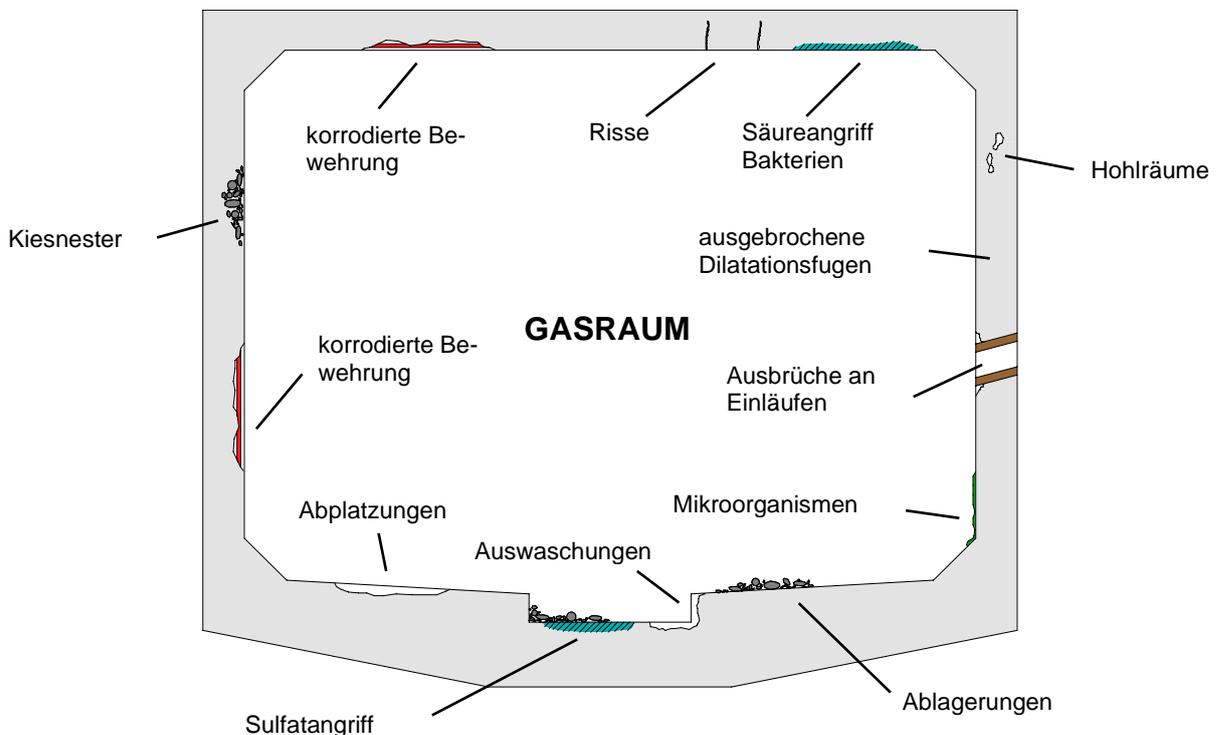


Abbildung 2: Schadensbilder bei bewehrten Kanälen



## **6 Zustandserfassung**

### **6.1 Grundlagen für die Zustandserfassung**

Als Grundlage für die Zustandserfassung von begehbaren Kanälen sind folgende Informationen bzw. Einflussgrössen von Bedeutung:

Lage des Kanals	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verkehr</li><li>- Überbauung</li><li>- Werkleitungen</li><li>- Tiefenlage</li><li>- Geologie</li></ul>
Zugänglichkeit	<ul style="list-style-type: none"><li>- Einstiege</li><li>- Abflussmenge</li></ul>
Grunddaten	<ul style="list-style-type: none"><li>- Konstruktion</li><li>- Geometrie</li><li>- Materialien</li><li>- Alter</li><li>- Überdeckungshöhe</li><li>- Untergrundbeschaffenheit</li><li>- vorherige Sanierungsmassnahmen</li></ul>
Grundwasserbedingungen	<ul style="list-style-type: none"><li>- Grundwasserschutz zonen</li><li>- Grundwasserspiegel</li></ul>
hydraulische Verhältnisse	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gefälle</li><li>- Auslastung</li><li>- Fliessgeschwindigkeit</li><li>- Rückstau</li><li>- Umleitungsmöglichkeiten</li></ul>
Abwasserbeschaffenheit	<ul style="list-style-type: none"><li>- Zusammensetzung</li><li>- speziell belastete Abwässer durch Industrie, Gewerbe und Spitäler</li></ul>

### **6.2 Visuelle Zustandserfassung**

Bei der visuellen Zustandserfassung werden die auf der Bauwerksinnenseite erkennbaren Schadensmuster erfasst. Das Bauwerk ist dabei auf verschiedene Schadensarten zu prüfen und die erkennbaren Schäden in geeigneter Weise zu dokumentieren. Hierbei ist zwischen bewehrten, unbewehrten Betonquerschnitten und Kanälen aus Mauerwerk zu unterscheiden. Die Kanaleinstiege und Kontrollschächte sind ebenfalls in die Untersuchung mit aufzunehmen.

Als Ergebnis der visuellen Untersuchung der Bauwerksinnenseite kann in Einzelfällen eine Untersuchung des Aussenbereichs des Kanalbauwerks notwendig sein, z.B. bei Verdacht von Aussenkorrosion (z.B. durch aggressives Grundwasser) oder Setzungen an der Oberfläche (Hohlraumbildung im Boden). Diese Untersuchung kann mittels Sondierungen oder Freilegen des Kanals erfolgen.

### 6.3 Zerstörungsfreie Untersuchungen

Bei der Zustandserfassung von begehbaren Kanälen sind folgende Untersuchungen durchzuführen:

- Abklopfen der Oberflächen (Hohlstellen, Abplatzungen, Zustand Beschichtungen)
- Messen der Oberflächendruckfestigkeit
- Rissaufnahme (Verlauf, Rissbreite, Risslänge, Risstiefe)
- Aufnahme von Korrosionsstellen und Abplatzungen (Lage, Schadensfläche, Schädigungstiefe)

Zusätzlich bei bewehrten Kanälen:

- Messen der Betonüberdeckung der Bewehrung
- Bestimmung der Karbonatisierungstiefe des Betons (frische Betonbruchstelle mit Indikatorlösung besprühen)

Neben den konventionellen Verfahren können in Einzelfällen auch spezielle Inspektionstechnologien eingesetzt werden.

### 6.4 Ergänzende zerstörende Untersuchungen

Für die Untersuchung von begehbaren Kanälen sind folgende Proben zu entnehmen (nach Rücksprache mit dem Projektleiter ERZ/TAZ):

- **pro 100 m:** 2 Schnitte (eventuell reduziert bei sehr langen Kanalabschnitten)
- **pro Querschnitt:** mind. 2 Schnitte (Kaliberwechsel innerhalb Kanalabschnitt)
- **bei Qualitätswechsel bzw. Baujahr:** mind. 2 Schnitte
- **zusätzlich bei grösseren Schadstellen:** 1 Schnitt

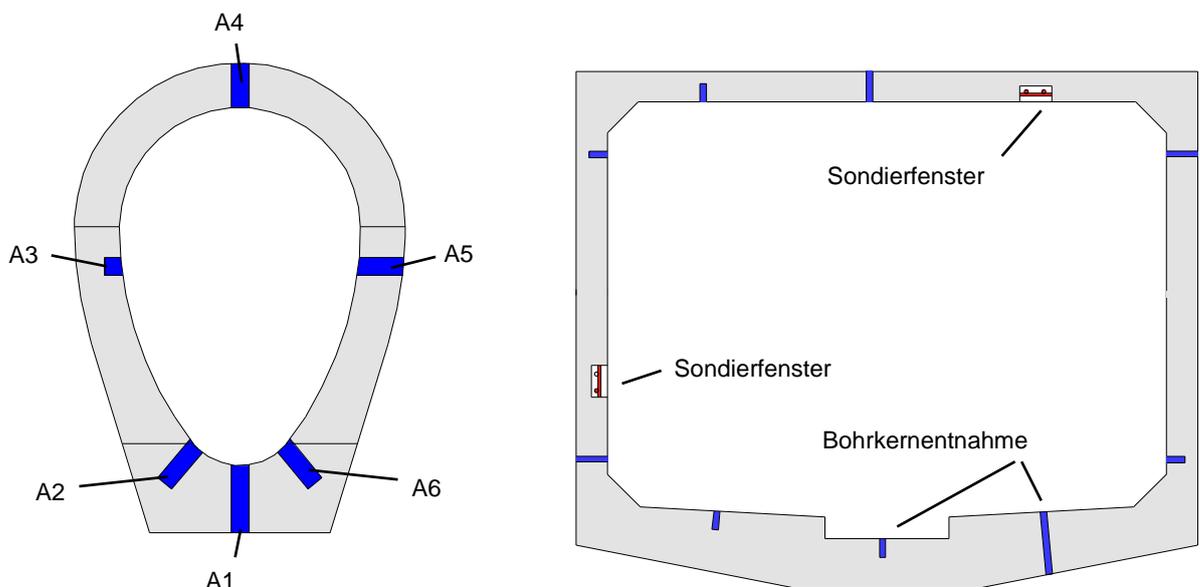


Abbildung 3: Probenentnahme / Sondierungen



Bei einem Schnitt werden ca. 6 – 8 Bohrkerne entnommen. Der Durchmesser der Bohrkerne beträgt 50 mm, die Bohrkernlänge ca. 150 mm. Die Schnitte werden in Übersichtsplänen in Fliessrichtung gekennzeichnet, die Bohrkerne pro Schnitt im Uhrzeigersinn nummeriert (in Fliessrichtung beginnend in der Sohle).

Pro Schnitt sollten alternierend 1 - 3 Bohrkerne durchgebohrt werden. Dadurch erhält man einen Überblick über die vorhandenen Bauteilstärken des Kanalquerschnitts.

Bei bewehrten Querschnitten müssen Sondierfenster zur Beurteilung des Zustands der Bewehrung angelegt werden. Dabei werden folgende Daten festgehalten:

- Lage des Sondierfensters
- Durchmesser von Hauptbewehrung und Verteilbewehrung
- Teilung / Abstand der Hauptbewehrung und Verteilbewehrung
- Bewehrungstyp: Rippenbild / glatt
- Bewehrungsüberdeckung
- Karbonatisierungstiefe
- Korrosionszustand (Korrosionsgrad, Korrosionsart)

Zusätzlich:

- Entnahme von Bewehrungsproben zur Bestimmung der Zugfestigkeit im Labor, sofern die Stahlsorte in den Bewehrungsplänen nicht vermerkt ist und die Stahlgüte nicht anhand des Rippenbilds bestimmt werden kann.

Ermittlung der Korrosionsart:

- Art der Korrosionsprodukte (Farbe, blättrig, gut haftend)
- flächige Korrosion / lokale Korrosion
- Spaltkorrosion
- Kontaktkorrosion
- Lochfrass

Beurteilung des Korrosionsgrades (KG) gemäss SIA 269-2:

**Tabelle 1:** Korrosionsgrad (KG)

<b>Korrosionsgrad</b>	<b>Ausprägung</b>
0	blank
1	wenige oberflächliche Rostpunkte
2	Rostflecken, lokal geringer Materialabtrag
3	vollständig rostig mit geringem Materialabtrag (maximal Rippung abkorrodiert)
4	vollständig rostig mit deutlichen Mulden; Lochfrass (Angabe der Querschnittsverminderung in % des ursprünglichen Querschnitts)



## 6.5 Laboruntersuchungen

Laboruntersuchungen ergänzen die Ergebnisse der visuellen Untersuchung sowie der zerstörungsfreien und zerstörenden Untersuchung. Sie liefern eine lokal begrenzte Aussage über verschiedene Materialeigenschaften. Bei der Durchführung von Laborprüfungen kommt der Auswahl, der Entnahme und der Behandlung der Proben eine grosse Bedeutung zu. Für die Zustandsanalyse von begehbaren Kanälen werden folgende Untersuchungen an Proben (Bohrkerne) durchgeführt:

- **detaillierte Gefügeuntersuchung des Konstruktionsbetons / Beschichtungen (Dünnschliff)**  
Beurteilung des Gefüges (Hohlräume, Verbund, Einlagerungen, Verdichtungsstörungen, Mikrorisse, Kristallisationen, Kiesnester, tragfähiger Restquerschnitt).
- **Karbonatisierung (ergänzend zu den Messungen vor Ort)**  
Verlauf und Tiefe der Karbonatisierung (in mm). Die Karbonatisierung kann abhängig von den klimatischen Bedingungen, dem CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft und der Porosität des Betons einige Millimeter bis zu mehreren Zentimetern betragen.
- **Wasserdichtheit des Konstruktionsbetons**  
Das Prüfverfahren ist objektspezifisch festzulegen. Die Wasserdichtigkeit wird an Bohrkernen mit Durchmesser 50 mm geprüft. Bei dieser Wasserdichtigkeitsprüfung wird ein bestimmter Wasserdruck während einer vorgegebenen Zeitspanne auf die Oberfläche des wassergesättigten Betonprobekörpers aufgegeben und die Eindringtiefe des Wassers in den Prüfkörper gemessen.
- **Wasserdichtheit von Mörtelschichten und anderen Beschichtungen**  
Bedarf und Umfang der Prüfung der Wasserdichtigkeit bei Mörtel und Beschichtungen sind spezifisch abklären.
- **Poren-Sättigungskennwerte**  
Mit den Poren-Sättigungskennwerten werden die kapillare Wasseraufnahme, die Gesamtporosität, der Hohlraumgehalt, die Trockenrohichte sowie die theoretische Dichte ermittelt. Zusammen mit der Gefügeuntersuchung (Dünnschliff) geben diese Werte Aufschluss über die vorhandene Qualität des Betons (Berechnung des w/z-Wertes möglich).
- **Betondruckfestigkeit**  
Druckfestigkeitsmessung am Bohrkern zur Bestimmung der Druckfestigkeit.
- **Analyse auf schädliche Salze im Konstruktionsbeton bzw. in Beschichtungen**  
Messung von Chlorid, Nitrit, Nitrat, Sulfat (bei Bedarf: Ammonium, Kalium, Magnesium, Kalzium). Die Konzentration der schädlichen Salze und Tiefe im Querschnitt muss angegeben werden.
- **Haftzugfestigkeit**  
Bestimmung der Haftzugfestigkeit vorhandener Beschichtungen;  
Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit des Konstruktionsbetons;  
Bestimmung der Haftzugfestigkeit von Einbauelementen (z.B. Steinzeug).
- **Zugfestigkeit Beton**  
Zugfestigkeit als Grundlage für die statische Nachrechnung von unbewehrten Kanälen.
- **Zugfestigkeit Bewehrungsstahl**  
Bestimmung der Zugfestigkeit von entnommenen Bewehrungsproben (bewehrte Kanäle).



## **7 Statische Beurteilung**

### **7.1 Ziel der statischen Beurteilung**

Mit der statischen Berechnung soll die Tragsicherheit des zu beurteilenden Kanals nachgewiesen werden. Die über die vergangenen Jahrzehnte angepassten Normen und Lastansätze, bauliche Anpassungen und Veränderungen an den Kanalbauwerken oder Änderungen der Umgebungsbedingungen (z.B. Veränderung der Überdeckung) können Einfluss auf die Standsicherheit des Bauwerks haben.

Die Ergebnisse der vorherigen Untersuchungen (visuell, zerstörungsfrei, zerstörend) können Hinweise auf Veränderungen im Querschnitt ergeben, welche für die Beurteilung der Tragsicherheit wichtig und zu berücksichtigen sind. Hierzu gehören z.B. die Reduktion des tragenden Betonquerschnitts durch chemischen, physikalischen oder mechanischen Verschleiss oder Querschnittsverluste der Bewehrung durch Korrosion.

Die oben genannten Veränderungen gegenüber dem Zeitpunkt der Erstellung des Bauwerks sollen bestmöglich erfasst und bei der Beurteilung der Tragsicherheit herangezogen werden.

### **7.2 Grenzen der statischen Beurteilung**

Für viele bestehende Kanalbauwerke sind keine Planunterlagen mehr vorhanden, so dass konstruktive Details der bestehenden Konstruktion nicht bekannt sind. Bei den stichprobenartigen Untersuchungen im Kanal können die genaue Bewehrungsführung (Rahmenecken etc.), der Bewehrungsquerschnitt und die Verteilung der Bewehrung nicht vollständig erfasst werden. Auch die Umgebungsbedingungen eines Kanals (Bettung im anstehenden Erdreich) sind meist unbekannt und können durch die Zustandserfassung in der Regel nicht ermittelt werden.

Für die unbekanntem Randbedingungen sind bei der rechnerischen Beurteilung sinnvolle und plausible Annahmen zu treffen und gegebenenfalls zu variieren.



### 7.3 Ablauf der statischen Beurteilung

Phase	Wer	Beschrieb
<pre> graph TD     A[Grundlagenermittlung] --&gt; B[Ermittlung der Einwirkungen auf den Kanal]     B --&gt; C[Modellbildung]     C --&gt; D[Rechnerische Nachweise]     D --&gt; E[Prüfung Notwendigkeit Sofortmassnahmen]     E --&gt; F[Empfehlung für weiteres Vorgehen]     F --&gt; G[Besprechung mit Auftraggeber]           </pre>	PV ERZ / TAZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pläne, falls vorhanden</li> <li>- visuelle Aufnahmen</li> <li>- materialtechnologische Untersuchung</li> </ul>
	PV	- Lastansätze gemäss bestehender Situation
	PV	Unterscheiden nach: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanäle mit geringer oder grosser Überdeckung</li> <li>- Modell mit seitlicher Bettung</li> <li>- Modell mit horizontalem Erddruck</li> </ul>
	PV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- für bewehrten oder unbewehrten Kanal</li> <li>- Sensitivitätsanalyse</li> <li>- Vergleich mit Beobachtungen vor Ort</li> </ul>
	PV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung der Notwendigkeit von Sofortmassnahmen</li> <li>- Ergebnis zur Kenntnis an den Auftraggeber</li> </ul>
	PV / ERZ / TAZ	Falls Sofortmassnahmen notwendig sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Konzept für Sofortmassnahmen</li> <li>- Durchführung von Sofortmassnahmen, ausgelöst vom Auftraggeber</li> </ul>
	PV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aussage zur Standsicherheit des Kanals und zur Notwendigkeit von Verstärkungsmassnahmen</li> <li>- Erarbeitung einer Diskussionsgrundlage für die Risiko-beurteilung</li> </ul>
	PV / ERZ / TAZ	Bemerkung für nachfolgende Projektphase: Die möglichen Verstärkungsmassnahmen sind mit den Massnahmen und Anforderungen abzustimmen, die sich aus Materialtechnologie, Geometrie, Kotierung, Hydraulik und Betrieb ergeben.

Legende

- ERZ ERZ Entsorgung + Recycling Zürich, Entwässerung
- TAZ Tiefbauamt
- PV Projektverfasser



## **7.4 Grundlagen für die statische Beurteilung**

### **7.4.1 Normen**

Es gelten die folgenden Normen (jeweils in der aktuell gültigen Fassung):

- SIA 190 «Kanalisationen»
- SIA 260 «Grundlagen der Projektierung von Tragwerken»
- SIA 261 «Einwirkungen auf Tragwerke»
- SIA 261/1 «Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen»
- SIA 262 «Betonbau»
- SIA 262/1 «Betonbau – Ergänzende Festlegungen»
- SIA 269/1 «Erhaltung von Tragwerken - Einwirkungen»

### **7.4.2 Planunterlagen**

Sind Planunterlagen vorhanden sollten die folgenden Informationen entnommen werden:

- Baujahr
- Überdeckung des Kanals
- Konstruktionsart:
  - Profil, wie z.B. Rechteckquerschnitt, Kreis-, Ei- oder Maul-Profil
  - Bauteilstärken
  - Fugen
  - bewehrt oder unbewehrt
  - Bewehrungsführung und Bewehrungsquerschnitt, Stahlsorte
  - Materialien mit ihren Eigenschaften
- Lage bezüglich Strassen, Gebäuden oder sonstigen Bauten:
  - sind Verkehrslasten zu berücksichtigen? Wenn ja: welche?
  - sind Lasten aus Gebäuden oder sonstigen Bauten zu berücksichtigen?
- Höhenkote Grundwasserspiegel bei Mittel- und Hochwasserstand
- Angaben zum Baugrund

## **7.5 Einwirkungen**

Bei der Bestimmung der Einwirkungen zur Bemessung von neuen Bauteilen und zur Bemessung von Verstärkungsmassnahmen sind die Normen SIA 260, 261 sowie 261/1 zu verwenden. Eine Reduktion der Einwirkungen nach SIA 269/1 ist nicht zulässig.

Bei der Nachrechnung bestehender Bauten dürfen projektspezifisch in Absprache mit dem Auftraggeber die Einwirkungen der Norm SIA 269/1 herangezogen werden.

Für die Ermittlung der Scheitelspannungen aus Verkehr (Lastmodell 1, Bahnlast) können die Diagramme der Norm SIA 190:2017, Anhang C – Einwirkungen auf erdverlegte Leitungen, als Hilfsmittel genutzt werden. Der Ansatz des Reduktionsbeiwerts  $\alpha_{Q1}$  und des dynamischen Beiwerts  $\Phi$  ist zu prüfen.

Silotheorie: die Silotheorie darf nicht angewendet werden, da nicht sichergestellt werden kann, dass die Reibungskräfte seit der Erstellung des Bauwerks erhalten geblieben sind bzw. dass die Reibungskräfte überhaupt je aufgetreten sind.

### 7.5.1 Kanäle mit geringer oder grosser Überdeckung

Bei der Ermittlung der Einwirkungen auf den Kanal infolge Verkehrslasten wird zwischen Kanälen mit geringer und Kanälen mit grosser Überdeckung unterschieden. Bei Kanälen mit geringer Überdeckung werden Radlasten, die über dem Kanal angreifen, direkt auf den Scheitel des Kanals übertragen. So kann sich kein stützender horizontaler Erddruck oder nur ein geringer Erddruckanteil ausbilden.

Für die Einstufung der Überdeckung kann gemäss SIA 190 vorgegangen werden, wobei gilt:

$\frac{H+a}{d_a} \leq 1$ : Kanal mit geringer Überdeckung, es kann kein Erddruck entstehen.

$\frac{H+a}{d_a} > 2$ : Kanal mit grosser Überdeckung, es kann der volle Erddruck angesetzt werden.

Dazwischen kann linear interpoliert werden.

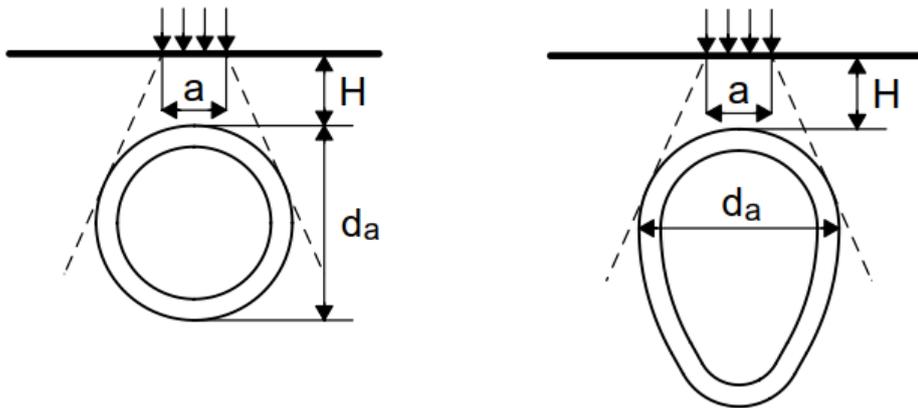


Abbildung 4: Einwirkungsprofile bei geringen Überdeckungen

## 7.6 Modellbildung

### 7.6.1 Allgemeines

Unabhängig von der Profilart kann der Kanal mit einem zweidimensionalen Stabtragwerk modelliert oder mit einem dreidimensionalen Modell berechnet werden.

Bei örtlich begrenzten Lasten oder Punktlasten kann mit einem dreidimensionalen Modell eine Lastabtragung in Längsrichtung des Kanals, die vor allem bei geringen Überdeckungen günstig wirken kann, besser erfasst werden. Je nach rechnerischen Resultaten aus der zweidimensionalen Modellierung ist es sinnvoll, diese ebenfalls zu berücksichtigen.

Bei der Modellbildung sind die folgenden Komponenten zu berücksichtigen bzw. zu variieren:

- Stärke und Steifigkeit Querschnitt
- vertikale Spannungen, vgl. Abschnitt Lastansätze
- horizontaler Erddruck auf Kanal (kein Erddruck / aktiver Erddruck / Erdruhedruck)
- Grundwasserdruck
- Füllung innen

24 / 44

- Bettung:
  - Bettung der Sohle
  - Bettung der Seitenflächen
  - Bettungsmodul
- asymmetrische Zustände von Lasten und / oder Bettung

Bei der Ausarbeitung von allfälligen Verstärkungsmassnahmen zusätzlich:

- Bauzustände (z.B. Querschnittreduktion bei Betonabtrag)

### 7.6.2 Modell mit seitlicher Bettung

- kein Ansatz horizontaler Erddruck
- elastische Bettung des Sohlbereichs
- elastische Bettung der Seitenflächen des Berechnungsmodells. Die seitliche Bettung kann durch eine modellierte elastische Bettung des Querschnitts im Modell berücksichtigt werden. Es ist ein plausibles Bettungsmodul zu wählen bzw. zu variieren
- Ansatz vertikale Auflast infolge Überdeckung
- Ansatz vertikale Auflast infolge Verkehrslasten
- sonstige Lasten, die auf Grund einer speziellen Situation anzusetzen sind (z.B. Grundwasser, Gebäudelasten)

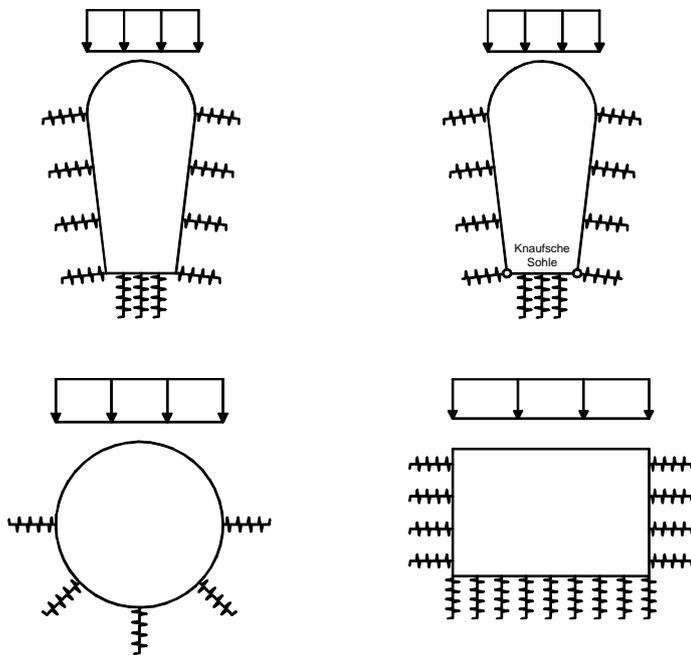


Abbildung 5: Schemata Modellbildung mit seitlicher Bettung

### 7.6.3 Modell mit horizontalem Erddruck

- elastische Bettung des Sohlbereichs
- seitliche «Stützung» des Berechnungsmodells mit Ansatz eines horizontalen Erddrucks. Es werden unterschiedliche Ansätze in verschiedenen Berechnungsmodellen betrachtet. Der Erddruck wird variiert von kein Erddruck, über den aktiven Erddruck bis hin zum Ansatz des Erdruhedrucks
- Ansatz des horizontalen Erddrucks infolge Überdeckung
- Ansatz des horizontalen Erddrucks resultierend aus den Verkehrslasten
- Ansatz vertikale Auflast infolge Überdeckung
- Ansatz vertikale Auflast aus Verkehrslasten
- sonstige Lasten, die auf Grund einer speziellen Situation anzusetzen sind (z.B. Grundwasser, Gebäudelasten)

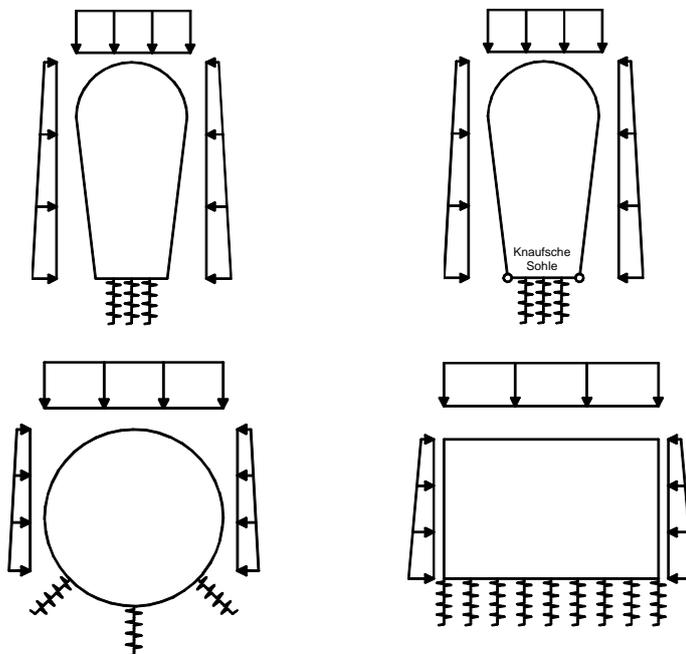


Abbildung 6: Schemata Modellbildung mit horizontalem Erddruck



## **7.7 Rechnerische Nachweise**

### **7.7.1 Bewehrte Querschnitte**

Für bewehrte Querschnitte ist ein Tragsicherheitsnachweis (d-Niveau) gemäss Normen SIA 260 ff zu führen.

Kann die normgemässe Tragsicherheit nicht nachgewiesen werden, ist zu prüfen, ob Tragreserven im Querschnitt ausgenutzt werden können (z.B. Momentenumlagerung). In diesem Fall zu prüfen ist, ob z.B. eine in Kauf genommene Fließgelenk- und somit Rissbildung die Funktionsfähigkeit des Kanals als dichtes Bauwerk nicht beeinträchtigt.

Zusätzlich soll auch ein Gebrauchstauglichkeitsnachweis (ohne Lastfaktoren) durchgeführt werden. Es ist mit dem Auftraggeber zu diskutieren, ob die errechneten Werte (z.B. Deformation) beim Überschreiten der üblichen Grenzwerte eine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit darstellen und ob Massnahmen auf Grund der Gebrauchstauglichkeitsnachweise notwendig und gerechtfertigt sind.

Es sollen Aussagen zu folgenden Punkten gemacht werden:

- Ist eine normgemässe Tragsicherheit vorhanden?
- Sind die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit erfüllt?
- Bei Unterschreiten der normgemässen Tragsicherheit: ist der Kanal einsturzgefährdet bzw. wie viel Sicherheit wurde errechnet?
- Muss der Kanal verstärkt werden?

### **7.7.2 Unbewehrte Querschnitte**

Es wird ein Spannungsnachweis auf Gebrauchsniveau (ohne Lastfaktoren) durchgeführt. Die rechnerisch mit den unterschiedlichen Berechnungsmodellen ermittelten Spannungen werden mit den effektiv vom Querschnitt aufnehmbaren Spannungen verglichen.

Anhand der Laborprüfungen an den Bohrkernen kann für die Betondruck- und Betonzugfestigkeit die Normalverteilung der Betonfestigkeiten berechnet werden. Mit der Normalverteilung kann der Minimal- und Mittelwert bestimmt werden. Die Betondruck- und Betonzugspannungen aus den Berechnungen werden mit dem Minimal- und Mittelwert verglichen.

Es sollen Aussagen zu folgenden Punkten gemacht werden:

- Liegen die berechneten Spannungen über dem Minimalwert?
- Liegen die berechneten Spannungen über dem Mittelwert?
- Ist rechnerisch mit einer Rissbildung zu rechnen?
- Ist der Querschnitt beim Auftreten eines / mehrerer Risse noch stabil?
- Ist der Kanal einsturzgefährdet?
- Einschätzung der Standsicherheit des Querschnitts in Bezug auf die rechnerischen Spannungen im Querschnitt im Vergleich zu den aufnehmbaren Spannungen (Minimalwert und Mittelwert)
- Muss der Kanal verstärkt werden?

### **7.7.3 Teilbewehrter Querschnitt**

Vereinzelt kommen auch teilbewehrte Querschnitte vor (z.B. Maul-Profil mit bewehrtem Gewölbe). Bei diesen Querschnitten können die Nachweise aus den beiden vorangegangenen Kapiteln sinngemäss angewendet werden.



## 7.8 Statische Beurteilung und Massnahmenempfehlung

Es ist eine Beurteilung der bestehenden Konstruktion bezüglich der Tragsicherheit und eine Empfehlung für das weitere Vorgehen abzugeben.

Folgende Punkte sind zu behandeln:

- Aussage über die Tragfähigkeit der Konstruktion
- Benennung der Defizite
- Notwendigkeit von Sofortmassnahmen
- Notwendigkeit von Verstärkungsmassnahmen
- mögliche Verstärkungsmassnahmen
- Varianten für Verstärkungsmassnahmen in Absprache mit dem Auftraggeber

Je nachdem, wo die Bandbreite der Resultate liegt, empfiehlt sich folgendes Vorgehen:



- |        |  |   |
|--------|--|---|
| Fall 1 | Untere und obere Grenze der Resultate liegt im Bereich, der standsicher ist.                     | → keine Verstärkungsmassnahmen notwendig            |
| Fall 2 | Bandbreite der Resultate liegt in den Bereichen, der standsicher als auch nicht standsicher ist. | → weiteres Vorgehen nach Absprache mit Auftraggeber |

Für die Besprechung mit dem Auftraggeber müssen folgende Grundlagen für die Risikobeurteilung vorliegen:

- Bandbreite der Resultate, d. h. zu wieviel % ist der Kanal standsicher oder unter welchen Annahmen ist der Kanal standsicher
- bewehrter Kanal: Bandbreite der rechnerisch vorhandenen Tragsicherheit
- mögliches Schadenspotential
- Wahrscheinlichkeit für ein Versagen des Kanals

- |        |  |                                    |
|--------|--|------------------------------------|
| Fall 3 | Untere und obere Grenze der Resultate liegt im Bereich der statisch nicht standsicher ist. | → Verstärkungsmassnahmen notwendig |
|--------|--|------------------------------------|

Falls im Hinblick auf die Tragsicherheit oder der Gebrauchstauglichkeit eine Verstärkung des Kanalquerschnitts notwendig ist, sind die möglichen Verstärkungsmassnahmen mit den Massnahmen und Anforderungen abzustimmen, die sich aus Materialtechnologie, Geometrie, Kotierung, Hydraulik und Betrieb ergeben.



## **8 Beurteilung des untersuchten Kanals**

Wichtige Faktoren für die Zustandsbeurteilung sind die Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit sowie die prognostizierte Zustandsentwicklung.

Die Zustandsbeurteilung umfasst eine Abschätzung der Restnutzungsdauer sowie eine Aussage über die voraussichtliche Zustandsentwicklung des Kanals. Im Wesentlichen soll dabei auf folgende Bereiche eingegangen werden:

Konstruktionsbeton	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gefüge</li><li>- Dichtigkeit</li><li>- Anzahl und Ausmass Schadstellen</li><li>- mechanische Eigenschaften</li><li>- Belastung mit betonschädlichen Salzen</li></ul>
Sohlenbereich	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aufbau</li><li>- Dichtigkeit</li><li>- Anzahl und Ausmass Fehlstellen</li><li>- hydraulische Eigenschaften</li></ul>
Beschichtungen, Überzüge	<ul style="list-style-type: none"><li>- Haftung</li><li>- Schichtstärke</li><li>- Anzahl und Ausmass Fehlstellen</li><li>- Aufbau</li><li>- Eigenschaften</li></ul>
Fugen	<ul style="list-style-type: none"><li>- Arbeitsfugen</li><li>- Fugen zwischen Sohlschalen etc.</li></ul>
Bewehrung	<ul style="list-style-type: none"><li>- Korrosionsgrad</li><li>- Schadensausmass</li><li>- Korrosionswahrscheinlichkeit</li><li>- Verlauf Karbonatisierung</li><li>- Betonüberdeckung</li><li>- schädliche Salze (Chlorid)</li></ul>
Einbauten	<ul style="list-style-type: none"><li>- aufgehängte Leitungen</li><li>- Schieber</li><li>- Klappen</li></ul>
Einläufe	<ul style="list-style-type: none"><li>- Durchmesser</li><li>- Material</li><li>- Ausführung</li></ul>
Kontrollschächte / Kammerbauwerke	<ul style="list-style-type: none"><li>- Armaturen</li><li>- Abdeckungen</li><li>- Bankette</li><li>- Dammplatten</li><li>- Schieber</li><li>- Leitern und Trittnischen</li><li>- Podeste</li><li>- Sohlenbereich</li></ul>
Kanal (Zugänglichkeit)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Einstiege im Gleisbereich</li><li>- Strassen mit hohem Verkehrsaufkommen etc.</li></ul>



29 / 44

- Abstand der Kammerbauwerke  
(Abstand der Schachtachsen)
- begehbare Kanäle, nutzbare Höhe bis 1800 mm:  
60 m; max. 80 m
  - begehbare Kanäle, nutzbare Höhe > 1800 mm:  
80 m; max. 100 m
  - bei grösseren Abständen müssen zusätzliche Einstiegsöffnungen erstellt werden. Bei Schächten im Gleisbereich müssen seitliche Einstiegsöffnungen erstellt werden.

Die Klassifizierung des Kanals auf Basis der Kanaluntersuchungen erfolgt gemäss den Schadensstufen von ERZ Entsorgung + Recycling Zürich.



## **9 Werterhaltungsmassnahmen**

### **9.1 Allgemein**

Auf Grundlage der festgestellten Schäden werden Massnahmenvorschläge erarbeitet.

<b>Sofortige Massnahmen</b>	dienen zur Beseitigung von unmittelbaren Gefahren bzw. einer akuten Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit des Kanals.
<b>Kurzfristige Massnahmen</b>	dienen zur Vermeidung einer weiteren Schadensausbildung.
<b>Mittelfristige Massnahmen</b>	sollen die festgestellten Schäden für einen zeitlich begrenzten Zeitraum beheben (kontrollierte Alterung).
<b>Langfristige Massnahmen</b>	zielen auf eine dauerhafte Erhaltung der Gebrauchstauglichkeit und der Sicherheit des Kanals ab. Die Massnahmen sind dabei auf eine weitere Nutzungsdauer des Kanals von mindestens 50 Jahren auszurichten.

Neben den technischen Randbedingungen sollen auch wirtschaftliche Faktoren die Wahl der Massnahmen beeinflussen. Verschiedene Erhaltungsmassnahmen und die verwendeten Materialien weisen unterschiedliche Nutzungsdauern und Investitionskosten auf. Es wird folgende Nutzungsdauer angenommen:

<b>Reparatur:</b>	20 – 30 Jahre
<b>Innensanierung:</b>	50 Jahre
<b>Erneuerung:</b>	80 – 120 Jahre

Mittels Variantenstudium (Merkblatt ERZ Variantenvergleich) müssen die verschiedenen Erhaltungsmassnahmen mit den verbundenen Investitionskosten und der Nutzungsdauer verglichen werden.



## 9.2 Massnahmen und Verfahren

Bei der Erhaltung von begehbaren Kanälen im Kanalnetz der Stadt Zürich kommen Ausbesserungsverfahren, Injektions- und Abdichtungsverfahren, Beschichtungen mit mineralischem Mörtel und die Auskleidung mit Montageteilen zum Einsatz.

Sohle	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reparieren von Ausbrüchen / Auswaschungen</li><li>- Abtragen Beschichtung / Beton und Reprofilierung des Betonquerschnitts</li><li>- Injektionen, Abdichtung Fugen</li><li>- Verkleiden der bei Trockenwetter benetzten Kanalwandung mit Steinzeug-Elementen (keine einspringenden Ecken)</li><li>- Verfüllen der Knauf'schen Sohlschalen mit Mörtel</li><li>- Applizieren von Beschichtungen mit hohem Verschleisswiderstand</li></ul>
Kanalwände, Kanaldecke, Gewölbe	<ul style="list-style-type: none"><li>- Abtrag der geschädigten Beschichtung</li><li>- Abtrag des geschädigten Betons</li><li>- Reprofilieren des Betonquerschnitts</li><li>- Applizieren von Beschichtungen</li><li>- Sanieren lokaler, flächiger Korrosionsstellen der Bewehrung</li><li>- Aufspitzen und Reprofilieren von Rissen</li><li>- Wasserführende oder klaffende Risse mit Injektionen verfüllen bzw. abdichten</li><li>- Verfüllen von Hohlräumen</li><li>- Sanieren von Bauwerks- und Arbeitsfugen</li></ul>
Einläufe	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verschliessen ausser Betrieb befindlicher Einläufe</li><li>- Erstellen eines normgerechten Anschlusses</li><li>- Aufspitzen von Hohlstellen, Verputzen von Einläufen</li><li>- Entfernen von Kalkbelägen und Wurzeleinwüchsen</li></ul>
Kontrollschächte	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aufspitzen und Reprofilieren von Rissen</li><li>- Wasserführende oder klaffende Risse mit Injektionen verfüllen bzw. abdichten</li><li>- Ersetzen von Konus und Schachtabdeckungen</li><li>- Entfernen und ev. Erneuern von Schiebern usw.</li><li>- Erneuern der Armaturen (Leitern, Gegeneisen, Trittnischen)</li><li>- lokales Ausbessern der Schachtwände</li><li>- Ausrunden der Übergänge vom Schacht zum Kanal</li><li>- Wiederherstellen der Sohlenoberflächen (Beton/Überzug mit erhöhtem Verschleisswiderstand)</li></ul>
Statische Verstärkung	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ergänzen der Bewehrung (Zusatzbewehrung mit erhöhtem Korrosionswiderstand)</li><li>- Verstärken des Querschnitts (Materialauftrag)</li></ul>

Weitere Massnahmen erfolgend nach Rücksprache mit dem PL TAZ.



## **10 Anforderungen an Materialien und Ausführung**

Die Anforderungen an die Materialien bei der Sanierung von begehbaren Kanälen sind sehr hoch. Die Produkte müssen den folgenden Einwirkungen standhalten:

- mechanische Beanspruchung (Abrasion)
- lösender chemischer Angriff (Säuren, speziell Bildung von Schwefelsäure im Gasraum, Kondenswasser)
- treibender Angriff (z.B. durch Sulfat)
- biologischer Angriff (Mikroorganismen, Säurebildung durch Bakterien)

Daraus ergeben sich die folgenden Anforderungen an alle bei der Werterhaltung von begehbaren Kanälen eingesetzten Produkte (siehe Tabelle 2):

- Säurebeständigkeit
- Sulfatbeständigkeit
- Chloridbeständigkeit
- Dichtheit
- Festigkeit
- Formbeständigkeit (Minimierung der Rissbildung)
- keine biologisch abbaubaren Bestandteile

### **10.1 Produkte**

Für die verwendeten Produkte sind Eignungsnachweise vorzulegen. Die Eignungsnachweise dienen der Beschreibung der Eigenschaften eines Werkstoffs (Kennwerte, Materialverträglichkeit) sowie dem Nachweis seiner Eignung für die vorgesehenen Anwendungen (Anforderungen). Im Rahmen des Eignungsnachweises muss anhand der Prüfberichte von akkreditierten Prüflabors nachgewiesen werden, dass die Produkte den vorgesehenen Anforderungen entsprechen.

Ein von TAZ / ERZ genehmigter, aktueller Eignungsnachweis hat mindestens fünf Arbeitstage vor Beginn der entsprechenden Sanierungsarbeiten vorzuliegen. Sämtliche Prüfungen im Zuge eines Eignungsnachweises müssen an der gleichen Mischung durchgeführt werden. Bei Änderung der Materialherkunft, der Rezeptur oder der Sieblinie eines Produkts muss ein neuer Eignungsnachweis durchgeführt werden.

Die ausführende Unternehmung muss sicherstellen, dass die verwendeten Produkte sachgemäss eingebaut werden, um eine optimale Haltbarkeit zu gewährleisten.

Es gelten die folgenden Anforderungen an Materialien für den Einsatz in begehbaren Kanälen:

**Tabelle 2:** Anforderungen an Materialien

Eigenschaft	Prüfnorm	Anforderungen
Sulfatwiderstand	SIA 262/1-D	Sulfatdehnung $\Delta I_s \leq 1.0 \text{ ‰}$
Wasserdichtheit	SN EN 12390-8	Mittlere Wassereindringtiefe < 50% der Mindestschichtstärke und $\leq 20 \text{ mm}$ Serie an 4 Bohrkernen $\varnothing 50 \text{ mm}$
Wasseraufnahme	SN EN 13057	$w \leq 0.2 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$ Serie an 4 Bohrkernen $\varnothing 50 \text{ mm}$
Druckfestigkeit	SN EN 12504-1	siehe einzelne Materialien
Haftzugfestigkeit	SN EN 1542	Alter 7 Tage: - Mittelwert $\geq 1,0 \text{ N}/\text{mm}^2$ - Mindestwert = $0,7 \text{ N}/\text{mm}^2$ Alter 28 Tage: - Mittelwert $\geq 1,5 \text{ N}/\text{mm}^2$ - Mindestwert = $1,0 \text{ N}/\text{mm}^2$
Elastizitätsmodul	SN EN 12390-13	siehe einzelne Materialien
Schwinden	SIA 262/1-F	$\epsilon_{cs(28)} \leq 1.00 \text{ ‰}$ Probekörper Prismen $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$
Verschleisswiderstand	DIN 52108 Verfahren «nass»	siehe einzelne Materialien
Chloridionengehalt	SN EN 1015-17	$\leq 0.05 \text{ ‰}$
Temperaturwechsel mit Frost-Tau-Beanspruchung	SN EN 13687-1 50 Zyklen	siehe einzelne Materialien
Säurebeständigkeit	DIN 19573 Anhang B	$d_{t,ph4} \leq 1.05 \text{ mm}$



## 10.2 Sanierung

Die verwendeten Materialsysteme (z.B. Korrosionsschutz, Haftbrücke, Sanierungsmörtel, Beschichtungen) müssen aufeinander abgestimmt sein.

### Sanierung Konstruktionsbeton

Anforderungen Korrosionsschutz Bewehrung / Haftbrücke	<ul style="list-style-type: none"><li>- zementgebunden</li><li>- gute Haftung auf Stahl und Beton</li></ul>
Anforderungen Mörtel / Spritzmörtel	<ul style="list-style-type: none"><li>- zementgebunden, kunststoffmodifiziert (CC, PCC)</li><li>- Druckfestigkeit &gt; 45 N/mm<sup>2</sup> nach 28 Tagen</li><li>- Elastizitätsmodul: 20'000 N/mm<sup>2</sup> &lt; E ≤ 35'000 N/mm<sup>2</sup></li><li>- Verschleisswiderstand: A ≤ 12 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup>, Schleifscheibe nach Böhme, Verfahren „nass“</li><li>- Frost-Tau-Beanspruchung: bei frostgefährdeten Bauteilen Haftzugfestigkeit nach Beanspruchung ≥ 1.5 N/mm<sup>2</sup> Maximale mittlere Rissweite ≤ 0.05 mm Ohne Risse ≥ 0.10 mm</li><li>- Haftzugfestigkeit, Wasserdichtheit, Sulfatbeständigkeit, Säurebeständigkeit, Chloridionengehalt, Schwindwert gemäss Tabelle 2</li></ul>
Anforderungen Beschichtungen	<ul style="list-style-type: none"><li>- zementgebunden, kunststoffmodifiziert (CC, PCC)</li><li>- Elastizitätsmodul: 15'000 N/mm<sup>2</sup> &lt; E ≤ 30'000 N/mm<sup>2</sup></li><li>- Verschleisswiderstand: A ≤ 8 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup>, Schleifscheibe nach Böhme, Verfahren „nass“</li><li>- Frost-Tau-Beanspruchung: bei frostgefährdeten Bauteilen Haftzugfestigkeit nach Beanspruchung ≥ 1.5 N/mm<sup>2</sup> Maximale mittlere Rissweite ≤ 0.05 mm Ohne Risse ≥ 0.10 mm</li><li>- Haftzugfestigkeit, Wasseraufnahme, Sulfatbeständigkeit, Chloridionengehalt, Säurebeständigkeit, gemäss Tabelle 2</li></ul>
Ausführung	<p>Lokal:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- mechanisches Entfernen des Betons bei Abplatzungen (Abbruchkanten schräg)</li><li>- Freilegen der Bewehrung je nach Schädigungstiefe (mind. 1 cm hinter Bewehrungsseisen oder max. ein Drittel des Durchmessers freilegen)</li><li>- Entrosten der Bewehrung nach gefordertem Reinheitsgrad</li><li>- Applizieren eines Korrosionsschutzes / Haftbrücke</li><li>- Reprofilieren (manuell oder maschinell), erlaubte Schichtstärken pro Arbeitsgang beachten, Nachbehandeln nach Angaben des Produktlieferanten</li></ul> <p>Flächig:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Vorbereiten des Untergrunds für Beschichtung (reinigen, Zementhaut entfernen, Rautiefe mind. 1 mm)</li><li>- Wässern der Betonoberfläche, abtrocknen lassen (Oberfläche matt)</li><li>- Auftragen der Beschichtung, Nachbehandlung nach Angaben des Produktlieferanten</li><li>- Reinigen oder aufrauen des schadhafte Betons</li></ul>



- Abtragen des Betons bis zur gewünschten Tiefe
- Korrosionsschutz / Haftbrücke gemäss partieller Sanierung / Reparatur
- Auftragen des Spritzmörtels im Nassspritzverfahren
- Beachten der Schichtstärken pro Arbeitsgang
- Beschichtung gemäss partieller Sanierung / Reparatur
- Vor- und Nachbehandeln nach Angaben des Produktlieferanten

### **Sohlenmörtel, Versetzmörtel (Sohlschalen aus Steinzeug)**

- Anforderungen
- Zementgebunden
  - Druckfestigkeit > 45 N/mm<sup>2</sup> nach 28 Tagen
  - Elastizitätsmodul: 20'000 N/mm<sup>2</sup> < E ≤ 35'000 N/mm<sup>2</sup>
  - Frost-Tau-Beanspruchung: bei frostgefährdeten Bauteilen  
Haftzugfestigkeit nach Beanspruchung ≥ 1.5 N/mm<sup>2</sup>  
Maximale mittlere Rissweite ≤ 0.05 mm  
Ohne Risse ≥ 0.10 mm
  - Haftzugfestigkeit, Wasserdichtheit, Sulfatbeständigkeit, Schwindwert, Chloridionengehalt und Säurebeständigkeit gemäss Tabelle 2

### **Sohlenbeton, Bankettbeton**

- Anforderungen
- Beton C 25/30
  - XA2<sub>s</sub>, XD3, XC4
  - CI 0.2
  - Dmax: 32 mm

### **Vergussmörtel (Verfüllmasse Knauf'sche Sohle)**

- Anforderungen
- zementgebunden
  - Druckfestigkeit > 40 N/mm<sup>2</sup> nach 28 Tagen
  - Sulfatbeständigkeit, Wasserdichtheit, Schwindwert gemäss Tabelle 2

### **Fugenmörtel, Epoxy-Klebemörtel**

- Anforderungen
- Elastizitätsmodul ≤ 25'000 N/mm<sup>2</sup>
  - Haftzugfestigkeit, Wasserdichtheit, Sulfatbeständigkeit, Säurebeständigkeit und Verschleisswiderstand gemäss Tabelle 2



### **Bauteile aus Steinzeug und Elemente aus keramischen Platten**

Die Auskleidung der Kanalsohle (wasserbenetzter Bereich, Trockenwetterrinne) wird mit Steinzeug-Sohlschalen oder Steinzeug-Elementen ausgeführt (Teilauskleidung).

- Anforderungen
- Widerstandsfähig gegen mechanische, thermische, chemische und biologische Beanspruchungen
  - Beständig gegen Hochdruckspülungen (mind. 100 bar, 3 Minuten Standzeit)
  - Standfest bei Schlagbeanspruchungen
  - Verschleisswiderstand:  $A \leq 12 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$ , Schleifscheibe nach Böhme, Verfahren „nass“
  - Herstellung von keramischen Schalen nach SN EN 295, Teil 1-3
  - Haftzugfestigkeit des Untergrunds, Wasseraufnahme gemäss Tabelle 2

Ausführung Die Steinzeug-Sohlschalen / Elemente werden vollflächig in Mörtel versetzt, die Quer- und Längsfugen (8 -10 mm) werden mit Epoxymörtel ausgebildet. Die Vorbehandlung der Elemente erfolgt gemäss der Empfehlung des Lieferanten (z.B. Quarzbeschichtung Rückseite oder Versetzen mit Epoxykleber). Für die Anforderungen an die Sohlgleichheit ist die EN 295, Teil 1 massgebend.

Die Längsfugen Steinzeug / Sanierungsmörtel müssen abhängig vom Sanierungsverfahren mit Epoxymörtel ausgebildet werden.

### **Rissinjektionen**

Für das Verfüllen von Hohlräumen und Rissen stehen als Injektionsmaterialien Lösungen auf Basis von Kunststoffen (Kunststofflösungen, z.B. Acrylharze oder Kunstharze, z.B. Epoxid-, Polyurethan- und Silikatharze), Suspensionen und Zementmörtel zur Verfügung. Die Injektionsmaterialien werden dabei über Injektionslanzen oder Bohrpacker eingebracht. Man unterscheidet zwischen Injektionen ins Bauwerk und Injektionen ins Erdreich des Kanalbereichs (Hohlraum- oder Bodeninjektionen).

- Anforderungen
- Beständigkeit gegen mechanische, thermische, chemische und biologische Beanspruchungen
  - Dichtigkeit
  - Beständigkeit gegen Hochdruckspülungen
  - Temperaturbeständigkeit
  - Umweltverträglichkeit in Grundwasserschutzzonen



**Polyurethanharze PU/PUR  
(nicht kraftschlüssige Injektion)**

- Einsatzgebiet: Füllen von begrenzt dehnfähigen Rissen, Füllen von Hohlräumen,
- Rissbreite > 0.3 mm
- Untergrund: trocken bis wasserführend.

**Epoxidharze EP (kraftschlüssige Injektion)**

- Einsatzgebiet: Abdichten und Schliessen von Rissen, Füllgut für Hohlräume,
- Rissbreite > 0.1 mm,
- Untergrund: trocken bis feucht.

**Injektionszemente ZL/ZS (kraftschlüssige Injektion)**

- Einsatzgebiet: Risse, Hohlräume, Verfestigung von Böden,
- müssen gute Fliesseigenschaften haben und dürfen sich während des Verpressens nicht entmischen,
- Zementleim (ZL): Herstellung aus Zement mit einer Mahlfineinheit > 4500 cm<sup>2</sup>/g gemäss EN 196 T6,
- Zementsuspension (ZS): Herstellung aus Feinstzement mit einem Siebdurchgang von ≥ 95% bei einer Maschenweite von 16 µm und geeigneten Zusatzstoffen und Zusatzmitteln,
- Rissbreite > 1.5 mm,
- Untergrund: trocken bis feucht.

Ausführung - Gemäss angegebenem Einbringverfahren des Verfahrensanbieters

**Gemauerte Kanäle**

Die Anforderungen an Produkte bei gemauerten Kanälen sind aufgrund der Vielzahl von möglichen Schadensbildern, Ausbildung (Quadermauerwerk etc.), Abmessungen und verwendeten Materialien (Sandstein, Kalkstein etc.) der betroffenen Bauwerke jeweils objektspezifisch zu bestimmen.

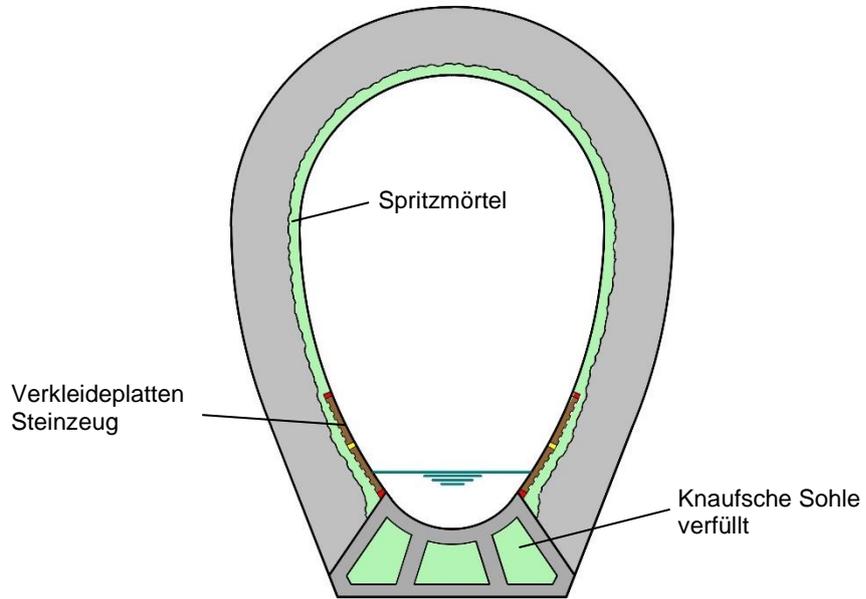


Abbildung 7: Beispiel flächige Sanierung Ei-Profil

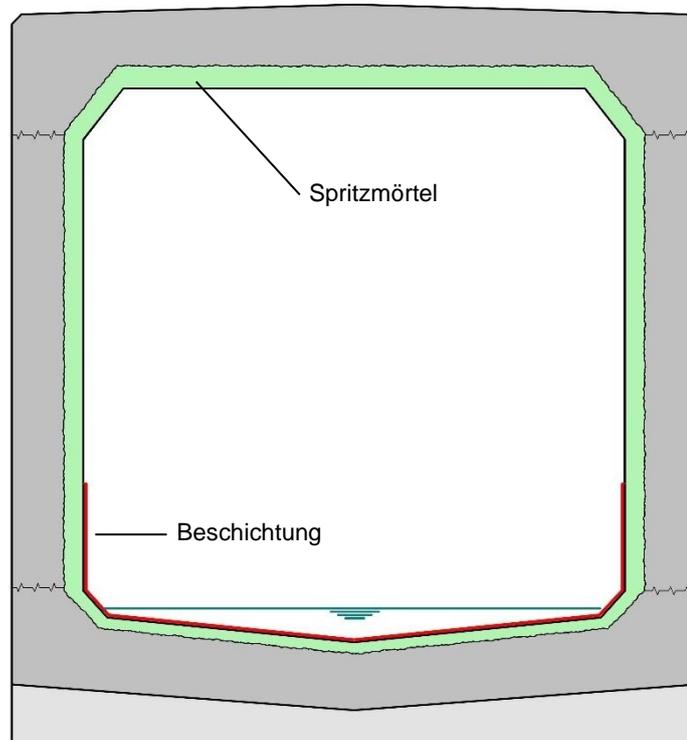
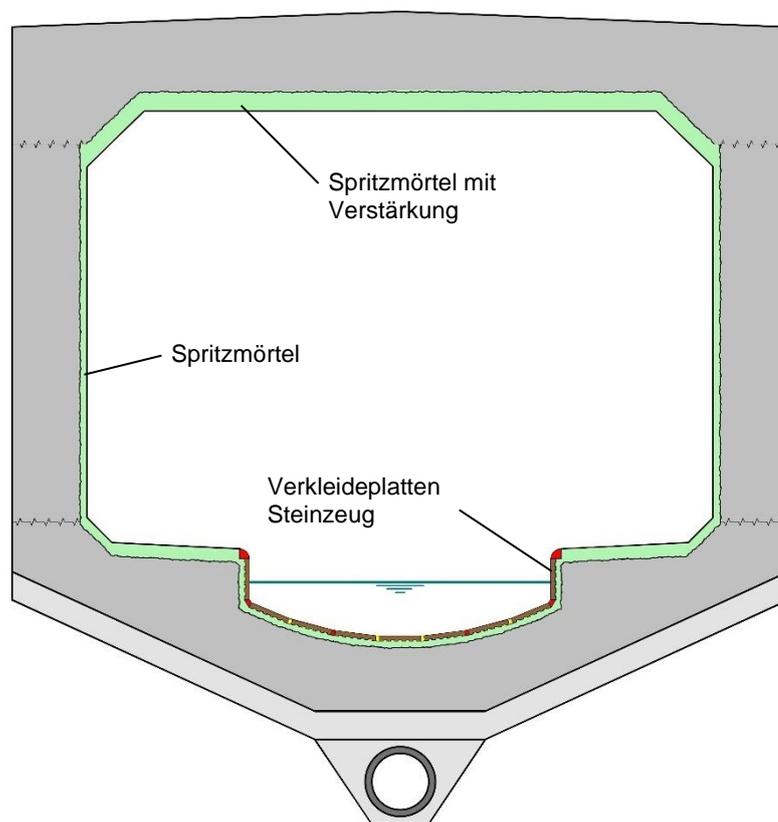


Abbildung 8: Beispiel flächige Sanierung Rechteck-Profil



**Abbildung 9:** Beispiel flächige Sanierung mit Trockenwetterrinne



## **11 Bauausführung**

### **11.1 Qualitätssicherung**

Vor Beginn der Ausführung wird ein objektbezogenes Qualitätssicherungssystem entwickelt. Dies beinhaltet einen alle qualitätsrelevanten Massnahmen umfassenden Qualitätssicherungsplan sowie einen projektspezifischen Prüfplan (Arbeit / Arbeitsgattung) auf Basis des von der Bauherrschaft vorgegebenen Kontrollplans.

#### **11.1.1 Qualitätsnachweis Bauausführung**

Es gilt das Prinzip der kontrollierten Eigenüberwachung bei der Ausführung von Baumassnahmen bei begehbaren Kanälen.

Alle qualitätsrelevanten Arbeitsschritte und Prüfvorgänge gemäss Prüfplan sind zu protokollieren und nachvollziehbar zu dokumentieren. Der Bauherr behält sich vor, in zusätzlichen Stichproben die Erfüllung der Qualitätsanforderungen zu kontrollieren.

Die Qualitätskontrollen werden im Tagesrapport zusammen mit den Resultaten der Prüfungen im Ordner «Qualitätssicherung» abgelegt.

Eingesetzte Materialien sind bei der Lieferung auf Unversehrtheit zu prüfen und mit den Materialbestellungen zu vergleichen. Die Verarbeitung muss nach Herstellerangaben erfolgen. Auskleidungsteile sind vor ihrem Einbau auf die Masshaltigkeit zu kontrollieren und zu dokumentieren.

#### **11.1.2 Referenzflächen**

Vor Beginn der Arbeiten werden für die unterschiedlichen Massnahmen (z.B. Auskleidungselemente der Sohle, Reprofilierung, Injektionen etc.) Referenzabschnitte erstellt, damit vorab Materialprüfungen durchgeführt werden können. Die Abschnitte haben eine Länge von 5 m pro Sanierungsmassnahme.

Die Referenzabschnitte müssen mindestens 28 Tage vor Beginn der Bauarbeiten abgeschlossen sein. Nach Vorliegen der erfüllten Prüfergebnisse erfolgt die Freigabe der weiteren Arbeiten. Der Zugang zu den vorab erstellten Flächen muss auch während der Bauarbeiten gewährleistet sein. Es müssen die Referenzabschnitte von denjenigen Personen erstellt werden (z.B. Polier, Düsenführer), die später auch die Sanierungsarbeiten durchführen werden.

#### **11.1.3 Prüfungen**

Die Prüfung der einzelnen Massnahmen und Bauteile erfolgt gemäss den Kontrollplänen im Anhang dieser Richtlinie.

### **11.2 Kanal-Provisorien**

Die Ausführung von Sanierungsarbeiten in begehbaren Kanälen bedingt ein Vorgehen in Etappen unter Aufrechterhaltung des Abwasserflusses.

Oberhalb der jeweiligen Sanierungsetappe wird das Abwasser mit einer provisorischen Abschlussmauer (Abschottung) aufgestaut und in einem Provisorium gefasst. Das innerhalb einer Sanierungsetappe von den Seitenanschlüssen anfallende Abwasser wird ebenfalls mit der provisorischen Leitung innerhalb des Kanals abgeleitet. Das Provisorium muss in regelmässigen Abständen Entlastungsöffnungen aufweisen (Verstopfungsgefahr).

Die Höhe der Abschlussmauer richtet sich nach der maximalen Abflussmenge gemäss GEP. Die verbleibende Durchflussfläche muss in der Regel den Abfluss der maximalen Abflussmenge eines 1-jährlichen Hochwassers bei gleichbleibender Rückstauhöhe gewährleisten.



Eine Erhöhung der Abschottung darf nur nach vorgängiger Abklärung der Kellerkoten erfolgen. Falls mit einem Rückstau in die Liegenschaften gerechnet werden muss, sollte das Risiko und das Gefahrenpotential eines Rückstaus mit ERZ Entsorgung + Recycling Zürich besprochen und gegebenenfalls die erforderliche Durchflussmenge erhöht werden. Die Abschottungen sind so auszubilden, dass sie dem auftretenden Wasserdruck standhalten können. Bei starken Niederschlägen wird der Sanierungsabschnitt überflutet. Das eingestaute Wasser vor den Abschottungen muss regelmässig abgepumpt werden (Ablagerungen, Entstehung von biogener Schwefelsäure).

Das Provisorium sollte mindestens für den zwei- bis dreifachen Trockenwetteranfall dimensioniert werden. Bei kritischen Anschlussleitungen (tiefer Einlauf, tiefliegende Keller) müssen Kontroll- bzw. Überflutungsöffnungen eingebaut werden.

Das «Meldeblatt Provisorien» muss bei ERZ Entwässerung eingereicht werden.

## **11.3 Umleitungen**

### **11.3.1 Umleitungs- und Alarmierungskonzept**

Im Zuge des Projekts muss ein Umleitungs- und Alarmierungskonzept entwickelt werden, welches folgende Schwerpunkte beinhaltet:

- Grundlagen
- Beschreibung des Bauobjekts
  - Übersichtsplan
  - Arbeitsausführung (Etappierung)
  - Bauverfahren
- Umleitungskonzept
  - Abschottungen
  - Einbauten
  - Schutzziele
  - Pumpmengen
  - Provisorien (definiert und hydraulisch nachgewiesen)
  - Besondere Risiken und Schnittstellen, akzeptiertes Risiko der Überlastung (Beschreibung)
  - Verantwortlichkeiten
- Sicherheitskonzept
  - Gefahren
  - Hochwasser
- Alarmierungskonzept
  - Unwettermeldung
  - Alarmstufen
  - Alarmierungsübersicht (Arbeitszeit / ausserhalb Arbeitszeit)
  - Sicherheitsposten / Sicherung der Einstiegsschächte
  - Positionierung von Niveaumessern mit akustischer und optischer Alarmauslösung
  - Wasserstandswerte für Alarmauslösung
  - verbleibende Zeit nach Alarmauslösung
  - Kontrollen der Alarmanlage mit Protokollierung im Baujournal / Tagesrapport

Das Umleitungs- und Alarmierungskonzept ist mit dem Infoversand zur Genehmigung einzureichen.



### **11.3.2 Umleitungs- und Alarmierungsplan**

Vor Beginn von Sanierungsarbeiten in begehbaren Kanälen muss der Umleitungs- und Alarmierungsplan auf Basis des Umleitungs- und Alarmierungskonzepts erstellt werden.

Im Umleitungs- und Alarmierungsplan werden die Verantwortlichkeiten und Ansprechpartner mit dem ausführenden Unternehmer ergänzt und namentlich festgelegt.

### **11.4 Notfallorganisation**

Für die Baustelle ist eine Notfallorganisation auszuarbeiten und auf der Baustelle auszuhängen. Darin wird folgendes geregelt:

- Alarmierungsliste mit den wichtigsten Telefonnummern
- verletzte Personen / Retten von Bewusstlosen (Massnahmen, Alarmierung gemäss Alarmierungsliste)
- Gasalarm (Massnahmen, Alarmierung gemäss Alarmierungsliste)
- Überflutungsalarm (Massnahmen, Alarmierung gemäss Alarmierungsliste, mögliche Ursachen, Ursachenbehebung)
- Personenschutz (allgemein, Bestimmungen für spezielle Kanalabschnitte, Einstiege)



## **12 Literatur- und Quellverzeichnis**

### **12.1 Sicherheitsmassnahmen**

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA)

- Merkblatt «Sicheres Einsteigen und Arbeiten in Schächten, Gruben und Kanälen» (9. Auflage, 2014)
- Richtlinie «Arbeiten in Behältern und engen Räumen» (Form 1416.d – 2004)

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)

- Norm SN 640 886 «Temporäre Signalisation auf Haupt- und Nebenstrassen»
- Norm SN 640 710c «Warnkleidung bei Arbeiten im Strassenbereich»

Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS)

- Richtlinie Betrieb von Höchstdruck-Wasserstrahl-Geräten (1991)

Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG)

Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bei Bauarbeiten (Bauarbeitenverordnung, BauAV)

Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung [VUV])

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

- DGUV Regel 103-004 «Sicherheitsregeln für Arbeiten in umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Anlagen»

### **12.2 Normen und Richtlinien**

SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

- SIA 190: Kanalisationen (2017)
- SIA 469: Erhaltung von Bauwerken (1997)
- SIA 269/2: Erhaltung von Tragwerken – Betonbau (2011)
- SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Bauwerken
- SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 261/1: Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
- SN EN 1502: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken



### **Abbildungsverzeichnis**

<b>Abbildung 1:</b> Schadensbilder bei unbewehrten Kanälen.....	13
<b>Abbildung 2:</b> Schadensbilder bei bewehrten Kanälen.....	15
<b>Abbildung 3:</b> Probenentnahme / Sondierungen .....	17
<b>Abbildung 4:</b> Einwirkungen Profile bei geringen Überdeckungen .....	23
<b>Abbildung 5:</b> Schemata Modellbildung mit seitlicher Bettung .....	24
<b>Abbildung 6:</b> Schemata Modellbildung mit horizontalem Erddruck.....	25
<b>Abbildung 7:</b> Beispiel flächige Sanierung Ei-Profil .....	38
<b>Abbildung 8:</b> Beispiel flächige Sanierung Rechteck-Profil .....	38
<b>Abbildung 9:</b> Beispiel flächige Sanierung mit Trockenwetterrinne .....	39

### **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1:</b> Korrosionsgrad (KG).....	18
<b>Tabelle 2:</b> Anforderungen an Materialien .....	33

## Kontrollplan

Gegenstand der Kontrolle / Bauteil	Prüfobjekt, Prüfungskriterien	Prüfmethode	Anzahl Prüfungen	Anforderungen	Massnahmen bei Nichterfüllung	Anzahl Prüfungen Referenzabschnitt
<b>Sanierungsmörtel, Spritzmörtel</b>						
<b>Baustoffe / Materialien</b>	Baumaterialien	Sichtkontrolle	laufend	Lagerung	korrigieren	
	Baumaterialien	Rezeptur gemäss Datenblatt	laufend	gemäss Projektvorgabe	Rückweisung	
	Wasserdichtheit	SN EN 12390-8	4 BK ø 50 mm (*)	mittlere Eindringtiefe < 50% der Mindestschichtstärke und ≤ 20 mm	Nach Absprache	4 BK ø 50 mm
	Druckfestigkeit	SN EN 12504-1	3 BK ø 50 mm (*)	Druckfestigkeit > 45 N/mm <sup>2</sup>	Nach Absprache	3 BK ø 50 mm
	Haftzugfestigkeit	SN EN 1542	6 BK ø 50 mm (*)	Mittelwert ≥ 1.5 N/mm <sup>2</sup> Mindestwert = 1.0 N/mm <sup>2</sup>	Nach Absprache	6 BK ø 50 mm
	Verschleisswiderstand	DIN 52108	bei Bedarf	A ≤ 12 cm <sup>3</sup> / 50 cm <sup>2</sup> , „nass“	Nach Absprache	3 BK ø 100 mm
	Gefügebau	Mikroskopisch	1 BK ø 50 mm (*)	Aufbau gemäss Produkt-Spez.	Nach Absprache	1 BK ø 50 mm
	Schichtstärken	Makroskopisch	Jeder BK	gemäss Projektvorgabe	Nach Absprache	Jeder BK
<b>Ausführung</b>	Beton-/Mörtelabtrag mit HDW	Gewässerschutz Neutralisation	laufend	Einhaltung Gewässerschutz	korrigieren, Baustopp	
	Betonabtrag	Sichtkontrolle	vollflächig	Ausführung, Tiefe Abtrag	korrigieren	vollflächig
	Haftbrücke	Sichtkontrolle	laufend	gem. Produkt-Spezifikationen	korrigieren	
	Reprofilierung	Sichtkontrolle / abklopfen	vollflächig	keine Hohlstellen, Schichtstärke	korrigieren	vollflächig
	Überdeckung Bewehrung	Messgerät (z. B. Profometer)	500 Messwerte (*)	Überdeckung ≥ 40 mm oder gemäss Vorgaben	Nach Absprache	50 Messwerte
	Spritzschatten	Bohrkerne durch Bewehrungskreuze	4 BK ø 50 mm (*)	keine Spritzschatten	Nach Absprache	2 BK ø 50 mm
	Nachbehandlung	Sichtkontrolle	laufend	gem. Produkt-Spezifikationen	korrigieren	

(\*) pro 100 m Kanallänge



Gegenstand der Kontrolle / Bauteil	Prüfobjekt, Prüfungskriterien	Prüfmethode	Anzahl Prüfungen	Anforderungen	Massnahmen bei Nichterfüllung	Anzahl Prüfungen Referenzabschnitt
<b>Sohlenmörtel, Versetzmörtel</b>						
<b>Baustoffe / Materialien</b>	Baumaterialien	Sichtkontrolle	laufend	Lagerung	korrigieren	
	Baumaterialien	Rezeptur gemäss Datenblatt	laufend	gemäss Projektvorgabe	Rückweisung	
	Wasserdichtheit	SN EN 12390-8	4 BK ø 50 mm (*) (bei Bedarf)	mittlere Eindringtiefe < 50% der Mindestschichtstärke und ≤ 20 mm	Nach Absprache	4 BK ø 50 mm (bei Bedarf)
	Druckfestigkeit	SN EN 12504-1	3 BK ø 50 mm (*) (bei Bedarf)	Druckfestigkeit > 45 N/mm <sup>2</sup>	Nach Absprache	3 BK ø 50 mm (bei Bedarf)
	Haftzugfestigkeit	SN EN 1542	6 BK ø 50 mm (*) (bei Bedarf)	Mittelwert ≥ 1.5 N/mm <sup>2</sup> Mindestwert = 1.0 N/mm <sup>2</sup>	Nach Absprache	6 BK ø 50 mm (bei Bedarf)
<b>Ausführung</b>	Systemaufbau	Funktion	laufend	Funktion gemäss Vorgabe	Nach Absprache	
<b>Beschichtungen</b>						
<b>Baustoffe / Materialien</b>	Baumaterialien	Sichtkontrolle	laufend	Lagerung	korrigieren	
	Baumaterialien	Rezeptur gemäss Datenblatt	laufend	gemäss Projektvorgabe	Rückweisung	
	Haftzugfestigkeit	SN EN 1542	6 BK ø 50 mm (*)	Zielwert ≥ 1.5 N/mm <sup>2</sup> Mindestwert = 1.0 N/mm <sup>2</sup>	Nach Absprache	6 BK ø 50 mm
	Gefügebau Gesamtsystem	Mikroskopisch	1 BK ø 50 mm (*)	Gesamtaufbau gemäss Definition	Nach Absprache	1 BK ø 50 mm
	Verschleisswiderstand	DIN 52108	3 BK ø 100 mm (*)	A ≤ 8 cm <sup>3</sup> / 50 cm <sup>2</sup> , „nass“	Nach Absprache	3 BK ø 100 mm
<b>Ausführung</b>	Beton-/Mörtelabtrag mit HDW	Gewässerschutz Neutralisation	laufend	Einhaltung Gewässerschutz	korrigieren, Baustopp	
	Applikations-Bedingungen	Oberflächentemp. Lufttemperatur rel. Luftfeuchtigkeit Untergrundfeuchte	laufend	Applikation möglich	Keine Applikation	
	Untergrund Rauhigkeit	Sichtkontrolle Sandflächenverfahren	laufend	Applikation möglich	korrigieren	
	Schichtdicke	Materialverbrauch Nassfilmkamm	laufend	keine Hohlstellen, Schichtstärke	korrigieren	
	Nachbehandlung	Sichtkontrolle	laufend	gem. Produkt-Spezifikationen	korrigieren	

(\*) pro 100 m Kanallänge



Gegenstand der Kontrolle / Bauteil	Prüfobjekt, Prüfungskriterien	Prüfmethode	Anzahl Prüfungen	Anforderungen	Massnahmen bei Nichterfüllung	Anzahl Prüfungen Referenzabschnitt
<b>Bewehrung</b>						
<b>Ausführung Sanierung</b>	Materialabtrag	Sichtkontrolle	alle Eisen	Bewehrung freilegen	korrigieren	Alle Eisen
	Entrostern der Bewehrung	Sichtkontrolle	alle Eisen	Reinheitsgrad	korrigieren	Alle Eisen
	Korrosionsschutz	Sichtkontrolle	alle Eisen	gem. Produkt-Spezifikationen	korrigieren	Alle Eisen
	Haftbrücke	Sichtkontrolle	alle Eisen	gem. Produkt-Spezifikationen	korrigieren	Alle Eisen
<b>Ausführung Zusatzbewehrung</b>	Anzahl, Lage, Vollständigkeit	Sichtkontrolle	laufend	gemäss Ausführungsplänen	korrigieren	laufend
	Korrekte Bewehrung	Sichtkontrolle	laufend	gemäss Ausführungsplänen	korrigieren	laufend
<b>Rissinjektionen</b>						
<b>Ausführung</b>	Applikationsbedingungen	Nach Angaben Produktlieferant	laufend	Applikation möglich	Keine Applikation	laufend
	Dichtigkeit	Sichtkontrolle	jeder Riss	Dichtigkeit	korrigieren	Jeder Riss
	Füllgrad	Messlupe, Mikroskop an Bohrkern	bei Bedarf	Riss gefüllt	Nach Absprache	Bei Bedarf
<b>Vergussmörtel (Verfüllung Knauf'sche Sohlenelemente)</b>						
<b>Baustoffe / Materialien</b>	Baumaterialien	Rezeptur gemäss Datenblatt	laufend	Gemäss Projektvorgabe	Rückweisung	
	Druckfestigkeit	SN EN 12504-1	3 BK ø 50 mm (*)	Druckfestigkeit > 40 N/mm <sup>2</sup>	Nach Absprache	3 BK ø 50 mm
<b>Ausführung</b>	Hohlräume	Sichtkontrolle	6 BK ø 50 mm (*)	Keine Hohlräume	Nach Absprache	6 BK ø 50 mm
<b>Bauteile aus Steinzeug</b>						
<b>Baustoffe / Materialien</b>	Baumaterialien	Sichtkontrolle	laufend	Lagerung	korrigieren	
	Sohlenschalenelemente / Verkleideplatten	Sichtkontrolle / abklopfen	jede Schale / Platte	qualitativ einwandfrei, Überprüfung Toleranzen	Schale / Platte nicht einbauen	jede Schale / Platte
<b>Ausführung</b>	Sohlenschalenelemente / Verkleideplatten	Sichtkontrolle / abklopfen	jede Schale / Platte	keine Hohlstellen	korrigieren	
	Längs- und Quertugen	Sichtkontrolle	jede Fuge	einwandfreie Ausführung, Verbund	korrigieren	
	Haftzugfestigkeit, Fugenmörtel, Epoxy-Klebemörtel	SN EN 1542	3 BK ø 50 mm (*)	Zielwert ≥ 1.5 N/mm <sup>2</sup> Mindestwert = 1.0 N/mm <sup>2</sup>	Nach Absprache	3 BK ø 50 mm

(\*) pro 100 m Kanallänge