

Diploma Thesis

Materials used for trenchless technologies

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Rohrmaterialien für den grabenlosen Leitungsbau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Felix Stadler

Matr.Nr.: 1327162

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Dipl.-Ing. **Tobias Bisenberger**

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauwirtschaft
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, am 06.11.2017

Kurzfassung

Verschiedene Materialien können zum Bau von Rohrleitungssystemen aller Art eingesetzt werden. Der grabenlose Leitungsbau stellt zusätzliche Anforderungen an Materialien, die dabei verwendet werden. In dieser Arbeit werden die darin betrachteten Materialien auf jene Anforderungen hin untersucht. Das Ziel stellt eine hohe Lebensdauer des Rohrsystems dar. Dies soll zudem durch möglichst wenig Eingriffe, wie Instandhaltungsmaßnahmen oder Sanierungsarbeiten, erreicht werden. Um den Weg für dieses Ziel zu ebnen, ist eine genaue Betrachtung der richtigen Verwendung von Materialien unabdingbar.

Hierzu soll zunächst eine Aufzählung und kurze Erläuterung der grabenlosen Verfahren erfolgen. Anschließend werden die einzelnen Materialien möglichen Verfahren zugewiesen. Dafür ist eine Betrachtung der Eigenschaften der Materialien aus zementgebundenen Stoffen, Stahl, duktilem Gusseisen, Steinzeug, PE, PP, PVC-U und GFK notwendig. Einige dieser Materialien erfordern für eine den Anforderungen entsprechenden Verwendung Zusatzmaßnahmen. Diese können in Form von Schutzhüllen und Beschichtungen auftreten. In bestimmten Einsatzbereichen, wie dem Transport von Fernwärme können Dämmstoffe erforderlich sein. Weitere Einsatzbereiche für Rohrleitungssysteme, die grabenlos verlegt werden, sind Trinkwasser-, Entwässerungs-, Erdgas-/ Erdöl-, Telekommunikations-, Strom- und Infrastrukturkanalsysteme. Es wird gezeigt, dass nicht jedes Material in gleichem Maße für jeden Einsatzbereich geeignet ist.

Im Speziellen wird ein Vergleich der betrachteten Materialien geschaffen, welche die kompletten Lebenszyklusphasen umfassen. Diese reichen von Herstellung, Lagerung, Transport und Einbau bis hin zum eingebauten Zustand. Die Notwendigkeit an Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen ist hierbei von entscheidender Relevanz. Nicht bei allen der betrachteten Materialien ist ein vollständig grabenloser Rückbau und somit eine Rezyklierbarkeit in das System der Umwelt möglich.

All diese Informationen werden schlussendlich in einer Entscheidungsmatrix zusammengeführt und sollen dabei helfen, bei einer groben Vorgabe der Dimensionierung von Rohrleitung und Nutzungsvorgabe von Rohrleitungssystem die richtige Wahl eines Rohrmaterials und des zugehörigen grabenlosen Verfahrens zu treffen.

Abstract

Materials can be used for different types of pipe-systems. The utilization of trenchless technologies requires additional efforts, which will be viewed in this paper. Related to pipe systems the goal stands clear, as they intend to reach the highest life performance possible. Preferably fewer interventions, like maintenance or renovation for pipes, should be needed achieving this goal. The way to success can be obtained through detailed consideration of the right usage of materials.

At first different trenchless technologies have to be viewed. Individual materials can be assigned to possible trenchless technologies. Therefore, further considerations in characteristics of materials like cementitious solids, steel, ductile cast iron, stoneware, polyethylene, polypropylene, unplasticized polyvinyl chloride and glass reinforced plastics must be made. Some of those materials require additional arrangements like outer protection or coating. Furthermore, specific applications like long-distance heating require insulations to work in a proper manner. Other applications used for trenchless pipe systems are drinking water, drainage, natural gas, fossil oil, telecommunications, electricity and infrastructure canals. This paper intends to show that not every type of material is suitable for every application.

In Particular, materials get compared with each other and reviewed over their whole lifecycle. The lifecycle of materials ranges from production, storage, transport and installation to their build-in state. The amount of maintenance work needed for the pipe-system to work is crucial for its reviewing of the build-in state. Not every type of material can be removed with trenchless technologies and so those materials also cannot be recycled.

All this information will be summarized in a decision matrix at the end of this paper and will lead to easier decisioning. A rough pre-dimensioning of the pipe itself and usage of specifications regarding pipe-systems are key factors to find the right material as well as trenchless technologies to finalize them.

Inhalt

Kurzfassung.....	III
Abstract	IV
1. Einleitung.....	1
1.1 Forschungsfrage und Zielsetzung	2
1.2 Aufbau der Arbeit	2
1.3 Abkürzungsverzeichnis	3
2. Grundlagen zum Leitungsbau	5
2.1 Offene Bauweise.....	5
2.2 Grabenloser Leitungsbau	6
2.3 Kombiniert (Halboffene Bauweise).....	6
3. Grabenlose Verfahren	8
3.1 Neubau	9
3.1.1 Nicht steuerbare Verfahren	9
3.1.2 Steuerbare Verfahren	11
3.2 Sanierung	13
3.2.1 Renovierung (nicht selbsttragend)	14
3.2.2 Erneuerung (selbsttragend)	18
3.2.3 Reparatur/Wartung	20
3.3 Alternative Verlegeverfahren.....	24
4. Rohrmaterialien im grabenlosen Leitungsbau	26
4.1 Zementgebundene Stoffe	26
4.2 Stahl.....	28
4.3 Duktiles Gusseisen	32
4.4 Steinzeug	33
4.5 Kunststoffe	35
4.5.1 Polyethylen, Polypropylen und weichmacherfreies Polyvinylchlorid	36
4.5.2 Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK)	37
4.5.3 Harze / Gele.....	38
4.6 Zusätzliche Maßnahmen	40
4.6.1 Schutzrohre	40
4.6.2 Umhüllungen	41
4.6.3 Dämmung/Dämm- bzw. Rohrverbundsystem	46
5. Wesentliche Kriterien bei der Wahl von Rohrmaterialien	53
5.1 Einsatzgebiet der Rohrleitung.....	53
5.1.1 Fernwärme.....	53
5.1.2 Trinkwasser	56

5.1.3 Entwässerungssysteme (Abwasser/Schmutzwasser)	57
5.1.4 Erdgas / Erdöl	63
5.1.5 Strom	66
5.1.6 Telekommunikation	67
5.1.7 Infrastrukturkanal	69
5.1.8 Zusammenfassung	71
5.2 Anwendung von Rohrmaterialien bei grabenlosen Verfahren	72
5.3 Dauerhaftigkeit / Nutzungsdauer	73
5.4 Brandverhalten/Brandschutz.....	75
5.5 Kosten von Rohrmaterialien.....	76
6. Einflüsse auf das Rohrmaterial in den einzelnen Lebenszyklusphasen	79
6.1 Herstellung.....	79
6.2 Transport.....	81
6.3 Lagerung	82
6.4 Einbau.....	85
6.5 Eingebauter Zustand / Instandhaltung / Wartung	88
6.6 Kontrollierter Rückbau.....	94
6.7 Recycling.....	96
7. Geeignete Wahl eines Materials bezüglich der Anforderung.....	98
8. Innovationen und Fazit.....	101
8.1 Innovationen	101
8.2 Fazit	103
9. Literatur.....	105
9.1 Buch-, Internet- und Normenverzeichnis.....	105
9.2 Sonstige Quellenangaben	115
9.3 Abbildungsverzeichnis	115
9.4 Tabellenverzeichnis.....	117
9.5 Formelverzeichnis.....	118

1. Einleitung

Für Leitungsnetze, vor allem Kanäle, sind sowohl im Neubau als auch bei späterer Sanierung Vorkehrungen zu treffen, durch welche eine Anfälligkeit gegen korrosive Stoffe minimiert werden kann. Um den weiteren, bisherigen Standard aufrecht zu erhalten und noch weiter zu verbessern, muss ein Großteil der bestehenden und in die Jahre gekommenen Leitungsnetze saniert und zudem bei erhöhtem Bedarf erweitert werden. Mitunter ist das Bevölkerungswachstum, vor allem in Großstädten, dafür verantwortlich, denn dieses geht mit größeren Mengen an benötigten Ressourcen und einem erhöhten Aufkommen an Schmutzwasser einher. Mangelhafte oder auch gering ausgebaute Rohrleitungsnetze können nicht binnen weniger Tage saniert oder erweitert werden. Das dabei zusätzliche Aufkommen kann somit nicht von einem auf den anderen Tag gedeckt und bewältigt werden. Deshalb ist eine ausgiebige Vorplanung bezüglich der Versorgung notwendig und darf nicht vernachlässigt werden. Dazu stellt im Zeitalter der Mobilität, welche zwangsläufig zu einer Erhöhung der Infrastruktur führt, und der immer größer werdenden Städte, welche dichter bebaut werden, der grabenlose Leitungsbau eine optimale Lösung dar. Dadurch können bestehende Netze mit möglichst geringem Eingriff in Natur und Mensch saniert, verbessert und neu errichtet werden. Diese Arbeit soll die Evaluierung von Rohrmaterialien für die Verwendung im grabenlosen Leitungsbau hinsichtlich folgender Aspekte erleichtern:

- Möglichkeiten der Anwendung bei grabenlosen Verfahren,
- Notwendige Vorkehrungen (Legierung, Schutzummantelung, Dämmung)
- Mögliche Einsatzgebiete (Fernwärme, Trink-/Schmutzwasser, Erdgas/Erdöl, etc.)
- Dauerhaftigkeit
- Brandverhalten
- Kosten
- Phasen des Lebenszyklus (Herstellung, Lagerung, Transport, Einbau, etc.)

Das Ziel ist eine Zusammenführung dieser Informationen. Hierzu wird eine Entscheidungsmatrix entwickelt, die zum einen eine Übersicht von Rohrmaterialien und dementsprechend möglichen Einsatzgebieten bietet und zum anderen eine Abgrenzung schafft zwischen den einzelnen Rohrmaterialien in Bezug auf ihre Dauerhaftigkeit, Einschränkung der Verwendbarkeit, vordefinierter Einflussparameter, Brandverhaltens, Kosten und der Notwendigkeit von Vorkehrungen, um das Material überhaupt einsetzen zu können. Jeder dieser Punkte kann sich dementsprechend positiv, neutral oder negativ auf das Rohrmaterial auswirken. Die betrachteten Aspekte sollen anhand von Informationen,

welche unter anderem auf der Website der ÖGL¹ (Österreichischen Vereinigung für grabenlosen Leitungsbau) zur Verfügung stehen, ausgearbeitet werden.

1.1 Forschungsfrage und Zielsetzung

Welche Aspekte bezüglich Rohrmaterialien im grabenlosen Leitungsbau sind während ihres gesamten Lebenszyklus zu beachten und wie kann ein Vergleich jener Rohrmaterialien geschaffen werden? Ziel dieser Arbeit ist es, eine Entscheidungsmatrix zu schaffen, mit der ein Vergleich von in dieser Arbeit betrachteten Rohrmaterialien im grabenlosen Leitungsbau ermöglicht wird. Es soll für gewisse im Vorfeld bekannte Parameter, wie dem Durchmesser der Rohrleitung und dem Einsatzgebiet, möglich sein, ein passendes grabenloses Verfahren zu wählen. Nachfolgend kann durch die in dieser Arbeit beschriebenen Aspekte in Kombination mit einer Evaluierung ein passendes Rohrmaterial für die Anwendung gefunden werden. Dies soll Bauherren bezüglich Bauprojekten im grabenlosen Leitungsbau einen groben Überblick verschaffen und zu mehr Transparenz der Möglichkeiten führen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Das zweite Kapitel dieser Arbeit umfasst zum allgemeinen Verständnis die Grundlagen im Leitungsbau. Hierzu wird auf Möglichkeiten eingegangen, die für die Herstellung einer Rohrleitung bzw. eines Kanals zu wählen sind. Zusätzlich werden Vor- und Nachteile der Bauweisen erläutert. Das darauffolgende Kapitel stellt nahezu alle grabenlosen Verfahren dar, die derzeit angewendet werden können. Es wird auf Verfahren eingegangen, die sowohl den Neubau als auch die Sanierung von Rohrleitungen im grabenlosen Leitungsbau betreffen. Im vierten Kapitel werden alle gängigen Rohrmaterialien bezüglich ihrer Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten bei grabenlosen Verfahren analysiert. Zudem wird ein Überblick über zusätzliche Maßnahmen geschaffen, die zu Verbesserungen der Eigenschaften und Langlebigkeit von Rohrmaterialien beitragen können. Die Kapitel fünf und sechs stellen den Grundstein für die letztendliche Evaluierung der Rohrmaterialien. Dabei werden berücksichtigende Aspekte der Materialwahl aufgezeigt und Einflussparameter erläutert, welche für eine genaue Betrachtung der Rohrmaterialien, in Bezug auf ihre einzelnen Lebenszyklusphasen, relevant sind. Abschließend erfolgt die Auswertung zweier gewählter Szenarien anhand der Entscheidungsmatrix.

¹ <http://www.grabenlos.at/de/>

1.3 Abkürzungsverzeichnis

AGFW	Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und Kraft-Wärme-Kopplung e.V.
bar	Einheit für Druck
CIPP	Cured-in-Place-Pipe
DN	Nennweite (bei Durchmesser)
DWA	Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EP-Harz	Epoxid-Harz
ERW	Elektrischer Widerstand geschweißt
FZM-S	Faser-Zement-Mörtel-Ummantelung für die grabenlose Bauweise
GFK	Glasfaserkunststoff
Hz	Herz
J/kg/K	Spezifische Wärme
K	Kelvin
km	Kilometer
KMR	Kunststoffmantelrohre
KN	Kilonewton
l	Liter
L	die zu erwartende thermische Lebensdauer des Systems, in Jahren
L1	die zu erwartende thermische Lebensdauer des Systems, in Jahren, für den Dauerbetrieb bei der Temperatur Θ_1 , die nach dem Arrhenius-Graphen bestimmt werden kann.
L2	die zu erwartende thermische Lebensdauer des Systems, in Jahren, für den Dauerbetrieb bei der Temperatur Θ_2 , die nach dem Arrhenius-Graphen bestimmt werden kann.
L235	Stähle für Leitungsrohre, Mindeststreckgrenze 235 N/mm ²
Lfm	Laufmeter
m	Meter
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
ml	Milliliter

MPa	Megapascal
N	Newton
P235 GH	Nahtloses Stahlrohr aus Warmfesten Stahl, Mindeststreckgrenze 235 N/mm ²
P235 TR1	Alphanummerische Bezeichnung für Güte ohne festgelegtem Aluminiumgehalt, ohne festgelegte Werte der Kerbschlagarbeit und ohne Anforderung spezifischer Prüfung, Mindeststreckgrenze 235 N/mm ²
P235 TR2	Alphanummerische Bezeichnung für Güte mit festgelegtem Aluminiumgehalt, mit festgelegten Werten der Kerbschlagarbeit und mit Anforderung spezifischer Prüfung, Mindeststreckgrenze 235 N/mm ²
PA	Polyamide
PAN	Polyacrylnitril
PE	Polyethylen
PE 80 / PE 100	Polyethylen mit einer Mindestfestigkeit von 8,0/ 10,0 MPa
PE-el	Polyethylen-elektrisch leitfähig
PE-HD	Polyethylen-High Density (hohe Dichte)
PEN	Polyethylenaphthalat
PET	Polyethylenerephthalat
PP	Polypropylen
PUR	Polyurethane
PVC-U	Polyvinylchlorid-Weichmacherfrei
R-s-el	Randomcopolymerisat-schwerentflammbar-elektrisch leitfähig
SAW	Submerged Arc Welded
t1	Zeitabschnitt je Jahr, in dem das System bei der Temperatur Θ_1 betrieben wird
t2	Zeitabschnitt je Jahr, in dem das System bei der Temperatur Θ_2 betrieben wird
UV-Strahlung	Ultraviolettstrahlung
W/m*K	Wärmeleitfähigkeit
μ	Reibungskoeffizient
Ω	Oberflächenwiderstand

2. Grundlagen zum Leitungsbau

Durch eine vielseitige Nutzung von Rohrleitungen und sich daraus ergebenden Systemen wird heutzutage ein großer Teil der Ver- und Entsorgung der menschlichen Bedürfnisse gewährleistet. Hierbei werden in Produktleitungen hauptsächlich Flüssigkeiten und Gase transportiert und weiter an die einzelnen Haushalte verteilt. Andererseits wird durch Kabelleitungen die Telekommunikation und die Stromversorgung bereitgestellt [99, S.1]. Rohrleitungen können sowohl ober- als auch unterirdisch verlegt werden. Wobei in dieser Arbeit ausnahmslos Rohrleitungssysteme² betrachtet werden, die unter der Erde verlaufen. Die Herstellung dieser Systeme kann mit Hilfe einer offenen, grabenlosen oder kombinierten Bauweise erfolgen.

2.1 Offene Bauweise

Bei der offenen Bauweise erfolgt vor Beginn der Verlegung der Rohre, die Herstellung eines Leitungsgrabens. Um die Art des Grabenverbau bzw. den Böschungswinkel des Grabens bestimmen zu können, muss auf die vorliegenden Boden- und Grundwasserverhältnisse und den Platz, welcher im Verkehrsraum verfügbar ist, geachtet werden [78, S.78]. Dabei muss die Mindestgrabenbreite, abhängig von anstehendem Boden und geböschtem Winkel, eingehalten werden. Diese ist abhängig von dem Rohrdurchmesser und der Art des Grabens, der zum einen nicht verbaut und zum anderen verbaut durchgeführt werden kann [78, S.79]. Nicht verbaute Gräben sind geböscht und nehmen dadurch mehr Platz in Anspruch. Die Vorteile liegen in der andauernden Verdichtung des gewachsenen Bodens und dem größeren vorhandenen Arbeitsraum. Verbaute Gräben sind hingegen in vielen Varianten ausführbar [78, S.81]. Zu diesen zählen der waagerechte Verbau, der senkrechte Verbau oder die Verwendung von großflächigen Verbauplatten. Je nach vorhandenen Umständen, wie der Bodenart, dem Grundwasserstand und der Anzahl der Zuläufe, muss ein passender Verbau gewählt werden [78, S.81].

Weitere Punkte die für die Ausführung einer offenen Bauweise beachtet werden müssen, sind die Wasserhaltung, die Bettung des Rohres, das anschließende Verfüllen und Verdichten der Leitungszone und die Ausführung der Hauptverfüllung. Abschließend sind Prüfungen durchzuführen, um die Dichtheit der eingebauten Rohre sicherzustellen [78, S.83 ff.].

² Rohr oder System von Rohren für die Durchleitung von Fluiden.

2.2 Grabenloser Leitungsbau

Der grabenlose Leitungsbau befasst sich mit der Verlegung von Rohrleitungen in geschlossener Bauweise, d.h. ohne sich der Herstellung von Gräben zu bedienen. Hierzu zählen Produktleitungen, die der Ver- und Entsorgung dienen, Schutz- und Mantelrohre, Leitungskanäle und auch begehbare Leitungsgänge. Eine komplett geschlossene Anwendung ist dennoch nicht möglich. Es werden mindestens ein Anfangsschacht und ein Zielschacht benötigt. Falls sich die Trasse der auszuführenden Rohrleitung über einen längeren Abschnitt erstreckt, können zusätzlich Durchfahrtschächte oder Hilfsbaugruben notwendig sein. Diese werden unter anderem genutzt, um die Einhaltung der Trasse sicherzustellen [99, S.123]. In der geschlossenen Bauweise kann zwischen zwei Verfahrenshauptgruppen differenziert werden. Zum einen dem grabenlosen Leitungsbau, der den Vortrieb von Rohrleitungen umfasst und zum anderen Verfahren, die den Vortrieb von Tunneln und Stollen ermöglichen. Im Folgenden wird nur der Vortrieb von Rohrleitungen berücksichtigt, wenn es sich um den Begriff des grabenlosen Leitungsbau handelt [99, S.123.]. Vorteile die im Gegensatz zur offenen Bauweise vorhanden sind, liegen in [78, S.112]:

- dem Unterfahren von Hindernissen, wie stark befahrenen Straßen, Bahnlinien, Wasserstraßen und Gebäuden,
- der Schonung der Geländeoberfläche,
- der Verringerung der Beeinträchtigung des Verkehrs und der Umwelt durch sowohl Lärm als auch Luftverschmutzung,
- dem geringeren Platzbedarf der Baumaßnahme, da nur Start- und Zielschacht benötigt werden und
- der Wirtschaftlichkeit in größeren Tiefen des Kanals.

Dennoch muss vor Beginn der Bauausführung eine sorgfältige Erkundung stattfinden, die den Boden und die Grundwasserverhältnisse auf der Vortriebstrasse untersuchen. Erst nach dieser Voruntersuchung wird festgestellt, ob ein grabenloses Vortriebsverfahren angewendet werden kann und welches dieser Verfahren zum Einsatz kommen kann [78, S.113.].

2.3 Kombiniert (Halboffene Bauweise)

Die kombinierte bzw. halboffene Bauweise stellt eine Kombination von offener und geschlossener Bauweise dar. Diese wird verwendet, wenn eine geringe Überdeckung vorliegt oder wenig Platz verfügbar ist. Der Bauablauf startet ähnlich dem der geschlossenen Bauweise in einem Startschacht. Von diesem wird die Rohrleitung aus

vorgepresst. Hierbei wird eine geringere Vortriebskraft benötigt, da der Bodenabbau von der Geländeoberfläche aus stattfindet. Vorteile dieser Bauweise umfassen [78, S.120]:

- kaum Verbau notwendig
- verringerte Aushubmenge
- Herstellung der Rohrbettung ohne Aufwand möglich
- Verfüllung und Verdichtung seitlich des Rohres und unterhalb des Kämpfers entfallen
- wesentlich geringere Vorpresskräfte, als bei der grabenlosen Bauweise.

3. Grabenlose Verfahren

Die grabenlose Verfahren, die im Zuge grabenloser Arbeiten angewendet werden, sind zum einen bemannte und unbemannte Verfahren und zum anderen steuerbare und nicht steuerbare Verfahren [24, S.4]. Hierbei wird weiter zwischen dem Neubau einer Rohrleitung und der Sanierung dieser unterschieden. Zudem sind alternative Verlegeverfahren möglich, die in speziellen Bereichen angewendet werden können [24, S.4.]. Eine Übersicht aller im Folgenden erläuterten grabenlosen Verfahren, ist in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1: Grabenlose Verfahren im Leitungsbau [63].

Gabenlose Verfahren im Leitungsbau			
Neubau	nicht steuerbare Verfahren	Verdrängungsvortrieb Rammvortrieb Teilschnittvortrieb	
	steuerbare Verfahren	Pilotrohrbohrverfahren Spülbohrvortrieb Vollschnittvortrieb	
Sanierung	Renovierung	Schlauchlining Verformte Rohre	Beschichtungsverfahren
	Erneuerung	Langrohrlining Kurzrohrlining Wickelrohrverfahren	Berstverfahren Aufweit-/Ziehverfahren Rohrsegment-Lining
	Reparatur/Wartung	Roboterverfahren Packer-Verfahren Edelstahlmanschetten Abschnittsweise Auskleidung/Kurzliner Flutungsverfahren	
Alternative Verlegeverfahren	Pflugverfahren Grabenfräse Schlitzgräben		

3.1 Neubau

Der Neubau im grabenlosen Leitungsbau umfasst alle Maßnahmen, die an einer bisher nicht bestehenden Trasse durchgeführt werden und die Herstellung einer neuen Rohrleitung zum Ziel haben [99]. Verfahren, die im Neubau den Vortrieb von Leitungen ermöglichen, werden im Zuge dieser Arbeit als unbemannt arbeitende Verfahren angesehen. Die Ausführung wird nach DIN EN 12889:2000: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen folgendermaßen definiert:

Rohre werden mit Hilfe schlagender, vibrierender oder statisch aufgebrachtener Kräfte von einem Startschacht oder einem anderen Startort aus zu einem Zielschacht oder einem anderen Zielort vorgetrieben. Der Boden wird an der Ortsbrust verdrängt oder abgebaut.

Bei diesen wird zwischen nicht steuerbaren und steuerbaren Verfahren unterschieden [99, S.125]. Um eine Auswahl der beiden Verfahren zu ermöglichen, werden die erforderliche Lagegenauigkeit, die Nähe zu benachbarten Ver- und Entsorgungsleitungen, der Außendurchmesser, die Vortriebslänge, die Baugrundverhältnisse, die Grundwasserverhältnisse und die Mindestüberdeckung berücksichtigt [24, S.8].

3.1.1 Nicht steuerbare Verfahren

Bei der Verwendung von nicht steuerbaren Verfahren muss im Besonderen auf die Lagegenauigkeit geachtet werden. Diese ist hauptsächlich von den vorliegenden Baugrundverhältnissen, die in Form von Einschlüssen oder Schichtungen auftreten und der Vortriebslänge, abhängig. Dadurch sind diese Verfahren nur bei Rohrleitungen möglich, die in Bezug auf die Richtung keine besondere Genauigkeit benötigen. Um dennoch Schäden an benachbarten Bauwerken oder anderen bereits vorhandenen unterirdischen Leitungen ausschließen zu können, sind im Vorfeld besondere Maßnahmen zu ergreifen [24, S.8]. Zu den nichtsteuerbaren Verfahren zählen der:

- Ungesteuerte Verdrängungsvortrieb,
- Rammvortrieb und
- Teilschnittvortrieb.

Beim ungesteuerten Verdrängungsvortrieb wird ein Verdrängungshammer, der die Form eines Zylinders aufweist, mit stetem Druck in das Erdreich gerammt. Hierdurch kommt es, wie in Abbildung 1 dargestellt, zu einer Verdichtung des umliegenden Bodens, der sich um den Verdrängungshammer bildet. Nach dem Verfahren kann in den entstandenen Hohlraum, das im Vorfeld dimensionierte Rohr, eingezogen werden [63, S.6].

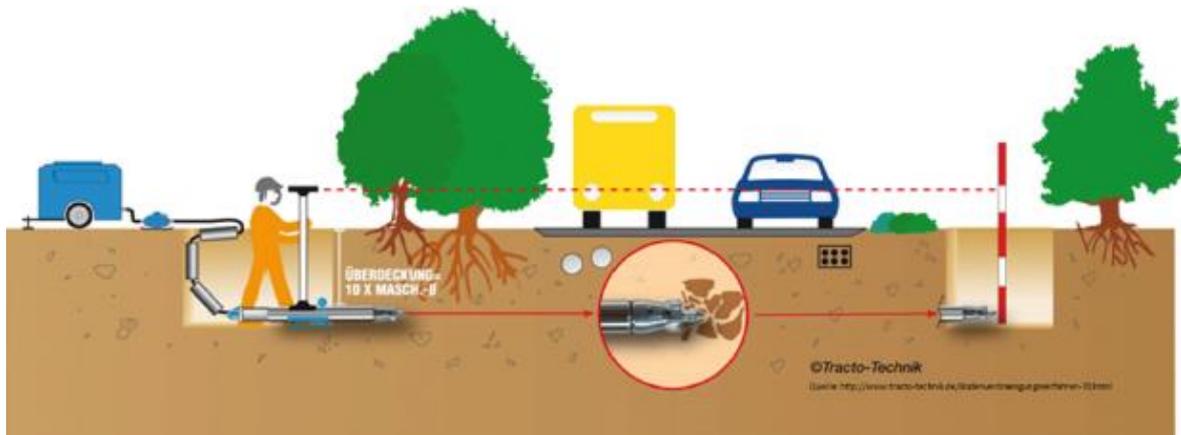


Abbildung 1: Ungesteuerter Verdrängungsvortrieb mit Verdrängungshammer [108].

Im Gegensatz liegt die Besonderheit des Rammvortriebs, welcher Abbildung 2 zu entnehmen ist, im Einbringen eines offenen Rohres, welches das Erdreich während der Ausführung in sich aufnimmt. Somit erfolgt die Durchführung des Rammverfahrens ohne eine Verdrängung des umliegenden Bodens. Das Einbringen des Rohres wird unter Zuhilfenahme eines pneumatischen Antriebs erreicht, der mit der Ramme verbunden ist. Um Verformungen des Rohres, die bei der Ausführung auftreten können zu verhindern, wird ein Schneidschuh an der offenen Ortsbrust angebracht. Dieser hilft den aufbauenden Druck, der zwischen Erdreich und Rohr entsteht, abzutragen. Bei Erreichen des Zielschachtes muss das Erdmaterial, das sich im inneren des Stahlrohres angesammelt hat entfernt werden [63, S.7].



Abbildung 2: Ungesteuerte Verdrängung mittels Rammvortrieb [109].

Das dritte der nichtsteuerbaren Verfahren ist der Teilschnittvortrieb bzw. die Schneckenpressbohrung. In Abbildung 3 wird dazu die Schneckenpressbohrung veranschaulicht. Hierbei wird durch einen im Startschacht vorgesehenen Antrieb eine Förderschnecke betrieben, die den anstehenden Boden an der Ortsbrust abbaut. Analog wird ein Schutzrohr, das die Förderschnecke umgibt in das Erdreich gepresst. Sobald die

Bohrung abgeschlossen ist und das Schutzrohr den Zielschacht erreicht hat, kann das Produktrohr eingezogen werden. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Möglichkeit der Anwendung in verschiedensten Bodenarten und -verhältnissen [63, S.8].

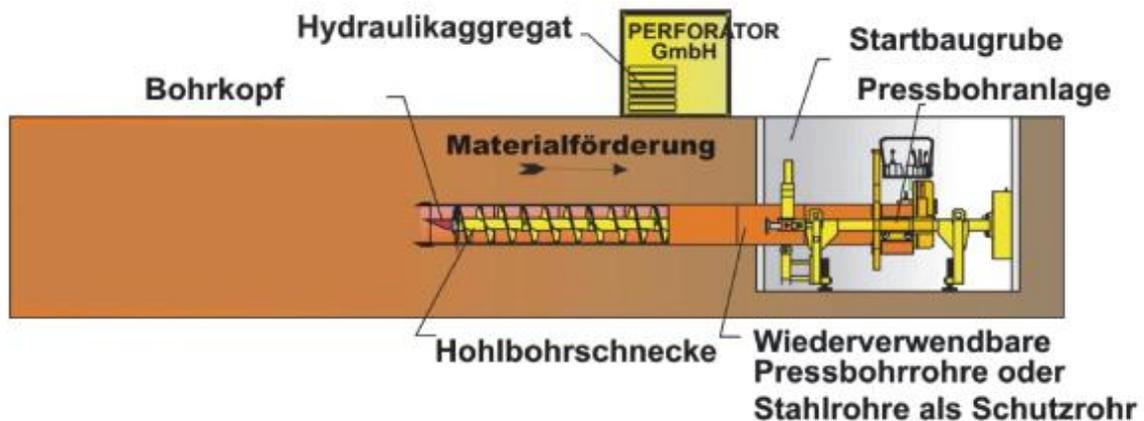


Abbildung 3: Ungesteuerte Verdrängung mittels Schneckenpressbohrung [114].

3.1.2 Steuerbare Verfahren

Bei steuerbaren Verfahren kann auch während der Ausführung die Richtung der Trasse geändert werden. Zu diesen Verfahren zählen der

- Mikrotunnelbau,
- Pilotrohr-Vortrieb und
- Spülbohrvortrieb (SV) bzw. das horizontale Spülbohrverfahren (HDD).

Der Mikrotunnelbau stellt eine Übergruppe von Verfahren dar, die als einstufig steuerbar gelten. Diese werden anhand eines Steuerstandes, der sich außerhalb des Tunnels befindet ferngesteuert. Hierbei ist die Rohrleitung der Tunnelbaumaschine nachgestellt und folgt dieser. Damit können Rohrleitungen hergestellt werden, die einem Durchmesser bis zu DN 1000 entsprechen. Je nach Art der technischen Anwendung ist es möglich einen größeren Durchmesser zu erreichen [24, S.12]. Im Mikrotunnelbau wird zwischen

- Schneckenförderung,
- Spülförderung,
- Saugförderung und
- mechanischer Förderung mit anderen Verfahren

unterschieden. Zu diesen gehört der Vollschnittvortrieb, der genauer als hydraulischer Pressvortrieb mit geschlossenem Schild und vollflächigem Abbau gilt. Er wird mit Hilfe eines Rohrstranges durchgeführt, der die Vortriebsrohre kontinuierlich bis in den Zielschacht presst. Dabei kann die Ortsbrust je nach Anforderung mechanisch-, flüssigkeits- oder

erddruckgestützt sein. Das anfallende Bodenmaterial wird je nach gewähltem Verfahren des Abbaus und dem Rohrdurchmesser trocken, flüssig, saugend oder mit Hilfe von Dickstoff gefördert [63, S.11]. Abbildung 4 dient hierbei der Veranschaulichung des Aufbaus eines Vollschnittvortriebes.



Abbildung 4: Vollschnittvortrieb [63].

Das Pilotbohrverfahren umfasst mehrere Phasen. In der ersten, siehe Abbildung 5, wird ein hohles Pilotgestänge in den Boden eingerammt. Dieser Vorgang wird mit Sender-/Empfänger-Technologie verfolgt, um Änderungen der Richtung vornehmen zu können. Im Zielschacht wird in der darauffolgenden Phase statt des Bohrkopfes ein Aufweitkopf angebracht. In Abbildung 6 ist die dritte Phase, das Rückzugsverfahren dargestellt. Es wird hierbei das Pilotrohrgestänge auf gleichem Weg in den Startschacht zurückgezogen. Wobei eine Aufweitung des umliegenden Bodens stattfindet, in den zeitgleich Schutz- oder Produktrohre miteingezogen werden [63, S.9].

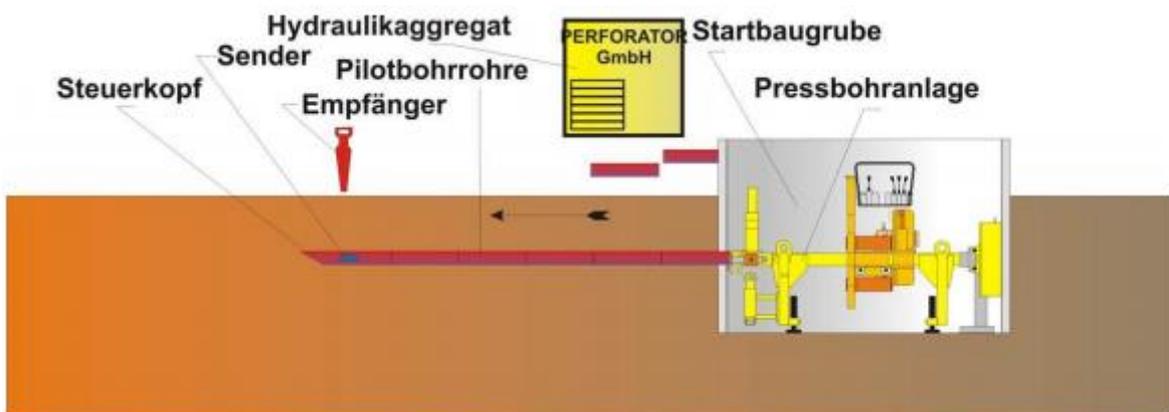


Abbildung 5: Erste Phase der Pilotrohrbohrung, Einrammen eines hohlen Pilotgestänges [113].

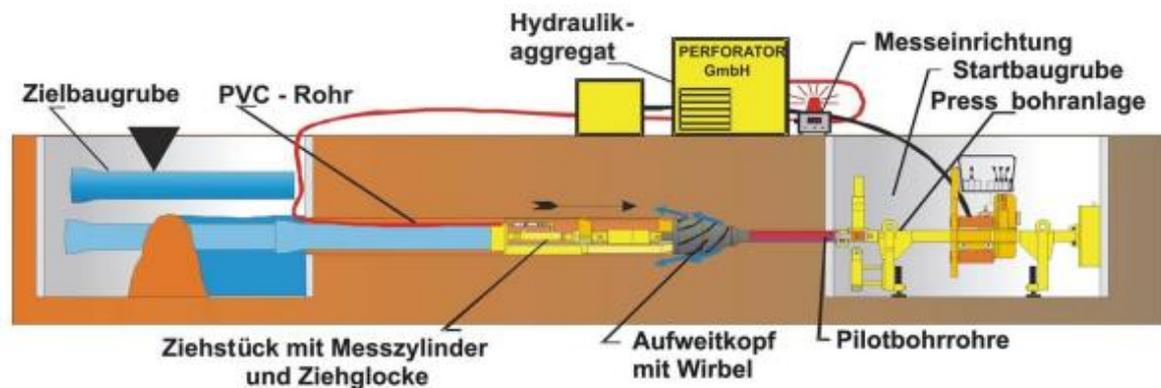


Abbildung 6: Dritte Phase der Pilotrohrbohrung, Rückzugverfahren [113].

Ein weiteres steuerbares Verfahren ist in dem Spülbohrvortrieb bzw. dem horizontalen Spülbohrverfahren zu sehen, welches in Abbildung 7 dargestellt ist. Bei diesem wird durch eine Spülbohranlage ein Kanal gebohrt und anschließend ein Aufweitkopf angebracht. Dieser wird mit einem dahinter befestigten Produktrohr wieder in den Anfangsschacht zurückgeholt. Der Vorteil des Verfahrens liegt in der sehr genauen Einhaltung einer festgelegten Trasse, die sich über mehrere 100 m Länge erstrecken kann. Ein großer Vorteil, den dieses Verfahren mit sich bringt ist, dass es bei allen Bodenarten ausgeführt werden kann [63, S.10].



Abbildung 7: Spülbohrvortrieb [63].

3.2 Sanierung

Die Sanierung einer Rohrleitung bzw. eines gesamten Rohrleitungssystems kann im Laufe der Zeit nötig sein, um weiterhin einen sicheren Transport, der in den Rohren enthaltenen Medien, gewährleisten zu können. Dies geschieht unter Verwendung verschiedener Verfahren, die je nach vorliegender Problemstellung gewählt werden. Eine Sanierung bezeichnet dabei nach DIN EN ISO 11296-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die

Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) –
Teil 1: Allgemeines:

Alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung der Funktion eines bestehenden Rohrleitungssystems.

Es ist zwischen einer Renovierung, Erneuerung oder Reparatur zu unterscheiden. Eine Wahl der richtigen Maßnahme hängt dabei von den vorliegenden Schadensbildern ab [42].

3.2.1 Renovierung (nicht selbsttragend)

Eine Renovierung ist als eine nicht selbsttragende Maßnahme anzusehen, die an einem bereits verlegten Rohrleitungssystem vorgenommen wird. Dabei soll die ursprüngliche Funktion des Rohrsystems komplett wiederhergestellt werden. Teilweise ist es möglich, nicht nur die Anforderungen an das Rohrleitungssystem wiederherzustellen, sondern auch eine Verbesserung zu erreichen. Bei diesem Verfahren findet das bestehende Alt-Rohr teilweise oder auch komplett eine Verwendung. Dieses kann dem neu eingezogenen Rohr unter anderem als Stützfunktion dienen [24, S.7]. Anwendungsbereiche bei welchen Renovierungsarbeiten durchgeführt werden sind

- Gasversorgungsnetze,
- Wasserversorgungsnetze,
- Druckentwässerungsnetze und
- drucklose Entwässerungsnetze.

Um diese Arbeiten durchzuführen stehen diverse Verfahren zur Auswahl. Diese sind als Schlauchlining, „Close-Fit-Lining“, Langrohrlining, Kurzrohrlining, Wickelrohrverfahren und Beschichtungsverfahren bekannt.

Das Schlauchlining, wie in Abbildung 8 zu sehen, oder auch „Cured-in-place pipe“ genannt, erfolgt unter Einbringen eines kunstharzgetränkten Schlauches aus Harzträgermaterial³. Nach einer Imprägnierung des Schlauchliners kann zwischen drei Möglichkeiten gewählt werden, diesen in das Alt-Rohr einzuziehen. Diese stellen das Einziehverfahren, das Inversionsverfahren oder eine Kombination der beiden Verfahren dar. Mit Hilfe eines Aushärtungssystems, das einen genügend hohen Druck bereitstellt, muss während der Phasen der Einbringung und der Erhärtung des Rohres sichergestellt sein, dass der

³ Trägermaterial: Offenporiger Bestandteil des Liners, der das flüssige Harzsystem während der Einbringung in das zu renovierende Rohr aufnehmen kann und nach Aushärten des Harzes Bestandteil des eingebauten Linersystems bleibt [73].

imprägnierte Liner eng an der bestehenden Rohrwand gehalten wird und dieser sich nicht unvorhergesehen verformt [63, S.13].

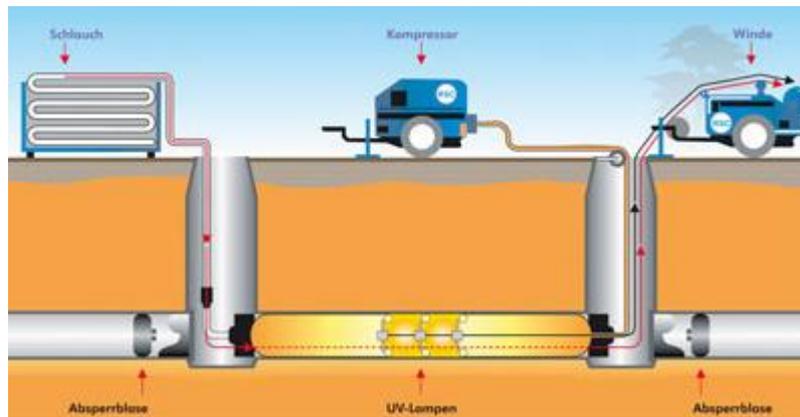


Abbildung 8: Schlauchlining [92].

Ein weiteres Verfahren stellt die Verwendung von verformten Rohren dar. Dieses Rohr nimmt im Laufe der Sanierung drei verschiedene Zustände an, welche in Abbildung 9 aufgezeigt werden. Zuerst wird ein im Vorfeld verformtes Rohr aus Kunststoff in das Alt-Rohr eingebracht, sodass es ohne Probleme hineinpasst. Anschließend wird das neue Rohr z.B. durch Einwirkung von Druck in die ursprüngliche Form gebracht und fixiert sich am äußeren Rohr „close-fit“. Die Verformung der Rohre kann zum einen thermomechanisch in einem Werk erfolgen oder zum anderen mechanisch auf der Baustelle. Letztere Möglichkeit erfolgt mit Hilfe von mechanischen Polyethylen (PE) Reduktions- und PE Verformungsverfahren [63, S.14].

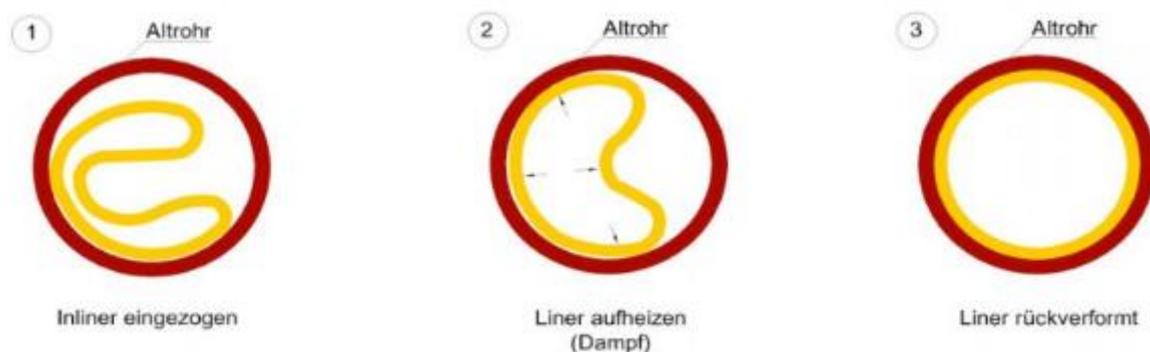


Abbildung 9: Phasen bei der Verwendung verformter Rohre [115].

Hingegen wird beim Kurzrohr- und Langrohrlining ein schon fertig produziertes starres Rohr in das bestehende Alt-Rohr eingezogen. Hierfür muss der Außendurchmesser des einzubringenden Rohres kleiner sein, als der Innendurchmesser des bestehenden Rohres.

Im speziellen Fall des Langrohrlinings, auch Rohrstrang-Lining genannt, findet eine Vormontage eines Kunststoff-Rohrstrangs in der einzubringenden Länge statt. Dies geschieht außerhalb der Baugrube. Danach erfolgt wie in Abbildung 10 veranschaulicht die Ausführung des Verfahrens. Im Gegensatz zum Langrohrlining wird beim Kurzrohrlining, welches auch als Einzelrohr-Lining bezeichnet wird, einzelne Rohre in die Baugrube gebracht und nach dem Einzug eines Rohres, dieses mit dem nachfolgenden, wie in Abbildung 11 gezeigt, verbunden [63, S.15 f.].



Abbildung 10: Langrohrlining [91].

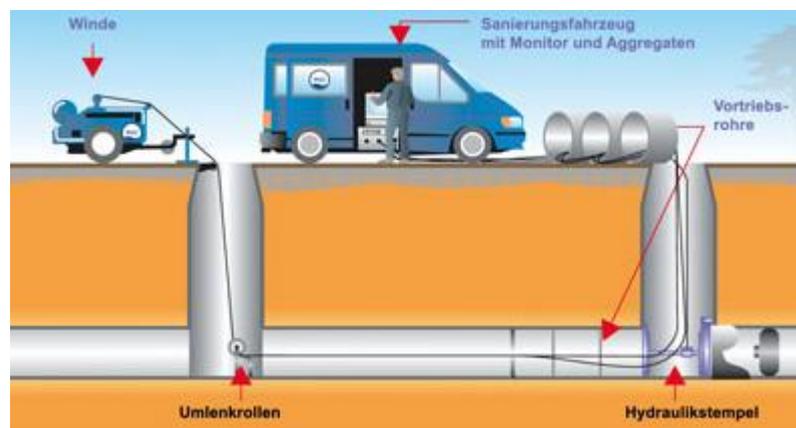


Abbildung 11: Kurzrohrlining [90].

Eine komplett andere Methode der Renovierung bietet das in Abbildung 12 dargestellte Wickelrohrverfahren. Hierbei findet die Lieferung einer Spule statt, diese wird bereits im Werk mit einem Wickelrohrprofil bestückt. Auf der Baustelle findet mit Hilfe einer Wickelrohrmaschine, die für die Formgebung des Wickelrohres zuständig ist, das Abwickeln dieser Spule statt und zeitgleich die Einbringung in das Alt-Rohr. Die einzelnen Rohrstränge werden nachfolgend durch Extruderschweißen oder mechanische Schlösser, die wiederum mit Dicht- und/oder Klebelementen versehen werden, verbunden. Die Ausführung des neuen Rohres kann ohne oder mit Ringspalt erfolgen. Wobei die Ausführung ohne

Ringspalt genau an der Wandung des Altrohres anliegt. Der letzte Arbeitsschritt umfasst die Verdämmung des Ringspalts [63, S.17].

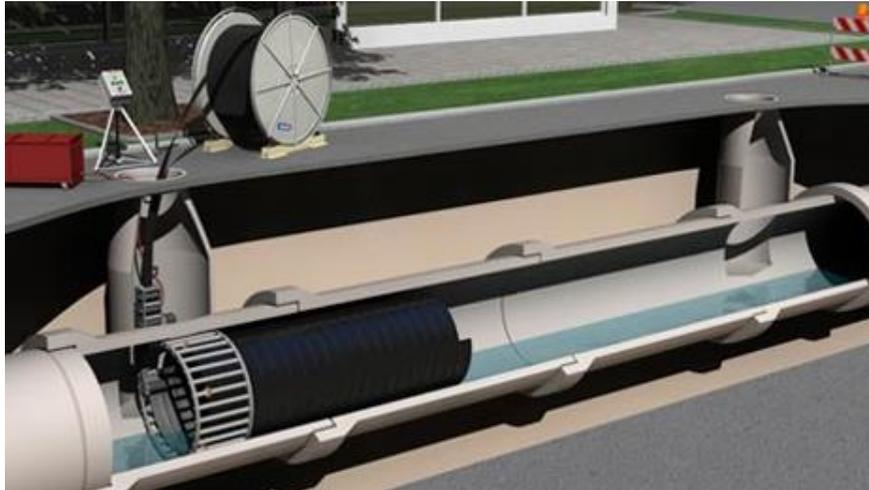


Abbildung 12: Wickelrohrverfahren [83].

Als letzte Möglichkeit bietet das sogenannte Beschichtungsverfahren für nicht begehbare Rohrstränge eine kostengünstige Lösung, falls Ausbesserungen an Rohrsträngen durchgeführt werden müssen. Durch die Anwendung von Polymermörtel oder Zementmörtel erfolgt die Aufbringung einer dünnen Schicht auf der Innenseite des Altrohres. Dieses wird komplett mechanisch durch ein Schleuder- oder Sprühverfahren ermöglicht. Abbildung 13 zeigt hierbei das Verfahren, während der Ausführung. Ähnlich der Anwendung des Spritzbetons, der bei der Auskleidung von Tunneln hilft, wird so eine durchgehende Beschichtung der Innenfläche erzielt. Allerdings ist die Anwendung aufgrund der Notwendigkeit einer gleichmäßigen Verteilung nur bei kreisförmigen Querschnitten zu empfehlen [63, S.18].



Abbildung 13: Beschichtungsverfahren unter Verwendung von Zementmörtel [75].

3.2.2 Erneuerung (selbsttragend)

Aufgrund von Schäden am Rohr, die eine Renovierung nicht mehr ermöglichen oder wirtschaftlich sinnvoll erscheinen lassen, kann eine Maßnahme in Form einer kompletten Erneuerung der beschädigten Rohrleitung sinnvoll sein. Ein anderer Grund für eine Erneuerung kann sein, dass inzwischen ein größerer Durchmesser erforderlich ist, um mit der aufkommenden Ver- oder Entsorgung nachzukommen. Dieses Verfahren bietet den Vorteil gegenüber der Renovierung, dass es selbsttragend ist und keine Stützkraft des Altrohres benötigt. Somit kann ein komplett neues Rohrleitungssystem innerhalb des Alten entstehen [24, S.7].

Das Schlauchlining bzw. Cured-in-place pipe (CIPP) wurde bereits unter dem Punkt Renovierung einer Rohrleitung behandelt [63, S.19]. Ebenso wurden das Close-Fit-Verfahren, das Lang- und Kurzrohrlining, das Wickelrohrverfahren bereits unter dem Punkt Renovierung einer Rohrleitung bereits näher erläutert. Diese Verfahren können somit flexibel in diesen beiden Gebieten eingesetzt werden [63, S.22].

Weitere Verfahren, die für die Erneuerung einer Rohrleitung in Frage kommen, sind das:

- Berstverfahren,
- Aufweit-/Ziehverfahren,
- Rohrsegment-Lining und
- Überfahren des Alt-Rohrs.

Ein gängiges Verfahren stellt das in Abbildung 14 aufgezeigte Berstverfahren dar. Mit Hilfe eines Schneid- und Aufweitkopfes wird das bestehende Rohr geborsten, wobei der Kopf größer sein muss als der Durchmesser des Alt-Rohres. Die Einzelteile des zerstörten Rohres werden in den Boden gedrängt und im selben Augenblick wird Raum für das neue Rohr geschaffen [63, S.26]. Dieses folgt im Aufbau dem Aufweitkopf und wird diesem direkt nachgezogen. Das Berstverfahren untergliedert sich weiter in das dynamische und das statische Berstverfahren. Der Unterschied beider Verfahren liegt zum einen in der Krafteinleitung und zum anderen in der Führung des Aufweitkopfes. Das dynamische Bersten wird unter Zuhilfenahme einer pneumatisch betriebenen Erdrakete ausgeführt. Diese weist einen Aufweitmantel und an der Spitze ein Schneidmesser auf. Beim statischen Berstverfahren wird der Aufweitkopf mit Hilfe eines Zuggestänges oder Zugseils durch das Alt-Rohr gezogen [63, S.26]. Dabei muss beachtet werden, dass das System nur möglichst geringen Erschütterungen ausgesetzt werden darf.

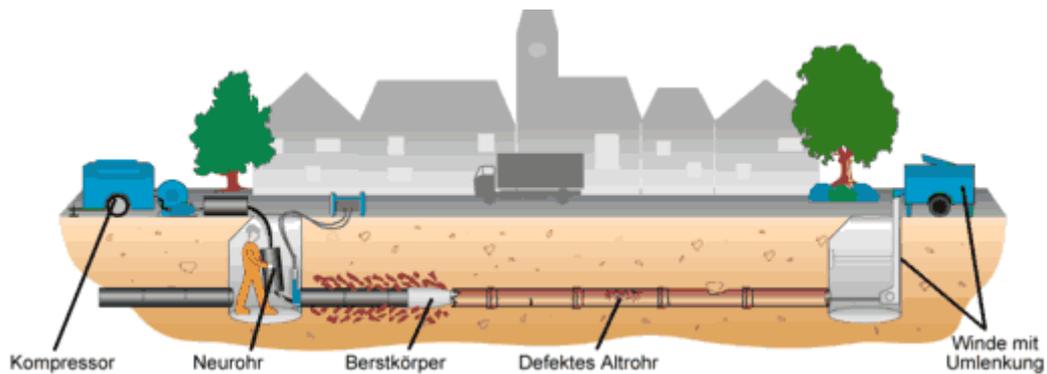


Abbildung 14: Berstverfahren [95].

Das Aufweit-/ Ziehverfahren wird ähnlich ausgeführt. Im Gegensatz zum vorherigen Verfahren wird das Alt-Rohr nicht geborsten, sondern anhand der Verwendung eines Schneid- und Aufweitkopfes aufgeschnitten. Das Einziehen des neuen Produktrohres, das in Abbildung 15 gezeigt wird, geschieht zeitgleich mit dem Aufschneiden des Alt-Rohres. Der Vorteil gegenüber dem Bersten und dem Aufschneiden liegt in der Möglichkeit das Alt-Rohr weiterhin zu gebrauchen. Dieses kann dem neuen Rohr als eine Art Schutzkappe dienen, um dieses vor (zerstörenden) mechanischen Einflüssen zu schützen [63, S.27].



Abbildung 15: Aufgeweitetes duktilen Gussrohr, in das ein neues Produktrohr eingezogen wird [72].

Um begehbare Alt-Rohrleitungen zu erneuern bietet sich das Rohrsegment-Lining an. Dieses Verfahren schafft aufgrund der Auskleidung mit einzelnen Segmenten und der nachträglichen Verbindung dieser, ein dichtes und stabiles Neu-Rohr. Die Verbindung erfolgt mit Dübeln oder anderen gängigen Verfahren. Alternativ besteht die Möglichkeit, die einzelnen Segmente im Rohrstrang dicht, starr oder flexibel radial und axial zusammenzufügen. Dabei ist zwischen einer Auskleidung als Sohraum oder als Gasraum⁴

⁴ Teilauskleidung im oberen Bereich der Rohrleitung oder des Kanals.

zu unterscheiden [63, S.28]. In Abbildung 16 ist hierzu ein fertig erneuerter Kanal dargestellt, welcher mit Hilfe von Rohrsegmenten hergestellt wurde.



Abbildung 16: Erneuerter Kanal durch im unteren Bereich aufgebrachter Rohrsegmente [93].

Falls ein Verfahren zur Erneuerung einer Rohrleitung benötigt wird, dass exakt den gleichen oder auch einen größeren Durchmesser aufweist und zudem auf derselben Trasse gelegen ist, dann findet das Überfahren des Alt-Rohres bzw. das Pipe Eating Anwendung. Hierbei wird, wie in Abbildung 17 dargestellt, das alte Rohr mit einem Bohrkopf aufgebohrt, zerkleinert und in den Startschacht transportiert. Darauffolgend wird mit Vortriebsrohren eine komplett neue Rohrleitung hergestellt [63, S.29].

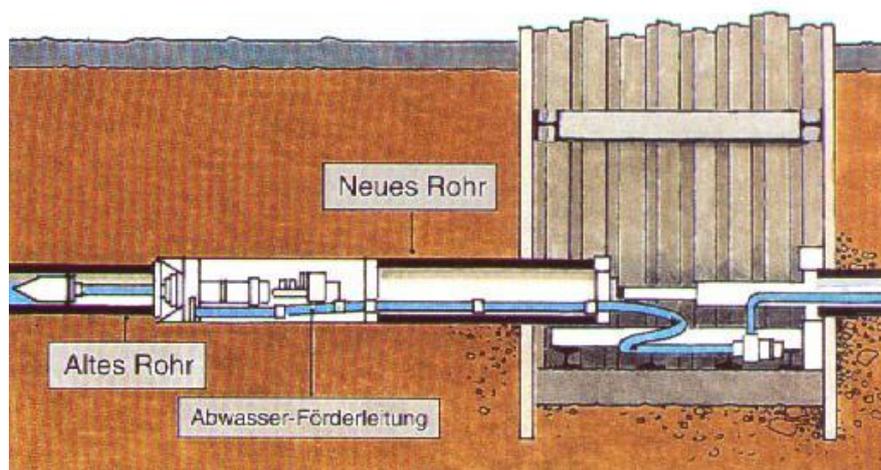


Abbildung 17: Überfahren des Altrohres/ Pipe Eating [65].

3.2.3 Reparatur/Wartung

Um eine Rohrleitung instand halten zu können, muss diese in regelmäßigen Abständen gewartet werden. Hierbei wird lediglich das bestehende Rohrleitungssystem überprüft und nicht erweitert. Im Falle von örtlichen Beschädigungen werden Maßnahmen notwendig, die

anhand verschiedener Arten von Reparaturen durchgeführt werden können und somit die vorherige Funktion des Leitungssystems wiederhergestellt werden kann [24, S.7 f.]. Reparaturen an Rohrleitungen können mittels

- Roboterverfahren,
- Packer-Verfahren,
- Edelstahlmanschetten,
- abschnittsweiser Auskleidung,
- Kurzliner oder
- Flutungsverfahren

durchgeführt werden. Eine Reparatur mit Spachtel- oder Verpressverfahren bzw. dem Roboterverfahren, kann mit einem selbstfahrenden, ferngesteuerten und fernüberwachten Roboter, wie in Abbildung 18 dargestellt, ermöglicht werden. Anhand einer Vielzahl von auswechselbaren Werkzeugaufsätzen können verschiedenste Reparaturen durchgeführt werden [63, S.30]. Mit diesen ist der Roboter in der Lage, im Vorfeld festgestellte Schadstellen zu beseitigen. Hierzu gehören Arbeiten in Form von Auffräsen, Verpressen, Verspachteln oder Planschleifen. Zudem ist er in der Lage, Abflusshemmnisse wegzufräsen. Dieses Verfahren kann allerdings nicht bei Alt-Rohren angewendet werden, die aus Kunststoffen und im speziellen glasfaserverstärkten Kunststoff bestehen [63, S.30].

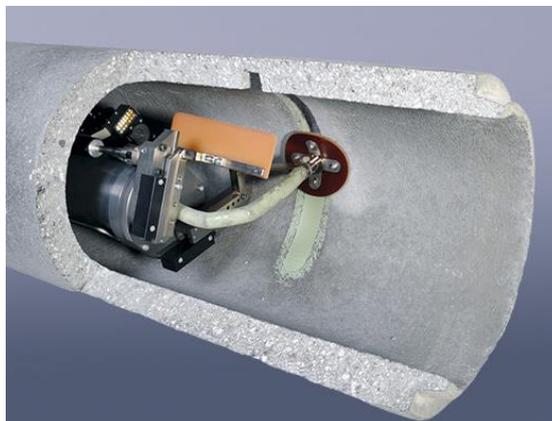


Abbildung 18: Roboterverfahren [94].

Eine weitere Möglichkeit zur Reparatur einer Rohrleitung bringt das Packer-Verfahren mit sich. Hierbei kann die punktuelle Dichtheit einer Leitung schnell festgestellt und im Falle der Undichtheit sofort gehandelt werden. Der Packer, der aus mehreren Kammern besteht, wird unter anderem mit einer Inspektionskamera bestückt. Nachdem dieser eine undichte Stelle ermittelt hat, bläst sich der Packer auf und prüft die inspizierte Stelle nochmals [63, S.31]. Daraufhin wird mit Hilfe von Druck ein Reaktionsharz, das über Leitungen zum Packer transportiert wird, in die Schadstelle gepresst. Nach außen und nach innen entsteht so ein Überschuss des Reaktionsharzes, welches nun zwischen Rohraußenwand und

anstehendem Erdreich neuen Schutz bietet. Auf der Innenseite wird, nach erfolgreicher Durchführung das überschüssige Harz entfernt, um keine Hindernisse zurückzulassen [63, S.31].



Abbildung 19: Roboter während einer Abzweigsanierung [11].



Abbildung 20: Repariertes Rohrstück [12].

Ein weiteres Verfahren, welches zur Reparatur einer Rohrleitung angewendet werden kann, ist die Verwendung von Edelstahlmanschetten. Dabei wird ein selbstfahrender, ferngesteuerter und fernüberwachter Roboter direkt an der Schadstelle befestigt. Dieser platziert die Manschetten einzeln oder ggfs. auch hintereinander [63, S.32]. Als Veranschaulichung dient hierzu Abbildung 21, welche ein Kanalstück nach der Reparatur mit Edelstahlmanschetten zeigt.



Abbildung 21: Repariertes Kanalstück aus Steinzeug mithilfe von Edelstahlmanschetten [68].

Die Verwendung eines Packers wird auch beim Reparaturverfahren der abschnittsweisen Auskleidung vorausgesetzt. Hierbei wird mit Hilfe eines in Harz getränkten Laminats, das vor Ort erhärtet, eine partielle Auskleidung geschaffen. Der Packer bläst sich an der vorher inspizierten Schadstelle auf und kann das Laminat, durch Aufwendung von Druck, an diese pressen. Nach der Erhärtung der Schadstelle findet eine Entlüftung und der Abtransport des Packers statt [63, S.33].

Ein sehr aufwändiges Verfahren, welche im Falle eines Lecks im Kanal angewendet werden kann, ist das in Abbildung 22 gezeigte Flutungsverfahren. Dieses kann jedoch nur bei kleineren Leckagen eingesetzt werden. Zudem muss eine ausreichende Tragfähigkeit des zu sanierenden Kanals oder Rohres vorhanden sein. Darüber hinaus müssen diverse Vorarbeiten geleistet werden. Hierzu gehört die Durchführung einer Wasserdruckprüfung, um den Materialverbrauch und die damit verbundenen Kosten abschätzen zu können. Weiterhin ist es unbedingt erforderlich die genauen Daten des Kanals, vorab in einer ausgiebigen Inspektion zu erfassen. Die Ausführung erfolgt durch Flutung eines Kanalabschnittes. In diesen werden zwei Lösungen eingebracht, die durch den erzeugten hydrostatischen Druck vorhandene Defekte im Rohr ausfindig machen und nach außen dringen. Hierbei findet eine Vermischung der Lösungen statt, die ein sandsteinartiges Konglomerat an der Außenwand des Rohres bilden. Dieses fungiert an der Schadstelle als Abdichtung [63, S.34].

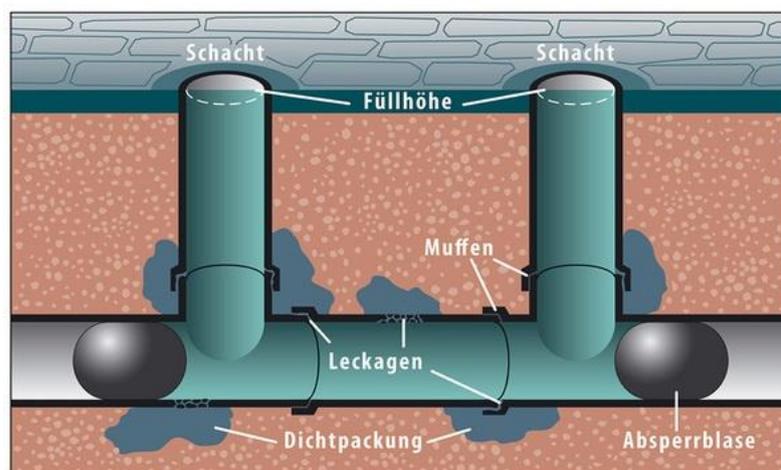


Abbildung 22: Flutungsverfahren [66].

3.3 Alternative Verlegeverfahren

Zu diesen Verfahren zählt die Verlegung einer Rohrleitung mit Hilfe des Pflugverfahrens, der Grabenfräse und von Schlitzgräben. Jedes dieser Verfahren ist nur für die Neuverlegung von Rohren geeignet. Zudem dürfen bei keinem der alternativen Verlegeverfahren Hindernisse an der Geländeoberkante vorhanden sein. Im Gegensatz zu den anderen grabenlosen Verfahren finden hier die Arbeiten direkt an der Oberfläche statt. Dadurch beträgt die maximal erreichbare Tiefe 2,0 m. Zudem ist der erreichbare Durchmesser beschränkt [63, S.37 ff.].

Die Ausführung des Pflugverfahrens geschieht, wie Abbildung 23 zu entnehmen ist, mit einer Pflugeinrichtung. Hierbei fertigt eine Pflugschar einen vertikalen Erdschlitz, dem ein Verlegeschwert folgt. Dieses formt die Sohle für die Rohrleitung und im nächsten Schritt kann das Rohr, durch eine dort angebrachte Einführungseinrichtung verlegt werden [63, S.37].

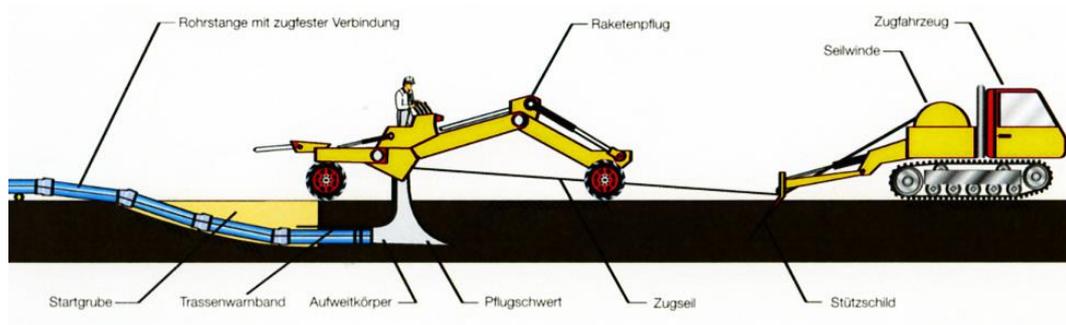


Abbildung 23: Ausführung des Pflugverfahrens [74].

Der Ablauf der Verlegearbeiten mit einer Grabenfräse ist ähnlich dem des Pflugverfahrens. Hierbei kann allerdings auf die Art des Bodens reagiert werden, indem passende Abbauwerkzeuge gewählt werden [63, S.38].

Die dritte Variante liegt in der Herstellung von Schlitzgräben. Diese bieten die Vorteile wenig Platz zu beanspruchen und den ruhenden und fließenden Verkehr nur in geringem Ausmaß zu beeinträchtigen. Die Anwendung beschränkt sich mit dieser Methode auf befestigte Asphalt-Oberflächen [63, S.39]. Abbildung 24 zeigt hierzu den praktischen Fall einer Glasfaserkabel-Verlegung, welche mithilfe der Herstellung von Schlitzgräben durchgeführt wird.



Abbildung 24: Verlegung eines Glasfaserkabels mittels Herstellung von Schlitzgräben [106].

Nicht jedes der hier aufgeführten grabenlosen Verfahren ist auch für jedes Material geeignet. Für die Neuverlegung ist unter anderem, bei Verwendung des Rammvortriebes oder des Vollschnittvortriebes, auf Belastungen zu achten, welche sich auf das Rohrmaterial auswirken. Für diese Verfahren sind somit nur Rohrmaterialien geeignet, die in der Lage sind, den dort vorherrschenden Druck aufzunehmen. Für die Sanierung von Rohrleitungen ist z.B. bei der Verwendung des Schlauchlinings auf eine gewisse Flexibilität des Rohrmaterials zu achten, damit sich dies dem sanierungsbedürftigen Altrohr bestmöglich anpassen kann. Dafür werden in dem nächsten Kapitel die Eigenschaften der einzelnen betrachteten Rohrmaterialien genauer analysiert. Darüber hinaus werden jedem Material mögliche grabenlose Verfahren zugewiesen.

4. Rohrmaterialien im grabenlosen Leitungsbau

Rohrsysteme aus den hier betrachteten Materialien müssen festgelegte Anforderungen bezüglich Leistungsfähigkeit erfüllen. Diese sind nach DIN EN 13476-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Leistungsmerkmale wie folgt festgelegt:

- Festigkeit bei Handhabung, Transport, Lagerung und Verlegung
- Beständigkeit gegen Bodenlast, einschließlich Verkehrslast sowohl während als auch nach der Verlegung
- Fähigkeit, Flüssigkeit innerhalb oder außerhalb des Systems zu halten (Dichtheit)
- Beständigkeit gegen hohe Temperaturen
- Reinigung und Instandhaltung
- Auswirkungen der Bearbeitung auf die Langzeit-Leistungsfähigkeit
- Langzeit-Leistungsfähigkeit des Werkstoffs

Damit diese Feststellungen der Normung erfüllt werden, soll zunächst eine Betrachtung der einzelnen Materialien erfolgen. Um hierbei eine Abgrenzung zwischen den einzelnen Materialien zu schaffen, werden diese zunächst anhand ihrer Eigenschaften und nach der Möglichkeit ihrer Verwendung, bei grabenlosen Verfahren unterschieden. Hierzu werden in dieser Arbeit zementgebundene Stoffe, Stahl, Steinzeug, duktiler Gusseisen und Kunststoffe betrachtet und in Tabellen zusammengeführt. Die für das jeweilige Material möglichen grabenlosen Verfahren werden unter Zuhilfenahme einer Auflistung der ÖGL in einzelnen Tabellen aufgeführt.

4.1 Zementgebundene Stoffe

Unter Rohren aus zementgebundenen Stoffen werden in dieser Arbeit vorrangig Betonrohre und Stahlbetonrohre verstanden. Rohre aus Polymerbeton finden nur in den Verfahren des Rohrsegment-Linings und beim Überfahren des Altrohres Anwendung. Zudem besteht die Möglichkeit Zement- und Polymermörtel für die Sanierung von Altrohren zu benutzen. Um die Anforderungen an Beton- und Stahlbetonrohre erfüllen zu können, wird die DIN EN 1916 Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton herangezogen. Hierbei müssen alle Werkstoffe, die zur Herstellung eines Rohrsystems aus Beton- und Stahlbetonrohren benötigt werden, den genauen Vorgaben entsprechen. Diese Werkstoffe umfassen Zemente, Zuschlagstoffe, Anmachwasser, Zusatzmittel, Zusatzstoffe, Stahlfasern, Betonstahl, Dichtungen und Führungsringe für Vortriebsrohre [35, S.15].

Materialeigenschaften zementgebundener Stoffe, die beim Einhalten der Anforderungen, an die Herstellung erreicht werden sollen, sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Materialeigenschaften zementgebundener Stoffe [78; 36, S.196; 110; 8; 39, S.5].

Eigenschaften zementgeb. Stoffe	Betonrohr	Stahlbetonrohr
Druckfestigkeitsklasse	C 40/50 (WU)	
Zugfestigkeit	4 N/mm ²	
Wichte	25 KN/m ³	
Elastizitätsmodul	35.000 N/mm ²	
Wärmeausdehnungskoeffizient	von 4 bis 14 × 10 ⁻⁶ 1/K	
Wärmeleitfähigkeit	1,6 W/m × K	2,3 W/m × K
Dichtheit	bis zu 1 bar	
Korrosionsbeständigkeit	durch Zusatzmaßnahmen gegeben	
Chemische Beständigkeit	bis pH 4,5 (XA2)	
Frostbeständigkeit	gegeben	
Biologische Beständigkeit	gegeben	
Brandverhalten	nicht brennbar	
Nutzungsdauer	100+ Jahre	
Durchmesser	DN 200 bis 4000	

Der Werkstoff Beton selbst wird seit mehreren Jahrzehnten erfolgreich zur Herstellung von Rohren in diversen Abmessungen verwendet [60, S.303]. Gründe, die für eine Verwendung des Materials Beton sprechen liegen vorrangig in:

- Nahezu beliebiger Formbarkeit des Werkstoffs
- Guten mechanischen und chemischen Eigenschaften
- Seiner ubiquitären Verfügbarkeit und damit verbundenen Wirtschaftlichkeit der zur Herstellung benötigten Materialien.

Um Betonrohre auf Zug belastbarer zu machen, kann schlaffe oder vorgespannte Bewehrung, aber auch die Zugabe von einzelnen Stahlfasern erfolgen. Dabei wird ein Schutz der Stahleinlagen, durch die Alkalität des Betons gewährleistet [60, S.303]. Eine Alternative zum Erreichen einer höheren Zugfestigkeit bietet Faserzement. Dieser setzt sich zum Großteil aus einem Zementbrei ohne Gesteinskörnung zusammen, dem feinverteilte

Fasern beigemischt werden [60, S.303]. Durch die hohe Robustheit des Stoffes ist er in vielen grabenlosen Verfahren, sowohl im Neubau als auch bei der Sanierung einer Rohrleitung, einsetzbar. Tabelle 3 zeigt alle grabenlosen Verfahren, die den Einsatz des Werkstoffes Beton, Stahlbeton und von Mörtel ermöglichen. Dabei kann mit Rohren aus Beton und Stahlbeton im Neubau der Teilschnittvortrieb, Vollschnittvortrieb und das Pilotrohrbohrverfahren angewendet werden. Darüber hinaus können diese Materialien im Falle einer Sanierung unter Einsatz der Verfahren des Kurzrohrlinings, Rohrsegment-Linings oder Pipe-Eatings erfolgen. Zement- und Polymermörtel finden nur bei der Sanierung einer Rohrleitung Verwendung. Mithilfe dieser Materialien können Reparaturarbeiten an Rohrleitungssystemen durchgeführt werden. Verfahren die dabei angewendet werden sind das Beschichtungsverfahren, das Roboterverfahren und das Packer-Verfahren [63, S.30 f.].

Tabelle 3: Verfahren bei denen zementgebundene Stoffe Anwendung finden [63].

Zementgebundene Stoffe - Verfahren	
Neubau	Sanierung
Teilschnittvortrieb	Beschichtungsverfahren
Vollschnittvortrieb	Roboterverfahren
Rohrvortrieb bemannt	Packer-Verfahren
Pilotrohrbohrverfahren	Kurzrohrlining
	Rohrsegment-Lining
	Pipe-Eating

4.2 Stahl

Die Wahl bzw. Bewertung eines Stahls für den Rohrleitungsbau hängt nicht allein von den Festigkeitswerten ab, sondern auch von den Zähigkeitseigenschaften, die dabei helfen sollen Spannungsspitzen abzubauen. Zudem muss bei Leitungen, die eine Beanspruchung in Bezug auf die Temperatur erfahren, zusätzlich auf Zunderungsvorgänge und Festigkeitswerte von Stahl, wie in Tabelle 5 dargestellt, geachtet werden. Niedrige Temperaturen erfordern z.B. eine Verwendung kaltzäher Stähle. Andererseits kann es beim Transport flüssiger oder gasförmiger Medien zu einer Bildung von Kondensaten kommen, die sich aggressiv auf das Material auswirken und zu einer Korrosion führen können [60].

Zusätzliche Punkte, die in Bezug auf den Werkstoff Stahl berücksichtigt werden müssen sind:

- Verarbeitbarkeit

- Schweißbarkeit
- Prüfvorschriften
- Notwendige Wärmebehandlungen

Stahlrohre können als geschweißte Stahlrohre oder nahtlose Stahlrohre gefertigt werden. Wobei über die Hälfte der verwendeten Stahlrohre als Energielieferant eingesetzt werden [84, S.171]. Um einen dauerhaften und sicheren Transport von Medien gewährleisten zu können, gelten besondere Anforderungen an die Festigkeit, die Zähigkeit und die Korrosionsbeständigkeit von Stahlrohren. Auf die Einhaltung der Korrosionsbeständigkeit muss dabei innen und außen geachtet werden [84, S.172]. Da sowohl das Medium als auch der umliegende Boden sich auf die Dauerhaftigkeit auswirken kann. Zudem ist besonderer Wert auf den Widerstand der Stahlrohre gegenüber Erdbewegungen zu legen. Dazu muss eine ausreichende Beständigkeit in Bezug auf die, hauptsächlich in Längsrichtung ausgeübte Dehnung erreicht werden [84, S.175]. Je nach Anforderung kann auf diese Beanspruchungen mit einem passenden Stahl und einer speziellen Schutz- und Beschichtungsfolge, wie in Abbildung 25 dargestellt reagiert werden.

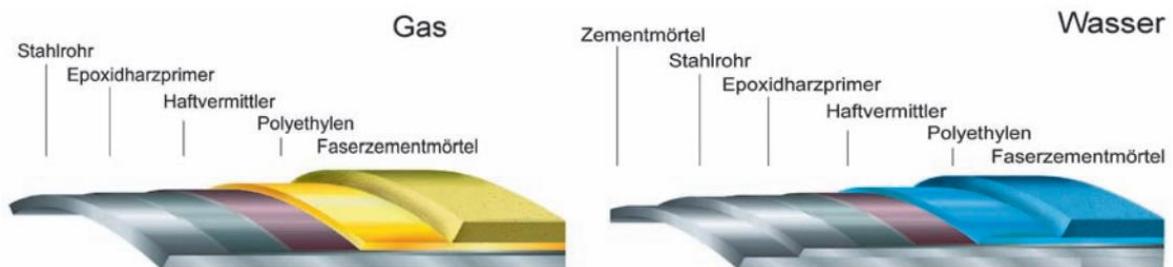


Abbildung 25: Beschichtung eines Stahlrohres bei Verwendung der Medien Gas und Wasser [71].

Zur genaueren Bestimmung der Stahlsorte, die für eine Rohrleitung verwendet werden soll, hilft die DIN EN 10224:2002: Rohre und Fittings aus unlegiertem Stahl für den Transport von Wasser und anderen wässrigen Flüssigkeiten – Technische Lieferbedingungen. In dieser Norm werden mechanische Eigenschaften des Werkstoffes Stahl genauer dargestellt. Tabelle 4 zeigt drei verschiedene Stahlsorten von Rohren und deren mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur. Zu diesen zählen unter anderem die Zugfestigkeit, die Streckgrenze, die Bruchdehnung und die Durchmesserergrößerung beim Aufweitversuch.

Tabelle 4: Mechanische Eigenschaften von diversen Stählen bei Raumtemperatur. Verwendung im grabenlosen Leitungsbau [21, S.14].

Stahlkurzname	Zugfestigkeit Rm [Mpa]	Streckgrenze Re1 ¹⁾ [Mpa] min. für Wanddicken T [mm]		Bruchdehnung A [%] min.	
		T ≤ 16	T > 16	l ²⁾	t ²⁾
		L235	360 bis 500	235	225
L275	430 bis 570	275	265	21	19
L355	500 bis 650	355	345	21	19

1) Re ist als ReH oder, wenn die Streckgrenze nicht ausgeprägt ist, als Rc0,2 oder Rc_s zu bestimmen.
2) l: in Längsrichtung; t: in Querrichtung

Als Beispiel eines Stahles, der im grabenlosen Leitungsbau verwendet wird, kann der Werkstoff L235⁵ genommen werden. Das Stahlrohr weist an der Außenseite eine PE-Ummantelung auf, die nach DIN 30670: Polyethylen-Umhüllungen von Rohren und Formstücken aus Stahl – Anforderungen und Prüfungen ausgeführt wird. Es kann dabei geschweißt oder nahtlos, nach DIN EN 10224:2002: Rohre und Fittings aus unlegiertem Stahl für den Transport von Wasser und anderen wässrigen Flüssigkeiten – Technische Lieferbedingungen ausgeführt werden. Hervorstechende Materialeigenschaften des Werkstoffes Stahl sind seine ausgesprochen hohe mechanische und chemische Belastbarkeit. Diese sind neben der Gewährleistung einer hohen Dichtheit für einen sicheren Transport von Gasen verantwortlich. Weitere Eigenschaften sind in Tabelle 5 aufgelistet.

⁵ Stähle für Leitungsrohre mit einer Mindeststreckgrenze von 235 N/mm².

Tabelle 5: Materialeigenschaften von Stahlrohren aus L235
 [21, S.14; 60, S.158, S.219; 69, S.233; 111, S.1171; 62; 70, S.154; 98].

Eigenschaften Stahlrohre	Geschweißte	Nahtlose
Druckfestigkeit L235 (St 37.0)	340 bis 440 N/mm ²	
Zugfestigkeit L235 (ST 37.0)	360 bis 500 N/mm ²	
Wichte	77,0 KN/m ³	
Elastizitätsmodul	210.000 N/mm ²	
Wärmeausdehnungskoeffizient	11,7 × 10 ⁻⁶ 1/K	
Wärmeleitfähigkeit	55 W/m × K	
Dichtheit / zul. Betriebsdruck	16 bis 64 bar	
Korrosionsbeständigkeit	durch Zusatzmaßnahmen gegeben	
Chemische Beständigkeit	gegeben	
Frostbeständigkeit	gegeben	
Biologische Beständigkeit	gegeben	
Brandverhalten	Sonderstähle ab +400°C	
Nutzungsdauer	80 bis 120 Jahre (PE/FZM)	
Durchmesser	21,3 bis 1.620 mm	21,3 bis 660 mm
Wandstärke	2,0 bis 38,1 mm	3,2 bis 100 mm

Stahl kann durch seine Materialeigenschaften eine vielfältige Verwendung im Bereich der grabenlosen Verfahren aufweisen. Der Werkstoff ist sowohl bei einigen Verfahren der Neuverlegung als auch bei jenen der Sanierung vertreten. In Tabelle 6 ist das Material Stahl mit seinen möglichen Anwendungen im grabenlosen Leitungsbau dargestellt. Erwähnenswert ist hierbei, dass Stahlrohre bei einem Teilschnittvortrieb als Medium- und als Schutzrohre verwendet werden können.

Tabelle 6: Anwendung vom Werkstoff Stahl bei grabenlosen Verfahren [63].

Stahl	
Neubau	Sanierung
Rammvortrieb	Langrohrlining
Teilschnittvortrieb (Medium-/Schutzrohr)	Kurzrohrlining
Vollschnittvortrieb	Berstverfahren
Rohrvortrieb bemannt	Aufweit-/Ziehverfahren
Pilotrohrbohrverfahren (Mediumrohr)	Pipe-Eating
Spülbohrvortrieb	Edelstahlmanschetten

Die bei einer Verlegung vorgeschriebene Mindestwanddicke für erdgedeckte Rohrleitungen ist vom Durchmesser der Rohrleitung abhängig. Je größer die Nennweite des Durchmessers ist, desto dicker muss die Mindest-Wanddicke des Rohres ausfallen. Ab

einem Durchmesser, der größer als 950 mm ist, wird generell 1 % der Nennweite des Durchmessers maßgebend. In Tabelle 7 sind Abgrenzungen üblicher Nennweiten dargestellt und zugehörige Mindest-Wanddicken [28].

Tabelle 7: Mindestwanddicke für erdgedeckte (Stahl-) Rohrleitungen nach DIN EN 13480-6 [28].

Nennweite (DN)	Mindest-Wanddicke (mm)
DN ≤ 80	3,2
80 < DN ≤ 150	4,7
150 < DN ≤ 450	6,35
450 < DN ≤ 600	7,9
600 < DN ≤ 950	9,5
950 < DN	1 % DN

4.3 Duktiles Gusseisen

Die Verwendung von Gusseisen hat sich über Jahrhunderte bewährt. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts findet nur noch duktiles Gusseisen Verwendung. Dies liegt unter anderem an einer höheren Festigkeit, wie in Tabelle 8 dargestellt, welche das Material aushalten kann. Bei erdverlegten Rohrleitungen entstehen diese unter anderem durch den oberhalb fahrenden Straßenverkehr [60, S.47]. Duktiles Gusseisen kann diese Lasten durch seine Eigenschaften, welche in Tabelle 8 dargestellt sind, abtragen. Eine erhöhte Dehnbarkeit und zugleich hohe Eigenfestigkeit wird durch darin enthaltenes, kugeliges Graphit erreicht. Dabei muss das Grundgefüge der Rohre so beschaffen sein, dass dieses vorwiegend ferritisch ist, um höchste Dehnungswerte bei zugleich niedrigster Härte erreichen zu können [60, S.48]. Vorteile, die sich aus diesen Eigenschaften ergeben zeigen sich in einer guten Diffusionsdichtheit, einer erhöhten Druckbelastbarkeit und der Nichtbrennbarkeit. Zudem wird durch eine zugfeste Steckmuffenverbindung eine Senkung der Baukosten erreicht [60, S.48].

Tabelle 8: Materialeigenschaften von duktilem Gusseisen [107].

Eigenschaften duktiles Gusseisen	
Druckfestigkeit	900 N/mm ²
Zugfestigkeit	420 N/mm ²
Wichte	72,5 KN/m ³
Elastizitätsmodul	170.000 N/mm ²
Wärmeausdehnungskoeffizient	10 x 10 ⁻⁶ 1/K
Wärmeleitfähigkeit	42 W/m x K
Dichtheit	100+ bar
Korrosionsbeständigkeit	gegeben mit Zementmörtel
Chemische Beständigkeit	gegeben
Frostbeständigkeit	gegeben
Biologische Beständigkeit	gegeben
Brandverhalten	nicht brennbar
Nutzungsdauer	100+ Jahre
Durchmesser (mm)	80 bis 1000 möglich

Mögliche Verfahren, bei denen duktiles Gusseisen im grabenlosen Leitungsbau angewendet werden kann, sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Anwendung vom Werkstoff duktiles Gusseisen bei grabenlosen Verfahren [63].

Duktiles Gusseisen	
Neubau	Sanierung
Teilschnittvortrieb (Mediumrohr)	Berstlining [9]
Pilotrohrbohrverfahren (Mediumrohr)	Langrohrlining [9]
Spülbohrvortrieb	

4.4 Steinzeug

Steinzeugrohre bestehen ausschließlich aus Ton und Schamotte (gebrannter Ton). Diese Ausgangsstoffe sind rein natürlich, somit entspricht Steinzeug dem Aspekt der ökologischen Nutzung [60, S.243]. Zudem verhält sich der Baustoff von der Produktion bis hin zum Einbau nachhaltig und ermöglicht den Bau von Kanalisationssystemen, die in Bezug auf den Kostenfaktor und die Umwelt zeitgemäß sind. Somit konnten über die Jahre der Nutzung Erfahrungen gesammelt werden, um an den heutigen Standards anknüpfen zu können. Dies wird erreicht, indem der Werkstoff weiter verbessert und an die benötigten Gegebenheiten angepasst wird [60, S.243]. Steinzeug wird bereits seit 2.000 v. Chr.

verwendet und erfährt seitdem unter anderem eine Verbesserung in den Punkten [60, S. 245]:

- Brenntechnik
- Längere Bauabschnitte
- Dichtwirkung
- Wanddicken
- Tragfähigkeit und Scheiteldruckfestigkeit
- 60 % Recyclingmaterial für Herstellung
- Wasseraufnahme

Steinzeugrohre weisen viele Eigenschaften auf, die den Gebrauch sinnvoll erscheinen lassen. Zu diesen zählen Beständigkeit in Frost, Ozon, Korrosion und Brennbarkeit. Darüber hinaus ist eine hohe Resistenz, zu chemischen und biologischen Inhaltsstoffen, die im Abwasser anzutreffen sind vorhanden [60, S.245]. In einem regulären Kanalbetrieb sind Rohre und Formstücke aus Steinzeug zudem resistent gegen auftretende mechanische und thermische Belastungen. Durch eine große Beständigkeit in Verformung und einer hohen Biegesteifigkeit, erreicht das Material eine Rohrsteifigkeit, die bei Erdverlegung größer ist als die des vorhandenen Erdreichs. Somit ist das Steinzeugrohr den biegesteifen Rohrsystemen zugehörig [60, S.247]. Zusätzlich zu den guten mechanischen Eigenschaften, weist das Material eine hohe Nutzungsdauer auf. Bei verwendeten Dichtungsmaterialien wird gleichermaßen Wert auf Werkstoffe gelegt, die dauerhaft sind. Ein Auszug einiger wichtiger Eigenschaften des Materials Steinzeug, ist in Tabelle 10 gegeben [60, S.246]. Auffallend ist hierbei die hohe Beständigkeit des Werkstoffes bezogen auf Korrosion, chemische Stoffe, Frost, biologische Angriffe und Brand.

Tabelle 10: Materialeigenschaften von Steinzeug [60].

Eigenschaften Steinzeug	
Biegezugfestigkeit	15 bis 40 N/mm ²
Druckfestigkeit	100 bis 200 N/mm ²
Zugfestigkeit	10 bis 20 N/mm ²
Wichte	22 KN/m ³
Elastizitätsmodul	50.000 N/mm ²
Wärmeausdehnungskoeffizient	$5 \times 10^{-1} 1/K$
Wärmeleitfähigkeit	1,2 W/m × K
Dichtheit	2,4 bar
Korrosionsbeständigkeit	gegeben
Chemische Beständigkeit	gegeben
Frostbeständigkeit	gegeben
Biologische Beständigkeit	gegeben
Brandverhalten	nicht brennbar
Nutzungsdauer	100+ Jahre
Durchmesser	100 bis 1200 mm

Durch einen hohen Widerstand des Materials Steinzeug in Bezug auf chemische, biologische und korrosive Angriffe, findet das Material hauptsächlich bei Kanalisationssystemen Verwendung [60]. Mögliche Verfahren, die mit Steinzeugrohren durchgeführt werden können sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Verfahren bei denen der Werkstoff Steinzeug Anwendung findet [63].

Steinzeug	
Neubau	Sanierung
Teilschnittvortrieb (Medium-/Schutzrohr)	Kurzrohrlining (Erneuerung)
Pilotrohrbohrverfahren (Mediumrohr)	Berstverfahren
Vollschnittvortrieb	Pipe-Eating
Rohrvortrieb bemannt	

4.5 Kunststoffe

Kunststoffe stellen in dieser Arbeit den Überbegriff für Materialien dar, die zum einen den Neubau und zum anderen die Sanierung von Rohrleitungssystemen ermöglichen. Zu diesen Kunststoffen zählen weichmacherfreies Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid und glasfaserverstärkte Kunststoffe. Darüber hinaus finden Harze und Silikagele bei Sanierungen von Rohrleitungssystemen Anwendung. Im Folgenden werden diese

Werkstoffe erörtert und am Ende des Kapitels der Kunststoffe im Speziellen die Werkstoffe PE-100HD und GFK in einer Übersicht zusammengefasst.

4.5.1 Polyethylen, Polypropylen und weichmacherfreies Polyvinylchlorid

Eigenschaften, die bei Rohren aus Kunststoffen wie PP, PE, PVC-U im Vordergrund stehen sind nach DIN EN 13476-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Leistungsmerkmale unter Werkstoffeigenschaften, Chemikalienbeständigkeit, Abriebfestigkeit und Wandrauheit definiert [25]. Diese Eigenschaften sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Dabei ist zu erkennen, dass die betrachteten Kunststoffe alle eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Hinzu kommt ihre ausgesprochen gute Resistenz in Bezug auf Chemikalien, biologische Stoffe und Abrieb.

Tabelle 12: Materialeigenschaften von PVC-U, PP und PE [25].

Eigenschaften Kunststoffe	PVC-U	PP	PE	Einheit
Elastizitätsmodul E	3.200	1.250	800	MPa
Mittlere Dichte	1.400	900	940	Kg/m ³
Mittlerer thermischer Längenausdehnungskoeffizient	6 x 10 ⁻⁵	14 x 10 ⁻⁵	17 x 10 ⁻⁵	1/K
Wärmeleitfähigkeit	0,16	0,2	0,36 bis 0,50	W/Km
Spezifische Wärme	850 bis 2.000	2.000	2.300 bis 2.900	J/kg/K
Oberflächenwiderstand	>10 ¹²	>10 ¹²	>10 ¹³	Ω
Poissonzahl	0,4	0,42	0,45	(/)
Chemikalienbeständigkeit	gegeben	gegeben	gegeben	
Abriebfestigkeit	gegeben	gegeben	gegeben	
Wandrauheit	glatte IF	glatte IF	glatte IF	

Medien, bei denen es wichtig ist, dass die enthaltene Energie aufrechterhalten wird und die mit Kunststoffrohren transportiert werden, sollen keine Einflüsse von außerhalb des Rohrsystems erfahren und ihre Temperatur möglichst konstant halten. Dabei unterscheiden sich Kunststoffe in gewissen Punkten und können je nach Anforderung gewählt werden. So werden PE-Rohre aufgrund ihrer außergewöhnlich guten Diffusionsbeständigkeit vorzugsweise für den sicheren Transport von Gasen verwendet [5]. Im Kapitel 5.1 dieser Arbeit wird genauer auf die verschiedenen Einsatzgebiete von Kunststoffen eingegangen. Grabenlose Verfahren die einen Einsatz mit PE, PP und PVC-U Rohren ermöglichen sind in Tabelle 13 aufgezählt.

Tabelle 13: Verfahren bei denen die Werkstoffe PE, PP und PVC-U Anwendung finden [63].

PE, PP, PVC-U	
Neubau	Sanierung
Teilschnittvortrieb (Mediumrohr)	Verformte Rohre
Pilotrohrbohrverfahren (Schutz- oder Mediumrohr)	Langrohrlining
Verdrängungsvortrieb	Kurzrohrlining
Spülbohrvortrieb (nicht für PVC)	Berstverfahren
	Aufweit-/Ziehverfahren
	Pipe-Eating (nur für PE-HD)
	Wickelrohrverfahren (nur für PE-HD/PVC-U)

4.5.2 Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK)

Rohre aus GFK bestehen standardmäßig aus Quarzsand, Glasfasern, Polyesterharz, Zuschlagstoff und Reaktionsmitteln. Sie werden im Schleuderverfahren hergestellt, bei dem die Komponenten in eine rotierende Form eingebracht werden und sich das Rohr somit bilden kann. Durch dieses Verfahren werden glatte Oberflächen der GFK-Rohre erreicht und zudem durch eine gleichmäßige Verteilung eine hohe Druckfestigkeit [84, S.336].

Weitere Vorteile, die dieser Werkstoff bietet liegen in:

- hoher Maßgenauigkeit und geringen Toleranzen,
- variablen Rohrlängen,
- relativ geringem Gewicht,
- sehr glatten Rohraußen- und Innenflächen,
- gutem Pressverhalten,
- hoher chemischer Beständigkeit,
- langer Lebensdauer und
- einfacher Reparaturfähigkeit [84, S.337].

Darüber hinaus können Rohre aus GFK als Druckleitungen verwendet werden. Dies ist in Fällen von Kabelkühlung oder Wärmerückgewinnung von großer Bedeutung [84, S.338]. Durch die erhöhte Festigkeit des Stoffes GFK können gegenüber PE, PP, und PVC-U dementsprechend andere grabenlose Verfahren angewendet werden, diese sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Verfahren bei denen der Werkstoffe GFK Anwendung findet [63].

Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)	
Neubau	Sanierung
Teilschnittvortrieb (Schutz- und Mediumrohr) Vollschnittvortrieb	Kurzrohrlining Berstverfahren Aufweit-/Ziehverfahren Pipe-Eating Partielle Auskleidung (als Trägermaterial)

4.5.3 Harze / Gele

Harze und Silikagele können bei einer Erneuerung eines kompletten Rohrleitungsstrangs oder auch nur zur Ausbesserung einzelner Leckagen verwendet werden. Übliche grabenlose Verfahren, bei denen Harze oder Gele eingesetzt werden sind in Tabelle 15 aufgezählt. Das Schlauchlining stellt hierbei die einzige Möglichkeit dar, einen Rohrleitungsabschnitt mit Hilfe eines in Epoxidharz getränkten Gewebeslauches, der als Trägermaterial dient zu sanieren [85, S.71]. Epoxidharze gelten als härtbare Harze, die über einen gewissen Zeitraum fest werden. Hierbei wird mit Hilfe eines Härters oder Zusatzstoffen ein duroplastischer Kunststoff gebildet [85, S.71]. Im Falle des Schlauchlinings ist es üblich, das Harz unter Verwendung von heißer Luft aushärten zu lassen [63]. Dabei wird das Trägermaterial in eine feste, an der Innenseite der Rohrwand anliegende Form gezwungen. Nach DIN EN ISO 11296-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklose Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining werden als Trägermaterial folgende Materialien vorgesehen [43]:

- Polymerfasern: PA, PAN, PEN, PET oder PP
- Glasfasern nach OENORM ISO 25780:2011⁶
- Kohlenstofffasern deklariertes Bezeichnung nach DIN EN ISO 13002:1998⁷
- Kombinationen aus aufgelisteten Fasern

⁶ OENORM ISO 25780:2011 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung, Bewässerung, Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck – Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) – Rohre und flexible Verbindungen zur Verwendung im Vortriebsverfahren.

⁷ DIN EN ISO 13002:1998 Kohlenstofffasern – Bezeichnungssystem für Filamentgarne.

Tabelle 15: Verfahren bei denen der Werkstoff Harz Anwendung findet [63].

Harze
Sanierung
Schlauchlining
Roboterverfahren (EP-Harz)
Packer-Verfahren (PUR, Silikat)
Flutungsverfahren (Acryl-/Silikatgel)

In Tabelle 16 sind wichtige Eigenschaften von betrachteten Kunststoffen aufgeführt. Die Dichtheit bzw. der zulässige Betriebsdruck von PE-HD 100 Rohren hängt dabei von der Temperatur, der Betriebsdauer und dem Durchmesser – Wanddickenverhältnis des Rohres ab. Eine niedrigere Temperatur und geringere Betriebsdauer bei einem geringeren Verhältnis vom Durchmesser zur Wanddicke, ergeben einen höheren zulässigen Betriebsdruck [5, S.13].

Tabelle 16: Materialeigenschaften von Kunststoffen [4; 86; 5; 58; 87; 70; 56; 50].

Eigenschaften Kunststoffe	PE-HD 100	GFK
Druckfestigkeit längs	/	90 bis 100 N/mm ²
Bruchdehnung	>600 %	1 bis 1,4 %
Zugfestigkeit längs	12 N/mm ²	15 bis 100 N/mm ²
Wichte	9,6 KN/m ³	20,0 KN/m ³
Elastizitätsmodul längs	1.100 N/mm ²	10.000 bis 12.000N/mm ²
Wärmeausdehnungskoeffizient	1,8 × 10 ⁻⁴ 1/K	26 bis 30 × 10 ⁻⁶ 1/K
Wärmeleitfähigkeit bei 20°C	0,4 W/m × K	0,5 bis 1,0 W/m × K
Dichtheit/max. Betriebsdruck	8 bis 25 bar	0,025 bis 5 bar
Korrosionsbeständigkeit	gegeben	gegeben
Chemische Beständigkeit	größtenteils gegeben	pH-Wert 1 bis 10
Frostbeständigkeit	gegeben	gegeben
Biologische Beständigkeit	gegeben	gegeben
Brandverhalten/Einsatztemp.	-40 bis +60°C	B2, UL94 V1, UL94 V0, DIN 5510 S4 SR2 ST2, ASTM E84 < 25, ASTM D635 / ≤40°C bis 90°C sonderharze
Nutzungsdauer/Lebensdauer	50 bis 90 Jahre	50+ Jahre
Durchmesser	DN 40 bis 2500	DN 150 bis 3600

Tabelle 17 stellt einige der in diesem Kapitel betrachteten Eigenschaften von häufig verwendeter Rohrmaterialien dar. Eine Zusammenführung der grabenlosen Verfahren und bei diesen anwendbaren Rohrmaterialien findet in Kapitel 5.2 statt. Zusatzmaßnahmen stellen sich unter anderem so dar, dass diese das Rohrmaterial unter gewissen Umständen, z.B. Einwirkung durch Witterung oder mechanische Eingriffe, schützen oder auch den Transport der Medien, z.B. Warmwasser, begünstigen können. Das folgende Unterkapitel soll Möglichkeiten an Maßnahmen aufzeigen, welche bei Rohren vorgesehen werden können.

Tabelle 17: Ausgewählte Eigenschaften von betrachteten Rohrmaterialien.

Eigenschaften	Einheit	Stahlbeton	Stahl	dukt. Guss	Steinzeug	PE-HD	GFK
Wichte	[KN/m ³]	25	77	72,5	22	9,6	20
E-Modul	[N/mm ²]	35.000	210.000	170.000	50.000	1.100	12.000
Wärmeausdehnungskoeffizient	[1/K]	4 bis 14x 10 ⁻⁶	11,7 x 10 ⁻⁶	10 x 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻⁶	1,8 x 10 ⁻⁶	28 x 10 ⁻⁶
Dichtheit	[bar]	1	16 bis 64	100+	2,4	8 bis 25	5
Korrosionsbeständigkeit	[/]	gegeben	Zusatzmaßnahmen erforderlich	Zusatzmaßnahmen erforderlich	gegeben	gegeben	gegeben
Brandbeständigkeit	[/]	gegeben	gegeben bis 400°C	gegeben	gegeben	nicht gegeben	gegeben
Nutzungsdauer	[Jahre]	100+	80 bis 120 Jahre	100+	100+	50 bis 90	50+
Durchmesser	[DN]	200 bis 4000	22 bis 1600	80 bis 1000	100 bis 1200	40 bis 2500	150 bis 3600

4.6 Zusätzliche Maßnahmen

Neben der Verwendung des Rohrmaterials selbst kann gegebenenfalls noch die Anwendung zusätzlicher Maßnahmen zur Aufwertung der Materialeigenschaften und zur Verbesserung der Beständigkeit der Rohre erforderlich werden. Das können spezielle Legierungen, Beschichtungen, Dämmungen und Schutzrohre sein. Legierungen und Beschichtungen sollen unter anderem dem Schutz des Materials vor äußeren, aber hauptsächlich nicht mechanischen Einwirkungen dienen. Zudem sollen sie Verwendung finden, um Materialeigenschaften verbessern bzw. Schwächen ausgleichen zu können. Eine Dämmung kann Verwendung finden, wenn es darum geht, Wärme oder Kälte der transportierten Medien aufrecht zu erhalten. Zudem kann die Gefahr bestehen, dass Rohrleitungen durch mechanische Einflüsse beschädigt werden können. In diesem Fall ist die Verwendung eines Schutzrohres sinnvoll, welches um das Mediumrohr angebracht wird. Diese aufgezählten Schutzmaßnahmen finden hauptsächlich bei Rohren aus Stahl oder duktilem Gusseisen Anwendung [17; 18].

4.6.1 Schutzrohre

Nach DIN EN 13480-6:2014-12: Metallische industrielle Rohrleitungen – Teil 6: Zusätzliche Anforderungen an erdgedeckte Rohrleitungen, gilt für metallische industrielle Rohrleitungen folgende Definition, wann Schutzrohre oder Mantelrohre verwendet werden sollen:

Wenn über erdgedeckten Rohrleitungen mit starkem Verkehr oder gelegentlichen starken Belastungen zu rechnen ist, müssen die Rohre mit Schutz- oder Mantelrohren versehen werden.

Materialien, die für Schutzrohre in Frage kommen sind Stahl, Beton oder eine Kunststoffmischung. Dabei muss der Durchmesser der Schutzrohre einen Mindestspielraum zum Trägerrohr von 100 mm aufweisen [28]. Belastungen, die auf beide Rohre wirken, müssen allein durch das Schutzrohr abgetragen werden können. Um dies in ausreichendem Maß gewährleisten zu können, ist eine Mindestdicke der Schutzrohre nach DIN EN 13480-3:2012: Metallisch industrielle Rohrleitungen – Teil 3: Konstruktion und Berechnung festgelegt. Die Dicke hängt dabei von der aufgetragenen Belastung ab. Falls keine Möglichkeit einer Bemessung der Mindestdicke besteht, werden 9,5 mm vorausgesetzt [28]. Zudem muss das Schutzrohr an beiden Enden abgedeckt sein, damit ausgeschlossen werden kann, dass Wasser oder sonstige Fremdstoffe eindringen.

4.6.2 Umhüllungen

Im Speziellen bei der Verwendung von duktilem Gusseisen und Stahl sind Korrosionsschutzmaßnahmen zu ergreifen. Diese sind sowohl innerhalb als auch außerhalb des Rohres vorzusehen. Dabei muss auf:

- Bodenart
- Umgebungsbedingungen
- Durchflussmedium

geachtet werden [60]. Eine Lieferung der duktilen Gussrohre, inklusive ausreichender Vorkehrungen bezüglich des Schutzes vor Korrosion findet bereits ab Werk statt. In speziellen Fällen kann eine Ergänzung der Schutzmaßnahmen direkt auf der Baustelle erfolgen. Je nach Anforderung kann das Rohr mit einem speziellen Schutz versehen werden. Die Wahl einer Umhüllung ist abhängig von:

- Spezifischem Bodenwiderstand
- PH-Wert
- Basenkapazität
- Lage zum Grundwasser
- Heterogenität (Mischböden)
- Vorhandensein von Abfällen, Aschen, Schlacken, Abwasser
- Torfböden
- Auftreten von Streuströmen

Umhüllungen, die in allen Bodenarten für duktilen Gusseisen verwendet werden können und dabei eine elektrisch hochomig⁸ isolierende Aufgabe erfüllen, sind

- Dickschicht-Umhüllungen aus Polyethylen,
- Polyurethan,
- Epoxidharz und
- Zementmörtel.

Hingegen sind bei Beschichtungen auf Zinkbasis, welche selbstheilend wirken, Gegebenheiten des jeweiligen Bodens zu berücksichtigen. Hierzu wird eine Bodenart in eine von drei Aggressivitätsklassen eingeteilt. Nach DIN 30675-2: Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 2: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus duktilem Gusseisen kann daraufhin eine Wahl einer passenden Umhüllung erfolgen. Mögliche Umhüllungen und ihre Einsatzbereiche sind in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Umhüllungen erdverlegter Rohrsysteme aus duktilem Gusseisen und mögliche Einsatzbereiche in Abhängigkeit von Bodenklassen nach DIN EN 14628, DIN EN 15189, DIN EN 15542, DIN 30674-3 und -5 in Anlehnung an DIN 30675-2 [18].

Umhüllung	Schichtdicke	Empfohlene Umhüllung der Rohrverbindung	Korrosionsschutz gerechte Bettung	Einsatzbereiche Bodenklassen
Überzug aus Zink- oder Zink-Aluminium-Legierung mit Deckbeschichtung nach Din EN 545 und DIN EN 598	Zink, 200 g/m ²	keine	ohne	I, II
	ZnAl, 400g/m ²		mit	I, II, III ²⁾
Zementmörtelumhüllung nach DIN EN 15542	5,0 mm	Wärmeschrumpfendes Material oder Umhüllung nach DIN 30671-1 – C-50 M ¹⁾ oder Gummimanschetten	ohne	I, II, III
Polyethylenumhüllung nach DIN EN 14628	1,8 bis 3,0 mm	Wärmeschrumpfendes Material oder Umhüllung nach DIN 30671-1 – C-50 M ¹⁾	ohne	I, II, III
Polyurethanumhüllung nach DIN EN 15189	700 µm	keine DIN 30672-1 – C-50 M ¹⁾³⁾	ohne	I, II, III
Polyethylenfolie nach DIN 30674-5 in Verbindung mit einer Umhüllung nach DIN 30674-3	0,2 mm	wie Rohr mit einer Überlappung von mindestens 200 mm	mit ⁴⁾	I, II, III

1) Eine dauernde Auswirkung einer Temperatur von ≤ 30°C erfordert eine Umhüllung der Rohrverbindung von DIN 30672-1-C-30M, niedrige mechanische Einwirkungen erfordern z.B. die Verwendung von DIN 30672-1-B-30M.
 2) Außer bei andauernder Einwirkung von Eluaten, die einen pH-Wert von < 6 aufweisen. Zudem Torf-, Moor-, Schlick- und Marschböden.
 3) Angaben zu Rohrenden nach DIN EN 15189 beachten.
 4) Angaben unter Abschnitt 4 b) nach DIN 30672-2 zu beachten.

Darüber hinaus muss der Schutz von Rohren gegenüber korrosiven Stoffen unbedingt sichergestellt sein. Dabei werden an jedes Material unterschiedliche Anforderungen gestellt. Es muss jeweils die Innen- und Außenfläche der Rohrwandung geschützt werden. Die hier betrachteten Arten von Kunststoffen bieten als Werkstoff allein einen ausreichenden Schutz vor korrosiven Medien. Diese finden zum Teil bei anderen

⁸ Ein Material, das einen hohen elektrischen Widerstand aufweist, wird als hochomig bezeichnet.

Rohrmaterialien Verwendung, um diese vor einer Korrosionseinwirkung zu schützen. Ein häufiger Angriff auf die Rohrwand wird durch die biogene Schwefelsäurekorrosion hervorgerufen. Durch biologische Umwandlungsprozesse, die in Abwasseranlagen geschehen, wird Schwefelsäure gebildet, die einen sehr niedrigen pH-Wert aufweist und dadurch die Rohrwand angreifen kann [56].

Die DIN EN 13480-6:2014-12: Metallische industrielle Rohrleitungen – Teil 6: Zusätzliche Anforderungen an erdgedeckte Rohrleitungen legt im Speziellen für erdgedeckte Stahlrohre Anforderungen fest, die einem Schutz für äußere Korrosion durch Wasser, Verunreinigungen des Bodens und Auswirkungen von elektrischen Streuströmen im Boden dienen. Maßnahmen sind anhand einer Umhüllung der Oberfläche des Stahlrohres und eines kathodischen Schutzes durchzuführen, die ebenfalls in dieser Norm geregelt sind. Um dabei auf Korrosionsgefahren reagieren zu können, müssen im Vorfeld entsprechende Daten des Ortes der Verlegung zur Verfügung stehen [28, S.10]. Maßnahmen, welche einer Umhüllung betreffend einzuhalten sind, sollen:

- Für den umgebenden Untergrund geeignet sein
- Festgelegte mechanische und elektrische Eigenschaften erfüllen
- Eine feste Verbindung mit der Rohroberfläche aufweisen
- Widerstandsfähig gegen Bindungsverlust sein
- Unter günstigen Bedingungen aufgebracht werden

Zudem legt die DIN EN 13480-6:2014-12: Metallische industrielle Rohrleitungen – Teil 6: Zusätzliche Anforderungen an erdgedeckte Rohrleitungen Anforderungen an den kathodischen Schutz von erdgedeckten Rohrleitungen fest. Dieser soll zur Minimierung von örtlicher Korrosion beitragen. Im Besonderen gilt das für Stellen der Rohrwand, die eine fehlerhafte oder beschädigte Schutzschicht aufweisen. Berücksichtigende Aspekte sind unter anderem:

- Eine möglichst schnelle Bereitstellung des Schutzes durch galvanische Anoden oder Fremdstromanoden nach dem Einbau
- Die Beachtung von Streuströmen im Boden
- Die Sicherstellung des elektrischen Durchgangs aller erdgedeckten Rohrleitungen
- Die Isolierung erdgedeckter Rohrleitungen gegen oberirdische Rohrabschnitte

Im Speziellen für den grabenlosen Leitungsbau werden in DIN 30675-1:2017-04: Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 1: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl verschiedene Werksumhüllungen aufgezeigt, die eine erhöhte Schichtdicke aufweisen oder als Mehrschichtsysteme ausgeführt werden. Mehrschichtsysteme sind aus einer Korrosionsschutzumhüllung und zusätzlichen

Schichten hergestellt. Diese können unter anderem aus Polypropylen, Polyamid, Glasfaserkunststoffmörtel oder Faserzementmörtel (FZM) bestehen. Dickschichtumhüllungssysteme kombinieren die Funktionen des Korrosionsschutzes und des mechanischen Schutzes in einem Material. Für diese können PE-, PP- oder PUR verwendet werden. In Tabelle 19 sind hierzu mögliche Werksumhüllungssysteme dargestellt, die im grabenlosen Leitungsbau Anwendung finden.

Tabelle 19: Werksumhüllungssysteme für den grabenlosen Leitungsbau nach DIN 30675 1:2017 04 Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 1: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl [17].

Umhüllungssystem		Standard	Aufgabe Umhüllung / Ummantelung	Designntemperatur ¹⁾
Mehrschichtsysteme	PE + FZM-S	DIN 30670 DIN EN ISO 21809-1	PE: Korrosionsschutz FZM-S: mechanischer Schutz	-40 bis 80°C
	PP + FZM-S	DIN 30678 DIN EN ISO 21809-1	PP: Korrosionsschutz FZM-S: mechanischer Schutz	-20 bis 110°C
	PE + GFK	DIN 30670 ²⁾	PE: Korrosionsschutz GFK: mechanischer Schutz	-40 bis 80°C
	PP + GFK	DIN 30678 ²⁾	PP: Korrosionsschutz GFK: mechanischer Schutz	-20 bis 110°C
	PE + PP	DIN 30670 ²⁾	PE: Korrosionsschutz PP: mechanischer Schutz	-40 bis 80°C
	PE + PA	DIN 30670 ²⁾	PE: Korrosionsschutz PA: mechanischer Schutz	-40 bis 80°C
	PP + PA	DIN 30678 ²⁾	PP: Korrosionsschutz PA: mechanischer Schutz	-20 bis 110°C
Einschichtsysteme	PE	DIN 30670 DIN EN ISO 21809-1	PE- Dickschicht, Korrosionsschutz und mechanischer Schutz	-40 bis 80°C
	PP	DIN 30678 DIN EN ISO 21809-1	PP- Dickschicht, Korrosionsschutz und mechanischer Schutz	-20 bis 110°C
	PUR	DIN EN 10290	PP- Dickschicht, Korrosionsschutz und mechanischer Schutz	-20 bis 80°C

1) Wärme wirkt sich bei thermoplastischen Materialien verstärkt auf mechanische Eigenschaften aus

2) Gilt nur für den Korrosionsschutz

Im Falle des grabenlosen Verfahrens des Rohreinzuges, muss bei Mehrschichtsystemen die Scherfestigkeit zwischen den beiden Systemschichten genügend hoch sein, um ein Lösen der Schichten voneinander zu verhindern. Dabei sind Schichtdicken von Dickschicht- und Mehrschichtsystemen, wovon ein Kombinationsbeispiel in Abbildung 26 dargestellt ist, im Wesentlichen von:

- Bodenbeschaffenheit,
- Rohrgewicht und
- gewählten Einbautechniken

abhängig.



Abbildung 26: Mehrschichtsystem aus FZM-Ummantelung und PUR-Gießharzsystem [71].

Falls eine Werksumhüllung nicht ausreichend beschichtete Bereiche oder Fehlstellen besitzt, kann auf der Baustelle eine zusätzliche Nachumhüllung der Rohre stattfinden [18]. Hierbei wird die Art des Nachumhüllungssystems zwischen dem Hersteller und dem Auftraggeber entschieden. Dies erfolgt mit Berücksichtigung des Werksumhüllungssystems und des gewählten Verlegeverfahrens. Bei der Baustellennachumhüllung gelten folgende Punkte:

- Einschichtige und mehrschichtige Systeme sind möglich
- Verträglichkeit von Werksumhüllung und Komponenten der Nachumhüllung
- Für hohe Zugscherbelastungen ist der Durchmesser der Nachumhüllung begrenzt
- Sicherstellung des Übertrags auftretender Scherbelastungen auf die angrenzende Werksumhüllung.

In Tabelle 20 sind mögliche Umhüllungssysteme dargestellt, die nachträglich auf der Baustelle aufgebracht werden können.

Tabelle 20: Baustellennachumhüllungen für den grabenlosen Leitungsbau nach DIN 30675-1:2017-04
 Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 1: Schutzmaßnahmen und
 Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl [17].

Umhüllungssystem	Standard	Dauerbetriebs- temperatur
Bänder oder Schrumpfschlauch (Korrosionsschutz) mit ZM-, PUR- oder GFK-Ummantelung (mechanischer Schutz)	DIN EN 12098 / DIN 30672-1 DVGW GW 340 (A) (für ZM) DIN EN ISO 21809-3 Typ 6E oder 6C und 6D ¹⁾	Vereinbarung zwischen Auftraggeber und Hersteller
PUR-Beschichtung oder GFK-Umhüllung	DIN EN 10290	
Bänder oder Schrumpfschlauch (Korrosionsschutz) mit PUR- oder GFK-Ummantelung (mechanischer Schutz)	DIN EN 12068 / DIN 30672-1 DIN EN ISO 21809-3 Typ 12 und 14A - 14D ¹⁾	
EP flüssig	DIN EN ISO 21809-3 Typ 18A / DIN EN 10289	
PUR flüssig	DIN EN ISO 21809-3 Typ 18B / DIN EN 10290	
PUR-Beschichtung GFK-Umhüllung	DIN EN ISO 21809-3 Typ 18E	
Heiß aufgebracht 2- oder 3-Lagen PE/PP	DIN EN ISO 21809-3 Typ 18C, 18D und 19A - E	
1) GFK ist als mechanischer Schutz nicht spezifiziert		

4.6.3 Dämmung/Dämm- bzw. Rohrverbundsystem

In der Regel findet die Dämmung einer Rohrleitung nur bei Fernwärmeleitungen Verwendung. Hierbei soll das transportierte Medium (Wasser) über eine möglichst lange Distanz seine Temperatur halten und beim Endverbraucher für Wärme sorgen. Als Dämmmaterial findet dabei zum größten Teil Polyurethan (PUR)-Schaumstoff Anwendung. Dieser kann bis zu einer Temperatur von knapp über 100°C auf längere Zeit beansprucht werden, ohne seine Dämm-Eigenschaften zu verlieren. In einzelnen Fällen können höhere Temperaturen bis zu 200°C auftreten, für diese müssen hitzebeständige Materialien, wie z.B. Kautschukarten oder Mineralwolle verwendet werden [61, S.2].

Lebensdauer bei Dauerbetrieb von Dämmverbundsystemen (PE-Rohr, PUR-Schaumstoff, Stahlrohr):

Um die Lebensdauer einer Fernwärmeleitung bestimmen zu können, müssen die verwendeten Materialien von Mediumrohr⁹, welches zum größten Teil aus Stahl gefertigt wird, von Schutzummantelung, die vorwiegend aus PE besteht und der Dämmung selbst, die als PUR-Schaumstoff ausgeführt wird, berücksichtigt werden. Zudem müssen mechanische Belastungen betrachtet werden, die sich je nach Lage des Rohres im Leitungsnetz ergeben und darüber hinaus thermische Belastungen, die von der Dauer der Temperatureinwirkung im Betrieb abhängen [37, S.37]. Die DIN EN 253: Fernwärmerohre – Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze – Verbund-Rohrsystem, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen gibt hierzu Formel 1 vor, die der Berechnung der erwarteten thermischen Mindestlebensdauer gilt:

$$L = \left(\frac{t_1}{L_1} + \frac{t_2}{L_2} + \dots + \frac{t_n}{L_n} \right)^{-1}$$

Formel 1: Berechnung der erwarteten thermischen Mindestlebensdauer bei verschiedenen Betriebstemperaturen unter Berücksichtigung der PUR-Schaumstoff-Haltbarkeit [81].

Diese Formel hat lediglich die Einschränkung, dass sie nur bei geraden Rohren gilt, die nur geringen und gelegentlichen Temperaturschwankungen ausgesetzt werden. Der Temperaturbereich richtet sich hierbei nach den für den Normalbetrieb angegebenen Temperaturen [37]. Zusätzlich dringen im Laufe der Zeit, durch Permeation¹⁰, Sauerstoff- und Stickstoffmoleküle aus der Luft in die Schaumstoffblasen ein. Dabei entweichen Kohlendioxid und organische Treibgase, die auf längere Sicht die positiven Eigenschaften der Wärmedämmung aufheben. Durch die Schutzummantelung wird diesem Prozess entgegengewirkt und führen somit zu einer Verzögerung des Anstiegs der Wärmeleitfähigkeit. In Abbildung 27 ist zu sehen, wie sich eine Wärmedämmung innerhalb einer Nutzungsdauer von 16 Jahren verfärben kann [61].

⁹ Rohr, welches ein Medium (z.B. Wasser) transportiert und mit einem zusätzlichen Schutzrohr versehen werden muss, um vor mechanischen und korrosiven Einflüssen geschützt zu sein.

¹⁰ Vorgang, welcher die Durchdringung eines Feststoffes durch einen anderen Stoff (z.B. eines Gases) beschreibt.



Abbildung 27: Fernwärmerohre aus PUR-Schaumstoff nach einer Nutzungsdauer von in etwa 16 Jahren. Das linke Rohrsystem wurde mit einer höheren Temperatur beansprucht und zeigt Verfärbungen auf [61, S.2].

Es soll die Betrachtung eines Rohres im Dauerbetrieb erfolgen, wobei zwei Verbundrohrsysteme unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt werden. Dabei liefert der Vergleich eines Verbundrohrsystems mit unterschiedlicher thermischer Belastung für ein Rohr, das einer Temperatur von 115°C ausgesetzt ist, eine mögliche Nutzungsdauer von 50 Jahren. Anstelle kann ein Verbundrohr, das einer Temperatur von 120°C ausgesetzt ist, nur mehr eine Nutzungsdauer von 30 Jahren erreichen [37]. Diese Temperaturspanne entspricht in etwa dem Bereich, der für Fernwärmeleitungen relevant ist. Eine geringere Temperatur führt zu einer enormen Steigerung der Nutzungsdauer. Im Gegenzug wird durch eine Erhöhung der Temperatur auf 160°C gerade mal eine maximale Nutzungsdauer von 150 Tagen erreicht [37].

Im Besonderen gelten für das Stahl-Mediumrohr Anforderungen an:

- die Stahlqualität,
- den Rohrdurchmesser,
- die Wanddicke und
- die Oberflächenbeschaffenheit.

Die Stahlqualität für Stahl-Mediumrohre wird nach DIN EN 253: Fernwärmerohre – Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze – Verbund-Rohrsystem, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen nach Tabelle 21 festgelegt. Hierbei sind für einzelne Rohrtypen der mögliche Durchmesser, die zuständige EN-Norm und der vorgeschriebene

Werkstoff aufgelistet. Bei der Verwendung höherwertiger Stahlsorten muss im Besonderen auf die Kompatibilität des Stahls mit dem restlichen System geachtet werden. Dieses muss eine höhere Streckgrenze des Stahlrohres aushalten können [37].

Tabelle 21: Spezifikation für Stahl-Mediumrohre [37].

Rohrtyp	Durchmesser	EN-Norm	Werkstoff ¹⁾
nahtlos	alle	EN 10216-2	P235GH
ERW	≤ 60,3 mm (DN50)	EN 10217-1	P235TR1 ²⁾ oder P235TR2
ERW	alle	EN 10217-2	P235GH
SAW	alle	EN 10217-5	P235GH
1) Nach Vereinbarung können gleichwertige oder höherwertige Stahlqualitäten, die anerkannten EN-Normen entsprechen, verwendet werden. 2) Wenn der Werkstoff P235TR1 verwendet wird, muss eine Prüfung der Stoßfestigkeit bei 0°C nach EN 10217-1 wie für P235TR2 durchgeführt werden.			

Anforderungen, die an den Durchmesser gestellt werden, sind Tabelle 22 zu entnehmen. Es wird unterschieden zwischen Nenndurchmesser, Außendurchmesser und Mindest-Nennwanddicke des Stahl-Mediumrohrs. In Tabelle 23 sind Toleranzen an den Außendurchmesser des Rohres dargestellt. Diese sind auf Grund von auftretenden Temperaturunterschieden und Versatz und daraus resultierenden Belastungen strenger zu wählen, als z.B. in der EN-10216-2: Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen [37]. Für die Wanddicke eines Stahl-Mediumrohrs sind in Tabelle 22 entsprechende Mindest-Nennwanddicken angegeben, die nicht unterschritten werden dürfen. Zudem gelten Toleranzen der tatsächlichen Wanddicke in Abhängigkeit dieser von ± 0,3 bis ± 0,5 mm bei geschweißten Rohren und von + 0,3 bis + 1,4 mm und - 0,2 bis - 1,1 mm bei nahtlosen Rohren [37].

Tabelle 22: Nenn-, Außendurchmesser und Mindest-Nennwanddicke von Stahl- Mediumrohren [37].

Nenndurchmesser DN	Außendurchmesser Ds [mm]	Mindest- Nennwanddicke T [mm]
15	21,3	2,0
20	26,9	2,0
25	33,7	2,3
32	42,4	2,6
40	48,3	2,6
50	60,3	2,9
65	76,1	2,9
80	88,9	3,2
100	114,3	3,6
125	139,7	3,6
150	168,3	4,0
200	219,1	4,5
250	273,0	5,0
300	323,9	5,6
350	355,6	5,6
400	406,4	6,3
450	457,0	6,3
500	508,0	6,3
600	610,0	7,1
700	711,0	8,0
800	813,0	8,8
900	914,0	10,0
1.000	1.016,0	11,0
1.200	1.219,0	12,5

Tabelle 23: Toleranzen des Außendurchmessers D_s an den Rohrenden [37].

Geschweißtes Rohr		Nahtloses Rohr	
D_s [mm]	Toleranz [mm]	D_s [mm]	Toleranz [mm]
$D_s \leq 48,3$	$\pm 0,3$	$D_s \leq 114,3$	$\pm 0,4$
$48,3 < D_s \leq 168,3$	$\pm 0,005 D_s$	$114,3 < D_s \leq 219,1$	$\pm 0,005 D_s$
$168,3 < D_s \leq 323,9$	$\pm 1,0$	$219,1 < D_s \leq 711,0$	$\pm 0,006 D_s$
$323,9 < D_s \leq 1.219,0$	$\pm 1,6$		

Die äußere Oberfläche des Stahl-Mediumrohrs darf keinen Lochfraß¹¹ aufweisen und muss vor der Reinigung vorgeschriebenen Rostgraden entsprechen. Bevor das Stahl-

¹¹ Kleinflächige, aber oft tiefe Korrosionen von Metall.

Mediumrohr verschäumt werden kann, muss eine Reinigung der Oberfläche des äußeren Rohres erfolgen, um Rost, Öle, Staub, Feuchtigkeit und andere Verunreinigungen ausschließen zu können [37].

An die Ummantelung werden Anforderungen an die Materialeigenschaften und an die Eigenschaften der Ummantelung gestellt. Dabei gliedert sich die Betrachtung der Materialeigenschaften in

- Materialzusammensetzung,
- Schmelzfließrate,
- Wärmebeständigkeit und
- Verwendung von aufgearbeitetem Material.

Die Ausführung der Ummantelung kann entweder als eigenes Rohr hergestellt oder direkt durch Extrudieren auf das vorhandene Dämmmaterial gebracht werden [37]. Deren Eigenschaften bzw. Anforderungen, die es zu betrachten gilt, gliedern sich in:

- Nenn-Außendurchmesser,
- Wanddicke,
- Erscheinungsbild, Oberflächenbeschaffenheit, Rohrenden,
- Bruchdehnung,
- Veränderung nach Wärmebehandlung und
- Spannungsrissbeständigkeit [37].

An einen regelkonformen Polyurethan-Hartschaumstoff werden Anforderungen bezüglich:

- Zusammensetzung
- Zellstruktur
- Druckfestigkeit
- Schaumstoffdichte und
- Wasseraufnahme bei erhöhter Temperatur

gestellt. Dabei muss die Zusammensetzung mindestens der Probe der Alterungsprüfung nach DIN EN 253: Fernwärmerohre – Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze – Verbund-Rohrsystem, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen, entsprechen. Zudem müssen die restlichen Anforderungen erfüllt sein. Im Speziellen entspricht dies einer gleichmäßigen und schlierenfreien Zellstruktur. Diese soll einen Mindestanteil an geschlossenen Zellen von 88% aufweisen [37, S.16].

Beim restlichen vorhandenen Hohlraum ist die Begrenzung durch ein Drittel der Nenndicke der Wärmedämmung gegeben, die zwischen Mediumrohr und Ummantelung bestehen muss. Bezüglich der Druckfestigkeit besteht die Anforderung, dass diese bei einer relativen Verformung von 10 % einen Mindestwert von 0,3 MPa aufzuweisen hat. Darüber hinaus darf die Schaumstoffdichte an beiden Rohrenden nicht weniger als 55 kg/m³ betragen. Um eine mögliche Wasseraufnahme des Dämmmaterials einzugrenzen wird zusätzlich bestimmt, dass dies maximal 10 % mehr an Volumen aufweisen darf, wenn es für einen längeren Zeitraum siedendem Wasser ausgesetzt ist [37, S.17]. Rohrleitungen, welche mit einem Dämmstoff versehen sind, sollten mit einer Antikorrosionsschicht, die sich zwischen Rohrleitung und Dämmstoff befindet, ausgestattet werden [29].

Alle aus diesem Kapitel essentiellen Informationen bezüglich Zusatzmaßnahmen, die an Rohrleitungen im grabenlosen Leitungsbau vorgesehen werden können, sind in Tabelle 24 aufgeführt. Hierbei sieht man unter anderem auch, dass diverse Vorkehrungen nur bei entsprechenden Nutzungen, z.B. Fernwärme, getroffen werden müssen. Zudem ist nicht jedes Rohrmaterial für dasselbe Einsatzgebiet gleich gut geeignet. Das heißt eine genauere Untersuchung der jeweiligen Einsatzgebiete der Rohrmaterialien im grabenlosen Leitungsbau ist im Falle einer kompletten Betrachtung unverzichtbar.

Tabelle 24: Zusatzmaßnahmen für Rohrleitungen im grabenlosen Leitungsbau.

Zusatzmaßnahmen	Aufgrund von	Schutz-Materialien	Schützende Materialien
Schutzrohre	starken mechanischen Belastungen	Stahl, Beton, Kunststoffmischung	alle mit entsprechend einwirkender Überbelastung
Umhüllungen	biologischen / chemischen Einwirkungen	PE, PP, PA, PUR, GFK, FZM-S	Stahlrohre, duktile Gussrohre
Dämmung (Fernwärme)	Energieerhaltung des transportierten Mediums	Dämmverbundsystem (PE-Rohr und PUR-Schaumstoff)	Stahlrohre

5. Wesentliche Kriterien bei der Wahl von Rohrmaterialien

Für die richtige Wahl eines Materials muss bekannt sein, in welchem Einsatzgebiet es verwendet werden kann, welche Einschränkungen in Bezug auf die Wahl von grabenlosen Verfahren, die Dauerhaftigkeit, das Brandverhalten und die Kosten zu beachten ist.

5.1 Einsatzgebiet der Rohrleitung

Rohrleitungen können nach einer grabenlosen Verlegung auf verschiedenste Art und Weise genutzt werden. Einsatzgebiete sind:

- Fernwärme
- Trinkwasser
- Entwässerungssysteme (Abwasser/Schmutzwasser)
- Erdgas, Erdöl
- Strom
- Telekommunikation
- Infrastrukturkanäle

5.1.1 Fernwärme

Bei Fernwärmeleitungen, welche grabenlos verlegt werden, liegt ein Hauptaugenmerk auf der Größe der Reibungskraft, die zwischen Boden und Rohr entsteht. Dies ist der Fall, da die Leitungen durch den Transport von Medien mit höheren Temperaturen axialer Belastung ausgesetzt sind [2]. Um diese Reibungskräfte berechnen zu können werden vier Parameter benötigt, zu diesen zählen:

- Rohrspezifische und geometrische Werte
- Die Wichte des umgebenden Bodens
- Der Erddruckbeiwert
- Der Reibungswert zwischen Boden und Fernwärmeleitung

Angenommen die Fernwärmeleitung wird mit Hilfe einer Pilotrohrbohrung hergestellt, bei der eine Bentonitsuspension als Stützmaßnahme verwendet wird. Dann kann nach einer Studie des Institutes für Geotechnik der Universität in Hannover davon ausgegangen werden, dass die Bentonitsuspension, die sich mit dem anstehenden Erdreich vermischt, zu einer bedeutenden Reduzierung des Reibungsbeiwertes zwischen Boden und Fernwärmeleitung beiträgt [2]. Als Abschätzung des Reibungswertes „ μ “ zwischen einer Fernwärmeleitung und dem umgebenden Boden kann bei einer herkömmlichen Herstellung mit Graben der innere Reibungswinkel des Bodens „ φ' “ herangezogen werden. Diese Abschätzung kann mithilfe Formel 2 vorgenommen werden.

$$\mu = \tan\left(\frac{2}{3} * \varphi'\right)$$

Formel 2: Näherung zur Bestimmung des Reibungswertes zwischen Fernwärmeleitung und umgebenden Boden [2].

Um diese bei einer grabenlosen Bauweise anwenden zu können, wurden bisher noch nicht genügend Untersuchungen durchgeführt [2].

Durch Referenzprojekte¹² wurde bereits bewiesen, dass grabenlose Verfahren erfolgreich für Fernwärmeleitungen angewendet werden können. Im Speziellen gilt dies für flexible Fernwärmerohre und Stahlmantelrohre. Generell sieht der Aufbau einer Fernwärmeleitung ein Stahlrohr als Mediumrohr vor, welches mit einem Dämmverbundsystem aus PUR-Schaum und einem umhüllenden PE-Schutzrohr versehen ist. Die Verwendung von Kunststoffmantelrohren (KMR) ist allerdings noch weitestgehend unerforscht. Dementsprechend sind andere Kombinationen von Materialien für dieses Einsatzgebiet bisher undenkbar. Dennoch stellt Kunststoff ein Material dar, aus dem zum größten Teil die bisherigen Fernwärmeleitungsnetze bestehen. Mit diesem kann somit, im Bereich der Fernwärme, eine breite Anwendung im grabenlosen Leitungsbau erreicht werden [3].

Hierfür hat der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK¹³ e. V. (AGFW) ein Forschungsprojekt gestartet, das der „Identifikation von Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes grabenloser Verlegetechniken im Fernwärmeleitungsbau“ dient. Dabei wird der Einsatz von Kunststoffmantelrohrsystemen untersucht, bei denen auf sämtliche zusätzliche Schutzmaßnahmen verzichtet wurde. Es sollen Grenzen und Möglichkeiten der Verwendung einer grabenlosen Verlegung von Fernwärmeleitungen aufgezeigt und vorherige Annahmen bezüglich der Kontaktzonen von Außenrohr und anstehendem Erdreich, das teilweise mit Bentonit versetzt wurde, Bestätigung finden [3].

Getestet wurde das grabenlose Einziehen von zehn aus Kunststoff bestehenden Rohren, die nachfolgend in Zyklen thermisch belastet wurden. Abschließend wurden die Rohre wieder ausgezogen. Durch Anbringung von Videokameras am Leitungsende einiger Kunststoffmantelrohre konnte eine optische Bewertung der hergestellten Bohrung durchgeführt werden. Zudem erfolgte durch Auswertung der Aufzeichnungen, von denen zwei Bilder in Abbildung 28 dargestellt sind, dass die Kontaktzone von Kunststoffmantelrohr und Erdreich sehr unterschiedlich aussieht [3]. Dies schlägt sich nieder auf den spezifischen Reibungskoeffizienten, der wegen der dauernden Beanspruchung mit einer höheren Temperatur für eine Bemessung der Fernwärmeleitung im Vordergrund steht. Um eine

¹² Beispielprojekte können unter <http://www.bohsung.de/projekte/referenzprojekte/page/2.html> eingesehen werden.

¹³ Kraft-Wärme-Kopplung.

annähernde Berechnung der Verschiebewege von Fernwärmeleitungen durchführen zu können, wird ausschließlich das Eigengewicht der Rohrleitung plus dem Gewicht des transportierten Mediums berücksichtigt [3].

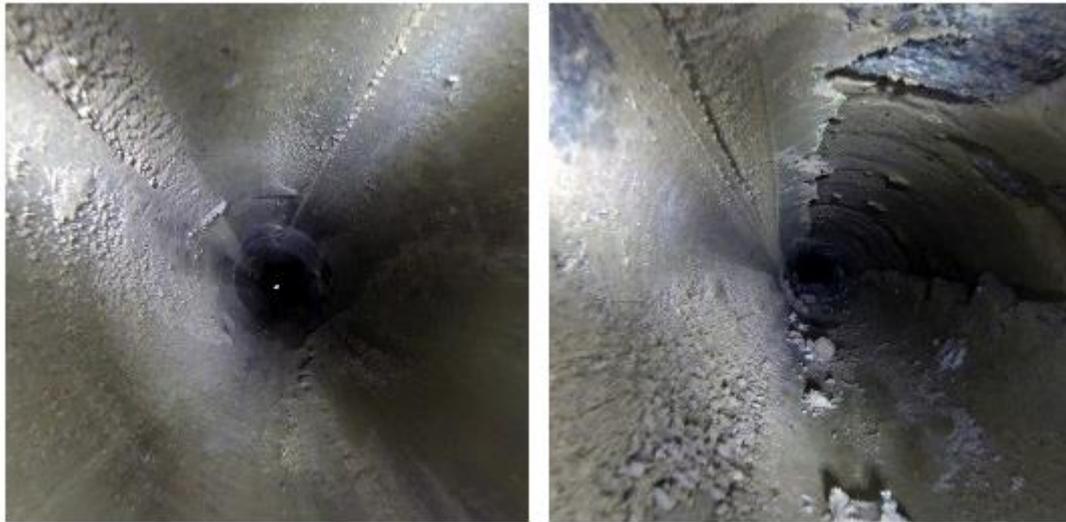


Abbildung 28: Links: Vollständig gefüllte Kontaktzone zwischen Kunststoffmantelrohr (KMR) und Erdreich/Bentonitsuspension. Rechts: Unstetig gefüllte Kontaktzone zwischen KMR und Erdreich/ Bentonitsuspension [3].

Die Wärmedämmung von Fernwärmeleitungen und kompletten Fernwärmenetzen unterliegt im Gegensatz zu Gebäuden, die durch Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt sind, keinen gesetzlichen Vorgaben. Der Eigentümer des jeweiligen Fernwärmenetzes kann die Stärke der Dämmung und den daraus resultierenden Verlust an Wärme bestimmen. Allerdings gilt es bei der Beurteilung der Verteilverluste einige Punkte zu beachten:

- Die Verlustleistung ist vorwiegend relevant und nicht der U-Wert
- Der Wärmeverlust hängt von der Dauer des Betriebes, des Rohrnetzes ab
- Der Großteil der Fernwärmekosten entsteht durch die Verteilung, was dem Gedanken einer Energieeinsparung entgegenwirkt
- Energieverluste von Fernwärmeleitungen kommen nicht dem Endnutzer zugute, sondern entweichen ungenutzt in die Umwelt (Boden, Luft) [76, S.1 f.].

Durch die EnEV 2009/2014 werden für Fernwärmeleitungen üblich verwendete Dämmstärken vorgegeben, diese sind in Tabelle 25 aufgeführt. Die EnEV schreibt zudem vor, dass bei Rohrinneindurchmessern, welche kleiner oder gleich 100 mm sind, das Verhältnis von Dämmdicke und dem Durchmesser des Innenrohrs bei mindestens 100 % liegen soll. Diese Werte werden nur bei kleineren Rohrinneindurchmessern und bei den Stufen 2 und 3 erreicht. Aufgrund ihrer geringen Kapazität werden diese selten für Fernwärmeleitungen, sondern hauptsächlich für Hausanschlüsse verwendet [76, S.2 f.].

Um dennoch Wärmeverluste einschränken zu können, benutzen Fernwärmehersteller im Gegenzug Dämmmaterialien, die über den in der EnEV gestellten Anforderungen stehen und durch geringere Lambda-Werte ähnliche Wärmeverluste erreichen [76, S.2 f.].

Tabelle 25: Gängige Rohrleitungsdämmungen von Fernwärmeleitungen im Vergleich zu den Anforderungen der EnEV2009 [61].

Dämmung von Fernwärmeleitungen						
Innendurchmesser d_i in mm	Dämmdicke d_{Da} in mm			Verhältnis d_{Da}/d_i in %		
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
28,5	26	36	43	91	126	151
54,5	30	37	47	55	68	86
82,5	33	43	52	40	52	63
107,1	40	52	64	37	49	60
210,1	43	62	68	20	30	32
393,7	68	102	146	17	26	37
595,8	83	132	182	14	22	31

5.1.2 Trinkwasser

Trinkwasser ist lebensnotwendig und seine zentrale Versorgung ist unverzichtbar. Somit sind an die Trinkwasserversorgung sehr hohe Ansprüche gestellt. Um diese gewährleisten zu können, muss ein mögliches Eingreifen durch unbefugte Personen oder die Umwelt bestmöglich verhindert werden [16, S.5]. Hierzu gilt laut DIN 2000: Zentrale Trinkwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen folgende zentrale Vorgabe:

Aufgabe des Wasserversorgers ist die jederzeit und im gesamten Verteilungsgebiet gesicherte Versorgung der Bevölkerung und anderer Nutzer mit Trinkwasser von einwandfreier Beschaffenheit, in ausreichender Menge und unter ausreichendem Druck. Dazu sind sichere Versorgungssysteme und -strukturen, funktionsfähige Anlagen sowie zuverlässige Betriebsorganisationen auf Dauer vorzuhalten.

Diese Vorgaben können nur erreicht werden, indem geeignete Materialien, Werkstoffe und Produkte für die Installation des Trinkwassers verwendet werden [16, S.6]. Zudem muss auf folgende Aspekte geachtet werden:

- Geeignete Dimensionierung in Bezug auf Druck, Menge und Durchfluss
- Ununterbrochene Verfügbarkeit der Anlagen
- Störungsfreie, sichere und möglichst wartungsfreie Anlagen
- Regelmäßige Überwachung und Dokumentation der Anlagen

- Ökologisch akzeptable Herstellung und Betrieb der Anlagen
- Zuverlässigkeit der Anlagen
- Nachhaltiger Erhalt der Infrastruktur [16, S.7]

Hierzu ist in Abbildung 29 ein altes Wasserrohr zu sehen, das sichtbare Ablagerungen zeigt. Diese können bei einer Vernachlässigung der Überwachung nach Jahren der Nutzung auftreten [89].



Abbildung 29: Altes Wasserrohr mit sichtbaren Ablagerungen [89].

Wenn PE-Rohre in der Wasserversorgung eingesetzt werden, sollen flexible und längskraftschlüssige Werkstoffübergangsverbinder, wie in Abbildung 30 dargestellt, Verwendung finden [80, S.66].



Abbildung 30: Werkstoffübergangsverbinder für Stahl- und Kunststoffleitungen [97].

5.1.3 Entwässerungssysteme (Abwasser/Schmutzwasser)

Entwässerungssysteme können in drei Betriebsarten unterschieden werden. Zu diesen zählen das Schwerkraftentwässerungssystem (Freispiegelsystem), das Druckentwässerungssystem und das Unterdruckentwässerungssystem. Am häufigsten wird das System als Freispiegelleitung ausgeführt. Dabei dienen Systeme der Entwässerung, dem Sammeln und Ableiten der angefallenen Abwässer. Zu diesen zählen Schmutz- und/oder Regenwasser [99, S.24].

Im Regelfall werden diese Abwässer am Ort der Entstehung auf möglichst kurzen Weg in die Kanalisation geleitet. Die DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement definiert hierbei den Begriff Kanalisation folgendermaßen als

Netz von Rohrleitungen (Anmerkung: Abwasserkanäle) und Zusatzbauten (Anmerkung: Bauwerke der Ortsentwässerung), das Schmutzwasser und oder Regenwasser von Abwasserleitungen zu Kläranlagen oder an anderen Entstehungsstellen ableitet.

Für im grabenlosen Leitungsbau hergestellte Abwasserkanäle werden Anforderungen an:

- Maße (Nennweiten, Durchmesser, Grenzabmaße, Geradheit, Baulänge etc.)
- Wandrauheit
- Beschaffenheit
- Verbindungen
- Korrosionsbeständigkeit
- Abriebfestigkeit
- Hochdruckspülfestigkeit
- Bearbeitbarkeit
- Beschichtungen und Auskleidungen
- Langzeitverhalten
- Dauerhaftigkeit
- Belastbarkeit
- Dichtheit
- Temperaturverhalten

gestellt [30]. Um diese auch über die Lebensdauer des Bauwerks aufrecht zu erhalten, können im Laufe der Zeit Sanierungsarbeiten notwendig werden. Nach der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) liegen Ergebnisse einer Umfrage aus dem Jahr 2015 vor, welche unter anderem Aussagen über Altersverteilung, Zustandsklassen, Schadensverteilung, Verteilung verwendeter Materialien und von Sanierungsverfahren bei Abwasserkanälen in Deutschland liefert [10].

Das Alter des Kanalnetzes stellt einen Aspekt dar, um abschätzen zu können, wann eine Sanierung notwendig wird. Im Gesamten wurde in Deutschland durch die DWA ein Netzalter von 39,8 Jahren bestimmt. Die Altersverteilung, welche anhand der Ergebnisse der Umfrage festgestellt werden konnte, ist Abbildung 31 zu entnehmen. Dabei muss zwischen den Werten von kleineren und der größeren Siedlungen differenziert werden [10].

Bei Siedlungen unter 10.000 Einwohnern beläuft sich das Durchschnittsalter des Kanalnetzes auf 25,5 Jahre. In größeren Städten und Gemeinden nimmt dieser Wert stark zu. Großstädte mit einer Einwohnerzahl von mehr als 250.000 weisen ein Durchschnittsalter von 50 Jahren auf. Dies entspricht somit fast dem doppelten Wert einer kleineren Siedlung. Das Alter allein sagt nicht genügend über die Notwendigkeit einer Sanierung aus [10].

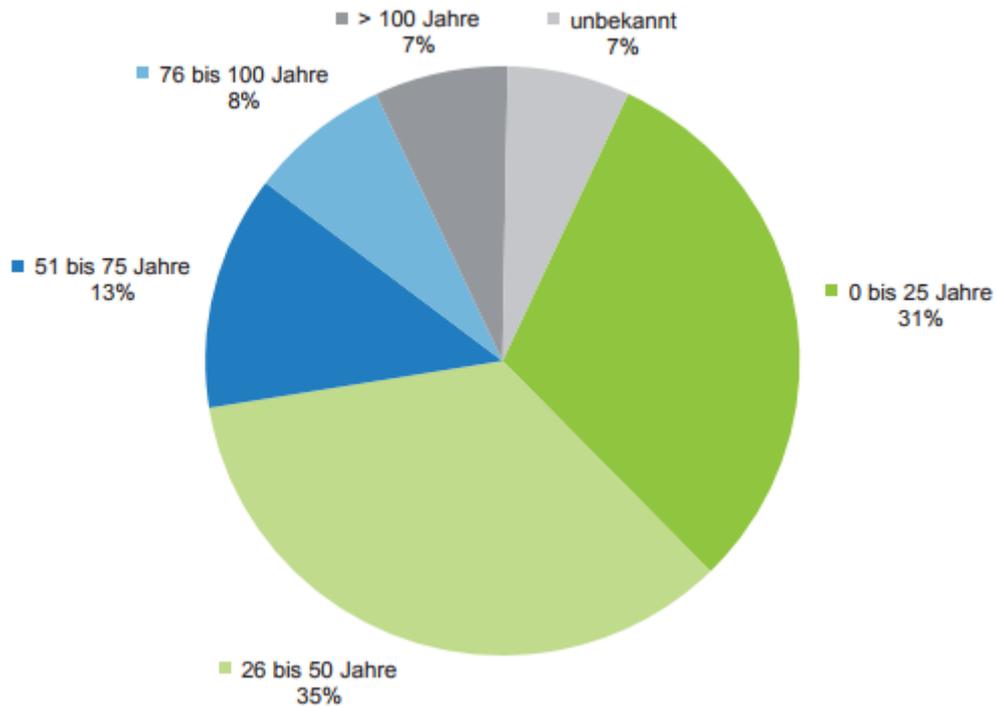


Abbildung 31: Altersverteilung des durch die Umfrage erfassten Kanalnetzes (insgesamt 224 Kanalnetze und eine Gesamtlänge von 8861 km) [10].

Im Speziellen muss zudem auf das verwendete Material geachtet werden. Bei Mauerwerkskanälen kann der Zustand nach einer Zeitspanne von über 100 Jahren noch einwandfrei sein. Für eine bessere Anschauung der Materialverteilung dient Abbildung 32. Verbaute Materialien sind hier nach Gemeindegrößenklasse und gesamten Ergebnissen aus Umfrage und Hochrechnung für Deutschland aufgeschlüsselt [10].

Daraus geht hervor, dass in kleineren Städten mehr Kunststoffrohre, in etwa 18,4 % verbaut sind wie in Großstädten, die 5,5 % erreichen. Auf das gesamte Kanalnetz in Deutschland bezogen, erreicht Kunststoff einen Wert von 16,3 %. Kleinere Städte verfügen in der Regel über ein nicht so altes Kanalnetz wie Großstädte, folglich wird Kunststoff des Öfteren für Kanalneubauten verwendet.

Am häufigsten sind Materialien wie Beton und Stahlbeton verbaut, welche einen Anteil am Gesamtnetz von 38,4 % innehaben und nachfolgend Steinzeug, das einen Anteil von 31,0 % erreicht [10].

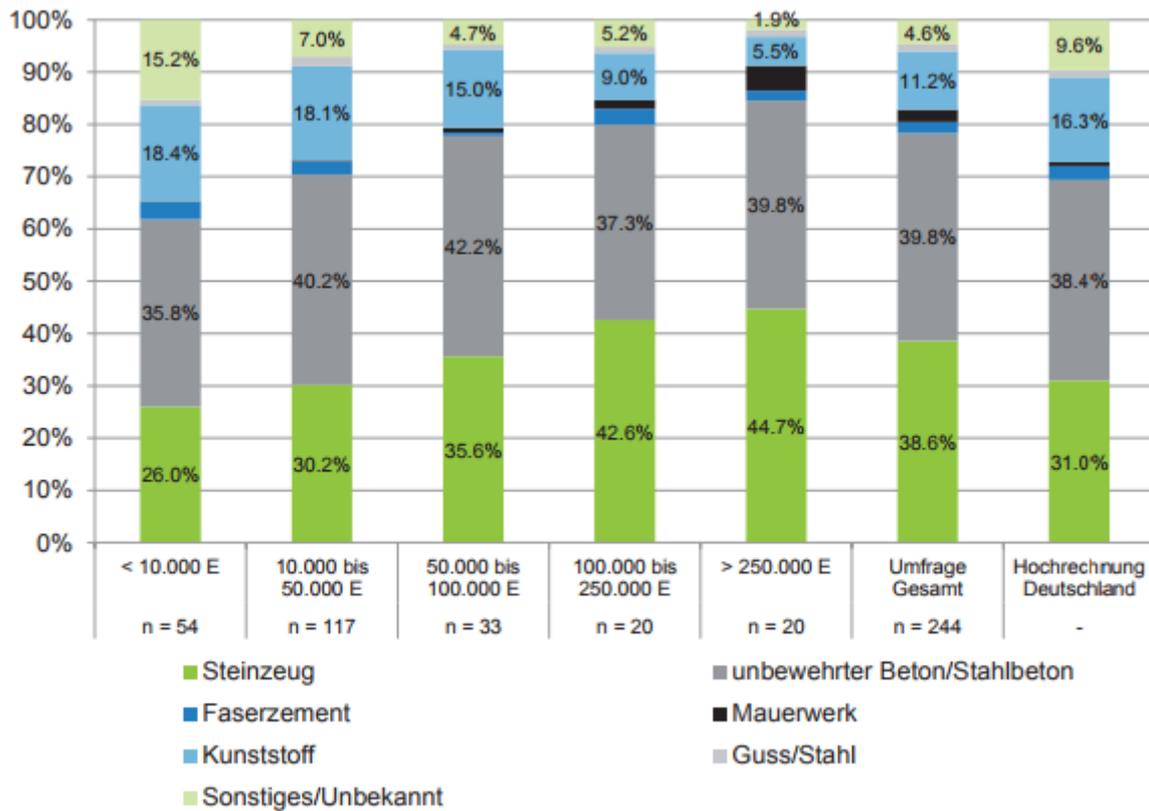


Abbildung 32: Materialverteilung nach Gemeindegrößenklassen, sowie der gesamten Umfrage und der Hochrechnung für Deutschland [10].

Um den Grad der Sanierungsarbeiten für zukünftige Sanierungen besser abschätzen und darauf reagieren zu können, wurden in der Umfrage ebenfalls die Schadensverteilungen der einzelnen Kanalnetze untersucht. Abbildung 33 zeigt dazu die Schadensverteilung der Kanäle in Deutschland auf. Die meisten Schadstellen entstehen demnach mit 21 % bei hineinragenden oder schadhafte Anschlüssen und mit 19 % aufgrund von Rissbildung [10]. Im Durchschnitt wird dabei pro betrachteter Siedlung eine Länge von 5,42 m erreicht, die der Sanierung bedarf.

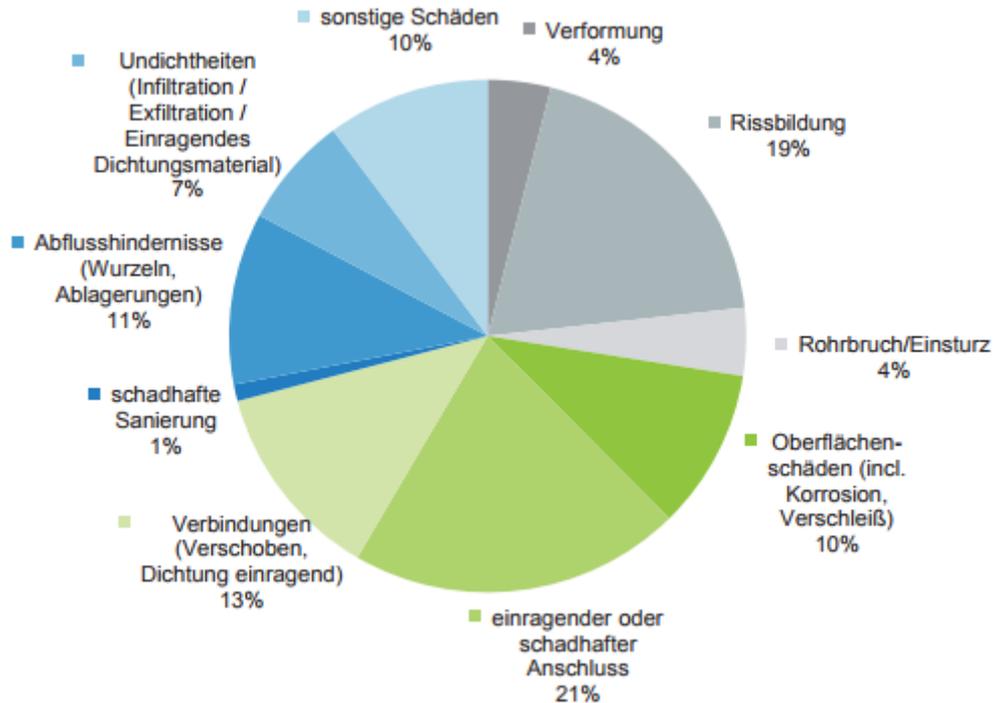


Abbildung 33: Schadensverteilung an Kanälen (insgesamt 218) [10].

Zusätzlich liegen Werte vor, die einen Eindruck vermitteln, wie stark die Schäden an den Kanalleitungen ausfallen. Dabei wird in Abbildung 34 zwischen verschiedenen Zustandsklassen, ZK 0 (sehr starker Mangel) bis ZK 4 (geringfügiger Mangel) und zusätzlich ZK unbewertet unterschieden. Es geht hervor, dass den schwerwiegenden Mängeln der ZK 0 bis 2 ein Anteil von 23,8 % zugeordnet werden kann. Bezogen auf Deutschland kann ein Anteil dieser Zustandsklassen von 19,4 % auf das gesamte Kanalnetz abgeleitet werden. Bei den unbewerteten Kanälen wird angenommen, dass diese zum einen in den letzten Jahren entstanden sind und zum anderen, falls diese bereits saniert wurden, bisher noch nicht inspiziert oder gesammelte Daten noch nicht evaluiert wurden [10].

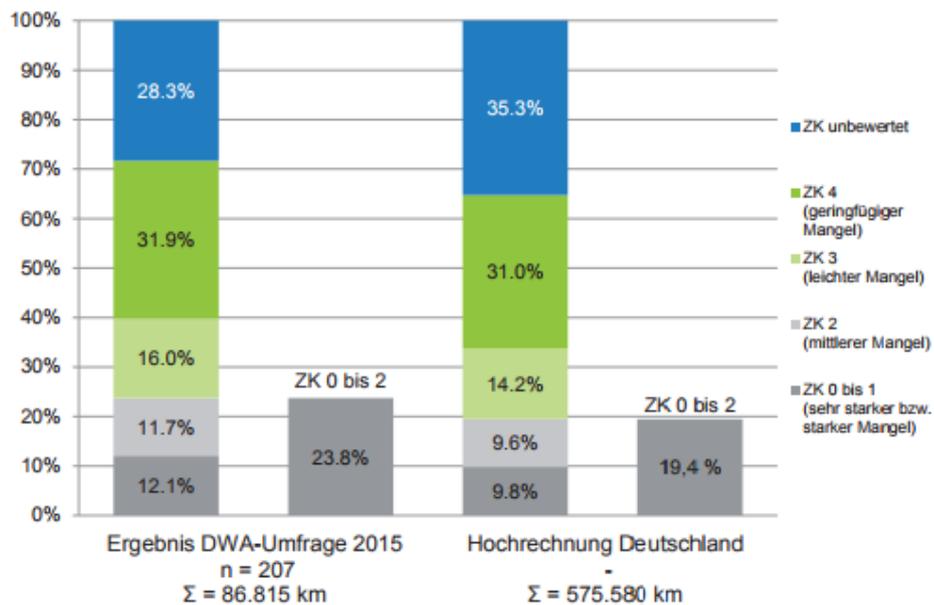


Abbildung 34: Zustandsklassen, bezogen auf Kanalnetzlänge [10].

Wie diese Mängel letztendlich saniert werden, kann Abbildung 35 entnommen werden. Aus dieser geht unter anderem hervor, dass rund 93,5 % aller Renovierungsarbeiten mit Hilfe des Reliningverfahrens durchgeführt werden. Der größte Teil der Sanierungsarbeiten (55,3 %) wird mithilfe von Reparaturarbeiten erreicht. Bei nur 26,3 % wird eine Erneuerung des Kanals notwendig. Auf die letzten 15 Jahre bezogen hat der Anteil der Erneuerungsarbeiten stark abgenommen, wobei der Anteil an Reparaturarbeiten ein großes Plus verbucht. Der Anteil an Renovierungsarbeiten bewegt sich seither um etwa 20 % [10].

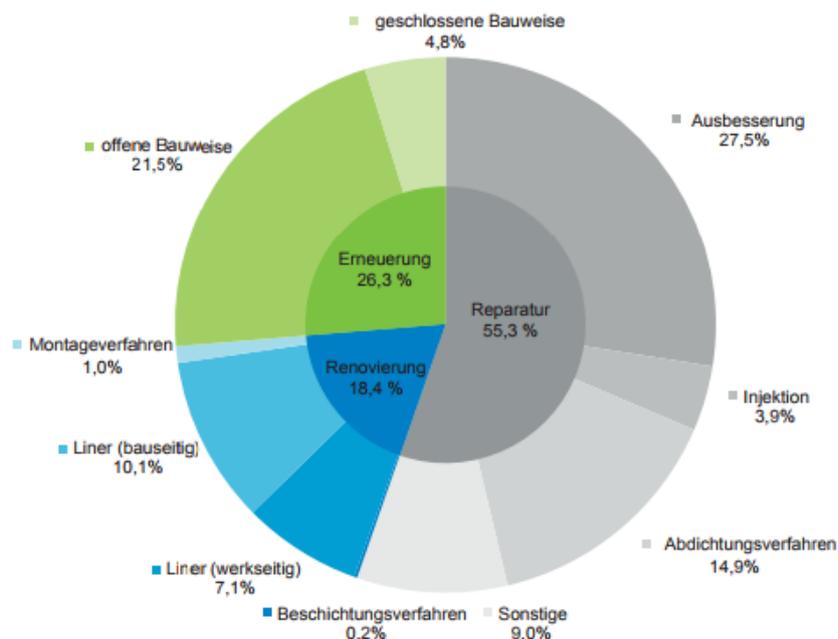


Abbildung 35: Verteilung von Sanierungsverfahren (insgesamt 194 mit einer Gesamtlänge von 85289 km) [10].

5.1.4 Erdgas / Erdöl

Das Transportnetz für Erdgas ist in Europa inzwischen eng vernetzt. Allein in Deutschland hat es eine Gesamtlänge von 505.000 km [23]. In Österreich erreicht das Fernleitungsnetz eine Länge von etwa 2.000 km und das Verteilernetz circa 44.000 km. Das österreichische Gasnetz stellt wegen seiner Lage in Europa einen wichtigen Schnittpunkt zur Weiterverteilung in andere Länder dar. Der Erdgastransport erfolgt generell durch Fernleitungen. Diese sind als Hochleitungen¹⁴ oder Hochdrucknetz ausgeführt, falls sie für den Transport über die Grenze, anderen Fernleitungen oder Verteilungsleitungen vorgesehen sind [48].

Nach DIN EN 15001-1: Gasinfrastruktur – Gas-Leitungsanlagen mit einem Betriebsdruck größer 0,5 bar für industrielle Installationen und größer 5 bar für industrielle und nicht-industrielle Installationen werden Anforderungen an Erdgasrohrleitungen wie folgt definiert:

Die ausgewählten Werkstoffe müssen für die vorgesehene Herstellung und die sie durchströmenden Medien sowie die äußeren Umgebungsbedingungen geeignet sein. Bei der Auswahl der Werkstoffe müssen sowohl normale Betriebsbedingungen als auch vorübergehende Bedingungen berücksichtigt werden, wie sie bei der Herstellung, dem Transport, der Prüfung, der Inbetriebnahme und der Außerbetriebnahme auftreten.

Da Erdgas ein hochentzündlicher Stoff ist [49], liegt sehr große Bedeutung in der Sicherheit des Leitungssystems und im Schutz vor Gefahren [31]. Zu diesen zählen:

- Brandschutz
- Schutz gegen korrosive Substanzen und korrosive Atmosphäre
- Schutz vor Betriebsdruckschwankungen
- Schutz vor Gefahren von Gas
- Elektroinstallationen

Um diese erfüllen zu können werden Rohre, unter Beachtung weiterer, an das Material angepasster Anforderungen, üblicherweise aus den Materialien Kunststoff (PE), Gusseisen mit Kugelgraphit und Kohlenstoffstahl verwendet [31]. Dabei hat die Bedeutung an PE-Rohren über die letzten Jahre im Vergleich zu den beiden anderen Materialien stark zugenommen. Vorteile liegen in den geringeren Investitionskosten für Material und Verlegung. Zudem weisen PE-Rohre ausgezeichnete Werkstoff- und Rohreigenschaften auf, die immer weiter verbessert und auf individuelle Anforderungen angepasst werden können [67, S.77].

¹⁴ Leitungen, welche über dem Erdboden verlegt werden.

Kunststoffrohre dürfen, für den Transport des Mediums Gas, nur bis zu einem maximalen Betriebsdruck MOP (Means of Protection) von 10 bar verwendet werden. Die zugehörige Betriebstemperatur soll 20°C betragen. Falls diese nicht eingehalten wird, muss dies mit gewissen Minderungsfaktoren nach DIN EN 1555-5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 5: Gebrauchstauglichkeit des Systems berücksichtigt werden [32, S.5].

An den Werkstoff selbst werden Anforderungen an seine Formmasse gestellt, die sich untergliedern in Zusatzstoffe, Farbe und Eigenschaften in Abhängigkeit zu ihrer Form. Dabei darf der PE-Grundwerkstoff, der die spätere Formmasse ergibt nur Zusatzstoffe, Pigmente oder Ruß enthalten, welche letztendlich für Herstellung, Schweißbarkeit, Lagerung und Einsatz notwendig sind, um den nach DIN EN 1555: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung festgelegten Anforderungen zu entsprechen [32, S.12]. Die Farbe der Formmasse muss gelb (PE 80), orange (PE 100) oder schwarz (PE 80 und PE 100) sein und ihre Eigenschaften sind abhängig von der Form. Diese kann zum einen als Granulat oder zum anderen als fertiges Rohr vorliegen. Genauere Informationen können in der DIN EN 1555-1: Kunststoffrohrleitungssysteme für die Gasversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeines eingesehen werden [32, S.12].

Zusätzlich muss beachtet werden, dass bei PE-Rohren ab einem Durchmesser von 63 mm Werkstoffübergangsverbinder eingesetzt werden, da ab dieser Rohrdimension die Längskraftschlüssigkeit nicht mehr ausreicht. Diese sind industriell hergestellt und weisen an beiden Seiten Rohrstützen (Stahl – PE) auf, um eine Ausreißsicherheit gewährleisten zu können [67, S.66].

Rohre aus duktilem Gusseisen hingegen, die im Bereich des Erdgastransportes verwendet werden, sind nach der Norm DIN EN 969: Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Gasleitungen geregelt. Dabei darf der verwendete Maximaldruck 16 bar nicht übersteigen [41].

Bei der Verwendung von Rohren aus Kohlenstoffstahl muss dieser unter anderem anhand des vorherrschenden Betriebsdrucks der Gasleitung gewählt werden. Tabelle 26 stellt hierzu einen Druck von ≤ 5 bar, ≤ 16 bar und > 16 bar, zugehörige Normen und die verwendbare Stahlsorte dar.

Tabelle 26: Normen für Kohlenstoffstahlrohre und ihr höchstzulässiger Druck (DP) [31].

DP	Norm	Stahlsorte	Betriebstemperatur -20°C bis +40°C
≤ 5 bar	EN 10255	L195	X
≤ 16 bar	EN 10208-1	L210GA	X
		L235GA	X
	EN 10217-1	P 235 T1	X
	EN 10216-1	P 235 T1	X
> 16 bar	ISO 9329-2	PH 26	X

Generell muss bei allen Materialien im Besonderen auf die Druckabsicherung geachtet werden. Hierzu gibt die DIN EN 1594:2013-12: Gasinfrastruktur – Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar – Funktionale Anforderungen vor. Zu denen gehören:

- Vorsehen eines Drucküberwachungssystems
- Auslegung der Druckregelgeräte auf den jeweiligen Druck und weitere Betriebsbedingungen
- Maximale Überschreitung des Drucks darf bei 2,5 % liegen [33, S.19]

Rohre, die dem Transport von Erdöl dienen, weisen ähnliche Anforderungen an die Materialien auf wie Erdgas. Laut DIN EN 14161: Erdöl- und Erdgasindustrie-Rohrleitungstransportsysteme werden zu den transportierten Stoffen spezielle Angaben gemacht. Diese sind in Tabelle 27 dargestellt und in Kategorien A bis E unterteilt. Aus dieser geht hervor, dass Erdöl der Kategorie B und somit einem brennbaren und/oder giftigen Fluid entspricht. Wobei Erdgas der weniger gefährlichen Kategorie D zugeordnet werden kann [29, S.15].

Tabelle 27: Klassifizierung von Fluiden und ihr Gefahrenpotenzial für die öffentliche Sicherheit [29, S.15].

Kategorie A	Nicht brennbare Fluide auf Wasserbasis
Kategorie B	Brennbare und/oder giftige Fluide, die bei Umgebungstemperatur und Atmosphärendruck flüssig sind. Typische Beispiele sind Öl- und Erdölerzeugnisse. Methanol ist ein Beispiel für ein brennbares und giftige Fluid.
Kategorie C	Nicht brennbare Fluide, die bei Umgebungstemperatur und Atmosphärendruck ungiftige Gase sind. Typische Beispiele sind Stickstoff, Kohlenstoffdioxid, Argon und Luft.
Kategorie D	Ungiftiges, einphasiges Erdgas.
Kategorie E	Brennbare und/oder giftige Fluide, die bei Umgebungstemperatur und Atmosphärendruck gasförmig sind und als Gase und/oder Flüssigkeiten transportiert werden. Typische Beispiele sind Wasserstoff, Erdgas (so weit nicht in Kategorie D enthalten), Ethan, Ethylen, Flüssiggas (z.B. Propan und Butan), Erdgaskondensate, Ammoniak- und Chlorgas.

5.1.5 Strom

Der Einsatz von grabenlos verlegten Erdkabeln im Bereich der Stromversorgung bringt gegenüber von Freileitungen einige Vorteile. Im Besonderen ist hierbei zu nennen, dass grabenlos verlegte Erdkabel kaum einen Eingriff in die Umwelt vornehmen und dies sowohl während dem Bau als auch in der Nutzungszeit. Zudem unterliegen sie keinen Beeinträchtigungen durch Wetter- und Klimaeffekte [53]. Dennoch muss auf einige Aspekte bei der grabenlosen Verlegung geachtet werden, zu diesen zählen:

- Eine lagegenaue Verlegung
- Mechanische Beanspruchungen (Zugkräfte, Biegung, Abrieb, Torsion)
- Beanspruchungen durch Temperatur, Feuchtigkeit, Grundwasser
- Beanspruchung durch Chemie (z.B. Verwendung von Schmiermitteln)

Zudem dürfen die in Tabelle 28 aufgezeigten Werte des Reibungskoeffizienten, in Bezug auf die jeweiligen Einziehbedingungen, nicht überschritten werden [53].

Tabelle 28: Einziehbedingungen und zugehörige maximale Reibungskoeffizienten [53].

Reibungskoeffizient μ [/]	Einziehbedingungen
0,1 bis 0,2	Rollen
0,35 bis 0,55	Rohr trocken
0,1 bis 0,3	Rohr geschmiert

Aufgrund des hohen spezifischen Widerstandes von in etwa 10^{16} Ohm [13], den Standard-Kunststoffe haben, finden vor allem Schutzrohre aus Kunststoffen, wie PE-HD, PP und PVC-U in diesem Bereich Anwendung [96].

5.1.6 Telekommunikation

Telekommunikationskabel dienen der Übertragung von Informationen bzw. Nachrichten. Ihr Aufbau kann variieren, wobei alle Kabel Leiter mit demselben Durchmesser besitzen müssen. Hierzu werden nach der DIN VDE 0815: Installationskabel und -leitungen für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen verschiedene Möglichkeiten geboten. In Abbildung 36 sind einige Möglichkeiten aufgezeigt, wie die Anordnung der Kabel aussehen kann [99, S.48].

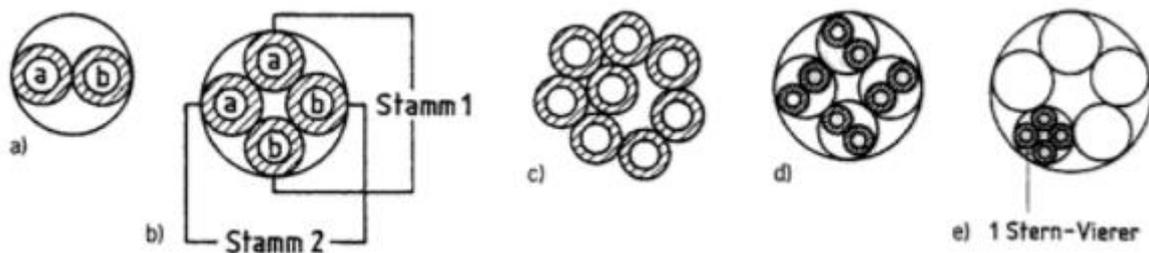


Abbildung 36: a) Paar, b) Stern-Vierer, c) Bündel mit acht Adern, d) Bündel mit vier Paaren, e) Bündel mit fünf Stern-Vierern [45].

Der Transport erfolgt generell auf Trommeln, wobei der Kabelstrang keine Unterbrechungen aufweisen und möglichst lang sein sollte. Die Einbringung der Kabel kann durch die Methoden des Einziehens und des Einblasens erfolgen. Letztere hat den Vorteil, dass bei einer Durchführung ohne Vorschaltung eines Manschettenkolbens die Reibung zwischen Kabelmantel und Rohrwand minimal gehalten wird. Dabei kann eine Verlegegeschwindigkeit von bis zu 80 m/min erreicht werden [99, S.83]. Falls der Durchmesser der Kabel mehr als 19 mm beträgt und diese steifer und schwerer sind, muss mit einem vorgeschalteten Kolben gearbeitet werden. Zwei Beispiele, wie ein Kolben aussehen kann, sind in Abbildung 37 dargestellt [99, S.83]. Maximal können Kabel mit einem Außendurchmesser von bis zu 50 mm und unter Verwendung eines Aufrüstsatzes von bis zu 75 mm eingeblasen werden [99, S.84].

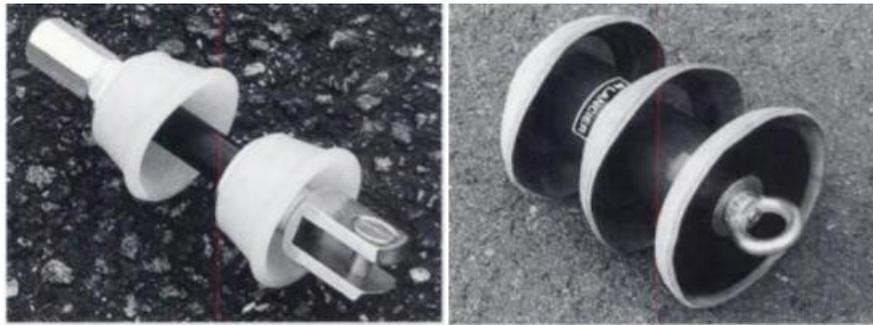


Abbildung 37: Doppelter Manschettenkolben (links), dreifacher Manschettenkolben (rechts) [99, S.83].

Eine Einbringung der Kabel ist auch in bereits bestehende Kanäle möglich. Mit Hilfe des Noppenbandverfahrens, welches bei der Sanierung von Kanälen verwendet wird, können in das Noppenband Kabelschutzrohre mit einem Durchmesser von bis zu 20 mm eingebracht werden. Der Kanalquerschnitt wird dabei in seiner Geometrie nicht verändert [99, S.120]. In Abbildung 38 ist aufgezeigt, wie das Noppenband und das integrierte Kabelschutzrohr aussehen. Die Abbildung 39 stellt den Querschnitt nach Abschluss der Sanierungsarbeiten mit Noppenband dar [99, S.120].



Abbildung 38: Noppenband mit drei integrierten Kabelschutzrohren [99, S.120].

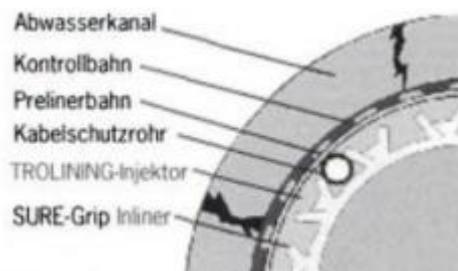


Abbildung 39: Querschnittsskizze eines Abwasserkanals nach Sanierung mit einem Noppenband [99, S.120].

Die letzte Möglichkeit der Verlegung eines Telekommunikationskabels besteht durch die Einbringung des Kabels in eine bereits bestehende unter Druck betriebene Wasser- oder Gasleitung. Vorhandene Armaturen und Abzweigungen zu jeweiligen Teilnehmern müssen durch Ein- und Ausführung der Kabel erreicht werden. Dies wird mit Hilfe eines Anbohrapparates ermöglicht, mit dem an der Eintrittsstelle, an einer im Vorfeld freigelegten Stelle ein Loch von in etwa 100 mm gebohrt wird. Falls Armaturen vorhanden sind, können diese als Ort der Ein- und Ausführung dienen [99, S.120]. Als Rohrmaterialien, welche sich

als Schutzrohre für Telekommunikationsleitungen eignen, haben sich Kunststoffe Bewährt [Dietzel].

5.1.7 Infrastrukturkanal

Infrastrukturkanäle stellen meist unterirdisch verlegte begehbare Leitungsgänge dar, die mehrere Rohrleitungen in sich beinhalten. Dabei können die gesamten, von einer Siedlung benötigten infrastrukturellen Systeme in einem großen Rohr zusammengefasst werden. Hierzu zählen alle in dieser Arbeit, unter Einsatzgebiet einzeln aufgelisteten Nutzungsarten [7]. Vorteile, die sich aus einer Bündelung der verschiedenen Rohrleitungen ergeben, sind:

- Verwendung leichterer Materialien und dünnerer Rohrmäntel möglich
- Vereinfachung der Instandhaltung durch gute Zugänglichkeit
- Nachträgliche Verlegung zusätzlich benötigter Leitungen einfach möglich
- Verbesserung der Überwachung und des Schutzes der einzelnen Rohrleitungen

Umso mehr muss auf die Planung und Herstellung des Infrastrukturkanals geachtet werden. An diesen werden Anforderungen bezüglich Standsicherheit, Abdichtung gegen Wasser, Sicherung gegen Wurzelwuchs, Beinhalten aller notwendigen Rohrleitungen, Erfüllung unterschiedlicher Anforderungen einzelner Rohrleitungen, ausreichende Dimensionierung von Arbeitsraum und Vorhaltung von benötigtem Platz für Einrichtungen zur betrieblichen Überwachung und Instandhaltung von Rohrleitungen, gestellt [7]. Materialien die hierfür eingesetzt werden können sind PE-HD und Stahlbeton-Fertigteile. Die Verwendung von monolithischem Ortbeton oder auch von Stahlwellblech-Rohren ist nur bei der Herstellung eines Grabens möglich. In Tabelle 29 sind für die einzelnen Materialien vor und Nachteile aufgezeigt.

Tabelle 29: Vergleich möglicher Materialien zur Herstellung von Infrastrukturkanälen [7].

Aspekte	PE-HD	Stahlbeton - Fertigteile
System	biegeweich	biegesteif
Wärmedämmung	gut	schlecht
Stromisolation	gut	schlecht
Auftriebssicherheit	nicht gegeben ¹⁾	gegeben
Baufortschritt	schnell	langsam
Einzellängen	10 - 15 m	2 - 4 m
Setzungen	gering	hoch
1) Durch zusätzliche Maßnahmen, wie z.B. Beschweren, erreichbar.		

Zudem muss auf die innere Gestaltung des Infrastrukturkanals geachtet werden. Die Rohrleitungen sollen dabei für den gering verfügbaren Raum optimal angeordnet werden. Generell ist auf folgende Aspekte zu achten:

- Anforderungen an die Baukonstruktion
- Garantieren der Begehbarkeit
- Erfüllen von Überwachungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen
- Genaue Dimensionierung für enthaltene Rohrleitungen
- Spezifische Anforderungen an das jeweilige Medium beachten
- Gewährleistung des Betriebs des Infrastrukturkanals [8]

In Abbildung 40 ist hierzu der Vortrieb eines Infrastrukturkanals und in Abbildung 41 der fertiggestellte Infrastrukturkanal dargestellt. Der Infrastrukturkanal im Endzustand enthält bereits weitere Rohrleitungen, welchen unterschiedliche Nutzungen zugewiesen sind.



Abbildung 40: Startschacht des Vortriebs von Stahlbetonrohren [9].



Abbildung 41: Infrastrukturkanal mit einem Durchmesser von 3,4 m und 21 darin enthaltenen Rohrleitungen mit unterschiedlichem Nutzen [9].

5.1.8 Zusammenfassung

In Tabelle 30 werden die Ergebnisse des Kapitels 5.1 anschaulich zusammengefasst. Für die verschiedenen Rohrmaterialien sind die jeweils möglichen Einsatzgebiete mit „X“ gekennzeichnet. Es ist zu erkennen, dass Kunststoffrohre vielseitige Anwendungen im Rohrleitungsbau finden. Materialien wie Steinzeug sind dafür in der Entwässerung seit einigen Jahrhunderten erfolgreich eingesetzt.

Tabelle 30: Einsatzgebiet Rohrleitung und Rohrmaterial.

Material Einsatzgebiete	Zementgeb. Stoffe		Stahl	Steinzeug	Dukt. Gusseisen	Kunststoffe	
	Beton	Stahlbeton				PE, PP, PVC-U	GFK
Fernwärme			X ¹⁾			X ²⁾	
Trinkwasser	X	X			X	X ³⁾	X
Entwässerung	X	X		X	X	X	X
Erdgas/Erdöl			X		X	X ⁴⁾	
Strom						X ⁵⁾	
Telekommunikation						X ⁵⁾	
Infrastrukturkanal	X	X				X	

1) Verwendung als Mediumrohr
 2) Verwendung als Außenrohr
 3) Verwendbare Materialien PE, PCV-U
 4) Ausschließlich PE 80, PE 100 verwendbar
 5) Ausführung als Kabelschutzrohr aus PE

5.2 Anwendung von Rohrmaterialien bei grabenlosen Verfahren

Durch die unterschiedlichen Kennwerte der Rohrmaterialien ist nicht jeder Werkstoff für jede Anwendung und grabenlose Verfahren einsetzbar. In Kapitel 4 dieser Arbeit wurden anhand von einzelnen Materialien spezifische Eigenschaften aufgezeigt und diese möglichen grabenlosen Verfahren zugeordnet. In Tabelle 31 sind hierzu alle berücksichtigten Rohrmaterialien aufgezeigt und ihre mögliche Verwendung bei grabenlosen Verfahren. Zudem sind mögliche Durchmesser dargestellt, welche bei den einzelnen grabenlosen Verfahren verwendet werden können [63].

Tabelle 31: Mögliche Anwendung von Rohrmaterialien bei Verfahren im grabenlosen Leitungsbau [63].

	möglicher Ø [mm]	Zementgebundene Stoffe			Stahl	Dukt. Guss	Steinzeug	Kunststoffe		
		Beton	Stahlbeton	Mörtel				PE, PP, PVC	GFK	Harz/Gel
Neubau										
Nicht steuerbare Verfahren										
Verdrängungsvortrieb	45 - 200							X		
Rammvortrieb	200 - 4.000				X					
Teilschnittvortrieb	200 - 1.500	X ¹⁾	X ¹⁾		X	X ¹⁾	X	X ¹⁾	X	
Steuerbare Verfahren										
Pilotrohrbohrverfahren	85 - 200	X ¹⁾	X ¹⁾		X ¹⁾	X ¹⁾	X ¹⁾	X	X ¹⁾	
Spülbohrvortrieb	100 - 1.000				X	X		X ²⁾		
Vollschnittvortrieb	300 - 1.000+		X		X		X		X	
Rohrvortrieb bemant	800 - 4.500		X		X		X		X	
Sanierung										
Renovierung (nicht selbsttragend)										
Schlauchlining	50 - 2.000									X ³⁾
Verformte Rohre	100 - 2.000							X		
Langrohrlining	80 - 2.000							X		
Kurzrohrlining	80 - 2.000						X	X		
Wickelrohrverfahren	200 - 5.500							X ⁴⁾		
Beschichtungsverfahren	75 - 600			X						
Erneuerung (Selbsttragend)										
Schlauchlining	50 - 2.000									X ³⁾
Verformte Rohre	100 - 2.000							X		
Langrohrlining	80 - 2.000							X		
Kurzrohrlining	80 - 2.000						X	X	X	
Wickelrohrverfahren	200 - 5.500							X ⁴⁾		
Berstverfahren	80 - 1.200						X	X	X	
Aufweit-/Ziehverfahren	80 - 1.200							X	X	
Rohrsegment-Lining	800+	X ⁵⁾						X		
Überfahren-Altrohr	bis 1.000	X ⁵⁾			X		X	X	X	
Reparatur										
Roboterverfahren	150 - 700			X ⁶⁾						X ³⁾
Packer-Verfahren	150 - 600			X						X ⁷⁾
Edelstahlmanschetten	150 - 800				X ⁸⁾					
Abschnittsweise Auskleidung	100 - 600									X
Flutungsverfahren	100 - 500									X ⁹⁾
Alternative Verlegeverfahren										
Pflugverfahren	bis 500				X	X		X ¹⁰⁾		
Grabenfräse	ca. 600	X	X		X	X	X	X	X	
Schlitzgräben	30 und 50							X		
	möglicher Ø [mm]	Beton	Stahlbeton	Mörtel	Stahl	Dukt. Guss	Steinzeug	PE, PP, PVC	GFK	Harz/Gel
		Zementgebundene Stoffe						Kunststoffe		
1) nur als Mediumrohr anwendbar					6) gilt auch für Polymermörtel					
2) nicht für PVC-Rohre anwendbar					7) gilt für PUR- und Silikatharze					
3) gilt nur für EP-Harz					8) gilt nur für Edelstahl					
4) nur für PE-HD und PVC-U Rohre anwendbar					9) gilt nur für Silikatgel					
5) nur für Polymerbeton anwendbar					10) gilt nur für Polyethylen (PE)					

5.3 Dauerhaftigkeit / Nutzungsdauer

Ein wichtiger Aspekt, der für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit eines Werkstoffes herangezogen wird, ist die Abriebfestigkeit. Um das Verhalten von Materialien zu bestimmen, die abrasiven Durchflusstoffen ausgesetzt sind, kann der Darmstädter-Kippversuch herangezogen werden. Ausgeführt wird dieser unter Verwendung einer 1 m langen Rohr-Halbschale, in die ein Quarzsand-Kies-Wasser-Gemisch¹⁵ gegeben und bei einer Frequenz von 0,18 Hz hin und her gekippt wird. Dieser Vorgang wird in etwa mit 100.000 Lastspielen wiederholt und anschließend die Abriebtiefe auf der Sohllinie des Rohrs bestimmt [67, S.87]. Aus Abbildung 42, welche das Abriebverhalten einzelner Materialien darstellt wird deutlich, dass Kunststoffrohre weniger anfällig gegen abrasive Durchflusstoffe sind. Besonders gut ist der Widerstand gegen Stoffe wie Abwässer, Schlämmen und sonstigen Wasser-Feststoff-Gemischen, wenn die entstehende Reibungswärme klein ist und leicht dissipiert wird. Kunststoffe stellen somit einen hervorragenden Schutz des Innenrohrs dar. Die einwirkende Belastung kann auch bei höheren Transportgeschwindigkeiten problemlos vom Material aufgenommen werden [67, S.87]. Somit können Rohre aus PE, PP und PVC im Vergleich zu anderen Materialien eine längere Lebensdauer erreichen, solange es nur um die Betrachtung der Abrasion geht [67, S.88].

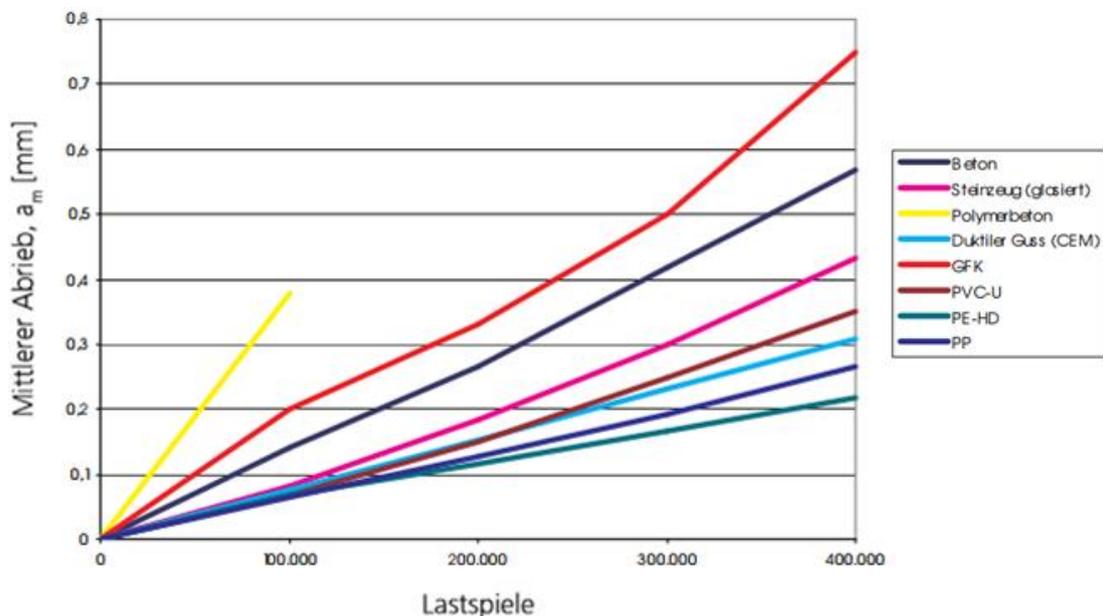


Abbildung 42: Abriebverhalten nach dem Darmstädter-Verfahren in absoluten Werten [100, S.8].

¹⁵ Dieses Gemisch besteht aus 46 Vol.-% Quarzsand/Kies mit einer Körnung von 30 mm.

Stahlrohre und -formstücke hingegen werden nach DIN EN 1123-1: Rohre und Formstücke aus längsnahtgeschweißtem, feuerverzinktem Stahlrohr mit Steckmuffe für Abwasserleitungen bei Einhaltung dieser, als

dauerhaft für eine annehmbare Lebenszeit als Ergebnis der einhergehenden Eigenschaft des Werkstoffes und einer bindenden Anforderung an den Korrosionsschutz, wo erforderlich,

angesehen [23, S.19].

Das abrasive Verhalten eines Rohrstranges allein reicht nicht aus, um ein Material in Bezug auf seine Dauerhaftigkeit beurteilen zu können. Es werden zudem Anforderungen an seine chemische, biologische und mechanische Beständigkeit, Sanierungshäufigkeit und dadurch erzielbare Nutzungsdauer bzw. Lebensdauer gestellt. Diese Aspekte werden in Kapitel 6.5 dieser Arbeit weiter ausgeführt.

Erzielbare Nutzungsdauern für betrachtete Materialien sind in Tabelle 32 dargestellt. Wobei alle Materialien laut Herstellerangaben, wenn diese anforderungsgemäß eingebaut werden, eine ähnlich hohe Nutzungsdauer erzielen können. Die Praxiserfahrung bezüglich Kunststoffrohren ist beschränkt. Somit können höhere Angaben, wie in etwa 50 Jahre, nicht gemacht werden [79].

Tabelle 32: Nutzungsdauer von Rohrwerkstoffen unterschieden nach Herstellerangaben und Praxiserfahrungen [79; 70].

Rohrwerkstoff	Nutzungsdauer in Jahren ¹⁾	
	Herstellerangaben	Praxiserfahrung
Beton / Stahlbeton	> 100	> 100
Stahl ²⁾	80 bis 120	80 bis 120
Duktiles Gusseisen ³⁾	> 100	> 100
Steinzeug	> 100	> 100
PE	> 100	in etwa 50
PP	100	in etwa 50
PVC-U	> 100	in etwa 50
GFK	50 bis 80 (100)	in etwa 50
1) Ohne Berücksichtigung der technischen Lebensdauer von Rohrverbindungen, wie z.B. Dichtungen 2) Mit Zementmörtelauskleidung bzw. PE-Auskleidung 3) Mit Zementauskleidung der inneren Rohrwand		

Wenn Betonrohre im Speziellen betrachtet werden, müssen bei diesen, in Bezug auf Dauerhaftigkeit, folgende Anforderungen Beachtung finden:

- Maximaler Wasser-Zement-Wert darf im voll verdichteten Zustand 0,45 nicht überschreiten
- Maximaler Chloridgehalt darf die in Tabelle 33 dargestellten Werte nicht überschreiten
- Maximale Wasseraufnahme des Betons darf 6 % seiner Masse nicht überschreiten
- Garantieren der Dauerhaftigkeit von Verbindungen
- Einhaltung der Mindestbetondeckung für Stahlbetonbauteile
- Besondere Anforderungen für Vortriebsrohre bezüglich Führungsringe und Betondeckung [35, S.21]

Dabei muss bei Stahlbetonvortriebsrohren, welche in ständigem Kontakt mit dem Boden sind, die Mindestbetondeckung auf den Außenflächen um 5 mm erweitert werden [35, S.24].

Tabelle 33: Maximaler Chloridgehalt im Beton [35, S.16].

Art des Betons	Cl ⁻ -Ionen in % vom Zementgehalt
Unbewehrter Beton	1,0 %
Stahlbeton	0,4 %

5.4 Brandverhalten/Brandschutz

Eine sichere Gewährleistung des Brandschutzes von Rohrmaterialien wird durch die DIN 4102-4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen geregelt. Aus dieser Norm geht durch Klassifizierung hervor, bei welchen Baustoffen das Brandverhalten stabil und bekannt ist und bei welchen Bauteilen der vorliegende Feuerwiderstand, je nach konstruktiver Verwendung, als sicher angesehen werden kann [15, S.8]. Eine Übersicht von für diese Arbeit relevanter Materialien und ihr zugehöriges Brandverhalten ist in Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 34: Brandverhalten von Rohrmaterialien [102, S.9 f.].

Material	Brandverhalten nach DIN 4102-4
Beton-/Stahlbetonrohr	A 1 nicht brennbar
Stahlrohr	A 1 nicht brennbar
Steinzeugrohr	A 1 nicht brennbar
Duktiles Gusseisenrohr	A 1 nicht brennbar
PVC-U-Rohr	B 1 schwer entflammbar
PE-HD-Rohr	B 2 normal entflammbar
PP-Rohr	B 1 schwer entflammbar

Zu GFK Rohren gibt es in der Norm keine Angaben, daher werden vereinfachend GFK Sanierungselemente herangezogen und ihr Brandverhalten angenommen [47].

5.5 Kosten von Rohrmaterialien

Ein Vergleich bezüglich der Kosten von Rohrmaterialien ist ohne Vereinfachungen nicht möglich, da nicht jedes Material für alle Einsatzgebiete und auch grabenlosen Verfahren vorgesehen werden kann. Zudem wird nur von reinen Materialkosten ausgegangen. Baubetriebliche Kosten sollen komplett vernachlässigt werden bzw. bei allen Materialien als gleich angenommen werden. Hierzu werden zwei separate Kostenbetrachtungen durchgeführt. Zum einen werden die Materialien PE, PP, PVC-U und duktilen Gusseisen für die horizontale Spülbohrtechnik (HDD) betrachtet. Diese sind in der Lage hohe Zugkräfte aufnehmen zu können, was die Ausführung dieses Verfahrens unbedingt erfordert. Zum anderen werden die Materialien Stahlbeton, Stahl, Steinzeug und GFK betrachtet. Diese Rohrmaterialien sind in der Lage hohe Druckkräfte aufzunehmen und sind somit für grabenlose Verfahren geeignet, welche einen Rohrvortrieb durch Schieben erzielen. Als Beispiel soll hierbei der Teilschnittvortrieb dienen [116].

Das betrachtete Kostenbeispiel ist so einfach, wie nur möglich gewählt. Für beide Verfahren sollen dabei folgende Randbedingungen gelten:

- 50 Meter Länge
- Durchmesser DN 500
- Optimale Verhältnisse bezüglich Boden und Grundwasser
- Ausschließliche Betrachtung der Materialkosten und notwendiger, zusätzlicher Maßnahmen am Rohr, wie z.B. dessen Beschichtung

Die reinen Materialkosten, bezogen auf das jeweilige Verfahren, sind dabei in Tabelle 35 und Tabelle 36 dargestellt.

Kunststoffrohre und Rohre aus duktilem Gusseisen werden vorzugsweise, mit grabenlosen Verfahren, entlang einer festgelegten Trasse gezogen. Die reinen Materialkosten belaufen sich bei PE-Rohren auf 217 €/lfm, was in etwa der Hälfte an Kosten entspricht, welche für duktile Gussrohre anfallen würden [117; 118]. Es wird angenommen, dass PP- und PVC-U-Rohre ähnliche Kosten aufweisen, wie Rohre aus dem Material PE.

Tabelle 35: Kostenvergleich von PE, PP und zwei möglichen Ausführungen als duktiles Gusseisen [117, 118].

Material DN 500	PE ¹⁾	Druckrohr duktiler Gusseisen ²⁾	Kanalrohr duktiler Gusseisen ²⁾
Kosten [€/lfm]	217	565	400
Kosten 50 m [€]	10.850	28.250	20.000
1) mit Schutzmantel für grabenlose Verfahren, Verbindung mittels Stumpfschweißung.			
2) Inklusive Riegel und Dichtung.			

Stahlrohre weisen im Vergleich zu den anderen Materialien sehr geringe Kosten auf. Diese Angabe von 100 €/lfm bezieht sich allerdings auf das reine Stahlrohr. Die Verwendung von Stahl im grabenlosen Leitungsbau ist vorwiegend als Mediumrohr. Bei dieser Art der Verwendung sind keine zusätzlichen Maßnahmen, in Form von Beschichtungen, notwendig. Dennoch ist ein Schutzrohr aus Kunststoff erforderlich, welches zusätzliche Kosten verursacht [116]. In Bezug auf das Material GFK muss erwähnt werden, dass es nur einen großen Hersteller der Rohre auf dem Markt gibt. Zudem unterscheiden sich einige der Rohraußendurchmesser von denen, welche bei anderen Materialien verwendet werden. Das hat wiederum Auswirkungen auf die Möglichkeit der Anwendung und führt, falls die Vortriebsmaschine an das Rohr maßgeschneidert werden muss, zu enorm erhöhten Kosten. Rentabel wäre hierbei nur ein Großprojekt, mit einer hohen erzielbaren Länge der Rohrleitung. Im Vergleich der reinen Materialkosten und unter Berücksichtigung der Fertigung eines kompletten Systems, mit Rohrvortrieb, haben Stahlbetonrohre mit einem Preis von in etwa 200 €/lfm neben Rohren aus PE mit 217 €/lfm den klaren Kostenvorteil inne [116].

Tabelle 36: Kostenvergleich von Stahlbeton, Stahl, Steinzeug und GFK [116].

Material DN 500	Stahlbeton	Stahl ¹⁾	Steinzeug	GFK ²⁾
Kosten [€/lfm]	200	100	300	320
Kosten 50 m [€]	10.000	5.000	15.000	16.000
1) Das reine Stahlrohr alleine, ohne Beschichtungen etc.				
2) Nur ein größerer Hersteller auf dem Markt.				

Zusammenfassend kann für die wesentlichen Kriterien bei der Wahl von Rohrmaterialien gesagt werden, dass grundsätzlich eine breite Spanne an Einsatzgebieten besteht. Dennoch kann nicht jedes Rohrmaterial in gleichem Maße flexibel für jeden Nutzen und bei jedem grabenlosen Verfahren eingesetzt werden. Positiv hervorzuheben ist hierbei der Werkstoff Kunststoff. Dieser ermöglicht, durch seine vielfältige Erscheinung unter anderem

als PE-HD-Rohr, den Einsatz in jeder der in dieser Arbeit aufgeführten Einsatzgebiete. Dazu zählt z.B. die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung. Zudem ist der Einsatz von Kunststoffen bei jedem grabenlosen Verfahren möglich. Dies gilt für steuerbare und nicht steuerbare im Neubau eingesetzte Verfahren, über jegliche Sanierungsarbeiten, bis hin zu Reparaturarbeiten, welche mit Harz oder Gel durchgeführt werden. Bezüglich der Nutzungsdauer sind Kunststoffrohre aufgrund eines maximalen bisherigen Praxiseinsatzes von etwa 50 Jahren nicht so hoch zu bewerten, wie in etwa Rohre aus den Materialien Stahlbeton, duktilem Gusseisen und Steinzeug. Diese Rohrmaterialien weisen Praxiseinsätze von zum Teil über 100 Jahren auf. Herstellerangaben sind, was die Nutzungsdauer betrifft, vor allem bei Kunststoffrohren weitaus höher und pendeln sich ebenso bei etwa 100 Jahren ein. Diese Annahme kann durch Berücksichtigung des Darmstädter-Verfahrens für Abriebverhalten von Materialien Bestätigung finden. Hierbei weisen Kunststoffrohre die geringsten Werte auf. Die Einhaltung des Brandschutzes kann nicht mit jedem der betrachteten Materialien ohne Weiteres eingehalten werden. Kunststoffrohre, vor allem PE-HD-Rohre, sind im Vergleich zu anderen Materialien der schwächeren Kategorie B2 (normal entflammbar) bzw. PP und PVC-U der Kategorie B1 (schwer entflammbar) zugewiesen. Rohre aus den Materialien Stahlbeton, Stahl, duktilem Gusseisen und Steinzeug sind jeweils in die Kategorie A1 (nicht brennbar) eingeteilt. Eine Kostenbetrachtung der reinen Materialkosten ohne baubetrieblichen Aufwand stellt zudem dar, dass die Kosten für Rohre aus den Materialien PE-HD und Stahlbeton am geringsten ausfallen. Rohre aus den Materialien Steinzeug und GFK sind hierbei neutral zu bewerten und Rohre aus duktilem Gusseisen kosten in etwa das Dreifache von Stahlbetonrohren.

6. Einflüsse auf das Rohrmaterial in den einzelnen Lebenszyklusphasen

Ein essentieller Punkt dieser Arbeit liegt in der Betrachtung des Lebenszyklus der einzelnen Materialien. Dieser wird aufgeschlüsselt in die Punkte Herstellung/Lagerung/Transport, Einbau, eingebauter Zustand/Wartung, Rückbau und Recycling. Dabei wird im Einzelnen auf Aspekte geachtet, die diese Materialien, in dem jeweiligen Abschnitt in ihren Eigenschaften und auch ihrer Qualität, beeinflussen können. Diese stellen unter anderem Einflüsse durch Witterung, Eigen- und Fremdbelastungen und Temperaturen, aber auch Rücksichtnahme auf Dimensionierung, entstehenden Aufwand und Möglichkeit der Durchführung dar. Dabei soll sich die Betrachtung der Phasen des Lebenszyklus von Rohrmaterialien, aufgrund der Möglichkeit eines besseren Vergleichs vorrangig auf die Verwendung als Abwasserkanal und -leitung beziehen.

6.1 Herstellung

Die Herstellung einer Rohrleitung umfasst die richtige Lagerung des Ausgangswerkstoffs, den richtigen Transport zum Entstehungsort, eine permanente Überwachung und anschließende Prüfung des Rohres. Hierzu werden erst zu jedem der Punkte allgemeine Anforderungen und Abläufe beschrieben, die bei dem jeweiligen Lebenszyklusabschnitt der Materialien zu beachten sind. Anschließend erfolgt eine für diese Arbeit festgelegte Differenzierung der einzelnen Materialien untereinander. Bezüglich der Herstellung haben alle Materialien ähnliche Abläufe in Kontrolle und Qualitätsprüfung aufzuweisen, wie in den einschlägigen technischen Regelwerken aufgezeigt wird. Als Beispiel für Anforderungen des Ablaufs der Herstellung, sollen in dieser Arbeit Kunststoffrohre aus PE herangezogen werden.

Um eine gewünschte Qualität von PE-Rohren ermöglichen zu können, muss auf das verwendete Material und festgelegte Qualitätskriterien geachtet werden. Diese stellen bei der Herstellung von Rohren aus PE folgende dar [67]:

- Nach einer positiv durchlaufenen Eingangskontrolle erfolgt die Einlagerung der jeweiligen Rohrwerkstoffe in separaten Silos.
- Rohrextruder dürfen lediglich durch Rohrwerkstoffe aus Silos versorgt werden. Dabei müssen die Fördersysteme geschlossen sein und der Transport muss in geeigneter Form erfolgen.
- Oberflächenrestfeuchte liegt nur in vernachlässigbar geringer Menge vor, da das Material im Vorfeld getrocknet wurde.

- Ein wesentlicher Aspekt stellt die Verwendung eines Siebes mit Maschenweite von 200 und 1.000 µm dar. Dadurch wird die Schmelze homogenisiert und die Qualität erhöht.
- Die Produktion in vorgeschriebenen Abmaßen und Toleranzen erfolgt anhand der einschlägigen Rohrnormen.
- Durch ein Ultraschallmesssystem werden die Rohre im gesamten Produktionsablauf überwacht und die Wanddicke, Außendurchmesser und Ovalität gemessen. Im Nachhinein werden Rohre, die nicht den Anforderungen entsprechen, aussortiert und als einwandfrei befundene einer manuellen Maßkontrolle unterzogen.
- Die Erfassung und nachfolgende Speicherung der Daten aus Produktion und Qualität hat ständig zu erfolgen.
- Falls die spätere Verwendung der hergestellten PE-Rohre in den Bereich der Erdgas- oder Trinkwasserversorgung fällt, soll auf Zugabe von Rücklauf- oder Umlaufmaterial verzichtet werden.
- Der Rohrhersteller muss sicherstellen, dass Rohrdaten zu Produktionschargen des Rohrherstellers und des Werkstoffherstellers jederzeit nachvollziehbar sind [26].

Vom Rohrhersteller sind während und nach der Herstellung einige Prüfungen nach dem Stand der Technik zu erbringen. Als Abschluss werden Abnahmeprüfzeugnisse nach DIN EN 10204:2004: Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen für die PE-Rohre erstellt, um die Qualität sicher zu stellen. Durch Fremdüberwachung, die einer regelmäßigen, externen Überprüfung entspricht, werden einzelne Proben an PE-Rohren nochmals genau untersucht [67].

Durch eingehende Fertigungs- und Endkontrollen mit integrierter Dichtheits- und Festigkeitsprüfung der Rohre und Formstücke ist sichergestellt, dass nur einwandfreies Material ausgeliefert wird. Sorgfältige Behandlung der Erzeugnisse bei Transport, Lagerung und Einbau ist die Voraussetzung für eine langjährige einwandfreie Funktion der Trinkwasserleitungen. Deshalb sollen Rohre und Formstücke nur unter Aufsicht einer Fachkraft abgeladen und eingebaut werden [46].

Nach dem Prozess der Herstellung ist jedes Rohr, abhängig von seinem Material passend zu lagern und bei Bedarf anschließend auszuliefern. Für jedes Material gelten verschiedene Vorschriften, wie es bis zu seiner Verwendung aufbewahrt werden muss. Diese sollen eingehalten werden, um eine Minderung der Qualität ausschließen zu können [5, S.35].

Um eine Abgrenzung der einzelnen Materialien zu schaffen, wird unter dem Punkt der Herstellung zusätzlich das Kapitel 4.6 dieser Arbeit herangezogen. Es wird davon ausgegangen, dass Rohrmaterialien, welche einen zusätzlichen Schutz ab Werk benötigen,

über die bereits gegebenen Anforderungen hinaus weitere Vorkehrungen bezüglich Sicherheit und Überwachung benötigen. Somit werden Rohrmaterialien in dieser Arbeit mit zusätzlich erforderlichen Maßnahmen mit einem kleinen Nachteil bewertet, um Rohrmaterialien, welche dies nicht benötigen keinem Nachteil aussetzen zu müssen. In Tabelle 39 wird unter dem Punkt Herstellung dementsprechend differenziert.

6.2 Transport

Die Beschädigung von Rohrteilen kann durch unsicheren Transport oder unsachgemäße Lagerung geschehen. Um diese an Rohren und Formstücken zu vermeiden, müssen bei jedem Rohr individuelle Richtlinien eingehalten werden. Dies gilt sowohl für den Transport als auch für das weitere Verladen der Teile [5, S.35]. Generell muss auf die gesetzlichen Gegebenheiten der Straßen- und Kraftverkehrsordnung des jeweiligen Landes reagiert werden, in den der Transport der Rohre stattfindet. Es werden geeignete Fahrzeuge benötigt, die die jeweiligen Rohrleitungsteile ohne der Einwirkung von Schlagbeanspruchung befördern und sachkundig auf- und abladen können. Zudem erfolgt eine individuelle Anpassung der Verpackung durch das Werk, um diese an verschiedene Transportarten, wie Bahn, LKW oder Schiff anpassen zu können [57, S.2].

Dabei weisen spröde Materialien eine höhere Anfälligkeit gegen mechanische Belastungen in Form von unsachgemäßer Verladung und Transport auf. Rohre können an Kanten anecken oder es kann durch Bodenunebenheiten zu einer kurzfristigen punktuellen Belastung bei den Auflagerpunkten des Transportgestells kommen. Als Beispiel für den Ablauf richtigen Transportes und Lagerung soll in dieser Arbeit ein Material dienen, welches eine hohe Duktilität aufweist und meist mit einer Schutz- oder Umhüllungsschicht geliefert wird. Hierzu wird das duktile Gusseisen herangezogen. An Beton-, Steinzeug-, Stahl- und Kunststoff-Rohre müssen ähnlich hohe Anforderungen gestellt werden.

Beim Abladen und Lagern von Rohren und Rohrbündeln von duktilem Gusseisen muss zwischen dem benötigten Durchmesser unterschieden werden. Bis zu einem Durchmesser der Rohre von DN 350 sind diese zu Rohrbündeln verbunden und so auf die Baustelle zu transportieren. Alle größeren Durchmesser sind als einzelne Rohre zu liefern. Dabei wird nach Tabelle 37 festgelegt, wie viele Rohre zu einem Bund zusammengefügt werden können [46].

Tabelle 37: Maximale Anzahl an Rohren je Bund [46].

Rohre je Bund								
DN (mm)	80	100	125	150	200	250	300	350
6 m -Rohre	15	15	10	6	6	4	4	4
5 m-Rohre	15	15	12	8	6	4	4	/

Für die Verladung von Rohren werden im Allgemeinen hohe Anforderungen an die verwendeten Gerätschaften und das Personal gestellt. Direkt an die Rohre selbst können

nur geringe Anforderungen gestellt werden. Um deshalb Rohre und Rohrbündel sicher be- und entladen zu können, wird ein Kran und zusätzlich angebrachte Gurte benötigt. Bei einzelnen Rohren wird an beiden Kopfenden ein gepolsterter Kranhaken, wie in Abbildung 43 dargestellt eingehängt, damit eine gleichmäßige und sichere Belastung des Rohres erreicht wird. Zudem kann durch diese Maßnahme keine Beschädigung der vorhandenen Beschichtung eintreten [46]. Bei größeren Rohren muss ein angepasster Schuh verwendet werden, um eine gleichmäßige Belastung zu erreichen.

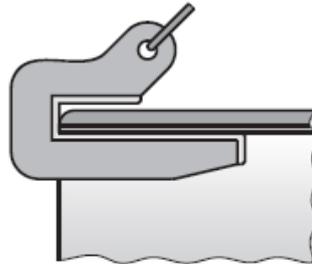


Abbildung 43: Schematische Darstellung Kranhaken mit Polsterung [46].

Eine Alternative der Be- und Entladung von Rohren stellt die Verwendung eines dafür vorgesehenen Gabelstaplers dar. Dabei muss im Besonderen auf folgendes geachtet werden:

- Verhinderung von seitlichem Kippen der Rohre durch eine Gabelbreite von mindestens 3 m
- Einschränken der Rohre in ihrer Bewegung (Rollen)
- Polsterung der Gabel

Eine Unterscheidung der einzelnen Rohrmaterialien, den Aspekt des Transportes betreffend, ist nur schwer möglich. An alle Materialien werden nach Herstellerangaben ähnlich hohe Anforderungen gestellt, was die Auslieferung der Rohre und Handhabung dieser betrifft.

6.3 Lagerung

Bezüglich der Lagerung von Rohren ist zu beachten, dass diese ausschließlich auf dafür vorgesehenen Materialien abgelegt werden dürfen und diese auf einer sauberen und von Kleinteilen befreiten Lagerfläche platziert werden [5, S.35]. Zu diesen zählen unter anderem Balken aus Holz oder ähnlich geeignete Materialien, dabei muss:

- Das Absetzen vorsichtig geschehen
- Unsachgemäßes Abladen vom Fahrzeug vermieden werden
- Sichergestellt werden, dass kein Bodentransport von Hand stattfindet
- Das Rohr gegen Rollen und Rutschen gesichert sein (Verwendung von Holzkeilen)

- Der Untergrund der Lagerung eben, tragfähig und frei von Biegung sein [46]

Im Speziellen muss bei Rohren aus duktilem Gusseisen, welche in Stapeln gelagert werden, Holzbalken oder ähnliche Materialien als Auflager mit Mindestmaßen von 10 cm Breite verwendet werden. Dabei müssen die Rohrenden in etwa 1,5 m vom Auflagerpunkt entfernt sein. In Tabelle 38 sind maximal zulässige Stapelhöhen bzw. Lagen für Rohre aus duktilem Gusseisen aufgezeigt. Höhere Stapelhöhen von mehr als 3 m dürfen aufgrund der Einhaltung der Unfallverhütung nicht erreicht werden und sind somit auch für andere Rohrmaterialien ausgeschlossen.

Tabelle 38: Maximal zulässige Stapelhöhe duktiler Gussrohre [46].

DN (mm)	Lagen	Stapelhöhe (m)
80-150	15	1,2 bis 2,25
200-300	10	2,0 bis 3,0
350-600	4	1,4 bis 2,4
700-1.000	2	1,4 bis 2,0

Das Öffnen der Rohrbündel, welche mit Stahl- oder Kunststoffbändern versehen sind, darf nur mit dafür vorgesehenen Werkzeugen unter anderem Blechschere oder Seitenschneider durchgeführt werden. Werkzeuge die eine Beschädigung der Rohre oder ihrer Beschichtung erzielen können, dürfen nicht verwendet werden [46].

Dichtungen, die für betrachtete Rohre Verwendung finden, müssen ebenso Anforderungen an eine sachgemäße Lagerung erfüllen:

- Kühle, trockene und unverformte Lagerung
- Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung
- Schutz vor mechanischer Beschädigung und Verschmutzung
- Lagerung von weniger als 0°C ist zu vermeiden
- Prüfung auf Beschädigung direkt vor dem Einbau [46].

Darüber hinaus gilt eine festgelegte Lagerhöhe von 1 m, die als Voraussetzung für das Stapeln von Rohren angesehen wird. Wobei auf Rohren mit einem Außendurchmesser von mehr als 630 mm nur ein weiteres gelegt werden darf. Rohre, welche einen größeren Außendurchmesser wie 1.000 mm aufweisen, müssen einzeln abgelegt werden [46].

Besondere Anforderungen, die zusätzlich bei Rohren aus Kunststoffen gelten, werden im Folgenden beschrieben. Hierzu sollen erst Anforderungen bezüglich Rohren aus PE, PP und PVC-U erläutert werden. Bei diesen muss für die Lagerung im Freien, im Besonderen

bei naturfarbenen und grauen Rohren aus PE ein Schutz vor UV-Strahlung angebracht werden. Rohre mit den Farben orange und blau sind hiervon ausgenommen. Diese dürfen bis zu 12 Monate im Freien gelagert werden [5].

Große Vorsicht gilt für die Lagerung von Rohren und Formstücken aus Sondermaterialien, wie PP-R-s-el und PE-el¹⁶. Diese sind vor sämtlicher Freibewitterung zu schützen und dürfen nur in geschlossenen und trockenen Lagerräumen aufbewahrt werden. Zusätzlich muss bei dieser Art von Material, nach einer Lagerungsdauer von 12 Monaten ein Schweißversuch durchgeführt werden. Dies ist aufgrund einer möglichen Feuchtaufnahme des Rohres vorgeschrieben [5, S.35].

Bei GFK Rohren gelten spezielle Anforderungen bezüglich der Lagerung, welche folgende darstellen:

- Schutz vor intensiver Wärmeeinwirkung, Flammen und Lösemitteln
- Schutz vor mechanischen Beschädigungen, Verschmutzungen der Dichtungen, Punktbelastung und möglicher Lageveränderung
- Schützen der untersten Lage vor Verschlammung und Anfrieren

An die Innenseite des Rohres und an vorhandene Gummidichtungen sind zusätzlich folgende Anforderungen gestellt:

- Schutz vor UV-Strahlung, maximale Belastung von 8 Wochen
- Schutz vor schädlichen Substanzen wie unter anderem Fette, Öle und Lösungsmittel
- Bei Lagerung von mehr als 8 Wochen sind die Rohrenden abzudecken [57, S.5]

Rohre aus Stahlbeton sind bei Lagerung auf der Baustelle generell vor schädlichen Temperatureinflüssen mithilfe entsprechender Maßnahmen zu schützen. Im Besonderen müssen Vorkehrungen bei Frosteinwirkung getroffen werden. Bauteile müssen so gelagert sein, dass diese nicht am Boden anfrieren können und eine Ansammlung von Wasser vermieden wird.

Rohre aus duktilem Gusseisen und Steinzeug weisen eine hohe Beständigkeit gegen Witterung und UV-Strahlung auf. Dennoch ist beachten, dass die für den Einbau benötigte Dichtung bzw. das zu verwendende Dichtmittel ebenfalls gelagert werden muss. Diese

¹⁶ Siehe

können unter anderem aus Elastomeren bestehen, welche zusätzlich vor Sonneneinstrahlung geschützt werden müssen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Rohre aus Kunststoffen höheren Anforderungen unterliegen, wie die anderen betrachteten Rohrmaterialien. Bei diesen ist allerdings auf die richtige Lagerung der zu verwendenden Dichtungen zu achten. Dennoch ist bei allen Materialien darauf zu achten, dass diese Herstellergemäß gelagert werden. Hierzu gehört die Beachtung einer dem Durchmesser entsprechend maximalen Lagerhöhe und der Herstellung passender Auflagerpunkte.

Das Zusammentragen der Aspekte Herstellung, Lagerung und Transport von Rohrmaterialien aus diesem Kapitel, führt zu Tabelle 39. Dabei stellt im Fall der Herstellung ein „X“ dar, dass eine Auskleidung oder Umhüllung nicht notwendig ist und ein „✓“ eine Notwendigkeit bezüglich dessen. In Bezug bei Lagerung und Transport bezeichnet ein „X“, dass der jeweilige Aspekt nicht erfüllt ist und ein „✓“ das entsprechende Gegenteil. Der Ausdruck „n.A.“ bezeichnet in diesem Fall, dass dementsprechende Informationen nicht verfügbar waren. Es ist zu sehen, dass mit porösen Materialien und Materialien mit aufgebracht Schutzumhüllung achtsamer umgegangen werden muss, wie mit Kunststoffen. Zu Stahlrohren liegen wenige bis kaum Informationen vor, da diese in der Praxis, wenn überhaupt, als Mediumrohr eingesetzt werden. Genauso sollen Betonrohre ohne Stahleinlage bei dieser Betrachtung außer Acht gelassen werden, da diese aufgrund ihrer schlechten Eigenschaften bezüglich Zugfestigkeit kaum eingesetzt werden [112].

Tabelle 39: Aspekte bezüglich Herstellung, Lagerung und Transport von Rohrmaterialien [57; 103; 88].

Aspekte	Zementgeb. Stoffe		Stahl	Dukt. Guss	Steinzeug	Kunststoffe	
	Beton	Stahlbeton				PE, PP	GFK
Herstellung							
Auskleidung / Umhüllung notwendig	X	X	✓	✓	X	X	X
Transport / Lagerung							
Witterungsunabhängigkeit	X	X	n.A.	✓ ¹⁾	✓ ¹⁾	X	✓ ²⁾
1) Dichtung/Dichtmittel nicht beständig							
2) Anpassung notwendig, dickere Sandstoffschicht							

6.4 Einbau

Der Einbau von Rohrleitungen erfordert einige Vorkehrungen, um den späteren Betrieb gewährleisten zu können. Hierbei soll auf Witterung, Eigen- und Fremdbelastungen, Bodentemperatur, Platzverhältnisse, Querungen und Abstände und Beschädigung der Schutzumhüllung geachtet werden. Tabelle 40 dient der Zusammenführung einiger Anforderungen, welche bei einem grabenlosen Einbau relevant sind.

Für den Einbau gelten ähnliche Anforderungen bezüglich Einwirkung durch Witterung, wie bereits bei den Phasen Lagerung und Transport dieser Arbeit beschrieben wurde. Genauere Anmerkungen bezüglich Anforderungen sind in den einschlägigen technischen Regelwerken zu finden.

Bezüglich Belastbarkeit und Tragfähigkeit eines Rohrmaterials muss im Besonderen beim grabenlosen Leitungsbau auf einige Aspekte geachtet werden. Es wird hierzu ein Nachweis benötigt, welcher die Tragfähigkeit der einzubauenden Rohrleitung bestätigt. Dieser hat folgende Punkte zu beinhalten:

- Zulässige Abwicklung der Rohrverbindungen in Hinsicht auf Dichtigkeit, Steuerbewegungen, Kurvenfahrt
- Beachtung statischer Lastannahmen
- Erfüllung geotechnischer Voraussetzungen

Zusätzlich muss während des Einbaus auf ständige Änderungen, welche von den Planungsunterlagen abweichen, geachtet werden. Im Besonderen gilt dies bei Absicherung oder Berücksichtigung veränderter Bedingungen von im Vorfeld festgelegten Lastannahmen [24, S.16].

Das Verlegen von Rohren mithilfe grabenloser Verfahren führt zu äußeren, mechanischen Belastungen. Anhand vorab durchgeführter, geotechnischer Untersuchungen lassen sich größere Hindernisse erkennen, wobei auch kleinere Steine während des Vortriebs zu externen Punktlasten führen und somit das Rohr mechanisch beanspruchen. Diese bilden sich auf der äußeren Rohrwand in Form von Riefen¹⁷ oder Kratzern ab, dabei entstehende Spannungskonzentrationen bleiben über die Lebensdauer der Rohrleitung erhalten und können über längere Zeit das Risswachstum weiter fördern [67, S.87].

Dagegen kann vorgegangen werden, indem der Widerstand gegenüber punktueller Belastungen und langsamen Risswachstums verbessert wird. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, besteht die Möglichkeit, einen Werkstoff an der Rohraußen- bzw. Rohrrinnenwand anzubringen, welcher einen großen Widerstand gegenüber den aufgeführten Belastungen besitzt. Der Widerstand gegenüber Kerben und Riefen ist dabei durch die sogenannte Ritzfestigkeit festgelegt. Sie beschreibt die Eindringtiefe eines spitzen, kratzenden Gegenstandes bei Relativbewegung von Rohr und Gegenstand [67, S.87].

Kunststoffe weisen im Vergleich zu Werkstoffen aus Metallen, Steinzeug und zementgebundenem Material eine geringere Steifigkeit und Festigkeit auf. Zudem sind sie

¹⁷ Feine Rillen auf einer Oberfläche.

aufgrund ihrer thermoplastischen Eigenschaften einer größeren Längenänderung unterworfen. Infolgedessen gelten für Kunststoffrohre besondere Anforderungen bezüglich des Einbaus:

- Vermeidung von punktuellen Belastungen durch Befestigungen
- Flächen zum Anbringen von Befestigungen müssen möglichst breit und ähnlich groß wie der Außendurchmesser des Rohres ausgeführt sein
- Befestigungen dürfen keine Oberfläche besitzen, die eine mechanische Beschädigung des Rohres hervorrufen können [67, S.87]

In Bezug auf den Aspekt Bodentemperatur weisen nahezu alle Materialien gute Eigenschaften auf, welche sich positiv auf die zu berücksichtigende Witterung bei Einbau auswirken. Für Rohrmaterialien aus Kunststoffen, wie PE, PP, PVC-U muss allerdings eine Verlegetemperatur von mehr als 0°C eingehalten werden [5, S.36].

Das benötigte Platzverhältnis hängt unter anderem von der Größe des Anfangs- und Zielschachtes und vom Platzbedarf, welcher außerhalb der Schächte freigehalten werden muss, ab. In dicht bebauten Gebieten sollen der zur Verfügung stehende Platz von dem gewählten Verfahren, den dafür benötigten Gerätschaften, der Länge und dem Durchmesser des gewählten Rohres, abhängen. Es wird angenommen, dass bei allen Materialien, in Bezug auf das Verfahren, ähnliche Gerätschaften und Rohrlängen verwendet werden. Ein Vergleich bezüglich Platzverhältnissen lässt sich am ehesten erreichen, indem Parallelen zwischen grabenlosen Verfahren gezogen werden. In einigen unter Kapitel 3 dieser Arbeit beschriebenen grabenlosen Verfahren können nur starre Rohre und in anderen nur Schläuche oder verformte Rohre, welche aufgerollt auf die Baustelle transportiert werden, zum Einsatz kommen. Bei den beiden letzteren entsteht durch die Verwendung ein geringerer Transport- und Lageraufwand, als bei starren Rohren, welche ihre letztendliche Dimensionierung ab Werk erhalten. Zudem besteht bei Kanälen und Verwendung eines Schlauchliners die Möglichkeit, durch anliegende Schächte eine Sanierung durchzuführen, ohne einen Start- und Zielschacht ausheben zu müssen. Bisher finden für die Anwendung als Verformte Rohre nur Kunststoffe aus PE, PP, PVC-U und für das Schlauchlining ein Harzträgermaterial Verwendung [63]. Bei den Rohrmaterialien Stahlbeton, Stahl, Steinzeug, duktilem Gusseisen und GFK ist dies nicht möglich. Dementsprechend ist die Platzanforderung für diese Rohrmaterialien in dieser Arbeit als höher anzusehen, als für die betrachteten Rohrmaterialien PE und PP.

Der Schutz von anderen Bauwerken, zu diesen zählen Versorgungsleitungen, Abwasserleitungen und -kanäle, Gebäuden oder Oberflächen ist einzuhalten. Dabei sollen Eingriffen verhindert und vorgeschriebene Abstände eingehalten werden [24, S.15]. Falls

ein Unter- oder Überfahren von Bahnlinien, Straßen, Flughafengelände, Wasserstraßen, Gebäuden notwendig ist oder die festgelegte Trasse durch ein Wassergebiet führt, gelten spezielle Anforderungen an die grabenlose Verlegung [24, S.16]. Alle Materialien sollen zur Vereinfachung, im Vergleich dieser Arbeit ähnliche Anforderungen bezüglich Querungen und Abständen aufweisen.

Besondere Rücksicht, hinsichtlich des Einbaus einer Rohrleitung ist auf den Werkstoff Steinzeug zu nehmen. Die Beweglichkeit erdverlegter Entwässerungssysteme aus Steinzeugrohren wird durch den Einbau flexibler Verbindungen erreicht. Dadurch werden Setzungen und andere Bodenbewegungen aufgenommen. Der Anschluss von Rohrleitungen an Einsteig- oder Inspektionsschächte sowie Gebäude wird durch den Einsatz ausreichend flexibler Verbindungen erreicht, sodass alle zusätzlichen Beanspruchungen durch ungleichmäßiges Setzen am Anschluss zwischen Rohr und Gebäudestruktur vermieden werden [38].

Wie aus Tabelle 40 hervorgeht, ist die Witterungsunabhängigkeit während dem Einbau nur bei den Materialien Steinzeug, duktilem Guss und GFK gewährleistet. Eine Verformung kann nur bei den weicheren Materialien PE, PP und GFK stattfinden. Der Aspekt Verformungsunabhängigkeit wird anhand eines Vergleichs der E-Moduln aus Kapitel 4 dieser Arbeit abgeleitet. Dabei weisen PE-HD-Rohre das geringste E-Modul auf. Rohre aus GFK, Stahlbeton und Steinzeug haben einen um bis zu 50-fach höheren als PE-HD-Rohre. Stahlrohre und Rohre aus duktilem Guss haben das mit Abstand höchste E-Modul aufzuweisen. Somit wird festgelegt, dass der Wert des E-Moduls in den Aspekt der Verformungsunabhängigkeit mit einfließt.

Tabelle 40: Aspekte bezüglich Einbau von Rohrmaterialien [107; 104; 112; 5; 56; 14].

Aspekte	Zementgeb. Stoffe		Stahl	Dukt. Guss	Steinzeug	Kunststoffe	
	Beton	Stahlbeton				PE, PP	GFK
Platzanforderungen	normal	normal	normal	normal	normal	gering	normal
Witterungsunabhängigkeit ¹⁾	X	X	X	✓	✓	X	✓
Verformungsunabhängigkeit	mittel	mittel	gering	gering	mittel	hoch	mittel
1) Auf verwendete Dichtmittel ist zusätzlich zu achten							

6.5 Eingebauter Zustand / Instandhaltung / Wartung

Die längste und damit aussagekräftigste Zeitperiode in der Lebenszyklus-Betrachtung einer Rohrleitung liegt im eingebauten Zustand vor. In diesem muss besonderes Augenmerk auf die Aufrechterhaltung des Betriebes gelegt werden. Dieser stellt Anforderungen an die

Instandhaltung und Wartung der einzelnen Rohrleitungen bzw. des gesamten Rohrsystems. Hierbei liegen generelle Anforderungen vor, diese umfassen:

- Chemischer, biologischer und mechanischer Beständigkeit (aggressive Abwässer, etc.),
- Lagesicherheit, Auftriebssicherheit,
- Wandrauheit und damit verbundenem Ablagerungs- und Inkrustationsrisiko,
- Lebensdauer,
- Wurzelfestigkeit,
- Abriebwiderstand,
- Beständigkeit gegenüber Längenänderungen,
- Anfälligkeit bei Reinigung,
- Sanierungsanfälligkeit und
- Wartungshäufigkeit.

Dabei ist auf jedes Material und spätere Nutzung individuell zu reagieren. Ein guter Vergleich kann über das Medium Abwasser bzw. Schmutzwasser geschehen, da hier jedes der betrachteten Materialien zum Einsatz kommen kann. In Tabelle 44, am Ende dieses Kapitels, sind hierzu betrachtete Aspekte aufgelistet, welche im eingebauten Zustand relevant sind und aufgrund von Informationen verschiedener Rohrhersteller zusammengestellt wurden.

Es kristallisiert sich heraus, dass schwere Materialien, wie Beton/Stahlbeton, duktiles Gusseisen und Steinzeug eine gute Lage- und Auftriebssicherheit und zudem eine hohe statische Belastbarkeit aufweisen [107]. Sie sind wurzelfest, d.h. ein Einwachsen durch Pflanzenwurzeln ist über Jahrzehnte ausgeschlossen [107, S.11], sie sind weniger wartungs-, sanierungsanfällig und weisen eine hohe Resistenz gegen Beschädigungen auf, welche bei Reinigungsmaßnahmen entstehen können. Darüber hinaus sind diese Werkstoffe in der Praxis ausgiebig erprobt und können eine Nutzungsdauer von 100 und mehr Jahren erreichen.

Im Gegensatz dazu stehen die weicheren Materialien PE, PP und GFK, diese Stoffe sind relativ neu und noch wenig erprobt. Hersteller schreiben den Materialien PE, PP, PVC-U und GFK eine Nutzungsdauer ebenso von jeweils in etwa 100 Jahren zu, aber Praxiserfahrungen zu diesen Materialien sind auf diese Zeitspanne hin noch nicht gegeben. Was Lage- und Auftriebssicherheit, statische Belastbarkeit, Wurzelfestigkeit, Beschädigungswahrscheinlichkeit bei Reinigungsmaßnahmen und Sanierungs- und Wartungshäufigkeit betrifft, stehen die weicheren Materialien, wie PE, PP, PVC-U den festeren, wie Beton und Steinzeug voran.

Die Wandrauheiten aller betrachteten Materialien sind vorteilhaft für die Verwendung als Abwasserleitung bzw. -kanal. Dennoch sind vorrangig die Materialien Steinzeug, PE, PP und GFK zu nennen. Diese weisen alle einen Wandreibungsbeiwert auf, welcher nur ein Zehntel der anderen Materialien ausmacht. In Tabelle 41 sind zu allen betrachteten Materialien die entsprechenden Wandrauheiten „k“ aufgeführt.

Tabelle 41: Hydraulisch wirksame Wandrauheiten „k“ von betrachteten Materialien [77].

Material	Wandrauheit k [mm]
Beton / Stahlbeton	≤ 0,1
Stahl ¹⁾	0,1
duktiler Guss	0,1
Steinzeug ²⁾	0,02
PE	0,0015 bis 0,01
PP	0,007
PVC-U	0,0015 bis 0,01
GFK ³⁾	0,01
1) Wert gleich duktilem Guss angenommen	
2) glasiert, gerade Leitung	
3) geschleudert	

In direktem Bezug zur Wandrauheit steht das Ablagerungs- und Inkrustationsrisiko von Rohrleitungen. Je höher die Wandrauheit ist, desto höher auch die Anhaftung und das Risiko von Ablagerungen oder Bildung von Inkrustationen [99]. Zudem kann die Bildung eines Biofilms im Bereich der Trinkwasserversorgung dazu führen, dass eine Ansiedelung von Keimen entsteht, welche bei größer werdenden Konzentrationen an das Rohrleitungsnetz weitergeben werden können [105].

Falls der Abtransport nicht mehr gewährleistet ist und längere Verweilzeiten vorherrschen, kann stehendes Schmutzwasser und vor allem Abwasser dazu führen, dass es im Kanal zum sogenannten Anfaulen kommt. Dies kann unter anderem auf Grund von geringerem Abwasseraufkommen geschehen. Dabei ist die Dimensionierung des Kanals für die aufkommende Menge an Abwasser zu groß geworden und es herrscht kein ausreichender Druck oder kein reger Fluss in der Abwasserleitung. Um diesen Mangel langfristig zu beheben, kann mit Chemikalien gearbeitet oder eine Verkleinerung des Rohrdurchmessers vorgenommen werden [40, S.55].

Durch angefaultes Abwasser bilden sich vorwiegend giftige Gasgemische, welche die Abwasserreinigung beeinträchtigen und einen für den Menschen gesundheitsbeeinträchtigenden Geruch entwickeln können. Die Entstehung von

Schwefelwasserstoff stellt dabei ein Gasgemisch dar, welches bei geringen Konzentrationen sogar tödlich wirken kann. Die Rohrwandung kann durch eine mögliche Oxidation von Schwefelwasserstoff zu Schwefelsäure angegriffen werden. Deshalb soll die Rohrbemessung im Vorfeld so erfolgen, dass das Rohrmaterial in Bezug auf chemische und biologische Angriffe beständig ist [40, S.55].

Materialien, welche eine ausgesprochen hohe Resistenz gegenüber chemischen und biologischen Stoffen aufweisen, sind duktiles Gusseisen aufgrund der verwendeten Innenbeschichtung, Steinzeug, GFK und Beton bzw. Stahlbeton. Bei Beton- und Stahlbetonrohren soll ab einem pH-Wert kleiner 4,5, welcher bei Abwasser auftreten kann, Hochleistungsbeton benutzt werden. Bei stärkerer Belastung ist zudem eine Innenauskleidung des Rohres vorzusehen [112]. Hierzu sind in Tabelle 42 unter anderem Vorgaben bezüglich allgemein technischer Vertragsbedingungen (ATV) an den pH-Wert gegeben.

Tabelle 42: Empfehlungen für Grenzwerte des Abwassers nach ATV-A 115 [51].

Parameter	Grenzwert
Absetzbare Stoffe	10 ml/l
pH-Wert	6,5 - 10
Temperatur	35°C

Besonders hervorzuheben ist der Werkstoff Stahl, da an ihn besonders hohe Anforderungen bezüglich Korrosion gestellt werden müssen. Der Korrosionsschutz von Stahlrohren muss sowohl auf Innenrohr- als auch Außenrohrseite aufgebracht werden [98]. Um einen andauernden Schutz des Innenrohrs gewährleisten zu können und Korrosionsschäden, welche sich in Form von allgemeinem Verlust und Reduktion des Materials, örtlicher und mikrobiologischer Korrosion, bis hin zur Spannungsrisskorrosion darstellen, zu vermeiden, stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- Anpassen der Konstruktions-/Betriebsbedingungen
- Wählen von korrosionsbeständiger Materialien
- Benutzen chemischer Zusätze
- Verwenden von Beschichtungen oder Auskleidungen
- Regelmäßige mechanische Reinigung [29]

An das Außenrohr von Stahl werden ähnliche Anforderungen gestellt, wie an das von duktilem Gusseisen. Dabei sollen alle Rohrleitungen eine Außenbeschichtung und einen kathodischen Korrosionsschutz aufweisen. Zudem wird bei hoher Korrosionswahrscheinlichkeit eine Verwendung von Korrosionszuschlägen, dauerhafter

Beschichtung oder Überzügen aus korrosionsbeständigen Legierungen notwendig [98]. Einige wichtige Anforderungen an die Außenbeschichtung betreffen elektrische Widerstandsfähigkeit, Verhinderung von Feuchtigkeitseintritt, Beibehaltung von Haftung der Beschichtung und der Rohrleitung, Aufnahme von Scherkräften, Alterungs-, Riss- und Sprödigkeitsbeständigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit [29].

Zudem können abhängig von verwendeter Art der Nutzung und des Ortes, an dem sich die Stahlrohrleitung befindet, diverse Umweltfaktoren, wie folgende, relevant werden:

- Umgebungstemperaturen
- Spezifischer Widerstand, Salz- und Sauerstoffgehalt der Umgebung
- Bakterientätigkeit
- Wasserströmung
- Tiefe der Erdverlegung
- Möglicher Einwuchs von Baumwurzeln
- Mögliche Bodenverschmutzung durch Kohlenwasserstoffe und andere Schadstoffe
- Ermittlung von Einflüssen auf den pH-Wert der Umgebung und möglicher Quellen von Streu- und Wechselströmen [29]

Eine Sanierung der Rohrleitung kann aufgrund vieler Schadensbilder notwendig werden. Zu diesen gehören, wie unter anderem in den Kapiteln 4.6 und 5 dieser Arbeit beschrieben wurde, korrosive Beschädigungen, mechanische Beschädigungen, statisches Versagen, der Einwuchs von Wurzeln und Undichtigkeiten [82]. Falls eine Deformation des Altrohres vorliegt, kann diese durch Kurzrohrlining behoben werden. Die Deformation darf dabei nicht mehr als 25 % und der Versatz des Rohrstrangs nicht mehr als 10 % betragen [82]. In Abbildung 44 ist links ein Altrohr dargestellt, welches Deformationen und Risse aufweist. Rechts ist der Zustand nach der Erneuerung dargestellt, wobei eine vollständige Wiederherstellung des Kreisquerschnitts und eine glatte Innenoberfläche erzielt wurde.



Abbildung 44: Relining eines Abwasserkanals aus Steinzeug anhand Kurzrohrlining bzw. Tight in Pipe - Verfahren mit einem PP-Neurohr. Links im Bild wird der Zustand vor der Sanierung gezeigt und rechts im Bild der Zustand nach der Anwendung des Verfahrens [18].

Für Sanierungsverfahren, welche im grabenlosen Leitungsbau verwendet werden können, sind in Tabelle 43 Nutzungsdauern dargestellt, die mit dem jeweiligen Verfahren erreicht werden können. Erneuerungsverfahren führen danach zur höchsten erreichbaren Nutzungsdauer von bis zu 120 Jahren. Renovierungsmaßnahmen erstrecken sich von einer Nutzungsdauer beginnend mit 40 Jahren bis zu möglichen 100 Jahren. Mit Reparaturmaßnahmen ist eine maximale Nutzungsdauer von 20 Jahren zu erzielen [59].

Tabelle 43: Nutzungsdauern von grabenlosen Sanierungsverfahren [59].

Sanierungsverfahren	Nutzungsdauer in Jahren
Erneuerung	
Rohrvortrieb	120
Berstverfahren	80 - 100
Renovierung	
Schlauchlining	40 - 50
Verformte Rohre	40 - 50
Kurz-/Langrohrlining	80 - 100
Wickelrohrverfahren	40 - 50
Beschichtungsverfahren	40 - 50
Reparatur	
Roboterverfahren	10 - 20
Kurzliner	10 - 20
Edelstahlmanschetten	10 - 20

In Tabelle 44 sind Aussagen über betrachtete Rohrmaterialien, betreffend Aspekten des eingebauten Zustandes und damit der Instandhaltung und Wartung, welche in diesem Kapitel erläutert wurden, noch einmal zusammenfassend dargestellt. Zu diesen zählen Lagesicherheit bzw. Auftriebssicherheit, Wandrauheit „k“, Ablagerungs-/Inkrustationsrisiko, Lebensdauer, Wurzelfestigkeit, Schwefelsäurekorrosions-Beständigkeit, Abriebwiderstand, statische Belastbarkeit, Längenänderungsbeständigkeit, Beschädigungswahrscheinlichkeit bei Reinigungsvorhaben, Sanierungsanfälligkeit, Wartungshäufigkeit und mögliche Betriebstemperatur. Hervorzuheben ist dabei die Wurzelfestigkeit. Diese können Rohre aus den Materialien Beton, Stahlbeton, duktilem Gusseisen und Steinzeug über mehrere Jahrzehnte problemlos erfüllen. Hingegen können Rohre aus den Materialien PE, PP und GFK keine so hohe Resistenz gegen Wurzeleinwuchs gewährleisten. Ein weiterer wichtiger Aspekt liegt in der Lagesicherheit. Rohrmaterialien mit einer höheren Wichte, wie unter Kapitel 4 dieser Arbeit aufgezeigt, haben dabei keine größeren Probleme die Lagesicherheit zu gewährleisten. Hingegen besteht bei leichteren Materialien wie PE, PP und GFK die Notwendigkeit zusätzliche Maßnahmen, z.B. in Form des Beschwerens der Rohre vorzusehen. Im Falle des Einsatzgebietes der Entwässerung weisen Kunststoffe aus den

Materialien PE und PP ebenso Nachteile auf. Bei diesen muss beachtet werden, dass die maximale Konzentration an Schwefelsäure 80% nicht übersteigen darf. Um dies zu vermeiden kann es notwendig werden, Rohrleitungen aus diesen Materialien öfter zu warten und zu sanieren. Als dementsprechend gering kann die Sanierungsanfälligkeit und Wartungshäufigkeit der anderen aufgeführten Materialien angesehen werden. Wie bereits in Kapitel 5.3 aufgezeigt wurde, kann mitunter der Abriebwiderstand zu einer Verlängerung der Nutzungsdauer beitragen. Im Verhältnis zu den anderen Materialien weisen Rohre aus Betonen und GFK geringere Werte auf, dennoch sind diese Abriebwerte genügend hoch, um im Falle von Beton- und Stahlbetonrohren eine Lebensdauer von 100 Jahren und mehr zu erzielen. Letztlich kann von den Werten „k“ der Wandrauheit betrachteter Rohrmaterialien auf das Ablagerungs- bzw. Inkrustationsrisiko geschlussfolgert werden. Bezüglich der Wandrauheit „k“ erreichen die Materialien Steinzeug, PE, PP und GFK geringere Werte als Rohrmaterialien aus Betonen oder duktilem Guss.

Tabelle 44: Aspekte bezüglich Eingebauten Zustands (Instandhaltung, Wartung) von Rohrmaterialien [107; 104; 112; 5; 56; 14].

Aspekte	Zementgeb. Stoffe		Stahl	Dukt. Guss	Steinzeug	Kunststoffe	
	Beton	Stahlbeton				PE,PP	GFK
Lagesicherheit / Auftriebssicherheit	✓	✓	✓	✓	✓	X ¹⁾	X ¹⁾
Wandrauheit k ²⁾	hoch	hoch	n.A.	hoch	gering	gering	gering
Ablagerungs-/Inkrustationsrisiko ²⁾	hoch	hoch	n.A.	hoch	gering	gering	gering
Lebensdauer in Jahren ³⁾	100+	100+	n.A.	100+	100+	50	50+
Wurzelfest	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
Schwefelsäurekorrosions-Beständigkeit	✓ ⁴⁾	✓ ⁴⁾	n.A.	✓	✓	X ⁵⁾	✓
Abriebwiderstand ²⁾	gering	gering	hoch	hoch	hoch	hoch	gering
statische Belastbarkeit ²⁾	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	gering	gering
Längenänderungsbeständig	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓ ⁶⁾
Beschädigungswahrscheinlichkeit bei Reinigung	gering	gering	n.A.	gering	gering	hoch	hoch
Sanierungsanfälligkeit	gering	gering	n.A.	gering	gering	hoch	gering
Wartungshäufigkeit	gering	gering	n.A.	gering	gering	hoch	gering
Betriebstemperatur	35°C-95°C ⁷⁾	35°C-95°C ⁷⁾	n.A.	n.A.	n.A.	n.A.	max. 80°

1) Mit zusätzlichen Maßnahmen möglich
 2) Werte im Verhältnis zueinander bewertet
 3) Praxiserfahrungen
 4) Verwendung hochfester Betone und Schutzummantelung kann notwendig sein
 5) Bis zu einer Konzentration von 80%
 6) Bis 80°C gegeben
 7) Nur kurzfristig möglich

6.6 Kontrollierter Rückbau

Als kontrollierter Rückbau wird im allgemeinen ein systematisch, selektiver und recyclinggerechter Abbau eines Bauteils oder Baustoffs bezeichnet. Das Ziel stellt die Gewinnung von Werkstoffen dar und zugleich eine Reduzierung der Abfallmenge [1].

Der kontrollierte Rückbau im grabenlosen Leitungsbau kann nur durch eine Erneuerung der Rohrleitung stattfinden. Das einzige dafür geeignete Verfahren stellt das, in Kapitel 3 dieser Arbeit erläuterte, Pipe-Eating dar. Die Möglichkeit, Materialien zu zerbersten und in den

Startschacht zu transportieren, besteht zudem ausschließlich für spröde Werkstoffe, wie unbewehrten Beton und Steinzeug [63]. Auf Grund dieser Information sollen nur diese Werkstoffe, für die Punkte Rückbau und Recycling Berücksichtigung finden.

Bei dem Überfahren des Altrohres bzw. dem Pipe-Eating wird das bestehende Rohr zerkleinert und das gewonnene Material mit Hilfe von Schnecken oder des Einsatzes von Druckluft in den Startschacht befördert. Dies ist in Abbildung 45 und Abbildung 46 dargestellt. Danach wird es durch Kübeltransport bis zur Oberfläche gebracht und kann dort zwischengelagert werden. Das Verfahren kann in fast alle Lockergesteinen und bei einem Nenndurchmesser von 800 mm und größer eingesetzt werden [80].



Abbildung 45: Überfahren eines Altrohres aus Steinzeug [6].



Abbildung 46: Abbau und Zerkleinerung des Altrohres aus Beton (links). Zerkleinertes Rohr aus unbewehrtem Beton (rechts) [81].

Werkstoffe, die in der Erde verbleiben müssen und nicht anhand grabenloser Verfahren entfernt werden können, sind alle betrachteten Kunststoffe, Stahlbeton, Gusseisen und Stahl.

6.7 Recycling

Durch Recycling kann einem bereits verbauten Werkstoff eine wiederholte Möglichkeit gegeben werden, diesen nochmals zu verwenden. Dabei können die gewonnenen Materialien wieder in den Wirtschaftskreislauf geführt und für die Produktion neuer Werkstoffe genutzt werden. Der Energieverbrauch, um Rohrmaterialien herzustellen ist enorm. Ein Rohr mit einem Durchmesser von DN 100 benötigt in etwa für Gusseisen 593 MJ/m, für PE-HD 109 MJ/m, für PP 68 MJ/m, für PVC 72 MJ/m und für Steinzeug 275 J/m [52]. Im Falle des grabenlosen Recyclings wird unbewehrter Beton oder Steinzeug nach einer Zerkleinerung weiterverwendet. Essentiell ist dabei eine sortenreine Sammlung der Materialien, damit diese wiederum verwendet werden können.

Es gibt generell große Unterschiede bei der Wahl von technischen Verfahren, welche für die Wiederverwendung zum Einsatz kommen. Im Allgemeinen findet eine Weiterverwendung des abgetragenen Materials statt oder eine Veredelung. Im grabenlosen Leitungsbau findet hauptsächlich eine neuerliche Verwendung des Materials statt [73].

In der DIN EN 16757: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Beton und Betonelemente werden einige mögliche Prozesse aufgezeigt, welche speziell für den Werkstoff Beton zum Einsatz kommen können. Diese Prozesse sind als Entsorgungsstadien in Abbildung 47 dargestellt und reichen von der Zerkleinerung des Betons, über die Lagerung und letztendliche Einstufung als Entsorgung bzw. Wiederverwendung. Das Material kann dabei verschiedenen Modulen zugeordnet werden. Modul C4 betrifft dabei nur wiedergewonnenen Beton, welcher nicht weiterverwendet werden kann und somit als Bauschutt auf einer Deponie entsorgt werden muss. Die Module D beschreiben diverse Nutzungen wie die Verwendung des zerkleinerten Betons als Primärmaterial für den Straßenbau [34, S.22].

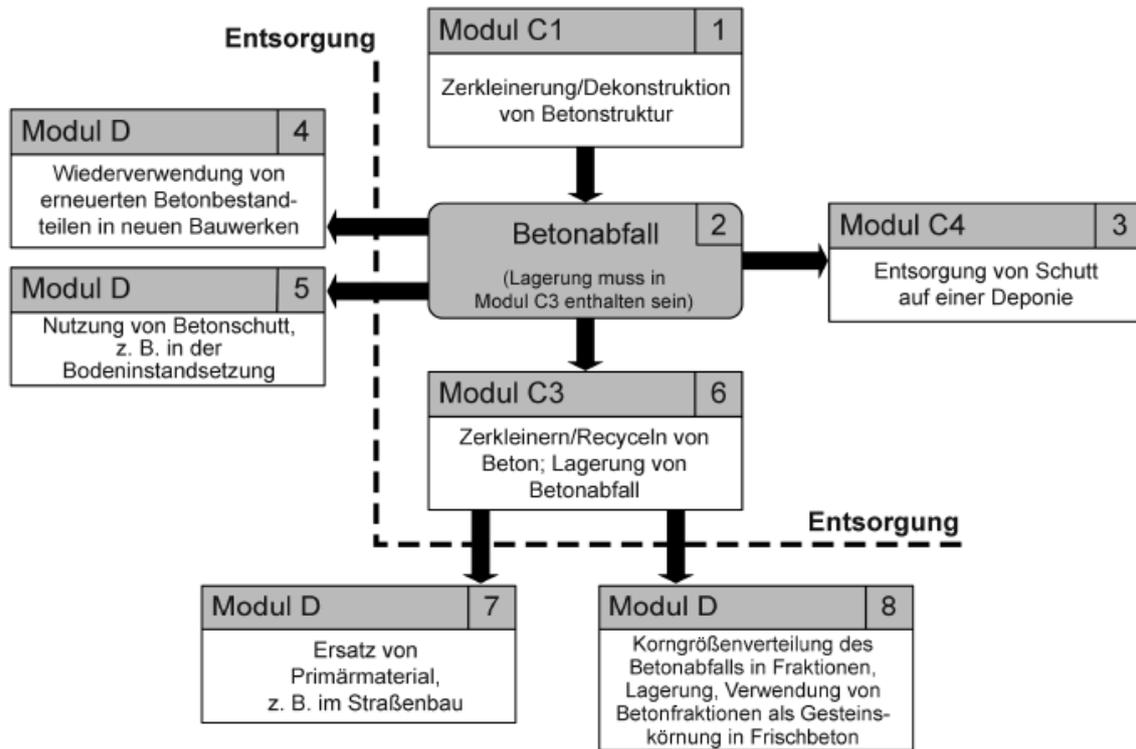


Abbildung 47: Prozesse zur Wiederverwendung von Beton und Betonprodukten [34, S.22].

Eine Expertise zur Umweltverträglichkeit von verschiedenen Werkstoffen, gibt zudem Möglichkeiten vor, um Steinzeug wiederzuverwenden. Es kann als mineralischer Bauschutt im Verkehrswegebau Verwendung finden oder kleingemahlen den Rohstoffen als Schamotte beigegeben werden [101, S.11].

7. Geeignete Wahl eines Materials bezüglich der Anforderung

Bei Rohrleitungssystemen soll eine möglichst hohe Nutzungsdauer geschaffen werden. Um dieses Ziel zu erreichen ist die geeignete Wahl eines Materials bezüglich seiner Anforderung notwendig [60, S.265]. Darüber gilt die Betrachtung von Einsatzgebiet, Dauerhaftigkeit, Einschränkung auf Wahl der grabenlosen Verfahren, Einflussparameter auf den Lebenszyklus, Brandverhalten, Kosten und die Notwendigkeit einer Legierung/Schutzumhüllung/Dämmung als erforderlich.

Zur Entscheidungsfindung soll Tabelle 45 dienen. Diese enthält alle in dieser Arbeit als relevant angenommenen Aspekte bezüglich Materialien, welche im grabenlosen Leitungsbau verwendet werden können. Dabei entspricht „+“ einem vorteilhaften Wert, „0“ einer neutralen Bewertung und „-“ einer im Vergleich zu den anderen Materialien schlechteren Bewertung. Wobei jedem Material pro Aspekt mit einem „+“ zwei Punkte zugewiesen werden, mit einer „0“ ein Punkt und „-“ entspricht null Punkten. Die höchste Summe der Punkte stellt das Rohrmaterial dar, welches am besten für das dementsprechend auszuführende Projekt geschaffen ist. Ein „leeres Feld“ bedeutet, in Bezug auf den oberen Teil der Entscheidungsmatrix, dass für das jeweilige Material keine Einsatzmöglichkeit für das zugehörige Einsatzgebiet möglich ist.

Es kann konstatiert werden, dass es nahezu für jedes Material diverse grabenlose Anwendungsmöglichkeiten gibt. Kunststoffe sind in der Praxis in etwa 50 Jahre erprobt, dennoch bieten sie ein breites Einsatzgebiet mit einem stetigen Wachstum an Rohrleitungssystemen. Hiervon ausgenommen ist das Material GFK, welches bisher nur im Bereich der Trinkwasserversorgung und Entwässerung mit Erfolg eingesetzt wird. Die vorhandenen Materialparameter ermöglichen den Verzicht auf Legierung oder Schutzumhüllungen. Diese sind im Gegenzug bei den Materialien Gusseisen und Stahl nicht wegzudenken. Der Angriff durch den Transport korrosiver Medien und den umgebenden Boden würde die Rohrwand im Laufe der Zeit beschädigen und die Nutzungsdauer des Rohrsystems beträchtlich herabsetzen. Dafür weisen Stahl und Gusseisen, wie auch Beton, Stahlbeton und Steinzeug eine sehr hohe und auch erwiesene Dauerhaftigkeit von 100 Jahren und mehr auf.

Zu beachten ist, dass nicht jedes Material für jedes Einsatzgebiet geeignet oder sogar verwendbar ist. Steinzeug hat, neben Beton aber gegenüber den anderen Materialien klare Vorteile bezüglich Rückbau und Recycling, da nur diese grabenlos Rückgebaut werden können. Der eingebaute Zustand verspricht nur ein geringes Ausmaß an Instandhaltung und Wartung. Dennoch findet Steinzeug nur im Bereich der Entwässerung Anwendung und ist dort im Einsatz grabenloser Verfahren gegenüber anderer Materialien eingeschränkt.

Zudem kann unbewehrter Beton hauptsächlich als Mediumrohr eingesetzt werden, da aufgrund seiner Eigenschaften kaum eine Möglichkeit besteht Belastungen durch grabenlose Technologien aufzunehmen [116].

Aufgrund der ähnlichen Anforderungen der betrachteten Rohrmaterialien fließt die Bewertung der Einflussparameter in den Lebenszyklusphasen Herstellung, Transport, Lagerung und Einbau nur bedingt mit in die Entscheidungsfindung ein. Daher werden diesen in der Entscheidungsmatrix die Werte „0“ zugewiesen.

Tabelle 45: Ausgewertete Entscheidungsmatrix zur Wahl eines Materials bezüglich seiner Anforderung. [107; 104; 112; 5; 56; 14].

Material		Zementgeb. Stoffe		Stahl	Steinzeug	Dukt. Guss	Kunststoffe	
		Beton	Stahlbeton				PE, PP, PVC-U	GFK
Einsatzgebiete								
Fernwärme				X ¹⁾			X ²⁾	
Trinkwasser		X ¹⁾	X	X		X	X ³⁾	X
Entwässerung		X ¹⁾	X	X	X	X	X	X
Erdgas/Erdöl				X		X	X ⁴⁾	
Strom							X ⁵⁾	
Telekommunikation							X ⁵⁾	
Infrastrukturkanal			X				X	
Einschränkung bzgl. grabenloser Verfahren		In Tabelle 31 "Mögliche Anwendung von Rohrmaterialien im grabenlosen Leitungsbau" gehen						
Dauerhaftigkeit		+	+	+	+	+	0	0
Einflussparameter	Herstellung/Transport/Einbau	0	0	0	0	0	0	0
	Eingebaut / Wartung	0	0	0	+	+	0	0
	Rückbau / Recycling	0	-	-	0	-	-	-
Brandverhalten		+	+	+	+	+	-	0
Kosten		+	+	0	0	-	+	0
Legierung / Dämmung	keine Notwendigkeit	+	+	-	0	-	+	+
1) Verwendung als Mediumrohr 2) Verwendung als Außenrohr 3) Verwendbare Materialien PE, PVC-U 4) Ausschließlich PE 80, PE 100 verwendbar 5) Ausführung als Kabelschutzrohr aus PE								

Als Beispiel sollen zwei Szenarien entwickelt werden. Das erste Szenario entspricht dem Neubau eines Abwasserkanals, mit einer Größe von DN 1500, in einer Großstadt. Es herrschen geringe Platzverhältnisse, da der Kanal direkt unter der Straße gebaut werden soll. Eine Einschränkung des städtischen Verkehrs ist aufgrund des großen Verkehrsaufkommens so gering wie möglich zu halten. Das Einsatzgebiet der Entwässerung lässt es zu, dass alle Rohrmaterialien dort Anwendung finden können. Dementsprechend ist als nächstes zu prüfen, welche Rohrmaterialien auf dem Gebiet der Neuverlegung durch grabenlose Verfahren unterstützt werden. Hierzu muss Tabelle 31

dieser Arbeit herangezogen werden. Aus jener Tabelle geht hervor, dass generell drei grabenlose Verfahren zur Auswahl stehen, um das Projekt erfolgreich durchführen zu können. Gewählt wird der Teilschnittvortrieb. Dieser bietet die Möglichkeit einer Durchführung mit den Rohrmaterialien Stahl, Steinzeug oder GFK. Die Entscheidungsmatrix dient nun der Bewertung der drei Rohrmaterialien. In diesem Fall weist das Material Stahl in den aufgelisteten Kriterien zweimal ein „+“, dreimal eine „0“ und zweimal ein „-“ auf. Das entspricht einer Auswertung von 7 Punkten. Steinzeug ist dreimal ein „+“ und viermal eine „0“. Das entspricht einer Bewertung von 10 Punkten. GFK ist dementsprechend einmal ein „+“, fünfmal eine „0“ und einmal ein „-“ zugewiesen. Somit ergibt sich für das Rohrmaterial GFK eine Gesamtanzahl von 7 Punkten. Steinzeug ist somit das Material, welches am besten für dieses Projekt abschneidet.

Das zweite Szenario soll eine Sanierung eines Abwasserkanals umfassen. Dieser befindet sich wie im ersten Szenario in einer Großstadt, aber weist diesmal einen Durchmesser von DN 1200 auf. Der aufkommende innerstädtische Verkehr soll wiederum so gering wie möglich gehalten werden und somit nur ein grabenloses Verfahren zum Einsatz kommen kann. Die Entscheidungsmatrix gibt zuerst vor, dass jedes der betrachteten Materialien zum Einsatz kommen kann. Bei Zuhilfenahme von Tabelle 31 kann unter dem Punkt Sanierung entschieden werden, welche Art der Sanierung ausgeführt werden soll. In diesem Fall wird eine Erneuerung gewünscht. Hierfür stehen wiederum viele Verfahren zur Auswahl. Es soll das Aufweit-Ziehverfahren ausgeführt werden, da das Altrohr dem neuen weiterhin als Schutz dienen soll. Bei Anwendung dieses grabenlosen Verfahrens können die Rohrmaterialien PE oder GFK gewählt werden. Die Auswertung mittels Entscheidungsmatrix ergibt für PE zweimal ein „+“, dreimal eine „0“ und zweimal ein „-“. Das ergibt eine Gesamtanzahl von 7 Punkten. Für das Material GFK ergibt sich ein „+“, fünfmal eine „0“ und einmal ein „-“. Das entspricht einer Gesamtzahl von ebenfalls 7 Punkten. Jetzt ist es möglich individuelle Ansprüche, die man an das Projekt stellt, weiter einfließen zu lassen und anhand dieser eine letztendliche Wahl zu treffen.

Es ist zu erkennen, dass dieses Modell der Entscheidungsfindung von Rohrmaterialien für den grabenlosen Leitungsbau eine grobe Richtung vorgibt. Diese soll es ermöglichen, Vorstellungen von Bauvorhaben im grabenlosen Leitungsbau zu konkretisieren. Im Speziellen soll damit auf Bauherrenseite mehr Transparenz geschaffen werden, was grabenlose Bauvorhaben betrifft. Dies kann unter Umständen zu einer schnelleren Entscheidung führen, welche auf der Grundlage dieser Entscheidungsmatrix beruht. Damit kann die Kommunikation von Bauherren und Unternehmen gleichermaßen vereinfacht und darüber hinaus ein gemeinsamer Ausgangspunkt geschaffen werden.

8. Innovationen und Fazit

Es ist heutzutage möglich, nahezu alle Rohrleitungstrassen planen und ausführen zu lassen. Um auf diesem Weg in Zukunft weiter voranschreiten zu können, helfen grabenlose Verfahren und die bei diesen zu verwendeten Rohrmaterialien. Es sind dabei Materialien zu wählen, welche optimale Anforderungen bezüglich des Rohrleitungssystems, des umgebenden Bodens und der Lage im Gelände erfüllen können. Im Laufe der Jahrzehnte konnten einige der betrachteten Materialien, hinsichtlich ihrer Festigkeit, Resistenz und Leistungsfähigkeit optimiert werden. Neue Optionen bietet das breite Angebot an Schutzhüllungen, Beschichtungen und Dämmstoffen. Diese Schutzmaßnahmen stellen für einige Rohrmaterialien einen essentiellen Nutzen dar. Mit einer Verbesserung des Schutzes kann somit auch die Nutzungsdauer des Materials erhöht und seine Anfälligkeit gegen Schäden und Einflüsse verringert werden.

Zudem müssen Sicherheitsvorkehrungen, welche bezüglich des Rohrleitungssystems zu treffen sind, mehr beachtet und ausgebaut werden. Dazu zählt vor allem das Verhindern von Schäden. Falls bereits ein Schadensfall vorliegt, muss dieser zeitig erfasst und behoben werden. Denn Kosten, die bei einem solche Schaden anfallen, sind enorm und können durch zeitiges Einschreiten und weniger anfällige Materialien vermindert werden.

Dennoch soll einher damit die Sicherstellung von Planungsentscheidung aufrechterhalten und sogar verbessert werden. Zudem können Einflüsse auf das Rohrmaterial und das zu verwendende grabenlose Verfahren verringert werden. Diese Einflüsse spiegeln sich in Aspekten, wie der Bodenart, der Verkehrslast und dem Rohrwerkstoff selbst, wieder [54].

8.1 Innovationen

Probleme die bisher auftreten, liegen unter anderem in der Befahrbarkeit der Rohrleitung. Die GmbH JT-elektronik aus Lindau hat hierzu eine Lösung parat. Mit der „Lindauer Schere“¹⁸ wird hierbei eine Möglichkeit geschaffen, verzweigte Entwässerungssysteme zu kontrollieren und zu reinigen. Zudem können mithilfe des Systems Stör- und Schadensbilder dokumentiert und die genaue Örtlichkeit und Lage bestimmt werden. Das Lagemess-System „ASYS 3D“¹⁹, welches ebenso von der JT-elektronik GmbH stammt, ermöglicht eine dreidimensionale, georeferenzierte Ermittlung der Verläufe von Rohrleitungssystemen. Dadurch können unter anderem

¹⁸ Injektionstechnik, die speziell zur Kontrolle verzweigter Entwässerungssysteme verwendet wird.

¹⁹ Elektronisches Lagemess-System, welches eine genaue, georeferenzierte und dreidimensionale Ermittlung unterirdischer Lageverläufe von Grundstücksentwässerungsanlagen ermöglicht.

Grundstücksentwässerungsanlagen topologisch sauber und als 3-D Modelle visualisiert werden [64].

Für verstopfte oder mit Hindernissen versehene, gerade Rohrleitungen werden Fräsroboter eingesetzt. Diese können für Dimensionen von DN 150 bis zu DN 600 Verwendung finden. Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen in der Vorbereitung von Inliner-Arbeiten und dem Einsatz des Öffnens und Reinigens von Zuläufen im bereits gelinerten Rohr. Neue Technologien ermöglichen dabei Fräsroboter zu fertigen, welche leistungsfähiger sind und verbesserte, elektro-hydraulische Funktionen aufweisen. Dadurch können Ausbesserungsarbeit in kürzeren Zeiten und somit wirtschaftlicher ausgeführt werden [64].

Eine innovative Lösung würden Sensoren in der Rohrwand darstellen, welche ein zeitiges Erkennen von unüblichen Belastungen oder Beschädigungen ermöglichen. Dabei sollen die bestehenden Rohrleitungen durch 3-D Modelle dargestellt und in Echtzeit überprüft werden. Die Einteilung zu vorliegenden Rohrschäden erfolgt in Kategorien und darauf eine sofortige Reparatur von stark ausgebildeten Schäden. Dies ist ebenso relevant für die in Zukunft errichteten Rohrleitungen. Vor allem in Großstädten werden in den nächsten Jahren weitere Rohrleitungen notwendig, um Bedürfnisse der Menschen weiterhin, in bestehendem Maße, decken zu können. Dafür ist eine genaue und rechtzeitige Ermittlung, Darstellung und Aufzeichnung von Schadensbildern unbedingt notwendig.

Hierzu hat die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Deutschland vor zwei Jahren ein Projekt in die Wege geleitet, um Rohrleitungssysteme kontinuierlich überwachen und entstehende Schadstellen frühzeitig erkennen zu können. Die Machbarkeitsstudie umfasst eine an das Material aufgebrachte akustische und faseroptische Sensorik²⁰ [55]. Mit sogenannten vibro-akustischen Sensorfasern²¹ ist es möglich anhand von Geräuschen, die in Rohrleitungen entstehen, schadhafte Stellen ausfindig zu machen. Es wird angestrebt, bei einem geringen Aufwand an Installationen, weitläufige Rohrleitungssysteme möglichst auf ihre gesamte Nutzungsdauer hin zu überwachen. Dabei wird für verschiedene Sensorfasern und in der Art ihrer Aufbringung ein Vergleich durch genaue Messungen geschaffen. Eine exakte Messung wird durch eine Sensitivitätsanalyse erreicht, indem das Messsystem auf seine Empfindlichkeit geprüft wird [55]. Zudem erfolgt ein Vergleich des Messsystems mit herkömmlichen akustischen Sensoren und ähnlichen Verfahren, wie der Laservibrometrie²².

²⁰ Spezieller Sensor auf Grundlage von Lichtwellenleitern. Messungen werden durch optische Größen repräsentiert anstatt von elektrischen.

²¹ Sensorfasern, die es ermöglichen Vibrationen und Klänge gleichermaßen zu untersuchen.

²² Messung mechanischer Schwingungen anhand eines Lasers.

Ein realistisches Modell unter realitätsnahen Bedingungen hilft dabei entstehende Schadensbilder zu charakterisieren. Um einen Vergleich schaffen zu können werden die Versuche an unbeschädigten und beschädigten Rohrsystemen durchgeführt. Es werden in gleichem Maße statische und dynamische Druckbelastungen aufgebracht. Zudem werden die Rohrsysteme unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt. Anhand dieser Aspekte kann eine Untersuchung erfolgen, welche Aufschluss gibt über Veränderungen der entstehenden Geräusche. Durch Klangbilder, welche mithilfe der aufgebrachten Sensorik ermittelt werden und dazu passende Referenzmessungen, sollen Schäden frühzeitig erkannt und behoben werden [55].

Diese Versuche werden zwar am freiliegenden Rohrsystem durchgeführt, dennoch ist bei erfolgreicher Umsetzung eine grabenlose Anwendung denkbar. Da durch die jeweiligen Rohrhersteller die Sensorik direkt implementiert werden kann. Eine Weiterentwicklung der Sensorik schafft sogar die Option, Belastungen auf verschiedene Rohrmaterialien, die während dem Einsatz grabenloser Technologien entstehen, aufzuzeichnen und dementsprechend grabenlose Verfahren oder das Rohrmaterial selbst weiter zu optimieren.

8.2 Fazit

Durch die Verwendung der unter Kapitel 7 dargestellten Entscheidungsmatrix lässt sich ein Vergleich der betrachteten Rohrmaterialien erzielen, um Planungsentscheidungen, welche den grabenlosen Leitungsbau betreffen, für Bauherren transparenter und übersichtlicher zu gestalten. Es ist möglich anhand eines gewünschten Einsatzfeldes, einer groben Vordimensionierung des Durchmessers einer Rohrleitung und der Verwendung der Entscheidungsmatrix zu ermitteln, welches grabenlose Verfahren gewählt werden kann und welches Material den besten Nutzen zum grabenlosen Bau einer Rohrleitung verspricht.

Dabei wurden in dieser Arbeit grabenlose Verfahren und Einsatzgebiete beschrieben und Aspekte, bezogen auf die einzelnen Lebenszyklusphasen von betrachteten Rohrmaterialien im grabenlosen Leitungsbau, analysiert und herausgearbeitet. Durch einen Vergleich dieser Aspekte wird die Wahl eines passenden Rohrmaterials im grabenlosen Leitungsbau erleichtert. Die betrachteten Aspekte gliedern sich in die Lebenszyklusphasen „Herstellung“, „Transport“, „Lagerung“, „Einbau“, „Eingebauter Zustand“ (Instandhaltung, Wartung), „Kontrollierter Rückbau“ und „Recycling“. Um diese genau auswerten zu können wurde im Vorfeld, neben der Betrachtung von Materialkennwerten der einzelnen anwendbaren Materialien, ihre Dauerhaftigkeit und ihr Brandverhalten analysiert. Beginnend mit der Phase der Herstellung eines Rohrmaterials, welches für den Einsatz bei grabenlosen Verfahren gefertigt wird, ergeben sich ähnliche Anforderungen aller Rohrmaterialien. Eine Unterscheidung in der Bewertung wurde anhand der Notwendig einer

Auskleidung oder Umhüllung jener Materialien erreicht. Ähnliches gilt für die Phasen Transport und Lagerung einer Rohrleitung. Zitierte Hersteller geben in etwa dieselben hohen Anforderungen an ausgelieferte Rohrmaterialien an. Somit ist ein Vergleich betreffend Auslieferung und Maßnahmen, welche währenddessen anfallen, nicht zielführend. Folglich wurde nur der eine verbleibende Aspekt, die Witterungsunabhängigkeit der einzelnen Rohrmaterialien, betrachtet. Bei der Analyse der Einbauphase einer Rohrleitung, mithilfe grabenloser Verfahren, sind die Aspekte Platzanforderung, Witterungsunabhängigkeit und Verformungsunabhängigkeit hervorzuheben. Alle Materialien benötigen abhängig vom gewählten grabenlosen Verfahren mehr oder weniger Platz. Einige können als fertig dimensioniertes Rohrstück, andere als aufgerollter Schlauch hergestellt und auf die Baustelle transportiert werden. Dennoch können einige Rohrmaterialien nicht platzsparend oder aufgerollt auf die Baustelle gebracht werden und haben, bezüglich Platzanforderungen, das Nachsehen und erhalten somit einen Abzug in der Bewertung. Der Aspekt der Verformungsunabhängigkeit wurde unter Zuhilfenahme der Materialeigenschaften von betrachteten Rohrmaterialien bewertet. Die aussagekräftigste und längste Lebenszyklusphase stellt der eingebaute Zustand einer Rohrleitung dar. Dieser Abschnitt des Lebenszyklus zeigt, dass es wichtig ist, ein Rohrmaterial zu wählen, welches eine lange Nutzungsdauer vorgibt. Dabei soll die Rohrleitung selbst einen möglichst geringen Wartungsaufwand und kaum Reparaturarbeiten verursachen. Es wurde gezeigt, dass z.B. die Wandrauheit „k“ großen Einfluss auf das Ablagerungs- und Inkrustationsrisiko einer Rohrleitung nimmt. Zudem wurde herausgearbeitet, welche Rohrmaterialien eher gegen den Einwuchs von Wurzeln geschützt sind und welche, vor allem im Bereich der Entwässerung durch vorkommende Ablagerungen, anfälliger gegen Schwefelsäurekorrosion sind. Abgeleitet aus den Aspekten der Wurzelfestigkeit, der statischen Belastbarkeit, des Ablagerungs- und Inkrustationsrisikos und vorgegebener Lebensdauer wurden Sanierungsanfälligkeit und Wartungshäufigkeit der Rohrmaterialien bewertet. Die Lebenszyklusphase des Rückbaus und Recyclings wurde auf die Möglichkeit, Materialien anhand grabenloser Verfahren wieder aus dem Boden herausholen zu können, beschränkt. Dies ist im Moment nur mit dem grabenlosen Verfahren des Pipe-Eatings machbar und auch nur bei zwei verbauten Rohrmaterialien. Diese wurden bei der Erstellung der Entscheidungsmatrix dementsprechend besser bewertet.

9. Literatur

9.1 Buch-, Internet- und Normenverzeichnis

- [1] ABW-Recycling, 2013. Vorlesung C/Kapitel 8: Kontrollierter Rückbau. [pdf]:
Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung e.V. Verfügbar unter: http://www.abw-recycling.de/Lehre/WS_13-14/Modul%20C/8KontrollierterRueckbau.pdf
[zuletzt abgerufen am 24.04.2017]
- [2] Achmus, M., Wilmsmeier, D., 2017. Grabenlose Verlegung von Fernwärmeleitungen.
[Online] Verfügbar unter: <https://www.igth.uni-hannover.de/375.html>
[zuletzt abgerufen am 21.04.2017]
- [3] AGFW Projekt GmbH, et al., o.D. Grabenloser Fernwärmeleitungsbau. [Online]
Verfügbar unter: <https://www.agfw.de/forschung-und-innovation/laufende-projekte/grabenloser-leitungsbau/> [zuletzt abgerufen am 21.04.2017]
- [4] Agru Kunststofftechnik GmbH, 2016. Agruline. Rohrsysteme für Gas, Wasser & Abwasser. [pdf] Bad Hall: Agru Kunststofftechnik GmbH. Verfügbar unter:
http://www.agru.at/fileadmin/user_upload/Prospekte/AGRULINE/Katalog/KAT_AGRULINE_12_2016_WEBSC.pdf [zuletzt abgerufen am 20.04.2017]
- [5] Agru, 2016. (Industrierohrsysteme aus Kunststoffen. Materialeigenschaften, Verlegerichtlinien, Kalkulationsrichtlinien, Verbindungstechnik, Doppelrohrsystem, Zulassung und Normen). [pdf]: Agru. Verfügbar unter:
http://www.agru.at/fileadmin/user_upload/Prospekte/INDUSTRIEROHRSYSTEME/Industrie TI 2016 d.pdf [zuletzt abgerufen am 24.07.2017]
- [6] ARS-Rohrvortrieb, o.D., Pipeeating. [Fotografie online] Verfügbar unter: http://ars-rohrvortrieb.de/pic/pipeeating_2.jpg [zuletzt abgerufen am 25.07.2017]
- [7] Bauforum Rheinland-Pfalz GbR, 2014. Nachhaltige Erschließung. Ökologische und wirtschaftliche Chancen bei der Erschließung durch begehbare Leitungsgänge. [pdf]
Mainz: Institut für Bauforschung e.V. Verfügbar unter:
http://www.bauforschung.de/docs/aktuelles/ifb_320668583.pdf
[zuletzt abgerufen am 22.04.2017]
- [8] Baunetz_Wissen, o.D. Brandverhalten von Beton. [Online] Verfügbar unter:
<https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/brandschutz/brandverhalten-von-beton-151152> [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]
- [9] Berding Beton, o.D. Ein Infrastrukturkanal der es in sich hat. [Online] Verfügbar unter:
<http://www.berdingbeton.de/news/news-archiv/infrastrukturkanal/>
[zuletzt abgerufen am 22.04.2017]

- [10] Berger, C., et al., 2016. Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. [pdf] Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Verfügbar unter:
http://de.dwa.de/tl_files/media/content/PDFs/Abteilung_WAW/ES/Kanalumfrage/Zustand%20der%20Kanalisation%202015.pdf [zuletzt abgerufen am 23.04.2017]
- [11] Berndt, 2013. Stutzen-/Abzweigsanierung. [Fotografie online]: Berndt Rohr- und Kanalservice GmbH. Verfügbar unter: http://www.rks-berndt.de/images/jpg_gross/stutzensanierung_03.jpg [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [12] Berndt, 2013. Stutzen-/Abzweigsanierung fertiggestellt. [Fotografie online]: Berndt Rohr- und Kanalservice GmbH. Verfügbar unter: http://www.rks-berndt.de/images/jpg_gross/stutzensanierung_05.jpg [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [13] Bonnet, M., 2009. Kunststoffe in der Ingenieuranwendung. GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- [14] DIN 19695:2014: Befördern und Lagern von Rohren, Formstücken und Schachtfertigteilen aus Beton und Stahlbeton. Berlin: Beuth
- [15] DIN 1986-4:2011: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 4: Verwendungsbereiche von Abwasserrohren und -formstücken verschiedener Werkstoffe. Berlin: Beuth
- [16] DIN 2000:2017: Zentrale Trinkwasserversorgung – Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen. Berlin: Beuth
- [17] DIN 30675-1:2017: Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 1: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl. Berlin: Beuth
- [18] DIN 30675-2:2017: Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 2: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus duktilem Gusseisen. Berlin: Beuth
- [19] DIN 4102-4:2016: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Berlin: Beuth
- [20] DIN EN 10204:2004: Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen. Berlin: Beuth
- [21] DIN EN 10224:2002: Rohre und Fittings aus unlegiertem Stahl für den Transport von Wasser und anderen wässrigen Flüssigkeiten – Technische Lieferbedingungen. Berlin: Beuth

- [22]** DIN EN 10240: 1997: Innere und/oder äußere Schutzüberzüge für Stahlrohre. Festlegungen für durch Schmelztauchverzinken in automatisierten Anlagen hergestellte Überzüge. Berlin: Beuth
- [23]** DIN EN 1123-1:1999: Rohre und Formstücke aus längsnahtgeschweißtem, feuerverzinktem Stahlrohr mit Steckmuffe für Abwasserleitungen. Berlin: Beuth
- [24]** DIN EN 12889:2000: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Berlin: Beuth
- [25]** DIN EN 13476-1:2016: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Rohrleitungssysteme mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP), und Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Leistungsmerkmale. Berlin: Beuth
- [26]** DIN EN 13480-1:2012: Metallisch industrielle Rohrleitungen – Teil 1: Allgemeines. Berlin: Beuth
- [27]** DIN EN 13480-3:2014: Metallisch industrielle Rohrleitungen – Teil 3: Konstruktion und Berechnung. Berlin: Beuth
- [28]** DIN EN 13480-6:2014: Metallische industrielle Rohrleitungen – Teil 6: Zusätzliche Anforderungen an erdgedeckte Rohrleitungen. Berlin: Beuth
- [29]** DIN EN 14161:2015: Erdöl- und Erdgasindustrie – Rohrleitungstransportsysteme (ISO 13623:2009 modifiziert). Berlin: Beuth
- [30]** DIN EN 14457:2004 Allgemeine Anforderungen an Bauteile, die bei grabenlosem Einbau von Abwasserleitungen und -kanälen verwendet werden. Berlin: Beuth
- [31]** DIN EN 15001-1:2011: Gasinfrastruktur – Gas-Leitungsanlagen mit einem Betriebsdruck größer 0,5 bar für industrielle Installationen und größer 5 bar für industrielle und nicht-industrielle Installationen – Teil 1: Detaillierte funktionale Anforderungen an Planung, Material, Bau, Inspektion und Prüfung. Berlin: Beuth
- [32]** DIN EN 1555-1:2010: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 1: Allgemeines. Berlin: Beuth
- [33]** DIN EN 1594:2013: Gasinfrastruktur – Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar – Funktionale Anforderungen. Berlin: Beuth
- [34]** DIN EN 16757:2016: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Beton und Betonelemente. Berlin: Beuth
- [35]** DIN EN 1916:2002: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton. Berlin: Beuth
- [36]** DIN EN 1992-1-1 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Berlin: Beuth

- [37]** DIN EN 253:2015: Fernwärmerohre – Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze – Verbund-Rohrsystem, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen. Berlin: Beuth
- [38]** DIN EN 295-1:2013: Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und Verbindungen. Berlin: Beuth
- [39]** DIN EN 639:1994: Allgemeine Anforderungen für Druckrohre aus Beton, einschließlich Rohrverbindungen und Formstücke. Berlin: Beuth
- [40]** DIN EN 752:2008: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Kanalmanagement. Berlin: Beuth
- [41]** DIN EN 969:1997: Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Gasleitungen – Anforderungen und Prüfverfahren. Berlin: Beuth
- [42]** DIN EN ISO 11296-1:2009: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 1: Allgemeines. Berlin: Beuth
- [43]** DIN EN ISO 11296-4:2011: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining. Berlin: Beuth
- [44]** DIN V 1201:2004: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton für Abwasserleitungen und -kanäle. Berlin: Beuth
- [45]** DIN VDE 0815:1985: Installationskabel und -leitungen für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen. Berlin: Beuth
- [46]** Duktus, 2014. Duktile Gussrohrsysteme für Trinkwasser. [pdf] Wetzlar: Duktus Rohrsysteme Wetzlar GmbH. Verfügbar unter: http://www.duktus.com/fileadmin/Daten/Katalog/TW_Katalog_09.14_web.pdf [zuletzt abgerufen am 21.04.2017]
- [47]** Einfach Clevere Produkte (ECP), o.D. GFK-Sanierungselemente. [Online] Verfügbar unter: <http://www.ecp-gfk.de/produkte/wandbekleidung/gfk-sanierungselemente/> [zuletzt abgerufen am 21.07.2017]
- [48]** Energie-Control, 2017. Gasnetz. [Online] Verfügbar unter: <https://www.energie-control.at/industrie/gas/gasnetz> [zuletzt abgerufen am 23.04.2017]
- [49]** Fabri, T., 2009. Sicherheitsdatenblatt. Erdgas-Flüssiggas-Luft-Gemisch. [pdf] Bochum: Stadtwerke Bochum GmbH. Verfügbar unter: http://www.stadtwerke-bochum.de/etc/medialib/stwbo/PDF/PDF_Strom_Gas_Wasser_Fernwaerme.Par.0133.File.tmp/Stadtwerke_Bochum_GmbH_Sicherheitsdatenblatt_Erdgas-Fluessiggas-Luft-Gemisch.pdf [zuletzt abgerufen am 23.04.2017]

- [50] Fibrolux GmbH, 2017. Werkstoffkennwerte. [Online] Verfügbar unter: <http://fibrolux.com/de/main/wissenswertes/kennwerte/> [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]
- [51] Flöser, V., o.D. Aktuelle Rechtslage bei der Einleitung von Abwasser aus Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung und Möglichkeiten der Abwasservorbehandlung. [pdf] Hannover: Ingenieurbüro Flöser. Verfügbar unter: http://floeser.de/vf_download/abwasser1.pdf [zuletzt abgerufen am 22.07.2017]
- [52] Forum Nachhaltiges Bauen, 2017. Abwasserrohre Ökobilanz. [Online] Verfügbar unter: <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Abwasserrohre> [zuletzt abgerufen am 24.04.2017]
- [53] Görg, H., Krüger, A., 2011. Zukunft des grabenlosen Leitungsbaus: Perspektiven, Herausforderungen und Chancen. [pdf] Siegen: Universität Siegen, Fachgebiet Abwasser- und Abfalltechnik. Verfügbar unter: <https://www.nodig-bau.de/doks/pdf/Fachbericht-12-12-2011-1.pdf> [zuletzt abgerufen am 22.04.2017]
- [54] Güteschutz Kanalbau e.V., 2017. Voraussetzung für langlebige Leitungen und Kanäle. [Online] Verfügbar unter: <https://www.nodig-bau.de/Nachrichten/Voraussetzung-fuer-langlebige-Leitungen-und-Kanaele-3519.html> [zuletzt abgerufen am 29.08.2017]
- [55] Habib, K., 2016. Projekt. Frühwarnsystem für Rohrleitungsschäden. [Online] Verfügbar unter: <https://www.bam.de/Content/DE/Projekte/Infrastruktur/fruehwarnsystem-rohrleitungsschaeden.html> [zuletzt abgerufen am 31.08.2017]
- [56] Hobas, 2016. Hobas Abwasserrohrsysteme. [pdf]: Hobas Rohres GmbH. Verfügbar unter: http://www.hobas.de/fileadmin/Daten/PUBLIC/Brochures_World_pdf/DE/1605_HOBAS_Abwasserrohrsysteme_web.pdf [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]
- [57] Hobas, 2016. Hobas GFK-Rohrsysteme. Transport, Verlegung & Wartung. [pdf]: Hobas. Verfügbar unter: http://www.hobas.de/fileadmin/Daten/HobasGermany/Brochures_pdf/Installation_Manual_20160613_D.PDF [zuletzt abgerufen am 20.04.2017]
- [58] Hobas, o.D. Materialkennwerte. [pdf]: Hobas. Verfügbar unter: <http://www.hobas.at/fileadmin/Daten/HobasAustria/Documents/Materialkennwerte.pdf> [zuletzt abgerufen am 25.07.2017]
- [59] Hölterhoff, J., 2012. Wirtschaftlichkeit, Nutzungsdauer, Abschreibungszeiten beim grabenlosen Leitungsbau. [pdf] Berlin: Hochschule Wismar. Verfügbar unter: <http://www.deutscher-schlauchlinertag.de/print/2012/Hoelterhoff.pdf> [zuletzt abgerufen am 22.07.2017]
- [60] Horlacher, H.-B., Helbig, U., 2016. Rohrleitungen 1, Grundlagen, Rohrwerkstoffe, Komponenten. Springer Verlag GmbH, Berlin Heidelberg.

- [61] Informationsdienst Bine, 2004. Dämmung von Rohrleitungen mit PUR-Schäumen. [Online] Verfügbar unter: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/daemmung-von-rohrleitungen-mit-pur-schäumen/> [zuletzt abgerufen am 21.04.2017]
- [62] Innorat GmbH, 2017. Längenausdehnungskoeffizient verschiedener Werkstoffe. [Online] Verfügbar unter: http://www.innorat.ch/L%C3%A4ngenausdehnungskoeffizient_u2_73.html [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]
- [63] Jodl, H.G., et al., 2017. Verfahrensbeschreibungen im Grabenlosen Leitungsbau. [pdf] Wien: Österreichische Vereinigung für Grabenlosen Leitungsbau (ÖGL). Verfügbar unter: http://www.grabenlos.at/de/symposium-grabenlos/archiv/symposium-grabenlos-2017.html?file=files/pdf-symposium/Symposium-2017/Verfahrensbeschreibungen_Druck.pdf [zuletzt abgerufen am 20.04.2017]
- [64] JT-elektronik GmbH, 2017. Praxisbewährte Kanalinspektionstechnik und Weiterentwicklungen auf der RO-KA-TECH 2017. [Online] Verfügbar unter: <https://www.nodig-bau.de/Nachrichten/Praxisbewaehrte-Kanalinspektionstechnik-und-Weiterentwicklungen-auf-der-RO-KA-TECH-2017-3515.html> [zuletzt abgerufen am 29.08.2017]
- [65] Kanalkonkret, o.D. Pipe-Eating. [Fotografie online] Verfügbar unter: <http://217.91.74.99/kanalkonkret/images/pipe-eating.JPG> [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [66] Kanal-Türpe, o.D. Kanalsanierung. [Fotografie online]: Kanal-Türpe Döben GmbH & Co.KG. Verfügbar unter: https://www.kanal-tuerpe-sachsen.de/fileadmin/_processed_/5/0/csm_phpufJIP20101123155918_846c741415.jpg [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [67] Kiesselbach, G., Finzel, W., 2006. PE-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserversorgung. Vulkan-Verl., Essen
- [68] Kilian, o.D. Edelmanschetten & Linerendmanschetten. [Fotografie online]: Kilian GmbH. Verfügbar unter: http://www.kiliangmbh.de/qw_typo3/uploads/pics/edelmanschetten-kanalsanierung.jpg [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [69] Klöckner Stahlrohre, o.D. Stahlrohre. Das Klöckner Konstruktionshandbuch. [pdf]: Klöckner Stahlrohre. Verfügbar unter: <http://www.innovaconstruction.de/files/kloeckner-stahlrohre.pdf> [zuletzt abgerufen am 20.04.2017]
- [70] Kocks, H.-J., 2004. Betrieb und Instandhaltung von Stahlrohrleitungen. [pdf]: gwf Gas + Energie. Verfügbar unter: <http://www.corrotec.de/Dokumente/Instandhaltung.pdf> [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]

[71] Kocks, H.-J., 2008. Das Stahlrohr für grabenlose Bauweisen. [pdf] Siegen: Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH. Verfügbar unter:

<http://www.corrotec.de/Dokumente/hdddeutsch.pdf> [zuletzt abgerufen am 21.04.2017]

[72] Kraft&Wärme, o.D. Berstlining Verfahren (Aufweit-Ziehverfahren). [Fotografie online]: Kraft & Wärme Rohr-und Anlagentechnik GmbH. Verfügbar unter:

http://www.kw.co.at/fileadmin/_processed_/csm_ls_berstlining_verfahren_04_4697afc4dd.jpg [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[73] Lexikon der Nachhaltigkeit, 2015. Recycling und Wiederverwertung. [Online] Verfügbar unter:

https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/recycling_und_wiederverwertung_1656.htm [zuletzt abgerufen am 24.04.2017]

[74] Lorenz-Bau, o.D. Pflugverfahren. [Fotografie online]: Lorenz Bau GmbH.

Verfügbar unter: http://www.lorenz-bau.de/assets/images/Bild_09_Kopie.jpg

[zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[75] Mannesmann-Linepipe, o.D. Zementmörtel-Auskleidung. [Fotografie online]:

Mannesmann Line Pipe GmbH. Verfügbar unter: <http://www.mannesmann-linepipe.com/fileadmin/footage/MEDIA/gesellschaften/smlp/Pictures/ZM-Auskleidung.jpg>

[zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[76] Miehe, M., 2014. Dämmstandards von Fernwärmeleitungen. [pdf]: Fachverband

Sanitär Heizung Klima NRW. Verfügbar unter: http://www.ikz.de/uploads/media/50-55_Daemmstandards.pdf [zuletzt abgerufen am 21.04.2017]

[77] Niederehe, W., 2005. Hydraulische Bemessung von Abwasserleitungen und -kanälen. [pdf] Bonn: Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS).

Verfügbar unter: <https://www.haba-beton.com/daten/fbs-hydraulische-bemessung.pdf> [zuletzt abgerufen am 21.07.2017]

[78] Niederehe,W., 2010. Technisches Handbuch. [pdf] Bonn: FBS-Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. Verfügbar unter:

http://www.fbsrohre.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/technisches-handbuch.pdf

[zuletzt abgerufen am 20.04.2017]

[79] Niederehe, W., o.D. Vergleich der wesentlichen Eigenschaften von PE-HD-Rohren und Rohren aus Beton und Stahlbeton. [pdf]: Fachvereinigung Betonrohre und

Stahlbetonrohre e.V. (FBS). Verfügbar unter: <https://www.haba-beton.com/daten/fbs-vergleich-eigenschaften.pdf> [zuletzt abgerufen am 21.07.2017]

[80] Nodig-Bau, o.D. Pipe Eating. Auch Crush-Lining Technologie genannt. [Online]

Verfügbar unter: https://www.nodig-bau.de/?cmd=techniques&object_id=13

[zuletzt abgerufen am 24.04.2017]

- [81] Nodig-Bau, o.D. Pipeeating. [Fotografie online] Verfügbar unter: https://www.nodig-bau.de/doks/jpg/pipeeating_Bild12.jpg [zuletzt abgerufen am 25.07.2017]
- [82] Nodig-Bau, o.D. Tight-in-Pipe Verfahren. [Online] Verfügbar unter: https://www.nodig-bau.de/?cmd=techniques&object_id=18 [zuletzt abgerufen am 22.07.2017]
- [83] Nodig-Bau, o.D. Wickelrohrverfahren. [Fotografie online] Verfügbar unter: <https://www.nodig-bau.de/doks/jpg/Sekisui-Wickelrohrverfahren-Bild-1.jpg> [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [84] Oldenburger Rohrleitungsforum, 29., Oldenburg, 2015. 29. Oldenburger Rohrleitungsforum 2015, Rohrleitungen im Wärme- und Energietransport, Tagungsband zum 29. Oldenburger Rohrleitungsforum 2015. Vulkan-Verl., Essen.
- [85] Österreich Aqendo GmbH, o.D. Inliner. Die Technik, das Verfahren. [Online] Verfügbar unter: <http://www.aqendo.at/leistungen/sanierung/inliner/> [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]
- [7] ARS-Rohrvortrieb, o.D., Pipeeating. [Fotografie online] Verfügbar unter: http://ars-rohrvortrieb.de/pic/pipeeating_2.jpg [zuletzt abgerufen am 25.07.2017]
- [86] Pahl, K., 2009. Geschleuderte GFK-Rohre. [pdf]: Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft und Umweltschutz. Verfügbar unter: https://tu-dresden.de/bu/umwelt/hydro/isi/sww/ressourcen/dateien/lehre/dateien/folder-2012-04-16-8166430100/Pahl_GFK-Rohre.pdf?lang=de [zuletzt abgerufen am 24.07.2017]
- [87] Pipelife, 2015. PE-Druckrohrsystem. [pdf] Wiener Neudorf: Pipelife Austria GmbH & Co KG. Verfügbar unter: http://www.pipelife.at/at-de/_media/pdf/verlegeanleitung-infoblatt/wasser/verlege-pe-druck.pdf [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]
- [88] Pipelife, 2016. Kabelschutzsysteme. [pdf] Wiener Neudorf: Pipelife Austria GmbH & Co KG. Verfügbar unter: http://www.pipelife.at/at-de/_media/pdf/verlegeanleitung-infoblatt/kabelschutz/verlege-kabelschutz.pdf [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [89] Rohrleitungsverband e.V., o.D. Fotoarchiv. Altes Wasserrohr 2. [Fotografie online] Verfügbar unter: <http://www.rohrleitungsbaverband.de/informationen/fotoarchiv.html> [zuletzt abgerufen am 20.05.2017]
- [90] Rohrsanierung-online, o.D. Kurzrohrlining. [Fotografie online] Verfügbar unter: <http://www.rohrsanieung-online.de/images/content/headerbild-kurzrohrlining.png> [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [91] Rohrsanierung-online, o.D. Langrohrlining. [Fotografie online] Verfügbar unter: <http://www.rohrsanieung-online.de/images/content/headerbild-langrohrlining.png> [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[92] Rohrsanierung-online, o.D., Schlauchlining. [Fotografie online] Verfügbar unter: <http://www.rohrsanierung-online.de/images/content/headerbild-schlauchlining.png>

[zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[93] RTi, o.D. Montageverfahren. [Fotografie online]: RTi Rohrtechnik Gruppe.

Verfügbar unter: <https://www.rti.eu/wp-content/uploads/2016/06/montageverfahren-detail.jpg> [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[94] RTi, o.D. Roboterverfahren. [Fotografie online]: RTi Rohrtechnik Gruppe.

Verfügbar unter: <https://www.rti.eu/wp-content/uploads/2016/08/roboterverfahren.jpg>

[zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[95] Santec, o.D. Berstlining. [Fotografie online]: Santec GmbH. Verfügbar unter:

http://www.santec-gmbh.de/sanierungstechnik/botec/image003_1.gif

[zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[96] Schöngen, o.D. Verlegeverfahren. Erdrakete. [online]: Karl Schöngen KG Kunststoff-Rohrsysteme. Verfügbar unter: <http://www.schoengen.de/verlegeverfahren/erdrakete/>

[zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[97] Schuck-Group, 2015. Schuck Stahl-PE-Übergang Typ PESS/PESV. [Fotografie online] Verfügbar unter: <http://www.schuck-group.com/de/schuck-verteilung/produkte/formstuecke/stahl-pe-uebergang-pess.html>

[zuletzt abgerufen am 25.05.2017]

[zuletzt abgerufen am 25.05.2017]

[98] Stahlrohr, 2014. Stahlrohr Unternehmensbroschüre. [pdf] Duisburg: Stahlrohr GmbH.

Verfügbar unter:

http://stahlrohr.eu/sites/default/files/Stahlrohr_Unternehmensbroschuere.pdf

[zuletzt abgerufen am 5.08.2017]

[99] Stein, D., 2003. Grabenloser Leitungsbau. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH und Co. KG, Berlin

[100] Stein, D., Brauer, A., 2004. Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für

kommunale Entwässerungssysteme. Teilexpertise „Abriebfestigkeit“. [pdf] Bochum:

Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn. Verfügbar unter:

[http://www.fbsrohre.de/fileadmin/content/shop/nachhaltigkeit/fbs-expertise-](http://www.fbsrohre.de/fileadmin/content/shop/nachhaltigkeit/fbs-expertise-abriebfestigkeit.pdf)

[abriebfestigkeit.pdf](http://www.fbsrohre.de/fileadmin/content/shop/nachhaltigkeit/fbs-expertise-abriebfestigkeit.pdf) [zuletzt abgerufen am 28.04.2017]

[101] Stein, D., Brauer, A., 2004. Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für kommunale Entwässerungssysteme. Teilexpertise „Umweltverträglichkeit (Ökobilanz)“.

[pdf] Bochum: Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn.

Verfügbar unter: [http://www.fbsrohre.de/fileadmin/content/shop/nachhaltigkeit/fbs-](http://www.fbsrohre.de/fileadmin/content/shop/nachhaltigkeit/fbs-expertise-oekologie.pdf)

[expertise-oekologie.pdf](http://www.fbsrohre.de/fileadmin/content/shop/nachhaltigkeit/fbs-expertise-oekologie.pdf) [zuletzt abgerufen am 24.04.2017]

- [102] Stein, D., Brauer, A., 2005. Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für kommunale Entwässerungssysteme. Teilexpertise „Wirtschaftlichkeit“. [pdf] Bochum: Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn. Verfügbar unter: <http://www.fbsrohre.de/fileadmin/content/shop/nachhaltigkeit/fbs-expertise-wirtschaftlichkeit.pdf> [zuletzt abgerufen am 28.04.2017]
- [103] Steinzeug-Keramo, 2007. Steinzeug Handbuch. Fachgerechte Verlegung nach DIN EN 1610. Einbauanleitung. [pdf]: Steinzeug Abwassersysteme GmbH. Verfügbar unter: <http://docplayer.org/59768018-Steinzeug-i-handbuch-fachgerechte-verlegung-nach-din-en-1610.html> [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [104] Steinzeug-Keramo, o.D. Handbuch. Leitfaden für den Bau von Abwasserrohrsystemen. [pdf]: Steinzeug-Keramo. Verfügbar unter: https://www.steinzeug-keramo.com/files/bro-handbuch_a4_09_online_1.pdf [zuletzt abgerufen am 21.07.2017]
- [105] Technisches Büro Alexander Schaaf, 2017. Ablagerungen in den Rohren / Biofilm. [Online] Verfügbar unter: <http://www.tbas.de/Ablagerungen-in-den-Rohren-Biofilm.html> [zuletzt abgerufen am 22.07.2017]
- [106] Teltarif, o.D. Glasfaserverlegung. [Fotografie online]: teltarif.de Onlineverlag GmbH. Verfügbar unter: <https://www.teltarif.de/img/arch/2017/kw19/TMA-23-10-alternative-verlegetechniken-3lgb.jpg> [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [107] Tiroler Rohre, 2017. Handbuch für Gussrohrsysteme. [pdf] Hall in Tirol: Tiroler Rohre. Verfügbar unter: http://trm.at/fileadmin/userdaten/dokumente/Downloads/Kataloge/TRM_Trinkwasserkatalog_DE_020217_EZ.pdf [zuletzt abgerufen am 20.04.2017]
- [108] Tracto-Technik, o.D. Darstellung Bodenverdrängungsverfahren. [Fotografie online] Verfügbar unter: http://www.tracto-technik.de/doks/gif/Verfahren_Grundmat.gif [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [109] Tracto-Technik, o.D. Darstellung Rammverfahren. [Fotografie online] Verfügbar unter: http://www.tracto-technik.de/doks/gif/Verfahren_GRUNDORAM.gif [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]
- [110] Verband österreichischer Ziegelwerke (Ziegel), 2017. Wärmeleitfähigkeit. [Online] Verfügbar unter: http://www.ziegel.at/de/waermeschutz_waermeleitfaehigkeit [zuletzt abgerufen am 5.08.2017]
- [111] Vismann, U., 2015. Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln, Springer Fachmedien, Wiesbaden

[112] VÖB, 2009. Rohre aus Beton und Stahlbeton. [pdf]: Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB). Verfügbar unter:

[http://www.voeb.com/material/service/presse/V%C3%96B-](http://www.voeb.com/material/service/presse/V%C3%96B-Brosch%C3%BCre%20Rohre%20090810.pdf)

[Brosch%C3%BCre%20Rohre%20090810.pdf](http://www.voeb.com/material/service/presse/V%C3%96B-Brosch%C3%BCre%20Rohre%20090810.pdf) [zuletzt abgerufen am 21.07.2017]

[113] Wibeba, 2015. Funktionsprinzip – Pilotgestängebohrung DN 80 bis DN 800. [pdf]: Wiener Betriebs- und Baugesellschaft m.b.H. Verfügbar unter:

http://www.wibeba.at/fileadmin/content/55_wibeba/leistungsspektrum/grabenloser_leitung_sbau/funktionsprinzip_pilotgestaengebohrung.pdf [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[114] Wibeba, 2015. Funktionsprinzip – Ungesteuerte Pressbohrung DN 100 bis DN 800. [pdf]: Wiener Betriebs- und Baugesellschaft m.b.H. Verfügbar unter:

http://www.wibeba.at/fileadmin/content/55_wibeba/leistungsspektrum/grabenloser_leitung_sbau/funktionsprinzip_ungesteuerte_pressbohrung.pdf [zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

[115] ZMA, o.D. Kanalsanierung. [Fotografie online] <http://zma-mittelhessen.de/wp-content/uploads/zma/2015/07/Compact-Pipe-Verfahren-768x306.jpg>

[zuletzt abgerufen am 02.11.2017]

9.2 Sonstige Quellenangaben

[116] Stöckl, R., 2017. Gespräch bezüglich Kosten für Materialien im grabenlosen Leitungsbau. [Telefongespräch] (persönliche Kommunikation, 23.08.2017)

[117] Stoffel, M., Markus.STOFFEL@kontinentale.at, 2017. AW: AW: TU Wien Diplomarbeit "Rohrmaterialien für den grabenlosen Leitungsbau". [E-Mail] Gesendet am 16.08.2017, 16:12 Uhr

[118] Arnold, G., georg.arnold@trm.at, 2017. AW: AW: TU Wien Diplomarbeit "Rohrmaterialien für den grabenlosen Leitungsbau". [E-Mail] Gesendet am 09.08.2017, 08:10 Uhr

9.3 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Ungesteuerter Verdrängungsvortrieb mit Verdrängungshammer [108].</i>	10
<i>Abbildung 2: Ungesteuerte Verdrängung mittels Rammvortrieb [109].</i>	10
<i>Abbildung 3: Ungesteuerte Verdrängung mittels Schneckenpressbohrung [114].</i>	11
<i>Abbildung 4: Vollschnittvortrieb [63].</i>	12
<i>Abbildung 5: Erste Phase der Pilotrohrbohrung, Einrammen eines hohlen Pilotgestänges [113].</i>	12
<i>Abbildung 6: Dritte Phase der Pilotrohrbohrung, Rückzugverfahren [113].</i>	13
<i>Abbildung 7: Spülbohrvortrieb [63].</i>	13
<i>Abbildung 8: Schlauchlining [92].</i>	15
<i>Abbildung 9: Phasen bei der Verwendung verformter Rohre [115].</i>	15
<i>Abbildung 10: Langrohrlining [91].</i>	16
<i>Abbildung 11: Kurzrohrlining [90].</i>	16
<i>Abbildung 12: Wickelrohrverfahren [83].</i>	17
<i>Abbildung 13: Beschichtungsverfahren unter Verwendung von Zementmörtel [75].</i>	17
<i>Abbildung 14: Berstverfahren [95].</i>	19

Abbildung 15: Aufgeweitertes duktiles Gussrohr, in das ein neues Produktrohr eingezogen wird [72].	19
Abbildung 16: Erneuerter Kanal durch im unteren Bereich aufgebrachter Rohrsegmente [93].	20
Abbildung 17: Überfahren des Altrohres/ Pipe Eating [65].	20
Abbildung 18: Roboterverfahren [94].	21
Abbildung 19: Roboter während einer Abzweigsanierung [11].	22
Abbildung 20: Repariertes Rohrstück [12].	22
Abbildung 21: Repariertes Kanalstück aus Steinzeug mithilfe von Edelstahlmanschetten [68].	22
Abbildung 22: Flutungsverfahren [66].	23
Abbildung 23: Ausführung des Pflugverfahrens [74].	24
Abbildung 24: Verlegung eines Glasfaserkabels mittels Herstellung von Schlitzgräben [106].	25
Abbildung 25: Beschichtung eines Stahlrohres bei Verwendung der Medien Gas und Wasser [71].	29
Abbildung 26: Mehrschichtsystem aus FZM-Ummantelung und PUR-Gießharzsystem [71].	45
Abbildung 27: Fernwärmerohre aus PUR-Schaumstoff nach einer Nutzungsdauer von in etwa 16 Jahren. Das linke Rohrsystem wurde mit einer höheren Temperatur beansprucht und zeigt Verfärbungen auf [61, S.2].	48
Abbildung 28: Links: Vollständig gefüllte Kontaktzone zwischen Kunststoffmantelrohr (KMR) und Erdreich/Bentonitsuspension. Rechts: Unstetig gefüllte Kontaktzone zwischen KMR und Erdreich/ Bentonitsuspension [3].	55
Abbildung 29: Altes Wasserrohr mit sichtbaren Ablagerungen [89].	57
Abbildung 30: Werkstoffübergangsverbinder für Stahl- und Kunststoffleitungen [97].	57
Abbildung 31: Altersverteilung des durch die Umfrage erfassten Kanalnetzes (insgesamt 224 Kanalnetze und eine Gesamtlänge von 8861 km) [10].	59
Abbildung 32: Materialverteilung nach Gemeindegößenklassen, sowie der gesamten Umfrage und der Hochrechnung für Deutschland [10].	60
Abbildung 33: Schadensverteilung an Kanälen (insgesamt 218) [10].	61
Abbildung 34: Zustandsklassen, bezogen auf Kanalnetzlänge [10].	62
Abbildung 35: Verteilung von Sanierungsverfahren (insgesamt 194 mit einer Gesamtlänge von 85289 km) [10].	62
Abbildung 36: a) Paar, b) Stern-Vierer, c) Bündel mit acht Adern, d) Bündel mit vier Paaren, e) Bündel mit fünf Stern- Vierern [45].	67
Abbildung 37: Doppelter Manschettenkolben (links), dreifacher Manschettenkolben (rechts) [99, S.83].	68
Abbildung 38: Noppenband mit drei integrierten Kabelschutzrohren [99, S.120].	68
Abbildung 39: Querschnittsskizze eines Abwasserkanals nach Sanierung mit einem Noppenband [99, S.120].	68
Abbildung 40: Startschacht des Vortriebs von Stahlbetonrohren [9].	70
Abbildung 41: Infrastrukturkanal mit einem Durchmesser von 3,4 m und 21 darin enthaltenen Rohrleitungen mit unterschiedlichem Nutzen [9].	71
Abbildung 42: Abriebverhalten nach dem Darmstädter-Verfahren in absoluten Werten [100, S.8].	73
Abbildung 43: Schematische Darstellung Kranhaken mit Polsterung [46].	82
Abbildung 44: Relining eines Abwasserkanals aus Steinzeug anhand Kurzrohrlining bzw. Tight in Pipe - Verfahren mit einem PP-Neurohr. Links im Bild wird der Zustand vor der Sanierung gezeigt und rechts im Bild der Zustand nach der Anwendung des Verfahrens [18].	92
Abbildung 45: Überfahren eines Altrohres aus Steinzeug [6].	95
Abbildung 46: Abbau und Zerkleinerung des Altrohres aus Beton (links). Zerkleinertes Rohr aus unbewehrtem Beton (rechts) [81].	95
Abbildung 47: Prozesse zur Wiederverwendung von Beton und Betonprodukten [34, S.22].	97

9.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grabenlose Verfahren im Leitungsbau [63].	8
Tabelle 2: Materialeigenschaften zementgebundener Stoffe [78; 36, S.196; 110; 8; 39, S.5].	27
Tabelle 3: Verfahren bei denen zementgebundene Stoffe Anwendung finden [63].	28
Tabelle 4: Mechanische Eigenschaften von diversen Stählen bei Raumtemperatur. Verwendung im grabenlosen Leitungsbau [21, S.14].	30
Tabelle 5: Materialeigenschaften von Stahlrohren aus L235 [21, S.14; 60, S.158, S.219; 69, S.233; 111, S.1171; 62; 70, S.154; 98].	31
Tabelle 6: Anwendung vom Werkstoff Stahl bei grabenlosen Verfahren [63].	31
Tabelle 7: Mindestwanddicke für erdgedeckte (Stahl-) Rohrleitungen nach DIN EN 13480-6 [28].	32
Tabelle 8: Materialeigenschaften von duktilem Gusseisen [107].	33
Tabelle 9: Anwendung vom Werkstoff duktiler Gusseisen bei grabenlosen Verfahren [63].	33
Tabelle 10: Materialeigenschaften von Steinzeug [60].	35
Tabelle 11: Verfahren bei denen der Werkstoff Steinzeug Anwendung findet [63].	35
Tabelle 12: Materialeigenschaften von PVC-U, PP und PE [25].	36
Tabelle 13: Verfahren bei denen die Werkstoffe PE, PP und PVC-U Anwendung finden [63].	37
Tabelle 14: Verfahren bei denen der Werkstoffe GFK Anwendung findet [63].	38
Tabelle 15: Verfahren bei denen der Werkstoff Harz Anwendung findet [63].	39
Tabelle 16: Materialeigenschaften von Kunststoffen [4; 86; 5; 58; 87; 70; 56; 50].	39
Tabelle 17: Ausgewählte Eigenschaften von betrachteten Rohrmaterialien.	40
Tabelle 18: Umhüllungen erdverlegter Rohrsysteme aus duktilem Gusseisen und mögliche Einsatzbereiche in Abhängigkeit von Bodenklassen nach DIN EN 14628, DIN EN 15189, DIN EN 15542, DIN 30674-3 und -5 in Anlehnung an DIN 30675-2 [18].	42
Tabelle 19: Werksumhüllungssysteme für den grabenlosen Leitungsbau nach DIN 30675 1:2017 04 Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 1: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl [17].	44
Tabelle 20: Baustellennachumhüllungen für den grabenlosen Leitungsbau nach DIN 30675-1:2017-04 Äußerer Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 1: Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl [17].	46
Tabelle 21: Spezifikation für Stahl-Mediumrohre [37].	49
Tabelle 22: Nenn-, Außendurchmesser und Mindest-Nennwanddicke von Stahl- Mediumrohren [37].	50
Tabelle 23: Toleranzen des Außendurchmessers D_s an den Rohrenden [37].	50
Tabelle 24: Zusatzmaßnahmen für Rohrleitungen im grabenlosen Leitungsbau.	52
Tabelle 25: Gängige Rohrleitungsdämmungen von Fernwärmeleitungen im Vergleich zu den Anforderungen der EnEV2009 [61].	56
Tabelle 26: Normen für Kohlenstoffstahlrohre und ihr höchstzulässiger Druck (DP) [31].	65
Tabelle 27: Klassifizierung von Fluiden und ihr Gefahrenpotenzial für die öffentliche Sicherheit [29, S.15].	66
Tabelle 28: Einziehbedingungen und zugehörige maximale Reibungskoeffizienten [53].	66
Tabelle 29: Vergleich möglicher Materialien zur Herstellung von Infrastrukturkanälen [7].	69
Tabelle 30: Einsatzgebiet Rohrleitung und Rohrmaterial.	71
Tabelle 31: Mögliche Anwendung von Rohrmaterialien bei Verfahren im grabenlosen Leitungsbau [63].	72
Tabelle 32: Nutzungsdauer von Rohrwerkstoffen unterschieden nach Herstellerangaben und Praxiserfahrungen [79; 70].	74
Tabelle 33: Maximaler Chlorgehalt im Beton [35, S.16].	75
Tabelle 34: Brandverhalten von Rohrmaterialien [102, S.9 f.].	75
Tabelle 35: Kostenvergleich von PE, PP und zwei möglichen Ausführungen als duktiler Gusseisen [117, 118].	77
Tabelle 36: Kostenvergleich von Stahlbeton, Stahl, Steinzeug und GFK [116].	77
Tabelle 37: Maximale Anzahl an Rohren je Bund [46].	81
Tabelle 38: Maximal zulässige Stapelhöhe duktiler Gussrohre [46].	83

<i>Tabelle 39: Aspekte bezüglich Herstellung, Lagerung und Transport von Rohrmaterialien [57; 103; 88].</i>	85
<i>Tabelle 40: Aspekte bezüglich Einbau von Rohrmaterialien [107; 104; 112; 5; 56; 14].</i>	88
<i>Tabelle 41: Hydraulisch wirksame Wandrauheiten „k“ von betrachteten Materialien [77].</i>	90
<i>Tabelle 42: Empfehlungen für Grenzwerte des Abwassers nach ATV-A 115 [51].</i>	91
<i>Tabelle 43: Nutzungsdauern von grabenlosen Sanierungsverfahren [59].</i>	93
<i>Tabelle 44: Aspekte bezüglich Eingebauten Zustands (Instandhaltung, Wartung) von Rohrmaterialien [107; 104; 112; 5; 56; 14].</i>	94
<i>Tabelle 45: Ausgewertete Entscheidungsmatrix zur Wahl eines Materials bezüglich seiner Anforderung. [107; 104; 112; 5; 56; 14].</i>	99

9.5 Formelverzeichnis

<i>Formel 1: Berechnung der erwarteten thermischen Mindestlebensdauer bei verschiedenen Betriebstemperaturen unter Berücksichtigung der PUR-Schaumstoff-Haltbarkeit [77].</i>	47
<i>Formel 2: Näherung zur Bestimmung des Reibungswertes zwischen Fernwärmeleitung und umgebenden Boden [2].</i>	54