

DIPLOMARBEIT
Master Thesis

**Grabenlose Sanierung von Kanalhaltungen
im nicht begehbaren Bereich**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald GOGER

und als verantwortlich mitwirkender Betreuer

Dipl.-Ing. Lukas STEINSCHADEN

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
E234-1

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Florian FUCHS

1325475

Traugasse 7/2/40
A – 1030 Wien

Wien, am 20. Februar 2017

Kurzfassung

Die Sanierung von Kanalanlagen wird, wie jede andere Baumaßnahme, meist nur dann geduldet, wenn die negativen Auswirkungen für betroffene Personen so gering wie möglich gehalten werden. Zu den Betroffenen können hierbei sowohl Anrainer, als auch nur kurzfristig anwesende Personen (z.B. Verkehrsteilnehmer) gezählt werden. Die negativen Auswirkungen sind z.B. die Sperrung einer Straße, ungewöhnliche Lärmbelastungen oder lange Bauzeiten. All diese Auswirkungen lassen sich bei der offenen Bauweise, die auch heute noch Stand der Technik ist, nicht vermeiden. Bei dieser Bauweise wird die Straßenoberfläche über die gesamte Länge der Kanalleitung geöffnet und während des Erneuerungsprozesses durch Künetten offengehalten. Dadurch kann sich Lärm und Staub ungehindert verbreiten. Außerdem werden sehr große Flächen benötigt, die während der gesamten Sanierungsdauer nicht anderweitig genutzt werden können.

Genau aus diesen Gründen werden heutzutage, speziell in der Stadt, vermehrt Sanierungsverfahren in der Kanalerhaltung eingesetzt, die ohne oder mit nur kleinen Baugruben am Anfang und Ende der zu sanierenden Kanalerhaltung auskommen. Diese sogenannten „grabenlosen“ Sanierungsverfahren haben jedoch eine Schwäche, es gibt sehr viele verschiedene Verfahren und keines davon ist universell für jedes vorliegende Problem einsetzbar. Es muss daher im Vorfeld ausgewählt werden, welches Verfahren in technischer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht am besten für eine individuelle Problemstellung geeignet ist. Dieser Auswahlprozess kann sehr schwierig werden, da es zusätzlich zu den vielen verschiedenen Verfahren, auch viele unterschiedliche Parameter gibt, die zu beachten sind.

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Auswahlverfahren werden die technischen, umweltrelevanten und ökonomischen Parameter der Sanierungsverfahren mithilfe eines Bewertungsschemas im Schulnotensystem (Note „1“ bis „5“) in eine Auswahlmatrix überführt. Durch Auswertung dieser Matrix kann für alle Verfahren ein Zielerfüllungsgrad bzw. eine Note dargestellt werden, mit dessen Hilfe eine einfache Reihung der Sanierungsverfahren möglich ist. Außerdem kann durch Gewichtung einzelner Parameter auf eventuelle Präferenzen oder Vorgaben des Auftraggebers besser eingegangen werden. Durch diese Methode wird eine Auswahl des am besten geeigneten Verfahrens vereinfacht und eine spätere Nachvollziehbarkeit erreicht. So kann für den Auftraggeber verständlich erklärt werden, wieso genau dieses Sanierungsverfahren eingesetzt werden sollte. Speziell in einer Verhandlungssituation kann dies der entscheidende Vorteil gegenüber Mitbewerbern sein.

Aufgrund der flächenschonenden Bauweise werden die grabenlosen Sanierungsverfahren auch in Zukunft immer größere Bedeutung erlangen. Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Auswahlverfahren bekommt man auf alle Fälle das nötige Rüstzeug, um auch spätere Verfahrensentwicklungen fachgerecht beurteilen zu können.

Abstract

A renovation of sewer systems, like any other construction project, is generally only tolerated by people, if the negative impacts on affected persons are kept as low as possible. Those affected can be both, residents or persons who are only present for a short time (e.g. road users). These negative impacts can be e.g. the blocking of a road, unusual noise pollution or long construction periods. All these effects cannot be avoided with the open construction method, which is still state of the art. With this construction method, the road surface is opened over the entire length of the sewer system and kept open during the renewal process by a trench. For this reason, noise and dust can spread unhindered. Another aspect is, that very large areas are required for construction, that cannot be used for other purposes during the entire renovation time.

For this reasons, nowadays, particularly in city areas, sanitation procedures being used in the sewer maintenance are done without or with only small excavation pits at the beginning and end of the sewer. However, these so-called "trenchless" sanitation procedures have one weakness, there are many different methods and none of them can be universally used for any problem. It is therefore necessary to select one method, which is the best one for an individual problem in technical, ecological and economic terms. This selection process can become very difficult since, in addition to the many different methods, there are also many different parameters that must be observed.

With the selection procedure presented in this thesis, the technical, environmental and economic parameters of the sanitation procedures are transferred to a selection matrix by means of a rating scheme in the school grade system (grades "1" to "5"). By evaluating this matrix, a target degree of completeness or a grade can be presented for all methods and it is possible to do a simple classification of the sanitation procedures. In addition, the individual parameters can be rated lower or higher for a better dealing with possible preferences or requirements of the client. By this method, a selection of the most suitable procedure is simplified and a later traceability is achieved. This allows the customer to understand why exactly this rehabilitation method should be used. Especially in a negotiating situation, this can be the decisive advantage over other competitors.

Due to the land-saving construction, the trenchless renovation methods will continue to gain importance in the future. With the selection procedure presented in this thesis, it is possible to assess future developments of rehabilitation methods in a professional manner.

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Durchmessernennweite in Millimeter
EN	Europäische Norm
GFK	glasfaserverstärkter Kunststoff
ggf.	gegebenfalls
i.d.R.	in der Regel
m	Meter
mm	Millimeter
n.Chr.	nach Christus
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte
PP	Polypropylen
PP-HM	Polypropylen mit höherem E-Modul
PVC	Polyvinylchlorid
PVC-U	Polyvinylchlorid weichmacherfrei
UP-GF	ungesättigter Polyester - glasfaserverstärkt
UV	ultraviolett
z.B.	zum Beispiel

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Aufbau der Diplomarbeit	1
1.2 Motivation	2
1.3 Zielsetzung	2
1.4 Methodik.....	3
2 Die Kanalisation	4
2.1 Geschichtliche Entwicklung des Kanalnetzes am Beispiel der Stadt Wien.....	4
2.2 Kanalbestand und -zustand in Österreich	6
2.3 Aufbau von Kanalanlagen.....	8
3 Inspektion von Kanalhaltungen	10
3.1 Optische Kontrolle	10
3.2 Dichtheitsprüfung.....	13
4 Schadensbilder	15
4.1 Schadensbilder vor der Sanierung.....	15
4.1.1 Abflusshindernisse	15
4.1.2 Lageabweichungen	18
4.1.3 Mechanischer Verschleiß	19
4.1.4 Deformation.....	20
4.1.5 Korrosion.....	21
4.1.6 Risse, Rohrbruch, Einsturz.....	23
4.1.7 Schadhafte punktuelle Reparatur	24
4.1.8 Undichtigkeiten.....	25
4.2 Schadensbilder durch die Sanierung	26
5 Anforderungen an einen sanierten Kanal	27
5.1 Betriebliche Anforderungen	27
5.2 Anforderungen an Bauteile	28
5.2.1 Bauliche Anforderungen	29
5.2.2 Mechanische Anforderungen.....	29
5.2.3 Chemische Anforderungen.....	29
5.2.4 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit	30
6 Sanierungsrohre	31
6.1 Kunststoffrohre	32

6.1.1	Hartpolyethylen (PE-HD)	32
6.1.2	Polypropylen (PP)	33
6.1.3	Polyvinylchlorid (PVC-U)	33
6.1.4	Glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK)	33
6.2	Duktile Gussrohre	34
6.3	Beton, Stahlbeton und Stahlfaserbeton	35
6.4	Polymerbeton	36
7	Sanierungsverfahren	37
7.1	Aufrechterhaltung der Abwasservorflut	38
7.1.1	Unterbrechung des Abwasserabflusses	39
7.1.2	Aufrechterhaltung eines teilweisen Abflusses	39
7.1.3	Abwasserumleitung außerhalb der Kanalhaltung	39
7.2	Renovierungsverfahren	40
7.2.1	Auskleidungsverfahren (Reliningverfahren)	40
7.2.1.1	Rohrrelining mit Rohrstrang, Langrohr oder Kurzrohr	41
7.2.1.2	Wickelrohrverfahren	44
7.2.1.3	Close-Fit-Verfahren	47
7.2.1.4	Schlauchrelining	50
7.2.2	Beschichtungsverfahren	52
7.3	Erneuerungsverfahren	54
7.3.1	Pipe-Eating-Verfahren	54
7.3.2	Berstverfahren (Pipe-Bursting)	56
7.4	Reparaturverfahren	60
7.4.1	Ausbesserungsverfahren	60
7.4.2	Abdichtungsverfahren	62
7.4.2.1	Kurzliner	62
7.4.2.2	Innenrohrmanschetten aus Edelstahl	64
7.4.3	Injektionsverfahren	66
7.4.3.1	Packerverfahren	66
7.4.3.2	Flutungsverfahren	68
7.4.4	Zulaufanbindung	69
8	Auswahlkriterien für Sanierungsverfahren	73
8.1	Technische Parameter	73
8.1.1	Querschnittsprofil und Durchmesser	73
8.1.2	Werkstoff des Altrohres	75
8.1.3	Schadensart	76
8.1.4	Räumliche Ausdehnung des Schadens	77

8.1.5	Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit und Bettung	78
8.1.6	Durchmesserreduktion bzw. Einfluss auf die hydraulischen Eigenschaften	79
8.2	Umweltrelevante Parameter	80
8.2.1	Platzbedarf für Baugrube und Baustelle	81
8.2.2	Lärm, Staub und Erschütterungen	82
8.2.3	Grundwasser	83
8.3	Ökonomische Parameter	84
8.3.1	Direkte und indirekte Kosten	85
8.3.2	Nutzungsdauer nach der Sanierung	86
8.3.3	Bauzeit der Sanierungsmaßnahme	87
8.4	Erarbeitung einer Entscheidungsmatrix	88
8.4.1	Ausschlusskriterien	88
8.4.2	Zielerfüllungskriterien	91
8.4.3	Weg zur Entscheidungsmatrix	93
8.4.4	Fallbeispiel	94
9	Zusammenfassung und Fazit	100
10	Verzeichnisse	101
10.1	Literaturverzeichnis	101
10.2	Abbildungsverzeichnis	103
10.3	Tabellenverzeichnis	104

1 Einleitung

In dieser Einleitung wird zuvor der Aufbau der Diplomarbeit dargestellt, das persönliche Interesse an dem Thema kurz beschrieben, auf die Forschungsfrage und das eigentliche Ziel der Arbeit eingegangen und die zur Bearbeitung verwendete Methodik erläutert.

1.1 Aufbau der Diplomarbeit

In **diesem Kapitel** wird auf die Motivation für die Auswahl dieses Themas eingegangen, die Zielsetzung definiert und die angewandte Methodik im Zuge der Bearbeitung dargelegt.

Das **Kapitel 2** stellt ebenfalls ein einleitendes Kapitel dar. Hier werden grundlegende Informationen zur Kanalisation in Österreich dargestellt und ein kurzer Überblick über die geschichtliche Entwicklung des Kanalnetzes in Wien gegeben. Außerdem wird der Zustand des Kanalnetzes in Österreich an zwei Beispielen gezeigt und kurz die wichtigsten Elemente einer Kanalanlage erläutert.

Im **Kapitel 3** wird auf die vorhandenen Methoden der Kanalinspektion näher eingegangen. Es wird zuvor die rein optische Kontrolle besprochen und als zusätzliches Hilfsmittel zur Beschreibung des Kanalzustands die Dichtheitsprüfung vorgestellt.

Im **Kapitel 4** werden unterschiedliche Schadensbilder, die entweder vor der Sanierung oder nach der Sanierung auftreten können, vorgestellt und deren Ursachen und Auswirkungen gegenübergestellt.

Das **Kapitel 5** beschränkt sich auf die Anforderungen in baulicher, mechanischer, chemischer und zeitabhängiger Hinsicht, die an einen sanierten Kanal gestellt werden.

Im **Kapitel 6** werden die wichtigsten Sanierungsmaterialien aufgezählt und näher betrachtet. Dieser Schritt wurde gewählt, da annähernd alle Rohrmaterialien in mehreren Sanierungsverfahren verwendet werden können und diese somit nicht in jedem Abschnitt erneut erläutert werden müssen.

Der Hauptteil der Arbeit beginnt mit **Kapitel 7** in dem alle zurzeit üblichen und auch eingesetzten Verfahren in der grabenlosen Kanalsanierung systematisch aufgezählt und erklärt werden. Zusätzlich werden bei jedem Verfahren Vor- und Nachteile, sowie die Randbedingungen für den Einsatz näher betrachtet und in Tabellenform übersichtlich dargestellt.

Im **Kapitel 8** wird auf die eigentliche Zielsetzung dieser Arbeit eingegangen und eine Entscheidungsmatrix erarbeitet. Zuvor werden aber noch die grundsätzlichen Einsatzgrenzen der Verfahren in technischer Hinsicht, die umweltrelevanten Parameter und eine wirtschaftliche Betrachtung durchgeführt.

1.2 Motivation

In unseren Städten sind die Versorgungsleitungen die Tragstruktur, die ein geregeltes Leben möglich machen. Ohne Wasser, Strom, Internet oder eben Abwasserkanäle würden es nur die Wenigsten unter uns aushalten. Bei den Abwasserkanälen ist eine regelmäßige Wartung und Erneuerung besonders wichtig, da sich ein Schaden im Abwassernetz nicht sofort bemerkbar macht, wie es z.B. bei Trinkwasserleitungen der Fall wäre. Wenn in einer Wohnung kein Wasser mehr ankommt wird in der Regel der Bewohner selbst den Schaden melden. Auch den Ort des Schadens kann man, aufgrund des hohen Wasserdruckes, schnell ausfindig machen. All das ist bei Abwasserkanälen nicht der Fall, deshalb muss hier auf regelmäßige Kontrolle gesetzt werden.

Sollten Schäden vorhanden sein, die sich auf die Betriebssicherheit oder die Umwelt negativ auswirken, wurde früher oft eine konventionelle bzw. offene Bauweise zum Wiederherstellen des Betriebszustandes gewählt. Die Verkehrsfläche wurde oberhalb der Kanaltrasse zum Teil gesperrt, eine Künette errichtet, die Rohre ausgetauscht, die Künette wieder verfüllt und die Verkehrsfläche neu hergestellt. In großen Städten sind damit auch oft erhebliche Eingriffe in die Verkehrsführung während der Bauphase verbunden, was bei der Bevölkerung oft für Unmut sorgt. Deshalb wurden in den letzten Jahrzehnten etliche Verfahren und Methoden entwickelt, um Rohrleitungen unterhalb von Verkehrsflächen bzw. Gebäuden effizient und ohne Künette erneuern, renovieren oder reparieren zu können. Die grabenlosen bzw. genauer grabenarmen Verfahren kommen mit zwei Schächten oder kleinen Baugruben am Anfang und am Ende des zu sanierenden Abschnittes aus.

In einer Zeit, in der Mobilität ein Grundbedürfnis ist und Einschränkungen in der Bewegungsfreiheit, z.B. durch Baustellen, in der Bevölkerung auf geringe Akzeptanz treffen, sind die grabenlosen Verfahren zur Kanalsanierung eine zukunftsorientierte Lösung.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist ein Vergleich der unterschiedlichen Verfahren des grabenlosen Kanalbaues, im Hinblick auf ökonomische, ökologische und technische Parameter. Aus diesen Erkenntnissen wird eine Matrix erarbeitet, mit der in der Praxis eine einfache und schnelle Auswahl der zur Verfügung stehenden Verfahren, in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen, möglich ist. Außerdem gibt die Arbeit einen Gesamtüberblick über die unterschiedlichen Verfahren und Anforderungen des grabenlosen Kanalbaues und der Kanalinspektion. Ein kurzer Überblick über die Geschichte des Kanalnetzes, den derzeitigen Bestand und Zustand der Kanalanlagen im städtischen und ländlichen Bereich in Österreich, runden die Arbeit ab.

1.4 Methodik

Die methodische Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit gliedert sich in vier wesentliche Arbeitsschritte:

1. Erarbeitung der Grundlagen zum Thema grabenlose Kanalsanierung,
2. Erfassung von Daten für das Erarbeiten der Entscheidungsmatrix,
3. Auswertung anhand eines Beispiels und
4. Schlussfolgerung.

Im ersten Schritt werden die notwendigen Grundlagen zum Thema grabenlose Kanalsanierung im nicht begehbaren Bereich erarbeitet. Dazu werden zahlreiche unterschiedliche Primärquellen, wie Bücher, Artikel aus Fachzeitschriften, amtliche Veröffentlichungen, Normen und Internetseiten, gesichtet und ausgewertet. Die zusammengetragenen Grundlagen sind in den Kapiteln 2, 3, 4, 5, 6 und 7 dargestellt.

Die Daten für das Erarbeiten der Entscheidungsmatrix wurden aus bereits vorhandenen Publikationen entnommen. Der darauf aufbauende Auswahlprozess, der eine Hilfestellung in der Praxis geben soll, wird im Kapitel 8 dargestellt.

2 Die Kanalisation

Die Kanalisation besteht aus „Anlagen zur Sammlung und Ableitung von Abwasser“¹, die verstärkt seit der industriellen Revolution zu Beginn des 19. Jahrhunderts in den großen europäischen Städten errichtet wurden.² In diesem Kapitel wird zuerst ein kurzer Überblick über die geschichtliche Entwicklung des Kanalnetzes in Wien gegeben und anschließend auf den Zustand des Kanalnetzes in Österreich an zwei Beispielen eingegangen. Außerdem werden kurz die wichtigsten Begriffe einer Kanalanlage erläutert.

2.1 Geschichtliche Entwicklung des Kanalnetzes am Beispiel der Stadt Wien

Die Ausführungen in diesem Absatz beziehen sich weitestgehend auf die Gemeinde Wien, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass in anderen deutschsprachigen bzw. europäischen Städten eine mehr oder weniger parallele Entwicklung stattfand. Es wird nur auf die Entstehung des Kanalnetzes selbst eingegangen, die Entwicklungen der Kanalsanierungsverfahren werden im Kapitel 7 näher erläutert.

Um Niederschlags- und Schmutzwasser möglichst schnell ableiten zu können, wurde bereits in der alten Römersiedlung „Vindobona“ mit dem Bau von ersten Kanalanlagen begonnen. Dieses erste Kanalnetz wurde durch die 13. Legion im ersten Jahrhundert n.Chr. errichtet und durch die folgenden Legionen erhalten und ausgebaut.³ Die Ausführung war für damalige Verhältnisse schon sehr ausgereift. Die Kanalsohle wurde mit umgedrehten Dachziegeln, damit die beiden seitlichen Wülste nach oben zeigen, hergestellt. Die Abdeckung der meist quadratisch bzw. rechteckig ausgeführten Kanäle wurde mit fünf bis fünfzehn Zentimeter dicken Steinplatten hergestellt. Für kleinere Kanäle wurden Rohre aus Ton verwendet, die dank ihrer konisch zusammenlaufenden Form ineinandergesteckt werden konnten. Durch Einlaufgitter aus Stein wurde das Niederschlagswasser sofort von der Straße in den Kanal eingeleitet (siehe Abbildung 2.1).⁴

Im Mittelalter verfielen die römischen Kanalisationen aufgrund der anhaltenden Völkerwanderung ab dem vierten Jahrhundert n.Chr. langsam. In Wien wurde, wie in vielen europäischen Städten, der Hausmüll einfach in den nächsten Bach geleert und mit dem nächsten Hochwasser in die Donau befördert. Als Folge der unhygienischen Zustände suchten etliche Epidemien

¹ [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.1

² Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.1

³ Vgl. [22] Pauser: Unterirdische Kanalsanierung; 1988; S.3-4

⁴ Vgl. Homepage Wien Kanal; www.wien.gv.at/umwelt/kanal/geschichte/roemisch.html; abgerufen am: 04.08.2016

und Seuchen die Bevölkerung heim. Erst im Jahr 1388 werden erste Vorläufer der heutigen Kanäle, die sogenannten „Möhrungen“, gebaut.⁵



Abbildung 2.1: Römischer Kanaldeckel des Standlagers Vindobona⁶

In den folgenden Jahrzehnten wuchs das Kanalnetz immer weiter, ausgehend von dem großen Wachstum der Vorstädte. Die Abwässer wurden jedoch lediglich in die nächstgelegenen Bäche bzw. Flüsse abgeleitet, deren Zustand sich dadurch zusehends verschlechterte. Speziell der Wienfluss war durch dieses Vorgehen schwer in Mitleidenschaft gezogen worden. Um dieses Problem zu lösen wurde ab dem Jahr 1831 mit dem Bau von Sammelkanälen links und rechts des Wienflusses begonnen. Aber diese Kanäle endeten wiederum im Donaukanal, wodurch sich dessen Zustand mit fortschreitendem Ausbau des Kanalnetzes verschlechterte. Im Zuge der Regulierung des Donaukanals wurden Hauptsammelkanäle errichtet, die das Abwasser aus dem Kanalnetz auffingen. Zum Zeitpunkt des Abschlusses dieser Arbeiten im Jahr 1904 betrug die Gesamtlänge des Wiener Kanalnetzes bereits 757 km.⁷

Ab dem Zerfall der Monarchie 1918 bis zum Ende des zweiten Weltkrieges 1945 wurde die Kanalbautätigkeit in Wien auf nahezu null herabgesenkt. In den Jahren nach Kriegsende mussten vor allem die durch Bombardierungen beschädigten Kanäle instandgesetzt werden.⁸ Heute sind 99 Prozent der Wiener Haushalte an das Kanalnetz angeschlossen, wodurch sich eine Gesamtlänge der Kanäle von rund 2.400 km ergibt.⁹ In vielen Städten ist das Kanalnetz ein wichtiger Bestandteil der Vermögenswerte.

Zusammenfassend lässt sich jedoch sagen, dass ein Großteil des Kanalnetzes in Wien in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, begründet durch das rasche Wachstum der Stadt, erbaut wurde. Daher weist immer noch ein erheblicher Teil der Kanäle ein durchschnittliches Alter

⁵ Vgl. Homepage Wien Kanal; www.wien.gv.at/umwelt/kanal/geschichte/roemisch.html; abgerufen am: 04.08.2016

⁶ Homepage Wien Kanal; www.wien.gv.at/umwelt/kanal/geschichte/roemisch.html; abgerufen am: 04.08.2016

⁷ Vgl. [22] Pauser: Unterirdische Kanalsanierung; 1988; S.3

⁸ Vgl. Homepage Wien Kanal; www.wien.gv.at/umwelt/kanal/geschichte/20-jahrhundert.html; abgerufen am 04.08.2016

⁹ Vgl. Homepage Wien Kanal; www.wien.gv.at/umwelt/kanal/kanalnetz.html; abgerufen am 04.08.2016

von über 100 Jahren auf. Da Kanäle eine begrenzte Lebensdauer von rund 50 bis 100 Jahren haben, sind sehr viele Kanäle heute sanierungsbedürftig.¹⁰

2.2 Kanalbestand und -zustand in Österreich

Der Kanalbestand und Kanalzustand hängt in Österreich vor allem von der Art der Gemeinde ab. Ob es sich bei der betrachteten Gemeinde um städtisches Gebiet handelt, also eine hohe Einwohnerdichte vorherrscht, oder eine eher ländliche Struktur gegeben ist. Der Kanalbetrieb fällt in das Aufgabengebiet der einzelnen Gemeinden und Abwasserverbände, in deren Einflussgebiet die Kanalhaltungen liegen.¹¹ Im Gesetz wird davon gesprochen, dass der Betreiber einer Abwasseranlage eben diese, in dem der Bewilligung entsprechendem Zustand zu erhalten hat bzw. derart erhalten muss, dass das öffentliche Interesse oder fremde Rechte nicht verletzt werden.¹² Wie und wie oft die einzelnen Gemeinden und Abwasserverbände die Kanalinstandhaltung bzw. Zustandsfeststellung durchführen sollen, wird in jedem Bundesland von der jeweiligen Wasserrechtsbehörde per Bescheid vorgeschrieben.¹³ Im Folgenden werden ein ländliches und ein städtisches Gebiet in Bezug auf Kanalbestand und -zustand miteinander verglichen. Betrachtet werden der

- Abwasserverband Faaker See und
- die Stadt Salzburg.

Alle Ausführungen, falls nicht anders angegeben, wurden aus dem Bericht des Rechnungshofes¹⁴ übernommen.

Die beiden betrachteten Gebiete unterscheiden sich vor allem durch die Einwohneranzahl bzw. daraus folgend die Einwohnerdichte. Bei Gegenüberstellung der vorhandenen Kanalänge zu Einwohnerzahl (siehe Tabelle 2.1) lässt sich sehr gut zeigen, dass im ländlichen Raum (Faaker See) die Infrastruktur zur Abwasserentsorgung wesentlich umfangreicher ist, als im städtischen Raum. Während in der Stadt Salzburg nur rund 2,6 m Kanalisation pro Einwohner saniert und instandgehalten werden müssen, sind es beim Abwasserverband (AWV) Faaker See rund siebenmal mehr.

¹⁰ Vgl. Homepage Wien Kanal: Die Wiener Abwasserprofis; abgerufen am 04.08.2016

¹¹ Vgl. [24] Rechnungshof: Bericht des Rechnungshofes. Reihe BUND 2013/8. Kanalsanierung in den Gemeinden und Gemeindeverbänden der Länder Kärnten, Oberösterreich und Salzburg; 2013; S.164-170

¹² Vgl. § 50 Abs 1 WRG 1959

¹³ Vgl. [24] Rechnungshof: Bericht des Rechnungshofes. Reihe BUND 2013/8. Kanalsanierung in den Gemeinden und Gemeindeverbänden der Länder Kärnten, Oberösterreich und Salzburg; 2013; S.164-170

¹⁴ Vgl. [24] Rechnungshof: Bericht des Rechnungshofes. Reihe BUND 2013/8. Kanalsanierung in den Gemeinden und Gemeindeverbänden der Länder Kärnten, Oberösterreich und Salzburg; 2013; S.164-223

Abwasserverband	Einwohner [EW]	Länge der Kanalisation (ohne Hausanschlüsse) [m]	Spezifische Kanallänge [m/EW]
Stadt Salzburg	149.462	388.300	2,6
AWV Faaker See	10.827	203.480	18,8

Tabelle 2.1: Gegenüberstellung Einwohnerzahl und Länge der Kanalisation

Aus diesem Grund ist der finanzielle Aufwand zur Erhaltung von Kanalanlagen pro Einwohner im ländlichen Raum deutlich höher als im städtischen Raum. Dieser Faktor ist bei der Auswahl von Sanierungsverfahren, speziell in kleinen Gemeinden, besonders ausschlaggebend.

Der Kanalzustand in den betrachteten Abwasserverbänden ist ebenfalls sehr unterschiedlich. Aufgrund der alten Siedlungsstruktur der Stadt Salzburg ist die Errichtungszeit vieler Kanalanlagen unbekannt. Schätzungen der Gemeinde ergaben, dass ungefähr 7 % der Kanalanlagen vor dem Jahr 1945 errichtet wurden. Der größte Teil (ca. 38 %) der Kanalhaltungen wurde im Jahr 1994 oder später gebaut (siehe Abbildung 2.2). Bis ins Jahr 2012 wurden ca. 50 % der bis 1993 errichteten Kanäle inspiziert und klassifiziert. Daraus ergab sich, dass rund 13 % des Kanalnetzes sanierungsbedürftig sind.

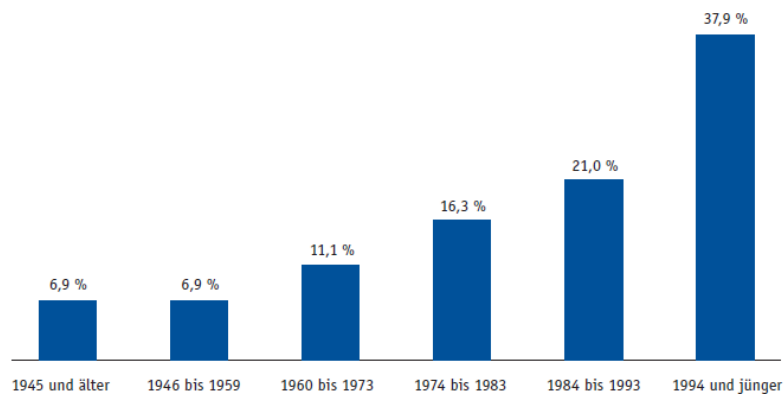
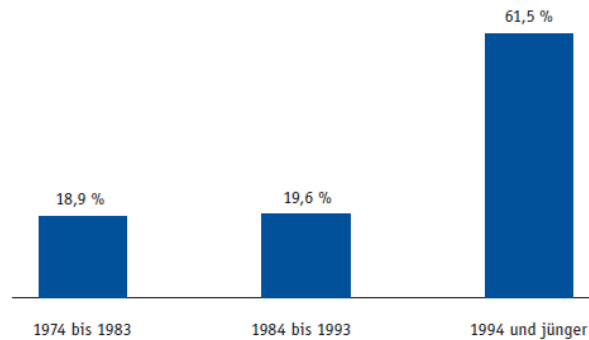


Abbildung 2.2: Altersstruktur Kanalanlagen Stadt Salzburg¹⁵

Der Abwasserverband Faaker See hat im Vergleich dazu ein sehr junges Kanalnetz. Ungefähr 62 % der Kanalhaltungen wurden im Jahr 1994 oder später errichtet. Die ältesten Kanalanlagen wurden im Jahr 1974 erbaut (siehe Abbildung 2.3). Zum aktuellen Sanierungsbedarf gibt es nur ungenaue Schätzungen.

¹⁵ [24] Rechnungshof: Bericht des Rechnungshofes. Reihe BUND 2013/8. Kanalsanierung in den Gemeinden und Gemeindeverbänden der Länder Kärnten, Oberösterreich und Salzburg; 2013; S.192

Abbildung 2.3: Altersstruktur Kanalanlagen AWV Faaker See¹⁶

2.3 Aufbau von Kanalanlagen

Kanalanlagen bestehen grundsätzlich aus dem Straßenkanal (Hauptleitung), der das Abwasser vom Einleitpunkt zur Kläranlage bzw. zum Vorfluter befördert, Anschlusskanälen (Nebenleitung), wo das Abwasser von der Grundstücksgrenze bzw. einem Revisionschacht zum Straßenkanal befördert wird, und den Sonderbauten, wie Schächte, Einlaufbauwerke (Straßengitter) und Überlaufbauwerke (siehe Abbildung 2.4).¹⁷

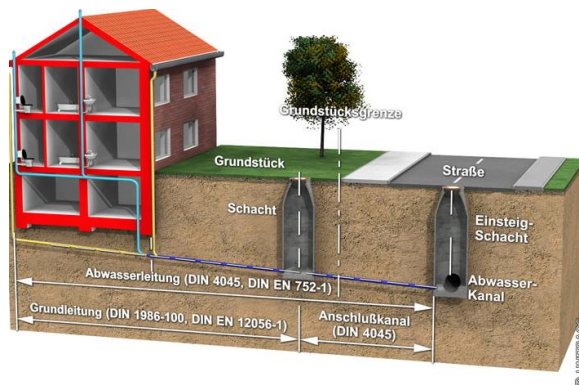
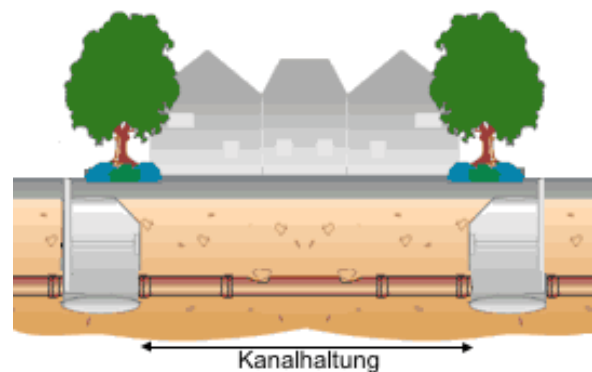
Abbildung 2.4: Aufbau von Kanalanlagen¹⁸

Abbildung 2.5: Kanalhaltung (Skizze)

Unterschieden werden bei den Kanalanlagen zwei verschiedenen Systeme, zum einen das Trennsystem und zum anderen das Mischsystem. Beim **Trennsystem** werden zwei Ableitungssysteme parallel geführt, um Regen- und Schmutzwasser getrennt voneinander abführen zu können. Nachteil dieser Baumethode sind die höheren Baukosten, durch die parallele Leitungsführung und der größere Reinigungs- und Wartungsaufwand. Beim **Mischsystem** besteht keine Trennung zwischen den beiden Abwasserarten und somit auch nur ein Ableitungssystem.¹⁹ Bei der Bemessung muss darauf geachtet werden, dass die Abflussschwankungen

¹⁶ [24] Rechnungshof: Bericht des Rechnungshofes. Reihe BUND 2013/8. Kanalsanierung in den Gemeinden und Gemeindeverbänden der Länder Kärnten, Oberösterreich und Salzburg; 2013; S.189

¹⁷ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.3-7

¹⁸ Homepage UNITRACC; <http://www.unitracc.de/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/aufbau-und-randbedingungen-von-kanalisationen/begriffe>; abgerufen am 14.01.2017

¹⁹ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.3-7

zwischen Niederschlagswasser und Schmutzwasser beträchtlich sein können. Die Rohrquerschnitte müssen deshalb auf die hohen Mengen des Niederschlagsabwassers bemessen werden. Ein Nachteil ist hierbei jedoch, dass bei starken Niederschlagsereignissen das Gemisch aus Schmutzwasser und Niederschlag von Regenüberläufen abgeleitet werden muss, um die Kläranlagen nicht zu belasten. Das abgeleitete Abwasser wird direkt in den Vorfluter eingebracht.²⁰

Alle Abwasserkanäle eines Entwässerungsgebietes, z.B. einer Stadt, bilden zusammen das Kanalnetz. Dieses sollte im besten Fall so angelegt sein, dass das Abwasser im natürlichen Gefälle, ohne zwischengeschaltete Pumpen, von der Einleitungsstelle, bis zur Kläranlage fließen kann. Zur Kontrolle der Abwasserleitungen und bei eventuellen Querschnitts- bzw. Durchmesseränderungen werden die Kanalschächte angeordnet.²¹

Ein für diese Arbeit ebenfalls wichtiger Begriff ist die Kanalhaltung. Hierbei handelt es sich um die *„Strecke eines Abwasserkanals zwischen zwei Schächten und/oder Sonderbauwerken“*²² (siehe Abbildung 2.5).

²⁰ Vgl. [3] Böhm: Abwasserrohrleitungen und -rohrnetze. Betrieb, Erneuerung und Instandhaltung; 2002; S.2-3

²¹ Vgl. [3] Böhm: Abwasserrohrleitungen und -rohrnetze. Betrieb, Erneuerung und Instandhaltung; 2002; S.2

²² [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.6

3 Inspektion von Kanalhaltungen

Die Grundlage für alle weiteren Schritte in der Kanalsanierung ist eine fachlich richtig beurteilte und gut dokumentierte Inspektion. Meist stehen aber für diese erste Erfassung der baulichen und betrieblichen Zustände nur geringe finanzielle Mittel zur Verfügung. Genau aus diesen Gründen muss die Inspektion von Kanalhaltungen sehr effizient (kostensparend, aber bei hoher Genauigkeit) möglich sein. Ein wichtiger Aspekt bei allen im folgenden Abschnitt berücksichtigten Inspektionsmethoden ist, dass die Qualität der Zustandsbeurteilungen sehr stark von Ausbildung und Erfahrung des Kanalinspektors abhängt. Selbst eine sehr genaue und ausführliche Inspektion kann am Ende zu einer falschen Auswahl des Sanierungsverfahrens, mit damit verbundenen hohen Folgekosten, führen.²³

In den folgenden Abschnitten werden sowohl die Möglichkeiten der optischen Kontrolle, als auch die Möglichkeiten der Dichtheitsprüfung bei Kanalhaltungen aufgezeigt. Verschiedene Schadensbilder der Kanäle die im Zuge der Inspektion auftreten können, werden im Kapitel 4 näher behandelt.

3.1 Optische Kontrolle

Die optische Kontrolle von Kanalleitungen im nicht begehbaren Bereich erfolgt durch Kamerasysteme die entweder auf selbstfahrenden Wagen aufgebaut sind, oder an einem Stab befestigt in den Schacht gehalten werden. Die älteste und einfachste Art einen geradlinigen Kanal zu inspizieren, ist die Kanalspiegelung. Dabei wird ein Spiegel unter 45° so vor das Hal tungsende gehalten, dass man von obenstehend hineinsehen kann, eine geeignete Ausleuchtung der Kanalhaltung vorausgesetzt. Heutzutage wird dieses Verfahren nicht mehr eingesetzt, da man damit nur sehr ungenaue Angaben zum Zustand des Kanals machen kann.²⁴

Die **selbstfahrenden Kamerawagen** sind nach dem Baukastenprinzip aufgebaut und lassen sich je nach notwendigem Einsatzgebiet erweitern.²⁵ Es können Objektive, Kamera- und Beleuchtungseinheiten, Fahrwagen usw. ausgetauscht und für nahezu jede Aufgabe angepasst werden.²⁶ Bei den Kamerasystemen unterscheidet man zwischen axialsichtigen Kameras, die ihre Lage nicht verändern können, Dreh-Schwenkkopf-Kameras, mit denen auch radial zur Kanalhaltung gefilmt werden kann, und Panorama-Systemen. Bei den Panorama-Systemen wird durch zwei Halbrundkameras (Fischaugenoptik) alle 5 cm ein Einzelbild gemacht, welches später mit einem Softwareprogramm zu einem Kugelbild zusammengestellt wird. Ebenfalls kann eine zweidimensionale Rohrabwicklung abgebildet werden mit der eventuelle

²³ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.1-5

²⁴ Vgl. [29] Vogel: Kanalinstandhaltung. Von der Zustandserfassung zur nachhaltigen Sanierung von Entwässerungssystemen; 2007; S.13

²⁵ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.224

²⁶ Vgl. [29] Vogel: Kanalinstandhaltung. Von der Zustandserfassung zur nachhaltigen Sanierung von Entwässerungssystemen; 2007; S.14

Schadstellen genau abgemessen werden können. Eine Weiterentwicklung stellt das Scan-System dar, mit dem nicht nur Einzelbilder gemacht werden, sondern unterbrechungsfreie Videoaufnahmen des kompletten Rohrsystems (in axialer Richtung und als zweidimensionale Ansicht der Rohrwand) in Echtzeit betrachtet werden können (siehe Abbildung 3.1). Bei beiden computerunterstützten Verfahren ist zwingend notwendig, dass sich die Kamera exakt in der Mitte der Rohrleitung befindet und parallel zum Rohrverlauf geführt wird.²⁷

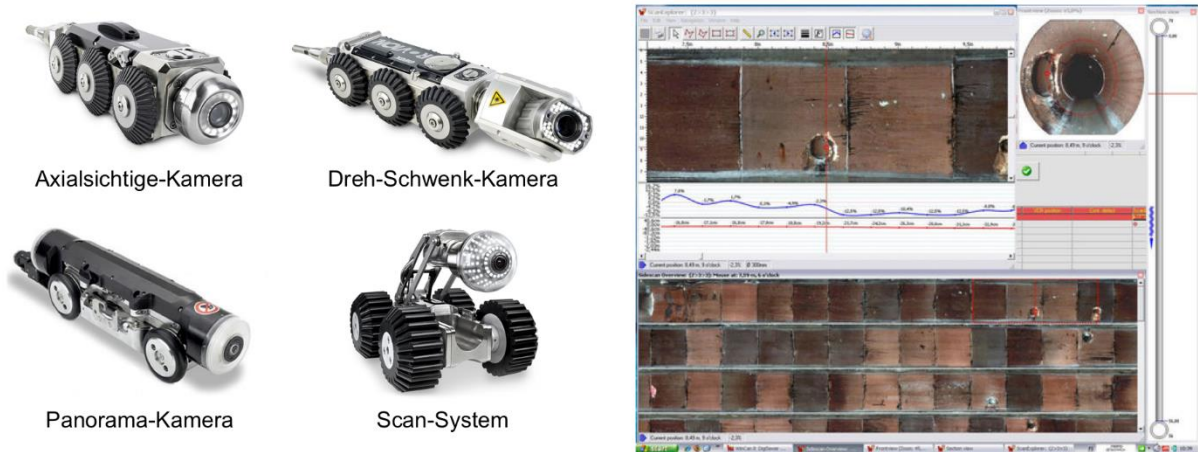


Abbildung 3.1: Kamerasysteme (links) und Videoaufnahmen beim Scan-System (rechts)²⁸

Zunehmend werden bei der Inspektion der Abwasserkanäle auch die Anschlusskanäle gleich mitbegutachtet. Dafür werden sehr flexible Robotersysteme eingesetzt, die auch in sehr enge und verzweigte Rohrsysteme eingefahren werden können. Ein Beispiel dafür ist das sogenannte „Kieler Stäbchen“ (siehe Abbildung 3.2).²⁹



Abbildung 3.2: Kieler Stäbchen³⁰

Unter der **elektronischen Spiegelung** versteht man ein Kamerasystem, das auf einem Stab montiert in einen Schacht hineingelassen wird und vor einer Kanalhaltung platziert wird. Diese Methode ist sehr kostengünstig und zeitschonend einsetzbar. Das Kamerasystem besitzt eine Zoommöglichkeit und eine leistungsfähige Beleuchtungseinheit, mit der das Rohrsystem in

²⁷ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.93-100

²⁸ Homepage iPek: www.ipek.at; abgerufen am 06.09.2016

²⁹ Vgl. [29] Vogel: Kanalstandhaltung. Von der Zustandserfassung zur nachhaltigen Sanierung von Entwässerungssystemen; 2007; S.15

³⁰ Homepage IBAK GmbH: www.ibak.de; abgerufen am 19.01.2017

Axialrichtung inspiziert werden kann (siehe Abbildung 3.3). Besonders eine Beobachtung des Betriebszustands kann hier unverfälscht vorgenommen werden.³¹



Abbildung 3.3: Prinzipdarstellung elektronische Spiegelung³²

Um das zuvor angesprochene Problem der Abhängigkeit vom Erfahrungsschatz des Inspektors zu minimieren, wurden in den letzten Jahren Messverfahren entwickelt mit denen Zustandsformen genau beschrieben und dokumentiert werden können. Zwei ausgewählte Verfahren sind das

- Parallel-Laser-Verfahren und das
- Lichtkreis-Verfahren.³³

Mit dem **Parallel-Laser-Verfahren** können im Wesentlichen Risse, Spalte und kleine Löcher gemessen werden. Neben der Kamera sind zwei Leuchtdioden befestigt, die einen festen Abstand zueinander und zum Objektiv aufweisen. Die an der Rohrwandung sichtbaren Laserpunkte werden dann von einem Computerprogramm erfasst und diese Referenzstrecke wird mit der eigentlichen Schadstelle verglichen (siehe Abbildung 3.4). Um etwaige Fehler des Inspektors auszuschließen muss der Kamerakopf dabei nicht genau senkrecht zur Rohrwandung stehen. Etwaige Fehlstellungen der Kamera werden vom Programm berücksichtigt und in die Auswertung miteinbezogen.³⁴

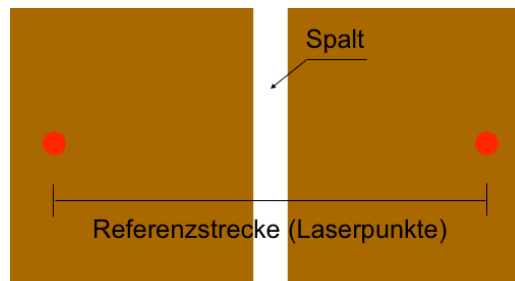


Abbildung 3.4: Schema der Rissbreitenmessung bei Parallel-Laser-Verfahren

³¹ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.129

³² [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.129

³³ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.397

³⁴ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.399-400

Das zweite Messverfahren, das **Lichtkreis-Verfahren**, ermöglicht die Messung von Deformationen, Versätzen und hineinragenden Hindernissen. Es werden dabei von einer Verlängerung am Kamerakopf Laserringe radial auf die Rohroberfläche projiziert. Grundsätzlich beruht dieses Verfahren wieder auf einer Computersoftware, die die vorhandenen Bilder umrechnet und eine Aussage über die Schadstellen ermöglicht.³⁵

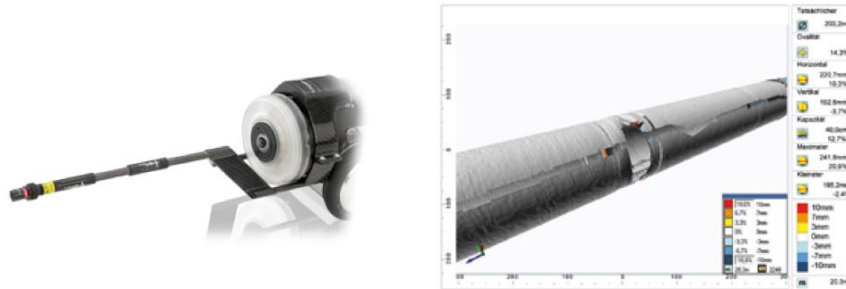


Abbildung 3.5: Laserverlängerung (links) und Darstellung des Messergebnisses (rechts)³⁶

Obwohl diese Messverfahren, und etliche Weiterentwicklungen, bereits bei vielen Herstellern angeboten werden, ist heute immer noch eine einfache visuelle Schätzung der letzte Stand der Technik.³⁷

3.2 Dichtheitsprüfung

Eine Dichtheitsprüfung ist immer als zusätzliches Prüfverfahren zur optischen Prüfung gedacht. Obwohl bei vielen Schäden bereits durch reines Betrachten eine Undichtigkeit der Kanalhaltung nachgewiesen werden kann, kann noch keine Aussage darüber gemacht werden in welchen Mengen Abwasser exfiltriert bzw. Grundwasser infiltriert wird.³⁸ Es können Prüfungen mit Wasser- oder Luftdruck durchgeführt werden. Zur Dichtheitsprüfung werden vier verschiedene Verfahren angewendet:

- Wasservollfüllung,
- Wasserdruckprüfung,
- Luftdruckprüfung (Standardverfahren) und
- Vakuumprüfung.

Bei der **Wasservollfüllung** werden die Kanalhaltung und Schächte mit Wasser vollgefüllt. Diese Methode wird bei Rohrleitungen verwendet, bei denen das Aufbringen eines Druckes

³⁵ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.402-407

³⁶ Homepage IBAK: www.ibak.de/de/produkte/ibak_show/frontenddetail/product/ilp/; abgerufen am 16.02.2017

³⁷ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.395

³⁸ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.421-429

nicht möglich bzw. auch nicht sinnvoll (z.B. Hausanschlussleitungen) ist. Eine eventuelle Exfiltration kann anhand der Absenkung des Wasserstandes im Schacht gemessen werden.³⁹ Der „Prüfdruck“ liegt hier bei 0,1 bis 0,5 bar. Er kommt durch die Vollenfüllung des Kanalsystems bis zur Geländeoberfläche zustande.⁴⁰

Eine **Wasserdruckprüfung** wird immer dann eingesetzt, wenn andere Verfahren nicht möglich sind bzw. als letzte Entscheidungsinstanz. Dabei wird der zu prüfende Teil der Kanalhaltung mit Abdichtkörpern abgeschlossen und ein Druck von 0,5 bar (entspricht 5 m Wassersäule) aufgebaut. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn über eine bestimmte Prüfzeit ein vorgegebener Wasserverlust nicht überschritten wird.⁴¹

Bei der **Luftdruckprüfung** und der **Vakuumpfung** wird ebenfalls über eine bestimmte Prüfzeit ein Druckabfall gemessen, die einen bestimmten Wert nicht überschreiten darf. Die Luftdruckprüfung kann bei allen Rohrmaterialien eingesetzt werden die nach der europäischen Norm EN 1610 dafür zugelassen sind. Die Vakuumpfung ist nur bei Kanälen aus duktilen Gussrohren anwendbar.⁴² Meist wird die Prüfung mit Luftdruck nur bei Rohrleitungen ohne Schächte und Inspektionsöffnungen angewendet. Eine Miteinbeziehung der Schächte ist zwar möglich aber sehr zeit- und kostenintensiv.⁴³

Bei der Anwendung der Dichtheitsprüfverfahren muss darauf geachtet werden, dass das Alter der Leitungen mitberücksichtigt wird. Bei sehr alten Leitungen, deren Dichtungssysteme nicht mehr mit denen der heutigen Zeit vergleichbar sind, ist die Gefahr durch die Prüfung einen Schaden zu verursachen sehr groß.⁴⁴

³⁹ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.421-429

⁴⁰ Vgl. [13] Heyer: Grundstücksentwässerungsanlagen; 2012; S.172

⁴¹ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.421-429

⁴² Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.421-429

⁴³ Vgl. [13] Heyer: Grundstücksentwässerungsanlagen; 2012; S.170

⁴⁴ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.421-429

4 Schadensbilder

Als Grundlage für die Auswahl der richtigen Sanierungsverfahren sind Kenntnisse über Schadensbilder in Kanalhaltungen und deren Ursachen notwendig. Im folgenden Abschnitt werden sowohl Schadensbilder vor, als auch nach der Sanierung betrachtet. Alle Abbildungen der Abschnitte 4.1.1 - 4.1.8 und 4.2 wurden aus Bölke⁴⁵ entnommen

4.1 Schadensbilder vor der Sanierung

Kanalisationen unterliegen einer stark schwankenden physikalischen, chemischen, biochemischen und biologischen Belastung. Durch diese Beanspruchungen wird die Bausubstanz ab der ersten Inbetriebnahme der Haltung laufend abgebaut und beschädigt. In Abhängigkeit von Planung, Werkstoff, Bauausführung, Wartung, Art bzw. Dauer der Nutzung und äußeren Einflüssen, wie Verkehrsbelastung, findet der Abbau im Laufe der Zeit mehr oder weniger schnell statt. Wird irgendwann die zuvor definierte Schadensgrenze erreicht oder liegt ein kompletter Ausfall der Kanalhaltung vor, muss eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt werden die mindestens wieder den Sollzustand herstellt.⁴⁶ Im Folgenden werden einige typische Schadensbilder gezeigt, die nach durchschnittlichen Nutzungsdauern einer Kanalhaltung vorgefunden werden. Da allen Schadensbildern ein Ursache-Wirkungs-Prinzip zu Grunde liegt, werden zusätzlich die möglichen Ursachen für die unterschiedlichen Schäden dargestellt. Der Einteilung in die verschiedenen Schadensarten liegt die DIN EN 13508-2:2011⁴⁷ zugrunde. Sofern nicht anders angegeben entstammen die nachfolgenden Inhalte Bölke⁴⁸ und Stein⁴⁹.

4.1.1 Abflusshindernisse

Unter Abflusshindernissen werden Gegenstände und Materialien verstanden, die den freien Abflussquerschnitt der Kanalhaltung reduzieren und dadurch ein planmäßiger Betrieb nicht möglich ist. Es wird unterschieden zwischen

- anhaftenden Stoffen,
- einragendem Dichtungsmaterial,
- Ablagerungen,
- anderen Hindernissen und
- Wurzeleinwuchs.

⁴⁵ [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.198-271

⁴⁶ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.113

⁴⁷ [6] DIN EN 13508-2; 2011; S.24-41

⁴⁸ [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.198-271

⁴⁹ [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.116-165

Unter **anhaftenden Stoffen** können entweder Inkrustationen, Fettablagerungen oder Fäulnisserscheinungen (siehe Abbildung 4.1) definiert sein. Für Inkrustationen muss bereits eine gewisse Undichtigkeit der Kanalhaltung gegeben sein. Sie bilden sich durch Ausfällung mineralischer Bestandteile aus den Rohrmaterialien.

Außerdem können Inkrustationen dann auftreten, wenn Abwasserinhaltsstoffe sich langfristig an der Rohrwandung anhaften, was speziell im Umfeld von Industrieleitungen der Fall ist.⁵⁰ Fettablagerungen entstehen meist durch Temperaturdifferenzen zwischen Abwasser und Rohr, was zu Ausfällungserscheinungen und anschließendem Absetzen der Fette führt. Unter Fäulnis wird eine biologische Anhaftung verstanden, die sich im Kanal bildet und meist vom Rohrscheitel herunterhängt.



Abbildung 4.1: Bildbeispiele für anhaftende Stoffe

Einragendes Dichtungsmaterial (z.B. Gummi- oder Bitumendichtungen) verkleinert ebenfalls den Querschnitt der Kanalhaltung und führt früher oder später zu Undichtigkeiten im Kanalsystem (siehe Abbildung 4.2).



Abbildung 4.2: Bildbeispiele für einragende Dichtungsmaterialien

Ablagerungen setzen sich im Kanal ab, verbleiben dort als Lockersediment oder verfestigen sich nach einer gewissen Zeit. Es wird meist zwischen feinem Material, grobem Material und verfestigtem Material unterschieden (siehe Abbildung 4.3). Diese Feststoffe werden durch das Schmutzwasser aus den Haushalten und Regenwasser in die Kanalhaltung gebracht. Die

⁵⁰ Vgl. [5] Bosseler, Schlüter: Forschungsbericht Kanalreinigung. Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen; 2004; S.27

Feststoffe sinken dort ab und bilden, je nach Rohrdurchmesser, Teilfüllungsgrad, Rauheit, Leistungsgefälle und Korndurchmesser der Feststoffe, Ablagerungen. Verfestigte Ablagerungen sind meist Beton-, Mörtel- oder Zementsuspensionsreste, die von angrenzenden Baustellen in den Kanal geleitet werden.



Feine Ablagerungen



Grobe Ablagerungen



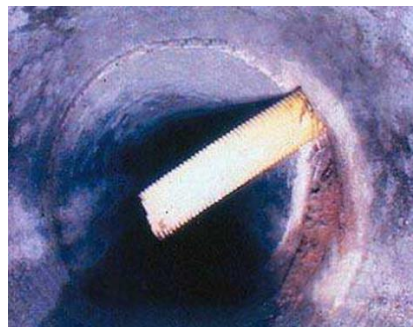
Verfestigte Ablagerungen
(z.B. Betonrückstände)

Abbildung 4.3: Bildbeispiele für Ablagerungen

Unter **andere Hindernisse** fallen Gegenstände bzw. Materialien, die sich eigentlich nicht im Kanal befinden sollten und einen anderen Ursprung (z.B. Entsorgung von Abfall in den Kanal) haben. Sie können den Kanal queren, in ihn hineinragen, verklemmt sein oder im Kanal liegen bleiben.



Rad im Kanal



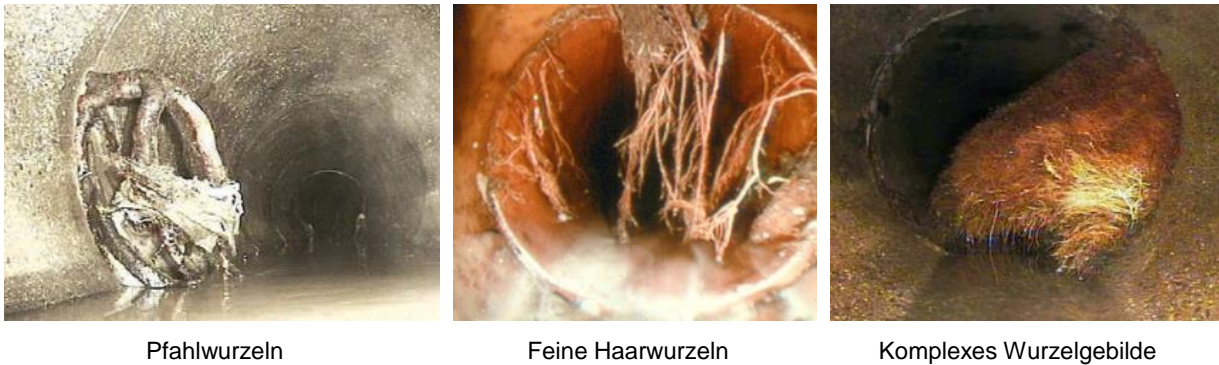
Einragender Gewindebolzen



Kreuzende Leitung

Abbildung 4.4: Bildbeispiele für andere Hindernisse

Bei **Wurzeleinwuchs** wird ebenfalls der Querschnitt reduziert und dadurch der Durchfluss beeinträchtigt. Da Wurzeln sehr starke Gebilde sind, können sie an den verschiedensten Stellen im Kanal einwachsen. Im Normalfall sind dies aber Rohrverbindungen, schadhafte Stellen oder Anschlüsse, also Stellen an denen die Struktur der Rohre geschwächt ist (siehe Abbildung 4.5).



Pfahlwurzeln

Feine Haarwurzeln

Komplexes Wurzelgebilde

Abbildung 4.5: Bildbeispiele für Wurzeleinwuchs

Am öftesten treten Wurzeleinwüchse bei Kanälen oberhalb des Grundwassers bzw. in Böden mit begrenztem Wasserangebot auf. Die durch die Kanäle diffundierenden Wasserdämpfe und exfiltrierende Abwässer üben auf die Wurzeln einen Reiz aus, der diese dazu veranlasst neue Zellen zu bilden, die so fein sind, dass sie durch die feinsten Löcher, Risse und Poren in die Kanäle eindringen. Verhindert werden können Wurzeleinwüchse durch wurzelfeste Materialien und einem entsprechenden Mindestabstand zur Bepflanzung an der Oberfläche.

In Tabelle 4.1 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlerhafte Planung (z.B. Leitungsgefälle) ▪ Fehlerhafte Bauausführung ▪ Ungenügende Reinigung ▪ Einleitung ablagerungs- und/oder abbindefähiger Stoffe ▪ Nicht wurzelfeste Dichtstoffe oder Rohrverbindungen ▪ Betriebsfremde Einflüsse ▪ Folge von Undichtigkeiten (siehe Abschnitt 4.1.8) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit ▪ Verstopfung ▪ Erhöhung des Wartungsaufwandes ▪ Verminderung des nutzbaren Kanalstauraumes ▪ Aufwirbelungen der Ablagerungen bei starken Regenereignissen, was bei Überlaufereignissen zu größeren Schmutzstoffmengen im Vorfluter führt ▪ Geruchs- und Gasbelastungen (anaerobe Faulung) ▪ Begünstigung der Korrosion und Zerstörung zementgebundener Werkstoffe

Tabelle 4.1: Schadensursachen und -auswirkungen von Abflusshindernissen⁵¹

4.1.2 Lageabweichungen

Lageabweichungen können entweder in axialer oder radialer (horizontaler, vertikaler) Richtung gegeben sein (siehe Abbildung 4.6). Generell versteht man unter diesen Schadensbildern eine nicht geplante Abweichung der in der Planung festgelegten Soll-Lage. Als Grundlage für die Bewertung der Schäden müssen vom Auftraggeber bzw. der einschlägigen Norm festgesetzte Toleranzen berücksichtigt werden.

⁵¹ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.123,127



Axialer Versatz

Horizontaler Versatz

Vertikaler Versatz

Abbildung 4.6: Bildbeispiele für Lageabweichungen

In Tabelle 4.2 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlerhafte Planung (z.B. Leitungsgefälle) ▪ Fehlerhafte Bauausführung ▪ Hydrogeologische Veränderungen ▪ Belastungsänderungen ▪ Setzungen ▪ Bergsenkungen und Erdbeben ▪ Folge von Undichtigkeiten (siehe Abschnitt 4.1.8) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abreißen von Anschlussleitungen ▪ Verlust der Funktionsfähigkeit durch Gegengefälle ▪ Erhöhung des Wartungsaufwandes ▪ Undichtigkeiten ▪ Abflusshindernisse ▪ Risse, Rohrbruch

Tabelle 4.2: Schadensursachen und -auswirkungen von Lageabweichungen⁵²

4.1.3 Mechanischer Verschleiß

Als mechanischer Verschleiß (auch Erosion) werden alle Schadenszustände bewertet, die durch mechanische Ursachen, d.h. dem Kontakt und Relativbewegungen von festen, flüssigen und gasförmigen Teilchen, hervorgerufen werden. Diese mechanischen Ursachen werden im Betrieb und der Wartung bzw. Reinigung der Kanalhaltungen erreicht. Die Beschädigung kann punktwise begrenzt oder auf längeren zusammenhängenden Strecken vorhanden sein. Durch den Verschleiß wird die Dicke der Rohrwandung langsam verringert, wobei die Übergangsbereiche zwischen Schadstelle und intakter Rohrwandung durch die Wasserbewegungen abgerundet werden (siehe Abbildung 4.7). Es entsteht Abrieb, der sich in weiterer Folge als Ablagerung in der Leitung festsetzen kann.

⁵² Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.128-129



Abbildung 4.7: Bildbeispiel für mechanischen Verschleiß

In Tabelle 4.3 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verschleißprozess durch feste, flüssige oder gasförmige Stoffe ▪ 4 Verschleißarten: <ul style="list-style-type: none"> – Spülverschleiß (wellenförmiger Materialabtrag durch erosiv wirkende Medien) – Tropfenschlagerosion (Materialabtrag durch Stoßbeanspruchung durch aufprallende Flüssigkeitstropfen) – Kavitationserosion (Materialabtrag durch Oberflächenzerüttung infolge lokaler Unterdruckbereiche) – Flüssigkeitserosion (Materialabtrag durch Flüssigkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung der Wandrauigkeit und dadurch Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit ▪ Reduzierung der Wanddicke (Verringerung der Tragfähigkeit und Dichtigkeit) ▪ Eventuell Beschädigung eines vorhandenen Korrosionsschutzes bzw. Beschichtung oder Auskleidung einer bereits renovierten Kanalhaltung

Tabelle 4.3: Schadensursachen und -auswirkungen von mechanischem Verschleiß⁵³

4.1.4 Deformation

Bei der Deformation (ungewollte Verformung) muss zwischen einer primären und sekundären Deformation unterschieden werden. Bei biegeweichen Rohren (z.B. PE-Rohren) erfolgt die **primäre Deformation** durch eine äußere Belastung und erst im Nachhinein können Schädigungen am Rohr (z.B. Risse, Brüche) auftreten. Bei biegesteifen Rohren (z.B. Betonrohr) muss vor einer Deformation bereits eine Schädigung der Bausubstanz erfolgt sein, daher spricht man hier von einer **sekundären Deformation** (siehe Abbildung 4.8).

⁵³ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.129,132



Primäre Deformation

Sekundäre Deformation

Abbildung 4.8: Bildbeispiele für Deformationen

In Tabelle 4.4 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlende oder fehlerhafte statische Berechnung ▪ Einbau ungeeigneter Rohre oder fehlerhafter Rohre ▪ Abweichungen der Last- und/oder Auflagerbedingungen von den Berechnungsannahmen ▪ Unsachgemäßer Einbau (mangelhafte Ringraumverfüllung, unsachgemäßes Verlegen, unsachgemäßer Einsatz von Verdichtungsgeräten) ▪ Temperatureinwirkungen ▪ Folge von Undichtigkeiten, mechanischem Verschleiß oder Korrosion 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit ▪ Verstopfungen ▪ Erhöhung des Wartungsaufwandes ▪ Rissgefahr bei Formstücken an den Stellen, die durch angeformte Abzweige, Knicke usw. steifer sind als das unversteifte Rohr ▪ Beulgefahr bei sehr großen Verformungen ▪ Spannungsrisskorrosion ▪ Undichtigkeiten ▪ Risse, Rohrbruch, Einsturz

Tabelle 4.4: Schadensursachen und -auswirkungen von Deformationen⁵⁴

4.1.5 Korrosion

Unter Korrosion versteht man generell eine messbare Veränderung des Werkstoffes durch eine Reaktion mit seiner Umgebung. Diese Veränderung hängt von der Aggressivität des Korrosionsmediums und dem Ausgangswerkstoff ab. Zusätzlich können Temperatur und mechanische Beanspruchung die Korrosion beeinflussen. Von den eingesetzten Werkstoffen im Kanalbau (siehe Kapitel 6) sind vor allem zementgebundene und metallische Rohre stark gefährdet. Genau aus diesem Grund werden bei Gussrohren zusätzliche Zementauskleidungen angebracht, um die Korrosion zu stoppen bzw. zu verlangsamen.

⁵⁴ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.150

Es kann zwischen drei Korrosionsarten (siehe Abbildung 4.9) unterschieden werden:

- Allgemeine Korrosion,
- biogene Schwefelsäurekorrosion und
- Abwasserkorrosion.

Bei der **allgemeinen Korrosion** liegt die Ursache bei der zu geringen Betonüberdeckung der Bewehrung und der hohen Feuchtigkeit in den Kanalrohren. Es muss keine aggressive Atmosphäre oder aggressives Abwasser vorhanden sein. Es können sowohl Einzelschäden, als auch Streckenschäden auftreten.

Wenn eine **biogene Schwefelsäurekorrosion** auftritt, ist die Rohrwand immer oberhalb der Abwasserfläche (im atmosphärischen Bereich) korrodiert. Dieser Schaden tritt grundsätzlich als Streckenschaden auf und ist meist sehr gleichmäßig vorhanden.

Die letzte Korrosionsart, die **Abwasserkorrosion**, geht auf aggressive Abwässer zurück. Meist werden solche Schadensformen im Bereich von Industrierwässereinleitungen vorgefunden. Aber auch bei Haushaltsabwasserleitungen können sie durch unsachgemäße Entsorgung von reaktionsfähigen Stoffen entstehen.



Abbildung 4.9: Bildbeispiele für Korrosionsschäden

In Tabelle 4.5 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Korrosion durch Reaktion des Werkstoffes mit seiner Umgebung ▪ Nicht Einhaltung der Abwassergrenzwerte zur Ableitung in den Kanal 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung der Wandrauigkeit und dadurch Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit ▪ Reduzierung der Wanddicke (Verringerung der Tragfähigkeit und Dichtheit)

Tabelle 4.5: Schadensursachen und -auswirkungen von Korrosion⁵⁵

⁵⁵ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.132-146

4.1.6 Risse, Rohrbruch, Einsturz

Risse treten überwiegend bei biegesteifen Rohren auf und werden in Längsrisse, Querrisse und Risse die von einem Punkt ausgehen, eingeteilt (siehe Abbildung 4.10). Es ist möglich, dass mehrere Ursachen für einen Riss verantwortlich sind und dass mehrere Risse das Produkt von nur einer Ursache sind. Außerdem können sich Risse im Laufe der Zeit verändern, in Länge, Form und Tiefe. Bei Betonrohren kann es auch passieren, dass sich kleine Risse von selbst wieder verschließen (Selbtheilungseffekt). Längsrisse, hervorgerufen durch eine zu hohe statische oder dynamische Streckenlast am Scheitel des Rohres, kommen am häufigsten vor und entstehen meist in den Viertelpunkten.



Abbildung 4.10: Bildbeispiele für Risse

Ein **Rohrbruch** ist dann vorhanden, wenn Wandungsteile des Rohres in den Querschnitt hineinragen oder Wandungsteile fehlen (siehe Abbildung 4.11). Es ist somit die Zwischenstufe zwischen Rissbildung und kompletten Einsturz der Kanalhaltung.



Abbildung 4.11: Bildbeispiele für Rohrbruch und Einsturz

Ein **Einsturz** ist der Verlust der Tragfähigkeit und somit das Zusammenbrechen des Rohres (siehe Abbildung 4.11). Der Kanal kann damit seine Funktionen nicht mehr erfüllen und muss ausgetauscht werden.

In Tabelle 4.6 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als Folge von Undichtigkeiten, Lageabweichungen, mechanischem Verschleiß, Korrosion oder Verformung <p><u>Längsrisse:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zu hohe Linienlast am Scheitel <p><u>Querrisse:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unzulässige Einwirkung von Einzellasten (Punktlagerung, Reiten der Muffe, Steine in der Leitungszone) ▪ Nicht gelenkig ausgebildeter Bauwerksanschluss ▪ Temperatureinwirkungen <p><u>Riss von einem Punkt ausgehend:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unzulässige Einwirkung von Einzellasten (Punktlagerung, Reiten der Muffe, Steine in der Leitungszone) ▪ Extremer Wurzeleinwuchs ▪ Aufstemmen des Kanals für Anbindung des Anschlusskanals 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abhängig von Rissform, Risstiefe, Rissbreite, Rohrwerkstoff, Lage des Risses, Zustand der Bettung ▪ Bei guten Randbedingungen kann auch ein gerissenes Rohr noch relativ lange Zeit in einem stabilen Zustand bleiben ▪ Undichtigkeiten ▪ Verstopfung ▪ Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit vor allem bei hineinragenden Wandteilen ▪ Bei Einsturz kann der Kanal seine Funktion nicht mehr erfüllen

Tabelle 4.6: Schadensursachen und -auswirkungen von Rissen, Rohrbruch und Einsturz⁵⁶

4.1.7 Schadhafte punktuelle Reparatur

Als punktuelle Reparatur wird im Allgemeinen eine örtlich begrenzte Maßnahme zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes verstanden. Hier werden beispielhaft nur zwei Zustände dargestellt (siehe Abbildung 4.12):

- ein unzulässig repariertes Loch und
- ein nicht fachgerecht eingebautes Hutprofil an einer Anschlussleitung.



Unzulässig repariertes Loch (mit Ziegel)

Abstehende Endstellen bei einem Hutprofil

Abbildung 4.12: Bildbeispiele für Undichtigkeiten

⁵⁶ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.159-165

4.1.8 Undichtigkeiten

Als Undichtigkeiten werden sowohl Exfiltration (Wasser tritt aus), als auch Infiltration (Wasser tritt ein) verstanden (siehe Abbildung 4.13). Es muss dabei nicht auf den ersten Blick erkennbar sein, dass Wasser aus- bzw. eintritt. Die Undichtigkeit kann durch eine nicht bestandene Dichtheitsprüfung, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, erkannt werden. Alle in diesem Abschnitt bereits besprochenen Schadensbilder stellen ebenfalls Undichtigkeiten dar (z.B. Risse, Rohrbruch usw.), bzw. führen bei nicht Behebung des Schadens irgendwann zu Undichtigkeiten.

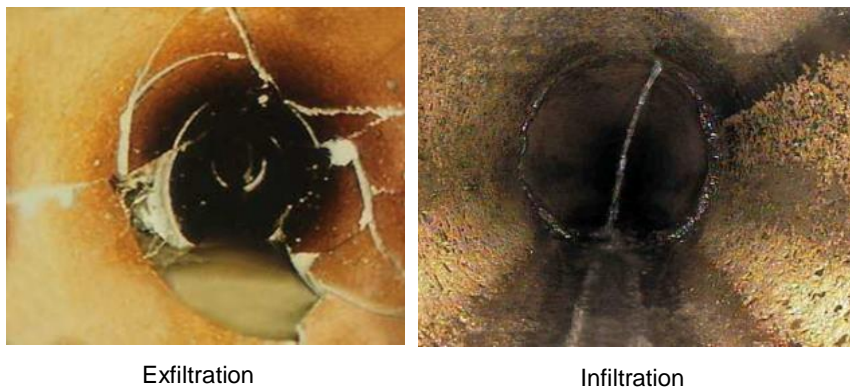


Abbildung 4.13: Bildbeispiele für Undichtigkeiten

In Tabelle 4.7 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlerhafte Planung, Werkstoff- bzw. Bauteil-auswahl, Bauausführung, Betrieb ▪ Werkstoffalterung ▪ Folge anderer Schäden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Änderung der Bettungsbedingungen mit Folgeschäden (Lageabweichungen, Verformung, Risse, Rohrbruch, Einsturz) <u>Austritt von Abwasser (Exfiltration):</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schadstoffeintrag in Grundwasser und Boden ▪ Schädigende Auswirkung auf Leitungen, Bauwerke und Straßenoberbau <u>Eindringen von Grundwasser (Infiltration) und Boden:</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung des Fremdwasseranteils (Erhöhung Schadstofffracht in Vorfluter und der Kosten für Abwasseraufbereitung) ▪ Hydraulische Mehrbelastung ▪ Absenkung des Grundwasserspiegels mit Folgeschäden an Bauwerken und Vegetation ▪ Ablagerungen und Inkrustationen ▪ Wurzeleinwuchs

Tabelle 4.7: Schadensursachen und -auswirkungen von Undichtigkeiten⁵⁷

⁵⁷ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.116-121

4.2 Schadensbilder durch die Sanierung

Schäden können oft noch nach einer Sanierung vorhanden sein, da z.B. der Einbau unsachgemäß durchgeführt wurde oder die Materialauswahl fehlerhaft war. Genau aus diesem Grund ist eine nachträgliche Inspektion der Kanalhaltung mit den in Abschnitt 3.1 vorgezeigten Methoden nach jeder Kanalsanierungsmaßnahme zu empfehlen. Es werden in diesem Abschnitt nur Schadensbilder einer schadhafte Innenauskleidung mit Schlauchliner behandelt.

Eine **schadhafte Innenauskleidung** wird hauptsächlich bei falscher Anwendung des Schlauchreliningverfahren festgestellt. Durch die relativ geringe Steifigkeit des Sanierungsmaterials können sich Schadstellen schneller ausbilden, als es z.B. beim Close-Fit-Verfahren der Fall wäre. Es kann grundsätzlich zwischen einer abgelösten Innenauskleidung, einer schadhafte Ausbildung der Endstelle des Schlauchliners und Falten in der Auskleidung unterschieden werden (siehe Abbildung 4.14).⁵⁸



Ablöste Innenauskleidung

Schadhafte Ausbildung der Endstelle

Faltenbildung der Auskleidung

Abbildung 4.14: Bildbeispiele für schadhafte Innenauskleidung

In Tabelle 4.8 werden mögliche Schadensursachen und -auswirkungen dargestellt.

Schadensursachen	Schadensauswirkungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlerhafte Planung, Werkstoff- bzw. Bauteilwahl, Bauausführung, Betrieb <p><u>Faltenbildung und Ablösung der Auskleidung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Materialüberschuss bei Bogenführungen und Querschnittsverengungen ▪ Falsche Kalibrierung (Auswahl des Durchmessers) ▪ Ungenügender Aufstelldruck (Schlauch füllt den Ringraum nicht aus) ▪ Unzulässige Materialauswahl ▪ Verschmutzung des Trägermaterials ▪ Feuchtigkeit ▪ Temperaturschwankungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit ▪ Korrosion im Luftraum hinter der Falte bzw. Ablösung ▪ Eindringen von Abwasser in den Ringraum zwischen Schlauchliner und Altrohr (schadhafte Ausbildung der Endstelle)

Tabelle 4.8: Schadensursachen und -auswirkungen von einer schadhafte Innenauskleidung⁵⁹

⁵⁸ Vgl. [4] Bölke: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren; 2013; S.262-264

⁵⁹ Vgl. [14] John; Lenz: Fehler in der Kanalsanierung. Erkennen – Vermeiden; 2006; S.93-109

5 Anforderungen an einen sanierten Kanal

Generell lässt sich sagen, dass an einen sanierten Kanal die gleichen Anforderungen wie an einen neugebauten Kanal gestellt werden.⁶⁰ Die grundlegenden Ziele von Kanalentswässerungssystemen sind die Sicherstellung der öffentlichen Gesundheit und Sicherheit, die Sicherstellung der Gesundheit und Sicherheit des Betriebspersonals, der Schutz der Umwelt und die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung.⁶¹

In den folgenden Abschnitten werden nun die wichtigsten Anforderungen an sanierte Kanäle dargestellt. Es werden sowohl die Anforderungen an den Kanal im Betriebszustand näher betrachtet, als auch die Anforderungen an die eingesetzten Bauteile und Werkstoffe.

5.1 Betriebliche Anforderungen

Es gibt viele Anforderungen an Kanalhaltungen, die zur Einhaltung der oben genannten Ziele unbedingt erfüllt werden müssen. Laut DIN EN 752⁶² zählen dazu unter anderem:

- Schutz vor Überflutung,
- Unterhaltbarkeit,
- Schutz des Oberflächenvorfluters,
- Grundwasserschutz,
- Vermeidung von Gerüchen sowie giftigen, explosiven oder korrosiven Gasen,
- Aufrechterhaltung des Abflusses,
- Wasserdichtheit und
- Nichtgefährdung von angrenzenden Bauten.

Die nachfolgenden Definitionen wurden aus DIN EN 752⁶³ entnommen.

Überflutungen müssen zum Schutz der Gesundheit und wegen hoher wirtschaftlicher Auswirkungen so gut wie möglich verhindert werden bzw. auf die lokal oder national festgelegten Häufigkeiten begrenzt werden. Vor allem die hydraulische Leistungsfähigkeit steht in diesem Zusammenhang im Fokus. Diese muss für vorhersehbare Zunahmen der Abflussmenge während der Nutzungsdauer der Kanalhaltung gewährleistet sein. Im Sanierungsfall muss darauf geachtet werden, dass der hydraulische Querschnitt nach der Sanierung noch ausreicht.

⁶⁰ Vgl. [20] ÖNORM EN 13380; 2002; Nationales Vorwort

⁶¹ Vgl. [7] DIN EN 752; 2008; S.17

⁶² Vgl. [7] DIN EN 752; 2008; S.18-21

⁶³ [7] DIN EN 752; 2008; S.18-21

Unter **Unterhaltbarkeit** wird die Möglichkeit verstanden, entsprechende Unterhaltsarbeiten (Reinigung, Reparatur usw.) sicher durchführen zu können. Bei der Sanierung muss vor allem auf ausreichende Zugänglichkeit der Kanalhaltung geachtet werden, um eventuell spätere Nacharbeiten oder eine Reinigung immer noch zuverlässig durchführen zu können.

Der **Schutz des Oberflächenvorfluters** und der **Grundwasserschutz** sind dem Ziel Umweltschutz direkt zuzuordnen. Die entsprechenden Anforderungen müssen hier den national festgelegten Grenzen entsprechen. Vor allem bei den Injektionsverfahren (siehe Abschnitt 7.4.3) muss darauf geachtet werden, dass die eingesetzten Dichtungsmittel in richtiger Menge dosiert werden, umweltfreundlich sind und die Randbedingungen für den Einsatz des Verfahrens (z.B. Vermeidung von zu starker Strömung bei Grundwasser) eingehalten werden.

Besonders bei falscher Anwendung von Sanierungsverfahren (z.B. Faltenbildung beim Schlauchrelining) kann es zu Aufstauungen von Abwasser oder sogar Verstopfungen der Kanalhaltung kommen. Durch Aufstauungen kann die Bildung von unangenehmen **Gerüchen** oder **giftigen, explosiven oder korrosiven Gasen** gefördert werden. Bei Verstopfungen ist eine **Aufrechterhaltung des Betriebes** nur sehr schwer möglich. Beides ist bei einem sanierten Kanal zu vermeiden.

Die Kanalhaltung muss während des Normbetriebes insoweit **wasserdicht** sein, dass eine Gefährdung der Umwelt und eine Gefährdung von **angrenzenden Bauten** ausgeschlossen werden kann.

5.2 Anforderungen an Bauteile

In den einschlägigen Normen wird bei sanierten Kanälen zwischen zwei Zuständen unterschieden:⁶⁴

- „M“-Zustand⁶⁵: *„Zustand eines Bauteils oder eines Werkstoffs, bevor dieser/dieses in Folge des jeweiligen Renovierungs- oder Reparaturverfahrens verändert wird“ und*
- „I“-Zustand⁶⁶: *„endgültiger Zustand eines Bauteils oder eines Werkstoffs, nach Abschluss des jeweiligen Renovierungs- oder Reparaturverfahrens auf der Baustelle“*

Die Bauteile oder Werkstoffe müssen die Anforderungen beider Zustände erfüllen, um eingesetzt werden zu können. Es können strengere Anforderungen in den jeweiligen Produktnormen festgelegt werden.⁶⁷

⁶⁴ [20] ÖNORM EN 13380; 2002; S.7

⁶⁵ Das M bezieht sich auf den englischen Begriff „as **m**anufactured“

⁶⁶ Das I bezieht sich auf den englischen Begriff „as **i**nstalled“

⁶⁷ Vgl. [20] ÖNORM EN 13380; 2002; S.7-9

5.2.1 Bauliche Anforderungen

Die Bauteile müssen vor allem hinsichtlich ihrer Bauteilgeometrie und den eingesetzten Maßen für die Sanierungsmaßnahme geeignet sein. In DIN EN 476⁶⁸ sind Nennweiten für Bauteile vorgegeben, die aber bei Sanierungsmaßnahmen nicht zwingend eingehalten werden müssen, um das Bauteil (z.B. PP-Rohr) auch in die zu sanierende Kanalhaltung einbringen zu können. Hinsichtlich der Bauteilgeometrie ist zu sagen, dass die Geradheit der Produkte sowohl im „I“-Zustand, als auch im „M“-Zustand, nicht von den in den Produktnormen angegebenen Grenzmaßen abweichen darf. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die unbedingte Einhaltung eines 90° Winkels der Stirnflächen zur maßgebenden Achse des Bauteils. Auch hier gibt es bestimmte Abweichungen, die laut den Produktnormen zulässig sind. Es muss aber auf alle Fälle darauf geachtet werden, dass die Funktionsfähigkeit des Verbindungselementes des Bauteils (also die Dichtheit) nicht beeinträchtigt wird.⁶⁹

Eine weitere bauliche Anforderung ist das Maß der Wandrauheit. Es muss darauf geachtet werden, dass die Innenflächen von Rohren eine gleichmäßige glatte Struktur aufweisen und frei von sichtbaren Fehlern sind. Wenn Fehler vorhanden sind, muss nachgewiesen werden, dass sich dadurch die hydraulische Leistungsfähigkeit nicht verändert.⁷⁰

5.2.2 Mechanische Anforderungen

Die eingesetzten Bauteile müssen einen sicheren und zuverlässigen Betrieb der Kanalhaltung gewährleisten. Hierfür müssen die niedrigsten und höchsten Betriebstemperaturen, die Auswirkungen gleichbleibender oder veränderlicher Langzeitbelastungen und die Auswirkung von möglichen unvorhersehbaren Schadensfällen (z.B. Bodensetzungen) berücksichtigt werden. Rohre, Formstücke und Rohrverbindungen müssen bei kontinuierlichem Abfluss für Betriebstemperaturen von 45°C (\leq DN 200) bzw. 35°C ($>$ DN 200) geeignet sein. Die Formbeständigkeit muss nach dem Einbau gegeben sein, d.h. wenn die Rohre nach Fertigstellung der Sanierungsmaßnahme schließlich belastet werden. Außerdem müssen die Rohre gegen Abrieb durch im häuslichen Abwasser vorhandene Feststoffe beständig sein.⁷¹

5.2.3 Chemische Anforderungen

„Bauteile müssen gegen häusliches Abwasser, Oberflächenwasser und Einwirkungen von Böden und Grundwasser korrosionsbeständig sein.“⁷² D.h. die Bauteile müssen vor allem den zugelassenen Emissionswerten im häuslichen Abwasser widerstehen, welche in Österreich in der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung geregelt sind. Ein Beispiel hierfür wäre der

⁶⁸ Vgl. [21] ÖNORM EN 476; 2011; S.10

⁶⁹ Vgl. [20] ÖNORM EN 13380; 2002; S.7-9

⁷⁰ Vgl. [21] ÖNORM EN 476; 2011; S.20

⁷¹ Vgl. [21] ÖNORM EN 476; 2011; S.19-20

⁷² [21] ÖNORM EN 476; 2011; S.20

vorgegebene pH-Wert von 6,5 - 9,5 für häusliches Abwasser, welches in die öffentliche Kanalisation eingeleitet wird. Das bedeutet, dass die eingesetzten Bauteile der Sanierungsmaßnahme für diesen pH-Wert geeignet sein müssen.⁷³

5.2.4 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

Wenn man bei Kanalhaltungen von Dauerhaftigkeit spricht, dann ist die Dichtheit der wichtigste Faktor. Solange ein Kanal dicht ist, sprich keine Exfiltration oder Infiltration stattfindet, kann er in der Regel genutzt werden und muss daher auch nicht saniert werden. Um diesem Umstand zu entsprechen, wurde in den einschlägigen Normen festgelegt, dass Rohre, Formstücke und Verbindungen während der gesamten Nutzungsdauer den vorgegebenen Belastungsbedingungen (Prüfdruck) standhalten müssen. Bei Kanalhaltungen außerhalb von Gebäuden entspricht das einem inneren Wasserdruck von 50 kPa bei der Druckprüfung.⁷⁴

⁷³ Vgl. § 4 Abs 1 AAEV 2016

⁷⁴ Vgl. [21] ÖNORM EN 476; 2011; S.16-17

6 Sanierungsrohre

Da bei den in Kapitel 7 genannten Sanierungsverfahren verschiedene Rohrmaterialien zum Einsatz kommen, werden diese im folgenden Abschnitt nach Werkstoffen getrennt betrachtet. Die häufigsten Anforderungen, die an Abwasserkanäle gestellt werden, sind eine hohe Langlebigkeit, ein optimiertes hydraulisches Verhalten, hohe chemische Widerstandsfähigkeit, ein gutes Abriebverhalten, hohe Umweltfreundlichkeit und die Dichtheit gegenüber inneren und äußeren Wasserdruck.⁷⁵ Die Materialauswahl wird maßgeblich von diesen Anforderungen, sowie wirtschaftlichen Betrachtungen beeinflusst.

Außerdem wird in der ÖNORM B2503 ausgeführt: „Für Kanalanlagen [...] nur solche Werkstoffe verwendet werden [dürfen, d. Verf.], die gegen die zu erwartenden physikalischen und chemischen Einwirkungen genügend widerstandsfähig sind und die Herstellung dauerhaft wasserdichter Kanäle ermöglichen“⁷⁶.

Eine Unterscheidung in Strang-, Lang- und Kurzrohre wird nur durch die mögliche Einbaulänge getroffen. Die Auswahl ist meist durch die räumlichen Begebenheiten der Baugrube bzw. des Schachtes vorgegeben. Außerdem sind je nach Material nur spezifische Längeneinheiten lieferbar, die beim jeweiligen Hersteller der Rohre zu erfragen sind.

In Tabelle 6.1 werden alle in den folgenden Abschnitten besprochenen Rohrmaterialien in tabellarischer Form dargestellt und miteinander verglichen. Die Daten hierfür stammen aus den Abschnitten 6.1 bis 6.4.

	Material	Querschnitt	Verbindung	Rohrlängen	Chemische Beständigkeit
Kunststoff	PE-HD	Kreis	Heizelement bzw. Steckverbindung	Kurz-, Lang- und Strangrohre	hoch
	PP	Kreis	Steckverbindung	Kurz- und Langrohre	sehr hoch
	PVC-U	Kreis	Steckverbindung	Kurzrohre	mittel
	GFK	Kreis / Ei	Steckverbindung bzw. Kleben	Kurzrohre	mittel
	Duktile Gussrohre	Kreis	Steckverbindung (Druck und Zug)	Kurzrohre	Abhängig von Innenauskleidung
	Beton, Stahlbeton	Kreis	Steckverbindung	Kurzrohre	hoch
	Stahlfaserbeton	Kreis / Ei	Steckverbindung	Kurzrohre	hoch
	Polymerbeton	Kreis / Ei	Steckverbindung	Kurzrohre	sehr hoch

Tabelle 6.1: Rohrmaterialien zur Anwendung bei Sanierungsverfahren

⁷⁵ Vgl. [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S.32

⁷⁶ [19] ÖNORM B 2503; 2012; S.11

6.1 Kunststoffrohre

Kunststoffe sind aufgrund der guten chemischen Einstellbarkeit ihrer Eigenschaften sehr gut für den Abwasserbereich geeignet. Vor allem die hohe Umweltverträglichkeit macht die Kunststoffrohre zu einem nachhaltigen Produkt in der Kanalsanierung. Die am häufigsten eingesetzten Werkstoffe sind Hartpolyethylen, Polypropylen und weichmacherfreies Polyvinylchlorid. Zusätzlich zu diesen werden im folgenden Abschnitt auch glasfaserverstärkte Kunststoffrohre behandelt. Sofern nicht anders angegeben entstammen die folgenden Inhalte aus Rameil⁷⁷.

6.1.1 Hartpolyethylen (PE-HD)

PE-HD-Rohre die als Abwasserrohre eingesetzt sind, werden meist aus PE-HD 100 oder PE-HD 80 hergestellt. Die Zahlen in den Produktbezeichnungen sind die Klassifizierungszahlen nach DIN EN 12162, die das zehnfache der erforderlichen Mindestzugfestigkeit (10 bzw. 8 N/mm²) wiedergeben. Außerdem gibt es bereits weiterentwickelte Rohre (mit dem Zusatz „RC“ in der Produktbezeichnung) mit einem erhöhten Widerstand gegen Rissfortpflanzungen und Punktbelastungen. Rohre aus Polyethylen sind entweder durch Heizelement-Stumpfschweißverfahren zu verbinden, oder wenn vorhanden, durch die werkseitige Steckverbindung mit integrierten Dichtungslippen.

Die wichtigsten Vorteile von PE-HD-Rohren sind das geringe spezifische Gewicht, hohe Flexibilität, gute Korrosions- und Chemikalienbeständigkeit, hohe Abriebfestigkeit, gute Alterungs- und Temperaturbeständigkeit und die Möglichkeit der stoffschlüssigen, zugfesten Verbindung durch Schweißen. *„Der Werkstoff ist selbst bei Frost schlagunempfindlich und die hohe Verformbarkeit bewirkt selbst bei hoher statischer Überbelastung, wie etwa durch Bodensenkungen, dass keine Risse oder Brüche entstehen“*⁷⁸. Die Rohre sind sowohl als Kurz-, Lang- und Strangrohre auf dem Markt erhältlich. Strangrohre können bis DN 180 in Längen von mehreren hundert Metern auf Trommeln aufgerollt werden.

Beim Einsatz als Entwässerungskanal sind vor allem die hohe chemische Beständigkeit und die geringen Wandreibungsverluste von Vorteil. Bei verschweißten Verbindungen sind Einwurzelungen nicht möglich.

Da PE-HD lediglich aus Kohlen- und Wasserstoff besteht, ist es im Allgemeinen ein sehr umweltfreundlicher Stoff. Herstellung und Verarbeitung sind sehr emissionsarm und die eingebrachte Energie kann zu einem sehr großen Teil bei der Verwertung wiedergewonnen werden.

⁷⁷ [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.146-166

⁷⁸ [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S.39

Durch das geringe Gewicht wird der Energieaufwand beim Einbau auf der Baustelle und für den Transport minimiert.⁷⁹

6.1.2 Polypropylen (PP)

Für PP-Rohre im Abwasserbereich wird meist PP-HM verwendet, da es einen höheren E-Modul aufweist als konventionelles Polypropylen. Im Vergleich zu Polyethylen können PP-Rohre die gleichen Eigenschaften aufweisen, sie sind jedoch durch den erhöhten E-Modul um einiges stabiler und beständiger gegen Korrosion und chemische Angriffe.

Durch die höhere Steifigkeit können keine Strangrohre angeboten werden. Die Kurz- und Langrohre sind mit integrierten Steckmuffen erhältlich, die je nach Ausführungsvariante nur auf Druck oder auf Druck und Zug (mit Zugsicherung) belastbar sind.

Die umweltrelevanten Eigenschaften unterscheiden sich nicht von den Eigenschaften der PE-HD-Rohre (siehe Abschnitt 6.1.1).

6.1.3 Polyvinylchlorid (PVC-U)

Rohre aus Polyvinylchlorid mit dem Zusatz „U“ sind schlagfest, bis zu einem gewissen Grad biegsam, weichmacherfrei und können sich dem alten Trassenverlauf gut anpassen. Sie sind ebenfalls gegen die meisten chemischen Verbindungen beständig, außer gegenüber Estern, Ketonen, aromatischen und chlorierten Kohlenwasserstoffen. Durch den Chloranteil sind PVC-U-Rohre schwerentflammbar, d.h. nach Entfernen der Zündquelle erlischt die Flamme sofort. Die Herstellung und Verarbeitung von PVC-U-Rohren ist sehr emissionsarm und die eingebrachte Energie kann zu einem sehr großen Teil bei der Verwertung wiedergewonnen werden. Durch das geringe Gewicht wird der Energieaufwand beim Einbau auf der Baustelle und für den Transport minimiert.⁸⁰

Wie die vorherigen Kunststoffrohre sind PVC-U-Rohre durch ihre chemischen Eigenschaften für den Einsatz als Abwasserrohre gut geeignet. Sie sind allerdings nur als Kurzrohre mit Muffenverbindung oder Steckverbindung (größere Wanddicken) und doppelter Lippendichtung erhältlich.

6.1.4 Glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK)

Der Werkstoff GFK kann in der Sanierung von Abwasserkanälen sehr vielfältig eingesetzt werden. Eine direkte Anbringung an der jeweiligen Fehlstelle durch vorgefertigte Glasfasermatten mit zugehörigem Polyesterharz ist genauso möglich, wie bereits im Werk vorgefertigte GFK-

⁷⁹ Vgl. [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S.39

⁸⁰ Vgl. [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S.35

Rohre. Wird ungesättigtes Polyesterharz verwendet, spricht man im Allgemeinen vom Werkstoff GF-UP.⁸¹

Vorgefertigte Rohre können als kreisrunde oder eiförmige Querschnitte im Wickel- bzw. Schleuderverfahren hergestellt werden. Rohre aus glasfaserverstärktem Kunststoff haben ähnliche Vorteile wie die übrigen Kunststoffrohre. Vor allem aber das geringe Gewicht bei großen Querschnitten und die hohe Flexibilität bei der Anpassung an die bestehenden Kanalrohre wirken sich positiv auf die Verlegeleistung bei Relining aus.⁸²

Die Herstellung und Verarbeitung von GFK ist sehr emissionsarm und die eingebrachte Energie kann zu einem sehr großen Teil bei der Wiederverwertung, durch Verwendung der zermahlenden Abfallstoffe bei der Herstellung, wiedergewonnen werden. Durch das geringe Gewicht wird der Energieaufwand beim Einbau auf der Baustelle und für den Transport minimiert.⁸³

6.2 Duktile Gussrohre

Duktile Gussrohre mit entsprechenden Verbindungen können sehr hohe Zugkräfte aufnehmen, wodurch bei den grabenlosen Verfahren der Abstand des Start- und Zielschachtes vergrößert werden kann. Dies ist besonders bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gegenüber konventionellen Bauweisen von Vorteil. Um die Gussrohre vor äußeren Einwirkungen beim Einbau und vor Langzeiteinwirkungen (Korrosion) beim Betrieb zu schützen, werden sie auf der Außen- und Innenfläche mit Zementmörtel beschichtet (siehe Abbildung 6.1).⁸⁴

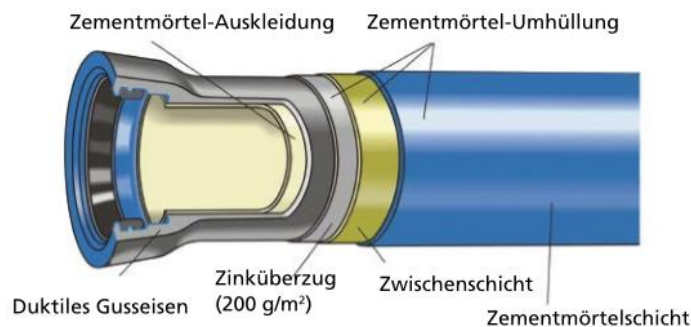


Abbildung 6.1: Duktiler Gussrohr mit Innen- und Außenschutz⁸⁵

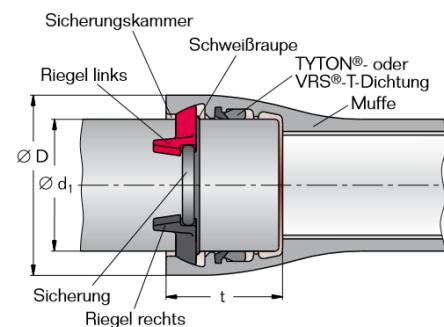


Abbildung 6.2: Längskraftschlüssige Muffenverbindung System BLS⁸⁶

⁸¹ Vgl. [11] Gondro; Koch: Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung; 1995; S.232-239

⁸² Vgl. Homepage Hobas: Drucklose Rohrsystem PN1; abgerufen am 11.08.2016

⁸³ Vgl. [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S.46

⁸⁴ Vgl. Homepage Duktus: Grabenlose Einbauverfahren mit duktilen Gussrohren; abgerufen am 11.08.2016; S.19-25

⁸⁵ Fachgemeinschaft Guss-Rohre: Guss-Rohrsysteme; abgerufen am 11.08.2016

⁸⁶ Homepage Duktus: BLS/VRS-T Schub- und Zugsicherung Folder; abgerufen am 11.08.2016

Je nach Anwendungsfall werden für die Innenbeschichtung unterschiedliche Zementauskleidungen gewählt. Für den Abwasserbereich wird im Allgemeinen ein Tonerdeschmelzzement mit sehr hoher Resistenz gegen Ammonium eingesetzt. Die Außenumhüllung der Rohre muss vor allem den Belastungen bei Transport und Einbau standhalten. Vor der Zementmörtel-Umhüllung werden die Rohre mit einem Zinküberzug versehen, der bei eventuellen Verletzungen der Hülle einen noch ausreichenden Korrosionsschutz liefern soll.⁸⁷

Die Verbindung der Rohre erfolgt mit längskraftschlüssigen Muffenverbindungen, die die Kraft vor allem über Formschluss übertragen. Meist werden hierfür speziell angefertigte Formteile (Druckriegel) von außen in die Muffenverbindung eingesetzt, wodurch die Übertragung der Zugkräfte auf die Schweißraupe erfolgt (siehe Abbildung 6.2).⁸⁸

6.3 Beton, Stahlbeton und Stahlfaserbeton

Zementgebundene Rohre haben eine sehr hohe Lebensdauer und können ebenfalls in unterschiedlichen Querschnitten angeboten werden. Für den grabenlosen Leitungsbau gibt es spezielle Vortriebsrohre, die sich vor allem durch die Verbindungsstellen von den üblichen Rohren unterscheiden. Die Rohrverbindung wird durch einen Stahlführungsring mit eingebauter Keilgleitdichtung sichergestellt (siehe Abbildung 6.3).⁸⁹ Alle Inhalte in diesem Abschnitt wurden von der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre⁹⁰ übernommen.

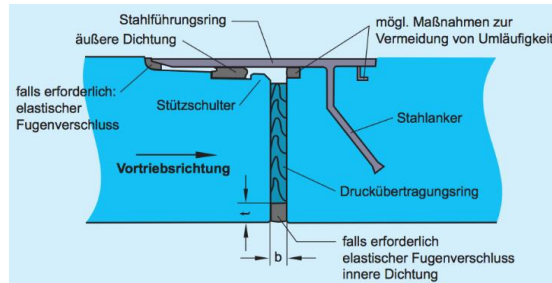


Abbildung 6.3: Rohrverbindung für Betonvortriebsrohre⁹¹

Es gibt drei verschiedene Ausführungsvarianten, die sich nur nach Menge und Art der Zugabe von Zusatzstoffen, wie Bewehrungskörben bzw. Stahlfasern, unterscheiden:

- Betonrohre ohne Stahlbewehrung,
- Stahlbetonrohre und
- Zementgebundene Rohre mit Stahlfasern.

⁸⁷ Vgl. Homepage Duktus: Grabenlose Einbauverfahren mit duktilen Gussrohren; abgerufen am 11.08.2016; S.19-25

⁸⁸ Vgl. Homepage Duktus: Grabenlose Einbauverfahren mit duktilen Gussrohren; abgerufen am 11.08.2016; S.19-25

⁸⁹ Vgl. [10] Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre: Technisches Handbuch; 2010; S.32-40

⁹⁰ Vgl. [10] Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre: Technisches Handbuch; 2010; S.32-58

⁹¹ [10] Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre: Technisches Handbuch; 2010; S.32

Betonrohre ohne Stahlbewehrung und ohne Stahlfasern werden im unbemannten Vortrieb bis Nennweiten von DN 1000 verwendet.

Stahlbetonrohre sind durch die Stahlbewehrung vor allem für Verfahren geeignet in denen mit hohen Lastaufnahmen zu rechnen ist. Hierzu zählen sehr lange Vortriebsstrecken, planmäßige Kurvenfahrten und Vortriebe unter Druckluft. Es können Nennweiten bis DN 4000 hergestellt werden.

Zementgebundene Rohre mit zusätzlichen Stahlfasern haben ähnliche Eigenschaften wie Stahlbetonrohre, werden aber grundsätzlich für nicht runde, z.B. eiförmige, Querschnitte verwendet.

Generell sind Abwasserrohre aus Beton, Stahlbeton oder Stahlfaserbeton sehr widerstandsfähig gegen chemische mäßig angreifende Umgebungen, tragfähig, abriebfest und dicht gegen inneren und äußeren Wasserdruck.

6.4 Polymerbeton

Polymerbetonrohre haben ähnliche Eigenschaften wie die zementgebundenen Rohre, sind aber durch das Kunstharz, das den Zement ersetzt, wesentlich korrosionsbeständiger.⁹² Außerdem können durch den sehr starken Verbund von Harz und Zuschlagstoffen hohe Druck- und Biegezugspannungen bei geringen Wanddicken aufgenommen werden. Dadurch entstehen sehr widerstandsfähige Rohre mit geringem Rohrgewicht. Durch das Kunstharz sind die Rohre widerstandsfähiger gegen chemische Beanspruchungen als zementgebundene Rohre.⁹³

⁹² Vgl. [33] Wossog: Handbuch Rohrleitungsbau. 1. Planung, Herstellung, Errichtung; 2008; S.325

⁹³ Vgl. [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.177

7 Sanierungsverfahren

Unter Kanalsanierung werden *„Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen“*⁹⁴ verstanden.

Die Sanierungsverfahren können in drei Kategorien aufgeteilt werden:⁹⁵

1) Renovierung:

„Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz.“

2) Erneuerung:

„Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen.“

3) Reparatur:

„Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden.“

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Bauverfahren in den drei Kategorien für Renovierung, Erneuerung und Reparatur näher erläutert. Vor der Sanierung des Kanalbauwerkes muss der ungestörte Betrieb während der Bauarbeiten sichergestellt werden. Deshalb werden zuerst in Abschnitt 7.1 die Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebes beschrieben.

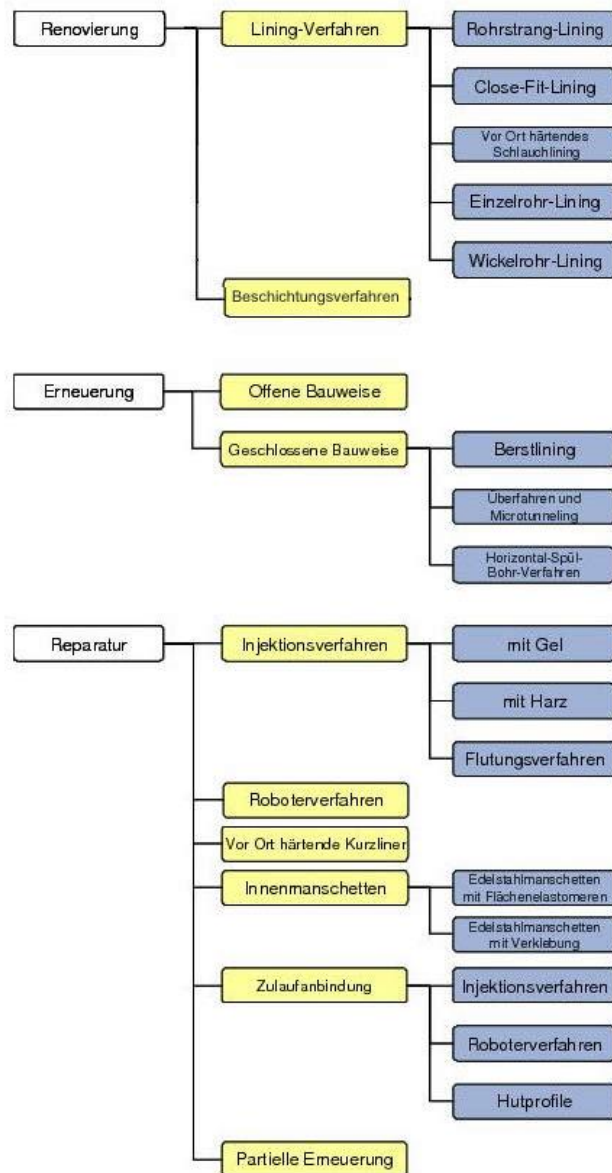
Abbildung 7.1 soll einen Überblick über alle Verfahren geben und die genaue Zuordnung zu den einzelnen Kategorien vereinfachen. Die Einteilung der Sanierungsverfahren in die Kategorien wurde aus den Arbeitshilfen Abwasser⁹⁶ übernommen. Es wäre auch eine leicht andere Einteilung in die drei Kategorien (siehe z.B. ÖGL Homepage⁹⁷) möglich.

⁹⁴ [7] DIN EN 752; 2008; S.11

⁹⁵ [7] DIN EN 752; 2008; S.7-10

⁹⁶ Vgl. Homepage BMVBS; <http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/A6-2Kanaele-nichtbegebar.html>; abgerufen am 15.08.2016

⁹⁷ Vgl. Homepage ÖGL; <http://www.grabenlos.at/de/grabenlose-technologie.html>; abgerufen am 16.02.2017

Abbildung 7.1: Überblick über die Verfahrensguppen⁹⁸

7.1 Aufrechterhaltung der Abwasservorflut

Bei der Sanierung von Kanalhaltungen ist die Aufrechterhaltung der Abwasservorflut ein entscheidender Schritt, um die Funktionsfähigkeit des Kanalsystems so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Bei großen Mischwasserkanälen, die maßgeblich von der Regenaktivität im Einzugsbereich des Kanals beeinflusst werden, ist die Auswahl des verwendeten Systems entscheidend, um Überflutungen oberhalb des Sanierungsabschnittes zu vermeiden.⁹⁹ Es bie-

⁹⁸ Adaptiert nach Homepage BMVBS; <http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/A6-2Kanaele-nicht-begehbar.html>; abgerufen am 16.02.2017

⁹⁹ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.174

ten sich je nach Menge des anfallenden Abwassers die in den Abschnitten 7.1.1 - 7.1.3 beschriebenen Möglichkeiten an. Alle Ausführungen dieses Abschnittes wurden aus Stein¹⁰⁰ entnommen.

7.1.1 Unterbrechung des Abwasserabflusses

Diese Möglichkeit wird hauptsächlich für kurze Reparatur-, Reinigungs- oder Inspektionsarbeiten verwendet. Die Kanalhaltung wird oberhalb des Sanierungsabschnittes bzw. der zu inspizierenden Stelle, mithilfe von Absperrblasen abgeschlossen und das Abwasser somit aufgestaut. Es muss auf alle Fälle sichergestellt werden, dass der so entstehende Rückstau die zulässige Höhenebene (ein Eindringen des Abwassers durch Hauskanalanschlüsse in die angrenzenden Gebäude muss auf jeden Fall ausgeschlossen werden) nicht überschreitet. Falls vor Beginn der Sanierungsmaßnahme klar ist, dass der Rückstau zu groß wird, kann durch den Einsatz von Saugfahrzeugen der Rückstauraum erweitert werden. Diese saugen das Abwasser ab, transportieren es zum nächsten, unterhalb der Sanierungsstelle gelegenen, Schacht und leiten es dort wieder ein.

7.1.2 Aufrechterhaltung eines teilweisen Abflusses

Die Aufrechterhaltung eines teilweisen Abflusses ist bei einigen Sanierungssystemen bereits integriert, wie etwa beim Einsatz von Injektionspackern (siehe Abschnitt 7.4.3.1), die mit mittig angeordnetem Durchlass ausgeführt sind und so einen Abfluss von 25 - 50 % des unbeeinträchtigten Abflusses zulassen. Ein weiteres System, bei dem ein teilweiser Abfluss des Abwassers ermöglicht wird, ist das Pipe-Eating-Verfahren. Hier wird, wie in Abschnitt 7.3.1 erläutert, ein Dichtungskörper am Pilotkopf und eine daran angeschlossene Rohrleitung, zur Durchführung des Abwassers durch die Vortriebsmaschine genutzt.

7.1.3 Abwasserumleitung außerhalb der Kanalhaltung

Für den Fall, dass die Kanalhaltung für die Sanierungsmaßnahme komplett stillgelegt werden muss, kann das Abwasser durch Pumpen oder Heben durch eine oberirdisch verlegte Rohrleitung bis zum ersten intakten Schacht nach der Sanierungsstelle geleitet werden.

Bei der Anwendung von **Pumpen** wird die Vorflut mithilfe von elektrischer Energie in die Ersatzleitung gebracht und fließt von dort unter Druck zum Kanalunterlauf. Besonderes Augenmerk muss auf die Anbindung der Hauskanäle gelegt werden. Es wird zuerst ein provisorischer Schacht erstellt, der mit einem kleinen Sammelbehälter und einer Fäkalienpumpe ausgestattet wird (siehe Abbildung 7.3). Anschließend wird der Hauskanal an die Fäkalienhebeanlage angeschlossen und die Rohrverbindung zur oberirdischen Ersatzleitung hergestellt. Bei kleineren Stromausfällen kann der Sammelbehälter die Hausanschlussvorflut kurzweilig aufnehmen.

¹⁰⁰ [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.705-710

Da diese Pumpwerke einen hohen Stromverbrauch haben und eine intensive Wartung erfordern wird seit Jahren der **Heber** erfolgreich eingesetzt. Der Heber ist eine gebogene Röhre, mit der Flüssigkeiten über ein höheres Niveau in ein tiefer gelegenes Niveau gefördert werden können. Die Flüssigkeit muss nur einmal angesaugt werden und fließt dann durch das Rohr, solange sich das Eingangsniveau über dem Austrittsniveau befindet. Da in der Praxis nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich Luft im Rohr sammelt und den Abfluss unterbricht, werden im Hochpunkt der Leitung mehrere Vakuumanlagen angeschlossen, die im Falle einer Gasansammlung automatisch anspringen und den Abfluss am Laufen halten (siehe Abbildung 7.2).

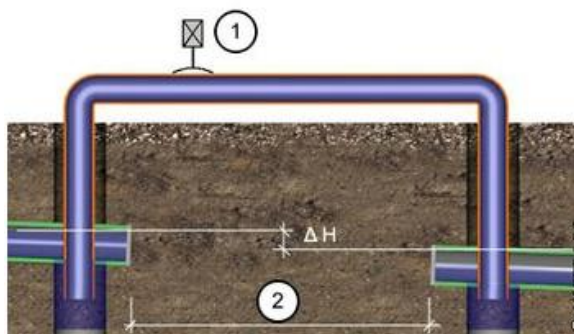


Abbildung 7.2: Prinzip einer Hebeanlage mit Vakuumpumpe (1), Mindestabstand für geforderten Höhenunterschied ΔH (2)



Abbildung 7.3: Fäkalienhebeanlage mit Sammelbehälter und Pumpe

7.2 Renovierungsverfahren

Im Allgemeinen werden lt. DIN EN 752 unter Renovierung solche Maßnahmen verstanden, die die Funktionsfähigkeit des Kanalnetzes, unter teilweiser oder vollständiger Einbeziehung der vorhandenen Bausubstanz, verbessern sollen. Grundsätzlich werden die einzelnen Verfahren in Auskleidungs- und die Beschichtungsverfahren unterteilt.

7.2.1 Auskleidungsverfahren (Reliningverfahren)

Eine Auskleidung des alten Kanalrohres mit einem neuen Rohr bzw. einem Inliner bringt eine Querschnittsminderung mit sich. Daher muss sichergestellt werden, dass das neue Kanalrohr die Abwassermengen nach der Sanierung problemlos aufnehmen kann. Außerdem ist ein Relining bei schweren Bestandsschäden, wie Einsturz, große Lageabweichungen oder bei Hindernissen im Querschnitt, nur dann einsetzbar, wenn diese Schäden vorher beseitigt werden bzw. die auftretenden Folgen, z.B. Querschnittsverengungen, in Kauf genommen werden können. Grundsätzlich muss damit gerechnet werden, dass während der gesamten Bauzeit die Leistungsfähigkeit des betroffenen Kanalabschnittes stark eingeschränkt bzw. auf null reduziert wird. Es müssen Maßnahmen zur Um- bzw. Ableitung des Abwassers getroffen werden (siehe Abschnitt 7.1). Bei allen Verfahren sollte vor dem Einbau der neuen Rohrleitung das

alte Kanalrohr mittels Hochdruck-Spülung gereinigt, sowie eine Kalibrierung vorgenommen werden, um ein Hängenbleiben des Inliners beim Einbau zu vermeiden.¹⁰¹

Nach Wagner¹⁰² werden folgende Verfahren unterschieden:

- 1) Rohrrelining mit Rohrstrang, Langrohr oder Kurzrohr:
„Mit Rohrrelining wird das Einziehen oder Einschleiben von Rohren in vorhandene Kanäle bezeichnet.“
- 2) Wickelrohrverfahren:
„Beim Wickelrohrrelining [entspricht dem Wickelrohrverfahren, Anm. d. Verf.] wird aus einem T-Profil-Band vor Ort ein [...] Spiralrohr gewickelt und gleichzeitig in den vorhandenen Kanal eingebracht.“
- 3) Schlauchrelining:
„Ein Schlauch als Trägermaterial [...] wird mit Reaktionsharz getränkt und dann [...] mit Wasser- oder Luftdruck in den Kanal umgestülpt oder mit Hilfe einer Winde in den Kanal gezogen.“
- 4) Close-Fit-Verfahren:
„Auskleidung mit vorgefertigten, auf der Baustelle zu verformenden Rohren (ohne Ringraum).“¹⁰³

7.2.1.1 Rohrrelining mit Rohrstrang, Langrohr oder Kurzrohr

Beim **Rohrstrang- und Langrohr-Relining** werden Rohre auf Trommeln oder als Strangware geliefert und auf der Baustelle mittels Seilwinde und einer entsprechend langen Einziehaugrube in den zu sanierenden Kanal eingesetzt (siehe Abbildung 7.4). Zwischen der neuen Auskleidung und dem Altrohr verbleibt ein Ringraum, der nach dem Einziehvorgang mittels Leichtbeton („Dämmer“) verfüllt wird. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Rohrelementen werden vorzugsweise außerhalb der Baugrube zugfest mittels Heizelementstumpfschweißverfahren hergestellt.¹⁰⁴

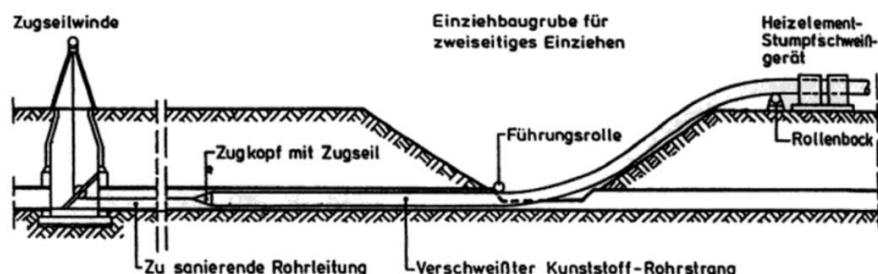


Abbildung 7.4: Schemadarstellung Rohrstrang- bzw. Langrohr-Relining¹⁰⁵

¹⁰¹ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.94-105

¹⁰² Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.94-95

¹⁰³ [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.134

¹⁰⁴ Vgl. [15] Lenz: Renovierung von Abwasserkanälen durch Lining; 2000; S.59-62

¹⁰⁵ [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.103

Als Material der Inliner wird hauptsächlich PE-HD oder PP verwendet. Diese Kunststoffe zeichnen sich vor allem durch die guten physikalischen und chemischen Eigenschaften, sowie die niedrige Wandrauigkeit aus. In welcher Länge die Kunststoffrohre auf der Baustelle eingesetzt werden, hängt vor allem vom Durchmesser ab. Bis zu DN 160 können lange Rohrstränge, auf Trommeln aufgewickelt, geliefert werden. Bei größeren Durchmessern werden die Rohre als einzelne Langrohre bis zu 12 m auf die Baustelle gebracht und vor Ort mittels einem Heizelementstumpfschweißgerät verbunden. Ein grundlegendes Problem bei dieser Schweißmethode ist jedoch, dass nach dem Vorgang störende Schweißwulste bestehen bleiben. Vor allem die Entfernung dieser, im Inneren des Rohres, ist bei kleinen, nicht begehbaren Durchmessern eine schwierige Aufgabe.¹⁰⁶

Die Länge der benötigten Einziehbaugrube wird durch die Verlegetiefe der alten Leitung, sowie dem zulässigen Biegeradius des eingesetzten Relining-Rohres bestimmt. Als Faustformel für die Berechnung kann jedoch vereinfacht angenommen werden, dass die Länge der Grube ungefähr dem siebenfachen der Überdeckung des zu sanierenden Kanalrohres entspricht. Am Ende des Kanalabschnittes muss ein Schacht vorhanden sein, aus dem das Zugseil zu einer Winde geführt werden kann.¹⁰⁷

In der Tabelle 7.1 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Rohrstrang-/Langrohr-Relining dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freispiegel- und Druckleitungen ▪ Vollwandrohre: Kreisprofile von DN 300 bis DN 800 und Längen bis 700 m; gerippte Rohre: Kreisprofile von DN 150 bis DN 300 und Längen bis 100 m ▪ Unabhängig von Werkstoff ▪ Abmessungen der Einziehbaugrube ist abhängig von Nennweite und Tiefenlage ▪ Keine Grundwasserinfiltration zulässig ▪ Lageabweichungsschäden (außer axial) und Einsturz können nicht saniert werden 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kurze Bauzeit ▪ Keine Steckverbindungen ▪ Hydraulisch glatte Oberfläche ▪ Sehr widerstandsfähig gegen mechanische und chemische Beanspruchung ▪ Schächte können durchfahren werden ▪ Werkmäßig hergestellte Rohre haben definierte Materialeigenschaften ▪ Sehr gute Lebensdauer 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhebliche Querschnittsreduzierung ▪ Erhöhter Aufwand für Erstellung der Einziehbaugrube ▪ Hoher Platzbedarf im Bereich der Startgrube ▪ Aufwändige Wiederanbindung von Anschlussleitungen (vorheriges Einmessen erforderlich)

Tabelle 7.1: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Rohrstrang- und Langrohr-Relining¹⁰⁸

¹⁰⁶ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.102-107

¹⁰⁷ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.102-107

¹⁰⁸ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.22.html; abgerufen am 15.08.2016

Das **Kurzrohr-Relining** wird vor allem dann eingesetzt, wenn der Platz für eine ausgedehnte Startbaugrube, wie sie beim Rohrstrang-Relining benötigt wird, nicht vorhanden ist. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die Rohrlängen an die lichten Weiten der vorhandenen Kanalschächte angepasst werden können. Es gibt zwei Einbauvarianten, die sich nur geringfügig unterscheiden. Bei der ersten Variante werden die Rohre vom Startschacht aus mit einem Hydraulikstempel zusammengefügt und vorwärts geschoben. Hier sind reine Steckverbindungen ausreichend. Bei der zweiten Variante werden die Rohre mithilfe eines Seiles eingezogen. Hierfür müssen zugfeste Rohrverbindungen vorhanden sein. Die eingesetzten Materialien können neben PE-HD, auch Rohre aus PVC-U oder GFK sein.¹⁰⁹ Soll der Ringraum so klein wie möglich gehalten werden wird in der Regel das Tight-in-Pipe-Verfahren verwendet, bei dem kreisförmige Kurzrohre (vorrangig aus PP) durch eine Zuglafette in das Altrohr eingeschoben werden. Dabei können leichte bis mittlere Deformationen und Versätze ausgeglichen werden, wobei das Neurohr statisch selbsttragend ist, und somit nicht auf die Substanz des Altrohres angewiesen ist.¹¹⁰

In der Tabelle 7.2 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Kurzrohr-Relining dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei gravierenden Standsicherheitsproblemen ▪ Kreisprofile DN 300 bis < DN 800, bei Tight-in-Pipe: DN 150 bis DN 600 ▪ Einzugsverfahren: Rohrverbindungen müssen Zugkräfte aufnehmen können ▪ Einschubverfahren: reine Steckverbindung ausreichend ▪ Bei starker Grundwasserinfiltration müssen Vorabdichtungen vorgenommen werden ▪ Keine Zulaufanbindung im Bereich der Steckverbindungen (Verlegeplan notwendig) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schächte können durchfahren werden ▪ Sehr widerstandsfähig gegen mechanische und chemische Beanspruchung ▪ Werksmäßig hergestellte Rohre haben definierte Materialeigenschaften ▪ Sehr gutes Zeitstandverhalten ▪ Standsicherheit kann auch bei erheblichen Schäden wiederhergestellt werden (mit Ringraum + Ringraumverfüllung) ▪ Keine Baugrube notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhebliche Querschnittsreduzierung ▪ Lageabweichungsschäden und Rohrbruch können nicht saniert werden ▪ Hohe Anzahl an Rohrverbindungen ▪ Aufwändige Wiederanbindung von Anschlussleitungen (vorheriges Einmessen erforderlich)

Tabelle 7.2: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Kurzrohr-Relining¹¹¹

¹⁰⁹ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.102-107

¹¹⁰ Vgl. [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S.205-207

¹¹¹ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.25.html; abgerufen am 15.08.2016

Bei allen Rohrreliningverfahren bei denen ein Ringraum verbleibt, muss dieser im Nachhinein verfüllt werden, sowie die schon vorher vorhandenen Einmündungen von z.B. Hauskanälen wieder geöffnet werden.¹¹²

7.2.1.2 Wickelrohrverfahren

Beim Wickelrohrverfahren wird ein in sich selbsttragendes Rohr, d.h. das Rohr ist sofort stabil und muss nicht durch gesonderte Maßnahmen (zusätzliche Aussteifung) unterstützt werden, unmittelbar vor dem Einbau vor Ort hergestellt. Der so erstellte Inliner ist sofort belastbar und funktionsfähig. Man unterscheidet gegenwärtig zwischen zwei Verfahrenstypen, das Herstellen der Auskleidung mit und ohne Ringraum.¹¹³

Zum ersten Mal eingesetzt wurde das Wickelrohrverfahren im Jahre 1984 als RIB-LOC-Verfahren in Australien. In Europa konnte sich das System nur schleppend durchsetzen, da sich ab 1987 Bedenken wegen des Einsatzes von PVC durchsetzen konnten. Besonders das giftige Chlorgas, das zur Herstellung des Kunststoffes notwendig ist und die im PVC enthaltenen Weichmacher, wurden als schlagkräftige Argumente gegen den Einsatz von Kunststoffrohren gebracht. Seit dem aber das weichmacherfreie PVC-U und andere Kunststoffe, wie z.B. PE, verwendet werden, gewann das Verfahren wieder an Bedeutung und wird seitdem sehr erfolgreich eingesetzt. Vor allem die Dichtheit der Wickelrohre wurde durch Langzeitbeobachtungen seit ca. 1990 immer wieder erfolgreich bewiesen.¹¹⁴

Ein Wickelrohr ist ein *„Rohr, hergestellt durch stetiges Wickeln und Zusammenfügen eines profilierten Kunststoff-Streifens oder eines profilierten Kunststoff-Streifens mit integriertem Verbindungsstreifen“*¹¹⁵. Als Werkstoff wird meistens weichmacherfreies PVC-U, aber auch immer öfter PE verwendet. Die Abmessungen (Wanddicke, Steghöhe und Stegabstand) werden maßgeblich von den durchzuführenden Nennweiten und statischen Erfordernissen geprägt. Es können kreisrunde, als auch eiförmige Profile hergestellt werden. Die Verbindung und Wasserundurchlässigkeit des Nut- und Federsystems wird durch einen Kleber auf Polymerbasis sichergestellt.¹¹⁶

¹¹² Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.102-107

¹¹³ Vgl. [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.90-92

¹¹⁴ Vgl. [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.90-92

¹¹⁵ [9] DIN EN ISO 11296-7; 2013; S.7

¹¹⁶ Vgl. [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.93

Zusätzlich zu den oben genannten Verfahrenstypen wird zwischen drei Einbauverfahren unterschieden:¹¹⁷

- 1) „Wickelrohrverfahren mit Ringraum und Wickelmaschine im Startschacht“,
- 2) „Wickelrohrverfahren ohne Ringraum und Wickelmaschine im Startschacht“ und
- 3) „Wickelrohrverfahren mit oder ohne Ringraum und selbstfahrender Wickelmaschine“.

Beim **ersten Verfahren** wird ein Wickelrohrprofil im Startschacht zu einem kreisrunden Rohr geformt, dessen Durchmesser kleiner ist als der bereits vorhandene Durchmesser des zu sanierenden Abschnittes. Wie groß der einzubauende Durchmesser ist, wird einerseits durch das noch vorhandene Lichtprofil und andererseits durch die hydraulischen Vorgaben beeinflusst. Das Wickelrohr wird kontinuierlich in den alten Kanal eingedreht bis der Zielschacht erreicht ist (siehe Abbildung 7.5). Danach wird der Inliner gegen Auftrieb gesichert und die Schachteinmündungen verschlossen. Der noch vorhandene Ringraum wird mit einem fließfähigen Leichtbeton („Dämmer“) verfüllt, um das neue Rohr im alten Rohrverlauf zu sichern, temperaturbedingte Längenänderungen sowie äußere Lasten gleichmäßig über die komplette Länge zu übertragen und um zu verhindern, dass Wasser und Boden im Ringraum den Zerfall des alten Kanalbauwerkes begünstigen. Während des gesamten Vorgangs kann eine Vorflut von 25 % des Rohrquerschnittes aufrechterhalten werden, was aber die spätere Ringraumverfüllung negativ beeinflusst und daher meist nicht empfohlen wird.¹¹⁸

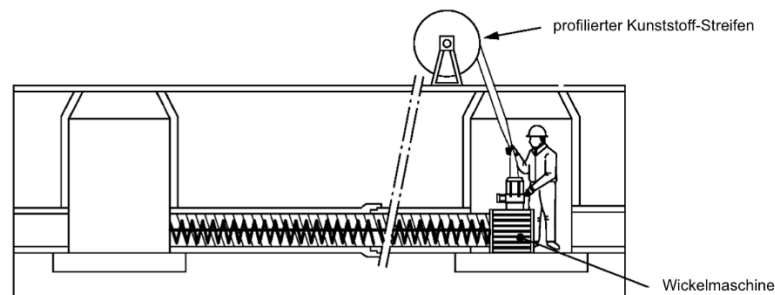


Abbildung 7.5: Wickelrohrverfahren mit Ringraum und Wickelmaschine im Startschacht¹¹⁹

Das **zweite Verfahren** basiert auf dem Grundgedanken der sogenannten Close-Fit-Verfahren, bei denen zwischen Inliner und alter Rohrleitung kein Ringraum verbleibt. Das Wickelrohr wird soweit aufgeweitet, bis es an der ursprünglichen Kanalinnenwand zu liegen kommt. Auf diese Weise muss kein Ringraum verfüllt werden und der hydraulische Querschnitt wird nur minimal verkleinert. Bis zum Eintreffen des Wickelrohres im Zielschacht unterscheidet sich dieses Verfahren nicht vom ersten Verfahren. In der zweiten Arbeitsphase, der Aufweitungphase, wird

¹¹⁷ [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.91

¹¹⁸ Vgl. [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.90-92

¹¹⁹ Adaptiert nach [9] DIN EN ISO 11296-7; 2013; S.14

der Inliner im Zielschacht verdrehsicher verankert und der Wickelvorgang solange weitergeführt, bis sich das Rohr komplett an die Kanalinnenwand angelegt hat (siehe Abbildung 7.6). Zeitgleich mit dem fortgeführten Wickelvorgang muss der Sicherungsdraht, der das Rohr in seinem vorherigen Querschnitt sichert, gezogen werden. Der Polymerkleber, der das Nut- und Federsystem zusammenhält, reagiert hier nur sehr langsam, um dem Aufweitvorgang genügend Zeit zu geben.¹²⁰

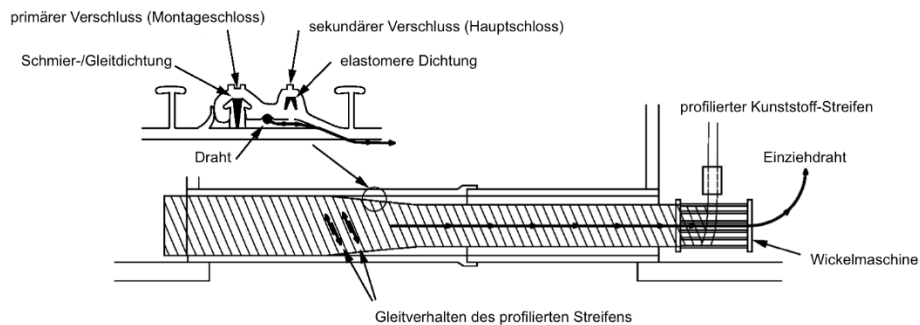


Abbildung 7.6: Wickelrohrverfahren ohne Ringraum und Wickelmaschine im Startschacht¹²¹

Das **dritte Einbauverfahren** unterscheidet sich zu den vorherigen dadurch, dass die Wickelmaschine nicht im Startschacht arbeitet, sondern selbstfahrend im Inneren des Rohres (siehe Abbildung 7.7). Das Wickelrohrprofil wird der Maschine zugeführt und der rotierende Wickelkopf drückt das Profil entweder direkt an die Kanalinnenwand, oder hält einen vorher definierten Abstand zum alten Rohr ein. Sofern ein Ringraum verbleibt, muss dieser wie im ersten Verfahren verfüllt werden.¹²²

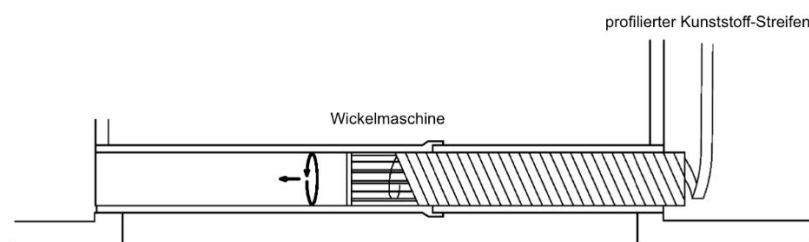


Abbildung 7.7: Wickelrohrverfahren mit selbstfahrender Wickelmaschine¹²³

Bei allen Einbauverfahren sind die vorher vorhandenen Einmündungen, von z.B. Hauskanälen, nach Fertigstellung des Wickelrohres und Erhärtung der eventuell vorhandenen Ringraumverfüllung zu öffnen und durch geeignete Maßnahmen an das Wickelrohr anzuschließen.¹²⁴

¹²⁰ Vgl. [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.90-92

¹²¹ Adaptiert nach [9] DIN EN ISO 11296-7; 2013; S.14

¹²² Vgl. [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.90-92

¹²³ Adaptiert nach [9] DIN EN ISO 11296-7; 2013; S.14

¹²⁴ Vgl. [27] Stein; Brauer: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren; 2005; S.90-92

In Tabelle 7.3 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Wickelrohrverfahren dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nur Freispiegelleitungen ▪ Bei Standsicherheitsproblemen ▪ I.d.R. Kreisprofile DN 250 bis < DN 800; auch andere Profile möglich ▪ Streckenlängen bis 200 m ▪ In Schächten und Bogenbereichen ▪ Einbau bei Abwasserabfluss (bis 25 % des Rohrquerschnittes) möglich (nicht bei Verdämmen des Ringraums) ▪ Grundwasserinfiltration nicht zulässig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibel einsetzbar ▪ Geringer Zeitaufwand ▪ Keine Baugrube erforderlich ▪ Geringe Querschnittsreduzierung (ohne Ringraum) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temporärer Schachtumbau für Wickelmaschine ▪ Querschnittsreduzierung (mit Ringraum) ▪ Aufwändige Wiederanbindung von Anschlussleitungen

Tabelle 7.3: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Wickelrohrverfahren¹²⁵

7.2.1.3 Close-Fit-Verfahren

Beim Close-Fit-Verfahren werden die Inliner-Rohre durch spezielle Verfahren im Durchmesser verkleinert und später wieder aufgeweitet. Somit kann das Rohr ohne Ringraum an das Altrohr angepasst werden. Das Verfahren nutzt das „Erinnerungsvermögen“ von PE-HD, welches das Bestreben hat, die aufgenommenen Spannung nach plastischer Verformung wieder umzukehren.¹²⁶ Durch diesen „Memory-Effekt“ können vorverformte Rohre durch definierte Temperatur- und Druckbedingungen wieder in ihren Ursprungszustand zurückverformt werden. Die Vorverformung der Rohre kann entweder werkseitig (Compact-Liner, U-Liner, Omega-Liner) oder direkt auf der Baustelle (Swagelining, Rolldown) erfolgen.¹²⁷

Die werkseitig hergestellten **Compact-, U- bzw. Omega-Liner** sind im verformten Zustand auf etwa 40 % des Ursprungsdurchmessers reduziert und auf Trommeln gewickelt (siehe Abbildung 7.8). Durch die starke Reduzierung sind sie sehr flexibel und können daher auch über vorhandene Kontrollschächte eingebaut werden. Eine Baugrube, wie bei der Swagelining oder dem Rolldownverfahren, ist nicht nötig. Die maximalen Einbaulängen werden maßgeblich vom einzubauenden Durchmesser bestimmt.¹²⁸ Nach dem Einziehen in das zu sanierende Rohr

¹²⁵ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.26.html; abgerufen am 15.08.2016

¹²⁶ Vgl. [11] Gondro; Koch: Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung; 1995; S.270

¹²⁷ Vgl. [32] Wolter; Dersch: Kunststoffe im Kanalbau; 2013; S.37-38

¹²⁸ Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.23.html; abgerufen am 21.08.2016

muss das vorverformte Rohr wieder in seine ursprüngliche Form gebracht werden. Dazu werden beide Enden des Rohres verschlossen und solange Heißdampf (bis zu 120°C) und Druckluft eingebracht, bis das Rohr seinen endgültigen Querschnitt einnimmt (siehe Abbildung 7.8). Es ist besonders darauf zu achten, dass das sich bildende Kondenswasser vollständig abgeleitet wird, um das Aufheizen der Rohrwandung nicht negativ zu beeinflussen.¹²⁹

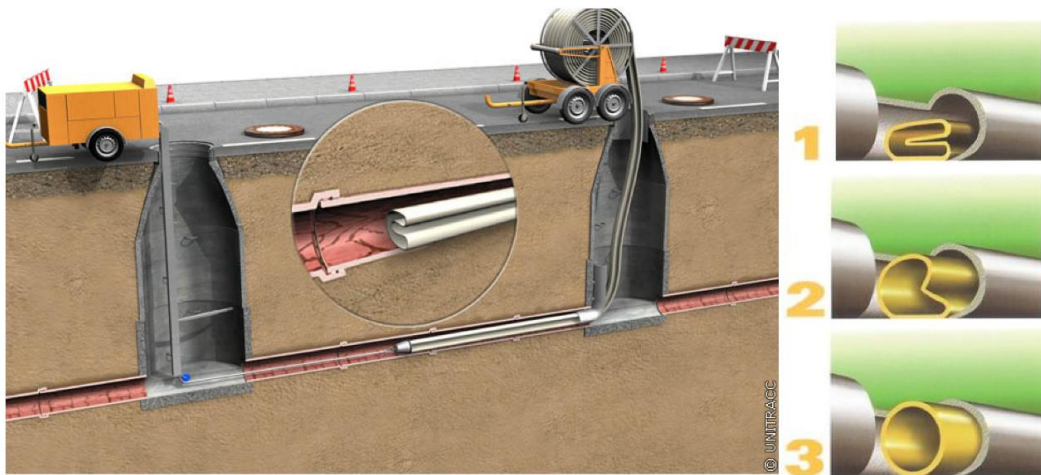


Abbildung 7.8: Compact-Liner Einbau (oben) und Aufweitung durch Heißdampf und Druck (unten)¹³⁰

Das **Swagelining- und Rolldownverfahren** gleicht in seiner Ausführung dem im Abschnitt 7.2.1.1 besprochenen Rohrstrang- bzw. Langrohrrelining. Jedoch muss vor dem Einbauvorgang das eigentlich zu große handelsübliche Rohr durch ein Verformungsgerät gezogen werden. Beim Swagelining wird die Verformung durch eine thermische Behandlung herbeigeführt. Der Rohrstrang wird durch das konische Swagelining-Gerät geführt, dass durch einen Propangasbrenner auf ca. 100°C erwärmt und dadurch der Durchmesser auf ca. 88 % des ursprünglichen Durchmessers reduziert wird (siehe Abbildung 7.9). Da sich die Verformung bei diesem Verfahren sehr schnell zurückbildet, muss das Einziehen ohne Unterbrechungen durchgeführt werden. Andernfalls besteht die Gefahr, dass sich das dann am Altrohr anliegende Rohr wegen der hohen Reibungskräfte nicht mehr verschieben lässt. Nach ca. 20 - 24 Stunden hat sich das Rohr eng und ohne Ringraum an das alte Rohr angelegt. Beim Rolldownverfahren wird der Rohrstrang durch zwei Walzenpaare, die um 90° versetzt sind, kalt verformt. Um den Rückstellvorgang einzuleiten, muss hier jedoch das Rohr durch einen Innendruck beaufschlagt werden. Die beiden Verfahren sind nur dann geeignet, wenn sich wie

¹²⁹ Vgl. [11] Gondro; Koch: Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung; 1995; S.275-277

¹³⁰ Homepage Unitracc; <http://www.unitracc.de/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/renovierung/auskleidungsverfahren/auskleidung-mit-vorgefertigten-rohren/rohrstrangverfahren/rohrstrangverfahren-ohne-ringraum/verformungsverfahren/verformungsverfahren-mit-pe-linern>; abgerufen am 24.08.2016

beim Rohrstrang- bzw. Langrohrrelining am Ort des Einbaus ausreichend Platz für eine Baugrube befindet.¹³¹

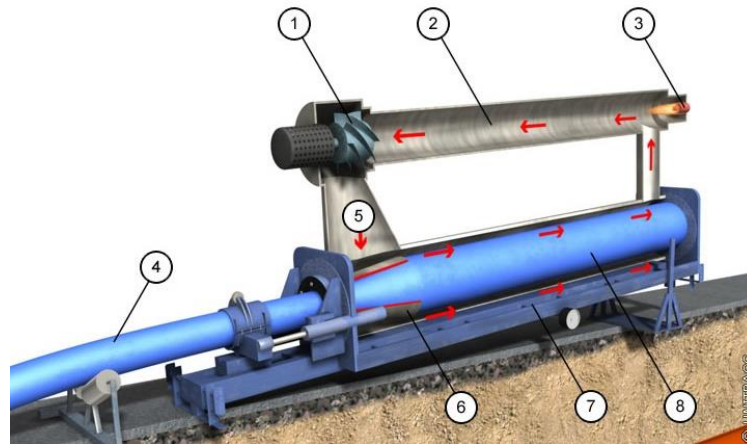


Abbildung 7.9: Swagelining-Gerät: Gebläse (1), Heizkammer (2), Gasbrenner (3), PE-HD-Rohr mit reduziertem Durchmesser (4), Heißluft (5), Konus (6), Rahmen (7), PE-HD Rohr (8)¹³²

In Tabelle 7.4 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Close-Fit-Verfahrens dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freispiegelkanäle und Druckleitungen ▪ Bei allen Rohrwerkstoffen ▪ Bei weitgehend intakter Rohroberfläche (keine starken Verschleiß- oder Korrosionserscheinungen) ▪ Starke Lageabweichungen nicht zulässig ▪ I.d.R. Kreisprofile DN 100 bis DN 450 ▪ Bis DN 450 keine Einziehgrube erforderlich (über Schacht einbaubar) ▪ Stellen mit hohe Grundwasserinfiltration sind vorher abzudichten ▪ Altrohrkalibrierung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Rohrverbindungen ▪ Kein verbleibender Ringraum ▪ Kurze Bauzeit ▪ Liner hydraulisch sehr glatt und sehr widerstandsfähig gegen aggressives Abwasser und mechanische Beanspruchung ▪ Schächte können durchfahren werden, wenn Gerinne nicht gekrümmt ist ▪ Geringe Querschnittsreduzierung ▪ Werkseitig hergestellte Rohre mit definierten Materialeigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faltenbildung bei nicht vollständiger Rückverformung ▪ Nicht geeignet für Schäden wie Lageabweichungen und Rohrbruch

Tabelle 7.4: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Close-Fit-Verfahren¹³³

¹³¹ Vgl. [11] Gondro; Koch: Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung; 1995; S.270-275

¹³² Homepage Unitracc; <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/renovation-en/lining-process-en/lining-with-prefabricated-pipes-en/sliplining-process-en/sliplining-process-without-annular-space-en/reduction-process-en/swagelining-process-en>; abgerufen am 21.08.2016

¹³³ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.23.html; abgerufen am 24.08.2016

7.2.1.4 Schlauchrelining

Generell wird beim Schlauchrelining ein mit Reaktionsharz getränkter Filz- oder Gewebeslauch in den zu sanierenden Kanalabschnitt eingebracht. Vor dem Einbau ist der Kanal jedenfalls zu reinigen und von Abflussbehinderungen zu befreien.¹³⁴

Es wird zwischen zwei verschiedenen Einbauverfahren beim Schlauchrelining unterschieden:

- 1) Inversionsverfahren (Synthesefaserfilz als Trägermaterial; Härtung mit Warmwasser oder Dampf) und
- 2) Einzugsverfahren (Glasfasermatten oder Synthesefaserfilz als Trägermaterial; Härtung mit UV-Licht, Dampf oder Warmwasser).¹³⁵

Beide Verfahren unterscheiden sich nur durch die Art der Einbringung. Während beim **Inversionsverfahren** der Schlauch mittels Wasser- oder Dampfdruck in das alte Rohr eingestülpt, an die Rohrwand gepresst und danach durch Wärmezufuhr ausgehärtet wird (siehe Abbildung 7.10), wird beim **Einzugsverfahren** der Schlauch zuerst flach in das Rohr gezogen und erst später mit Luftdruck oder Wasser, mithilfe des Kaliberschlauchs, aufgepumpt (siehe Abbildung 7.11). Der Kaliberschlauch befindet sich innerhalb des Schlauchliners und drückt diesen an die Rohrwand. Ist der Schlauchliner ausgehärtet, wird der Kaliberschlauch wieder entfernt. Beim Einzugsverfahren besteht die Möglichkeit, dass der Schlauchliner schon beim Einziehen durch die Schleifbewegungen am Boden beschädigt wird.¹³⁶

Die Tränkung des Schlauches mit dem Reaktionsharz (Polyester- oder Epoxidharz) kann entweder bereits im Werk oder erst kurz vor dem Einbau durchgeführt werden. Zum Schutz des Gewebeslauches wird dieser außerdem meist von außen mit einer Kunststoffolie beschichtet.¹³⁷ „Insbesondere bei den Inversionsverfahren werden die Außenfolien erst vor Ort, vor Einbau des Liners, in das Altrohr eingebaut (Preliner)“¹³⁸. Um die Erhärtungsreaktion des Harzes nicht zu beeinträchtigen, ist eine Abwasserhaltung notwendig. Außerdem muss der Kanal bei eindringendem Grundwasser vorher abgedichtet werden. Sollte das nicht möglich sein ist unbedingt eine von außen angebrachte Kunststoffolie notwendig, um das Wasser abzuhalten.¹³⁹

¹³⁴ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.24.html; abgerufen am 15.08.2016

¹³⁵ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.24.html; abgerufen am 15.08.2016

¹³⁶ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.24.html; abgerufen am 15.08.2016

¹³⁷ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.116-117

¹³⁸ Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.24.html; abgerufen am 15.08.2016

¹³⁹ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.116-117

Die Aushärtung des Reaktionsharzes kann entweder mittels Dampfdruck, Warmwasser oder UV-Licht erfolgen. Bei allen Varianten muss der Druck im Schlauchliner während der Aushärtungsphase immer konstant gehalten werden. Außerdem muss die Wärme die abgegeben wird über einen vorgegebenen Zeitraum gleich hoch sein und auf die komplette Länge des Schlauchliners gleichmäßig verteilt werden. Das ist vor allem bei der UV-Aushärtung schwierig, da hier das Lichtsegment mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit gezogen werden muss, um alle Punkte des Rohres erhärten zu lassen. Außerdem muss bei einem UV-empfindlichen Reaktionsharz darauf geachtet werden, dass der Schlauch vor dem Einbau vor UV-Strahlung geschützt wird.¹⁴⁰

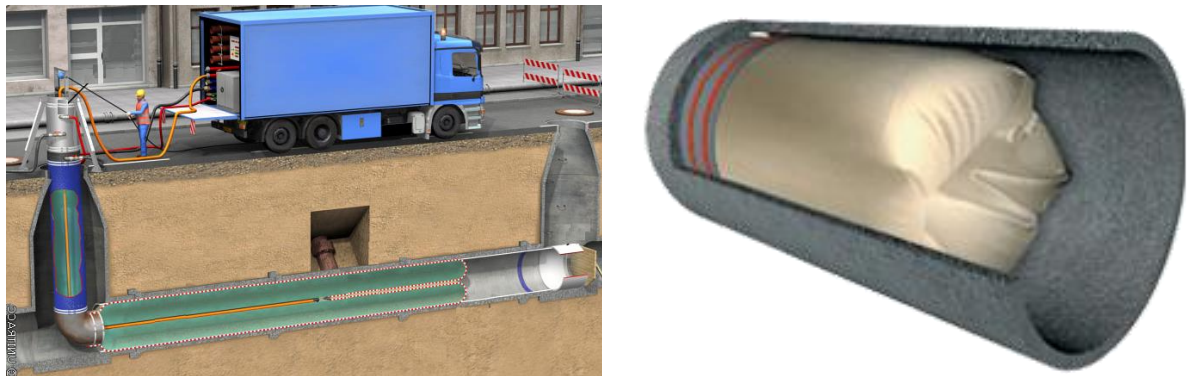


Abbildung 7.10: Schlauchrelining im Inversionsverfahren (links), Detail der Umstülpung (rechts)^{141,142}

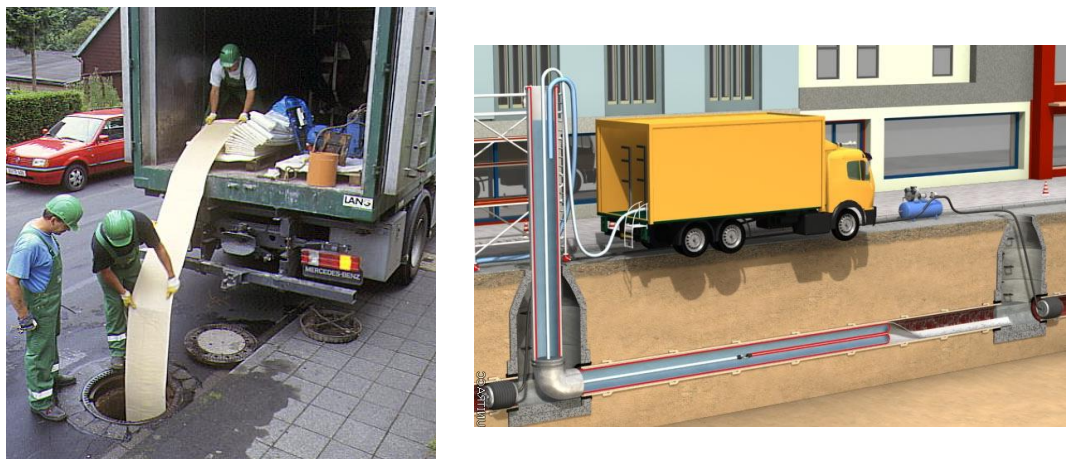


Abbildung 7.11: Schlauchrelining im Einzugsverfahren (links) und anschließendes Aufpumpen durch Kaliberschlauch (rechts)¹⁴³

¹⁴⁰ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.116-117

¹⁴¹ Homepage UNITRACC; <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/renovierung/auskleidungsverfahren/auskleidung-mit-oumlrtlich-hergestellten-und-erhaumlrtenden-rohren/schlauchverfahren/einbringen-durch-inversion/insituform-verfahren/inhalt#4540b91f46bd22476329dd2f30b4dc81>; abgerufen am 14.01.2017

¹⁴² Homepage Aqualine; <http://aqualine-dortmund.de/inline.html>; abgerufen am 14.01.2017

¹⁴³ Homepage UNITRACC; <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/renovierung/auskleidungsverfahren/auskleidung-mit-oumlrtlich-hergestellten-und-erhaumlrtenden-rohren/schlauchverfahren/einbringen-durch-einziehen/km-inliner-verfahren>; abgerufen am 14.01.2017

Nach der Sanierung müssen die vorher bereits vorhandenen Anschlüsse, wie Hauskanäle, wieder aufgeschnitten und fachgerecht angeschlossen werden. Da sich der Schlauchliner in die Anschlüsse ausbeult, können diese sehr leicht wiedergefunden werden. Unbedingt ist auch eine Ergebniskontrolle mittels Roboterverfahren notwendig, um eventuelle Fehlstellen (z.B. Faltenbildung) beheben zu können.¹⁴⁴

In Tabelle 7.5 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Schlauchrelining systematisch dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freispiegelkanäle und Druckleitungen (systemabhängig) ▪ Alle Profilarten und Altrohrwerkstoffe möglich ▪ DN 100 bis DN 800 ▪ Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit möglich ▪ UV-Härtung: bis 300 m Länge ▪ Warmwasserhärtung: bis 600 m Länge ▪ Dampfhärtung: bis 120 m Länge ▪ Grundwasserinfiltration: bei Inversionsverfahren keine Vorabdichtung erforderlich; bei Einziehverfahren Abdichtung erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Rohrverbindungen ▪ Geringe Querschnittsreduzierung ▪ Sehr flexibel einsetzbar ▪ Kostengünstig ▪ Bei UV-Lichthärtung schneller Sanierungsfortschritt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Faltenbildung bei Krümmungen, Abwinkelungen und starken Versätzen möglich ▪ Fehleranfälligkeit bei der Ausführung ▪ Bei Dampfhärtung: Kondenswasserbildung im Unterbogenbereich (Ableitung erforderlich); unzureichende Aushärtung ▪ Aufwändige Wiederanbindung von Anschlussleitungen mittels Roboterverfahren (siehe Abschnitt 7.4.4)

Tabelle 7.5: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Schlauchrelining¹⁴⁵

7.2.2 Beschichtungsverfahren

Der zweite Grundverfahrenstyp bei den Renovierungsverfahren sind die Beschichtungsverfahren, deren Ziel eine Wiederherstellung bzw. Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Kanalinnenwand gegen physikalische, biologische, chemische und/oder biochemische Angriffe ist. Es wird je nach Aufbringungsart der Schicht zwischen drei Spezialverfahren unterschieden:

- Auspressverfahren,
- Verdrängungsverfahren und
- Anschleuderverfahren.¹⁴⁶

¹⁴⁴ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.116-117

¹⁴⁵ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.24.html; abgerufen am 15.08.2016

¹⁴⁶ Vgl. [29] Vogel: Kanalinstandhaltung. Von der Zustandserfassung zur nachhaltigen Sanierung von Entwässerungssystemen; 2007; S.102-103

Die Altrohrmaterialien müssen vor allem fähig sein, die entstehenden Spannungen aus Schwinden sowie Temperatur- und Feuchteänderungen der Beschichtungen aufzunehmen. Außerdem muss eine gewisse Rauigkeit des Untergrundes, also der Rohrrinnenwand, vorhanden sein, damit die Beschichtung haften bleibt. Deshalb werden die Beschichtungsverfahren meist bei Beton-, Stahlbeton-, Guss- oder Faserzementrohren angewendet. Als Beschichtungsmaterial werden im Abwasserbereich hauptsächlich Mörtel auf Zement-, Kunststoff- oder Reaktionsharzbasis eingesetzt. Für alle Beschichtungsverfahren muss der Kanal vorher gereinigt und die Vorflut umgeleitet werden, um die Verschmutzung der Beschichtung während der Erhärtungsphase zu vermeiden. Ebenso müssen alle Anschlussverbindungen abgedichtet und nach erfolgreicher Durchführung der Beschichtungsmaßnahmen wieder geöffnet werden.¹⁴⁷ Die nachfolgenden Erläuterungen der Spezialverfahren wurden aus Böhm¹⁴⁸ übernommen.

Beim **Auspressverfahren** wird zuerst ein spezieller Schalungsschlauch, ähnlich einem Schlauchreliner, in den Kanalabschnitt eingezogen. Um den Schlauch herum befindet sich ein Abstandhalternetz, das in der Auskleidungsschicht verbleibt. Durch die eingearbeiteten Abstandhalter wird der Schalungsschlauch beim Aufpumpen zentriert und es entsteht ein gleichmäßiger Ringraum zwischen Schlauch und Rohrrinnenwand. Dieser Ringraum wird als nächster Schritt mit Mörtel verpresst. Nach entsprechender Trocknungszeit kann der Schalungsschlauch entlüftet und entfernt werden. Es verbleibt eine fugenlose 6 bis 10 mm starke Innenauskleidung. Dieses Verfahren ist nur bei kreisrunden Profilen (DN 200 bis DN 600) anwendbar.

Beim **Verdrängungsverfahren** wird zuerst ein Mörtel mit Schnellabbindeemittel in den Kanalquerschnitt lose eingebracht und gleich darauf mithilfe eines Kegels, der durch eine Zugvorrichtung durch die Kanalhaltung gezogen wird, an die Rohrrinnenwand gedrückt, wo er haften bleibt und abbindet. Zur Glättung der Oberfläche wird der Kegel während des Abbindevorgangs mehrmals durch die Kanalhaltung gezogen. Auch dieses Verfahren ist nur bei kreisrunden Profilen (DN ≤ 500) anwendbar.

Beim **Anschleuderverfahren** wird der Mörtel mithilfe einer an den Nenndurchmesser des Abwasserrohres angepassten Schleudermaschine auf die Rohrrinnenwand geschleudert. Durch eine nachlaufende Glättvorrichtung wird eine hydraulisch glatte und gleichmäßige Oberfläche hergestellt. Durch die Zentrifugalkraft wird der Mörtel in Fugen und Risse eingebracht und

¹⁴⁷ Vgl. [29] Vogel: Kanalstandhaltung. Von der Zustandserfassung zur nachhaltigen Sanierung von Entwässerungssystemen; 2007; S.102-103

¹⁴⁸ [3] Böhm: Abwasserrohrleitungen und -rohrnetze. Betrieb, Erneuerung und Instandhaltung; 2002; S.117-121

dichtet diese dadurch zuverlässig ab. Wie die beiden vorherigen Verfahren ist dieses Verfahren nur für kreisrunde Profile ($DN \leq 800$) anwendbar.

In Tabelle 7.6 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Beschichtungsverfahrens dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ DN 200 bis DN 800 (je nach Spezialverfahren) ▪ Kreisprofil ▪ Unabhängig vom Rohrmaterial ▪ Geradliniger Verlauf der Kanalhaltung nötig ▪ Wiederherstellung mechanischer beschädigter oder korrodierter Oberflächen ▪ Vorsanierung erforderlich bei gravierenden Einzelschäden oder hoher Grundwasserinfiltration 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unabhängig von Überdeckungshöhe und Baugrundverhältnissen ▪ Keine Baugrube erforderlich ▪ Fugenloser Inliner ▪ Erhöhung der statischen Tragfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Axiale Lageabweichungen werden nicht überbrückt ▪ Aufwendige Vorflutsicherungsmaßnahmen notwendig ▪ Kostenintensiv ▪ Querschnittsreduzierung in Abhängigkeit der erforderlichen Materialstärke ▪ Oft sehr aufwändige Untergroundvorbehandlung notwendig

Tabelle 7.6: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Beschichtungsverfahren^{149,150}

7.3 Erneuerungsverfahren

Bei den Erneuerungsverfahren wird das Altrohr komplett zerstört oder aus dem Boden entfernt und die neuen Rohrleitungen in der gleichen Führungslinie wiederhergestellt. Es wird zwischen vier verschiedenen Baumethoden (Pipe-Eating, Berstverfahren, Press-Zieh-Verfahren und offene Bauweise) unterschieden, wobei die offene Bauweise nicht zu den grabenlosen Verfahren gezählt wird und hier nur der Vollständigkeit halber angeführt wird.

7.3.1 Pipe-Eating-Verfahren

Beim Pipe-Eating-Verfahren wird das Altrohr durch einen Bohrkopf komplett zerstört. Im Gegensatz zum Berstverfahren, wird das Altmaterial jedoch abgebaut und aus dem Rohr herausbefördert. Die neue Leitung wird im gleichen Arbeitsschritt eingebaut, wobei der Durchmesser größer bzw. gleich dem alten Durchmesser sein muss. Als Neumaterial werden Rohrstränge aus Kunststoff bzw. Kurzrohre aus Gusseisen oder Beton verwendet. Da für das Durchführen von maschinellen Verfahren eine gewisse Homogenität des Abbaumaterials vorausgesetzt

¹⁴⁹ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren2.13.16.html; abgerufen am 03.09.2016

¹⁵⁰ Vgl. [16] MURL-NRW: Praxisorientierter Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum; 1999; S.87

wird, gibt es Weiterentwicklungen des Systems, bei dem zuerst ein Dämmmaterial in das Altrrohr eingebracht wird um dessen Verarbeitbarkeit zu verbessern. Ersetzt werden können alle nicht bewehrten, spröden Materialien.¹⁵¹

Die Führung der Vortriebsmaschine erfolgt über einen vorlaufenden Pilotkopf bzw. Führungsdorn, der mit einem Abdichtungskörper ganz vorne am Pilotkopf verbunden sein kann. Dieser Abdichtungskörper soll eventuelle Stützflüssigkeiten, die zum Abbau der Altleitung unter Grundwasser notwendig sind, im benötigten Abschnitt halten und das Abfließen der Abwasservorflut durch die Maschine gewährleisten (siehe Abbildung 7.12). Wenn der Abdichtungskörper nicht vorhanden ist, muss der zu sanierende Abschnitt außer Betrieb gesetzt werden und das Abwasser auf sonstige Weise umgeleitet werden (siehe Abschnitt 7.1).¹⁵²

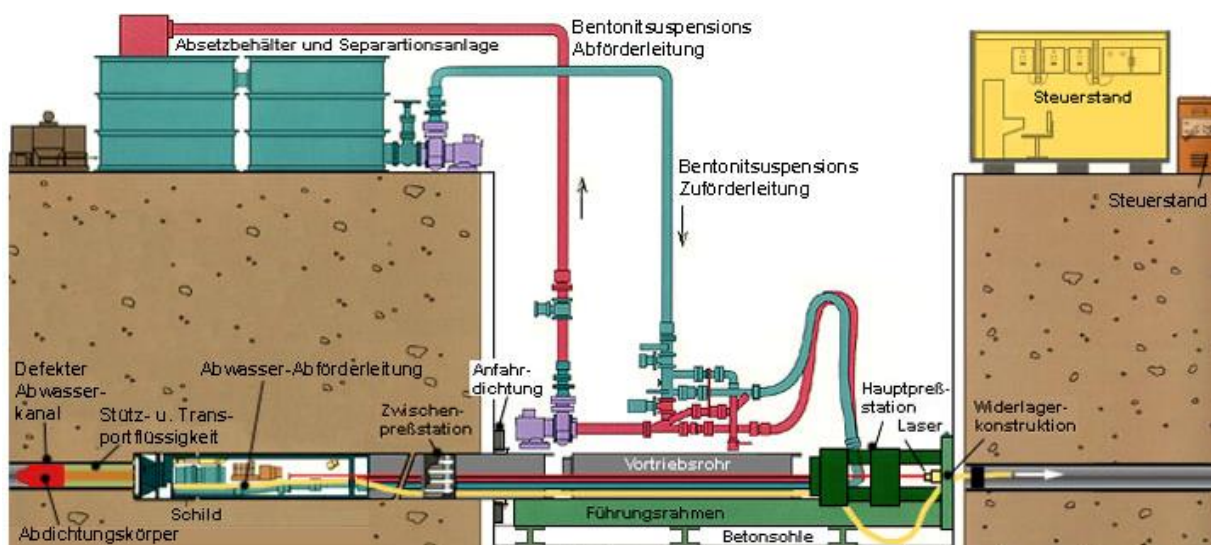


Abbildung 7.12: Pipe-Eating-Verfahren mit Pilotkopf, Abdichtungskörper und Stützflüssigkeit¹⁵³

Vorhandene Anschlussleitungen werden vor dem Überfahren des alten Kanals in offener Bauweise abgekoppelt und im Anschluss mittels Anbohrstutzen wiederangebunden.¹⁵⁴

In Tabelle 7.7 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Pipe-Eating-Verfahrens dargestellt.

¹⁵¹ Vgl. [31] Witt: Grundbau-Taschenbuch – Teil 2: Geotechnische Verfahren; 2009; S.444

¹⁵² Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.676-682

¹⁵³ Homepage UNITRACC; [http://www.unitracc.de/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/erneuerung/erneuerung-in-geschlossener-bauweise/unbemannt-arbeitender-rohrvortrieb-uumlverfahren](http://www.unitracc.de/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/erneuerung/erneuerung-in-geschlossener-bauweise/unbemannt-arbeitender-rohrvortrieb-uumlverfahren; abgerufen am 23.09.2016); abgerufen am 23.09.2016

¹⁵⁴ Vgl. Homepage BMVBS; [www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.30.html](http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.30.html; abgerufen am 24.08.2016); abgerufen am 24.08.2016

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei allen Schadensarten ▪ Bei Beton-, Steinzeug-, Asbestzementrohren (spröde Materialien, keine Stahleinlagen) ▪ Mindestüberdeckung mind. 3 m ▪ Mindestabstand zu sonstigen baulichen Einrichtungen i.d.R. 2 m ▪ Ggf. Grundwasserabsenkung im Bereich der Baugruben notwendig ▪ Start- und Zielbaugruben, sowie kleine Baugruben bei Anschlussleitungen notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Wirtschaftlichkeit bei sehr tiefen Kanaltrassen ▪ Querschnittsvergrößerung möglich ▪ Hohe Lebensdauer des neuen Kanals und der Anschlüsse ▪ Minimale Bodenabfuhr ▪ Keine Sicherung angrenzender Außenanlagen (z.B. Gas-, Wasser-, Wärmeversorgung) notwendig ▪ Witterungsunabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unwirtschaftlich bei vielen Hausanschlüssen und geringer Einbautiefe ▪ Ggf. Gefährdung angrenzender Außenanlagen (z.B. Gas-, Wasser-, Wärmeversorgung) durch temporären Druckaufbau beim Vortrieb

Tabelle 7.7: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Pipe-Eating-Verfahren¹⁵⁵

7.3.2 Berstverfahren (Pipe-Bursting)

Das Bersten beschreibt den Vorgang der radialen Verdrängung der Scherben des alten Rohres in den umgebenden Boden. In dem entstandenen Hohlraum wird im gleichen Arbeitsschritt ein neues Rohr mit gleichem oder größerem Durchmesser eingebracht.¹⁵⁶

Das Berstverfahren wurde erstmals in Großbritannien in den 1980er Jahren eingesetzt und dort auch patentiert. Die Weiterentwicklung, die sogenannte PIM-Methode¹⁵⁷, wird pneumatisch betrieben. Die wichtigsten Kennzeichen der Methode, die konstruktive Ausführung als Konus und die Führung der PIM-Maschine durch eine Seilwinde, waren schon in den vorherigen Versionen vorhanden. Es konnten damals bereits Einzellängen von bis zu 100 m erreicht werden. Heutzutage werden sowohl die erzielbaren Einzellängen als auch die Vortriebsgeschwindigkeit mit jeder neuen Gerätegeneration erhöht. Abwasserrohre von DN 100 bis DN 600, hergestellt aus spröden Materialien, können mit dem Berstverfahren erneuert werden. Nach Aussagen des Patentinhabers im Jahre 2002 ist das Berstverfahren mit ca. 50.000 km erneuerten Rohrleitungen weltweit, das am häufigsten eingesetzte Verfahren. Es gibt zwei grundsätzliche Arten des Berstverfahrens, das

- dynamische Berstverfahren und das
- statische Berstverfahren.¹⁵⁸

¹⁵⁵ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.23.html; abgerufen am 24.08.2016

¹⁵⁶ Vgl. [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.25-67

¹⁵⁷ PIM = Pipe Insertion Method

¹⁵⁸ Vgl. [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.25-67

Eine Sondervariante stellt das ebenfalls in diesem Abschnitt besprochene Rohrziehverfahren dar, bei dem das Altrohr komplett aus dem Boden entfernt wird.

Beim **dynamische Berstverfahren** unterstützt eine Seilwinde den druckluftbetriebenen Bersthammer beim Berst- und Einziehvorgang. Durch die Zugkraft der Seilwinde wird die Energie auf das Altrohr übertragen und dieses dadurch aufgebrochen. Der anschließende Aufweitkörper verdrängt die Überreste des alten Rohres in den umgebenden Boden. An den Aufweitkörper angeschlossen ist das neue Rohr, das somit gleichzeitig in den vorher entstandenen Hohlraum eingebracht wird (siehe Abbildung 7.13). Dieses Verfahren bringt vor allem in stark verdichteten und steinig Böden ab DN 150 und Altrohren aus spröden Materialien wie Steinzeug, Beton und Grauguss, Vorteile.¹⁵⁹

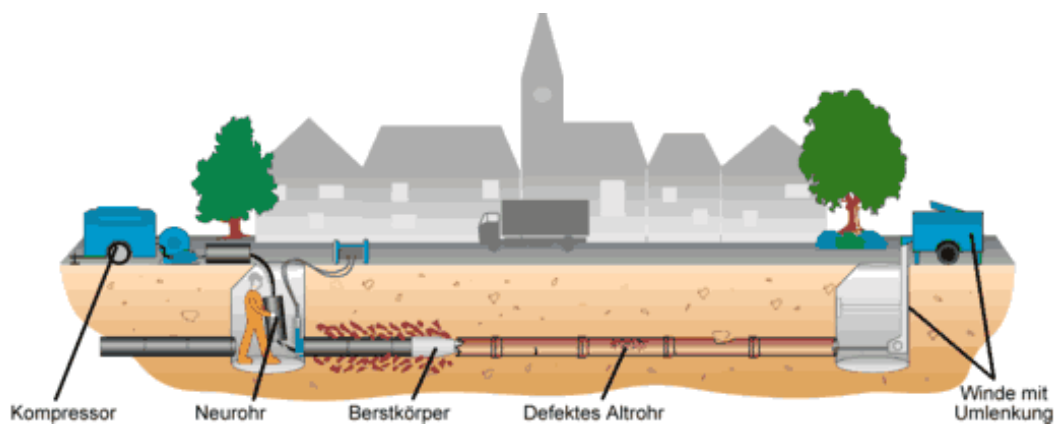


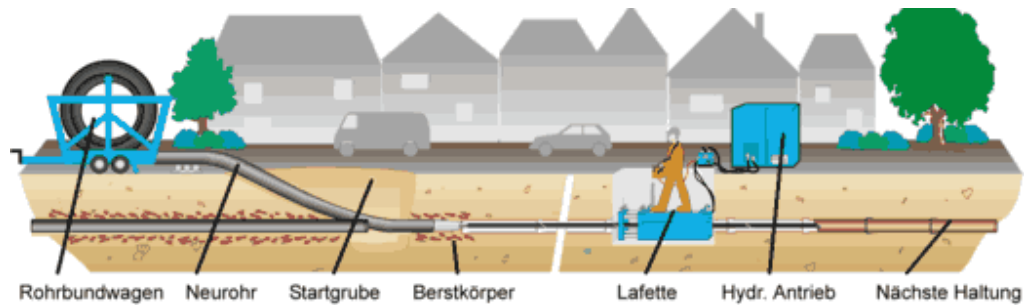
Abbildung 7.13: Schemadarstellung dynamisches Berstverfahren¹⁶⁰

Im Gegensatz dazu werden beim **statischen Berstverfahren** die notwendigen Kräfte für Bersten, Verdrängen und Rohreinzug durch ein zug- und druckfestes Gestänge eingebracht. Die Lafette, wie das Gestänge auch genannt wird, wird vom Zielschacht durch das Altrohr mithilfe eines Führungskalibers bis zum Startschacht verlängert. Dort wird das Führungskaliber durch ein geeignetes Berstwerkzeug (Berstkopf, Rollenschneidmesser) ersetzt, das neue Rohr festgemacht und anschließend die Lafette wieder Richtung Zielschacht gezogen. Das alte Rohr wird zerstört und die Restteile in den umliegenden Untergrund verdrängt. Gleichzeitig wird das neue Rohr eingebracht (siehe Abbildung 7.14). Dieses System kann vor allem in leicht verdrängbaren homogenen Böden eingesetzt werden. Das statische Berstverfahren wird bei allen Altrohrmaterialien bei denen Rollenschneidmesser zum Einsatz kommen oft auch als Aufweit-Zieh-Verfahren bezeichnet.¹⁶¹

¹⁵⁹ Vgl. [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.25-67

¹⁶⁰ Homepage Santec: Rohrleitungs-Erneuerung - grabenlos im Berstlining-Verfahren; abgerufen am 06.08.2016

¹⁶¹ Vgl. [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.25-67

Abbildung 7.14: Schemadarstellung statisches Berstverfahren¹⁶²

Je nach Ausführung der Start- bzw. Zielpunkte, können entweder Strang- oder Kurzrohre bei beiden Verfahren verwendet werden. Ob diese Punkte als Schacht oder Baugrube ausgeführt sind, hängt meist vom Platzangebot an der jeweiligen Stelle ab.¹⁶³

Da die Auswahl der zwei Berstverfahren maßgeblich vom Altrohrwerkstoff abhängt, wird in Tabelle 7.8 eine kleine Übersicht gegeben.

	statisch				dynamisch
	Rollen-schneid-messer	Messer Blei	Messer Kunststoff	Berstkopf	Berstkopf
Graugussrohre	X			X	X
Duktile Gussrohre	X				
Stahlrohre	X			X*)	X*)
PE-/PP-Rohre			X	X	
PVC-Rohre				X	X
Asbest/Faserzementrohre				X	X
Bleirohre		X			
Steinzeugrohre				X	X
Beton-/Stahlbetonrohre				X	X
GFK-Rohre	X			X	X
Inliner				X	X

*) nur dünnwandige Stahlrohre, keine Sternmuffen

Tabelle 7.8: Übersicht geeigneter Werkzeuge je Altrohrstoff beim Berstverfahren¹⁶⁴

Das **Rohrziehverfahren** (oder Press-Zieh-Verfahren) ist eine Sonderausführung der Berstverfahren, bei dem das Altrohr im Zuge des Einbaues aus dem Boden herausgedrückt wird. Es wurde ursprünglich für Bereiche entwickelt in denen es vom Gesetzgeber nicht vorgesehen ist, dass bei der Erneuerung von Kanalhaltungen Überreste des Altrohres im Erdreich verbleiben. Anders als die vorher gezeigten Berstverfahren können mit diesem Verfahren nur Leitungen aus Grauguss bzw. Stahl erneuert werden. Die maximale Länge zwischen Start- und Zielbaugrube darf 100 m nicht überschreiten, dazwischen sind in einem Abstand von rund 25 m

¹⁶² Homepage Santec: Rohrleitungs-Erneuerung - grabenlos im Berstlining-Verfahren; abgerufen am 06.08.2016

¹⁶³ Vgl. [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.25-67

¹⁶⁴ [23] Rameil: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren; 2010; S.137

Zwischenbaugruben zu errichten. Der Einbauvorgang ähnelt sehr dem Vorgang bei den übrigen Berstverfahren. Jedoch wird zwischen dem neuen Rohr und dem zu entfernenden Altrohr ein dem jeweiligen Nennweitenverhältnis angepasstes Übergangsstück, statt eines Berstkopf angebracht. Somit wird das Altrohr aus dem Erdreich gedrückt und erst in der Zielbaugrube wird das Altrohr von einem Spaltkegel, der sich nach dem Rohrziehgerät befindet, gespalten (siehe Abbildung 7.15).¹⁶⁵

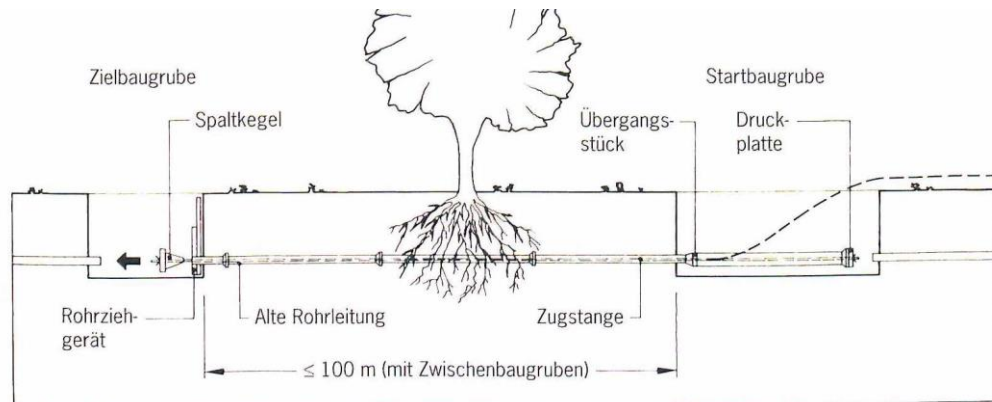


Abbildung 7.15: Schemadarstellung Rohrziehverfahren¹⁶⁶

In Tabelle 7.9 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Berstverfahren systematisch dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sämtliche Schadensarten (bei Einsturz nur bei Vorsanierung) ▪ Kreisprofile DN 100 bis DN 600 (DN 400 bei Rohrziehverfahren) ▪ In komprimierbaren Bodenarten und oberhalb des Grundwasserspiegels ▪ Mindestüberdeckung 2 m bzw. 3 bis 6-facher Rohrdurchmesser; Trassenverlauf geradlinig ▪ Mindestabstand zu sonstigen Leitungen muss eingehalten werden (i.d.R. 1 m) ▪ Anschlussbereiche: Baugruben notwendig; keine Anschlüsse im Bereich von Rohrverbindungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Querschnittsreduzierung; geringe Querschnittsvergrößerung möglich ▪ Werkmäßig hergestellte Rohre haben definierte Materialeigenschaften ▪ Kurze Bauzeit ▪ Hohe Lebensdauer ▪ Keine Vorarbeiten zur Beseitigung von Hindernissen erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufwändige Wiederanbindung von Anschlussleitungen (nur offene Bauweise möglich) ▪ Hohe Anzahl an Rohrverbindungen ▪ Gefährdung angrenzender Außenanlagen (z.B. Gasleitungen) durch Vibration und temporären Druckaufbau beim Berstvorgang

Tabelle 7.9: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Berstverfahren¹⁶⁷

¹⁶⁵ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.696-697

¹⁶⁶ [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.697

¹⁶⁷ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.29.html; abgerufen am 15.08.2016

7.4 Reparaturverfahren

Als Reparaturmaßnahme versteht man eine reine Instandsetzung einzelner kleiner Fehlstellen im Verlauf einer Kanalhaltung. Es soll somit der Originalzustand wiederhergestellt werden, ohne das komplette Rohr sanieren zu müssen. Die Reparaturverfahren werden jedoch mit steigender Anzahl der Einzelschäden innerhalb eines Rohrabschnittes unwirtschaftlich und es sollte der Einsatz von Renovierungs- bzw. Erneuerungsverfahren (siehe Abschnitt 7.2 bzw. 7.3) in Betracht gezogen werden.¹⁶⁸

Die Reparaturverfahren gliedern sich in Ausbesserungsverfahren (Robotersanierung), Abdichtungsverfahren (Kurzliner, Innenmanschetten) und Injektionsverfahren (Flutungsverfahren, Packerverfahren). Außerdem werden in diesem Abschnitt die Möglichkeiten der Zulaufanbindung nach der Sanierung bzw. als Teil einer Reparaturmaßnahme dargestellt.

7.4.1 Ausbesserungsverfahren

In den Bereich der Ausbesserungsverfahren fallen vor allem die Roboterverfahren, die im nachfolgenden Abschnitt näher betrachtet werden. Sie werden hauptsächlich im nicht begehbaren Bereich eingesetzt. Dem gegenüber stehen die Reparatur der schadhaften Stelle von Hand, was aber nur in einem begehbaren Querschnitt möglich ist und die Erstellung einer kleinen Baugrube an der Schadensstelle, was aber generell nicht zu den grabenlosen Verfahren gezählt werden kann und deshalb hier nicht weiter betrachtet wird.

Die Robotersanierung wird zur Durchführung von Reparaturen an örtlich begrenzten Schäden (z.B. defekte Muffenverbindungen, lokale Rohrbrüche) verwendet. Diese Schadstellen werden mithilfe von verschiedenen Werkzeugen und Klebmassen hinsichtlich Dichtheit und Kraftschlüssigkeit saniert. Der Roboter selbst ist ein ferngesteuertes, videoüberwachtes und selbstfahrendes Arbeitsgerät für den nicht begehbaren Bereich. Durch den Eigenantrieb wird nur ein Schacht zum Einfahren benötigt. Neben den eigentlichen Reparaturaufgaben werden Roboter bei fast allen anderen Sanierungsverfahren für die Vor- bzw. Nachbereitung benötigt. Ein Beispiel wäre hier das Schlauchrelining, wo im Vorhinein die Kanalhaltung von Hindernissen befreit werden muss und nach erfolgreicher Auskleidung die Anschlusskanäle wieder geöffnet werden müssen. Beides wird hier meist mit Robotern erledigt.¹⁶⁹

¹⁶⁸ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.09.html; abgerufen am 03.09.2016

¹⁶⁹ Vgl. [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S. 276-278

Ein genereller Ablauf einer Robotersanierung besteht grundsätzlich aus:¹⁷⁰

1. Fräsen bzw. Bohren zur Vorbereitung der Schadensstelle,
2. Reinigung der Fräsbereiche,
3. Verpressen/Verspachteln/Verkleben mit 2-Komponenten-Epoxidharz und
4. Schleifen.

Fräs- und Bohrarbeiten können unter teilweiseem Aufrechterhalten der Vorflut durchgeführt werden. Es können verschiedenste lokale Schäden beseitigt werden, wie z.B. ein hereinragender Anschlusskanal oder Wurzeleinwuchs. Dafür gibt es verschiedenste Aufsätze, die durch eine Wasserzufuhr während des Arbeitsvorgangs gekühlt werden, um ein Heißlaufen zu vermeiden. Das Reinigen der Fräsbereiche erfolgt durch eine Hochdruckspülung oder einem zusätzlichen feinen Fräsaufsatz.¹⁷¹

Anschließend werden eventuelle Risse bzw. nicht vorgesehene Öffnungen mithilfe einer Schalung oder, bei feinen Rissen, mit einer Düse und einem 2-Komponenten-Epoxidharz verschlossen. Dieses Harz wird vorgemischt vom Roboter in Kartuschen mitgeführt und wird ohne Druck auf und in die Fehlstellen eingebracht. Es kann auch bei geringem Wassereintritt und unter Wasser verarbeitet werden. Eventuelle vorstehende Epoxidharzstellen werden nach Aushärtung mit einem Fräsaufsatz glattgeschliffen.¹⁷²

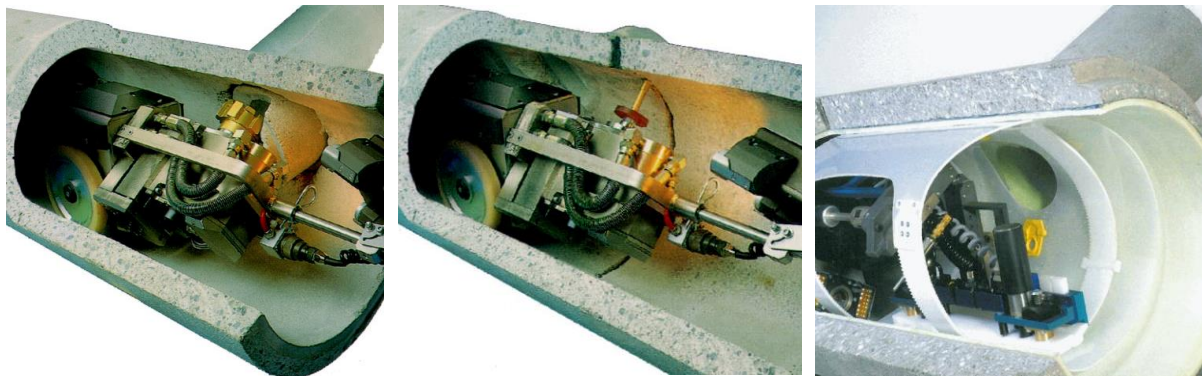


Abbildung 7.16: Reparaturroboter: Fräßen (links), Epoxidharz mit Düse (Mitte), Schalung für größere Ausgleiche¹⁷³

In Tabelle 7.10 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile der Robotersanierung dargestellt.

¹⁷⁰ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.13.html; abgerufen am 03.09.2016

¹⁷¹ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.364-367

¹⁷² Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.364-367

¹⁷³ Homepage UNITRACC; <http://www.unitracc.de/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/reparatur/ausbesserungsverfahren/ausbesserung-nichtbegehrbarer-kanale-durch-roboter/ka-te-system>; abgerufen am 14.01.2017

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zur Beseitigung von Hindernissen (Wurzeleinwuchs, Ablagerungen usw.) ▪ Bei undichten Rohrverbindungen, Rissen und fehlenden Wandungsteilen ▪ Bedingt einsetzbar auch bei drucklos eindringendem Grundwasser ▪ Kreis- und Eiprofile mit DN 150 bis DN 800 ▪ Für alle gängigen Rohrwerkstoffe (außer Kunststoff) ▪ Einsatz bei einseitiger Zugänglichkeit möglich ▪ Max. Haltungslänge ca. 140 m 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nur geringer Materialauftrag (ohne nennenswerte Querschnittsreduzierung) ▪ Die eingesetzten Sanierungsmaterialien weisen gegenüber dem Altrohrwerkstoff i.d.R. die besseren Materialeigenschaften auf ▪ Unabhängig von Überdeckung und Baugrundverhältnissen ▪ Hohe geschätzte Nutzungsdauer (50 Jahre) ▪ Vorflutsicherung im Allgemeinen nur notwendig wenn die Kanalsohle bearbeitet wird 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Behebung der Schadensursache (z.B. bei Bettungsdefiziten) ▪ Sanierungserfolg bei komplexen Rissstrukturen und Scherbenbildung nicht immer garantiert ▪ Erforderliche Fräsarbeiten verursachen ggf. eine Destabilisierung der Schadensbereiche ▪ Keine Erfahrung zum Langzeitstandverhalten ▪ Qualität maßgeblich vom Bediener abhängig ▪ Wechseln der Aufsätze zeitaufwendig ▪ Relativ teuer

Tabelle 7.10: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Robotersanierung^{174,175}

7.4.2 Abdichtungsverfahren

Eine Abdichtung von Innen kann sowohl durch Gewebesläuche (Kurzliner), als auch mit Innenrohrmanschetten aus Edelstahl erzielt werden. Beide Verfahrensarten sind sich grundsätzlich in der Funktionsart sehr ähnlich und werden zur punktuellen Sanierung im Bereich von Rohrverbindungen, Rissen und fehlenden Wandungsteilen verwendet. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in den zur Verwendung kommenden Materialien und der Einbauweise.¹⁷⁶

7.4.2.1 Kurzliner

Ein Kurzliner besteht aus einer Glasfasermatte, die mit Kunstharz getränkt ist. Beim Einbau mittels pneumatischer Packer im nicht begehbaren Bereich wird der Liner an die Rohrwand gepresst und härtet dort unter normaler Umgebungstemperatur aus (siehe Abbildung 7.17).¹⁷⁷ Die Packeroberfläche wird vorher mittels Trennfolie und zusätzlichem Trennmittel (z.B. Silikonspray) so vorbereitet, dass der Kurzliner nicht am Packer haften bleibt. Als Packer können entweder durchgehende Absperrblasen oder Packer mit Durchfluss verwendet

¹⁷⁴ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.13.html; abgerufen am 03.09.2016

¹⁷⁵ Vgl. [16] MURL-NRW: Praxisorientierter Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum; 1999; S.56

¹⁷⁶ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.15.html; abgerufen am 04.09.2016

¹⁷⁷ Vgl. [12] Heindel; Richter: Straßen- und Tiefbau. Mit lernfeldorientierten Projekten; 2008; S.193

werden, wobei bei den durchgehenden Absperrblasen eine Vorflutsicherung nötig ist. Wichtig ist bei dieser Methode, dass sich der Kurzliner und das Altrohr kraftschlüssig verbinden müssen, d.h. die Oberfläche rund um die Schadensstelle muss frei von Trennschichten (z.B. Öle) sein und eine genügend hohe Rauigkeit aufweisen. Sollte dies nicht der Fall sein sind die Stellen vorher mithilfe eines Roboters anzuschleifen. Außerdem muss im Vorhinein sichergestellt werden, dass das Rohr ohne Hindernisse zu befahren ist und etwaige Ablagerungen und Verschmutzungen beseitigt wurden.¹⁷⁸

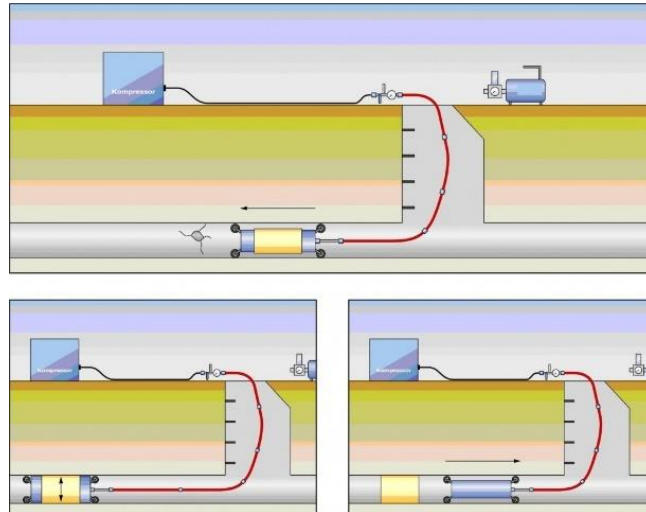


Abbildung 7.17: Schemaskizze Kurzlinereinbau mit Packer¹⁷⁹

In Tabelle 7.11 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Kurzliners dargestellt.

¹⁷⁸ Vgl. [25] Richter: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen; 2006; S.203

¹⁷⁹ Homepage Garvert Entsorgungsfachbetrieb; <http://www.garvert.com/index.php/sanierung/sanierungstechniken/>; abgerufen am 04.09.2016

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zur punktuellen Sanierung im Bereich von Rohrverbindungen, Rissen und fehlenden Wandungsteilen ▪ Bei starken Lageabweichungen und Versätzen nur bedingt einsetzbar ▪ Kreis- und Eiprofile mit DN 100 bis DN 800 ▪ Für alle gängigen Rohrwerkstoffe, außer Kunststoff (PVC-U, PP, GFK nur bedingt; nicht PE-HD) ▪ Sorgsame Materialvermischung um vollständiges Aushärten zu gewährleisten ▪ Verfahren sollte als System eingesetzt werden, sonst hohe Fehleranfälligkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibler Einsatz für viele Schadensbilder ▪ Setzgeräte sind selbstfahrend und somit Einsatz bei einseitiger Zugänglichkeit möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Behebung der Schadensursache (z.B. bei Bettungsdefiziten) ▪ Geringfügige Querschnittsverminderung durch Materialauftrag an der Rohrwand (speziell bei überlappender Verklebung) ▪ Eine nicht ausreichend vorbereitete Klebefläche kann zum Ablösen des Liners führen und so schwere betriebliche Störungen verursachen (Verstopfung) ▪ Vorflutsicherung bei Einsatz einer durchgehenden Blase erforderlich

Tabelle 7.11: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Kurzliner¹⁸⁰

7.4.2.2 Innenrohrmanschetten aus Edelstahl

Bei den Innenrohrmanschetten aus Edelstahl gibt es wiederum zwei verschiedene Verfahren:

- Edelstahlmanschetten mit Flächenelastomeren (mechanische Verspannung) und
- Edelstahlmanschetten mit Verklebung durch Reaktionsharz.

Die grundsätzliche Vorgehensweise beim Einbau ähnelt der des Kurzliners. Die Innenrohrmanschetten werden ebenfalls mithilfe eines Packers an die Schadstelle gebracht und dort expandiert (siehe Abbildung 7.18).

Bei den **Edlestahlmanschetten mit Flächenelastomerdichtung** wird das kraftschlüssige Anliegen an die Rohrwand durch eine sich nicht selbsttätig öffnende Rasterverzahnung sichergestellt. Die Abdichtung erfolgt mithilfe der Elastomerkompressionsdichtung, die bedingt auch unter Druck eindringendes Grundwasser abdichten kann.¹⁸¹

Bei den **Edlestahlmanschetten mit Verklebung durch Reaktionsharz** wird die Abdichtung der Schadstelle durch eine zwei bis drei Millimeter starke Epoxidharzschicht an der Außenseite der Manschette sichergestellt. Durch den Packer wird die Manschette an die Rohrwand gepresst und das Harz kann unter Umgebungstemperatur aushärten. Unterstützend kann je

¹⁸⁰ Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.14.html; abgerufen am 05.09.2016

¹⁸¹ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.15.html; abgerufen am 05.09.2016

nach Hersteller zusätzlich auch eine Rasterverzahnung, wie bei den Stahlmanschetten mit Elastomerdichtung, zum Einsatz kommen, um das Zusammenziehen der vorgeformten Manschette während des Aushärtungsvorgangs zu verhindern.¹⁸²

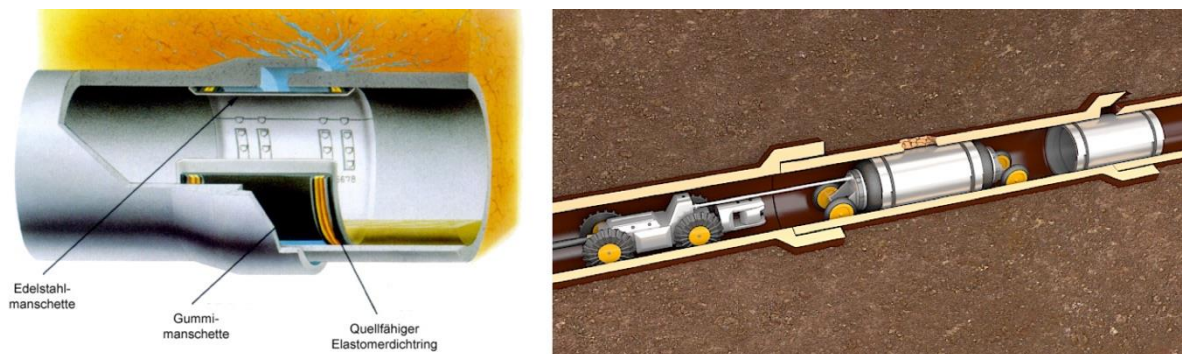


Abbildung 7.18: Edelstahlmanschette mit Elastomerdichtung (links) und Einbauvorgang (rechts)¹⁸³

In Tabelle 7.12 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile der Edelstahlmanschetten systematisch dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> Zur punktuellen Sanierung im Bereich von Rohrverbindungen, Rissen und fehlenden Wandungsteilen Nicht geeignet bei starken Lageabweichungen und Versätzen Kreisprofile DN 150 bis DN 800 <p><u>Elastomerdichtung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Für sämtliche Rohrmaterialien <p><u>Reaktionsharzdichtung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Für alle gängigen Rohrwerkstoffe, außer Kunststoff (PVC-U, PP, GFK nur bedingt; nicht PE-HD) 	<ul style="list-style-type: none"> Flexibler Einsatz für viele Schadensbilder <p><u>Elastomerdichtung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Direkter Einsatz gegen drückendes Grundwasser möglich Kein Einsatz von Kunstharz, daher auch in Trinkwassergewinnungsgebieten einsetzbar Manschette kann nachjustiert und relativ einfach versetzt werden 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Behebung der Schadensursache (z.B. bei Bettungsdefiziten) Lokale Querschnittsreduzierung von ca. 6 bis 10 mm Starres Gebilde, das z.B. bei wechselnden Geometrieverhältnissen oder Versätzen kein vollständiges Anliegen ermöglicht <p><u>Reaktionsharzdichtung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Verklebte Manschetten neigen zum Ablösen von der Rohrwand durch Relaxationskräfte in Richtung Rohrachse

Tabelle 7.12: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Edelstahlmanschetten¹⁸⁴

¹⁸² Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.16.html; abgerufen am 05.09.2016

¹⁸³ Homepage Bürgerinfo Abwasser; <http://www.buergerinfo-abwasser.de/Sanierung.2821.0.html>; abgerufen am 05.09.2016

¹⁸⁴ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.15.html und www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.16.html; abgerufen am 05.09.2016

7.4.3 Injektionsverfahren

Bei den Injektionsverfahren werden die Schadstellen, entweder durch Packersysteme oder durch komplettes Fluten eines längeren Abschnittes der Kanalhaltung, mit Injektionsmaterial aufgefüllt und so kurzzeitig (als vorbereitende Maßnahme) oder langfristig dichtgemacht. Bei beiden Verfahren ist eine genaue Ermittlung der Menge des benötigten Injektionsmittels im Vorhinein nicht möglich. Deshalb sind auch die entstehenden Kosten nur schwer abschätzbar.

7.4.3.1 Packerverfahren

Bei den Packerverfahren wird zur Abdichtung von örtlich begrenzten Undichtigkeiten und zur Vermeidung von In- bzw. Exfiltration ein zweiteiliger Packer an der Schadensstelle durch ein Zugseil positioniert. Die beiden Manschetten werden mittels Druckluft an die Kanalwandung angelegt und eine Dichtheitsprüfung ausgeführt, um das Schadensausmaß beurteilen zu können. Anschließend wird durch Verpressung eines Injektionsmittels in die Undichtigkeit und das umliegende Erdreich der ursprüngliche Zustand der Kanalhaltung wiederhergestellt. Als Kontrollmaßnahme wird zum Schluss noch einmal die Dichtheit geprüft (siehe Abbildung 7.19). Durch die Einbeziehung der vorhandenen Kanalwand wird der Querschnitt der Kanalhaltung nicht reduziert.¹⁸⁵ Es wird grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Injektionsmittelarten unterschieden.

Das **Injektionsverfahren mit Gel** (auf Basis von Acrylharz und Polyurethan) wird hauptsächlich als vorbereitende Maßnahme für die eigentliche Sanierungsmaßnahme eingesetzt, da diese Materialien bei fehlender Umgebungsfeuchte nicht volumenstabil sind. Dadurch ist nicht ausgeschlossen, dass sich nach einiger Zeit eine neuerliche Fehlstelle bildet. Falls das Injektionsverfahren als Hauptreparaturmaßnahme verwendet wird, muss das **Injektionsverfahren mit Harz** (Isocyanatharz, auf Basis von Polyurethan- oder Silikatharz) eingesetzt werden. Das Harz wirkt zusätzlich zur abdichtenden Funktion auch stabilisierend bei Strukturschäden des Altröhres oder des Rohrbettes. Bei beiden Verfahren ist ein druckdichter Abschluss des Packerprüfraums sicherzustellen. Beeinträchtigungen können hier speziell bei unmittelbar abzweigenden Anschlussrohren, stark deformierter oder instabiler Altröhresubstanz, Ablagerungen, porösen Rohrwerkstoffen oder starken Unebenheiten an der Rohrrinnenwand auftreten.¹⁸⁶

¹⁸⁵ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.398-405

¹⁸⁶ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.10.html und www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.11.html; abgerufen am 05.09.2016

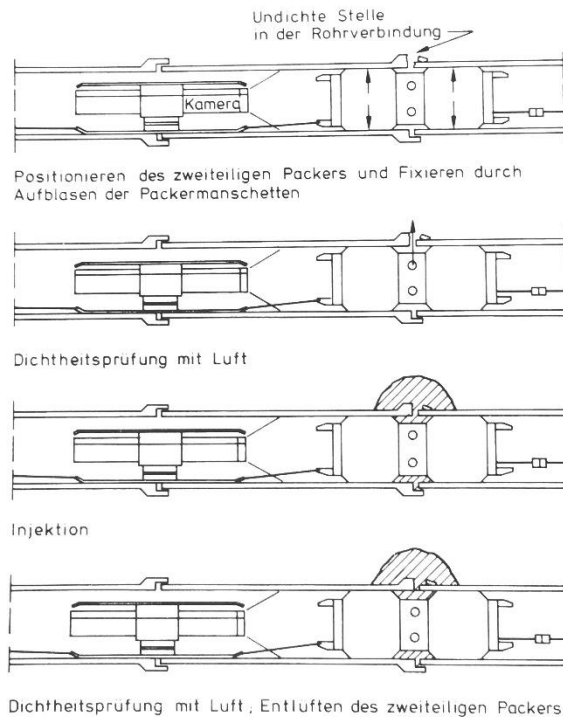


Abbildung 7.19: Arbeitsablauf Packerverfahren¹⁸⁷

In den nachstehenden Tabellen werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Injektionsverfahren mit Gel (siehe Tabelle 7.13) und des Injektionsverfahren mit Harz (siehe Tabelle 7.14) dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei sichtbaren Undichtigkeiten, keine stabilisierende Wirkung ▪ Zur temporären Abdichtung als vorbereitende Maßnahme für ein ausgewähltes Sanierungsverfahren (z.B. Kurzliner) ▪ Zur Abdichtung bei anstehendem Grundwasser (starke Strömung kann zur Abschwemmung des Materials führen) ▪ Kreisprofile mit DN 100 bis DN 700 ▪ Für alle Rohrwerkstoffe (außer Mauerwerk) ▪ Statische Tragfähigkeit des Altrohres muss gesichert sein 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohe Leistung bei geringem Personal- und Geräteaufwand ▪ Kostengünstig ▪ Sanierungserfolg durch Dichtheitsprüfung sofort kontrollierbar ▪ Bei Wurzeleinwuchs wachstumshemmendes Abdichtungsmittel einsetzbar ▪ Bei Trockenwetterabfluss i.d.R. keine Vorflutsicherung notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gel nur in ständig feuchten Bereichen einsetzbar ▪ Kein Einsatz bei Temperaturen $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ▪ Problematisch bei starken Grundwasserströmungen ▪ Keine Behebung der Schadensursache (z.B. bei Bettungsdefiziten) ▪ Nicht anwendbar, wenn kein druckdichter Abschluss des Packerprüfraums möglich ▪ Materialverbrauch im Vorfeld schwer kalkulierbar

Tabelle 7.13: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Injektionsverfahren mit Gel¹⁸⁸

¹⁸⁷ [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.400

¹⁸⁸ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.10.html; abgerufen am 05.09.2016

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei sichtbaren Undichtigkeiten ▪ Bei geringfügig deformierten Altröhren ▪ Stabilisierung und ggf. Rückverformung von gebrochenen Röhren ▪ Zur Abdichtung bei anstehendem Grundwasser (starke Strömung kann zur Abschwemmung des Materials führen) ▪ Kreisprofile mit DN 150 bis DN 700 ▪ Für alle Rohrwerkstoffe (außer Mauerwerk) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ In der Praxis erprobtes und bewährtes Sanierungsverfahren ▪ Vorfräsarbeiten zur Haftgrundvorbereitung nicht notwendig ▪ Bei Trockenwetterabfluss i.d.R. keine Vorflutsicherung notwendig ▪ Hohlraumverfüllung möglich ▪ Lokale Behebung der Schadensursache möglich (z.B. bei Bettungsdefiziten) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kein Einsatz bei Temperaturen $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ▪ Materialverbrauch im Vorfeld schwer kalkulierbar ▪ Nicht anwendbar, wenn kein druckdichter Abschluss des Packerprüfraums möglich ▪ Problematisch bei starken Grundwasserströmungen

Tabelle 7.14: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Injektionsverfahren mit Harz¹⁸⁹

7.4.3.2 Flutungsverfahren

Beim Flutungsverfahren wird „eine Zweiphaseninjektion unter Nutzung der [bestehenden, Anm. d. Verf.] Kanalhaltung als Förder- und Verteilerleitung“ in die Undichtigkeiten und das anstehende Erdreich eingebracht. Als Vorbereitung auf die Reparaturmaßnahme muss der Kanal außer Betrieb gesetzt werden und die zugehörigen Anschlusskanäle und Hausanschlüsse abgesperrt werden. Eine vorangehende Hochdruckspülung soll die unkontrollierte Reaktion der Injektionskomponenten mit Verschmutzungen vermeiden.¹⁹⁰

Die Abdichtung der Schadstellen erfolgt in zwei Arbeitsschritten mit unterschiedlichen Komponenten. Zuerst wird Lösung A in die Kanalhaltung gefüllt und solange mit hydraulisch statischem Druck von 0,1 bis 0,4 bar, je nach örtlichen Bedingungen, beaufschlagt (kontinuierliche Zugabe des Injektionsmittels) bis der Druckabfall zum Erliegen kommt. Die Lösung ist nun in die vorhandenen Undichtigkeiten und den umliegenden Boden vorgedrungen. Im zweiten Arbeitsschritt wird Lösung A aus der Kanalhaltung abgepumpt und anschließend Lösung B unter gleichen Druckverhältnissen eingeleitet. Durch die Reaktion der beiden Komponenten entsteht in den Undichtigkeiten ein wasserdichtes und irreversibles Hartgel. Abschließend wird Lösung B abgepumpt und dessen Reste mit einer verdünnten Lösung A neutralisiert. Zweckmäßiger Weise wird hierbei gleich eine Dichtheitsprüfung durchgeführt um den Sanierungserfolg nachzuweisen.¹⁹¹

¹⁸⁹ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.11.html; abgerufen am 05.09.2016

¹⁹⁰ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.409-412

¹⁹¹ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.409-412

In Tabelle 7.15 werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile des Flutungsverfahrens dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bereich DN 100 bis DN 500 ▪ I.d.R. bei nicht oder nur schwer zugänglichen Kanalabschnitten ▪ Radialrisse < 5 mm und Axialrisse < 3 mm, undichte Muffen, kleine fehlende Wandungsteile, defekte Zulaufanbindungen ▪ Zur Abdichtung bei anstehendem Grundwasser ▪ Starke Strömung des Grundwassers kann zur Abschwemmung des Materials führen ▪ Rohrwerkstoffe: Beton, Gusseisen, Steinzeug, PVC-U und Faserzement ▪ Durchlässiges Bettungsmaterial ▪ Vorherige Reinigung und Hindernisbeseitigung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Undichtigkeiten müssen nicht einzeln lokalisiert werden ▪ Auch verzweigte und abgewinkelte sowie mit herkömmlicher Technik unzugängliche Abschnitte sanierbar ▪ Kurze Sanierungsdauer ▪ Stabilisierung der Rohrbettung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Garantie einer vollständigen Reaktion beider Einzelkomponenten im Bereich des anstehenden Bodens; Restmengen können ins Grundwasser gelangen ▪ Statische Tragfähigkeit muss gesichert sein ▪ Vermischung nicht kontrollierbar und deshalb Qualität des Endprodukts nicht definierbar ▪ Materialverbrauch im Vorfeld schwer kalkulierbar

Tabelle 7.15: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Flutungsverfahren¹⁹²

7.4.4 Zulaufanbindung

Nach erfolgter Sanierung des Hauptkanals bzw. bei einzelnen Schäden müssen auch im Bereich der Zuläufe, also den Hausanschlüssen und anderen Zulaufkanälen, Maßnahmen gesetzt werden, um deren Dichtheit im Übergangsbereich sicherzustellen. Für diesen Zweck kann die Zulaufanbindung durch drei grundsätzliche Ausführungsvarianten erfolgen:

- Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren,
- Zulaufanbindung mit Roboterverfahren und
- Zulaufanbindung mit Hutprofilen.¹⁹³

Für die Sanierung von Anschlussbereichen mittels **Injektionsverfahren** werden Spezialpacker eingesetzt, die Injektionsmittel auf Polyurethanbasis oder Zement in die abzudichtenden Öffnungen pressen. Diese Packer bestehen alle aus einem Hauptkanalpacker und einem ausfahrbaren Anschlusskanalpacker (siehe Abbildung 7.20). Das Prinzip ist das gleiche wie bei den restlichen Injektionsverfahren, die schon in Abschnitt 7.4.3 besprochen wurden. Vor dem

¹⁹² Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.12.html; abgerufen am 05.09.2016

¹⁹³ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.364-370;408;574-575

Positionieren des Packers müssen jedoch noch Vorbereitungsmaßnahmen, wie z.B. das Abfräsen von in den Querschnitt hineinragender Stutzen oder das Entfernen von Ablagerungen durchgeführt werden.¹⁹⁴

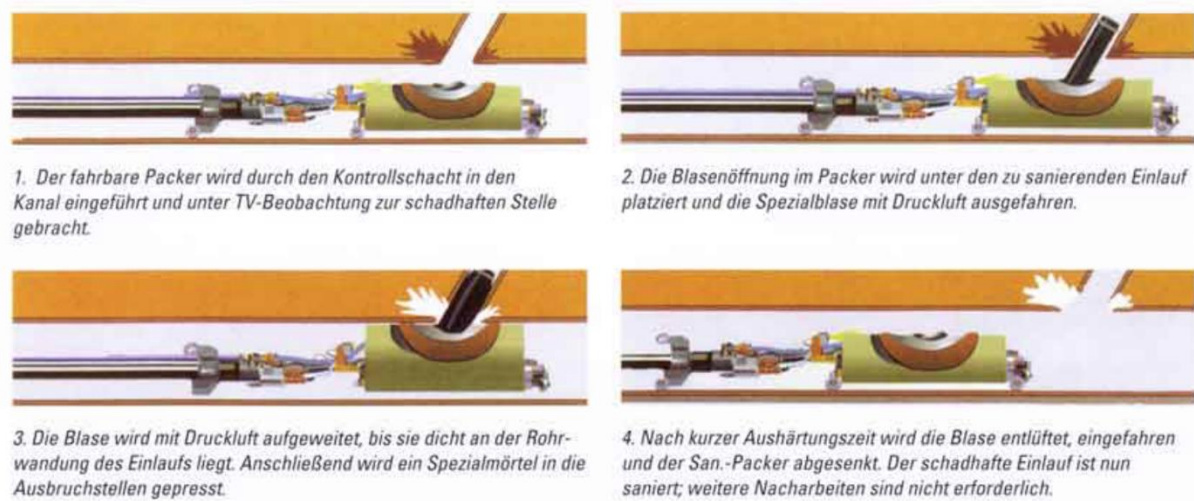


Abbildung 7.20: Schemadarstellung Sanierung von Anschlussbereichen mit Injektionsverfahren¹⁹⁵

Mithilfe von **Robotern** können ebenfalls Anschlussbereiche saniert werden. Stark zurückliegende oder ausgebrochene Einbindungen werden vom Roboter mithilfe einer Blase, die in den Zulaufbereich gesetzt wird, verschiedenen Schalungsschildern und Epoxidharz verspachtelt. Nach Aushärtung der Spachtelmasse wird der Anschluss wieder aufgefräst. Grundsätzlich läuft die Sanierung wie schon im Abschnitt 7.4.1 gezeigt ab. Die Anschlussstelle wird zuerst durch fräsen und bohren aufbereitet, gereinigt und anschließend verpresst. Am Ende werden die überstehenden Reste abgeschliffen, um eine hydraulisch glatte Oberfläche zu erhalten.¹⁹⁶

Die Zulaufanbindung mittels **Hutprofilen** wird hauptsächlich als Nachbearbeitung beim Schlauchreliningverfahren verwendet. Da sich der Inliner nicht immer mit dem Alrohr vollständig verbindet, muss im Bereich der Anschlussleitungen sichergestellt werden, dass der Inliner nicht hinterlaufen werden kann. In der Regel wird dies mit hutförmigen Anschlussprofilen bewerkstelligt. Der „Hut“ ist ein epoxidharzgetränkter Filzschlauch mit Krempe der mithilfe eines Spezialpackers, mit integriertem Seitenpacker, eingebaut wird. Während der thermischen Aushärtung bleibt das Hutprofil an die Rohrwand der Anschlussleitung und den Schlauchliner im Hauptkanal gepresst. Durch die üblichen Längen des Schlauches von 40 - 45 cm wird meist

¹⁹⁴ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.364-370;408;574-575

¹⁹⁵ [17] MUV-BW: Leitfaden für kostenminimierende Instandhaltung von Kanalnetzen; 2000; S.25

¹⁹⁶ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.364-370;408;574-575

die erste Muffenverbindung des Anschlusskanals, die oft eine kritische Stelle darstellt, überdeckt und somit abgedichtet.¹⁹⁷ „Für Zulaufanbindungen an Liner aus PE-HD werden verschweißbare Hutprofile eingesetzt. Der Kragen besteht aus PE-HD und wird mit Hilfe einer integrierten Heizwendel mit dem Liner verschweißt“¹⁹⁸.



Abbildung 7.21: Einbau des Hutprofils mittels Spezialpacker¹⁹⁹

In den nachstehenden Tabellen werden die Einsatzbedingungen und die Vor- und Nachteile der Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren (siehe Tabelle 7.16), Roboterverfahren (siehe Tabelle 7.17) und Hutprofilen (siehe Tabelle 7.18) dargestellt.

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei zurückliegenden, ausgebrochenen oder vorstehenden Zuläufen ▪ Bei einer Sanierungslänge von 10 bis 30 cm in den Zulauf hinein ▪ I.d.R. von DN 200 bis DN 600 im Hauptrohr (Kreisprofil) und DN 100 bis DN 200 in Anschlussleitungen ▪ Für alle Rohrwerkstoffe je nach verwendetem Injektionsmaterial, bis auf gemauerte Kanäle ▪ Bei unter Druck eindringendem Grundwasser ▪ Als vorbereitende Maßnahme, z.B. vor Liner-einbau 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lokale Beseitigung der Schadensursache, z.B. von Bettungsdefiziten; ▪ Sanierungsmaßnahmen in offener Bauweise können auch bei erheblichen Schäden häufig vermieden werden ▪ I.d.R. keine Vorflutsicherung notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kein Einsatz bei Temperaturen $\leq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ (Materialauskühlung in den Schlauchzuführungen) ▪ Systembedingter Materialkragen umschließt i.d.R. die Zulaufmündung ▪ Materialverbrauch im Vorfeld schwer kalkulierbar

Tabelle 7.16: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren²⁰⁰

¹⁹⁷ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.364-370;408;574-575

¹⁹⁸ Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.19.html; abgerufen am 05.09.2016

¹⁹⁹ Homepage Cosmic Engineering GmbH; www.cosmic.at; abgerufen am 05.09.2016

²⁰⁰ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.17.html; abgerufen am 05.09.2016

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei zurückliegenden, ausgebrochenen oder vorstehenden Zulaufen ▪ Bei einer Sanierungslänge von 8 bis 15 cm in den Zulauf hinein ▪ I.d.R. von DN 200 bis DN 600 im Hauptrohr (Kreisprofil) und DN 100 bis DN 250 in Anschlussleitungen ▪ Für alle nicht schweißfähigen Rohrwerkstoffe ▪ Bei drucklos eindringendem Grundwasser ▪ Als vorbereitende Maßnahme, z.B. vor Linereinbau 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ I.d.R. keine Vorflutsicherung im Hauptkanal notwendig ▪ Nur geringer Materialauftrag ▪ Geräte sind selbstfahrend daher i.d.R. Einsatz bei einseitiger Zugänglichkeit möglich ▪ Die eingesetzten Sanierungsmaterialien weisen gegenüber dem Altrohrwerkstoff i.d.R. die besseren Materialeigenschaften auf 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorflutsicherung im Zulaufkanal notwendig ▪ Keine Behebung der Schadensursache (z.B. bei Betungsdefiziten) ▪ Sanierungserfolg bei komplexen Rissstrukturen und Scherbenbildung nicht immer garantiert ▪ Erforderliche Fräsarbeiten verursachen ggf. eine Destabilisierung der Schadensbereiche

Tabelle 7.17: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Roboterverfahren²⁰¹

Einsatzbedingungen	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bereich DN 100 bis DN 500 ▪ Zulaufanbindung in Verbindung mit Renovierungsmaßnahmen (bei Inliner) ▪ I.d.R. nicht zur Stützenanbindung ▪ DN 200 bis DN 700 im Hauptrohr (Kreisprofil) und DN 100 bis DN 200 in Anschlussleitungen (Eiprofile je nach angewendetem System) ▪ Bei einer Sanierungslänge von 10 bis 150 cm in den Zulauf hinein ▪ Bedingt geeignet bei drucklos eindringendem Grundwasser ▪ Vorbereitung der Klebeflächen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexibler Einsatz möglich (z.B. Anschlusswinkel) ▪ Sichere Verbindungsmöglichkeit durch flächige Verklebung der Liner ▪ I.d.R. keine Vorflutsicherung im Hauptkanal notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lokale Querschnittsreduzierung von ca. 6 bis 8 mm ▪ Vorflutsicherung im Zulaufkanal notwendig ▪ Keine Behebung der Schadensursache (z.B. bei Betungsdefiziten) ▪ Hohe Fehleranfälligkeit bei Durchführung der Laminat-Imprägnierung vor Ort (Tränkung des Trägermaterials) gegeben

Tabelle 7.18: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Hutprofilen²⁰²

²⁰¹ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.18.html; abgerufen am 06.09.2016

²⁰² Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/html/Sanierungsverfahren.12.19.html; abgerufen am 06.09.2016

8 Auswahlkriterien für Sanierungsverfahren

Alle Verfahren, die im Kapitel 7 vorgestellt wurden, weisen baubetriebliche und ökonomische Vor- und Nachteile, sowie unterschiedliche Einsatzbedingungen auf. Es gibt kein universelles Verfahren, das für alle Sanierungsfälle technisch, als auch wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann.²⁰³ In diesem Kapitel werden die technischen Einsatzgrenzen von grabenlosen Verfahren aufgezeigt, wesentliche umweltrelevante Parameter aufgezählt und eine wirtschaftliche Betrachtung der einzelnen Bauverfahren durchgeführt. Zum Schluss wird eine Entscheidungsmatrix erarbeitet, mit deren Hilfe eine schnelle und zuverlässige Auswahl eines Verfahrens möglich ist.

8.1 Technische Parameter

Sanierungsverfahren können nur dann zum gewünschten Ergebnis führen, wenn die dafür nötigen Einsatzbedingungen und Voraussetzungen eingehalten werden. Da es keine universellen Lösungen für Kanalsanierung gibt, muss bei jedem vorgefundenen Schaden zuerst ein individuelles Sanierungskonzept erarbeitet werden. Die in den nachfolgenden Abschnitten dargestellten Parameter müssen vor der Auswahl des Sanierungsverfahrens erhoben werden, um eine fundierte Entscheidung treffen zu können. Die zu betrachteten Parameter sind

- der vorhandene Querschnitt, der Durchmesser bzw. die Nennweite des Altrohres,
- der verbaute Kanalwerkstoff,
- die vorgefundene Schadensart,
- die räumliche Ausbreitung des Schadens im Kanal,
- ob eine Wiederherstellung bzw. Erhöhung der Tragfähigkeit und Verbesserung der Betungssituation möglich ist und
- das Zulassen einer Querschnittsreduktion durch die Sanierung.

Die Ausführungen in Tabelle 8.1 bis Tabelle 8.6 wurden, sofern nicht anders angegeben, aus den Arbeitshilfen Abwasser²⁰⁴ übernommen.

8.1.1 Querschnittsprofil und Durchmesser

Die wichtigsten, im nicht begehbaren Bereich, eingesetzten Querschnittsprofile sind der Kreisquerschnitt und der Eiquerschnitt. Der **Kreisquerschnitt** wird vor allem wegen den guten hydraulischen, da das Verhältnis von Abflussquerschnitt zu benetztem Umfang einen Höchstwert erreicht, und konstruktiven Eigenschaften (gleichmäßige Spannungsverteilung auch bei hohen Traglasten) bevorzugt eingesetzt. Bei geringen Abflussmengen setzen sich jedoch leicht

²⁰³ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.710

²⁰⁴ Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_nicht_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 20.12.2016

schlammige Bestandteile des Abwassers an der flach gekrümmten Sohle ab. Der **Ei-Querschnitt** wird speziell dann eingebaut, wenn nur sehr geringe Wassermengen erwartet werden, da die Füllhöhe bei gleichem Abflussquerschnitt höher ist und somit ein schnellerer Abfluss möglich ist. Somit haben Schmutzbestandteile im Abwasser keine Möglichkeit sich am Boden absetzen zu können. Die Nachteile sind jedoch eine weniger gute Lastabtragung und die größere Bauhöhe bei gleicher Abwasserkapazität.²⁰⁵

Die Beurteilung, ob ein Sanierungsverfahren für einen Ei- bzw. Kreisquerschnitt verwendet werden kann, basiert auf den Eigenschaftstabellen (z.B. Tabelle 7.13) die für jedes Sanierungsverfahren vorhanden sind. So kann z.B. das Injektionsverfahren mit Harz laut Tabelle 7.14 nur für ein Kreisprofil mit einem Durchmesser von 150 mm bis 700 mm eingesetzt werden. Diese Tatsache ist in Tabelle 8.1 noch einmal zusammengefasst dargestellt. Diese grundsätzliche Vorgehensweise wird für die nachfolgenden Parameter (Tabelle 8.1 bis Tabelle 8.9) wiederholt.

In Tabelle 8.1 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf die Anwendbarkeit bei verschiedenen Querschnitten und Durchmessern mit ja (+) und nein (-) beurteilt.

Sanierungsverfahren	Querschnittsprofil		Durchmesser [mm]
	Kreis	Ei	
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	+	-	150 - 800
Kurzrohr-Relining	+	-	150 - 800
Wickelrohrverfahren	+	+	250 - 800
Schlauchrelining	+	+	100 - 800
Close-Fit-Verfahren	+	-	100 - 450
Beschichtungsverfahren ²⁰⁶	+	-	200 - 800
Pipe-Eating-Verfahren	+	-	250 - 800
Berstverfahren	+	-	100 - 600
Offene Bauweise	+	+	alle
Robotersanierung	+	+	200 - 800
Kurzliner	+	+	100 - 800
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+	+	150 - 800
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	+	+	150 - 800
Injektionsverfahren mit Gel	+	-	100 - 600
Injektionsverfahren mit Harz	+	-	150 - 700
Flutungsverfahren	+	+	100 - 500
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+	-	200 - 600
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+	+	200 - 800
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	+	+	200 - 700

Tabelle 8.1: Technische Parameter – Querschnittsprofil und Durchmesser des Altröhres

²⁰⁵ Vgl. [1] Bischof: Abwassertechnik; 1989; S.63

²⁰⁶ Vgl. [16] MURL-NRW: Praxisorientierter Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum; 1999; S.87

8.1.2 Werkstoff des Altrohres

Die gängigen Kanalwerkstoffe werden in Abschnitt 6 näher beschrieben. Der Kanalwerkstoff ist auf jeden Fall dann relevant für die Auswahl des Sanierungsverfahren, wenn das Altrohr im Zuge der Sanierung zerstört wird. Dies ist bei den Erneuerungsverfahren (siehe Abschnitt 7.3) der Fall. Bei Stahlbeton- und Stahlfaserbetonrohren ist die Durchführbarkeit vom Bewehrungsgrad abhängig. Bei einigen anderen Verfahren kann es z.B. durch nicht zulässige Materialkombinationen zu Einschränkungen für den Werkstoff des Altrohres geben.

In Tabelle 8.2 werden die Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf die Anwendbarkeit bei verschiedenen Altrohrmaterialien, mit ja (+), nein (-) und bedingt (~) beurteilt.

Sanierungsverfahren	PE-HD	PP	PVC / PVC-U	GFK	Duktile Gussrohre	Beton	Stahlbeton	Stahlfaserbeton	Polymerbeton	Steinzeug
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Kurzrohr-Relining	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Wickelrohrverfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Schlauchrelining	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Close-Fit-Verfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Beschichtungsverfahren ²⁰⁷	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pipe-Eating-Verfahren	-	-	-	-	-	+	~	~	+	+
Berstverfahren	-	-	-	-	+	+	~	~	+	+
Offene Bauweise	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Robotersanierung ²⁰⁸	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Kurzliner	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Injektionsverfahren mit Gel	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Injektionsverfahren mit Harz	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Flutungsverfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 8.2: Technische Parameter – Werkstoff des Altrohres

²⁰⁷ Vgl. [16] MURL-NRW: Praxisorientierter Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum; 1999; S.87

²⁰⁸ Nicht dünnwandig

8.1.3 Schadensart

Kanalisationen unterliegen einer stark schwankenden physikalischen, chemischen, biochemischen und biologischen Belastung. Durch diese Beanspruchungen wird die Bausubstanz ab der ersten Inbetriebnahme der Haltung laufend abgebaut und beschädigt. In Abhängigkeit von Planung, Werkstoff, Bauausführung, Wartung, Art bzw. Dauer der Nutzung und äußeren Einflüssen, wie Verkehrsbelastung, findet der Abbau im Laufe der Zeit mehr oder weniger schnell statt. Die unterschiedlichen Schadensarten werden im Kapitel 4 näher erläutert. Wird irgendwann die zuvor definierte Schadensgrenze erreicht oder liegt ein kompletter Ausfall der Kanalhaltung vor muss eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt werden die mindestens wieder den Soll-Zustand herstellt.²⁰⁹ Ist das Kanalrohr bereits eingestürzt kann entweder das Pipe-Eating-Verfahren oder die offene Bauweise eingesetzt werden.

Die einzelnen Sanierungsverfahren haben unterschiedlich gute Eignungen für die vorkommenden Schadensbilder. In Tabelle 8.3 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in diesem Zusammenhang mit

- anwendbar (+),
- bedingt anwendbar (~),
- nicht empfehlenswert (~-) oder
- nicht geeignet (-)

bewertet.

²⁰⁹ Vgl. [26] Stein: Instandhaltung von Kanalisationen; 1999; S.113

Sanierungsverfahren	Abflusshindernis	Lageabweichung	Verschleiß	Korrosion	Deformation	Riss, Rohrbruch	Undichtigkeit	Schadhafte Innenauskleidung	Schadhafte punktuelle Reparatur
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	-	~	+	+	~	+	+	~	~ -
Kurzrohr-Relining	-	~	+	+	~	+	+	~	~ -
Wickelrohrverfahren	-	~	+	+	~	+	+	~	~ -
Schlauchrelining	-	~	+	+	~	+	+	+	~ -
Close-Fit-Verfahren	-	~	+	+	~	+	+	~	~ -
Beschichtungsverfahren ²¹⁰	-	~	+	+	~-	+	~-	-	~-
Pipe-Eating-Verfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	~ -
Berstverfahren	~	~	+	+	+	+	+	+	~-
Offene Bauweise	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Robotersanierung	~	~	+	~	~	+	+	+	+
Kurzliner	~	~	+	+	~	+	+	+	+
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	~	~	+	+	~-	+	+	+	+
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	~	~	+	+	~-	+	+	+	+
Injektionsverfahren mit Gel	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Injektionsverfahren mit Harz	~-	~	-	-	+	+	+	~-	-
Flutungsverfahren	-	~	-	-	+	~	+	-	~ -
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	~	~	-	-	-	~	+	~-	~
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+	~	~	~	-	~	~	~	~
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	~	~	+	+	-	~	~	~	~

Tabelle 8.3: Technische Parameter – Schadensarten

8.1.4 Räumliche Ausdehnung des Schadens

Die Ausdehnung des Schadens innerhalb der Kanalhaltung kann ebenfalls ein wichtiger Auswahlparameter für ein geeignetes Sanierungsverfahren darstellen. Bei lokalen Schäden ist ein Austauschen bzw. eine Sanierung der gesamten Kanalhaltung nicht sinnvoll.

In Tabelle 8.4 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf die Eignung bei unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung des Schadens beurteilt. In diesem Zusammenhang wird dargestellt, ob die Verfahren bei lokal begrenzten Schäden empfehlenswert (+) oder nicht empfehlenswert (-) sind. Zusätzlich wird die maximal mögliche Länge eines Sanierungsabschnittes angegeben.

²¹⁰ Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 05.01.2016

Sanierungsverfahren	Einsatz bei lokal begrenzten Schäden	Max. möglicher Sanierungsabschnitt
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	-	≤ 700 m
Kurzrohr-Relining	-	≤ 700 m
Wickelrohrverfahren	-	≤ 200 m
Schlauchrelining	-	≤ 600 m (Wasser), ≤ 300 m (UV-Härtung)
Close-Fit-Verfahren	-	≤ 500 m
Beschichtungsverfahren ²¹¹	-	≤ 200 m
Pipe-Eating-Verfahren	-	≤ 150 m
Berstverfahren	-	≤ 700 m
Offene Bauweise	-	--
Robotersanierung	+	≤ 70 m
Kurzliner	+	≤ 70 m
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+	≤ 70 m
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	+	≤ 70 m
Injektionsverfahren mit Gel	+	≤ 70 m
Injektionsverfahren mit Harz	+	≤ 140 m
Flutungsverfahren	-	--
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+	≤ 70 m
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+	≤ 70 m
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	+	≤ 70 m

Tabelle 8.4: Technische Parameter – Ausdehnung des Schadens

8.1.5 Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit und Bettung

Die statische Tragfähigkeit kann bei bestimmten Sanierungsverfahren wiederhergestellt bzw. im Vergleich zum Altrohr auch erhöht werden. Dafür müssen die in ihrer Tragfähigkeit beeinträchtigten Kanalrohre während der gesamten Sanierungsdauer formstabil sein und dürfen nicht eingestürzt sein. Das gilt auch für die Bettungssituation der Abwasserrohre, die bei einigen Sanierungsverfahren verbessert werden kann.

In Tabelle 8.5 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf die Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit und Verbesserung der Bettungssituation mit ja (+) und nein (-) beurteilt.

²¹¹ Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 05.01.2016

Sanierungsverfahren	Wiederherstellung der Tragfähigkeit	Verbesserung der Bettungssituation
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	+	+
Kurzrohr-Relining	+	+
Wickelrohrverfahren	+	-
Schlauchrelining	+	-
Close-Fit-Verfahren	+	-
Beschichtungsverfahren ²¹²	-	-
Pipe-Eating-Verfahren	+	+
Berstverfahren	+	+
Offene Bauweise	+	+
Robotersanierung	+	-
Kurzliner	-	-
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+	-
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	+	-
Injektionsverfahren mit Gel	-	-
Injektionsverfahren mit Harz	+	+
Flutungsverfahren	+	+
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+	+
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+	-
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	-	-

Tabelle 8.5: Technische Parameter – Tragfähigkeit und Bettungssituation

8.1.6 Durchmesserreduktion bzw. Einfluss auf die hydraulischen Eigenschaften

Einige Sanierungsmaßnahmen können nicht eingesetzt werden, wenn die hydraulischen Eigenschaften der Kanalhaltung, also die Nennweite und Rauigkeit, nicht verändert werden dürfen. Außerdem gibt es Fälle, in denen eine Sanierung dazu genutzt wird, die Kapazität (Nennweite) der Kanalhaltung zu erhöhen.

In Tabelle 8.6 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf den Einfluss der Sanierungsmaßnahme auf die hydraulischen Eigenschaften der Kanalhaltung mit

- kein Einfluss (+),
- gering (+~),
- mittel (~) und
- groß (-)

beurteilt. Außerdem wird mit ja (+) und nein (-) dargestellt, ob eine Vergrößerung der Nennweite möglich ist.

²¹² Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 05.01.2016

Sanierungsverfahren	Einfluss auf die hydraulischen Eigenschaften	Vergrößerung der Nennweite möglich
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	-	-
Kurzrohr-Relining	-	-
Wickelrohrverfahren	~	-
Schlauchrelining	+~	-
Close-Fit-Verfahren	+~	-
Beschichtungsverfahren ²¹³	+~	-
Pipe-Eating-Verfahren	+	+
Berstverfahren	+	+
Offene Bauweise	+	+
Robotersanierung	+	-
Kurzliner	+~	-
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+~	-
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	+~	-
Injektionsverfahren mit Gel	+	-
Injektionsverfahren mit Harz	+	-
Flutungsverfahren	+	-
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+	-
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+	-
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	+~	-

Tabelle 8.6: Technische Parameter – Querschnittsreduzierung

8.2 Umweltrelevante Parameter

Genauso wichtig wie die technische Machbarkeit ist der Einfluss der Sanierungsverfahren auf die Umwelt. Die hier relevanten Parameter sind

- der Platzbedarf für Baustelleneinrichtung und Einbringung der Sanierungsmaterialien in die Kanalhaltung und die daraus folgende Verkehrsbeeinträchtigung,
- die Exponiertheit von Anrainern und Gebäuden bzgl. Lärm, Staub und Erschütterungen und
- die Grundwassersituation in Höhe der Kanalhaltung.

Die Ausführungen in Tabelle 8.7 bis Tabelle 8.9 wurden aus den Arbeitshilfen Abwasser²¹⁴ übernommen.

²¹³ Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 05.01.2016

²¹⁴ Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_nicht_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 20.12.2016

8.2.1 Platzbedarf für Baugrube und Baustelle

Der Platzbedarf auf der Baustelle hängt direkt von der gewählten Sanierungsmethode ab. Rückschließend kann natürlich an einer beengten Sanierungsstelle, ohne die Möglichkeit einer großflächigen Absperrung, kein Sanierungsverfahren gewählt werden, das die Herstellung einer Baugrube verlangt. Dieser Parameter wird als umweltrelevant angesehen, da sich der Platzbedarf der Baustelle mit der Verkehrsbeeinträchtigung proportional verhält. Als Beispiele sind hier das Rohrstrang- bzw. Langrohr-Relining (siehe Abschnitt 7.2.1.1) und das Wickelrohrverfahren (siehe Abschnitt 7.2.1.2) noch einmal gesondert dargestellt.

Beim Rohrstrang- und Langrohr-Relining werden Rohre auf Trommeln oder als Strangware geliefert und auf der Baustelle mittels Seilwinde und einer entsprechend langen Baugrube in den zu sanierenden Kanal eingesetzt (siehe Abbildung 8.1).²¹⁵

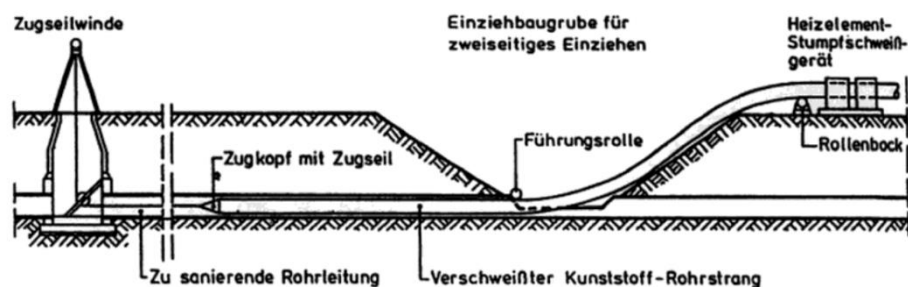


Abbildung 8.1: Erhöhter Platzbedarf einer Baugrube am Beispiel Langrohrrelining²¹⁶

Beim Wickelrohrverfahren wird das „Rohr [...] durch stetiges Wickeln und Zusammenfügen eines profilierten Kunststoff-Streifens“²¹⁷ innerhalb des vorhandenen Kanalschachtes in die endgültige Form gebracht, weshalb hier keine Baugrube hergestellt werden muss (siehe Abbildung 8.2).

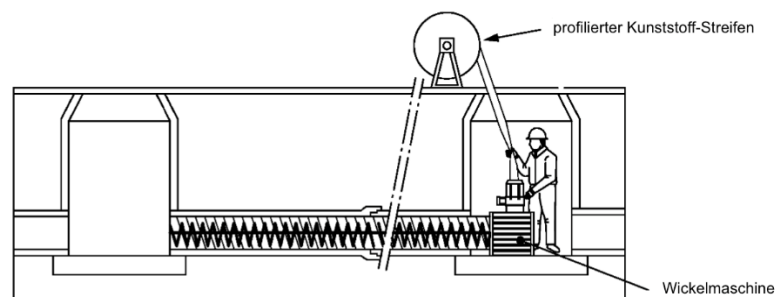


Abbildung 8.2: Geringer Platzbedarf am Beispiel Wickelrohrverfahren²¹⁸

²¹⁵ Vgl. [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.102-107

²¹⁶ [30] Wagner: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen; 2000; S.103

²¹⁷ [9] DIN EN ISO 11296-7; 2013; S.7

²¹⁸ Adaptiert nach [9] DIN EN ISO 11296-7; 2013; S.14

In Tabelle 8.7 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf den Platzbedarf der beim Einbauvorgang benötigt wird mit

- gering (+),
- mittel (~) und
- groß (-)

beurteilt. Außerdem wird mit ja (+) oder nein (-) beurteilt, ob ohne Baugrube gearbeitet werden kann und ob das Vorhandensein von nur einem Zugangsschacht ausreichend ist.

Sanierungsverfahren	Platzbedarf auf der Baustelle	Ohne Baugrube?	Zugangsschacht einseitig ausreichend?
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	-	-	-
Kurzrohr-Relining	-	-	-
Wickelrohrverfahren	+	+	-
Schlauchrelining	~	+	-
Close-Fit-Verfahren	~	+	-
Beschichtungsverfahren ²¹⁹	~	+	-
Pipe-Eating-Verfahren	-	-	+
Berstverfahren	-	-	-
Offene Bauweise	-	-	+
Robotersanierung	+	+	+
Kurzliner	~	+	-
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+	+	+
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	~	+	-
Injektionsverfahren mit Gel	+	+	-
Injektionsverfahren mit Harz	+	+	-
Flutungsverfahren	+	+	+
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+	+	-
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+	+	+
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	+	+	+

Tabelle 8.7: Umweltrelevante Parameter – Platzbedarf

8.2.2 Lärm, Staub und Erschütterungen

Ein weiterer Parameter bei der Auswahl der Sanierungsverfahren stellt die Empfindlichkeit der Umgebung an der Einbaustelle dar. Besonders für Belastungen der Umwelt durch Lärm, Staub und Erschütterungen sind oft besondere Anforderungen durch den Auftraggeber gefordert. Grund genug die Sanierungsverfahren nach diesen Parametern zu beurteilen.

²¹⁹ Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 05.01.2016

In Tabelle 8.8 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf die Beeinträchtigung der Umwelt durch Lärm, Staub und Erschütterungen mit

- keine Beeinträchtigung (+),
- gering (+~),
- mittel (~) und
- groß (-)

beurteilt.

Sanierungsverfahren	Beeinträchtigung durch Lärm bzw. Staub	Erschütterungen
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	~	~
Kurzrohr-Relining	~	~
Wickelrohrverfahren	+~	+
Schlauchrelining	+~	+
Close-Fit-Verfahren	+~	+
Beschichtungsverfahren ²²⁰	~	+~
Pipe-Eating-Verfahren	~	+~
Berstverfahren	~	~
Offene Bauweise	-	-
Robotersanierung	+~	+
Kurzliner	+~	+
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+~	+
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	+~	+
Injektionsverfahren mit Gel	+~	+
Injektionsverfahren mit Harz	+~	+
Flutungsverfahren	+~	+
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+~	+
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+~	+
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	+~	+

Tabelle 8.8: Umweltrelevante Parameter – Lärm, Staub und Erschütterungen

8.2.3 Grundwasser

Der letzte Parameter für die Beurteilung der Sanierungsverfahren im Sinne ihrer umweltrelevanten Einflüsse ist die Grundwassersituation an der Einbaustelle. Falls der Grundwasserspiegel die Sohle der Kanalhaltung übersteigt, müssen unter Umständen geeignete Maßnahmen (z.B. Grundwasserabsenkung bzw. eine vorherige Abdichtung der Grundwasserinfiltration in die Kanalhaltung) gesetzt werden, um einige Sanierungsverfahren einsetzen zu können, was

²²⁰ Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 05.01.2016

wiederum die Umwelt belasten kann. Außerdem können unter Umständen wasserrechtliche Genehmigungen notwendig sein, um bestimmte Verfahren anwenden zu können.

In Tabelle 8.9 wird für alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 mit ja (+) und nein (-) dargestellt, ob das Verfahren ohne eine Grundwasserregulierung bzw. eine Maßnahme zur Verhinderung der Infiltration des Grundwassers in die zu sanierende Leitung eingesetzt werden kann.

Sanierungsverfahren	<u>Ohne</u> Maßnahmen zur Grundwasserregulierung
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	-
Kurzrohr-Relining	-
Wickelrohrverfahren	-
Schlauchrelining	+
Close-Fit-Verfahren	+
Beschichtungsverfahren ²²¹	+
Pipe-Eating-Verfahren	+
Berstverfahren	-
Offene Bauweise	-
Robotersanierung	+
Kurzliner	+
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	+
Injektionsverfahren mit Gel	+
Injektionsverfahren mit Harz	+
Flutungsverfahren	+
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	+
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	+

Tabelle 8.9: Umweltrelevante Parameter – Grundwasserregulierung

8.3 Ökonomische Parameter

Ein Vergleich der einzelnen Sanierungsverfahren in technischer und umweltrelevanter Hinsicht wurde in Abschnitt 8.1 und 8.2 durchgeführt. Bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich der einzelnen Verfahren liegt die Entscheidung meist beim Anwender selbst, z.B. welche Kosten er zulassen will oder wie lange eine sanierte Kanalhaltung halten soll.

²²¹ Vgl. Homepage BMVBS; http://www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_begehbare_kanaele.xls; abgerufen am 05.01.2016

Die hier relevanten Parameter sind

- die direkten und indirekten Kosten,
- die zu erwartende Nutzungsdauer nach der Sanierung und
- die notwendige Bauzeit.

Die Ausführungen in Tabelle 8.10 bis Tabelle 8.12 wurden zum Teil aus Ochs²²² übernommen.

8.3.1 Direkte und indirekte Kosten

Grundsätzlich ist es oftmals schwierig die Kosten für ein Projekt im Vorhinein sachkundig zu ermitteln, es müssen daher für die Entscheidungsfindung Richtpreise und Erfahrungswerte angesetzt werden. Es wird im Allgemeinen zwischen direkten und indirekten Kosten unterschieden. Die **direkten Kosten** beziffern die Gesamtbaukosten pro Laufmeter Sanierungslänge. Hierin sind nicht nur die reinen Baukosten enthalten, sondern auch zusätzliche Kosten, wie Verkehrssicherungskosten, Kosten um die Vorflut zu gewährleisten, Kosten für Planungsleistungen usw. **Indirekte Kosten** sind sehr schwer zu bestimmen und zu beziffern. Hierbei handelt es sich um Kosten, die durch Umweltbelastungen, wie z.B. Staub, Lärm und Erschütterungen entstehen, oder Kosten durch Umsatzeinbußen von angrenzenden Geschäftslokalen bzw. der Kraftstoffmeherverbrauch durch etwaige Verkehrsumleitungen.²²³

Eine genaue Ermittlung der Kosten wurde hier nicht durchgeführt, deshalb werden in Tabelle 8.10 für alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 die Kosten im Verhältnis zueinander dargestellt. Es wird unterschieden zwischen

- sehr niedrigen (+),
- niedrigen (+~),
- mittelhohen (~),
- hohen (~-) und
- sehr hohen (-) Kosten.

Wenn die Kosten einer größeren Schwankung unterliegen, kann es auch zu Zwischenstufen (z.B. niedrig (+~) / mittel (~)) kommen. Sie werden in Tabelle 8.10 als getrenntes Tabellenfeld mit verschiedenen Farben dargestellt. Als Grundlage für die Beurteilung dienen hierbei Kostenansätze von den Arbeitshilfen Abwasser²²⁴. Die dort dargestellten Werte wurden aus verschiedenen Submissionsangeboten undstellerauskünften zusammengetragen. Damit

²²² Vgl. [18] Ochs: Multikriterielle Optimierung der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen; 2012; S.262-264

²²³ Vgl. [18] Ochs: Multikriterielle Optimierung der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen; 2012; S.119

²²⁴ Vgl. Homepage BMVBS; www.arbeitshilfen-abwasser.de/Materialien/Musterdokumente/Sanierung/A6_sanierungsverfahren_nicht_begehbare_kanaele_leitungen_kosten.xls; abgerufen am 05.01.2016

können die verschiedenen Sanierungsverfahren miteinander verglichen werden. Da die Kostenansätze je nach Durchmesser unterschiedlich hoch ausfallen, wurde zur Vereinfachung jeweils der Mittelwert herangezogen. Niedrige Kosten in Tabelle 8.10 entsprechen dabei einem Wert von bis zu 100 € pro Laufmeter und sehr hohe Kosten entsprechen einem Wert größer als 600 € pro Laufmeter.

Sanierungsverfahren	Kosten (im Verhältnis zueinander)	
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	+~	
Kurzrohr-Relining	~	
Wickelrohrverfahren	+~	~
Schlauchrelining	+~	
Close-Fit-Verfahren	+	
Beschichtungsverfahren	~	
Pipe-Eating-Verfahren	-	
Berstverfahren	~-	
Offene Bauweise	~	
Robotersanierung	+	+~
Kurzliner	+~	~
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	~	~-
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	~-	
Injektionsverfahren mit Gel	+	
Injektionsverfahren mit Harz	~	
Flutungsverfahren	+~	
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	~-	
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	~	
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	~	

Tabelle 8.10: Ökonomische Parameter – Kosten

8.3.2 Nutzungsdauer nach der Sanierung

Ein zusätzlicher Aspekt bei der wirtschaftlichen Entscheidung für ein Sanierungsverfahren ist die voraussichtliche Nutzungsdauer der sanierten Kanalhaltung. Ist z.B. eine Erneuerung der Kanalhaltung in den nächsten Jahren schon bei Planung der Sanierungsmaßnahmen bekannt und soll die Kanalhaltung nur bis zu diesem Zeitpunkt wieder in Stand gesetzt werden, kann für Sanierungsmaßnahme eine niedrigere Nutzungsdauer angesetzt werden bzw. eine niedrige Nutzungsdauer in Kauf genommen werden.

In Tabelle 8.11 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf die voraussichtlich zu erwartende mittlere Nutzungsdauer beurteilt. Allerdings sind die angegebenen Nutzungsdauern Erfahrungswerte und können von der Realität abweichen.

Sanierungsverfahren	Mittlere Nutzungsdauer [Jahre]
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	70 - 80
Kurzrohr-Relining	70 - 80
Wickelrohrverfahren	40 - 50
Schlauchrelining	40 - 50
Close-Fit-Verfahren	40 - 50
Beschichtungsverfahren	40 - 50
Pipe-Eating-Verfahren	80 - 100
Berstverfahren	80 - 100
Offene Bauweise	80 - 100
Robotersanierung	20 - 25
Kurzliner	10 - 15
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	20 - 25
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	10 - 15
Injektionsverfahren mit Gel	5 - 10
Injektionsverfahren mit Harz	25 - 35
Flutungsverfahren	5 - 10
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	25 - 35
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	20 - 25
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	10 - 15

Tabelle 8.11: Ökonomische Parameter – Nutzungsdauer

8.3.3 Bauzeit der Sanierungsmaßnahme

Der letzte Parameter für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist die voraussichtliche Bauzeit die beim Einsatz eines bestimmten Sanierungsverfahrens angesetzt werden muss. Natürlich muss hier ebenfalls auf Erfahrungswerte gesetzt werden, da die tatsächlich aufgewendete Zeit erst nach Fertigstellung der Baumaßnahme bekannt ist.

In Tabelle 8.12 werden alle Sanierungsverfahren aus Kapitel 7 in Bezug auf die voraussichtlich zu erwartende Bauzeit im Verhältnis zueinander beurteilt. Die Dauer wird aufgeteilt in

- kurze (+),
- mittellange (~) und
- lange (-) Bauzeit.

Für die Werte in Tabelle 8.12 wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass Sanierungsverfahren, die z.B. eine Baugrube benötigen (siehe Tabelle 8.7) längere Bauzeiten aufweisen, als ohne Baugrubenaushub notwendig wäre. Wenn eine Grundwasserregulierung (siehe Tabelle 8.9) notwendig ist, dann wird die Bauzeit ebenfalls verlängert. Darüber hinaus müssen bei einigen Sanierungsmethoden (z.B. Injektionsverfahren oder Schlauchrelining) verfahrensbedingte Trockenzeiten eingehalten werden, die sich ebenfalls negativ auf die Bauzeit auswirken. Dem Pipe-Eating-Verfahren und der offenen Bauweise wurden hier die längsten Bauzeiten

zugewiesen, da diese Methoden sehr hohe logistische Anforderungen (z.B. Straßensperre, hoher Flächenbedarf, lange bzw. große Baugruben) erforderlich machen.

Sanierungsverfahren	Bauzeit (im Verhältnis zueinander)
Rohrstrang-/Langrohr-Relining	~
Kurzrohr-Relining	~
Wickelrohrverfahren	~
Schlauchrelining	~
Close-Fit-Verfahren	+
Beschichtungsverfahren	~
Pipe-Eating-Verfahren	-
Berstverfahren	~
Offene Bauweise	-
Robotersanierung	+
Kurzliner	+
Edelstahlmanschetten (Elastomer)	+
Edelstahlmanschetten (Verklebt)	+
Injektionsverfahren mit Gel	~
Injektionsverfahren mit Harz	~
Flutungsverfahren	~
Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	~
Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	+
Zulaufanbindung mit Hutprofilen	~

Tabelle 8.12: Ökonomische Parameter – Bauzeit

8.4 Erarbeitung einer Entscheidungsmatrix

Alle Parameter in den vorherigen Abschnitten 8.1 bis 8.3 müssen bei der Entscheidung für ein Sanierungsverfahren skaliert bzw. bewertet werden. Dies geschieht mithilfe eines vom Verfasser definierten Bewertungsschemas, d.h. jedem Parameter wird ein Zielerfüllungsgrad für das zugrundeliegende Verfahren zugewiesen. Nach dieser Bewertung können die Kriterien in eine Matrix überführt werden, mit deren Hilfe man eine Entscheidung treffen kann.

Noch vor der detaillierten Bewertung der einzelnen Parameter müssen all jene Sanierungsverfahren mithilfe der Ausschlusskriterien ausgeschieden werden, die für eine vorliegende Problemstellung nicht geeignet sind.

8.4.1 Ausschlusskriterien

Bei den einzelnen Parametern gibt es jene, die ein völliges Ausschlusskriterium darstellen, und jene, die einen bestimmten Zielerfüllungsgrad (siehe Abschnitt 8.4.2) ergeben. Ob ein Parameter bei einer bestimmten Problemstellung ein Ausschlusskriterium oder ein Zielerfüllungskriterium darstellt kann variieren.

Unter einem Ausschlusskriterium wird ein Parameter verstanden, der bei Nichterfüllung zum automatischen Ausscheiden des Verfahrens im Auswahlprozess führt. So kann z.B. ein Verfahren, das nur für kreisrunde Querschnitte einsetzbar ist, beim Vorhandensein eines Eiquerschnitts automatisch ausgeschlossen werden.

Der erste Schritt in diesem Auswahlverfahren ist, die zur Verfügung stehenden Eingangsparameter der Sanierungsverfahren auf Ausschlusskriterien zu untersuchen und allenfalls auszuschneiden. Dieser Prozess sollte in den meisten Fällen eine eindeutige Entscheidung über die Verwendbarkeit zulassen.

Es gibt jedoch bei den Parametern Ausnahmen, wo eine Eindeutigkeit nicht immer gegeben ist. Im Speziellen betrifft dies jene Kriterien, deren Art (Ausschluss oder Zielerfüllung) von der entscheidenden Person beeinflusst werden kann. Ein Beispiel hierfür wäre die Nutzungsdauer der sanierten Kanalhaltung. Wenn als Vorgabe eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren gefordert ist, führt das dazu, dass alle Verfahren, deren Nutzungsdauer weniger als 50 Jahre beträgt, aus dem Auswahlprozess auszuschneiden sind. Wird jedoch keine Anforderung gestellt, also dem Entscheider ist egal, wie lange die sanierte Leitung benutzt werden kann, dann stellt die Nutzungsdauer ein reines Zielerfüllungskriterium dar. Es wird also der Zielerfüllungsgrad ermittelt. Dies bedeutet, dass ein Verfahren mit langer Nutzungsdauer eine höhere Zielerfüllung hat, als ein Verfahren mit kurzer Nutzungsdauer.

Grundsätzlich können deshalb zwei Arten von Ausschlusskriterien definiert werden:

- fixe Ausschlusskriterien und
- variable Ausschlusskriterien.

Fixe Ausschlusskriterien sind jene Parameter, die ein eindeutiges Ergebnis über die Eignung des Sanierungsverfahren für das vorliegende Problem ergeben. In diese Kategorie fallen

- die Art des Querschnittsprofils,
- der Durchmesser,
- der Werkstoff des Altröhres,
- das Vorhandensein eines lokalen Schadens,
- die Forderung einer Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit,
- die Notwendigkeit einer Verbesserung der Bettungssituation,
- die Forderung nach einer Vergrößerung der Nennweite und
- das Vorhandensein eines einzelnen einseitigen Zugangsschachtes.

Diese Parameter können von der entscheidenden Person nicht beeinflusst werden, d.h. wenn z.B. die Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit gefordert ist, kann ein Verfahren diese Aufgabe entweder erfüllen oder nicht erfüllen. Es gibt keine Zwischenstufen.

Dem entgegen stehen die **variablen Ausschlusskriterien**. Sie können so gesteuert werden, dass sie ein Ausschlusskriterium oder ein Kriterium mit gewissem Zielerfüllungsgrad darstellen. Hierzu zählen

- der maximal mögliche Sanierungsabschnitt,
- der Einfluss auf die hydraulischen Eigenschaften,
- der Platzbedarf auf der Baustelle,
- die Notwendigkeit einer Baugrube,
- die Beeinträchtigung durch Lärm und Staub,
- das Vorhandensein von Erschütterungen,
- die Notwendigkeit von Grundwasserregulierungsmaßnahmen,
- die Kosten,
- die mittlere Nutzungsdauer und
- die vorgesehene Bauzeit.

Bei all diesen Parametern kann die entscheidende Person beeinflussen, ob Verfahren durch eine Einschränkung bzw. eine Vorgabe ausgeschlossen werden. Wenn man z.B. keine hydraulischen Einschränkungen nach der Sanierung zulassen will, dann werden alle Verfahren aus dem Auswahlprozess ausgeschlossen, die eine Veränderung der hydraulischen Eigenschaften zur Folge hätten. Wenn keine Einschränkungen gemacht werden, kann durch dieses Kriterium kein Verfahren ausgeschlossen werden.

Ob nun ein Parameter ein Ausschlusskriterium oder ein Zielerfüllungskriterium darstellt, kann je nach Problemstellung variieren, deshalb auch „variable Ausschlusskriterien“. Wenn ein Parameter nicht als Ausschlusskriterium angesehen wird, wird automatisch ein Zielerfüllungskriterium daraus. Somit fließt dessen Zielerfüllungsgrad in die Entscheidungsmatrix ein.

Eine Mischform dieser beiden Arten stellt als einziges der Parameter „Schadensart“ dar. Er setzt sich aus fixen und variablen Ausschlusskriterien zusammen. Ein fixes Ausschlusskriterium ist gegeben, wenn ein Sanierungsverfahren nicht bei einer vorgefundenen Schadensart eingesetzt werden kann. Wie in Tabelle 8.3 ersichtlich kann z.B. das Wickelrohrverfahren nicht bei Abflusshindernissen eingesetzt werden. Jedoch kann durch den Anwender vorgegeben werden, dass auch all diejenigen Verfahren ausgeschlossen werden sollen, die nur bedingt für Abflusshindernisse anwendbar sind. Das würde z.B. das Berstverfahren für diese Schadensart ausschließen.

In Tabelle 8.13 sind die Ausschlusskriterien noch einmal getrennt nach der jeweiligen Zugehörigkeit zu technischen, umweltrelevanten und ökonomischen Parametern dargestellt. Es wird angegeben, um welche Art von Ausschlusskriterium es sich handelt und bei welchem Wert ein Ausschluss aus dem Auswahlverfahren stattfindet. Den Wert für den Parameter erhält

man aus der jeweiligen Tabelle. Es wird z.B. eine Kanalhaltung saniert, bei der die Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit gefordert ist. In Tabelle 8.5 ist z.B. beim Beschichtungsverfahren ein „nein“ (-) als Wert vermerkt. Die Tabelle 8.13 zeigt nun, dass dieser Wert bei der Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit zum Ausschluss des Verfahrens führt.

Parameter	Wert der zum Ausschluss führt	Art des Ausschlusskriteriums
Technische Parameter		
Querschnittsprofil	„nein“	fix
Durchmesser	DN zu groß oder klein	fix
Werkstoff	„nein“	fix
Lokaler Schaden	„nein“	fix
Wiederherstellung statische Tragfähigkeit	„nein“	fix
Verbesserung der Bettungssituation	„nein“	fix
Vergrößerung der Nennweite	„nein“	fix
Einseitiger Zugangsschacht	„nein“	fix
Maximaler Sanierungsabschnitt	je nach Vorgabe	variabel
Querschnittsreduzierung	je nach Vorgabe	variabel
Schadensart	„nicht geeignet“ oder nach Vorgabe	fix / variabel
Umweltrelevante Parameter		
Platzbedarf	je nach Vorgabe	variabel
Baugrube	je nach Vorgabe	variabel
Lärm und Staub	je nach Vorgabe	variabel
Erschütterungen	je nach Vorgabe	variabel
Grundwasserregulierung	je nach Vorgabe	variabel
Ökonomische Parameter		
Kosten	je nach Vorgabe	variabel
Nutzungsdauer	je nach Vorgabe	variabel
Bauzeit	je nach Vorgabe	variabel

Tabelle 8.13: Ausschlusskriterien

8.4.2 Zielerfüllungskriterien

Mit den Zielerfüllungskriterien lassen sich Aussagen darüber treffen, inwieweit ein Sanierungsverfahren für das vorliegende Problem geeignet ist. Es gibt nicht nur „ja“ oder „nein“ bei der Bewertung, sondern Zwischenwerte, wie z.B. „nicht empfehlenswert“. Alle im letzten Abschnitt dargestellten variablen Ausschlusskriterien können auch ein Zielerfüllungskriterium darstellen, sofern keine Einschränkungen vorgegeben wurden. Mithilfe der Zielerfüllungskriterien lässt sich ein Zielerfüllungsgrad für jedes Sanierungsverfahren ermitteln.

Dieser Zielerfüllungsgrad spiegelt eine gewisse Eignung des jeweiligen Verfahrens für die vorliegende Problemstellung wieder. Ist z.B. für eine Kanalhaltung in einer Wohnsiedlung eine Sanierungsmaßnahme gesucht werden wahrscheinlich Verfahren bevorzugt, die nur wenig Lärm emittieren. Man könnte also sagen, dass hier die Zielerfüllung bei Sanierungsverfahren mit nur wenig Lärmbelastung für die umliegenden Anwohner höher ist, als für andere Verfahren.

Alle Zielerfüllungskriterien müssen in der Entscheidungsmatrix entsprechend skaliert werden. Hierfür wird ein Bewertungsschema eingeführt, wodurch für die entscheidende Person der gesamte Zielerfüllungsgrad des einzelnen Verfahrens fundiert bewertbar ist. Hierfür wurden alle Parameter einheitlich skaliert, da ansonsten eine Verzerrung des Ergebnisses vorliegen würde. Für diese Beurteilung werden Werte im Schulnotensystem zwischen „1“ und „5“ eingeführt, wobei der Wert „5“ für eine geringe Zielerfüllung steht und der Wert „1“ eine hohe Zielerfüllung angibt.

In Tabelle 8.14 wird dieses Bewertungsschema für alle Parameter aus den vorherigen Abschnitten 8.1 bis 8.3 dargestellt. Die fixen Ausschlusskriterien sind nicht enthalten, da es für sie keinen Zielerfüllungsgrad geben kann. Es sind auch leere Zellen vorhanden, da es bei einigen Parametern (z.B. Schadensart) weniger Werte, als Zielerfüllungsgrade („1“ – „5“), gibt. Sind nur drei Werte vorhanden (z.B. Platzbedarf), dann werden sie auf die Grade „1“, „3“ und „5“ aufgeteilt. Bei vier Werten (z.B. Lärm und Staub) auf die Grade „1“, „2“, „4“ und „5“.

Parameter	Wertebereich	Zielerfüllungsgrad				
		Gering	Mittel		Hoch	
		5	4	3	2	1
Technische Parameter						
Schadensart	+ / ~ / ~-	~-		~		+
Max. Sanierungsabschnitt	0 bis ∞ m	< 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	> 400
Querschnittsreduzierung	+ / +~ / ~ / -	-	~		+~	+
Umweltrelevante Parameter						
Platzbedarf	+ / ~ / -	-		~		+
Baugrube	+ / -	-				+
Lärm und Staub	+ / +~ / ~ / -	-	~		+~	+
Erschütterungen	+ / +~ / ~ / -	-	~		+~	+
Grundwasserregulierung	+ / -	-				+
Ökonomische Parameter						
Kosten	+ / +~ / ~ / ~- / -	-	~-	~	+~	+
Nutzungsdauer	5 bis 100 Jahre	< 10	10 - 35	35 - 60	60 - 85	> 85
Bauzeit	+ / ~ / -	-		~		+

Tabelle 8.14: Bewertungsschema für Zielerfüllungskriterien

8.4.3 Weg zur Entscheidungsmatrix

Um nun zu einer Entscheidungsmatrix zu gelangen, müssen zuvor einige Arbeitsschritte abgearbeitet werden. Als erstes werden die Eingangsdaten, die in den Auswahlprozess eingehen, ermittelt. Diese setzen sich aus Tatsachen (z.B. der Werkstoff des Altröhres) und Entscheidungen des Anwenders (z.B. eine Vergrößerung der Nennweite) zusammen. In Tabelle 8.14 sind alle notwendigen Daten, die für das Auswahlverfahren notwendig sind, angegeben.

Tatsachen		Entscheidung beim Anwender
– Querschnittsprofil	– Schadensart	– Wiederherstellung stat. Tragfähigkeit?
– Durchmesser	– Nur lokaler Schaden?	– Verbesserung der Bettungssituation?
– Werkstoff des Altröhres	– Einstiegschacht nur einseitig?	– Vergrößerung der Nennweite erforderlich?

Tabelle 8.15: Eingangsdaten in das Auswahlverfahren

Der nächste Schritt beinhaltet die Festlegung der Ausschlusskriterien für den Auswahlprozess. Alle fixen Ausschlusskriterien (siehe Abschnitt 8.4.1) können ohne Anpassung verwendet werden. Die variablen Ausschlusskriterien müssen durch die entscheidende Person noch definiert werden. Soll nun bei einer Kanalhaltung kein Verfahren zum Einsatz kommen, wo es im Bauablauf zu Erschütterungen kommen kann, wird der Parameter „Erschütterungen“ zu einem Ausschlusskriterium. Es werden also alle Verfahren bei denen es zu Erschütterungen kommt ausgeschlossen.

Wird ein Verfahren nicht durch ein Ausschlusskriterium aus dem Prozess ausgeschlossen, werden für dieses Verfahren die Zielerfüllungsgrade für jeden Parameter ermittelt (siehe Tabelle 8.14). Anschließend kommt das Verfahren mit allen Parametern in eine Matrix. Diese Matrix ist die eigentliche Entscheidungsmatrix, da man nach Beurteilung aller Verfahren hier ablesen kann, welches Verfahren am besten für die vorliegende Problemstellung geeignet ist. Die vorherigen Schritte werden nun für jedes Sanierungsverfahren einzeln wiederholt.

Wenn alle Verfahren durch den Auswahlprozess gelaufen sind erhält man die ausgefüllte Entscheidungsmatrix und eine Rangfolge für die Eignung der Verfahren. Dabei ist „1“ der Wert mit der höchsten Eignung und „5“ der Wert mit der schlechtesten Eignung. Nun kann das Verfahren ausgewählt werden, das am besten geeignet ist.

Es kann sein, dass eine Gewichtung der einzelnen Parameter erfolgen soll, z.B. der Wert „Erschütterungen“ wird weniger hoch gewertet, als andere Parameter. In diesem Falle werden vor Auswahl des Verfahrens die einzelnen Parameter gewichtet und erst dann erhält man eine Rangfolge. Danach kann das am besten geeignete Verfahren ausgewählt werden.

Abbildung 8.3 soll diesen Ablauf noch einmal im Überblick darstellen.

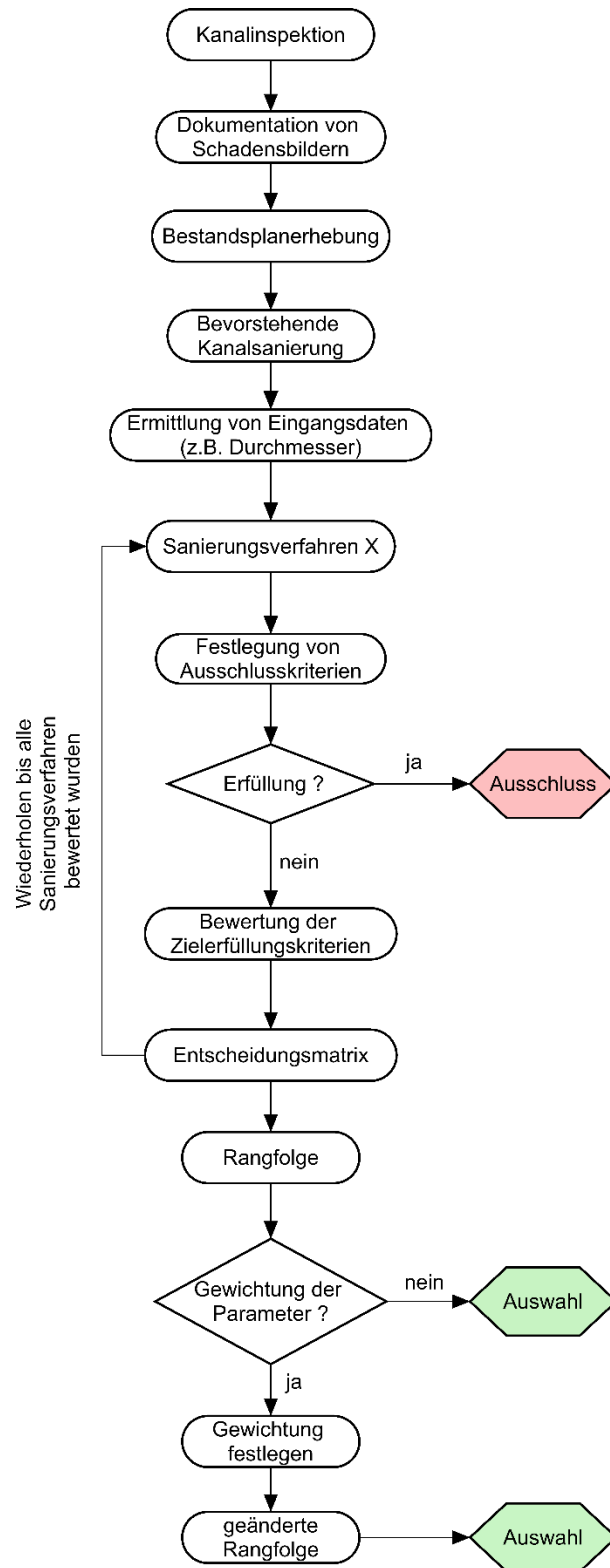


Abbildung 8.3: Flussdiagramm zum Auswahlverfahren

8.4.4 Fallbeispiel

Um eine praktische Erklärung zu liefern, wird ein konkreter Auswahlprozess mithilfe eines Beispiels erklärt. Es soll das am besten geeignetsten Sanierungsverfahren für eine Kanalhaltung lt. Tabelle 8.16 gefunden werden.

Querschnittsprofil:	Kreis	Wiederherstellung stat. Tragfähigkeit?	nein
Durchmesser:	DN 550	Verbesserung der Bettungssituation?	nein
Werkstoff des Altrohres:	Beton	Vergrößerung der Nennweite erforderlich?	nein
Schadensart:	<ul style="list-style-type: none"> – Rissbildung – Lageabweichungen (axial) – Verschleiß – Korrosion 	Einstiegschacht nur einseitig?	nein
		Nur lokaler Schaden?	nein

Tabelle 8.16: Eingangsdaten für das Beispiel

Diese Werte sorgen für eine Vorauswahl der möglichen Sanierungsverfahren durch Anwendung der Ausschlusskriterien. Es werden in diesem Beispiel nur fixe Ausschlusskriterien betrachtet, d.h. alle variablen Ausschlusskriterien stellen hier ein Zielerfüllungskriterium dar. Alle Verfahren die die Kriterien nicht erfüllen, können sofort aus dem Auswahlprozess ausgeschlossen werden.

Ausschlusskriterien

1. Das **Querschnittsprofil** wird mit Kreis angegeben, wonach alle Verfahren, die nicht bei einem Kreisprofil eingesetzt werden können, auszuschließen sind. Wie in Tabelle 8.1 ersichtlich sind alle Verfahren für ein Kreisprofil einsetzbar, wodurch dieses Kriterium zu keinem Ausschluss führt.
2. Der **Durchmesser** des Rohres beträgt DN 550. Durch einen Blick auf Tabelle 8.1 können nun jene Verfahren, die nur für einen kleineren oder größeren Durchmesser geeignet sind, ausgeschlossen werden. Hierbei handelt es sich um
 - Close-Fit-Verfahren und
 - Flutungsverfahren.
3. Es handelt sich um ein Betonrohr, somit können alle Sanierungsverfahren, die bei diesem **Werkstoff** nicht angewendet werden können, ausgeschlossen werden. Laut Tabelle 8.2 sind alle Verfahren bei dem Werkstoff Beton anwendbar. Deshalb wird hier kein Ausschluss möglich sein.
4. Die **Schadensarten** wurden mit Rissbildung, axiale Lageabweichung, Verschleiß und Korrosion angegeben. Deshalb können alle Verfahren, die bei diesen Schäden nicht anwendbar sind, ausgeschlossen werden (siehe Tabelle 8.3). Hierbei handelt es sich um
 - Injektionsverfahren mit Gel,
 - Injektionsverfahren mit Harz,
 - Flutungsverfahren und
 - Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren.

5. Es handelt sich nicht um einen **lokalen Schaden** deshalb können alle Sanierungsverfahren, die speziell dafür entwickelt wurden, ausgeschlossen werden (siehe Tabelle 8.4). Hierbei handelt es sich um
- Robotersanierung,
 - Kurzliner,
 - Edelstahlmanschetten,
 - Zulaufanbindung mit Roboterverfahren und
 - Zulaufanbindung mit Hutprofilen.
6. Die letzten fixen Ausschlusskriterien, die angewendet werden können, sind die Forderung nach einer Wiederherstellung der **Tragfähigkeit** bzw. einer Verbesserung der **Bettungssituation** (siehe Tabelle 8.5). Da diese hier nicht gefordert sind, können keine Sanierungsverfahren ausgeschlossen werden.

Entscheidungsmatrix

Da durch Anwendung der Ausschlusskriterien einige Verfahren bereits ausgeschlossen wurden, kann nun die Entscheidungsmatrix (siehe Tabelle 8.18) mit den noch übrig gebliebenen Verfahren befüllt werden. Dabei werden alle Parameter durch das Bewertungsschema im Schulnotensystem (siehe Tabelle 8.14) ausgedrückt. Es werden die Werte „1“ bis „5“ vergeben. Aus den Parametern wird am Ende ein arithmetisches Mittel für jedes einzelne Sanierungsverfahren gebildet. Das Sanierungsverfahren mit der besten „Note“, also dem höchsten Zielerfüllungsgrad, stellt das für die vorliegende Problemstellung geeignetste Verfahren dar.

Da die Kanalhaltung in diesem Beispiel mehrere Schadensarten aufweist, werden dies vier Schadensarten noch einmal gesondert für eine Nebenrechnung in Tabelle 8.17 aufgelistet. Die Zeile „Schadensart“ drückt dabei das arithmetische Mittel aus. Die Ergebnisse wurden in Tabelle 8.18 übertragen.

Parameter	Sanierungsverfahren							
	Rohrstrang-/ Langrohr-Relining	Kurzrohr-Relining	Wickelrohr- verfahren	Schlauchrelining (Wasserhärtung)	Beschichtungs- verfahren	Pipe-Eating- Verfahren	Berstverfahren	Offene Bauweise
Rissbildung	1	1	1	1	1	1	1	1
Axiale Lageabweichung	3	3	3	3	3	1	3	1
Verschleiß	1	1	1	1	1	1	1	1
Korrosion	1	1	1	1	1	1	1	1
Schadensart	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,50	1,00

Tabelle 8.17: Bewertung Schadensarten (Nebenrechnung)

Parameter	Sanierungsverfahren							
	Rohrstrang-/ Langrohr- Relining	Kurzrohr-Relining	Wickelrohrverfahren	Schlauchrelining (Wasserhärtung)	Beschichtungsverfahren	Pipe-Eating-Verfahren	Berstverfahren	Offene Bauweise
Technische Parameter								
Schadensart	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1	1,50	1
Max. Sanierungsabschnitt	1	1	4	1	4	4	1	1
Querschnittsreduzierung	5	5	4	2	2	1	1	1
Umweltrelevante Parameter								
Platzbedarf	5	5	1	3	3	5	5	5
Baugrube	5	5	1	1	1	5	5	5
Lärm und Staub	4	4	2	2	4	4	4	5
Erschütterungen	4	4	1	1	2	2	4	5
Grundwasserregulierung	5	5	5	1	1	1	5	5
Ökonomische Parameter								
Kosten	2	3	2,50	2	3	5	4	3
Nutzungsdauer	2	2	3	3	3	1	1	1
Bauzeit	3	3	3	3	3	5	3	5
Technische Parameter	2,50	2,50	3,17	1,50	2,50	2,00	1,17	1,00
Umweltrelevante Parameter	3,83	3,83	1,67	1,33	1,83	2,83	3,83	4,17
Ökonomische Parameter	2,33	2,67	2,83	2,67	3,00	3,67	2,67	3,00
Gesamt	2,89	3,00	2,56	1,83	2,44	2,83	2,56	2,72

Tabelle 8.18: Entscheidungsmatrix für das vorliegende Beispiel

Die Werte in den Zeilen „Technische Parameter“, „Umweltrelevante Parameter“ und „Ökonomische Parameter“ stellen die arithmetischen Mittelwerte aller Parameter in den jeweiligen Kategorien dar. Fortführend wird aus diesen Werten ein arithmetisches Mittel als Gesamtwert für jedes einzelne Sanierungsverfahren errechnet.

Aus dieser Betrachtung ergibt sich eine Rangfolge (siehe Tabelle 8.19), inwieweit die unterschiedlichen Sanierungsverfahren für das vorliegende Problem geeignet sind.

Rang	Sanierungsverfahren	Rang	Sanierungsverfahren
1.	Schlauchrelining	5.	Pipe-Eating-Verfahren
2.	Beschichtungsverfahren	6.	Rohrstrang-/ Langrohr-Relining
3.	Wickelrohrverfahren / Berstverfahren	7.	Kurzrohr-Relining
4.	Offene Bauweise		

Tabelle 8.19: Rangfolge der Sanierungsverfahren nach Entscheidungsmatrix

Für die vorliegende Kanalhaltung ist das Schlauchrelining das am besten geeignete Verfahren, wenn man alle zugrundeliegenden technischen, umweltrelevanten und ökonomischen Parameter mit dem Bewertungsschema (siehe Tabelle 8.14) darstellt. Natürlich liegt es im Ermessen des Entscheiders, ob dieses Sanierungsverfahren dann wirklich eingesetzt wird.

Gewichtung der Parameter

In der Praxis kann es ebenso vorkommen, dass verschiedene Parameter eine höhere Gewichtung erhalten, als andere. Es könnte z.B. der Anwender davon ausgehen, dass der Auftraggeber sehr hohen Wert auf die Umweltverträglichkeit legt und speziell die Lärmbelastung für die Anwohner niedrig halten will. Dann werden die einzelnen Kriterien bzw. Parameter nicht mehr nur durch das arithmetische Mittel ermittelt, sondern jedem Parameter wird ein eigener Prozentsatz, eine Gewichtung, zugeteilt. So können alle Kriterien vom Entscheider so beeinflusst werden, wie es seiner Erfahrung bzw. Auffassung nach, für jedes spezielle Problem am besten ist.

Mit diesem Werkzeug sollte aber sorgfältig umgegangen werden, da man mithilfe der Gewichtungsfaktoren das Auswahlverfahren für den eigenen Zweck „missbrauchen“ kann. Es könnte ein Ergebnis so „manipuliert“ werden, dass z.B. nur die wirtschaftlichen Interessen einer Partei berücksichtigt werden. Einem außenstehenden Betrachter könnte auf diese Weise ein nicht optimales Sanierungsverfahren empfohlen werden.

In Tabelle 8.20 werden alle Parameter aus Tabelle 8.18 mit der jeweiligen Gewichtungszahl multipliziert. Die Gewichtungen der technischen und ökonomischen Parameter wurden nicht verändert. Bei den umweltrelevanten Parametern wurde das Kriterium „Lärm und Staub“ um 0,16 höher gewichtet, als die anderen Parameter in dieser Kategorie. Außerdem wurde die Gesamtheit der umweltrelevanten Parameter im Vergleich zu den technischen und ökonomischen Parametern um 0,10 höher gewertet.

Parameter	Gewichtung der Parameter	Sanierungsverfahren							
		Rohrstrang-/ Langrohr-Relining	Kurzrohr-Relining	Wickelrohrverfahren	Schlauchrelining	Beschichtungsverfahren	Pipe-Eating-Verfahren	Berstverfahren	Offene Bauweise
Technische Parameter									
Schadensart	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,33
Max. Sanierungsabschnitt	0,33	0,33	0,33	1,33	0,33	1,33	1,33	0,33	0,33
Querschnittsreduzierung	0,33	1,67	1,67	1,33	0,67	0,67	0,33	0,33	0,33
Umweltrelevante Parameter									
Platzbedarf	0,14	0,70	0,70	0,14	0,42	0,42	0,70	0,70	0,70
Baugrube	0,14	0,70	0,70	0,14	0,14	0,14	0,70	0,70	0,70
Lärm / Staub	0,30	1,20	1,20	0,60	0,60	1,20	1,20	1,20	1,50
Erschütterungen	0,14	0,56	0,56	0,14	0,14	0,28	0,28	0,56	0,70
Grundwasserregulierung	0,14	0,70	0,70	0,70	0,14	0,14	0,14	0,70	0,70
Ökonomische Parameter									
Kosten	0,33	0,67	1,00	0,83	0,67	1,00	1,67	1,33	1,00
Nutzungsdauer	0,33	0,67	0,67	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33
Bauzeit	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,67	1,00	1,67

Technische Parameter	Σ	2,50	2,50	3,17	1,50	2,50	2,00	1,17	1,00
	0,30	0,73	0,73	0,93	0,43	0,73	0,60	0,33	0,30
Umweltrelevante Parameter	Σ	3,86	3,86	1,72	1,44	2,18	3,02	3,86	4,30
	0,40	1,54	1,54	0,69	0,58	0,87	1,21	1,54	1,72
Ökonomische Parameter	Σ	2,33	2,67	2,83	2,67	3,00	3,67	2,67	3,00
	0,30	0,70	0,80	0,85	0,80	0,90	1,10	0,80	0,90

Gesamt		2,99	3,09	2,49	1,83	2,52	2,91	2,69	2,92
--------	--	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabelle 8.20: Entscheidungsmatrix mit gewichteten Parametern

Durch diese Änderungen in der Gewichtung der einzelnen Parameter ergibt sich auch eine geänderte Rangfolge (siehe Tabelle 8.21) der Sanierungsverfahren.

Rang		Sanierungsverfahren	Rang		Sanierungsverfahren
1.	± 0	Schlauchrelining	5.	± 0	Pipe-Eating-Verfahren
2.	+ 1	Wickelrohrverfahren	6.	- 2	Offene Bauweise
3.	- 1	Beschichtungsverfahren	7.	- 1	Rohrstrang-/ Langrohr-Relining
4.	- 1	Berstverfahren	8.	- 1	Kurzrohr-Relining

Tabelle 8.21: Geänderte Rangfolge der Sanierungsverfahren

9 Zusammenfassung und Fazit

Die Auswahl von geeigneten Verfahren für die Sanierung von nicht begehbaren Kanalhaltungen stellt sich mitunter als sehr kompliziert dar. Es gibt kein universelles Verfahren mit dem alle Problemstellungen, technisch, ökologisch und ökonomisch sinnvoll gelöst werden können. Es muss daher ein Auswahlverfahren gefunden werden, mit dem eine einfache Entscheidung für ein Verfahren erfolgen kann. Das Ziel sollte hierbei auf jeden Fall sein, eine Gegenüberstellung der Sanierungsverfahren mit einfachen Werten zu erreichen. Man sollte auf den ersten Blick erkennen können, welches Verfahren wahrscheinlich am besten geeignet ist und wie dieses Verfahren im Vergleich zu anderen möglichen Verfahren abschneidet.

Als Lösung für dieses Problem kann die in dieser Arbeit vorgestellte Methode dienen. Basierend auf den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Eingangsbedingungen (Schadensart, Durchmesser, Werkstoff des Altrohres usw.) können bereits erste nicht verträgliche Verfahren mithilfe von Ausschlusskriterien aus dem Auswahlverfahren ausgeschlossen werden. Die „im Rennen“ gebliebenen Sanierungsverfahren werden anschließend mithilfe von technischen, umweltrelevanten und ökonomischen Parametern charakterisiert. Dabei werden die Parameter nicht durch ihre eigene Bewertungsskala (z.B. kurz, mittel oder lang beim ökonomischen Parameter „Bauzeit“), sondern durch einen Zahlenwert zwischen „1“ und „5“ nach dem Schulnotensystem bewertet. Eine Hilfestellung soll dabei das in Tabelle 8.14 dargestellte Bewertungsschema geben. Dadurch kann für jedes Sanierungsverfahren ein Zielerfüllungsgrad (Zahlenwert) errechnet werden, welcher einen sofortigen und nachvollziehbaren Entscheidungsschluss zulässt. Die Sanierungsverfahren können anschließend auf einer Rangliste geordnet dargestellt werden. Um auf den Auswahlprozess selbst Einfluss nehmen zu können, können einzelne Parameter entsprechend gewichtet werden. So kann z.B. auf Wünsche oder Präferenzen des Auftraggebers besser reagiert werden.

Auch in Zukunft werden die grabenlosen Sanierungsverfahren weiter an Bedeutung gewinnen. Durch die fortschreitende Urbanisierung und anhaltende Landflucht wird das Gut „Raum“ immer bedeutsamer. Eine „Verschwendung“ dieses wertvollen Gutes durch eine offene Bauweise wird wohl auf immer weniger Verständnis treffen. Ebenso werden durch die erhöhte Anzahl von Stadtbewohnern, die meist Jahrzehnte alten Kanalhaltungen einer erhöhten Belastung ausgesetzt. Schäden am Kanalsystem sind daher unvermeidlich. Eine schnelle, aber auch langanhaltende Sanierungsmaßnahme, wie z.B. die Robotersanierung, kann dabei die Versorgungssicherheit garantieren und die Erneuerung der Kanalleitung ein paar weitere Jahrzehnte hinauszögern. Ein Problem werden bei zukünftigen Kanalsanierungen auf jeden Fall die bereits sanierten Kanäle darstellen. Inwieweit ein mit Schlauchliner saniertes Kanalrohr z.B. durch das Pipe-Eating-Verfahren abgetragen werden kann, muss sich wohl erst noch herausstellen.

10 Verzeichnisse

10.1 Literaturverzeichnis

- [1] BISCHOF, Wolfgang: Abwassertechnik, 9. Auflage – Wiesbaden: Springer Fachmedien; 1989
- [2] BLfU: Leitfaden zur Inspektion und Sanierung kommunaler Abwasserkanäle – Augsburg: Bayrisches Landesamt für Umwelt; 2010
- [3] BÖHM, Adolf: Abwasserrohrleitungen und -rohrnetze. Betrieb, Erneuerung und Instandhaltung – Essen: Vulkan Verlag; 2002
- [4] BÖLKE, Klaus-Peter: Kanalinspektion. Zustände erkennen und dokumentieren, 4. Auflage – Berlin: Springer Verlag; 2013
- [5] BOSSELER, Bert; SCHLÜTER, Marco: Forschungsbericht Kanalreinigung. Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen – Gelsenkirchen: Institut für Unterirdische Infrastruktur; 2004
- [6] DIN EN 13508-2: Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion – Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.; 2011
- [7] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Kanalmanagement – Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.; 2008
- [8] DIN EN ISO 11296-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen). Teil 4: Vor Ort härten-des Schlauch-Lining – Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.; 2011
- [9] DIN EN ISO 11296-7: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen). Teil 7: Wickelrohr-Lining – Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.; 2013
- [10] FACHVEREINIGUNG BETONROHRE UND STAHLBETONROHRE: Technisches Handbuch, 4.Auflage – Bonn: FBS e.V.; 2010
- [11] GONDRO, Christian; KOCH, Rolf: Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung, 3. Auflage – Esslingen: Expert Verlag; 1995
- [12] HEINDEL, Manfred; RICHTER, Dietrich: Straßen- und Tiefbau. Mit lernfeldorientierten Projekten – Berlin: Springer Verlag; 2008
- [13] HEYER, Matthias: Grundstücksentwässerungsanlagen – Essen: Vulkan Verlag; 2012
- [14] JOHN, Hans-Jürgen; LENZ, Joachim: Fehler in der Kanalsanierung. Erkennen – Vermeiden, 2. Auflage – Essen: Vulkan Verlag; 2006
- [15] LENZ, Joachim: Renovierung von Abwasserkanälen durch Lining, 2. Auflage – Essen: Vulkan Verlag; 2000

- [16] MURL-NRW: Praxisorientierter Leitfaden für die Sanierung von Kanalisationen im ländlichen Raum – Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen; 1999
- [17] MUV-BW: Leitfaden für kostenminimierende Instandhaltung von Kanalnetzen – Stuttgart: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg; 2000
- [18] OCHS, Christian Peter: Multikriterielle Optimierung der Sanierungsplanung von Entwässerungsnetzen – Kaiserslautern: Technische Universität Kaiserslautern; 2012
- [19] ÖNORM B 2503: Kanalanlagen. Planung, Ausführung, Prüfung, Betrieb. Ergänzende Bestimmungen zu den ÖNORMEN EN 476, EN 752 und EN 1610 – Wien: Österreichisches Normungsinstitut; 2012
- [20] ÖNORM EN 13380: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Renovierung und Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden – Wien: Österreichisches Normungsinstitut; 2002
- [21] ÖNORM EN 476: Allgemein Anforderungen an Bauteile für Abwasserleitungen und -kanäle – Wien: Österreichisches Normungsinstitut; 2011
- [22] PAUSER, Alfred: Unterirdische Kanalsanierung – Wien: Springer Verlag; 1988
- [23] RAMEIL, Meinolf: Rohrleitungserneuerung mit Berstverfahren, 2. Auflage – Essen: Vulkan Verlag; 2010
- [24] RECHNUNGSHOF: Bericht des Rechnungshofes. Reihe BUND 2013/8. Kanalsanierung in den Gemeinden und Gemeindeverbänden der Länder Kärnten, Oberösterreich und Salzburg – Wien: Rechnungshof Österreich; 2013
- [25] RICHTER, Heinz W.: Instandsetzung von Rohrleitungen. Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen – Essen: Vulkan Verlag; 2006
- [26] STEIN, Dietrich: Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage – Berlin: Ernst & Sohn; 1999
- [27] STEIN, Robert; BRAUER, Ansgar: Renovierung mit dem Wickelrohrverfahren. bi-UmweltBau – Kiel; 2005, Nr. 6; S.90 - 95
- [28] VOGEL, Markus: Kanalinstandhaltung. Von der Zustandserfassung zur nachhaltigen Sanierung von Entwässerungssystemen, 2. Auflage – Renningen: Expert Verlag; 2007
- [29] VOGEL, Markus: Kanalinstandhaltung. Von der Zustandserfassung zur nachhaltigen Sanierung von Entwässerungssystemen, 2. Auflage – Esslingen: Expert Verlag; 2007
- [30] WAGNER, Volker: Inspektion und Sanierung von Abwasserkanälen, 2. Auflage – Esslingen: Expert Verlag; 2000
- [31] WITT, Karl Josef: Grundbau-Taschenbuch – Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage – Berlin: Ernst & Sohn; 2009
- [32] WOLTERS, Leo; DERSCH, Heinz: Kunststoffe im Kanalbau – Aachen: RWTH Aachen; 2013

[33] WOSSOG, Günther: Handbuch Rohrleitungsbau. 1. Planung Herstellung Errichtung,
3. Auflage – Essen: Vulkan Verlag; 2008

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Römischer Kanaldeckel des Standlagers Vindobona	5
Abbildung 2.2: Altersstruktur Kanalanlagen Stadt Salzburg	7
Abbildung 2.3: Altersstruktur Kanalanlagen AWV Faaker See	8
Abbildung 2.4: Aufbau von Kanalanlagen	8
Abbildung 2.5: Kanalhaltung (Skizze)	8
Abbildung 3.1: Kamerasysteme (links) und Videoaufnahmen beim Scan-System (rechts)	11
Abbildung 3.2: Kieler Stäbchen	11
Abbildung 3.3: Prinzipdarstellung elektronische Spiegelung	12
Abbildung 3.4: Schema der Rissbreitenmessung bei Parallel-Laser-Verfahren	12
Abbildung 3.5: Laserverlängerung (links) und Darstellung des Messergebnisses (rechts)	13
Abbildung 4.1: Bildbeispiele für anhaftende Stoffe	16
Abbildung 4.2: Bildbeispiele für einragende Dichtungsmaterialien	16
Abbildung 4.3: Bildbeispiele für Ablagerungen	17
Abbildung 4.4: Bildbeispiele für andere Hindernisse	17
Abbildung 4.5: Bildbeispiele für Wurzeleinwuchs	18
Abbildung 4.6: Bildbeispiele für Lageabweichungen	19
Abbildung 4.7: Bildbeispiel für mechanischen Verschleiß	20
Abbildung 4.8: Bildbeispiele für Deformationen	21
Abbildung 4.9: Bildbeispiele für Korrosionsschäden	22
Abbildung 4.10: Bildbeispiele für Risse	23
Abbildung 4.11: Bildbeispiele für Rohrbruch und Einsturz	23
Abbildung 4.12: Bildbeispiele für Undichtigkeiten	24
Abbildung 4.13: Bildbeispiele für Undichtigkeiten	25
Abbildung 4.14: Bildbeispiele für schadhafte Innenauskleidung	26
Abbildung 6.1: Duktiles Gussrohr mit Innen- und Außenschutz	34
Abbildung 6.2: Längskraftschlüssige Muffenverbindung System BLS	34
Abbildung 6.3: Rohrverbindung für Betonvortriebsrohre	35
Abbildung 7.1: Überblick über die Verfahrensgruppen	38
Abbildung 7.2: Prinzip einer Hebeanlage mit Vakuumpumpe (1), Mindestabstand für geforderten Höhenunterschied ΔH (2)	40
Abbildung 7.3: Fäkalienhebeanlage mit Sammelbehälter und Pumpe	40
Abbildung 7.4: Schemadarstellung Rohrstrang- bzw. Langrohr-Relining	41
Abbildung 7.5: Wickelrohrverfahren mit Ringraum und Wickelmaschine im Startschacht	45
Abbildung 7.6: Wickelrohrverfahren ohne Ringraum und Wickelmaschine im Startschacht	46
Abbildung 7.7: Wickelrohrverfahren mit selbstfahrender Wickelmaschine	46
Abbildung 7.8: Compact-Liner Einbau (oben) und Aufweitung durch Heißdampf und Druck (unten) ..	48
Abbildung 7.9: Swagelining-Gerät: Gebläse (1), Heizkammer (2), Gasbrenner (3), PE-HD-Rohr mit reduziertem Durchmesser (4), Heißluft (5), Konus (6), Rahmen (7), PE-HD Rohr (8) ..	49

Abbildung 7.10: Schlauchrelining im Inversionsverfahren (links), Detail der Umstülpung (rechts).....	51
Abbildung 7.11: Schlauchrelining im Einzugsverfahren (links) und anschließendes Aufpumpen durch Kaliberschlauch (rechts).....	51
Abbildung 7.12: Pipe-Eating-Verfahren mit Pilotkopf, Abdichtungskörper und Stützflüssigkeit	55
Abbildung 7.13: Schemadarstellung dynamisches Berstverfahren.....	57
Abbildung 7.14: Schemadarstellung statisches Berstverfahren.....	58
Abbildung 7.15: Schemadarstellung Rohrziehverfahren.....	59
Abbildung 7.16: Reparaturroboter: Fräßen (links), Epoxidharz mit Düse (Mitte), Schalung für größere Ausgleiche	61
Abbildung 7.17: Schemaskizze Kurzlinereinbau mit Packer	63
Abbildung 7.18: Edelstahlmanschette mit Elastomerdichtung (links) und Einbauvorgang (rechts).....	65
Abbildung 7.19: Arbeitsablauf Packerverfahren.....	67
Abbildung 7.20: Schemadarstellung Sanierung von Anschlussbereichen mit Injektionsverfahren	70
Abbildung 7.21: Einbau des Hutprofils mittels Spezialpacker	71
Abbildung 8.1: Erhöhter Platzbedarf einer Baugrube am Beispiel Langrohrrelining.....	81
Abbildung 8.2: Geringer Platzbedarf am Beispiel Wickelrohrverfahren	81
Abbildung 8.3: Flussdiagramm zum Auswahlverfahren	94

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Gegenüberstellung Einwohnerzahl und Länge der Kanalisation	7
Tabelle 4.1: Schadensursachen und -auswirkungen von Abflusshindernissen	18
Tabelle 4.2: Schadensursachen und -auswirkungen von Lageabweichungen	19
Tabelle 4.3: Schadensursachen und -auswirkungen von mechanischem Verschleiß.....	20
Tabelle 4.4: Schadensursachen und -auswirkungen von Deformationen.....	21
Tabelle 4.5: Schadensursachen und -auswirkungen von Korrosion	22
Tabelle 4.6: Schadensursachen und -auswirkungen von Rissen, Rohrbruch und Einsturz	24
Tabelle 4.7: Schadensursachen und -auswirkungen von Undichtigkeiten.....	25
Tabelle 4.8: Schadensursachen und -auswirkungen von einer schadhafte Innenauskleidung	26
Tabelle 6.1: Rohrmaterialien zur Anwendung bei Sanierungsverfahren	31
Tabelle 7.1: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Rohrstrang- und Langrohr-Relining	42
Tabelle 7.2: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Kurzrohr-Relining.....	43
Tabelle 7.3: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Wickelrohrverfahren	47
Tabelle 7.4: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Close-Fit-Verfahren	49
Tabelle 7.5: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Schlauchrelining	52
Tabelle 7.6: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Beschichtungsverfahren	54
Tabelle 7.7: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Pipe-Eating-Verfahren	56
Tabelle 7.8: Übersicht geeigneter Werkzeuge je Altrohrstoff beim Berstverfahren	58
Tabelle 7.9: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Berstverfahren	59
Tabelle 7.10: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Robotersanierung	62
Tabelle 7.11: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Kurzliner.....	64
Tabelle 7.12: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Edelstahlmanschetten	65
Tabelle 7.13: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Injektionsverfahren mit Gel.....	67

Tabelle 7.14: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Injektionsverfahren mit Harz.....	68
Tabelle 7.15: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Flutungsverfahren.....	69
Tabelle 7.16: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Injektionsverfahren	71
Tabelle 7.17: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Roboterverfahren	72
Tabelle 7.18: Einsatzbedingungen, Vor- und Nachteile Zulaufanbindung mit Hutprofilen.....	72
Tabelle 8.1: Technische Parameter – Querschnittsprofil und Durchmesser des Altrohres	74
Tabelle 8.2: Technische Parameter – Werkstoff des Altrohres.....	75
Tabelle 8.3: Technische Parameter – Schadensarten	77
Tabelle 8.4: Technische Parameter – Ausdehnung des Schadens	78
Tabelle 8.5: Technische Parameter – Tragfähigkeit und Bettungssituation	79
Tabelle 8.6: Technische Parameter – Querschnittsreduzierung	80
Tabelle 8.7: Umweltrelevante Parameter – Platzbedarf	82
Tabelle 8.8: Umweltrelevante Parameter – Lärm, Staub und Erschütterungen	83
Tabelle 8.9: Umweltrelevante Parameter – Grundwasserregulierung	84
Tabelle 8.10: Ökonomische Parameter – Kosten	86
Tabelle 8.11: Ökonomische Parameter – Nutzungsdauer	87
Tabelle 8.12: Ökonomische Parameter – Bauzeit.....	88
Tabelle 8.13: Ausschlusskriterien.....	91
Tabelle 8.14: Bewertungsschema für Zielerfüllungskriterien	92
Tabelle 8.15: Eingangsdaten in das Auswahlverfahren	93
Tabelle 8.16: Eingangsdaten für das Beispiel.....	95
Tabelle 8.17: Bewertung Schadensarten (Nebenrechnung).....	96
Tabelle 8.18: Entscheidungsmatrix für das vorliegende Beispiel.....	97
Tabelle 8.19: Rangfolge der Sanierungsverfahren nach Entscheidungsmatrix.....	98
Tabelle 8.20: Entscheidungsmatrix mit gewichteten Parametern	99
Tabelle 8.21: Geänderte Rangfolge der Sanierungsverfahren	99