GSTT

Information

Nr. 11

Vergleich offener und grabenloser Bauweisen – direkte und indirekte Kosten im Leitungsbau

4. Auflage
Ergänzung „Druckrohrleitungsbau“, Kapitel 5.0
Januar 2015

Arbeitskreis Nr. 3
Grabenloses Bauen, Leitungsinstandhaltung
AG 1: Technische Anwendung und Verfahrenstechnik

NO DIG – warum Gräben aufreißen, wenn es bessere Lösungen gibt!

Vergleich offener und grabenloser Bauweisen – direkte und indirekte Kosten im Leitungsbau

Januar 2015

Inhalt

		Seite
1	**Einleitung**	5
2	**Direkte Kosten**	6
2.1	Offene Bauweise	6
2.2	Grabenlose Bauweise	7
3	**Indirekte Kosten**	7
3.1	Bauverfahrensbedingte Folgekosten	7
3.1.1	Bauumfeld	8
3.1.2	Ressourcenverbrauch	9
3.1.3	Deponiebewirtschaftung	9
3.2	Umweltspezifische Faktoren	10
3.2.1	Emissionen	11
3.2.1.1	Gase	13
3.2.1.2	Feinstaub	14
3.2.1.3	Lärm	15
3.2.2	Ökologische Faktoren	16
3.2.2.1	Vegetation	16
3.2.2.2	Schutzgut Boden	18
3.2.2.3	Schutzgut Grundwasser	18
3.2.2.4	Schutzgut Tiere	19
3.3	Auswirkungen auf Dritte	19
3.3.1	Stau und Umleitungen	19
3.3.2	Störungen von Betriebsabläufen	20
3.3.3	Wirtschaft und Gewerbe	20
3.3.4	Gesundheit	20

4 Methodik und Entscheidungshilfen für die Verfahrensauswahl 21

4.1 Entstehung von direkten und indirekten Kosten 22
4.1.1 Folgekosten im Bauumfeld 23
4.1.1.1 Oberflächen 24
4.1.1.2 Untergrund 25
4.1.1.3 Infrastruktur 26
4.1.1.4 Einschätzungen der Folgekosten 27

4.2 Folgekosten für Natur und Umwelt 28
4.2.1 Emissionen 29
4.2.1.1 Gase 31
4.2.1.2 Feinstaub 32
4.2.1.3 Lärm 32
4.2.2 Ökologische Kosten 33
4.2.2.1 Vegetation 33
4.2.2.2 Schutzgut Boden 34
4.2.2.3 Schutzgut Grundwasser 34

4.3 Folgekosten für Dritte 34
4.3.1 Stau und Umleitungen 34
4.3.2 Störungen von Betriebsabläufen 34
4.3.3 Wirtschaft und Gewerbe 35
4.3.4 Beeinträchtigungen der Gesundheit 35

5 Kostenvergleiche und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen 36

5.1 Vorgehensweise 37
5.1.1 Ermittlung der direkten und indirekten Kosten 37
5.1.2 Ermittlung von Kraftstoff-Verbräuchen und Emissionen 38
5.1.3 Ermittlung von Zeit- und Betriebskostenansätzen 39
5.1.4 Eingabeparameter für die Zeit- und Betriebskosten-Berechnungen 41

5.2 Kostenvergleich und Auswertung „Kanalbau“ 42
5.2.1 Übersicht „Grabenloser Kanalbau“ 42
5.2.2 Gesamtkosten und Bauzeiten 43
5.2.3 Kraftstoffverbrauch und Emissionen im Vergleich 45
5.2.4 Gesamtbetriebsstunden LKW und Geräte 47
5.2.5 Zeit- und Betriebskosten 48
5.2.6 Gesamtkostenvergleich „Kanalbau“ 52

5.3	Kostenvergleich und Auswertung „Druckrohrleitungsbau“	54
5.3.1	Übersicht „Grabenloser Druckrohrleitungsbau“	55
5.3.2	Gesamtkosten und Bauzeiten	56
5.3.3	Kraftstoffverbrauch und Emissionen im Vergleich	59
5.3.4	Gesamtbetriebsstunden LKW und Geräte	62
5.3.5	Zeit- und Betriebskosten „Druckrohrleitungsbau“	63
5.3.5.1	Zeit- und Betriebskosten „Druckrohrleitungsbau DN 150“	63
5.3.5.2	Zeit- und Betriebskosten „Druckrohrleitungsbau DN 250“	65
5.3.6	Gesamtkostenvergleich „Druckrohrleitungsbau“	67
6	**Fazit**	**69**
7	**Anhänge**	**70**
7.1	Lageplan „Musterbaustelle“	70
7.2	Beschreibung „Musterbaustelle“	71
7.3	Benutzerhinweise	76
8	**Quellenverzeichnis**	77
9	**Anschriften Beteiligte**	**81**

1. Einleitung

Nach dem Erscheinen der 1. Auflage der GSTT-Information Nr. 11 im Jahre 1999 und der 2. Auflage im März 2002 [1] ist die 3. Auflage von 2011 mit dem Kapitel „Druckrohrleitungsbau“ ergänzt worden. Die GSTT-Information Nr. 11, 4. Auflage (Oktober 2014) richtet sich als Entscheidungshilfe an Auftraggeber, Planer und Auftragnehmer.

Grabenlose Verfahren des Leitungsbaus weisen in den vergangenen Jahren einen stetig wachsenden Anteil am Gesamtaufkommen der Baumaßnahmen gegenüber dem „konventionellen“ Kanal- und Leitungsbau in offener Bauweise auf. Neben dem technischen Erfolg stehen auch die Wirtschaftlichkeit und zunehmend die Ökologie und Nachhaltigkeit von Bauprojekten im Fokus.

Die stetigen Verbesserungen und Weiterentwicklungen bei den unterschiedlichen Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus haben zu einer Ausweitung der bisherigen Einsatzgrenzen geführt. Es ist daher erforderlich, falls Bauprojekte in offener oder grabenloser Bauweise ausführbar sind, die Wirtschaftlichkeit der Bauverfahren deutlicher als bisher zu betrachten und zu vergleichen.

Neben den direkten Kosten sollen auch die indirekten Kosten im Sinne der Nachhaltigkeit bei Planung, Bewertung und Vergabe einer Maßnahme Berücksichtigung finden und in eine ganzheitliche Gesamtbetrachtung von Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit einfließen.

Die vorliegende, 4. Auflage der GSTT-Information Nr. 11 ist in ihrer Gliederung, im Vergleich zur 2. Auflage, erweitert worden und stellt einzelne Punkte noch ausführlicher dar. Unterschiedliche normative Definitionen der Ver- und Entsorger bezüglich Neubau, Sanierung und Rehabilitation werden in dieser GSTT-Information unter dem Begriff “Grabenloser Leitungsbau” zusammengefasst.

Die Kosten eines Bauprojektes ergeben sich grundsätzlich als direkte und indirekte Kosten. Die indirekten Kosten, auf die in dieser Information insbesondere eingegangen wird, lassen sich in bauverfahrensbedingte und umweltspezifische Kosten sowie in Folgekosten für Dritte unterteilen [2]. Die Ergebnisse der öffentlich geführten Diskussion über Umweltbelastungen durch CO_2-Ausstoß, Feinstaub- und Lärmbelastung sowie weitere ökologische Parameter haben Eingang in diese Überarbeitung gefunden.

In den Kostenvergleichsrechnungen sind am Beispiel einer Musterbaustelle direkte und indirekte Kosten ermittelt, zusammenfassend beurteilt und mit entsprechenden Fallbeispielen illustriert worden. Der Leser hat die Möglichkeit, auf Grundlage der beschriebenen Vorgehensweise für eigene Projekte entsprechende Berechnungen durchzuführen.

Die Verfasser dieser überarbeiteten GSTT-Information Nr. 11 wollen den Projektbeteiligten einen **Leitfaden** für den Vergleich der offenen (sogenannten konventionellen) Bauweise mit zumindest einer grabenlosen Bauweise an die Hand geben.

2. Direkte Kosten

Direkte Kosten sind Kosten, die einem Bezugsobjekt (meist Leistungseinheit), aber auch Kostenstellen verursachungsgerecht (direkt) zugerechnet werden können [3].

Sie entsprechen den durch die Baumaßnahme anfallenden Kosten und werden beim Auftraggeber unmittelbar als Ausgaben wirksam. Sie ergeben sich vor allem aus der gestellten Bauaufgabe, der hierzu eingesetzten Bauverfahrenstechnik sowie den relevanten örtlichen Gegebenheiten.

Direkte Kosten sind zum Beispiel:
- Ingenieurleistungen aus Planung, Ausschreibung, Vergabe, Bauaufsicht und Projektleitung
- Genehmigungen
- Sicherheits- und Gesundheitsschutzkoordination
- Vermessungsarbeiten und Dokumentation
- Beweissicherungen an baulichen Anlagen und Vegetation
- die Bauleistung an sich, einschließlich Einrichtung, Sicherung und Räumung der Baustelle
- Ausgleichszahlungen an Dritte
- ökologische Ausgleichsmaßnahmen
- etwaige Sondermaßnahmen wie z. B. Sonderabfallentsorgung.

2.1 Offene Bauweise

Die direkten Kosten der offenen Bauweise beim Leitungsneubau werden im Wesentlichen bestimmt durch die unter Punkt 2 aufgeführten Kostenanteile, die sich aus den örtlichen Gegebenheiten der Baustelle und den Randbedingungen für die jeweilige Baumaßnahme ergeben.

Diese Kostenanteile werden u.a. bestimmt durch folgende Parameter:
- Oberflächenbefestigung
- Verlegetiefen
- anstehende Bodenarten
- Grundwasserstand und -strömung
- Verkehrssituation
- Bebauungsdichte
- Belegung des unterirdischen Bauraumes
- topographische Gegebenheiten
- wasserwirtschaftliche Anforderungen zum Schutz von Boden und Grundwasser.

Hinsichtlich der Verteilung der Kostenanteile für die einzelnen Hauptgewerke ist bekannt, dass ca. 70 bis 80 % der Baukosten der offenen Bauweise auf Straßen- und Erdbauarbeiten, Verbau sowie Wasserhaltung entfallen [4]. Die Ne-

benleistungen, die für die Erbringung der Bauleistungen notwendig sind, werden im Planungsstadium durch technologische und baumethodische Entscheidungen beeinflusst.

2.2 Grabenlose Bauweise

Die direkten Kosten der grabenlosen Bauweise werden überwiegend durch nicht beeinflussbare Parameter wie z.B. den Baugrund oder den Zustand des Rohrleitungssystems bestimmt.

Die Höhe der entstehenden Kosten wird durch das Ergebnis einer im Vorfeld sorgfältig vorzunehmenden Bestandsaufnahme beeinflusst.

3. Indirekte Kosten

Indirekte Kosten sind anteilige Aufwendungen, die einem Bauprojekt nicht verursachungsgerecht, allenfalls mit Hilfe von Schlüsselgrößen zugeordnet werden können. Sie entstehen im unmittelbaren Zusammenhang mit den ausgeführten Bauleistungen [5]. Insbesondere in innerstädtischen Bereichen ergeben sich Behinderungen des Verkehrsflusses oder der Geschäftstätigkeit sowie Lärm- und Schadstoffemissionen.

Diese Beeinträchtigungen verursachen Kosten, die der Allgemeinheit und damit der Volkswirtschaft entstehen oder zu besonderen individuellen Belastungen führen, z.B. durch anhaltende Einwirkung von Lärm, Staub und Abgasen. Diese Kosten stehen zwar mit der jeweiligen Baumaßnahme im Zusammenhang bzw. werden durch sie verursacht, werden jedoch dem konkreten Projekt bzw. dem jeweiligen Auftraggeber nicht direkt angelastet. Deshalb werden sie oftmals nicht betrachtet bzw. häufig ignoriert.

Diese indirekten Kosten können jedoch Größenordnungen erreichen, die die Projektbeteiligen veranlassen sollten, möglichst alle Alternativen für die Bauausführung zu untersuchen.

3.1 Bauverfahrensbedingte Folgekosten

Jede Baumaßnahme erzeugt verfahrensbedingte Folgekosten, die in der Regel erst in den nachfolgenden Jahren entstehen.

Diese zeigen sich im Bauumfeld als Folgekosten durch Schäden an Oberflächen, Straßen und Gebäuden, Kosten aus dem zusätzlichen Verbrauch von Ressourcen sowie der Entsorgung anfallender Baurestmassen.

3.1.1 Bauumfeld

Das Bauumfeld einer Leitungsbaumaßnahme beinhaltet Oberflächen, Untergrund sowie die Infrastruktur im unmittelbaren oder weiter entfernten Zugangsbereich einer Baustelle.

Als Oberflächenfolgekosten sind all jene Kosten an der Straßen- oder Geländeoberfläche zu verstehen, die während bzw. erst nach Jahren infolge der Bauarbeiten entstehen.
Innerhalb des Gewährleistungszeitraums können einige dieser Folgekosten in der Regel einem Verursacher zugeordnet und angelastet werden. Nach Ablauf des Gewährleistungszeitraumes wird die Allgemeinheit mit den entstehenden Kosten belastet.

Bei offen ausgeführten Baumaßnahmen sind von den Kommunen häufig Verkehrsleitungsmaßnahmen zu organisieren. Sie müssen u.a. infolge dieser Maßnahmen für Anwohner und Nutzer von Gebäuden den Zugang aufrechterhalten.

Bei Grabenaushub, Wiederverfüllung und Verdichtung bildet sich im Leitungsgraben ein vom gewachsenen Baugrund in seinen Eigenschaften abweichender Bodenkörper aus [6]. Aufgrund der segmentweisen Trennung (Abb.1), die bis zur Grabensohle reicht, reagieren der ursprüngliche Baugrund und der verfüllte Leitungsgraben nach der Wiederherstellung physikalisch unterschiedlich [7]. An dieser Stelle wird auf die Wechselwirkung zwischen Verdichtung sowie nachfolgendem Rückbau und Ziehen des Verbaues hingewiesen.

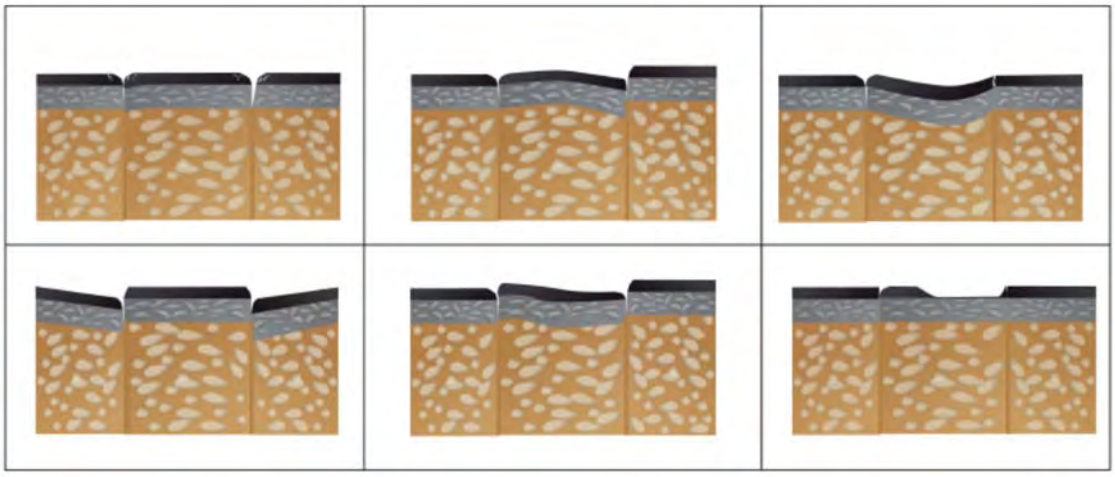


Abb. 1: Oberflächenausbildungen nach Verfüllung von Leitungsgräben [8]

Die Vorteile der grabenlosen Bauweise liegen in der erdstatisch idealen Leitungsbettung im Erdreich, d. h. eine ideale Kraftableitung der Auflastkräfte erfolgt um die Leitung herum, ebenso können keine punktuellen Auflasten durch ungleiche Verdichtung auftreten [7].

Werden später Maßnahmen zur Korrektur dieser Setzungen notwendig, können diese zu Folgekosten für den Straßenbaulastträger, in der Regel die Kommunen, führen [7].

Bei der grabenlosen Bauweise finden Eingriffe in Oberfläche und Baugrund nur in geringem Umfang statt. Erforderliche Start-, Zwischen- und Zielbaugruben sowie Aufgrabungen zur Anschlussanbindung finden nur punktuell statt. Im gesamten übrigen Trassenbereich bleibt die Oberfläche unberührt und der Untergrund ungestört verbunden. Demzufolge sind die Oberflächenfolgekosten bei der grabenlosen Bauweise im Vergleich zur offenen Bauweise entsprechend den in Anspruch genommenen Trassenanteile als gering einzustufen.

3.1.2 Ressourcenverbrauch

Ressourcen betreffen alle Materialien, die für den Leitungsbau benötigt werden. Die Vorgänge zur Gewinnung der Rohstoffe, deren Aufbereitung, Transport und Einbau sind mit Energieaufwand und entsprechenden Emissionen verbunden. Je nach Bauweise entstehen hier sehr unterschiedliche Bedarfs- und Einbaumengen mit den entsprechenden Folgekosten für Energieaufwand und Emissionsauswirkungen.

Um die Gewinnung von Rohstoffen wie Sand und Kies zu reduzieren, existiert in Nordrhein-Westfalen (NRW) das Gesetz über die Einführung einer Abgabe auf die Entnahme von Kiesen und Sanden (Kiesabgabegesetz). Das Land erhebt für das Fördern von Kies und Sand eine Kiesabgabe, die sich nach der geförderten Kies- bzw. Sandmenge bemisst. Die Kiesabgabe beträgt derzeit 1 € pro Tonne geförderten Kieses bzw. Sandes[9].

Bei reduziertem Rohstoffverbrauch werden auch die Folgekosten für Entnahme, Transport und Verbrauch von Natur und Umwelt sowie für die Schließung von „Landschaftsnarben“ durch eine geordnete Renaturierung vermindert. Oft fallen diese Kosten den nachfolgenden Generationen und damit der Allgemeinheit zur Last.

3.1.3 Deponiebewirtschaftung

Bei der Bewirtschaftung ist zwischen belastetem und unbelastetem Material zu unterscheiden. Belastetes Material kann gereinigt, aufbereitet und wieder eingebaut werden bzw. auf diversen Wegen entsorgt werden. Unbelasteter und nicht wieder einzubauender Aushub ist geordnet aufzuhalden. Dazu werden auf den Deponien Massenbewegungen mit Transportfahrzeugen und Verdichtungsgeräten erforderlich. Deponien gleichen in ihrer Wirkung jahrzehntelangen Dauerbaustellen mit hohem Emissionsausstoß. Eine Verringerung der zu bewirtschaftenden Mengen ist u.a. durch einen Übergang zu den grabenlosen Bauweisen zu erreichen.

3.2 Umweltspezifische Faktoren

Durch Baumaßnahmen entstehen umweltspezifisch eine Vielzahl von direkten und indirekten Auswirkungen wie

- Beanspruchung des Verkehrsraumes
- Emissionen von Gasen, Feinstäuben und Lärm
- Schwingungen und Vibrationen
- Einfluss auf das Schutzgut Boden
- Einfluss auf das Schutzgut Grundwasser
- Einfluss auf Vegetation und Tiere
- Klimaeffekte

Diese auftretenden Belastungen werden von der Bevölkerung in Form von Emissionen unmittelbar wahrgenommen und verursachen Kosten sowie unter Umständen auch Gesundheits- oder Umweltschädigungen, deren Folgen sich erst langfristig zeigen.

Diese Emissionen sind in gewissen Grenzen beim Einsatz von Maschinen, Geräten und Fahrzeugen unvermeidbar. Durch die grabenlosen Bauweisen ist es möglich, deutlich weniger Staub und Lärm zu produzieren sowie den CO_2-Ausstoß zu reduzieren [7].

Einem gestiegenen Umweltbewusstsein folgend, setzt sich diese überarbeitete GSTT-Information mit den aus dem Betrieb von Baustellen in offener und grabenloser Bauweise entstehenden Emissionen auseinander. Grabenloses Bauen bedeutet nicht nur Straßenerhalt, kurze Bauzeiten und damit eine geringere Beeinträchtigung der Bevölkerung durch den Bauablauf, sondern trägt auch zu einer positiven Ökobilanz bei.

Die Nachhaltigkeitsdiskussion erfordert die Auseinandersetzung mit Emissionen wie CO_2, Feinstaub (PM10) und Lärm. Darüber hinaus gibt es aber auch weitere Schadstoffarten wie z.B. NO_2, NOx, Dieselruß, CO und HC, die in weitergehende Überlegungen einbezogen werden sollten.

Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft die relativen Veränderungen der Schadstoffemissionen bei Änderung der Fahrsituation: So verdoppeln sich die CO_2-Emissionen für unterschiedliche Antriebsmotoren (Otto- bzw. Dieselmotor) “innerorts mit stop-and-go” Verkehr gegenüber “innerorts und flüssigem Verkehr”.

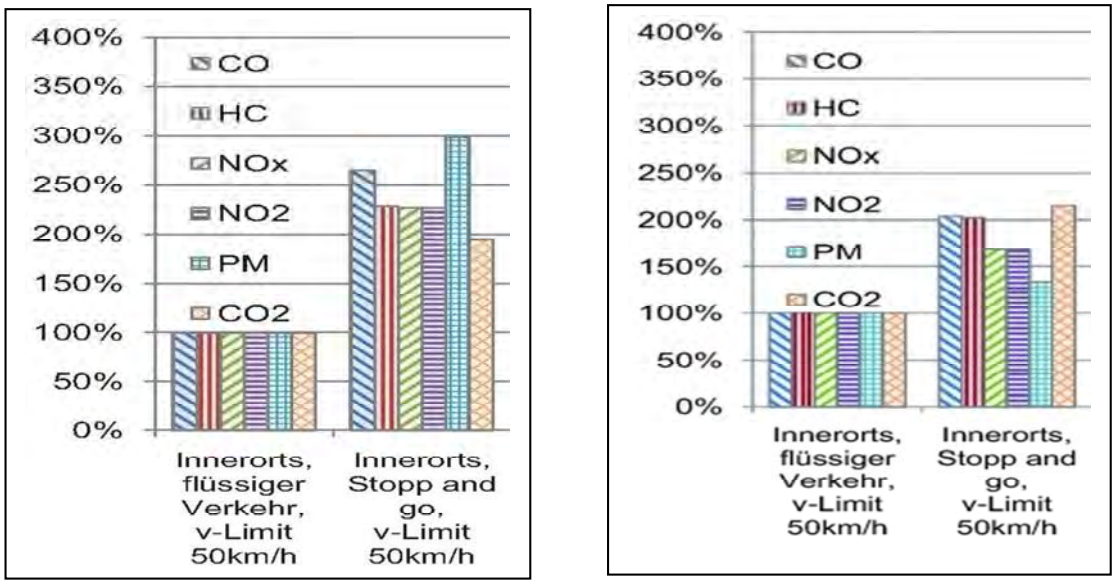


Abb. 2: Abgasemissionen eines durchschnittlichen Otto-PKW, Euro 5, (links) bzw. Diesel-PKW (rechts) bei unterschiedlichen Fahrsituationen [10]

Die in der direkten Umgebung von Baumaßnahmen wohnende und arbeitende Bevölkerung sowie die durch die Baumaßnahmen von Verkehrsumleitungen betroffenen Gebiete werden je nach gewählter Bauweise durch diese Emissionen beeinträchtigt, auf die nachfolgend [10] eingegangen wird.

3.2.1 Emissionen

Emissionen entstehen zum einen ohne menschliche Eingriffe in die Natur wie beispielsweise durch Vulkane und Waldbrände. Zum anderen werden durch den Menschen Emissionen verursacht, die durch Energiebereitstellung, Industrie, Verkehr, Hausbrand, Verbrennung von Biomasse, Landwirtschaft oder Abfallverbrennung entstehen [10].

Emissionen, wie CO_2, Feinstäube und Lärm, und Beeinträchtigungen des ökologischen Umfeldes mit Auswirkungen auf Mensch, Flora und Fauna sowie Grundwasser verursachen Folgekosten, die je nach Bauverfahren in ihrer Höhe sehr unterschiedlich ausfallen können. Diese Kosten werden nicht vom Verursacher, sondern von der Allgemeinheit getragen.

Der Thematik Leitungsbau und resultierende Emissionen haben sich Schöller und Kitzberger (Büro Dr. Lengyel ZT GmbH) ausführlich gewidmet und darüber in den Wiener Mitteilungen 2011 [11] berichtet:

„Schadstoffemissionen [12] infolge des Einsatzes von Maschinen und Fahrzeugen sind bei der Durchführung von Baumaßnahmen unvermeidlich. Sie können über die erforderlichen Einsatz(Betriebs)stunden oder die durchgeführten Transportfahrten zur Ver- und Entsorgung unmittelbar mit der Errichtung eines Bauwerkes in Verbindung gebracht werden.

Für den Vergleich von offener Bauweise mit grabenlosen Verfahren hinsichtlich der Umwelteinflüsse wurden die Schadstofffrachten der gesetzlich reglementierten Abgasparameter Kohlenmonoxid CO, Stickoxide NOx und Partikel für Kraftfahrzeuge herangezogen und mit einer Abschätzung der treibhauswirksamen Emissionen von Kohlendioxid CO_2 und Stickstoffoxid N_2O ergänzt."

Die zur Berechnung der Schadstofffrachten verwendeten Emissionsfaktoren aus dem Betrieb für Kraftfahrzeuge (schwere Nutzfahrzeuge und „off-road"-Fahrzeuge) sowie infolge des Umschlags staubiger Güter entstammen der o.a. Untersuchung [12]. Im Zuge einer Studie haben Kitzberger und Schöller aus zahlreichen Literaturquellen Emissionsfaktoren zusammengestellt bzw. diese durch weitere Abschätzungen und daraus abgeleitete Schadstofffrachten ergänzt.

Die nachfolgende Tabelle gibt Rechenwerte für Emissionsfaktoren (EF) für die Abschätzung der emittierten Schadstofffrachten an.

Transportfahrzeuge	$EF_{TR,CO2}$ *[g/km]*	$EF_{TR,CO}$ *[g/km]*	$EF_{TR,N2O}$ *[g/km]*	$EF_{TR,NOx}$ *[g/km]*	$EF_{TR,HC}$ *[g/km]*	$EF_{TR,PM}$ *[g/km]*	$EF_{TR,Russ}$ [1] *[g/km]*
SNF (Schwere Nutzfahrzeuge)	850	1,45	0,0090	8,5	0,50	0,68	0,10
Baumaschinen	$EF_{BM,CO2}$ *[g/l Kraftstoff]*	$EF_{BM,CO}$ *[g/h]*	$EF_{BM,N2O}$ *[g/h]*	$EF_{BM,NOx}$ *[g/h]*	$EF_{BM,HC}$ *[g/h]*	$EF_{BM,PM}$ *[g/h]*	$EF_{BM,Russ}$ [1] *[g/h]*
"Off-Road"-Fahrzeuge	2.630	380	18	740	160	85	13
Staubige Güter						$EF_{AU,PM}$ *[kg/t]*	
Aufbereitung von Sand/Kies						0,014	
Umschlag von Sand/Kies, Natursteinen						0,006	

[1] ..... als Anteil von PM10

Tab. 1: Emissionsfaktoren (EF) für die Abschätzung der emittierten Schadstofffrachten [11]

Im Einzelnen können für Anwohner gesundheitliche Beeinträchtigungen entstehen und bei lang andauernder Einwirkung von Lärm, Staub, Abgasen etc. Schädigungen verursachen (Staublunge, Gehörschäden, psychosomatische Störungen wie Schlaflosigkeit etc.), deren Behebung mit volkswirtschaftlichen Aufwendungen verbunden sind. Zusätzlich treten klimaschädliche Auswirkungen in Abhängigkeit von Schadstoffart und -menge auf [14].

3.2.1.1 Gase

Seit dem Beginn der Industrialisierung sind die CO_2-Emissionen signifikant gestiegen. Der anthropogene CO_2-Ausstoß aus der Verbrennung fossiler Energieträger, die nach derzeitigem Wissensstand den wesentlichsten Teil der Emissionen ausmachen, sind dabei ein globales Umweltproblem, bei dem Ursache und Wirkung zeitlich und räumlich sehr stark auseinanderfallen. Der allgemeine Anstieg des CO_2- Anteils in der Erdatmosphäre verursacht eine globale Erwärmung mit Änderungen bei den klimarelevanten Spurengasen [15].

„Gemäß der UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen) – bzw. IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change 1995 (IPCC)), Second Assessment Report (TAR), Climate Change, 1996 [12], werden folgende klimawirksamen Gase genannt:

- Kohlendioxid (CO_2)
- Methan (CH_4)
- Distickstoffoxid (N_2O**)**
- teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FCKW)
- perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW / PFC)
- Schwefelhexafluorid (SF_6).

Die oben genannten Gase besitzen ein unterschiedliches Treibhauspotential, sind also unterschiedlich „klimawirksam“. CO_2 liefert mengenmäßig die größten Schadstoffemissionen, während beispielsweise Stickstoffgase und andere Spurengase auch in geringer Konzentration extrem klimaschädlich sein können [16].

Die Summe aller Treibhausgasemissionen kann in CO_2-Äquivalenten angegeben werden**.** Der Methanausstoß infolge des Verkehrs ist nur für Fahrzeuge mit Gasmotoren relevant und wird daher nicht weiter betrachtet [17].

Konsequenterweise müssen in allen Bereichen die Emissionen von klimaschädlichen Gasen vermindert werden – selbstverständlich nicht nur in der Industrie oder dem Straßenverkehr, sondern auch im Bauwesen.

Im Bereich des Bauwesens können die Emissionen von klimaschädlichen Gasen vermindert werden, da insbesondere hier die Größenordnung der CO_2-Emissionen sehr von der Art der eingesetzten Technologie abhängt. Ökonomische Bauweisen (z.B. grabenlose Techniken), aber auch die Vermeidung baubedingter Umleitungen und Verkehrstaus können einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtbilanz der durch Bauaktivitäten bedingten CO_2-Emmission bewirken.

3.2.1.2 Feinstaub

„Feinstaub ist ein Teil des Schwebstaubs. Die Definition des Feinstaubs geht zurück auf den im Jahre 1987 eingeführten ‚National Air Quality'- Standard for **P**articulate **M**atter (kurz als PM-Standard bezeichnet) der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency)." Mit der PM-Kategorisierung liegt nun das Hauptaugenmerk auf dem ein atembaren Teil der Immissionen [18].

Die Partikelgröße beträgt nach Schöller/Kitzberger [19] höchstens 10 Mikrometer (µm), das heißt 0,01 Millimeter Durchmesser. Epidemiologische Studien zeigen, dass die Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer (PM10) in Korrelation mit den beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung auf den Menschen stehen.

Pregger (2006) hat anthropogene Quellen von Partikelemissionen untersucht und die jeweiligen Emissionsfaktoren abgeschätzt. Für die vorliegende Abschätzung der Feinstaub-Emissionen beim Leitungsbau sind vor allem die Quellen „Straßenverkehr", „sonstige Fahrzeuge und mobile Geräte" (Baumaschinen etc.) und „Umschlag staubiger Güter" (Sand/Kies-Bereitstellung und -transport) relevant [19]. Die zugeordneten Emissionsfaktoren finden sich in Tabelle 1.

Die Gesamtmenge an Feinstaub in Deutschland beträgt in etwa 205.000 t/a [19].

Feinstaub entsteht auch im Zuge von Bauarbeiten so z.B. bei Aushub, Transport und Lagerung von Boden und Baustoffen. Ebenso sind die Verarbeitung von Baumaterial und Abbrucharbeiten für die Entstehung von Feinstaub verantwortlich.

Die Richtlinie 1999/30/EG vom 22. April 1999 zur Luftqualitätsrichtlinie (in deutsches Recht umgesetzt durch die Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) vom 11. September 2002) legt Grenzwerte für Feinstaub fest.

Seit dem 1. Januar 2010 liegt der einzuhaltende Tagesmittelwert für PM10 bei 50 µg/m³, zugelassen sind zudem pro Kalenderjahr 7 Überschreitungen [19].

Jahresmittel:		**Tagesmittel**:*	
PM_{10}	20 µg/m³	PM_{10}	50 µg/m³
$PM_{2,5}$	10 µg/m³	$PM_{2,5}$	25 µg/m³

* ohne Tage, an denen eine Überschreitung zulässig ist

Anders als durch die Europäische Union sind durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in deren WHO-Luftgüterichtlinien strengere Grenzwerte für Feinstaub empfohlen worden [20].

Das Bewegen von Baufahrzeugen für den Transport und die Lagerung von Boden und Baustoffen, die Verarbeitung von Baumaterialien sowie der Geräteeinsatz bei Aushubarbeiten und das Auftrennen von Oberflächen bringen Lärmbelastungen und insbesondere auch eine Staubbildung mit sich. Der Großteil der Feinstaubemissionen wird durch aufgewirbelten Staub verursacht. Zur Vermeidung dieser Feinstaubemissionen müssen deshalb organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung von Staubentwicklung (Absaugen, Befeuchten von Fahrwegen etc.) ergriffen werden, alternativ hierzu steht die Verwendung staubarmer Bauverfahren zur Diskussion [21].

Im Vergleich zur grabenlosen Bauweise bringt die offene Bauweise mindestens das 55-fache an Feinstaubbelastung mit sich [2]. Grabenlose Bauweisen bedeuten daher für die Anwohner bzw. die betroffene Bevölkerung deutlich weniger Staub und tragen zur Verbesserung des Mikroklimas bei.

3.2.1.3 Lärm

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – sowie die dazu gehörigen Ausführungsbestimmungen und Vorschriften wie TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) [22] und die „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm“ [23] bilden den rechtlichen Rahmen für Lärmbekämpfung und Lärmreduktion. Baustellen stellen immer eine, zwar vorübergehende, jedoch nicht unerhebliche Lärmbelastung dar. Lärmemissionen entstehen bei einer Baumaßnahme vornehmlich durch eingesetzte Baumaschinen und Arbeitsgeräusche infolge geräuscherzeugender Kraftübertragung zwischen Maschine und Arbeitsgut (Schalldruck). Neben den Bauarbeitern sind auch die anliegenden Anwohner von den Auswirkungen betroffen [24].

Schalldruck ist eine technische Größe, wobei der Rückschluss von Schalldruck auf die wahrgenommene Empfindung nur bedingt möglich ist. Als Annäherungswert gilt, dass etwa 10 dB Unterschied als doppelte bzw. halbe Lautstärke wahrgenommen werden.

Hohe Schalldrücke verursachen Unbehaglichkeit und Schmerzempfindungen. Die Unbehaglichkeitsschwelle hängt stark von Art und Herkunft des Geräusches bzw. Lärms ab; die Schmerzschwelle liegt je nach Frequenzzusammensetzung des Geräusches zwischen 120 dB und 140 dB. Ist das Gehör Schalldrücken im Bereich der Schmerzschwelle ausgesetzt, sind bleibende Hörschäden selbst bei nur kurzer Einwirkzeit möglich.

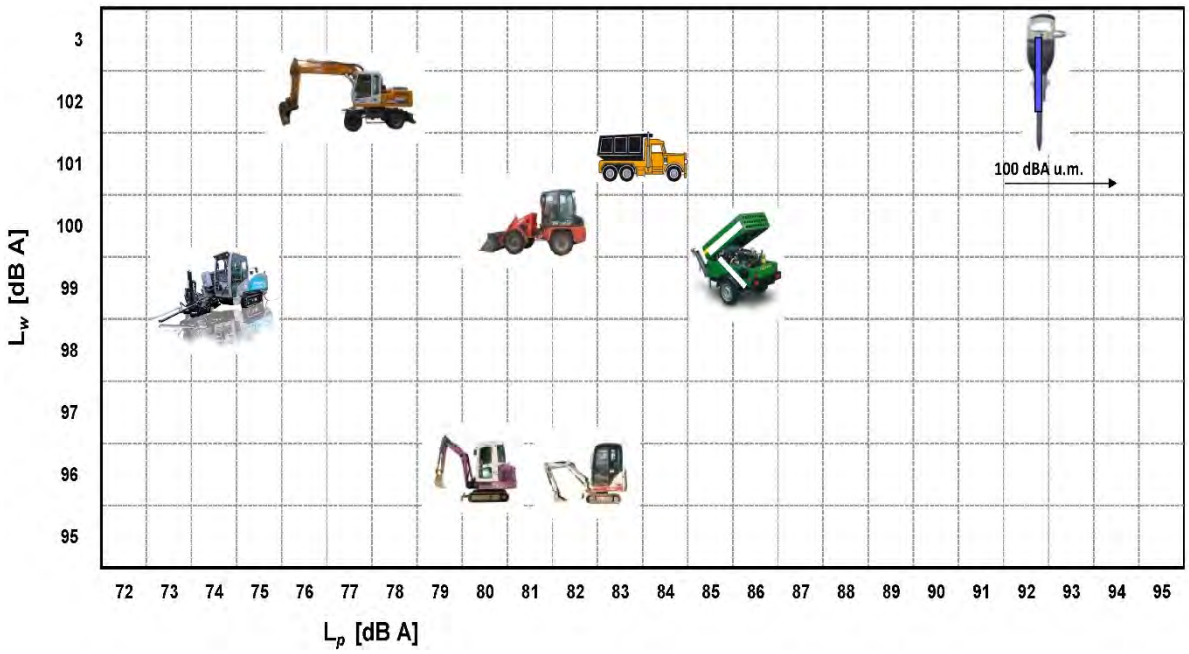


Abb. 3: Schalldruck L_p /Schallleistung L_w bei Baumaschinen (in Anlehnung an [25] sowie Herstellerangaben)

Bei der offenen Bauweise ist während der gesamten Baumaßnahme mit Lärmbelästigungen zu rechnen. So lassen sich trotz umsichtig durchgeführten Abbruch- oder Aushubarbeiten, einer sorgfältigen Installation der Baustelle und durch den Einsatz lärmarmer Maschinen und Geräte Lärmbelästigungen nicht ganz verhindern, aber zumindest auf ein erträgliches Niveau mindern [26]. Das fortgesetzte Überschreiten der Lärmgrenzwerte kann zur vorübergehenden Stilllegung einer Baustelle führen.

Bei der grabenlosen Bauweise treten Lärmbelastungen dagegen i.d.R. reduziert und punktuell im Bereich der Arbeitsorte auf [24].

3.2.2 Ökologische Faktoren

Ökologie bezeichnet im Allgemeinen den Schutz der Umwelt vor störenden Einflüssen und anthropogenen Beeinträchtigungen [27]. Durch Baumaßnahmen wird das Ökosystem teilweise unter Stress gesetzt, was im näheren Bauumfeld zu mittelbaren Auswirkungen führen kann. Die Auswirkungen betreffen die Vegetation sowie die Schutzgüter Boden, Wasser und Tiere.

3.2.2.1 Vegetation

Der offene Leitungsbau hat Einfluss auf Bäume und Straßenbegleitgrün, auf mögliche Bodenverdichtung und auf unerwünschte Bodendrainagen zum Nachteil der Vegetation und der Umwelt.

Nach Beendigung der Bauarbeiten kann es bei offenen Verlegungen entsprechend der verwendeten Verfüllmaterialien zu Veränderungen in der Bodenfeuchte und durch Drainagewirkungen zu negativen Veränderungen der Nährstoffzufuhr von Bäumen kommen. In der GSTT-Information Nr.8 „Baumschutz“ sind derartige Folgewirkungen dargestellt und die möglichen Bauschäden aufgezeigt [28].

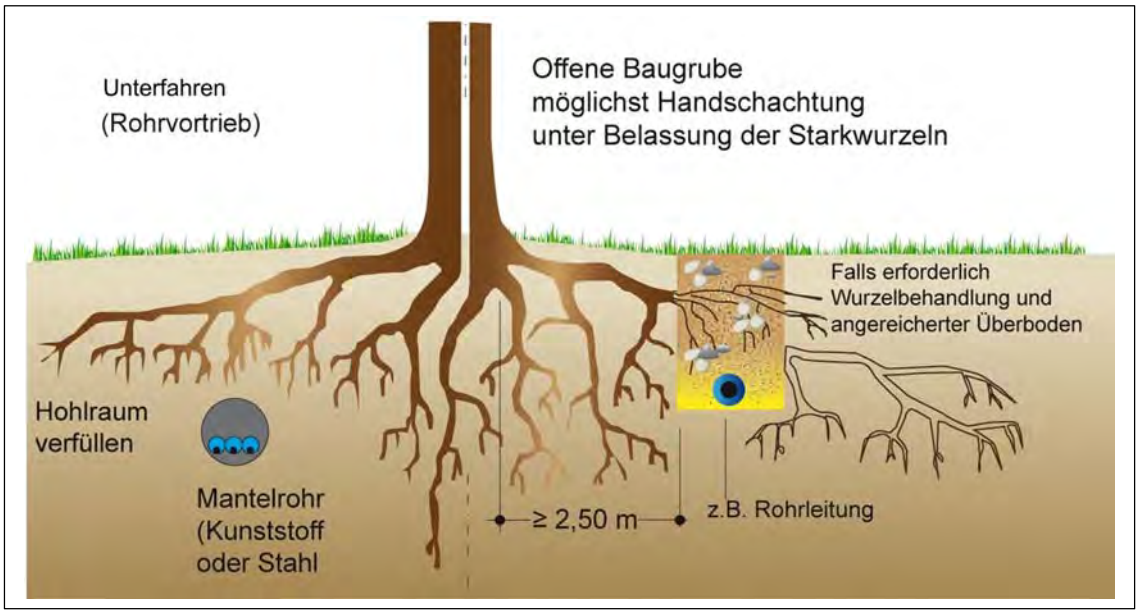


Abb. 4: Bauarbeiten im Wurzelraum [29]

Unmittelbar angrenzende Bäume werden mitunter bei der Planung und Ausschreibung von Leitungsbaumaßnahmen berücksichtigt. Nicht erfasst werden dagegen Folgekosten, die an Bewuchs und Bäumen im Bereich von Arbeitsflächen oder Umleitungsstrecken entstehen. Diese Kosten werden von der Kommune getragen. Baubedingte Verdichtungen des Bodens im Leitungsbereich können zu Beeinträchtigungen der Bodennutzung führen. Mikroorganismen und Kleinstlebewesen können absterben, das natürlich anstehende Bodenbelüftungssystem zusammenbrechen. Zur Schadensbegrenzung wird oft eine aufwendige Bodenauflockerung und Rekultivierung mit Bodenfräsen erforderlich.

Generell ist darauf zu achten, ob nicht im direkten Umfeld der Baumaßnahme ein Flora-Fauna-Habitat (FFH) vorliegt, in dem besondere Schutzmaßnahmen für Pflanzen und Tiere (s.3.2.2.4) erforderlich werden.

3.2.2.2 Schutzgut Boden

Die Wiederverfüllung von Baugruben und Gräben erfordert verfahrensbedingt hohe Verdichtungswerte [30], die für die neue Leitung selbst, für angrenzende Bauwerke und vorhandene Anlagen, aber auch Flora und Fauna abträglich sein können (siehe auch 3.2.2.1).

Bei den grabenlosen Bauverfahren tritt nur eine geringe oder gar keine Beeinflussung der umliegenden Bodenzone auf, da das Bodengefüge im Bereich der Leitungszone nicht angetastet wird. Verfahrensbedingt können geringe Bodenverdichtungen in der direkten Rohrumgebungszone auftreten. Der gesamte Bereich oberhalb der vorhandenen Leitungstrasse wird auch hier nicht berührt. Durch die Wahl einer Technologie, die weniger in den anstehenden Untergrund eingreift, ist auch hier die Summe der Belastungen umfassend zu senken.

3.2.2.3 Schutzgut Grundwasser

Für Leitungsverlegungen in Böden mit hohem Grundwasserstand sind aufwändige, kosten- und zeitintensive Maßnahmen zur Wasserhaltung für eine technisch einwandfreie Ausführung der Bauvorhaben erforderlich. Bei Grundwasserhaltungsmaßnahmen sind zusätzliche arbeits- und sicherheitstechnische Aspekte zu beachten.

Bei der Herstellung von Baugruben wird durch eventuell notwendige Wasserhaltungsmaßnahmen direkt in den Wasserhaushalt eingegriffen. Durch Wasserentnahme wird je nach Schichtung und Durchlässigkeit des Bodens eine weiträumige Absenkung des Grundwasserspiegels bewirkt.

Grabenlose Bauweisen kommen im Allgemeinen ohne Grundwasserabsenkungen und deren Folgewirkungen aus. Folgekosten bei Beeinträchtigungen im Grundwasserbereich werden – sofern kein direkter Verursacher ermittelt werden kann – von den Wasserversorgungsbetrieben und den Umweltbehörden zu tragen sein. Diese Mehrkosten werden nicht der jeweiligen Baumaßnahme zugeordnet, sondern schlagen sich in den Gebühren und Preisen beim Verbraucher nieder.

Zur Vermeidung von Schäden an baulicher Infrastruktur und Vegetation sind Ausgleichsmaßnahmen oder gar geänderte Bauweisen mit entsprechenden Folgekosten notwendig. Die gewählte Bauweise hat somit neben dem direkten auch einen indirekten Einfluss auf die umliegende Vegetation und das Grundwasser [24].

Die rechtliche Grundlage liefert das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) als Bundesgesetz in der Fassung vom 31. Juli 2009. Das WHG enthält Bestimmungen über den Schutz und die Nutzung von Oberflächengewässern und das Grundwasser, außerdem Vorschriften über den Ausbau von Gewässern, die wasserwirtschaftliche Planung sowie den Hochwasserschutz (Inkrafttreten 18.8.2010).

3.2.2.4 Schutzgut Tiere

FFH-Richtlinien können sich unter gewissen Umständen bei Planung und Ausführung von Leitungsbaumaßnahmen auswirken. Bei ausgewiesenen FHH- Gebieten – auch innerhalb von Stadtgebieten – sind vor jeder Baumaßnahme mögliche Beeinträchtigungen auf dort lebende Tiere und seltene Pflanzenarten zu untersuchen. Gerade in Straßenzügen mit altem Baumbestand (z.B. Eichen) können geschützte oder seltene Tiere wie Spechte, Hirschkäfer oder auch Fledermäuse anzutreffen sein. Auf Grund dieser schützenswerten Tier- und seltener Pflanzenvorkommen müssen Tiefbaumaßnahmen umgeplant oder in engen Zeitfenstern unter besonderen Auflagen durchgeführt werden bzw. sind Ausgleichsmaßnahmen zu leisten.

3.3 Auswirkungen auf Dritte

Infolge von Stau oder Umleitungsstrecken entstehen ungeplante Aufwendungen in Form von Zeit und Geld. Bei Anliegern treten Verluste durch gestörten und reduzierten Geschäftsbetrieb auf, Kunden bleiben aus, Zu- und Belieferung werden erschwert und erfordern zusätzlichen Aufwand und Kosten. Ebenfalls können Störungen infolge von Baumaßnahmen die üblichen Betriebsabläufe beeinträchtigen und erschweren. Gesundheitliche Beeinträchtigungen sind ebenfalls mögliche Folgen einer Baumaßnahme.

3.3.1 Stau und Umleitungen

Jede Baumaßnahme – insbesondere die offene Bauweise – führt im Straßenraum zwangsläufig zu Beeinträchtigungen durch Umleitungsstrecken und Staubildung [31]. Dadurch treten Zeitverluste bzw. erhöhte Betriebskosten für die Verkehrsteilnehmer bzw. Fahrzeuge auf, zu denen beispielhaft in Kapitel 5.5.4 ff Berechnungen angestellt werden.

Je nach gewähltem Bauverfahren ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen für den öffentlichen Verkehr. Diese Auswirkungen sind als soziale Kosten im Planungsprozess zu berücksichtigen. So werden die in Deutschland jährlich insgesamt entstehenden Staukosten in Form von Zeitverlusten, Verspätungen und vermeidbarem Kraftstoffverbrauch [32] mit etwa 120 Milliarden Euro beziffert. Netzbetreiber können durch den Einsatz grabenloser Verfahren Beeinträchtigungen wie Verzögerungen im Verkehr möglichst gering halten.

Auch hier gilt wie in den vorherigen Ausführungen: Die Wahl der Technologie bestimmt maßgebend Umfang und Auswirkungen einer Baustelle auf den öffentlichen Straßenverkehr und den hiermit in Zusammenhang stehenden Folgekosten.

3.3.2 Störungen von Betriebsabläufen

Durch Baumaßnahmen entstehen Eingriffe und dadurch oft auch Einschränkungen der öffentlich genutzten Infrastruktur. Besonders nachteilig wirken sich überörtlich Ausweichtrassen, Einrichtung von Schienenersatzverkehren oder der Wegfall von Busverbindungen mit erheblichen Zeitverlusten im Zugang oder durch längere Fahrzeiten und Fahrstrecken aus. Umgekehrt ergeben sich auch für die Ausführung von Bauarbeiten Einschränkungen im Bauablauf durch Einhaltung von Zeitfenstern. Nach Abschluss der Leitungsbaumaßnahmen führen oft Ertüchtigungsmaßnahmen von Umleitungsstrecken, die infolge erhöhter Verkehrsbelastung geschädigt sind, zu Mehrkosten.

3.3.3 Wirtschaft und Gewerbe

Durch die Realisierung von Baumaßnahmen entstehen indirekte Kosten vor allem durch Schmälerung von Umsätzen durch Verlagerung von Einkaufsströmen infolge der Behinderung des Geschäftsbetriebes.

Geschäfte oder Betriebe werden während der Bauphase weniger frequentiert, was eine zumindest zeitweise Verlagerung der Einkaufstätigkeit oder die Frequentierung von Betrieben benachbarter Regionen zur Folge hat (regionale Verlagerung). Ähnliches gilt für produzierendes Gewerbe, das infolge einer Baustelle nicht oder nur unzureichend angefahren werden kann und während der Bautätigkeit unter Umständen gemieden wird. Durch Behinderung der Zulieferung wird die Produktion beeinträchtigt und verursacht Vermögensschäden, welche nicht einforderbar und versicherbar sind.

Durch den Wegfall von Park- und Stellplätzen für Baustelleneinrichtung, Lagerflächen etc. wird die ursprüngliche Nutzung für die Anlieger eingeschränkt. Ersatzweise müssen Ausweichflächen bereitgestellt werden, die kostenintensiv erstellt und vorgehalten werden müssen. Hier handelt es sich ebenfalls um indirekte Kosten.

3.3.4 Gesundheit

Gesundheitlich negative Auswirkungen durch Emissionen zeigen sich meist zeitversetzt und lassen daher kaum einen direkten Zusammenhang mit der Verursachung zu. Je nach persönlicher Konstitution und vorhandener Exposition können Erkrankungen der Atemwege, z.B. Pseudo-Krupp bei Kleinkindern, Keuchhusten oder Bronchial-Katarrh sowie Asthma auftreten.

Um gesundheitliche Beeinträchtigungen einzuschränken und Staubbildung und -austrag zu reduzieren, werden auf Baustellen Wassersprühfahrzeuge für die Befeuchtung von Straßenoberflächen eingesetzt – einfache Maßnahmen, die vor allem durch Personal- und Fahrzeugeinsatz kostenaufwendig sind und zusätzlich Emissionen verursachen. Zu den Gesundheitsschutzauflagen zählen

z.B. die Einrichtung von Umweltzonen oder die Verpflichtung, dass die Abgasreinigung nach dem „Stand der Technik“ zu erfolgen hat, d.h., dass beispielsweise ein Dieselrußpartikelfilter einzusetzen ist.

Maßgebend für die Intensität jeder Beeinträchtigung ist hier nicht das einmalige Auftreten einer Emission, sondern die anhaltende, oft auch unterschwellige Einwirkung durch andauerndes Auftreten und Bestehen von Emissionen.

Mit der gewählten technischen Lösung für eine Baumaßnahme wird auf den Umfang der gesundheitlichen Belastungen, die aus einer Baustelle entstehen können, Einfluss genommen.

4. Methodik und Entscheidungshilfen für die Verfahrensauswahl

Für die Verfahrensauswahl in der Planungsphase werden die Ausführungsvarianten hinsichtlich der Kosten (Bau- bzw. Investitionskosten) in Bezug auf die technische Lösung und die Nutzungsdauer verglichen. Mit der vorliegenden GSTT-Information wird diese Betrachtungsweise um die Aspekte der indirekten Kosten erweitert.

Vor diesem Hintergrund sind daher nicht nur die direkten Kosten eines Bauprojektes, sondern zunehmend auch nicht realisierbare Kosten wie z. B. ideelle Werte, vermiedene Kosten und Folgekosten zu betrachten.

Die Kenntnis der wesentlichen Verfahren und deren möglicher Einsatz beim jeweiligen Projekt bilden die Grundlage für die Beurteilung wirtschaftlicher Alternativen. Der Planer soll in die Lage versetzt werden, in einer ganzheitlichen Betrachtung die technischen Anforderungen des Projektes beim Bau und Betrieb sowie die betriebswirtschaftlichen Belange des Anwenders zusammenzuführen und daraus eine gesamtwirtschaftliche Lösung zu finden.

In den Regelwerken der DWA und des DVGW sind die diversen Methoden und Verfahren für den Leitungsbau und die Leitungssanierung aufgezeigt. Ausgereifte Qualitätssicherungssysteme sind für diese Technologien verfügbar. Daneben haben andere Verbände und Institutionen Richtlinien und Merkblätter erstellt. Auf europäischer Ebene sind die grabenlosen Bauweisen unter anderem in der DIN EN 15885 [33], standardisiert und klassifiziert.

4.1 Entstehung von direkten und indirekten Kosten

Die Entstehung von direkten und indirekten Kosten beruht auf Ursachen (siehe Tabelle 2), die je nach Verfahren unterschiedlich intensiv auftreten, sich unterschiedlich stark auswirken damit unterschiedlich hohe Folgekosten bewirken.

1.	Großräumige Absperrungen, Verkehrsumlenkungen
2.	Punktuelle Absperrungen, Verkehrsumlenkungen
3.	Unsachgemäßer Verbau
4.	Arbeiten unter schwebenden Lasten
5.	Unfallgefahren (Absturz von Personen, Quetschungen, Verätzungen etc.)
6.	Kontinuierlicher Einsatz von Aushub-, Transport- und Verdichtungsgeräten
7.	Nur punktueller Einsatz von Aushub-, Transport- und Verdichtungsgeräten bei Start-, Montage oder Einziehgruben
8.	Gelegentlicher Einsatz von Aushub-, Transport- und Verdichtungsgeräten
9.	Erhöhte Materialentnahme
10.	Vibrationen beim Einsatz der Aushub-, Vortriebs-, Bersteinrichtungen
11.	Betriebsstoffe, Spülungsaustrag, Harzverluste
12.	Setzungsrisiko durch unzureichende linienhafte Verdichtung
13.	Setzungsrisiko durch unzureichende punktuelle Verdichtung (Baugrube)
14.	Überstreckung der Leitung beim Einzug
15.	Unsachgemäße Bettung, überhöhte Verdichtung
16.	Unsachgemäßer Einbau, fehlerhafte Leitungstrassierung
17.	Risiko linienhafter Sackungen
18.	Tagbruch durch ungewollte Hohlraumschaffung
19.	Umlagerungen im Untergrund, Störung der Erdstatik
20.	Abweichendes Oberflächenmaterial
21.	Fehlerhafter Einbau von Fugendichtungen
22.	Hebungen durch Frostauswirkungen, Spülungsaustritt und Verdrängung
23.	Änderung der Wasserwegigkeit, Drainagewirkung

Tab. 2: Ursachen für die Entstehung direkter u. indirekter Kosten

Eine Einschätzung der Auswirkungen dieser Ursachen wird in den Tabellen 3 bis 5 vorgenommen. Die Risiken für mögliche Folgekosten werden in Tabelle 6 aufgeführt und vergleichend dargestellt.

Beispiel: Großräumige Absperrungen und Verkehrsumlenkungen (Tabelle 2) werden eher bei einer offenen als einer grabenlosen Bauweise auftreten. Entsprechende Auswirkungen wie Funktionsstörungen, Behinderungen im Zugang zu Gebäuden, Einschränkungen der Mobilität, Zunahme von Unfällen (Tabelle 5) werden bei offenen Bauweisen zahlreicher auftreten und sind (Tabelle 6) kostenmäßig (Staukosten, Zeit- und Betriebskosten, Geschäftsausfallkosten, etc.) höher zu bewerten als bei den grabenlosen Bauweisen.

4.1.1 Folgekosten im Bauumfeld

Die Auswirkungen von Folgeschäden im Bauumfeld (Oberfläche, Untergrund, Infrastruktur) werden in den nachstehenden Tabellen verglichen. Bei den einzelnen Verfahren sind jeder Auswirkung Ursachen aus Tabelle 2 zugeordnet. Je nach Häufigkeit des Auftretens, dem möglichen Umfang oder der zu erwartenden Intensität der Auswirkungen ergibt sich die jeweilige Ampelfarbe.

Die Farbgebung dient somit nicht einer Wertung, sondern dazu, die Aufmerksamkeit des Lesers auf Risiken zu lenken, die sich aus den jeweiligen Ursachen (Tabelle 2) bzw. deren Auswirkungen (mögliche Folgeschäden) und deren Kosten im Vergleich der Verfahren untereinander ergeben. So ist z.B. bei der offenen Bauweise die Inanspruchnahme von Oberflächen durch die Erstellung von Leitungsgräben sehr hoch. Entsprechend hoch ist damit das Risiko von Schäden an Oberflächen infolge Wiederverfüllung und Vedichtung dieser Gräben.

4.1.1.1 Oberflächen

Oberflächen beinhalten die üblichen Asphalt-/Pflasterdecken und die sonstigen Gestaltungselemente im Verkehrsraum. Arbeitsvorgänge können zu Auswirkungen während und nach der Leitungsverlegung führen. Beispielhaft seien Veränderungen in der Oberflächenbeschaffenheit hinsichtlich Ebenheit, Griffigkeit, Struktur, dem internen Aufbau und auch der Farbgebung bei teilweisem Neumaterialeinsatz genannt.

Vergleichsbetrachtung*		Offene Bauweise	Grabenlose Bauweisen: Sanierung und Neuverlegung			
Bereich	Auswirkung	Graben	HDD	MT	Liner**	BL
Oberfläche	Erschütterungen	6	7	7	7	10
	Setzungen (flächig)	12	13	13	13	13
	Sackungen (punktuell)	17		18		
	Risse Straßendecke	21	13	13	13	13
	Wasserzutritte	21	21	21	21***	21
	Frostschaden	17,21	21	21	21***	21
	uneinheitliches Oberflächenbild	12, 17, 20	20	20	20***	20
	Hebungen	22	22	22		22
	Unebenheiten in der Trasse	12, 21				
	Tagbruch/ Grundbruch	19		18		

Eintrittswahrscheinlichkeit hoch mittel gering

HDD: Horizontalbohrungen, MT: Mikrotunnelbau, Liner: Lining-Verfahren, BL: Berstverfahren

* Gängige Verfahren der Neuverlegung und Sanierung

** DN > 300 mm. ggflls. werden systembezogen Start/Einziehgruben erforderlich

*** nur im Bereich von Bau-, Einzieh- oder Montagegruben

Tab. 3: Vergleichsbetrachtung Oberflächen

4.1.1.2 Untergrund

Der Begriff Untergrund wird für den gesamten Bereich des Leitungsgrabens inklusive Frostschutzzone unterhalb des Straßenoberbaues angewandt. Verwendung und Einbau unterschiedlicher Verfüll- und Bettungsstoffe gegenüber dem früheren Aufbau führen ebenfalls zu Auswirkungen im Untergrund, die sich als Hebungen oder Setzungen bis an die Oberfläche ausbreiten können.

Vergleichsbetrachtung*		**Offene Bauweise**	**Grabenlose Bauweisen: Sanierung und Neuverlegung**			
Bereich	Auswirkung	Graben	HDD	MT	Liner**	BL
Untergrund	Erschütterungen	6		7, 10		10
	Setzungen	12, 17		9		
	Hebungen		22	22		22
	Änderung der Erdstatik	19		19		19
	Wasserwegsänderung	23	23	23		
	Bodenumlagerung	15, 16				
	GW-Schädigung	11	11	11	11***	
	Tagbruch/ Grundbruch	19, 23		9		

Eintrittswahrscheinlichkeit hoch mittel gering

HDD: Horizontalbohrungen, MT: Mikrotunnelbau, Liner: Lining-Verfahren, BL: Berstverfahren

* Gängige Verfahren der Neuverlegung und Sanierung

** DN > 300 mm. ggflls. werden systembezogen Start/Einziehgruben erforderlich

*** CIPP: Cured in Place Pipe

Tab. 4: Vergleichsbetrachtung Untergrund

4.1.1.3 Infrastruktur

Die Infrastruktur ist von Auswirkungen betroffen, die im direkten und auch weiter entfernten Bereich, wie z.B. auf Routen für die Verkehrsumlenkung der Leitungsbaumaßnahme, entstehen. Benachbarte Leitungen und Anlagen sowie Bebauung und Bewuchs in der Umgebung der Leitungsbaumaßnahme zählen ebenfalls dazu. Das Ausmaß dieser möglichen infrastrukturellen Schäden hängt vom jeweiligen Bauverfahren ab.

Vergleichsbetrachtung* Kostenrisiken		Offene Bauweise	Grabenlose Bauweisen: Sanierung und Neuverlegung			
Bereich	Auswirkung	Graben	HDD	MT	Liner**	BL
Infrastruktur	**Schäden an Fremdleitungen durch Beeinflussung der Rohrbettung**					
	• Leitung querend	10, 17		16		16
	• Leitung längsverlaufend	10, 17	16	16		16
	Setzung an Gebäuden					
	• Nutzungseinschränkung	3, 19		19		
	• Einsturz von Bauwerken	3 ,19				
	Funktionsstörung					
	• Leitungsanlagen	15, 16	15, 16	15, 16	16	15, 16
	• Zugang zu Gebäuden	1				
	• Einschränkungen Mobilität	1	2	2	2	2
	• Verkehrsstaus	1		2		
	Gefährdungen					
	• Zunahme Unfallgefahren	1		2		
	Schäden an Fahrzeugen					
	• Verschleißerhöhung	12, 17, 22				
	• Wartungsaufwand	12, 17, 22				
	Personenschäden beim Bau	3, 4, 6		4	5	4
	Schäden an Vegetation	6, 15, 23				

Eintrittswahrscheinlichkeit hoch mittel gering

HDD: Horizontalbohrungen, MT: Mikrotunnelbau, Liner: Lining-Verfahren, BL: Berstverfahren

* Gängige Verfahren der Neuverlegung und Sanierung

** DN > 300 mm. ggflls. werden systembezogen Start/Einziehgruben erforderlich

Tab. 5: Vergleichsbetrachtung Infrastruktur

4.1.1.4 Einschätzung der entstehenden Folgekosten

In der Tabelle 6 „Folgekosten im Bauumfeld“ (Oberflächen, Untergrund, Infrastruktur) werden mit der Ampelwertung das Risiko und das mögliche Ausmaß der Folgekosten für die in den Tabellen 2-5 aufgelisteten Auswirkungen während und nach den Leitungsbaumaßnahmen aufgezeigt.

Vergleichsbetrachtung* Kostenrisiken		Offene Bauweise	Grabenlose Bauweisen: Sanierung und Neuverlegung			
Bereich		**Graben**	**HDD**	**MT**	**Liner****	**BL**
Oberfläche	Allgemeine Oberflächen	17,18,19,21	13	13	13	13
	Straßen-, Gehwegflächen	17,18,19,21	7	7	7	7
	Schäden an Bewuchs und Bäumen	6,15,23				
	Reparatureingriffe an Leitungen	17,18,19,21	14,16			
	Folgeschäden nach Reparatur	17,18,19,21				
	Schäden im Baumfeld	3,6,19	22	19,20	20	20
Bereich		**Graben**	**HDD**	**MT**	**Liner****	**BL**
Untergrund	Fremdleitungsschäden					
	• querend	12,15,17,19	16	10		10,16
	• längsverlaufend	12,15,17,19	16	10		10,16
	Schäden an neuverlegten Leitungen	12,15,17,19			16	
	Schäden an unterirdischen Bauten	10,23		22		10
Bereich		**Graben**	**HDD**	**MT**	**Liner****	**BL**
Infrastruktur	Beweissicherung	12,17,19,21		18,19		
	Setzung an Gebäuden	19,23		18,19		
	Sicherungsmaßnahmen	19,23		18,19		
	Geschäftsausfallkosten	1	2			
	Gesundheitskosten Bevölkerung	5,6				
	Staukosten	1				
	Mehrkosten Privatfahrzeuge	1,17,22				
	Regulierung Sachschäden	14,16,22		16	16	
	Personenschäden beim Bau	4,5	5	4,5	5	5

Risikopotenzial hoch mittel gering

HDD: Horizontalbohrungen, MT: Mikrotunnelbau, Liner: Lining-Verfahren, BL: Berstverfahren
* Gängige Verfahren der Neuverlegung und Sanierung
** DN > 300 mm. ggflls. werden systembezogen Start/Einziehgruben erforderlich

Tab. 6: Vergleichstabelle für Folgekosten im Bauumfeld

4.2 Folgekosten für Natur und Umwelt

Der Leitungsbau mit Neuverlegung und Sanierung von Versorgungs- und Entsorgungsleitungen nimmt beim Ausbau und der Erhaltung der Infrastruktur einen großen Anteil am gesamten Baugeschehen ein. Das Volumen der erstellten Rohrleitungen und Kabelstrecken in den ca. 1.200 Mittel- und Großstädten wird auf mehrere 10.000 km pro Jahr geschätzt [34].

Dabei anfallende Transportvorgänge bewirken u.a. „externe Verkehrskosten". Darunter versteht man diejenigen Kosten, die durch die Verkehrsteilnehmenden verursacht, jedoch nicht von ihnen selber getragen werden. Die wichtigsten Bereiche sind Unfälle, Lärm, luftverschmutzungsbedingte Gesundheitskosten, Klima, der Bereich Natur und Landschaft sowie die Kosten aus vor- und nach gelagerten Prozessen. Diese wurden von Maibach et al. in [35] für das Jahr 2005 mit Durchschnittskosten von 29,8 € / 1000 tkm für den innerstädtischen Transport mit LKW angegeben.

In einer Publikation des UBA [36] sind externe Umweltkosten, die die Bereiche Klima, Luftverschmutzung, Lärm sowie Natur und Umwelt betreffen, in Tabelle 7 wiedergegeben.

	PKW (Flotte 2005)	LKW (>3,5t)	Methodik	Quelle
Klimakosten	1,2	4,8	Methodenkonvention 70 €/t CO_2	UAB-Projekt Infras Fifo, 2007
Luftverschmutzung	0,5	5,6	Gesundheit, Materialschäden Ernteverluste nach ExternE (EU Kommission 2005	UAB-Projekt Infras Fifo, errechnet von IER
Natur und Landschaft	0,4	2,0	Kosten für Renaturierung Gewässereinigung etc.	Infras/IWW (2004), eigene Umrechnung
Lärm	0,8	5,0	Gesundheitsschäden Mietpreisdifferenzen	Infras/IWW (2004), eigene Umrechnung
Summer der umweltrelevanten externen Kosten	2,9	17,4		

Tab. 7: Externe Umweltkosten in Cent pro Fahrzeugkilometer [36]

Ein Beitrag der grabenlosen Bauweisen liegt nun darin, dass sich verbrauchs- und emissionsintensive Arbeitsvorgänge und damit einhergehende Emissionen reduzieren lassen sowie eine Schonung von Ressourcen und Umwelt zu erreichen ist.

Durch zunehmend konsequente Anwendung der grabenlosen Bauweisen wurden so in Berlin im Zeitraum von 1984 bis 2010 – bezogen auf eine Gesamtlänge von 784 km Sammel- und Hausanschlusskanäle – folgende Größenordnungen und Einsparungen erzielt [37]:

- ca. 1,3 Mio. m^2 Fahrbahnfläche mussten nicht aufgebrochen und somit auch nicht wiederhergestellt werden
- ca. 2,4 Mio. m^3 Boden mussten nicht ausgehoben und wiedereingebaut bzw. transportiert und gegebenenfalls entsorgt werden
- ca. 212 Mio. m^3 Grundwasser mussten nicht gefördert werden; mit dieser Wassermenge wäre die Wasserversorgung Berlins für ca. 1 Jahr sichergestellt.
- ca. 198.000 LKW-Ladungen mussten nicht durch die Stadt transportiert werden
- ca. 67 Mio. € Bausumme konnten in andere Bauvorhaben investiert werden.

Am Beispiel dieser 198.000 LKW-Ladungen, die nicht transportiert werden mussten, werden mit verschiedenen Herangehensweisen die Auswirkungen auf Dieselverbrauch, externe Umwelt- und Verkehrskosten aufgezeigt.

1. 198.000 LKW-Ladungen bedeuten bei 30 km Transportweg ca. 6.000.000 (zusätzliche) Kilometer. Mit 17,4 Cent / km aus Tabelle 7 lassen sich „externe Umweltkosten“ von ca. 1.000.000 € vermeiden.

2. Mit der vorgenannten Kilometerleistung sowie 18 t Gesamtgewicht pro LKW-Fahrt errechnen sich die „externen Verkehrskosten“ für den innerstädtischen Transport mit LKW zu 3.186.216 Euro. Zugrunde liegen nach Maibach et al. [35] 29,8 € / 1000 km. Enthalten sind neben den Kosten für Klima, Luftverschmutzung, Lärm sowie Natur und Umwelt auch Kosten für Unfälle sowie vor- und nachlaufende Prozesse.

3. Für 6.000.000 km Fahrleistung ergibt sich bei einem Kraftstoffverbrauch von 25 l / 100 km eine Gesamtkraftstoffmenge von 1.500 000 Liter. Bei Kosten von 1,4 € / l ergeben sich Einsparungen von 2.100.000 €.

Die vorstehend aufgezeigten positiven Auswirkungen, die bereits für Transportfahrten hinsichtlich der externen Umwelt- und Verkehrskosten erzielbar sind, zeigen auf, dass praktisch in jeder Baumaßnahme für sich und erst recht in der Aufsummierung der vielen tausend Leitungsbaustellen in Deutschland vielfältige Potentiale enthalten sind, die sich durch grabenlose Bauweisen heben lassen. Bereits in der Planung lassen sich kostensenkende und umweltentlastende Weichen stellen.

4.2.1 Emissionen

Bautätigkeiten verursachen Emissionen und einen Ressourcenverbrauch, der wiederum Emissionen erzeugt**.** Beispielhaft wurden in [11] für die Auswechslung einer Rohrleitung DN 200-250, die in einer Tiefe von einem Meter in offener und grabenloser Bauweise verlegt ist, die jeweiligen Absolutmengen für Transport-

vorgänge und Baumaschineneinsatz, Nutzung der Ressourcen sowie die Bauzeiten ermittelt . In Tabelle 9 sind die Ergebnisse sowie die jeweiligen Einsparungen für die grabenlose Bauweise aufgezeigt.

Verringerung	CO_2 [t]	N_2O [t]	CO_2-äquiv. [t]	CO [t]	NO_X [t]	HC [t]	PM10 [t]	Russ [1] [t]
absolut	**1.500**	**0,25**	**1.600**	**6,5**	**18**	**2,6**	**5,5**	**0,27**
offene Bauweise	*2.100*	*0,45*	*2.200*	*11*	*27*	*4,4*	*6,8*	*0,41*
grabenlose Bauweise	***600***	***0,20***	***700***	***4,3***	***8,8***	***1,8***	***1,3***	***0,15***
relativ	**71%**	**56%**	**73%**	**60%**	**67%**	**59%**	**81%**	**64%**

[1] ….. als Anteil von PM10

Tab. 8: Ressourceneinsparungen bei Auswechslung von 100 km Rohrleitung (DN 200-250, Tiefe 1,0 m) in grabenloser Bauweise [11]

Unter den vorgenannten Voraussetzungen wurden in Tabelle 9 für eine Ausführung in offener und grabenloser Bauweise mit den Emissionsfaktoren aus Tabelle 1 die absoluten Emissionsfrachten sowie die Verringerungen für die grabenlose Bauweise ermittelt.

Einsparung	Transport [km]	Baumaschinen [h]	Baumaschinen [l]	Deponie/Verfüllmaterial [m³]	Deponie/Verfüllmaterial [kt]	Bauzeit [1] [d]
absolut	**900.000**	**14.000**	**250.000**	**90.000**	**190**	**4.000**
offene Bauweise	*1.000.000*	*25.000*	*470.000*	*100.000*	*200*	*7.000*
grabenlose Bauweise	***70.000***	***11.000***	***220.000***	***7.000***	***15***	***3.000***
relativ	**90%**	**56%**	**53%**	**90%**	**95%**	**57%**

[1] ….. Bei einer durchschnittlichen Rehabilitationslänge von 1 km

Tab. 9: Emissionseinsparungen für die Auswechslung von 100 km Rohrleitung (DN 200-250, Tiefe 1,0 m) in grabenloser Bauweise [11]

Eine analog durchgeführte Variation von Durchmesserbereichen und Verlegetiefen ergäbe für die auf Seite 26-27 genannten 784 Leitungskilometer jeweils die nachstehend aufgeführten CO_2-Einsparungen.

DN 200, 1 Meter Verlegetiefe: ca.12.000 t CO_2
DN 400, 1 Meter Verlegetiefe: ca.15.000 t CO_2
DN 200, 2 Meter Verlegetiefe: ca.29.000 t CO_2
DN 400, 2 Meter Verlegetiefe: ca.38.000 t CO_2

Die CO_2-Frachten werden mit den entsprechenden Verbrauchswerten (l / km oder l / h) und den Emissionsfaktoren aus Tabelle 1 ermittelt. Die Kosten der Emissionen lassen sich nachfolgend für die ermittelten Mengen und mit dem vom UBA [38] genannten Betrag von 70 € / to für CO_2 berechnen. Soweit für die übrigen gasförmigen Schadstoffe entsprechende Kostenansätze bekannt sind, kann entsprechend verfahren werden. Beispielsweise wird entsprechend [38] für NOx ein Betrag von 3.600 € / t und für PM10 ein Betrag von 58.000 € / t angesetzt.

4.2.1.1 Gase

Für die Ermittlung von Folgekosten durch baustellenbedingte Emissionen gibt es in der Literatur diverse Angaben und Werte, die für die Berechnung von Schadstoffemissionen angewendet werden können.

Die Musterbaustelle in dieser GSTT-Information Nr.11 (2011) liefert hierzu Werte über den Verbrauch an Betriebsstoffen (Kraftstoffe) und die anfallenden Betriebsstunden. Daraus lassen sich Emissionsmengen (s. Kap. 5.5) ermitteln.

Das UBA hat in internationaler Zusammenarbeit [38] in den letzten Jahren zahlreiche Untersuchungen (s. Tab. 10) zu Schadstoffemissionen infolge Verkehr und deren Bewertung durchgeführt.

Luft-schad-stoffe	Ortslage	Deutschland BVWP 2003	Deutschland EWS 1997	Österreich RVS 2.22	IER 2006
PM 10	außerorts	0,79 Mio €/Schadensfall	300 €/t	290 €/t	37.000 €/t
	Kleinstadt			1380 €/t	58.000 €t
	Großstadt				180.000 €/t
NOx	außerorts	365 €/t	865 €/t	763 €/t	3.600 €/t
	innerorts	3,37 € je Schadstoff-Einwohner Gleichwert	23.671 je Schadstoff-Einwohner Gleichwert	3.677 €/t	
SO_2	außerorts	k.A	865 €/t	327 €/t	5.200 €/t
	innerorts	k.A	k.A	1.555 €/t	
CH	außerorts	k.A	1.298 €/t	1.726 €/t	1.200 €/t (NMVOC)
	innerorts	k.A	k.A	4.455 €/t	
CO	außerorts	k.A	2,60 €/t	3,63 €/t	k.A
	innerorts	k.A	k.A	9,08 €/t	k.A

Tab. 10: Kostensätze für Luftverschmutzung durch Verkehr [38]

Von der Mehrheit der Experten [36] werden danach Kostenansätze von 14 € / t CO_2 bis 300 € / t CO_2 akzeptiert. Im Durchschnitt wird nachfolgend die Tonne CO_2 mit € 70.- angesetzt (siehe Tabelle 7). Dieser Betrag entspricht in etwa den derzeit notwendigen Aufwendungen, um Klimaschäden durch CO_2-Emissionen zu beseitigen.

4.2.1.2 Feinstaub

Zurzeit sind die Städte gezwungen, zur Einhaltung der Feinstaubverordnung entsprechende Maßnahmen einzuführen. Die Ausführung von Baumaßnahmen in grabenloser Bauweise ist ein geeigneter Beitrag.

Zur Durchsetzung der Feinstaubverordnung sehen die Städte u.a. ein Bußgeld von 40 € vor, die vom Halter von Fahrzeugen mit unzulässiger oder fehlender Plakette erhoben werden. Bei Mehrfachüberschreitung droht ein Eintrag in das Verkehrszentralregister in Flensburg und / oder erhöhte Bußgelder bis hin zur Stilllegung von Fahrzeugen und Maschinen.

Beim Betrieb von Baumaschinen kann die Verwendung von Russpartikelfiltern zur Auflage gemacht werden, wie es z.B. in der Schweiz schon seit 2010 als Stand der Technik verpflichtend ist [39].

Ab dem 12.Juni 2011 besteht für Städte mit überhöhter, nicht mehr zulässiger Feinstaubbelastung (50 Mikrogramm / an mehr als 35 Tagen im Jahr) eine Strafgeldleistung [40]. Die Strafgelderhebung richtet sich nach der Anzahl der Tage mit Überschreitung der Feinstaubgrenzwerte.

4.2.1.3 Lärm

Um Lärmemissionen kostenspezifisch zu erfassen, ist es erforderlich, die mit dem Lärm einhergehenden Beeinträchtigungen (Belästigungen, Störungen, gesundheitliche Schädigungen) zu bewerten. Eine generelle Übersicht liefert Abb.5.

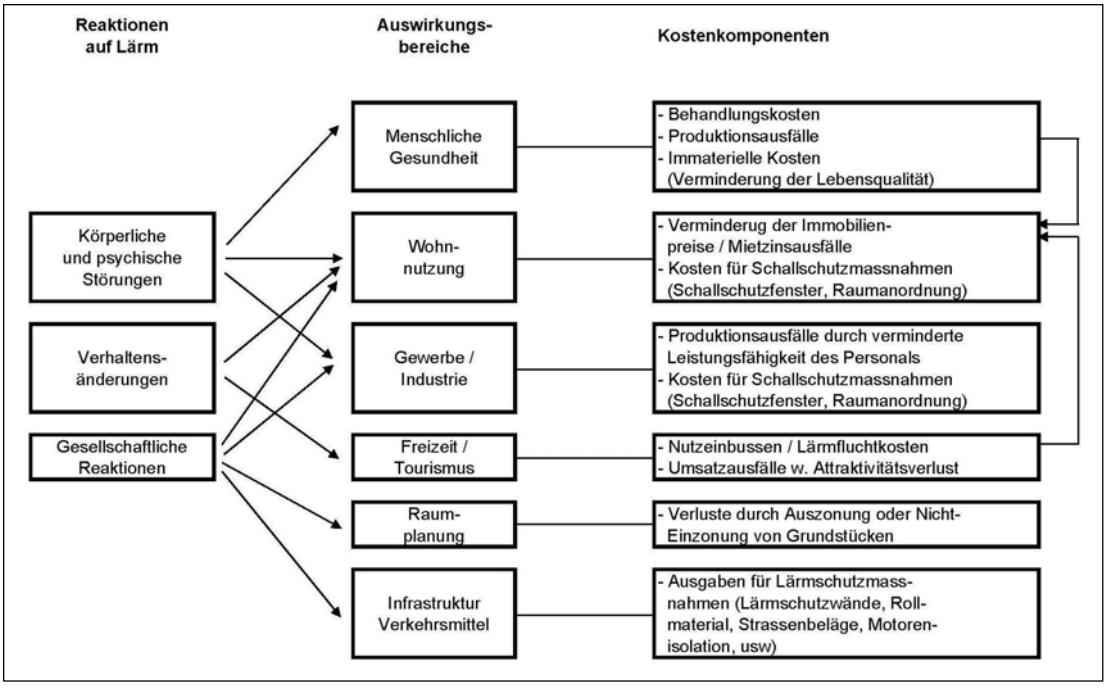


Abb. 5: Auswirkungen des Lärms und ausgewählte Kostenbereiche [41]

Lärmschutzmaßnahmen erhöhen die direkten Kosten. Die Maßnahmen reichen vom Verbot von Nachtbaustellen bis hin zu speziellen Einhausungsmaßnahmen. Bei grabenlosen Bauweisen sind i.d.R. weniger Lärmschutzmaßnahmen erforderlich.

Lärmbedingte Berufskrankheiten kosten die gewerblichen Berufsgenossenschaften mittlerweile mehr als 138 Millionen Euro, die jährlich für Renten an über 46.000 Lärmgeschädigte gezahlt werden müssen. Allein die BG BAU zahlte in dem Jahr für die gleichen Zwecke 18,5 Millionen Euro an rund 6.500 Geschädigte [42].

Bei der Abschätzung der monetären Auswirkungen des Lärms auf die o.g. Kostenkomponenten wird deutlich, dass sowohl auf dem Gebiet der Wirkungszusammenhänge als auch bei der monetären Bewertung der Lärmauswirkungen noch weiterer Untersuchungsbedarf besteht.

4.2.2 Ökologische Kosten

Für die Einhaltung rechtlicher Vorgaben und Auflagen für die Schutzgüter Wasser und Boden können unterschiedliche Kosten entstehen. Kosten für ökologische Aufwendungen werden regional unterschiedlich festgelegt. Bekannte Kostenansätze sind beispielhaft in den jeweiligen Unterkapiteln aufgeführt.

4.2.2.1 Vegetation

Für Baumersatzkosten, Begrünungskosten etc. werden von den Kommunen unterschiedliche Kosten für die Entschädigung oder die Vornahme von Ersatzmaßnahmen erhoben. Die unterschiedlichen Kosten resultieren meist aus der Siedlungsdichte, der Standortsituation und den bisherigen Pflegeaufwendungen für Stadtbäume und Grünanlagen.

Es gibt keine einheitlichen Regelungen zur Bestimmung der Kostenanteile für Baumfällarbeiten und Baumersatzkosten. Beim Bahnprojekt „Stuttgart 21“ beispielsweise werden für das Umsetzen von mittelgroßen Bäumen, zehn bis 15 Meter hoch, Stammdurchmesser bis zu 50 Zentimeter, mit Rundspatenmaschinen Kosten von 2.000 bis 5.000 Euro pro Baum veranschlagt [43].

Die Auswertung einer Reihe von Bauvorhaben in Berlin hat gezeigt, dass diese Kosten einen Anteil an den gesamten Baukosten von 0,3% - 0,5%, aber auch bis zu 7 % haben können. Dies ist unter anderem abhängig von der Anzahl, der Art und dem Alter der zu ersetzenden Bäume oder Vegetationsflächen.

4.2.2.2 Schutzgut Boden

Die Kiesabgabe in NRW (s. Punkt 3.1.2) stellt eine Form von Rekultivierungsabgabe für die Umweltbeeinträchtigung bzw. eine Ausgleichszahlung für Ersatzmaßnahmen in der Landschaft dar. Ausgleichsabgaben bzw. Rekultivierungsabgaben für starke Landschaftseingriffe, z.B. beim Verkehrswegebau, sind seit Anfang der 1990er Jahre in Deutschland üblich und werden durch die Bundesländer mit ihren jeweiligen Ausgleichsabgabeverordnungen (AAV) geregelt.

Wird der Boden durch Baumaßmaßnahmen besonders stark geschädigt oder beeinträchtigt, so können Bodenaustauschmaßnahmen erforderlich werden.

4.2.2.3 Schutzgut Grundwasser

Verunreinigungen von Gewässern und Grundwasser durch unsachgemäße Verwendung von Baustoffen, Betriebsstoffen und Austrag von Feinstteilen sind bußgeldbewehrt. Wasserversorgungsbetriebe haben als Träger öffentlicher Belange das Recht, über Baumaßnahmen und Bauweisen in der Nähe ihrer Anlagen entscheidend mitzubestimmen. Grabenlose Bauweisen kommen in der Regel ohne bzw. mit geringen Eingriffen in das Grundwasser aus.

4.3 Folgekosten für Dritte

4.3.1. Stau und Umleitungen

Für durch Staus verursachte Kosten wie beispielsweise erhöhte Betriebskosten, externe Umweltkosten oder staubedingte Unfallkosten schlägt das Umweltbundesamt [36] als durchschnittlich anzusetzende externe Umweltkosten für PKW 2,9 Cent/km und für LKW über 3,5 to Kosten in Höhe von 17,4 Cent / km vor (Tabelle 7). Im Abschnitt 5.1 ff werden für Szenarien der Musterbaustelle Zeit- und Betriebskosten, die bei Verkehrsteilnehmern und Fahrzeugen infolge der Leitungsbauarbeiten anfallen, exemplarisch durchgerechnet.

4.3.2 Störungen von Betriebsabläufen

Bei Baumaßnahmen besteht die Möglichkeit einer Störung Betriebsabläufen. Grundsatz sollte gemäß IHK Saarland, „Rechte der Anlieger bei Maßnahmen des Straßenbaus“, sein [44]:

„Alle Tätigkeiten im Bereich von Planung und Durchführung der Bauarbeiten sind daraufhin zu überprüfen, ob sie geeignet, erforderlich und verhältnismäßig im engeren Sinne sind. Unter mehreren geeigneten Baumaßnahmen ist daher diejenige auszuwählen, die den einzelnen Gewerbetreibenden und die Allge-

meinheit am wenigsten beeinträchtigt. Baumaßnahmen müssen dann unterbleiben, wenn die zu erwartenden Nachteile für den Betroffenen außer Verhältnis zu dem beabsichtigten Erfolg stehen."

Straßenbauarbeiten [45] selbst können zu einem Anspruch auf Entschädigung führen, wenn sie ein Sonderopfer darstellen. Die Rechtsprechung hat bislang keine festen Grenzen für noch vertretbare Umsatzeinbrüche festgelegt. Es kommt hier immer auf den Einzelfall und die spezifische Betroffenheit an.

4.3.3 Wirtschaft und Gewerbe

Für den Sektor Einzelhandel innerhalb des Bereiches Wirtschaft und Gewerbe sind in der GSTT-Information Nr.11, 2.Auflage, 2002, umfangreiche Betrachtungen und Berechnungen aufgeführt. G. Grunwald [46] hat dazu 1997 ausführliche Formeln zur Veränderung der Wertschöpfung durch Leitungsbau und Sanierungsmaßnahmen abgeleitet, mit denen die indirekten Kosten für Betriebsstörungen abgeleitet werden können. Die dort gezeigten Rechnungswege haben nach wie vor Gültigkeit.

4.3.4 Beeinträchtigungen der Gesundheit

Mit den nachstehenden Angaben, die in [36] ausführlich behandelt sind, sollen hier nur beispielhaft Kostenansätze aufgezeigt werden, die durch eine Beeinträchtigung der Gesundheit entstehen können.

	Wertansatz in €	davon: (i) Ressourcenkosten	(ii) Opportunitätskosten	(iii) Nutzenverlust
Krankenhausaufnahme wegen Erkrankung der Atemwege	4320	69%	20%	11%
Tag mit Asthmaanfall	75		79%	47%
Tag mit Unwohlsein	110		53%	47%

Quelle: Friedrich und Bickel (2001), S. 301 und S. 101 f.

Tab. 11: Beispielhafte Wertansätze in € für luftschadstoffbedingte Krankheitsfälle [36]

Tabelle 11 zeigt Kostensätze für kurzzeitige, gewöhnlich einfache Gesundheitsbeeinträchtigungen. Von Interesse ist auch die anteilige Zuweisung der Kosten zu verschiedenen Kostenträgern.

Zu langfristigen oder chronischen Erkrankungen gibt es eine Empfehlung in der Methodenkonvention [36]:

„Als zentraler Wert zur Schätzung verlorener Lebensjahre wird in europäischen Studien heute der Wert von 50.000 Euro bei akuten Gesundheitseffekten und von 75.000 Euro bei chronischen Erkrankungen aus der Zahlungsbereitschaftsbefragung von NewExt [36] vorgeschlagen. Das Umweltbundesamt schließt sich diesen Empfehlungen an und empfiehlt diese Kostensätze bei der Bewertung luftschadstoffbedingter Gesundheitsrisiken zu verwenden."

	Zentraler Wert	Untergrenze (Sensitivität)	Obergrenze (Sensitivität)
Wert eines verlorenen Lebensjahres (VLYL)			
• bei chronischen Effekten mit Latenzzeit [1]	**50.000**	**18.250**	**151.000**
• bei akuten Effekten [1]	**75.000**	**27.240**	**225.000**

[1] Der Unterschied zwischen den VLYL-Werten für den „akuten" oder „chronischen" Fall ergibt sich dadurch, dass bei chronischen Effekten mit einer Latenzzeit die Zeitstruktur der erst in der Zukunft auftretenden verlorenen Lebensjahre auf den Zeitpunkt der Exposition abgezinst wird. Dies führt im Vergleich zu einem unmittelbar nach der Exposition auftretenden verlorenen Lebensjahr durch jenen akuten Effekt, der durch eine kurzzeitige Exposition ausgelöst wird, bei einer Diskontrate von 3% zu einem Faktor näherungsweise 2/3.

Tab. 12: Wertansätze (in €) zur Bewertung von Nutzenverlusten durch vorzeitige Todesfälle (basierend auf Extern E Methodology Update 2005) [36]

5 Kostenvergleiche und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die in dieser Information beispielhaft durchgeführten Kostenvergleichsrechnungen sind für Investitionskosten-Vergleichsrechnungen zwischen der offenen Bauweise und verschiedenen technischen Verfahren der grabenlosen Bauweisen geeignet.

Der Planer führt auf der Grundlage der von ihm ermittelten Projektkosten eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durch, die zu einer Investitionsentscheidung führt. Ein wesentlicher Faktor für die vorgesehene Leitungsbaumaßnahme sind u.a. die unterschiedlichen Nutzungsdauern, die auch bei den grabenlosen Bauweisen in hohem Maße von technischen Verfahren, der Art und Qualität der Rohrmaterialien sowie der Qualität der Ausführung bestimmt werden. Gemäß den Empfehlungen der LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) [47] wird unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungsdauern der gesamte Lebenszyklus einer Anlage – einschließlich der Betriebskosten – betrachtet.

Darüber hinaus müssen Randbedingungen wie die hydraulischen Verhältnisse und der Zustand der Rohrnetze hinsichtlich Statik und hydraulischer Leistungsfähigkeit einbezogen werden.

5.1 Vorgehensweise

Für die Kostenvergleiche und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurde eine Musterbaustelle als konkretes Beispiel ausgearbeitet. Die nachfolgenden Ausführungen gelten für die Varianten „Kanalbau“ und „Druckrohrleitungsbau“. Die verwendeten Werte stammen aus den Berechnungen zu „Kanalbau“ bzw. „Druckrohrleitungsbau“ der im Anhang (Kap. 7.1 und 7.2) vorgestellten Musterbaustelle. Die genaue Beschreibung der zu Grunde liegenden Musterbaustelle, mit der örtlichen Situation, den betroffenen Netzen, den Verfahren und Annahmen ist Kapitel 7 (Anhang) zu entnehmen.

Anhand der Musterbaustelle werden mit Investitionskosten-Vergleichsrechnungen wichtige Schritte auf dem Wege der Entscheidungsfindung nachvollziehbar dargestellt und durch die ergänzende Betrachtung von indirekten Kostenaspekten für die Variante „Kanalbau“ (Kap. 5.2) und die Variante „Druckrohrleitungsbau“ (Kap.5.3) bei der Verfahrensauswahl unterstützt.

Der Nutzer kann die hier aufgezeigte Vorgehensweise auf die Randbedingungen seines Projektes übertragen. Mit seinem individuellen Ergebnis und den Anhalts- und Richtwerten aus Kapitel 4 für die Ermittlung von direkten oder indirekten Kosten kann er ein Verfahren auswählen.

Ein tabellarischer Überblick von Entscheidungs- und Einsatzkriterien zu den grabenlosen Verfahren im Kanal- und Druckrohrleitungsbau wird in den Tabellen „Vergleich Kanalbau“ (Kap.5.2.1) und „Vergleich Druckrohrleitungsbau“ (Kap.5.3.1) gegeben.

5.1.1 Ermittlung direkter und indirekter Kosten

Die Baukosten werden als direkte Kosten für Neubau, Erneuerung oder Renovierung von Haltungen in einem Kanalnetz sowie für die Rehabilitation von Leitungsabschnitten in einem Druckrohrnetz ermittelt.

Aus den für Baukosten, Bauzeiten, Gerätestunden und Kraftstoffverbrauch ermittelten Werten lassen sich indirekte Kosten ableiten.

Werte aus diesen Kostenberechnungen werden für die weitere Betrachtung der direkten bzw. indirekten Kosten übernommen:

- die Gesamtkosten zum Vergleich der direkten Kosten bzw. die erforderlichen Investitionen für das jeweilige Bauverfahren,
- die Bauzeiten als Grundlage für die Ermittlung von indirekten Kosten wie z.B. Zeit- und Betriebskosten,
- der Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen wie LKW (SNF: Schwere Nutzfahrzeuge) zur Berechnung von Emissionsfrachten infolge Transportfahrten,
- der Kraftstoffverbrauch von Baumaschinen zur Berechnung von Emissionsfrachten infolge Tiefbauarbeiten auf der Baustelle (On Site),

- die Betriebsstunden der Transportfahrzeuge (SNF)
- die Betriebsstunden von Baumaschinen als ein indirektes Maß für die Dauer von mit den Bauarbeiten einhergehenden Beeinträchtigungen.

Die für die vergleichende Betrachtung wichtigen Parameter wie Baukosten, Bauzeiten, Gerätestunden und Kraftstoffverbrauch lassen sich auch – unabhängig von der hier gewählten Methode - durch andere allgemein gängige Berechnungs- und Kalkulationsmethoden ermitteln.

5.1.2 Ermittlungen von Kraftstoff-Verbräuchen und Emissionen

Die ermittelten Verbräuche der Baumaschinen (On Site) und der LKW (SNF: Schwere Nutzfahrzeuge) für Transportfahrten werden zunächst für die Berechnung und den Vergleich der CO2 Emissionen genutzt.

Dabei ist zu beachten, dass zur Ermittlung der Gesamtemissionen aus dem Dieselverbrauch zwei Berechnungswege zu beschreiten sind:

1. Bei LKW bzw. SNF (Transportfahrzeug, im Mittel für 14 t Nutzlast) werden für die Berechnung aller Emissionen die Betriebsstunden, eine mittlere Geschwindigkeit von 25 km/h (für die Ermittlung der gefahrenen Kilometer) sowie ein durchschnittlicher Dieselverbrauch von 12 l/h angesetzt; als Emissionsfaktor werden 850 g/km gemäß Tabelle 15 in Ansatz gebracht.

2. Für die Baugeräte (lt. Tabelle 15: „Off- Road"- Fahrzeuge) werden die Betriebsstunden, ein mittlerer Dieselverbrauch von 12 l/h sowie der Emissionsfaktor EF = 2.630 g/l Kraftstoff (gemäß Tabelle 15) angesetzt.

Transportfahrzeuge	$EF_{TR,CO2}$ *[g/km]*	$EF_{TR,CO}$ *[g/km]*	$EF_{TR,N2O}$ *[g/km]*	$EF_{TR,NOx}$ *[g/km]*	$EF_{TR,HC}$ *[g/km]*	$EF_{TR,PM}$ *[g/km]*	$EF_{TR,Russ}$ [1] *[g/km]*
SNF (Schwere Nutzfahrzeuge)	850	1,45	0,0090	8,5	0,50	0,68	0,10
Baumaschinen	$EF_{BM,CO2}$ *[g/l Kraftstoff]*	$EF_{BM,CO}$ *[g/h]*	$EF_{BM,N2O}$ *[g/h]*	$EF_{BM,NOx}$ *[g/h]*	$EF_{BM,HC}$ *[g/h]*	$EF_{BM,PM}$ *[g/h]*	$EF_{BM,Russ}$ [1] *[g/h]*
"Off-Road"-Fahrzeuge	2.630	380	18	740	160	85	13
Staubige Güter						$EF_{AU,PM}$ *[kg/t]*	
Aufbereitung von Sand/Kies						0,014	
Umschlag von Sand/Kies, Natursteinen						0,006	

[1] ..... als Anteil von PM10

Tab. 15: Emissionsfaktoren (EF) nach [11]

Es versteht sich, dass alle Verbrauchs- und Emissionswerte im Kontext mit der Musterbaustelle und den dort gegebenen Randbedingungen bezüglich Rohrdurchmesser, Grabenbreiten, Haltungslängen etc. zu sehen bzw. zu beurteilen sind.

Die ermittelten Verbrauchszahlen und Emissionswerte finden sich für die Varianten „Kanalbau“ unter 5.2.3 und „Druckrohrleitungsbau“ unter 5.3.3.

5.1.3. Ermittlung von Zeit- und Betriebskostenansätzen

Die hier ermittelten Zeit- und Betriebskosten betreffen Verkehrsteilnehmer und deren Fahrzeuge. Je nach gewählter Bauweise entstehen unterschiedliche Beeinträchtigungen wie Verlangsamung der Fahrgeschwindigkeiten, Erhöhung der Fahrzeiten und der daraus resultierenden Zeitkosten beim Verkehrsteilnehmer sowie damit verbundene Mehraufwendungen bei den Betriebskosten gegenüber der Normalsituation.

Diese Mehrkosten werden direkt beeinflusst durch:

- die gewählte Bauweise und die daraus resultierenden Bauzeiten sowie die Dauer von Verkehrsbeeinträchtigungen,
- die gewählte Bauweise und die daraus resultierende Geometrie und Ausdehnung der Baustelleneinrichtung bzw. die in Anspruch genommenen Arbeitsflächen,
- die in Abhängigkeit von der Bauweise zu wählende Verkehrsführung, die von einer Vollsperrung der Straße im Baustellenbereich über die ampelgeregelte Verkehrsführung bzw. nur punktuell erforderlichen Fahrbahneinengung reichen kann,
- die Anzahl und Art der Fahrzeuge pro Tag,
- die Reduzierung der Fahrgeschwindigkeiten oder Wartezeiten an Ampeln und damit einhergehenden Fahrzeitverlängerungen,
- Zeit- und Betriebskostensätze.

Zeitkosten beinhalten gemäß RAS-W 1997 [48] die Vorhalte- und Lohnkosten bei gewerblich genutzten PKW, Lastkraftwagen, Lastzügen und Bussen sowie die Zeitkosten der Insassen privat genutzter PKW und der Passagiere von Bussen. Sie entstehen den Verkehrsteilnehmern durch Wartezeiten an Ampeln oder infolge von Staubildungen und Umleitungsstrecken.

Betriebskosten gemäß RAS-W 1997 [48] erfassen die geschwindigkeits-unabhängigen Beiträge aus fahrleistungsabhängigen Abschreibungen der Fahrzeuge, Instandhaltung, Wartung, Reifenverschleiß, Ölverbrauch und Kraftstoff. Sie entstehen durch den Kraftstoffmehrverbrauch infolge baustellenbedingter Wartezeiten an Lichtsignalanlagen (Ampel) oder im Stau sowie durch Umleitungsstrecken mit entsprechender Verlängerung der Fahrstrecke.

In der letzten Ausgabe der GSTT-Information Nr.11 wurde eine Berechnung nach der RAS-W 1997 vorgenommen. Seit dieser Ausgabe erfolgte keine Aktualisierung dieser Richtlinie. Mit der überarbeiteten Auflage dieser GSTT-Information sollen vereinfachte, plausible Annahmen und Berechnungen zur Verfügung gestellt werden.

Für die Ermittlung der Zeit- und Betriebskostensätze wurde wegen der zwischenzeitlichen Umstellung von DM auf Euro eine Plausibilitätsprüfung für die aus RAS-W 1997 [48] entnommenen Grundlagen durchgeführt. Die Plausibilitätsprüfung zeigt, dass die dort in DM ausgewiesenen Kostensätze derzeit zahlenmäßig in etwa gleichen €-Beträgen entsprechen.

Zeitkostensätze (ZK) in € / Kfz*h		
Fahrzeuggruppe	**werks- und urlaubtags**	**sonntags**
PKW	11,40	5,70
LKW	42,00	-----
Last-**Z**ug	60,00	-----
Bus	125,00	125,00
ZK im Mittel	**22,33 € / Kfz*h**	

Tab. 16: Aktualisierte Zeitkostensätze € / Kfz*h in Anlehnung an RAS-W 1997

Bei einer vereinfacht angenommenen Verteilung von 75% PKW und 25% LKW am Gesamtverkehrsaufkommen innerhalb einer Baustelle ergeben sich als Zeitkostensatz (ZK) im Mittel 22,33 € / Kfz*h.

Bei der Ermittlung der fahrleistungsbezogenen Betriebskosten (BK) wird in Anlehnung an RAS–W 1997 gleichermaßen verfahren. Im Mittel ergeben sich 30,55 € / 100 km und Kfz *h (Tab. 17).

Betriebskostensätze (BK) in € / 100 km*Kfz		
	PKW (P)	**LKW (Z)**
BGW (P)	17,4	46,3
$KF_{FG}(C_O)$	17,776	179,07
BK (B,D)	1,093	0.999
BK	19.34	64,19
BK im Mittel	**30, 55 € / 100 km*Kfz**	

BGW: Betriebskostengrundwert PKW, LKW [€ / 100km*Kfz]
KF_{FG} : Kraftstoffverbrauchsfaktor [g/km]
BK(B,D): Kraftstoffkostensatz Benzin, Diesel [€ / kg]
BK_{FG} : fahrleistungsbezogene Betriebskosten [€ / 100km*Kfz]
BK_{FG} i.M.: BK_{FG} im Mittel (PKW:LKW= 3:1) [€ / 100km*Kfz]

Tab. 17: Betriebskostensätze in Anlehnung an RAS-W 1997

5.1.4 Eingabeparameter für die Zeit- und Betriebskostenberechnungen

Mit einer Tabellenkalkulation (Excel) lassen sich die unterschiedlichen Gegebenheiten und Randbedingungen von Baustellen- und Verkehrssituation nachvollziehen und daraus Mehraufwand bzw. Mehrkosten bestimmen.

Als Eingabeparameter sind erforderlich:

- die Gesamt- oder Teillänge der Baustelle, auf denen verkehrliche Einschränkungen anfallen
- Mehrstrecken infolge Umfahrung der punktuellen Baustelle bzw. Um-leitungsstrecken
- Gesamtstrecke aus Baustellenlänge und Mehrstrecken
- Fahrtzeit t1 infolge mittlerer Geschwindigkeit v1 (ohne Behinderung durch eine Baustelle)
- Fahrzeit t2 infolge mittlerer Geschwindigkeit v2 (reduzierte Fahrgeschwindigkeit im Baustellenbereich)
- Fahrzeit t3 infolge mittlerer Geschwindigkeit v3 mit Wartezeiten durch Ampelregelung sowie baustellenbedingter Durchfahrtszeit
- Fahrgeschwindigkeit v1, mittlere Geschwindigkeit, ohne Behinderung
- Fahrgeschwindigkeit v2, mittlere, reduzierte Geschwindigkeit (ohne Ampelregelung) infolge Staubildung, Behinderungen auf der Umleitungsstrecke und im Baustellenbereich etc.
- Fahrgeschwindigkeit v3, mittlere, reduzierte Geschwindigkeit infolge Ampel-regelung und Baustellendurchfahrt
- Frequenz, d.h. Anzahl der Fahrzeuge pro Tag im Baustellenbereich
- Bauzeit in Monaten bzw. Tagen
- Zeitkosten- und Betriebskostensätze (im Mittel) aus Tab. 16 und 17
- Kraftstoffverbrauch infolge Wartezeiten an Ampeln bzw. Staubildung mit reduzierter Geschwindigkeit auf den Zufahrtsstrecken.

Die Berechnung der Zeitkosten erfolgt mit

- der geschwindigkeitsabhängigen Zeitdifferenz dt
- dem mittleren Zeitkostensatz € pro Kfz und h
- der Anzahl der Kfz pro Tag
- der Bauzeit in Tagen.

Die Berechnung der Betriebskosten beinhaltet

- die Länge von Mehrfahrtstrecken
- den Kraftstoffmehrverbrauch durch Wartezeiten (Ampeln)
- den mittleren Betriebskostensatz € pro 100 km und Kfz
- die Anzahl der Fahrzeuge pro Tag
- die Bauzeit in Tagen.

Die ermittelten Zeit- und Betriebskosten finden sich für die Variante „Kanalbau“ unter Kapitel 5.2.5 und die Variante „Druckrohrleitungsbau“ unter Kapitel 5.3.5

5.2 Kostenvergleich und Auswertung „Kanalbau“

5.2.1 Übersicht „Grabenlose Kanalbauverfahren“

In Tabelle 18 sind die wichtigsten grabenlosen Bauweisen für Neubau, Erneuerung und Renovierung von Kanälen zusammengefasst und können mit der Gegenüberstellung der gängigen Verfahren für den Wirtschaftlichkeitsvergleich als Leitfaden dienen. Diese Tabelle ersetzt keine Planung. Sie zeigt lediglich Merkmale von Verfahren auf, die bei der Verfahrensauswahl beachtet werden sollten.

	Neulegung	Erneuerung		Renovierung			
Verfahren / Merkmale	Mikrotunnelbau-verfahren	Pipe Eating	Berstverfahren einschließlich Kaliberbersten	Vor Ort härtendes Schlauchlining Liningverfahren (CIPP)	Rohrstranglining (Close Fit)	Einzelrohrlining (mit Ringraum)	Einzelrohrlining (ohne Ringraum)
Technische Regeln, Merkblätter und Richtlinien	DIN EN 12889, DWA A 125 GSTT Information Nr.1	DIN EN 12889, DWA A 125 GSTT Information Nr 1	ISO 11 296 - 5 DIN EN 15885 DIN EN 13566-2 DWA-M 143 - 15 GSTT Information Nr.1 RSV Merkblatt 2.2 und 8	ISO 11 296 - 4 DIN EN 15885 DWA M 143 - 3 GSTT Information Nr.1 RSV Merkblatt 1	ISO 11 296 -1 DIN EN 15885 DIN EN 13566-2,-3 DWA M 143 - 3 GSTT Information Nr.1	ISO 11 296 -2 und 5 DIN EN 15885 DIN EN 13566-2,-3 DWA M 143 - 12 DWA M143 - 13 GSTT Information Nr.1 RSV Merkblatt 2	ISO 11 296 -3 DIN EN 15885 DIN EN 13566-2,-3 ATV DVWK M 143 - 11 DWA M143 - 12 ATV DVWK M143 - 9 GSTT Information Nr.1
Baulänge	Bis 250 m	Bis 100 m	Bis 250 m	Bis 600 m	Bis 300 m	Bis 500 m	Bis 300 m
Trassierung	Neutrassierung erforderlich, Stilllegung oder Umnutzung	Untersuchung auf horizontale und vertikale Abweichungen, da eine Auswechslung in der Alttrasse erfolgt	Untersuchung auf horizontale und vertikale Abweichungen, da eine Auswechslung in der Alttrasse erfolgt	Alttrasse und das Altrohr bleibt bestehen. Untersuchung auf horizontale und vertikale Abweichungen, da eine Sanierung in der Alttrasse erfolgt.			
Reinigung	Keine Reinigung erforderlich, neue Trasse	Keine Reinigung erforderlich, Altrohr wird entfernt	Keine Reinigung erforderlich, Altrohr wird verdrängt	Ja			
Reinigungmethode	Nein	Nein	Nein	Hochdruckreinigung			
Kalibrierung	Nein	Nein	Ja				
TV Befahrung			Ja				
Baugruben und Zwischenbaugruben	Start- und Zielbaugruben		Start- und Zielbaugrube oder von Schacht zu Schacht	Start- und Zielbaugrube, Nennweiten > DN 600 und in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten Zusatzbaugrube	Start- und Zielbaugrube oder Schacht-Schacht		
	Die (Wieder)anbindung der Anschlussleitung kann offen oder grabenlos aus einem Schacht gebaut werden	Hausanschlüsse können offen oder grabenlos aus einem Schacht gebaut werden	Hausanschlüsse, Trassenabweichungen in horizontaler und vertikaler Lage erhalten Zwischenbaugruben	Im Regelfall Einbau Ohne Zwischenbaugruben	Hausanschlüsse, Trassenabweichungen ab 11° in horizontaler und vertikaler Lage erhalten Zwischenbaugruben		
Wiederanbindung der Anschlussleitung an das sanierte Rohr	Werden nachträglich hergestellt, können grabenlos oder offen hergestellt werden	Werden nachträglich hergestellt offene Bauweise		Werden nachträglich hergestellt, können grabenlos oder offen hergestellt werden	Werden nachträglich hergestellt offene Bauweise		
Beachtung baulicher Anlagen (Verkehrsanlagen, Leitungsanlagen, Grünanlagen etc)	Lage muss erkundet werden. Über- und Unterfahrungen baulicher Anlagen sind genau im Genehmigungs-verfahren ab zustimmen			Die Sanierung erfolgt im Altrohr. Wenn die Trasse des Altrohres keine Auffälligkeiten hat ist eine Sanierung möglich			
Mindestabstände	Mindestabstände um die neue Rohrtrasse einhalten bzw. Ersatzmaßnahmen vornehmen			nicht zutreffend			
Provisorische Entsorgungsleitungen	Nicht erforderlich, da Haltung in Betrieb bleibt	Erforderlich, da Altrohrtrasse auch für das neue Rohr genutzt wird	Erforderlich, da Altrohrtrasse verfahrensbedingt nicht genutzt werden kann	Erforderlich, da Altrohrtrasse auch für das neue Rohr genutzt wird			
Zugkraftmessung für Neustrang empfehlenswert	Nein		Ja	Nein	Ja		
Vergrößerung der Nennweiten (NW)	Ja	Ja		Nein			
Vergrößerung NW gegenüber Altrohr		Um ein bis zwei Nennweiten					
Anforderungen an die statische Funktion des Altrohres	Nein				verfahrensabhängig		
Direkte Folgekosten nach Kapitel 4	Je nach Trassenlage			Keine			
Indirekte Folgekosten nach Kapitel 4	Gering			Keine			

Quellen und Hinweise
1) GSTT Information Nr.1, Tabelle 4 bis 6; GSTT Information Nr 5
2) Die Herstellung der Hausanschlüsse bezieht sich auf die Anbindung der Hausanschlussleitung an das sanierte Rohr.
Sollte im Rahmen der Sanierung eine Sanierung des gesamten Hausanschlusses erforderlich werden, so kann dieser grabenlos oder offen hergestellt werden

Tab. 18: Vergleich „Grabenlose Kanalbauverfahren“

Für den Vergleich mit der offenen Bauweise wurde für die Musterbaustelle eine den baustellenspezifischen Randbedingungen entsprechende Anzahl von Verfahren ausgewählt. Bei der Sanierung des Abwassersammlers kommen das Berstverfahren, das Liningverfahren (CIPP) sowie das Einzelrohr-Lining in Betracht. Als Alternative zu einer Sanierung wurde die Neuverlegung mit dem Mikrotunnelbauverfahren gewählt. Die Um- bzw. Neuanbindung der nicht sanierungsbedürftigen Abwasser-Hausanschlussleitungen erfolgt je nach Verfahren mit Robotertechnik und / oder in offener Bauweise.

5.2.2 Gesamtkosten und Bauzeiten

Für den Vergleich und die Visualisierung von Gesamtkosten steht die Tabelle 19 Kostenzusammenstellung, mit Absolut- und Relativwerten zur Verfügung. Dabei ist zu beachten, dass jede der einzelnen grabenlosen Bauweisen immer in Relation zur offenen Bauweise zu betrachten ist. Ein direkter Vergleich der grabenlosen Bauweisen untereinander findet in dieser Betrachtung nicht statt.

Kanalbau: Bauverfahren im Vergleich

Bauweise	Kosten [€]	Bauzeit [Monate]	Diesel [Liter]	Geräte u. LKW-Std [h]
Offen	397.920	6,5	24.526	1.791
Bezugswert in %	100	100	100	100
Mikrotunnelbau	279.179	4,5	20.062	1.689
Relation in %	70	69	82	94
Berstverfahren	178.598	2,5	6.922	546
Relation in %	45	38	28	30
Liner (CIPP)	100.532	1,0	2.617	168
Relation in %	25	15	11	9
Einzelrohr-Lining	168.987	2,0	5.401	486
Relation in %	42	31	22	27

Prämissen: Verfahren prinzipiell anwendbar; Verfahren ohne Bewertung der Nutzungsdauer; Geschlossene Bauverfahren in Relation zur offenen Bauweise

Tab. 19: Kostenzusammenstellung Musterbaustelle „Kanalbau“

Die Werte der hier angenommenen Bauzeiten liegen im oberen Bereich der erforderlichen Bauzeiten. Gerade großstädtische Rahmenbedingungen wie z.B. hohes Verkehrsaufkommen, beengte Arbeitsräume, kurze Bauabschnitte, wenig Lagerflächen etc. führen besonders bei der offenen Bauweise zu Verzögerungen und Stillständen. Zeiterhöhend sind auch die Vorlaufzeiten für einzuholende Erlaubnisse und Genehmigungen.

Für den Vergleich werden die Kosten der offenen Bauweise (Abb. 6) mit 100 % angesetzt. Unter den gegebenen Randbedingungen der Musterbaustelle ist erkennbar, dass die jeweilige grabenlose Bauweise sich als kostengünstiger erweist. Die ermittelten Größenordnungen waren bereits früher bekannt, sind hier aber erstmals in einer Gesamtbetrachtung anhand einer Musterbaustelle genauer ermittelt worden.

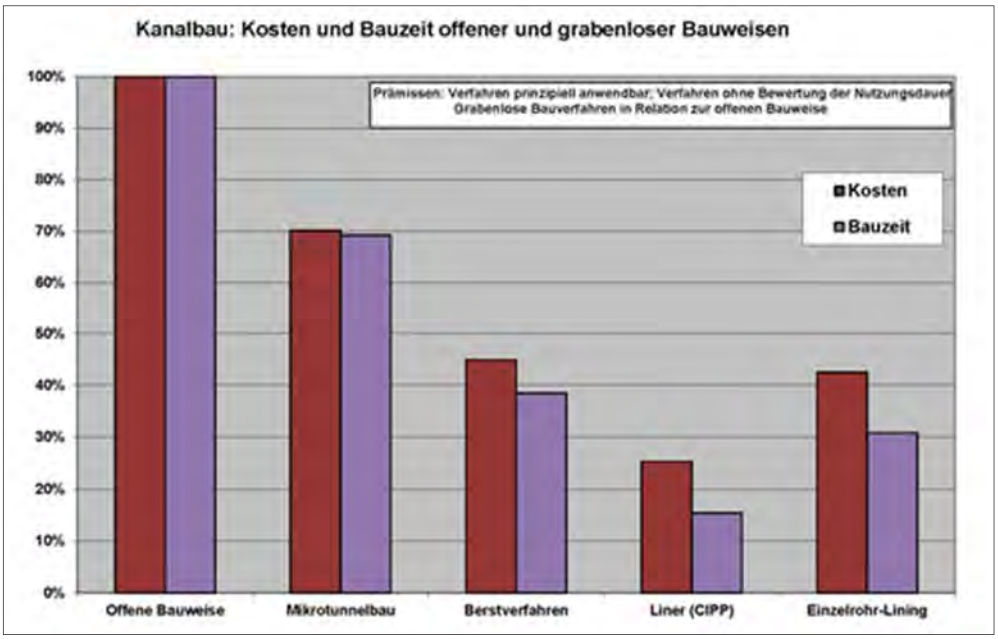


Abb. 6: Kanalbau: Relationen Bauzeit und Baukosten für offene und grabenlose Bauweisen

Durch eine Aufschlüsselung der Gesamtkosten in Kostengruppen lassen sich besonders emissionsträchtige Arbeitsvorgänge erkennen und für eine Bewertung heranziehen.

Kostengruppen Verfahren „Kanalbau“ im Vergleich (%)					
		grabenlose Bauverfahren			
Kostengruppen	offene Bauweise	Mikro-tunnelbau	Berst-verfahren	Liner (CIPP)	Einzel-rohr
Baustelleneinrichtung, Baustellensicherung	100	57	55	24	53
Straßenaufbruch und -wiederherstellung	100	33	26	0	23
Bodenaushub, Verfüllen und Verdichten des Rohrgrabens und der Schacht- und HA-Baugruben einschl. Verbau	100	38	19	0	17
Ein- und Ausbau Kanalrohre bzw. Linereinbau	100	438	125	143	117
Schächte bzw. Schachtsanierung	100	154	81	77	77
Hausanschlussarbeiten (offene Bauweise und Microtunnelbau	100	100	47	45	47
Lieferung Boden	100	40	28	0	17
Abfuhr Fahrbahnaufbruch, Boden und Schutt	100	36	20	0	18

Tab. 20: Relation der Kostengruppen offene, grabenlose Bauweisen

Tabelle 20 zeigt, daß Kostengruppen wie Bodenaushub oder Abfuhr von Fahrbahnaufbruch und Aushub, d.h. besonders emissionsträchtige Vorgänge, bei den grabenlosen Bauweisen einen geringeren Kostenanteil aufweisen.

Die Kostengruppe „Ein- und Ausbau der Kanalrohre bzw. Linereinbau“ hat bei allen grabenlosen Bauweisen einen höheren Kostenanteil als bei der offenen Bauweise.

Der Grund dafür liegt darin, dass der Einbauvorgang beim Mikrotunnelbau hoch mechanisiert ist und bei den grabenlosen Verfahren an die Rohrmaterialien höhere qualitative Anforderungen gestellt werden, die sich anteilmäßig auswirken. Der Einbauvorgang selbst erfolgt unterirdisch, mit reduzierten Aushubvolumina, und bewirkt daher auch weniger Emissionen bei CO_2, Staub und Lärm.

5.2.3 Kraftstoffverbrauch und Emissionen im Vergleich

Die ermittelten Verbräuche der Baumaschinen (On Site) und der LKW (SNF: Schwere Nutzfahrzeuge) für Transportfahrten werden gemäß den Ausführungen in 5.1.2 zunächst für die Berechnung und den Vergleich der CO_2 Emissionen genutzt.

In Abb.7 sind auf den vorgenannten Berechnungswegen (Kap. 5.1.2) der jeweilige Gesamtverbrauch an Diesel für Transport- und Baustellengeräte ermittelt und als Gesamtsummen dargestellt worden. So beträgt die Reduzierung bei einer der grabenlosen Bauweisen bis zu 90 % gegenüber einem Verbrauch von knapp 25.000 Litern Kraftstoff für die offene Bauweise (Abb.7). Legt man tagesaktuelle Dieselkosten zu Grunde, so lässt sich die Einsparung in Euro eindrucksvoll darstellen.

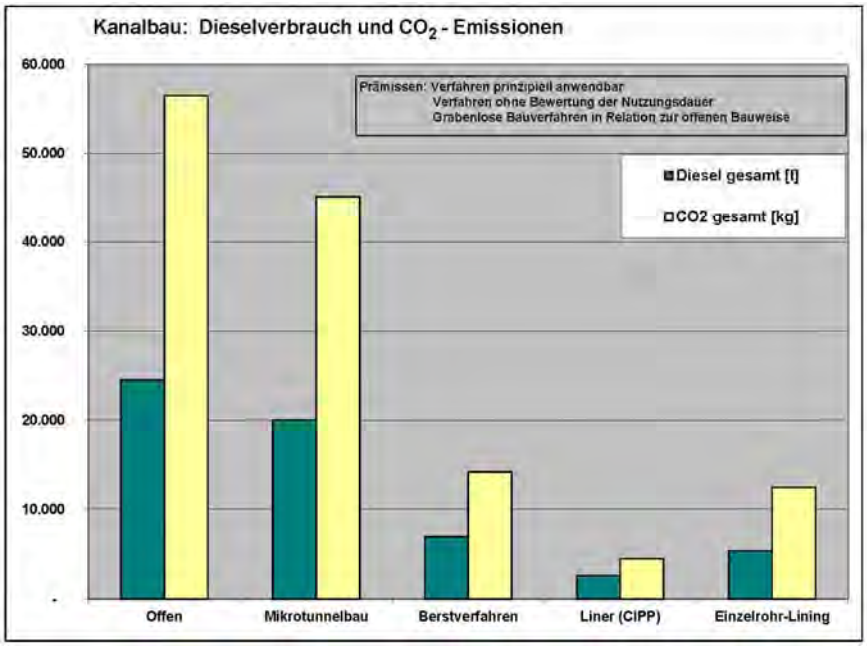


Abb. 7: Gesamtdieselverbrauch und CO_2 -Emissionen „Kanalbau“

Obwohl derzeit mehr die CO_2-Emissionen im Fokus des öffentlichen Interesses stehen, sind gasförmige Emissionen wie CO, N_2O, NOx und HC sowie PM 10 oder Ruß für die Atemwege nicht weniger schädlich. In Abb.8 beruht die Darstellung auf Basis der verschiedenen Bauweisen, in Abb.9 sind die Emissionen als Bezug gewählt und im Vergleich zur offenen Bauweise aufgetragen.

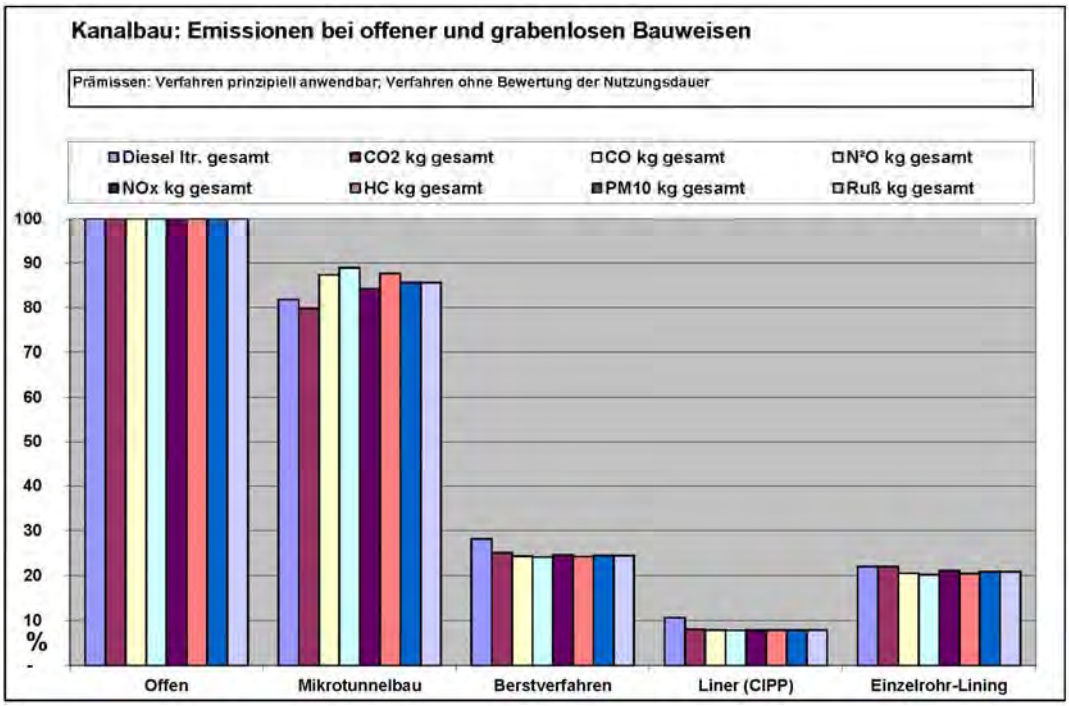


Abb. 8: Relationen bei Dieselverbrauch und Emissionen „Kanalbau“ auf Basis der Bauweisen

Deutlich ist das Einsparpotential beim Berst-, Lining- und Einzelrohrverfahren gegenüber der offenen Bauweise zu erkennen. Beim Mikrotunnelbau zeigen sich bei den Emissionen geringere Einsparungen. Ein Grund liegt hier im relativ hohen maschinellen Aufwand für diese Bauweise, die bekanntermaßen erst mit größeren Verlegetiefen – die Tiefenlage liegt hier bei der Musterbaustelle bei ca. 2,5 Metern – ihre emissionstechnischen Vorteile gegenüber der offenen Bauweise zeigen kann.

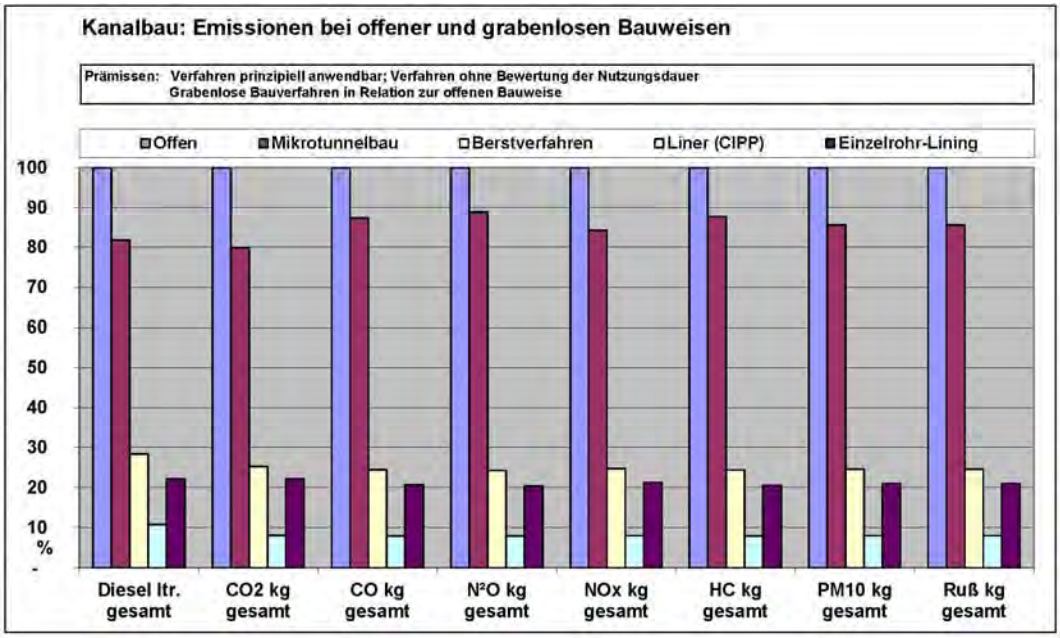


Abb. 9: Dieselverbrauch „Kanalbau“ (Basis verschiedene Schadstoffarten)

5.2.4 Gesamtbetriebsstunden LKW und Geräte

Die Gesamtbetriebsstunden sind ein Maß für die Dauer und den Umfang der durch die Bauarbeiten bedingten Beeinträchtigungen durch

- Emissionen wie Gase, Lärm und Staub,
- baustellenbedingte Staus und Umleitungsstrecken sowie
- Beeinträchtigungen im Wirtschafts- und privaten Bereich.

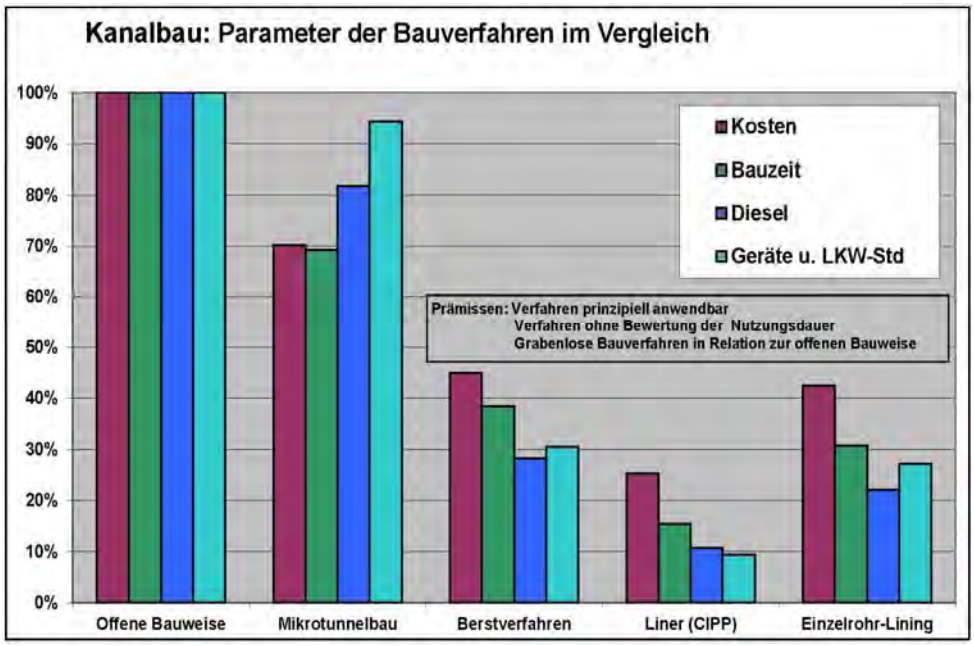


Abb. 10: Relationen bei Baukosten, Bauzeiten, Kraftstoffverbrauch und Betriebsstunden (Geräte, LKW)

Bei Berst- und Einzelrohrverfahren liegen die Gerätegesamtstunden mit ca. 30 % bzw. mit 10 % beim Linereinbau (CIPP) gegenüber der offenen Bauweise in der erwarteten Größenordnung. Der Mikrotunnelbau kommt dagegen auf ca. 95 %, was bei der vorliegenden geringen Grabentiefe von ca. 2,5 Meter auf den hohen maschinellen Einsatz bei Erstellung der Start- und Zielgruben sowie den Vortriebsarbeiten zurückzuführen ist. Erst bei größeren Grabentiefen oder einer Grundwasserabsenkung, die im vorliegenden Beispiel nicht auszuführen ist, werden die technischen und wirtschaftlichen Vorteile evident.

Auch indirekte Vorteile sprechen je nach vorliegender Konstellation für die Anwendung des Mikrotunnelbaus. Dazu gehört das Queren stark frequentierter Fahrbahnen, die längsparallele Verlegung unter Fahrbahnen, eine Verlegung aus hydrogeologischen Gründen (Verbot einer GW-Absenkung) oder falls andere, umweltrelevante Gründe für diese grabenlose Variante vorliegen.

5.2.5 Zeit- und Betriebskosten „Kanalbau“

Aufgrund der innerstädtischen Baustellensituation wurde für die Musterbaustelle eine einstreifige Verkehrsführung mit vollautomatischer Ampelschaltung für alle Bauweisen eingerichtet. Dadurch steht der gesperrte Fahrstreifen während der Dauer der Bauzeit für Zwischenlagerungen und Inanspruchnahme als Arbeitsfläche voll zur Verfügung.

Mit einer Tabellenkalkulation (Excel) lassen sich die unterschiedlichen Gegebenheiten und Randbedingungen von Baustellen- und Verkehrssituation nachvollziehen und daraus Mehraufwand bzw. Mehrkosten bestimmen. Die einzusetzenden Parameter sind unter 5.1.4 für die Variante „Kanalbau“ bzw. „Druckrohrleitungsbau“ aufgeführt.

Tab. 21: Ermittlung Zeit- und Betriebskosten „Kanalbau“ mit Ampelregelung

Ermittlung von Zeit-und Betriebskosten des Straßenverkehrs für Musterbaustelle mit Ampelregelung								
Annahmen - Voraussetzungen	**Parameter**	**Einheit**	**Offene Bauweise**	**Grabenlose Bauweisen**				
				Mikro-tunnelbau	Berst-verfahren	Rohr-Lining Liner (CIPP[1])	Rohr-Lining Einzelrohr	
Baustellenlänge	Länge	m	280	280	280	280	280	
Umfahrungen, Umleitungen, Staustrecke	Mehrstrecke	m	0	0	0	0	0	
Gesamtfahrstrecke	Gesamtlänge	m	280	280	280	280	280	
mittlere v ohne Baustelle	v1	km/h	40	40	40	40	40	
Ampelregelung	Wartezeit w	sec	30	30	30	30	30	
Fahrzeit infolge Ampelregelung	Dauer t3	h	0,0177	0,0177	0,0177	0,0177	0,0177	
mittlere v infolge Ampelreglung	v3	km/h	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	
Verbrauch im Stau	Kraftstoff	ltr/h	1	1	1	1	1	
Kosten Kraftstoff	Kraftstoff	€ / ltr	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
mittlere v im Baustellenbereich	v2	km/h	30	30	30	30	30	
Fahrzeit ohne Baustelle	t1	h	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	
Fahrzeit im Baustellenbereich	t2	h	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	
Diff.=Mehrfahrzeit wg Baustelle mit Ampel	dt	h	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	0,0107	
Kraftfahrzeuge pro Tag	Frequenz	Kfz/d	5000	5000	5000	5000	5000	
Bauzeit in Monaten	Bauzeit	Monate	6,5	4,5	2,5	1	2	
Bauzeit in Kalendertagen	30 d/Monat	d	195	135	75	30	60	
Zeitkostensatz gem. Nr .5.1.4	aus Straßenverkehr	€/Kfz*h	22,33	22,33	22,33	22,33	22,33	
Betriebskostensatz gem. Nr. 5.1.4	dto.	€/100km*	29,71	29,71	29,71	29,71	29,71	
Zeitkosten	dt*Kfz/d*d*€/(Kfz*h	**€**	**232.232**	**160.776**	**89.320**	**35.728**	**71.456**	
Δ(grabenlos - offen)	Einsparung	€		71.456	142.912	196.504	160.776	
Δrelativ (grabenlos-offen)	Einsparung	%		31	62	85	69	
Betriebskosten[2]	km*Kfz/d*d*€/(100k	**€**	**12.188**	**8.438**	**4.688**	**1.875**	**3.750**	
Δ(grabenlos - offen)	Einsparung	€		3.750	7.500	10.313	8.438	
Δrelativ (grabenlos-offen)	Einsparung	%		31	62	85	69	
Σ Zeit- & Betriebskosten		**€**	**244.420**	**169.214**	**94.008**	**37.603**	**75.206**	
Relation ΣZeit-Betriebskosten zu Investitionskosten		**%**	**61**	**61**	**53**	**37**	**45**	
Zeitkosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	829	574	319	128	255	
Betriebskosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	44	30	17	7	13	
Investitionskosten	absolut	**€**	**397.920**	**279.179**	**178.597**	**100.531**	**168.987**	
Investitionskosten relativ	je m Leitungslänge	€/m	1.244	872	558	314	528	

[1] CIPP = Cured In Place Pipe

Eingabefelder für variable Werte gelb unterlegt

[2] Kosten für den Ampelbedingten Kraftstoffmehrverbrauch sind in den Betriebskosten enthalten. Rückstauzeiten lassen sich über eine Anderung der Wartezeiten in Zeit- und Betriebskosten erfassen)

Bei den Zeit- und Betriebskosten für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge infolge der Musterbaustelle zeigen sich die erwarteten Relationen zwischen der offenen und den jeweiligen grabenlosen Bauweisen. Für die Zeitkosten wird die Mehrfahrzeit infolge der ampelbedingten Wartezeit und Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit im Baustellenbereich maßgebend. Fahrzeugbedingte Betriebskosten entstehen durch den Mehrverbrauch an Kraftstoffen infolge von Wartezeiten an Ampeln; eine Verlängerung von Fahrstrecken liegt nicht vor.

Änderungen der Eingabeparameter (in der Tabelle gelb eingefärbt) wie Wartezeiten, Kraftstoffverbrauch oder Kraftstoffkosten gehen linear in das Ergebnis ein. Die Reduktion der absoluten wie prozentualen Kosten von 31 bis 65 % gegenüber der offenen Bauweise sind eindeutig erkennbar; deren Anteil und Höhe werden durch die Variablen „Baustellenlänge“, „Wartezeiten an der Ampel“ sowie „Kraftstoffverbrauch“ im Wesentlichen beeinflusst. Auch die Relation von Zeit- und Betriebskosten zu den jeweiligen Investitionskosten verschieben sich durch die Variation der Parameter.

Eine Reduzierung der baustellenbedingten Zeit- und Betriebskosten kann durch eine Änderung der Verkehrsführung erreicht werden. Falls es die örtlichen Randbedingungen erlauben und für die grabenlosen Bauweisen eine Ampelregelung nicht erforderlich ist, kann als Alternative eine Durchfahrt mit punktueller Fahrbahnverengung an einzelnen Baustellenpunkten (Start-, Ziel- oder Montagegruben) eingerichtet werden.

Für die offene Bauweise werden die Verkehrsteilnehmer in der einen Richtung durch die Baustelle und in der anderen Richtung über eine Umleitungsstrecke (Teilumleitung) geführt. Vereinfachend wird angenommen, dass dabei die Hälfte der Fahrzeuge die Umleitungsstrecke benutzen wird, da nicht alle den Baustellenbereich aus der gleichen Richtung anfahren werden.

Ermittlung der Zeit- u. Betriebskosten Straßenverkehr: Umleitung einer Fahrtrichtung und punktuellen Fahrbahnverengunger				Grabenlose Bauweisen			
Annahmen - Voraussetzungen	Parameter	Einheit	Offene Bauweise	Mikro-tunnelbau	Berst-verfahren	Rohr-Lining Liner(CIPP[1])	Einzelrohr
Baustellenlänge	Länge	m	280	280	280	280	280
Umfahrungen, Umleitungen,Staustrecke	Mehrstrecken	m	200	50	50	20	30
Gesamtfahrstrecke	Gesamtlänge	m	480	330	330	300	310
mittlere v ohne Baustelle	v1	km/h	40	40	40	40	40
mittlere v im Baustellenbereich	v2	km/h	30	30	40	40	40
Fahrzeit ohne Baustelle	t1	h	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Fahrzeit infolge Baustelle	t2	h	0,0160	0,0110	0,0083	0,0075	0,0078
Diff. = Mehrfahrzeit wegen Baustelle	dt	h	0,0090	0,0040	0,0013	0,0005	0,0008
Kraftfahrzeuge pro Tag	Frequenz	Kfz/d	2500	5000	5000	5000	5000
Bauzeit in Monaten	Bauzeit	Monate	6,5	4,5	2,5	1	2
Bauzeit in Kalendertagen	30 d/Monat	d	195	135	75	30	60
Zeitkostensatz gem. Nr .5.1.4	aus Straßenverkehr	€/Kfz*h	22,33	22,33	22,33	22,33	22,33
Betriebskostensatz gem. Nr. 5.1.4	dto.	€/100km*Kfz	29,71	29,71	29,71	29,71	29,71
Zeitkosten	**dt*Kfz/d*d*€/(Kfz*h)**	**€**	**97.973**	**60.291**	**10.467**	**1.675**	**5.024**
Δ(grabenlos - offen)	Einsparung	€		37.682	87.506	96.298	92.949
Δrelativ (grabenlos-offen)	Einsparung	%		38	89	98	95
Betriebskosten	**Km*Kfz/d*d*€/(100km*K**	**€**	**28.967**	**10.027**	**5.571**	**891**	**2.674**
Δ(grabelos - offen)	Einsparung	€		18.940	23.397	28.076	26.293
Δrelativ (grabenlos-offen)	Einsparung	%		65	81	97	91
∑ Zeit- und Betriebskosten		**€**	**126.940**	**70.318**	**16.038**	**2.566**	**7.698**
Relation ∑Zeit- und Betriebskosten zu Investitionskosten		**%**	**32**	**25**	**9**	**3**	**5**
Zeitkosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	350	215	37	6	18
Betriebskosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	103	36	20	3	10
Investitionskosten	**absolut**	**€**	**397.920**	**279.179**	**178.597**	**100.531**	**168.987**
Investitionskosten relativ	je m Leitungslänge	€/m	1.244	872	558	314	528

[1] CIPP = Cured In Place Pipe

Eingabefelder mit variable Werten

* Bei Verkehrsführung (Fahrspur durch den Baustellenbereich und Umleitung einer Fahrtrichtung) wird nicht mit Staubildung gerechnet; könnte durch eine (weitere) Reduzierung der mittleren Fahrgeschwindigkeit im Baustellenbereich (entsprechende Längeneingabe) berücksichtigt werden

Tab. 22: Ermittlung Zeit- und Betriebskosten „Kanalbau“ mit Teilumleitung und punktuellen Fahrbahnverengungen

Die Berechnung mit der oben genannten Fahrzeugdichte ergibt bereits eine relevante Reduzierung der Zeitkosten, die fahrstreckenbedingt durch die Umleitung bei der offenen Bauweise bzw. Umfahrung (Wechsel der Fahrbahnen) an den einzelnen Baustellenpunkten (Start-, Montage-, Zielgruben) der grabenlosen Bauweise entstehen.

Prinzipiell lässt sich aus Tabelle 21 und 22 erkennen, dass die Zeit- und Betriebskosten in Summe (Tab.22) bei der Variante mit Teilumleitung (offene Bauweise) und punktuellen Fahrbahnverengungen (grabenlose Bauweisen) in diesem Beispiel unter denjenigen einer Ampelregelung (Tab. 21) liegen. Im vorliegenden Berechnungsfall tritt bei der Variante eine Reduzierung von 40 - 70% bei diesen als indirekte Kosten zählenden Mehraufwendungen auf.

5.2.6 Gesamtkostenvergleich „Kanalbau“

Für den Gesamtkostenvergleich „Kanalbau“ werden betrachtet:

- die Variante „Ampelregelung“, d.h. einstreifige Verkehrsführung mit Ampelregelung an der Baustelle für alle Bauweisen sowie
- die Variante „Teilumleitung“, hier wird bei den grabenlosen Bauweisen der Verkehr ohne Ampelregelung an den Einengungen infolge von Start- und Zielgruben im Gegenverkehr vorbeigeführt.

Die Gesamtkosten (Abb. 11 und Abb.12) beinhalten die Investitionskosten, sowie als wesentliche indirekte Kosten, die „Zeitkosten Verkehr“ und „Betriebskosten Verkehr“.

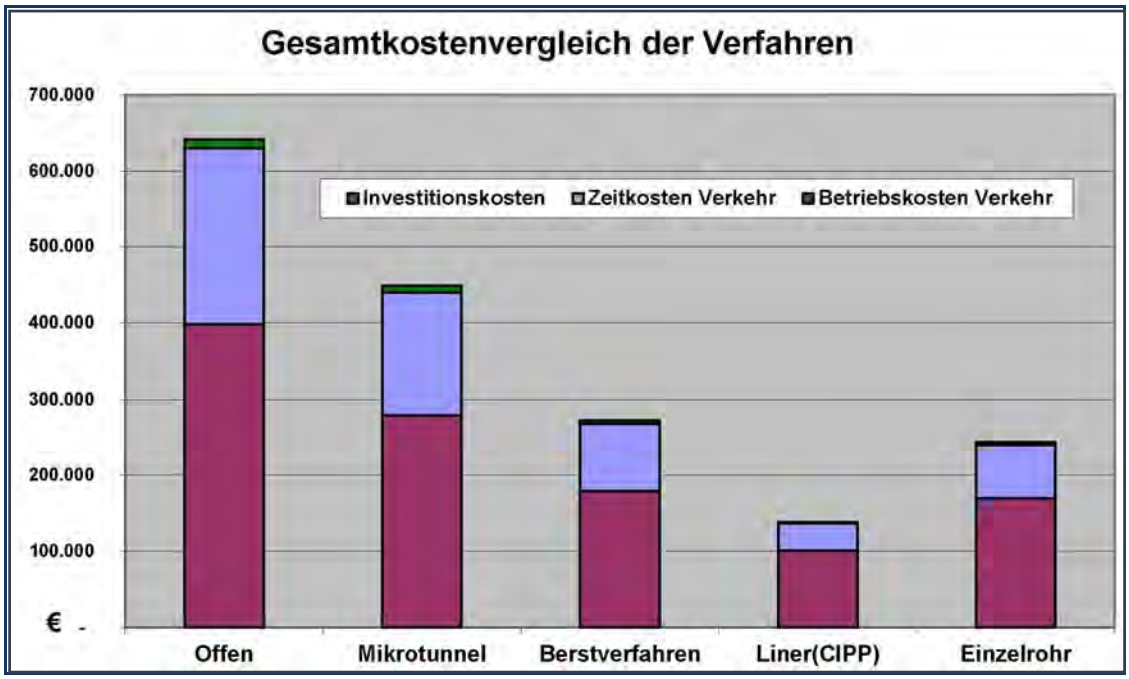


Abb. 11: Vergleich der Verfahren „Kanalbau“ (Variante Ampelregelung)

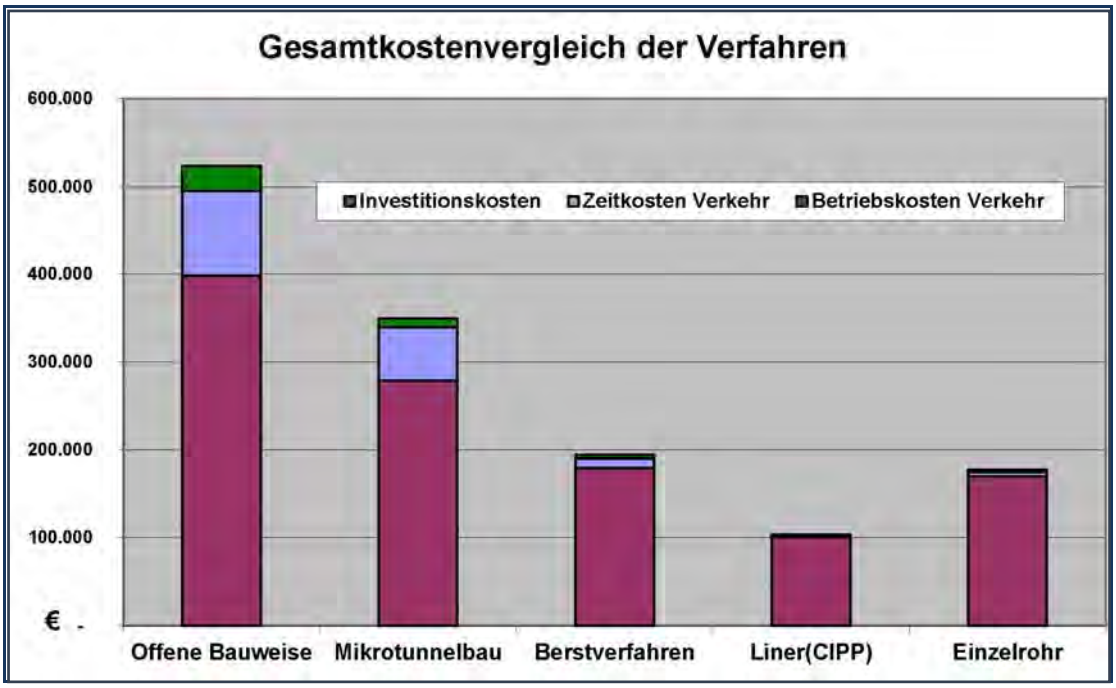


Abb. 12: Vergleich der Verfahren „Kanalbau“ (Variante Teilumleitung)

Die Größenordnung der spezifischen indirekten Kosten wie auch deren Absolutbeträge (siehe Abb.11 und 12) zeigen deren volkswirtschaftliche Bedeutung, so dass bei jeder Leitungsbaumaßnahme geprüft werden sollte, ob diese Belastungen für die Allgemeinheit durch die Wahl einer grabenlosen Bauweise reduziert werden können. Gerade bei den grabenlosen Bauweisen zeigt sich eine Minderbelastung von Verkehrsteilnehmern durch Zeit- oder Betriebskosten.

Unabhängig von Bauweisen und Verkehrsführungen im Baustellenbereich werden Zeit- und Betriebskosten von Verkehrsteilnehmern und Fahrzeugen in keiner Kalkulation erfasst. Die damit verbundenen Vorgänge schlagen sich in den Bauweisen entsprechend in zusätzlichen Emissionen, Beeinträchtigungen, Mehraufwand, Zeitverlusten oder Verdienstausfällen nieder. Da deren Einbeziehung vom Auftraggeber bzw. Leitungsbetreiber nicht gefordert wird, sind diese somit von der Allgemeinheit zu tragen.

Es ist durchaus möglich, die mit den jeweiligen Bauweisen verbundenen Nachteile bei der technischen und ökologischen Wertung von Ausschreibungen adäquat zu berücksichtigen. Bei Ausschreibungen in Frankreich wird für die Angebotswertung beispielsweise [49] „Qualité technique et environmentale“ (Qualität von Technik und Umwelt) mit 20% gewichtet. Der Angebotspreis trägt 65 %, die Qualität der Lieferleistung 15% zur Angebotswertung bei.

5.3 Kostenvergleich und Auswertung „Druckrohrleitungsbau (DRLB)“

Bei der Betrachtung und Bewertung der nachstehenden Ausführungen ist zu beachten, dass sich die Musterbaustelle „Druckrohrleitungsbau“ in mehreren Punkten von der Musterbaustelle „Kanalbau“ unterscheidet, Im wesentlichen ergibt sich das aus der Funktion, der Dimensionierung und der Trassenführung der zugehörigen Leitungssysteme.

(1) Bei der Variante „Kanalbau“ gibt es nur ein Leitungssystem, das mittig in der Straße liegend, das Abwasser in variierenden Durchmessern aufnimmt und ableitet. Die Liegenschaften, rechts und links der Straße, sind mit Hausanschlussleitungen angebunden, die nicht saniert werden müssen Die Um- bzw. Anbindung kann in offener Bauweise oder je nach Sanierungsverfahren auch mit Robotertechnik erfolgen.
(2) Bei der Variante „DRLB" sind zwei Leitungssysteme zu betrachten. Es ist eine Haupt- bzw. Transportleitung mit einem Durchmesser von DN 250, über die das Medium - hier Trinkwasser – auf der rechten Straßenseite (siehe Anlage 7.1) transportiert wird. Diese Leitung hat eine Verbindung mit der Versorgungsleitung (linke Straßenseite). Von letzterer führen die Hausanschlussleitungen zu den einzelnen Gebäuden rechts und links der Straße. Die Hausanschlussleitungen müssen hier nicht saniert werden, jedoch sind deren An- bzw. Umbindung an die sanierte bzw. neu zu verlegende Leitung immer in offener Baugrube herzustellen.
(3) Der Aufwand für die An- bzw. Umbindung von Hausanschlussleitungen beim Kanalbau variiert je nach Funktion der Leitung (Druck- oder Freispiegelleitung) und Sanierungsverfahren. Beim CIPP-Liningverfahren (Freispiegelleitung) kann mit Robotertechnik gearbeitet werden, bei einer Druckleitung ist dagegen ein großer Aufwand erforderlich, um die Anbindung druckfest und dicht auszubilden. In letzterem Fall sind Sanierungsverfahren mit vorgefertigten Kunststoffrohren im Vorteil, da bei diesen eine Anbindung z. B. mit einem einfachen Stecksystem realisiert werden kann.
(4) Für die Musterbaustellen wurden Annahmen getroffen, die sich auf innerstädtische Situationen beziehen wie z.B. ein hohes Verkehrsaufkommen, hohe Leitungsdichte, verdichtete Bebauung, beengte Arbeitsräume, kurze Bauabschnitte, wenig Lagerflächen etc., die je nach Bauweise zu unterschiedlichen Verzögerungen und Stillständen führen. Vorlaufzeiten für einzuholende Erlaubnisse und Genehmigungen verlängern die Planungszeit. Bei günstigen Rahmenbedingungen lassen sich Vereinfachungen bei der Abwicklung von Baustellen mit punktuellem Baustellenort ohne Ampelregelung realisieren.
(5) Für die Variante „Druckrohrleitungsbau“ werden die beiden Leitungssysteme DN 150 bzw. DN 250 getrennt betrachtet und auch zeitlich separat ausgeführt. Es ist auch eine Kombination der offenen und grabenlosen Verfahren innerhalb einer Variante möglich.

Werden vom Nutzer die vorstehenden Anmerkungen berücksichtigt, so lassen sich die hier getätigten Aussagen einfach auf eigene Projekte und deren Randbedingungen übertragen. Dabei ist zu beachten, dass die grabenlosen Bauweisen immer in Relation zur offenen Bauweise zu betrachten sind. Ein Vergleich der grabenlosen Bauweisen untereinander findet in dieser Betrachtung nicht statt.

5.3.1 Übersicht „Grabenlose Druckrohrleitungsbauverfahren“

	Neulegung	Rehabilitation				
Verfahren / Merkmale	HDD - Horizontalspülbohr-verfahren	Presszieh- und Hilfsrohrverfahren	Berstverfahren	Gewebeschlauch (CIPP; vor Ort aushärtende, ISO)	Rohrstranglining (ohne Ringraum)	Rohrstranglining (mit Ringraum)
Technische Regeln Merkblätter und Richtlinien	GW 321, GW 304 GSTT Information Nr.20	GW 322 - 1, GW 322 - 2 GSTT Information Nr.20	GW 323 GSTT Information Nr.20	ISO 11 297 - 11 298 Teil 4, G478 GSTT Information Nr.20	ISO 11297 - 11 298 Teil 3, GW 320-2 GSTT Information Nr.20	ISO 11297 - 11 298 Teil 2 und Teil 5 GW 320-1 GSTT Information Nr.20
Baulänge	Bis 150 m	Bis 200 m		Bis 600 m	Bis 300 m	
Trassierung	Muss vorher erkundet werden, Alttrasse bleibt aufgelassen	Untersuchung auf horizontale und vertikale Abweichungen, da eine Auswechslung in der Alttrasse erfolgt.		Alttrasse und das Altrohr bleibt bestehen. Untersuchung auf horizontale und vertikale Abweichungen, da eine Sanierung in der Alttrasse erfolgt.	Alttrasse und das Altrohr bleibt bestehen. Untersuchung auf horizontale und vertikale Abweichungen, da eine Sanierung in der Alttrasse erfolgt.	Alttrasse und das Altrohr bleibt bestehen. Untersuchung auf horizontale und vertikale Abweichungen, da eine Sanierung in der Alttrasse erfolgt.
Reinigung	Keine Reinigung erforderlich, Altrohr verbleibt im Boden	Keine Reinigung erforderlich, Altrohr wird entfernt	Keine Reinigung erforderlich, Altrohr wird verdrängt	Ja		
Reinigungsmethode	Nein			Höchstdruckreinigung	Hochdruckreinigung	
Kalibrierung	Nein			Ja		
TV Befahrung	Nein			Ja		
Baugruben und Zwischenbaugruben	Anschlussbaugruben an das vorhandene Netz	Maschinen- und Startbaugruben	Statisch: Ziel- und Startbaugruben	Start- und Zielbaugrube		
	Alle Hausanschlüsse, Armaturen, Abzweige oder Trassenabweichungen in horizontaler und vertikaler Lage erhalten Zwischenbaugruben	Alle Hausanschlüsse, Armaturen, Abzweige oder Trassenabweichungen in horizontaler und vertikaler Lage erhalten Zwischenbaugruben sowie technologisch erforderliche Baugruben aus der Auswechsellänge	Alle Hausanschlüsse, Armaturen, Abzweige oder Trassenabweichungen in horizontaler und vertikaler Lage erhalten Zwischenbaugruben	Armaturen, Abzweige oder Trassenabweichungen in horizontaler und vertikaler Lage erhalten Zwischenbaugruben , Hausanschlüsse können in offener und geschlossener Bauweise hergestellt werden	Alle Hausanschlüsse, Armaturen, Abzweige oder Trassenabweichungen in horizontaler und vertikaler Lage erhalten Zwischenbaugruben*	
Wiederanbindung der Anschlussleitung an das sanierte Rohr	Werden nachträglich hergestellt offene Bauweise			Werden nachträglich hergestellt, grabenlos oder offen möglich	Werden nachträglich hergestellt offene Bauweise	
Armaturen, Abzweige	Werden nachträglich hergestellt offene Bauweise			Werden nachträglich hergestellt, grabenlos oder offen möglich	Werden nachträglich hergestellt offene Bauweise	
Beachtung baulicher Anlagen (Verkehrsanlagen, Leitungsanlagen, Grünanlagen etc)	Lage muss erkundet werden. Über- und Unterfahrungen baulicher Anlagen sind genau im Genehmigungsverfahren ab zustimmen.			Die Sanierung erfolgt im Altrohr. Wenn die Trasse des Altrohres keine Auffälligkeiten hat, ist eine Sanierung möglich. Der nachträgliche Anschluß in offener Bauweise von Anschlussleitungen,Abzweigen und Armaturen muss beachtet werden.		
Anforderungen an Mindestabstände	Ein Freiraum um die neue Rohrtrasse ist erforderlich	Lichter Abstand zu parallelen Leitungen 3 x Aufweitungs-Nennweite	In Anlehnung an die grabenlose Erneuerung wird ein Abstand von 3x der Aufweitungs-Nennweite empfohlen	Keine		
Ersatzleitungen	Nicht erforderlich, da Alt Anlage in Betrieb bleiben kann	Erforderlich, da Altrohrtrasse auch für das neue Rohr genutzt wird				
Zugkraftmessung für Neustrang erforderlich	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	
Nennweiten Aufweitung möglich	Ja	Ja		Nein		
Gegenüber Altrohr		Um eine Nennweite				
Statische Funktion des Altrohres erforderlich	Nein			Ja	verfahrensabhängig	Nein
Direkte Folgekosten nach Kapitel 4	je nach Trassenlage			Keine		
Indirekte Folgekosten nach Kapitel 4	Gering			Keine		

Quellen und Hinweise
* GW 325
* W 409
GSTT Info Nr.1
GSTT Info Nr. 20

Die Herstellung der Hausanschlüsse bezieht sich auf die Herstellung des Anschlusses an das sanierte Rohr. Sollte im Rahmen der Sanierung eine Sanierung des gesamten Hausanschlusses erforderlich werden, so kann dieser grabenlos oder offen hergestellt werden

Tab 23: Übersicht „Grabenlose Verfahren im Druckrohrleitungsbau“

Die Tabelle 23 „Vergleich Druckrohrleitungsbau“ zeigt die gängigen Verfahren für Neubau und Rehabilitation von Druckrohrleitungen. Die Gegenüberstellung der Verfahren kann als Leitfaden für den Wirtschaftlichkeitsvergleich dienen. Diese Tabelle ersetzt keine Planung. Sie zeigt lediglich Merkmale von Verfahren auf, die bei deren Auswahl beachtet werden sollten.

Für die weitere Betrachtungen und Berechnungen anhand der Musterbaustelle wurde den baustellenspezifischen Randbedingungen entsprechend eine Vorauswahl der generell möglichen Verfahren für den Vergleich mit der offenen Bauweise getroffen. Gewählt wurden für die Versorgungsleitung (Durchmesser DN 150) das Press-Zieh-, das Lining- und das Berstverfahren. Für die Transportleitung (Durchmesser DN 250) sind es das Berstverfahren, das vor Ort härtende Gewebeschlauch- bzw. Schlauchliningverfahren (CIPP) sowie ein Liningverfahren (ohne Ringraum) mit werksseitig vorgefertigten Kunststoffrohren.

Da an der Versorgungsleitung nur wenige Anschlüsse zu erstellen bzw. umzubinden sind, wurde auch die Neulegung mit dem HDD- Verfahren betrachtet. Dieses Verfahren sollte als Alternative zur Sanierung einer Altleitung, wenn die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sind, immer in Betracht gezogen werden.

5.3.2 Gesamtkosten und Bauzeiten

Wie beim Kanalbau zeigen sich beim Druckrohrleitungsbau unter den gegebenen Randbedingungen (innerstädtische Lage, hochwertige Oberflächen etc.) die Vorteile der grabenlosen Verfahren gegenüber einer offenen Bauweise. Bei den grabenlosen Verfahren selbst ergeben sich bei den Baukosten relativ geringe Unterschiede.

Druckleitung: Vergleich von Bauverfahren DN 150				
Bauweise	**Kosten €**	**Bauzeit Monate**	**Diesel ltr.**	**Geräte u. LKW-Stunden**
Offene Bauweise	196.676	5	13.944	1.405
	100%	100%	100%	100%
Press-Zieh-Verfahren	132.494	2,5	6.851	709
	67%	50%	49%	50%
Berstverfahren	110.681	2,2	6.651	679
	56%	**43%**	**48%**	**48%**
Gewebeschlauch	121.890	2,1	6.851	684
	62%	**41%**	**49%**	**49%**
Prämisse: Verfahren sind prinzipiell für die Bauaufgabe anwendbar				
Grabenlose Verfahren in Relation zur offenen Bauweise				

Abb. 13 Kostenübersicht „Druckrohrleitungsbau DN 150“

Deshalb ist es für den Nutzer wichtig, indirekte Auswirkungen und indirekte Kosten der jeweiligen Bauverfahren bei der Verfahrensauswahl zu berücksichtigen. Dazu ist eine detaillierte Untersuchung der grabenlosen Verfahren und die Anpassung an das jeweilige Projekt erforderlich. Randbedingungen wie Siedlungsstruktur, Tiefenlage, Rohrdurchmesser, Verkehrsdichte, Umleitungsstrecken etc. können einem bestimmten Sanierungsverfahren den Vorzug geben. Bei Kostengleichheit kann daher auch eine kürzere Bauzeit ausschlaggebend sein, die insgesamt zu geringeren Beeinträchtigungen für den anliegenden Geschäftsbetrieb und die Bevölkerung führt. Im Druckrohrleitungsbau kann im vorliegenden Beispiel eine Neulegung mit HDD-Verfahren technisch und wirtschaftlich sinnvoll sein.

Für den Vergleich werden die Kosten der offenen Bauweise (Abb. 14-15) mit 100 % angesetzt. Unter den gegebenen Randbedingungen der Musterbaustelle ist erkennbar, dass jede der betrachteten grabenlosen Bauweisen sich als kostengünstiger erweist. Die Unterschiede bei den Bauzeiten und Baukosten für DRLB, DN 150, ergeben sich aus der arbeitsaufwändigeren Verfahrenstechnik, z.B. beim Press-Zieh-Verfahren. Beim DRLB, DN 250, ist das HDD- Verfahren vorteilhafter bei Baukosten und –zeiten, da hier in neuer Trasse verlegt werden kann.

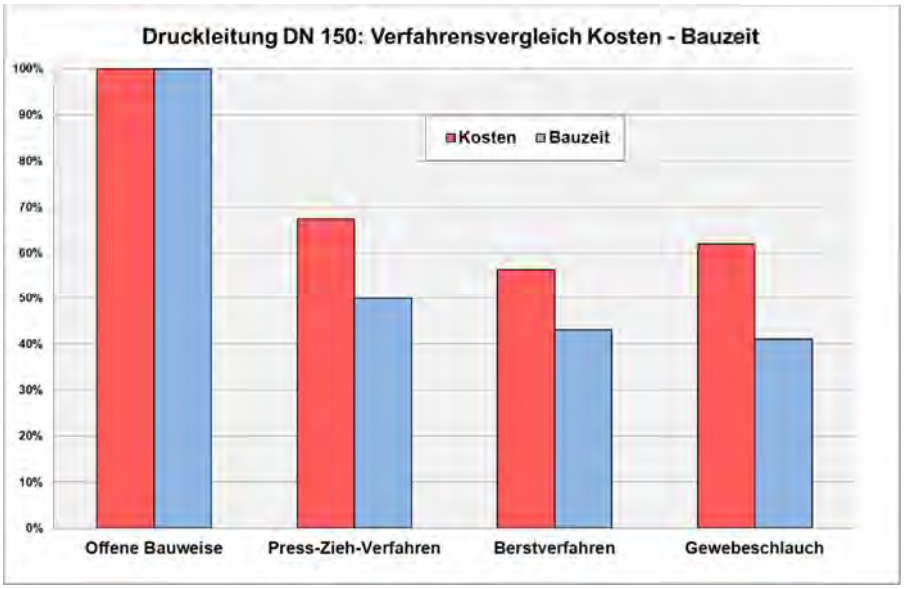


Abb. 14: Druckrohrleitungsbau DN 150:
Relationen Bauzeit und Baukosten für offene und grabenlose Bauweisen

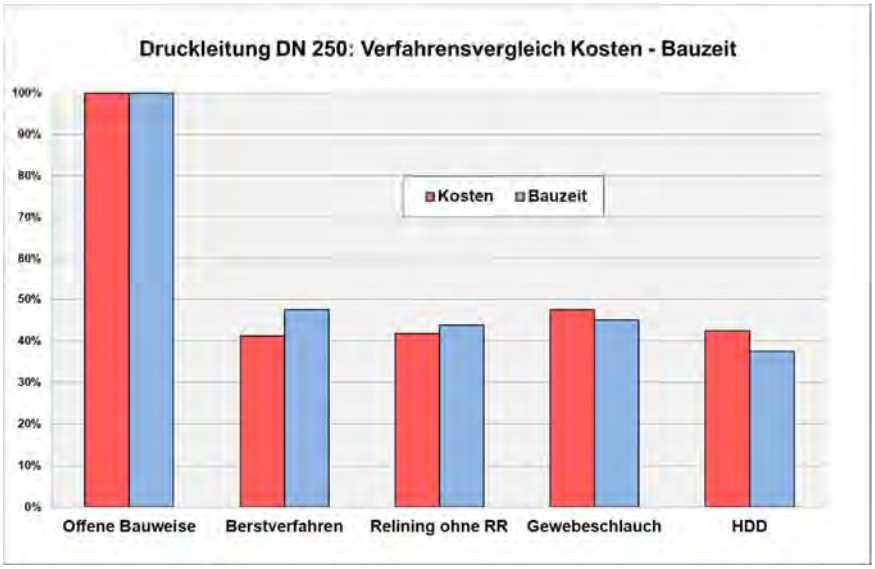


Abb. 15: Druckrohrleitungsbau DN 250:
Relationen Bauzeit und Baukosten für offene und grabenlose Bauweisen

Der geringere prozentuale Unterschied der grabenlosen Bauweisen zur offenen Bauweise bei DN 150 gegenüber der bei DN 250, ergibt sich aus der weitaus größeren Anzahl von Montage- und Anschlussgruben für die Hausanschlüsse bei der Versorgungsleitung DN150.

Durch eine Aufschlüsselung der Gesamtkosten in die Kostenblöcke Baustelleneinrichtung, Oberflächenarbeiten, Rohrgraben, Rohrbau und Sonstiges, ist offensichtlich , dass der besonders emissionsträchtige Tiefbau bei den grabenlosen Verfahren drastisch reduziert wird. Der Einbauvorgang selbst erfolgt unterirdisch, mit reduzierten Aushubvolumina, und bewirkt daher auch weniger Emissionen bei CO_2, Feinstaub, Staub und Lärm.

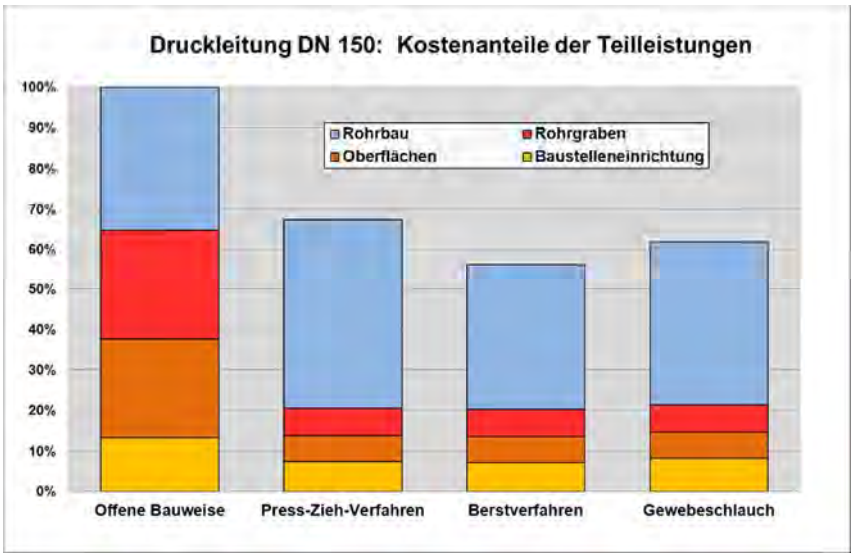


Abb. 16: Druckrohrleitungsbau DN 150
Relation der Kostengruppen offene, grabenlose Bauweisen

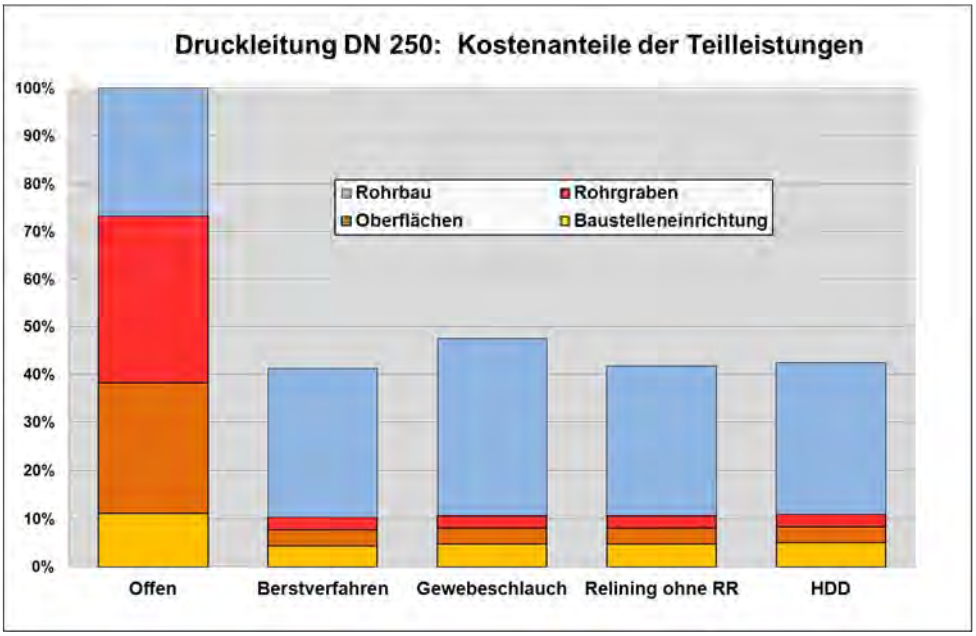


Abb. 17: Druckrohrleitungsbau DN 250
Relation der Kostengruppen offene, grabenlose Bauweisen

Signifikant ist die prozentuale Verlagerung von Kostenanteilen in den Rohrbau. Die Arbeitsvorgänge werden dadurch zunehmend mechanisiert und damit von den negativen Einflüssen einer manuellen Bearbeitung entlastet.

Beim Press-Zieh-Verfahren und CIPP-Lining-Verfahren sind es die ansonsten aufwändigeren Arbeitsvorgänge der Rohrinstallation.

Bei den Lining-, Berst- und HDD-Verfahren ist es die Verwendung höherwertiger Rohrwerkstoffe, die verfahrensbedingt erforderlich werden, sowie das umfangreichere Maschinenequipment.

Das bedeutet aber auch, dass die Verwendung industriell vorgefertigter Rohre und die Nutzung hochtechnisierter Verfahren für die Rohrinstallation zu einer qualitativ hochwertigeren Ausführung der Rohrleitungsbauarbeiten führt.

5.3.3 Kraftstoffverbrauch und Emissionen im Vergleich

Prinzipiell lässt sich die hier gewählte Vorgehensweise mit den aufgeführten Parametern auf jede Baustellensituation übertragen. Die ermittelten Verbräuche der Baumaschinen (auf der Baustelle) und der LKW (SNF: Schwere Nutzfahrzeuge für Transportfahrten) werden gemäß den Ausführungen in 5.1.2 zunächst für die Berechnung und den Vergleich der CO_2 Emissionen genutzt.

Auf den vorgenannten Berechnungswegen sind die jeweiligen Gesamtverbräuche an Dieselkraftstoff für Transport- und Baustellengeräte ermittelt und als Gesamtsummen in Abb. 18 beispielhaft für DRLB, DN 150, dargestellt. Es versteht sich, dass diese Werte im Kontext mit der Musterbaustelle und den dort gegebenen Randbedingungen bezüglich Rohrdurchmesser, Grabenbreiten, Haltungslängen etc. zu sehen bzw. zu beurteilen sind.

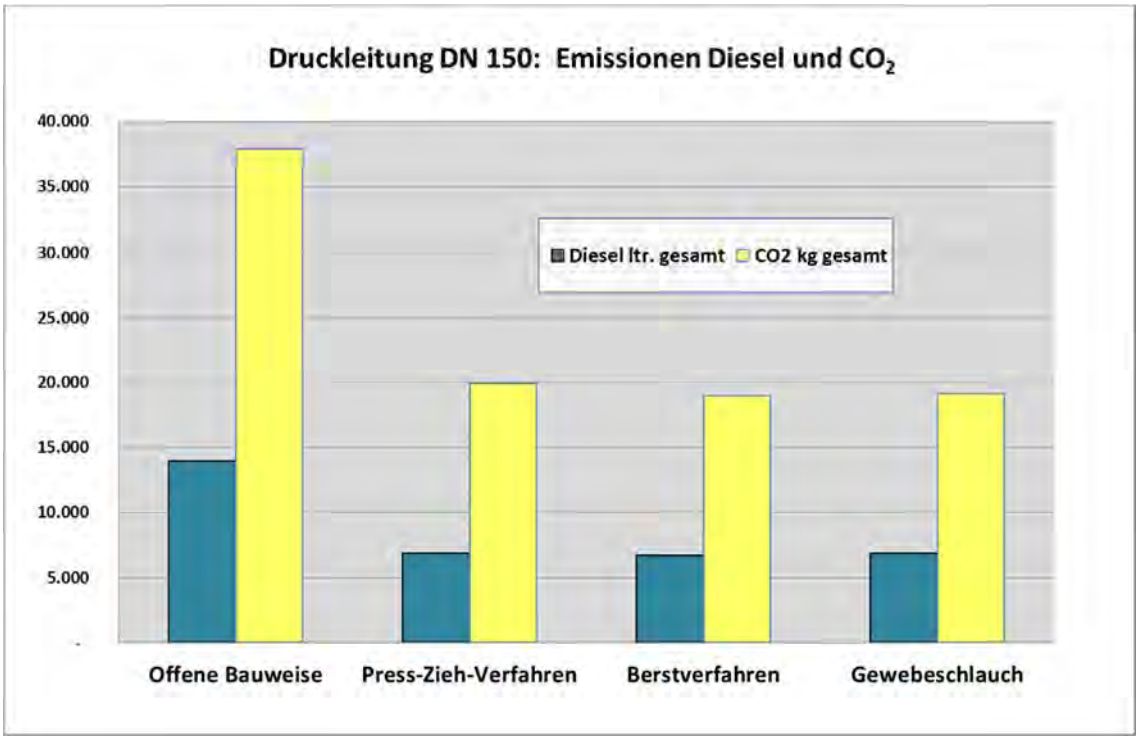


Abb. 18: Druckrohrleitungsbau DN 150:
Gesamtdieselverbrauch und CO_2 -Emissionen

So beträgt die Reduzierung bei einer der grabenlosen Bauweisen bis zu 50 % gegenüber einem Verbrauch von ca. 14.000 Litern Kraftstoff für die offene Bauweise (Abb.18). Legt man tagesaktuelle Dieselkosten zu Grunde, so lässt sich die Einsparung in Euro eindrucksvoll darstellen. Erwartungsgemäß liegt beim DRLB, DN 250, der Gesamtverbrauch an Dieselkraftstoff etwas niedriger, im vorliegenden Fall sind es ca. 2.000 Liter, und damit auch der absolute und relative CO_2-Ausstoß.

In der nachfolgenden Betrachtung bezüglich den übrigen gasförmigen Emissionen wie CO, N_2O, NOx und HC sowie PM 10 oder Ruß werden daher für die Darstellungen die Werte für die Bauverfahren beim Druckrohrleitungsbau für DN 150 wiedergegeben.

In den Abb.19 und 21 beruht die vergleichende Darstellung auf Basis der verschiedenen Bauweisen und in den Abb. 20 und 22 sind die Emissionen die Bezugsbasis.

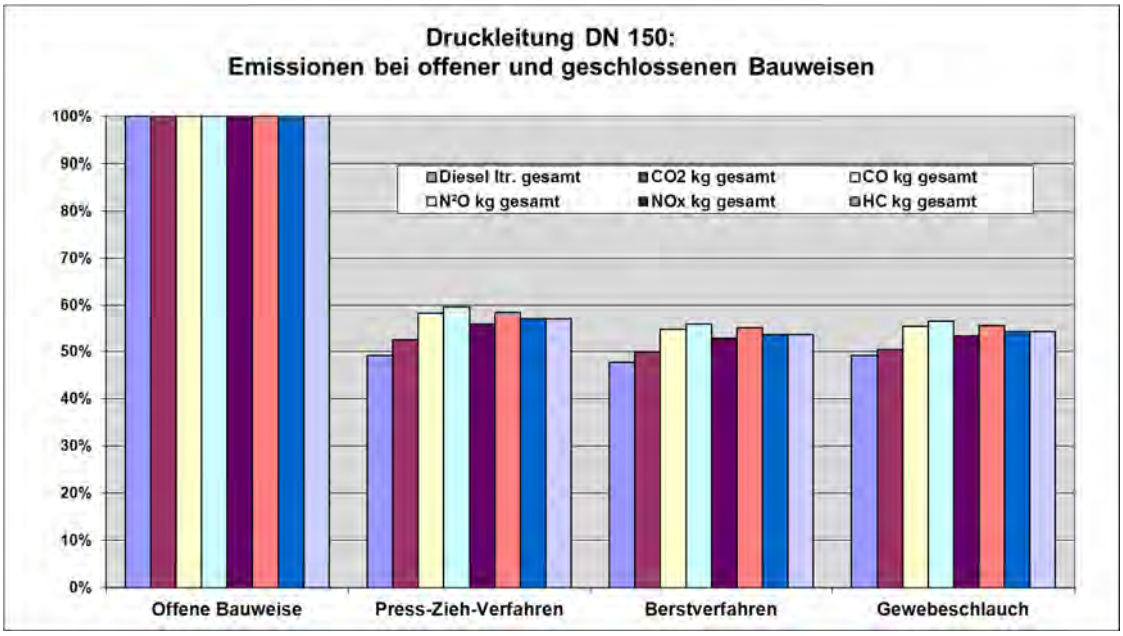


Abb. 19: Druckrohrleitungsbau DN 150,
Relationen bei Dieselverbrauch und Emissionen auf der Basis Bauweisen

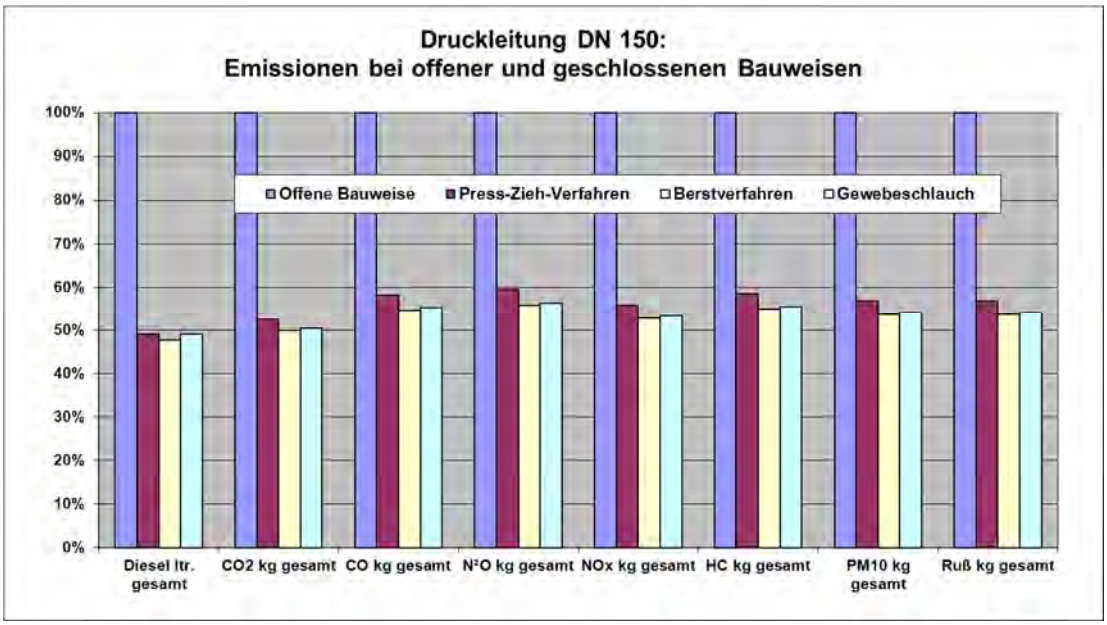


Abb. 20: Druckrohrleitungsbau DN 150,
Dieselverbrauch und Emissionen (Basis Dieselkraftstoff und verschiedene Schadstoffarten)

Deutlich ist das Einsparpotential beim Berst-, Lining- und Einzelrohrverfahren gegenüber der offenen Bauweise zu erkennen

5.3.4 Gesamtbetriebsstunden LKW und Geräte

Die Gesamtbetriebsstunden sind ein Maß für die Dauer und den Umfang der durch die Bauarbeiten bedingten Beeinträchtigungen durch

- Emissionen wie Gase, Lärm und Staub,
- baustellenbedingte Staus und Umleitungsstrecken sowie
- Beeinträchtigungen im Wirtschafts- und privaten Bereich

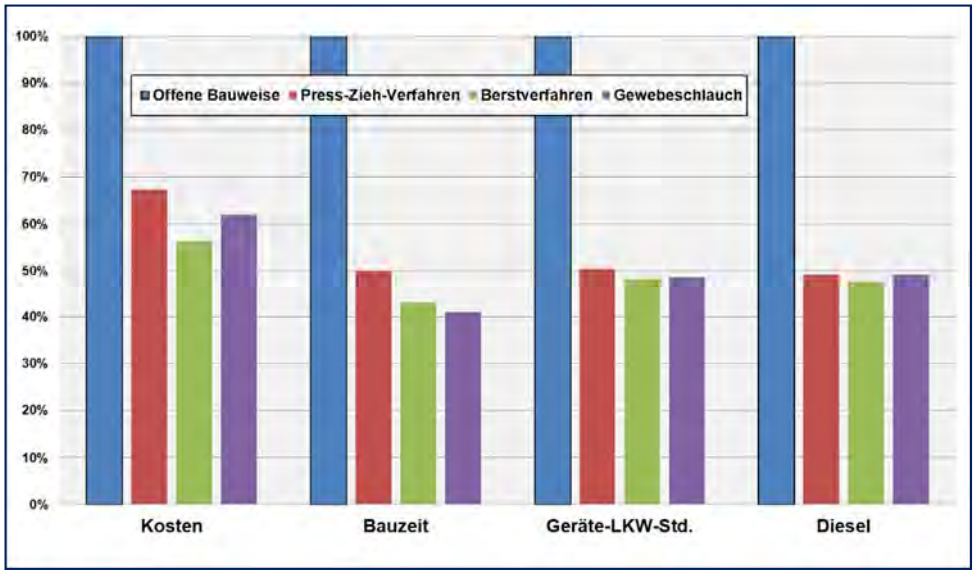


Abb. 21: Druckrohrleitungsbau DN 150 : Bauverfahren im Vergleich Relationen bei Baukosten, Bauzeiten, Betriebsstunden (Geräte, LKW) und Kraftstoffverbrauch

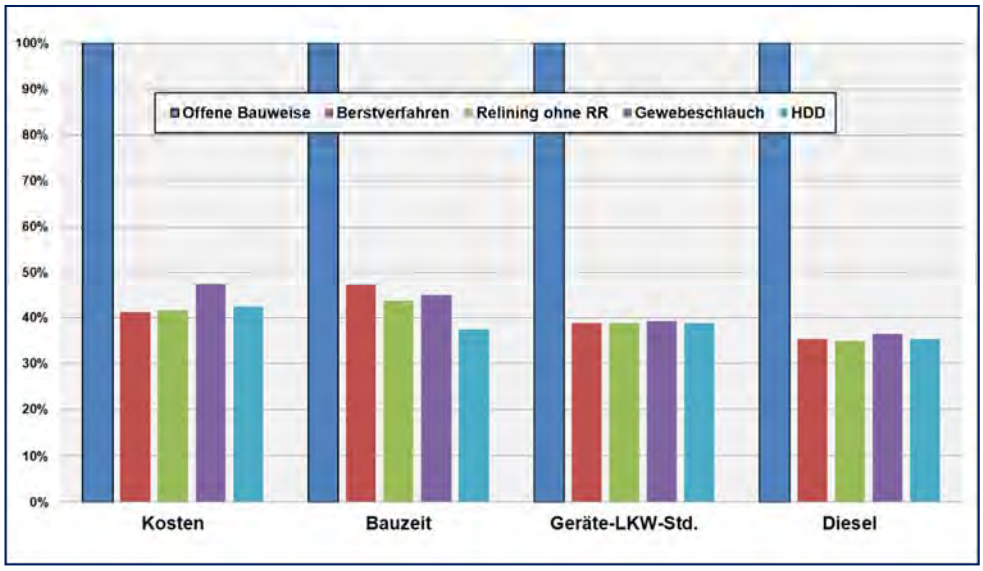


Abb. 22: Druckrohrleitungsbau DN 250 : Bauverfahren im Vergleich Relationen bei Baukosten, Bauzeiten, Betriebsstunden (Geräte, LKW) und Kraftstoffverbrauch

Bei der Betrachtung der Abbildungen 21 und 22 ist sofort augenfällig, dass sich die angeführten Relationen bei den grabenlosen Bauweisen gegenüber der offenen Bauweise zum Teil mehr als halbieren. Bei der Druckleitung DN 150 stellt sich die Relation der Kosten aufgrund der zahlreichen Hausanschlüsse anders dar.

Auf den ersten Blick stellen sich die aufgezeigten Relationen in etwa gleich dar, obwohl ein unterschiedliches Potenzial an Baumaschinen und Arbeitskräften beim jeweiligen Verfahren erforderlich ist.

Bei den grabenlosen Verfahren ist das Maschinenequipment sehr aufwändig. Hinzu kommt, dass die eingesetzten Rohrmaterialen sehr hochwertig und damit etwas teurer sind.

Der Schlüssel für die erhebliche Einsparung ist die jeweils bis zu mehr als um die Hälfte reduzierte Bauzeit. Damit verringern sich zwangsläufig die Einsatzzeiten der Maschinen, Geräte und des Personals. Bei gleichem finanziellem Aufwand lassen sich mehr Leitungsbaumaßnahmen realisieren.

Es wird auch besonders deutlich, dass die grabenlosen Bauweisen im innerstädtischen Bereich die Verfahren der ersten Wahl sind. Ein Kostenvergleich (und weitere Vergleiche) untermauern diese Einschätzung. Im vorliegenden Beispiel ist, und was man zunächst nicht vermuten würde, die Anwendung des HDD-Verfahrens bei einem relativ großem Durchmesser von DN 250 im innerstädtischen Bereich eine zweckmäßige Variante.

5.3.5 Zeit- und Betriebskosten „Druckrohrleitungsbau“

Wie beim Kanalbau lassen sich mit einer Tabellenkalkulation (Excel) die unterschiedlichen Gegebenheiten und Randbedingungen von Baustellen- und Verkehrssituation nachvollziehen und daraus Mehraufwand bzw. Mehrkosten als indirekte Kosten für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge bestimmen. Die einzusetzenden Parameter sind unter 5.1.4 für die Variante „Kanalbau“ bzw. „Druckrohrleitungsbau“ aufgeführt.

5.3.5.1 Zeit- und Betriebskosten „Druckrohrleitungsbau DN 150“

Aufgrund der innerstädtischen Baustellensituation wurde für die Musterbaustelle „Druckrohrleitungsbau DN 150 eine einstreifige Verkehrsführung mit vollautomatischer Ampelschaltung für alle Bauweisen eingerichtet. Dadurch steht der gesperrte Fahrstreifen während der Dauer der Bauzeit für Zwischenlagerungen und Inanspruchnahme als Arbeitsfläche voll zur Verfügung.

Ermittlung von Zeit-, Stau und Betriebskosten von Fahrzeugen und Verkehrsteilnehmern mit Ampelregelung: Druckleitung DN 150						
				Grabenlose Bauweisen		
Annahmen - Voraussetzungen	**Parameter**	**Einheit**	**Offene Bauweise**	Press-Zieh-Verf.	Berstverfahren	Liner (CIPP)
Baustellen- (Leitungs)länge	Länge	m	260	260	260	260
Mehrstrecke bei offener und bei grabenloser Bauweise (Umfahrungen)	Mehrstrecke	m	0	0	0	0
Rechnerische Fahrtstrecke	Gesamtlänge	m	260	260	260	260
mittlere v ohne Baustelle	v1	km/h	40	40	40	40
Ampelregelung	Wartezeit w	sec	30	30	30	30
Fahrzeit infolge Ampelregelung	Dauer t3	h	0,0170	0,0170	0,0170	0,0170
mittlere v infolge Ampelreglung	v3	km/h	15,3	15,3	15,3	15,3
Verbrauch im Stau	Kraftstoff	ltr/h	1,0	1,0	1,0	1,0
Kosten Kraftstoff	Kraftstoff	€ / ltr	1,6	1,6	1,6	1,6
mittlere v im Baustellenbereich	v2	km/h	30	30	30	30
Fahrzeit ohne Baustelle	t1	h	0,007	0,0065	0,0065	0,0065
Fahrzeit im Baustellenbereich	t2	h	0,0087	0,0087	0,0087	0,0087
Mehrfahrzeit wg Baustelle mit Ampel	dt	h	0,0105	0,0105	0,0105	0,0105
Kraftfahrzeuge pro Tag	Frequenz	Kfz/d	5000	5000	5000	5000
Bauzeit in Monaten	Bauzeit	Monate	5,0	2,5	2,2	1,0
Bauzeit in Kalendertagen	30 d/Mt.	d	150	75	66	30
Zeitkostenansatz gem. Nr. 5.1.4	aus Straßenverkehr	€/Kfz*h	22,33	22,33	22,33	22,33
Betriebskostenansatz gem. Nr. 5.1.4	dto.	€/100km*Kfz	30,55	30,55	30,55	30,55
Zeitkosten	dt*Kfz/d*d*€/(Kfz*h)	**€**	**175.849**	**87.924**	**77.373**	**35.170**
Δgrabenlos zu offen	Einsparung	€		**87.924**	**98.475**	**140.679**
Δrelativ,grabenlos zu offen	Einsparung	%		**50**	**56**	**80**
Betriebskosten 2)	km*Kfz/d*d*€/(100km*Kfz)	**€**	**10.000**	**5.000**	**4.400**	**2.000**
Δgrabenlos zu offen	Einsparung	€		**5.000**	**5.600**	**8.000**
Δrelativ,grabenlos zu offen	Einsparung	%		**50**	**56**	**80**
Σ Zeit- & Betriebskosten		**€**	**185.849**	**92.924**	**81.773**	**37.170**
Relation ΣZeit-& Betriebskosten zu Investkosten		**%**	**94**	**70**	**74**	**30**
Zeitkosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	676	338	298	135
Betriebskosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	38	19	17	8
Investitionskosten	absolut	**€**	**196.676**	**132.494**	**110.681**	**121.890**
Investitionskosten relativ	je m Leitungslänge	€/m	615	414	346	381

1) CIPP = Cured in Place Pipe

Eingabefelder für variable Werte gelb unterlegt

2) In den fahrzeugbedingte Betriebskosten treten bei Ampelregelung keine Kosten infolge einer (nicht vorhandenen Verlängerung der Fahrtstrecke auf; hier sind die Kosten für den wartezeitbedingten Kraftstoffmehrverbrauch enthalten

Tab. 24: Druckrohrleitungsbau DN 150
Ermittlung Zeit- und Betriebskosten (Ampelregelung für alle Bauweisen)

Bei den Zeit- und Betriebskosten für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge infolge der Musterbaustelle zeigen sich die erwarteten Relationen zwischen der offenen und den jeweiligen grabenlosen Bauweisen. Für die Zeitkosten wird die Mehrfahrzeit infolge der ampelbedingten Wartezeit und Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit im Baustellenbereich maßgebend. Fahrzeugbedingte Betriebskosten entstehen durch den Mehrverbrauch an Kraftstoffen infolge von Wartezeiten an Ampeln; eine Verlängerung von Fahrstrecken liegt nicht vor.

Änderungen der Eingabeparameter (in der Tabelle gelb eingefärbt) wie Wartezeiten, Kraftstoffverbrauch oder Kraftstoffkosten gehen linear in das Ergebnis ein. Die Reduktion dieser indirekten Kosten um 50 – 80 % gegenüber der offenen Bauweise sind eindeutig erkennbar; deren Anteil und Höhe werden durch die Variablen „Baustellenlänge“, „Wartezeiten an der Ampel“ sowie „Kraftstoffverbrauch“ im Wesentlichen beeinflusst. Auch die Relation von Zeit- und Betriebskosten zu den jeweiligen Investitionskosten verschieben sich durch Variieren der Parameter.

Eine Reduzierung der baustellenbedingten Zeit- und Betriebskosten kann durch eine Änderung der Verkehrsführung erreicht werden. Falls es die örtlichen Randbedingungen erlauben und für die grabenlosen Bauweisen eine Ampelregelung nicht erforderlich ist, kann als Alternative eine Durchfahrt mit punktueller Fahrbahnverengung an einzelnen Baustellenpunkten (Start-, Ziel- oder Montagegruben) eingerichtet werden.

Bei der offenen Bauweise werden die Verkehrsteilnehmer in der einen Richtung durch die Baustelle und in der anderen Richtung über eine Umleitungsstrecke (Teilumleitung) geführt. Vereinfachend wird angenommen, dass dabei die Hälfte der Fahrzeuge die Umleitungsstrecke benutzen wird. Im Ergebnis sind ähnliche Relationen wie in Tab. 22 „Ermittlung Zeit- und Betriebskosten „Kanalbau“ mit Teilumleitung und punktuellen Fahrbahnverengungen festzustellen.

5.3.5.2 Zeit- und Betriebskosten Druckrohrleitungsbau DN 250

Bei der Variante Druckrohrleitungsbau DN 250 kann bei den grabenlosen Bauweisen auf eine Ampelregelung verzichtet werden, die bei der offenen Bauweise jedoch noch notwendig ist. Für An- und Umbindearbeiten von Anschlussleitungen werden nur wenige Baugruben benötigt. Der vorhandene Verkehr kann an den wenigen und punktuellen Start- bzw. Montage- und Zielgruben im Gegenverkehr vorbeigeführt werden.

Ermittlung der Zeit- u. Betriebskosten von Fahrzeugen und Verkehrsteilnehmern:
Druckleitung DN 250
Baustelle mit Umleitung einer Fahrtrichtung und punktuellen Fahrbahnverengunge

Annahmen - Voraussetzungen	Parameter	Einheit	Offene Bauweise	Grabenlose Bauweisen			
				Berstverfahren	Relining	Liner (CIPP)	HDD
Baustellen- (Leitungs)länge	Länge	m	260	260	260	260	260
Mehrstrecken bei offener und bei grabenloser Bauweise	Mehrstrecken	m	200	50	30	30	30
Rechnerische Fahrtstrecke	Gesamtlänge	m	460	310	290	290	290
mittlere v ohne Baustelle	v1	km/h	40	40	40	40	40
mittlere v im Baustellenbereich	v2	km/h	25	25	25	25	25
Fahrzeit ohne Baustelle	t1	h	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065	0,0065
Fahrzeit mit Baustelle	t2	h	0,0184	0,0124	0,0116	0,0116	0,0116
Diff. = Mehrfahrzeit wegen Baustelle	dt	h	0,0119	0,0059	0,0051	0,0051	0,0051
Kraftfahrzeuge pro Tag	Frequenz	Kfz/d	2500	5000	5000	5000	5000
Bauzeit in Monaten	Bauzeit	Monate	4,0	1,9	1,8	1,8	1,5
Bauzeit in Kalendertagen	30 d/Mt.	d	120	57	54	54	45
Zeitkostenansatz gem. Nr. 5.5.4	aus Straßenverkehr	€/Kfz*h	22,33	22,33	22,33	22,33	22,33
Betriebskostenansatz gem. Nr. 5.5.4	dto.	€/100km*Kfz	30,55	30,55	30,55	30,55	30,55
Zeitkosten	**dt*Kfz/d*d*€/(Kfz*h)**	**€**	**79.718**	**37.548**	**30.748**	**30.748**	**25.624**
Δgrabenlos zu offen	Einsparung	€		42.170	48.970	48.970	54.094
Δrelativ,grabenlos zu offen	Einsparung	%		53	61	61	68
Betriebskosten	**Km*Kfz/d*d*€/(100km*Kfz)**	**€**	**18.330**	**4.353**	**2.475**	**2.475**	**2.062**
Δgrabenlos zu offen	Einsparung	€		13.977	15.855	15.855	16.268
Δrelativ,grabenlos zu offen	Einsparung	%		76	87	87	89
∑ Zeit- und Betriebskosten		**€**	**98.048**	**41.901**	**33.223**	**33.223**	**27.686**
Relation ∑Zeit-Betriebskosten zu Investkoster		**%**	**59**	**61**	**48**	**42**	**39**
Zeitkosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	307	144	118	118	99
Betriebskosten, relativ	je m Leitungslänge	€/m	71	17	10	10	8
Investitionskosten	**absolut**	**€**	**167.199**	**68.864**	**69.678**	**79.435**	**70.844**
Investitionskosten relativ	**je m Leitungslänge**	**€/m**	**522**	**215**	**218**	**248**	**221**

Eingabefelder mit variable Werten

[1] CIPP = Cured In Place Pipe

* Bei Verkehrsführung einer Fahrspur durch den Baustellenbereixh und Umleitung einer Fahrtrichtung wird nicht mit Staubildung gerechnet, sondern nur mit einer Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit

Tab. 25: Druckrohrleitungsbau DN 250:
Ermittlung Zeit- und Betriebskosten (Ampelregelung für offene Bauweise bzw. punktuelle Fahrbahnverengungen für grabenlose Bauweisen

Beim Druckrohrleitungsbau DN 250 ist die Reduzierung der Zeit- und Betriebskosten (indirekte Kosten) für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge noch signifikanter gegenüber der offenen Bauweise und reicht von 40 bis über 90 %. Dieses Delta ergibt sich durch eine Reduzierung der Zeitkosten, die bei der offenen Bauweise durch die ampelgesteuerte Verkehrsführung bedingt sind, während für die grabenlosen Bauweisen lediglich ein minimal längerer Fahrweg bei der Vorbeifahrt (Wechsel der Fahrbahnen) an den einzelnen Baustellenpunkten (Start-, Montage-, Zielgruben) entsteht.

Prinzipiell lässt sich aus Tabelle 24 und 25 erkennen, dass die Zeit- und Betriebskosten für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge bei der Variante mit Teilumleitung (Tabelle 25. offene Bauweise,) und punktuellen Fahrbahnverengungen unter denjenigen einer Ampelregelung (Tab. 24) liegen. Im vorliegenden Berechnungsfall ergibt sich insgesamt eine Reduzierung von 40 -70%.

5.3.6 Gesamtkostenvergleich „Druckrohrleitungsbau“

Für den Gesamtkostenvergleich „Druckrohrleitungsbau“ werden zwei Varianten der Verkehrsführung betrachtet: die Variante „Ampelregelung“ für die Druckleitung DN 150 und die Variante „Ampelregelung bzw. Einengung der Verkehrsführung“ für die Druckleitung DN 250.

Die Gesamtkosten setzen sich aus Investitionskosten sowie aus den als indirekte Kosten in Tab. 24 und 25 ermittelten „Zeitkosten Verkehr“ und „Betriebskosten Verkehr“ zusammen. Basis sind die jeweiligen Ansätze aus Abb. 16 und Abb.17.

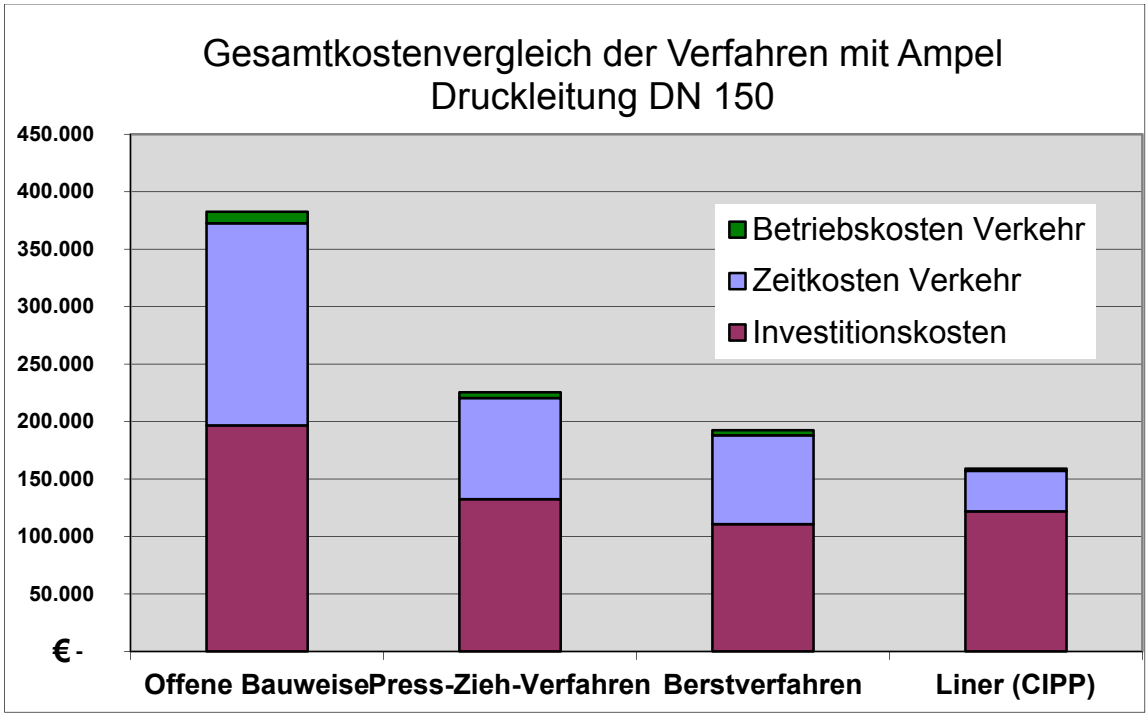


Abb. 23: Druckrohrleitungsbau DN 150:
Vergleich der Verfahren (Ampelregelung)

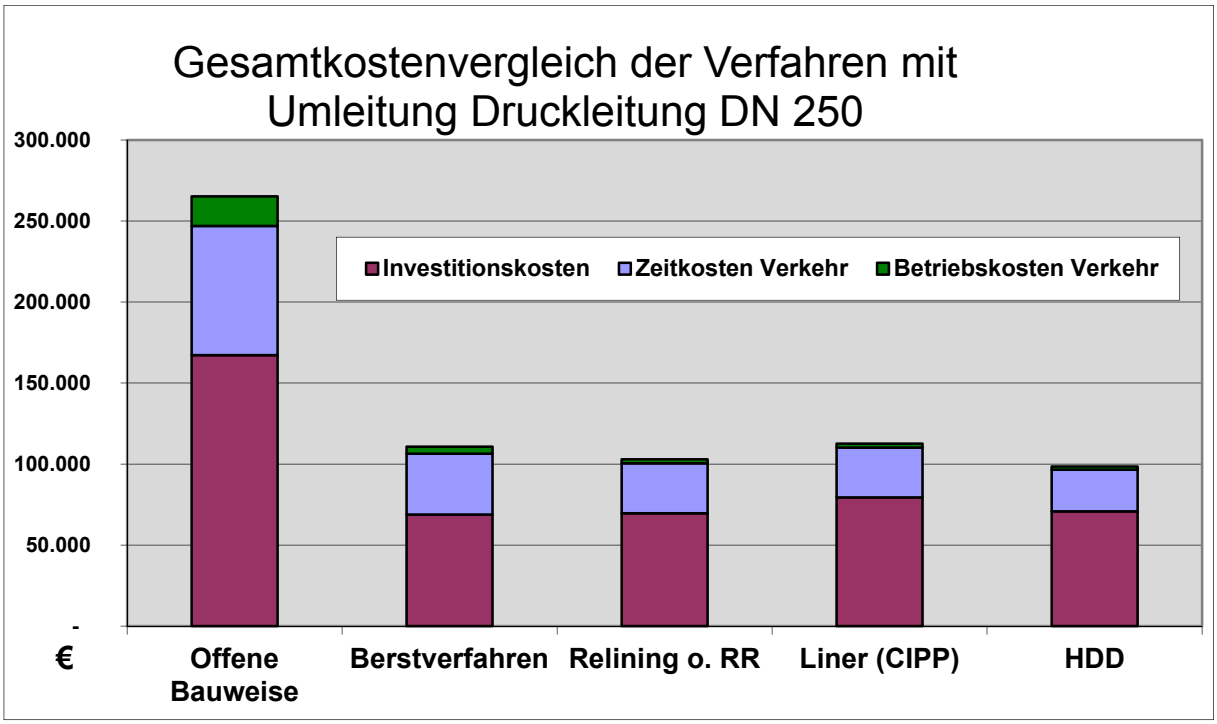


Abb. 24: Druckrohrleitungsbau DN 250:
Vergleich der Verfahren (Umleitung, mit punktuellen Einengungen)

Bereits optisch ist bei der Variante „Druckleitungsbau DN 150“ mit Ampelregelung zu erkennen, dass die indirekten Kosten infolge Zeit- und Betriebskosten für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge bei der offenen Bauweise unter den zu Grunde liegenden Annahmen fast den Investitionskosten entsprechen. Bei den grabenlosen Bauweisen liegt dieser Anteil zwischen 30 und maximal 70 % und geht beim „Druckleitungsbau DN 250“ sogar – je nach Verfahren auf 18 bis 56 % zurück.

Diese Zahlen bzw. deren Berechnung zeigt, dass es wichtig ist, soweit als möglich auf Ampelregelungen zu verzichten und damit Wartezeiten zu vermeiden. Ein langsamerer, aber kontinuierlicher Verkehrsfluss mit punktuellen Einengungen – wie die grabenlosen Bauweisen es im Druckrohrleitungsbau DN 250 ermöglichen – ist daher möglichst immer anzustreben.

Die Größenordnung der relativen Kostenanteile wie auch deren Absolutbeträge (siehe Abb.23 und 24) zeigen die volkswirtschaftliche Bedeutung der indirekten Kosten. Bei jeder Leitungsbaumaßnahme sollte geprüft werden, diese Belastungen für die Allgemeinheit durch die Wahl einer grabenlosen Bauweise zu reduzieren, die eine Minderbelastung bei Zeit- und/oder Betriebskosten für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge aufweisen.

6. Fazit

Mit dieser überarbeiteten GSTT-Information Nr. 11 “Vergleich offener und grabenloser Bauweisen – direkte und indirekte Kosten beim Leitungsbau“ wird dem Nutzer eine Entscheidungshilfe an die Hand gegeben, um verschiedene Varianten der grabenlosen Bauweisen gegenüber der offenen Bauweise besser und ganzheitlich vergleichen zu können.

Die gewählte Vorgehensweise basiert auf einer Musterbaustelle, für die mit konkreten Werten die Herstellkosten von Abwasserkanälen und Druckrohrleitungen in offener Bauweise und grabenlosen Bauweisen kalkuliert wurden. Bei den vergleichenden Betrachtungen der Verfahren wurden Kostenansätze sowie die Projektparameter herausgearbeitet, anhand derer sich auch indirekte Kosten wie Folgekosten der Verfahren sowie Zeit- und Betriebskosten für Verkehrsteilnehmer und Fahrzeuge ermitteln lassen.

Sicherlich werden – absolut wie relativ – für jede Leitungsbaumaßname unterschiedliche Investitionskosten, Bauzeiten, Gerätestunden etc. auftreten. Diese überarbeitete Informationsschrift ist ein „roter Faden“, um eine prinzipielle Herangehensweise aufzuzeigen.

Mit Daten und Werten können mit relativ wenig Aufwand angepasste Berechnungsschemata erstellt und damit eine Abschätzung bzw. Berechnung von indirekten Kosten vorgenommen werden– unabhängig davon, wie diese für eine Leitungsbaumaßnahme ermittelt wurden.

Es sollte allen Projektbeteiligten bewusst werden, dass mit jeder Leitungsbaumaßnahme nicht nur reine Herstellkosten, sondern auch indirekte Kosten verbunden sind. Diese Kosten entstehen im Baubereich und im Bauumfeld infolge von Emissionen, Ressourcenverbrauch, Beeinträchtigungen von Wirtschaft und Bevölkerung sowie durch Belastungen von Umwelt und Natur. Ein Teil der Kosten entsteht direkt während der Ausführung der Baumaßnahmen, ein weiterer Teil erst im Anschluss oder in den Folgejahren.

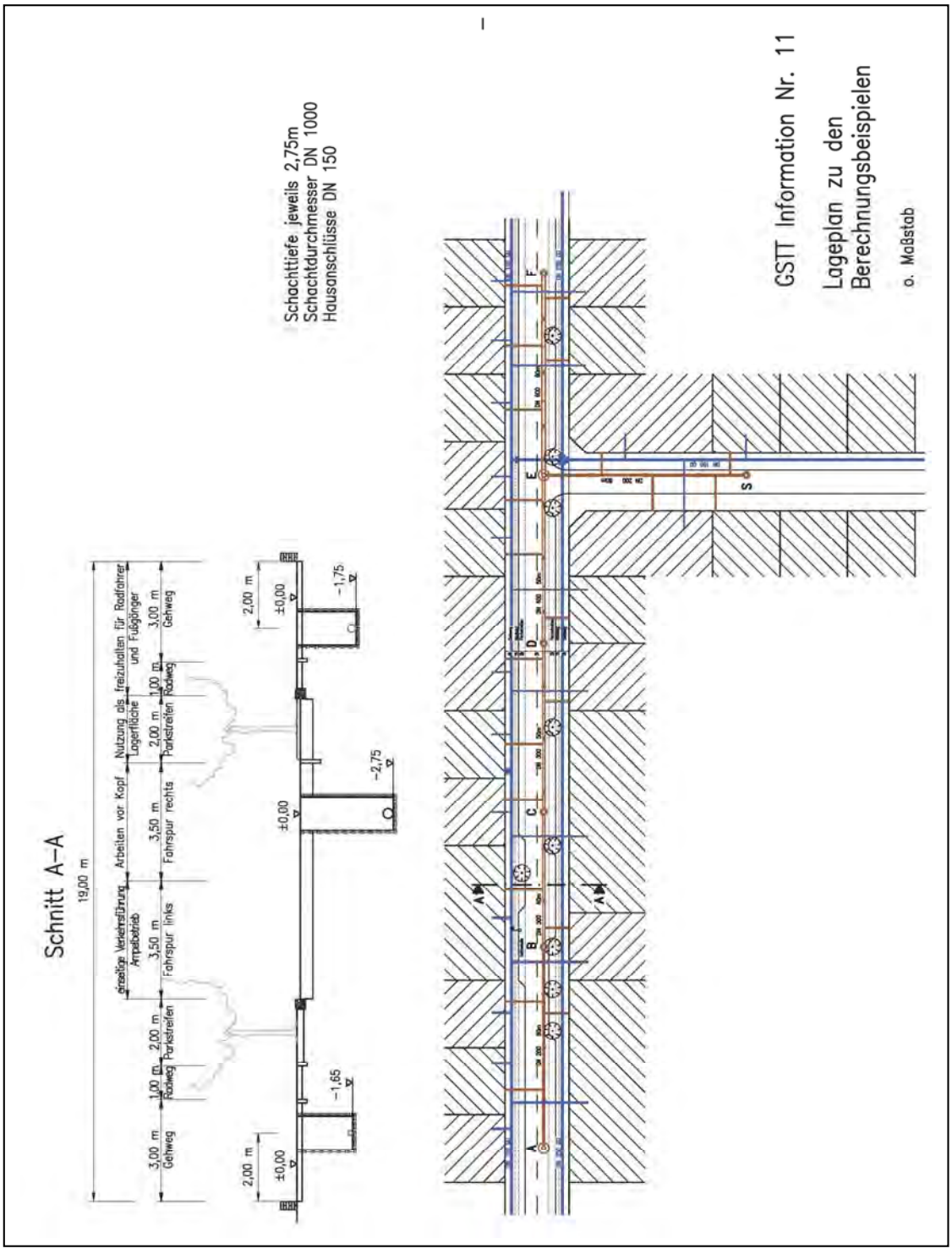
Für alle kostenwirksamen Maßnahmen sind aussagefähige Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchzuführen. Künftig sollten bei der Wertung von Angeboten indirekte Kosten in die Bewertung mit einbezogen werden. Die grabenlosen Bauweisen und Verfahren als wirtschaftliche und nachhaltige Alternativen im Leitungsbau sollten intensiver angewendet werden. Weiterentwicklungen werden die wirtschaftliche und technische Wettbewerbsfähigkeit der grabenlosen Bauweisen weiter steigern.

Die durch den Einsatz grabenloser bzw. grabenarmer Methoden frei werdenden Finanzmittel eröffnen die Möglichkeit, die notwendige Instandsetzung und den notwendigen Ausbau von Leitungsnetzen schneller voranzubringen. Der Investitionsstau kann reduziert und ein dem Stand der Technik entsprechender Zustand der Leitungsnetze schneller erreicht werden.

Eine wichtige Voraussetzung ist allerdings die Kenntnis der im Einzelfall einsetzbaren grabenlosen Bauweisen und Bauverfahren, deren Anwendung entsprechende Randbedingungen vorausgesetzt – bereits zu Kosteneinsparungen und zur Wirtschaftlichkeit des Bauvorhabens führen. Die zusätzliche und umfassende Bewertung von indirekten Kosten, vermiedenen Aufwendungen, ideellen Zugewinnen sowie reduzierten Emissionen unterstreichen die Vorteilhaftigkeit der grabenlosen Bauweisen.

7. Anhänge

7.1 Lageplan „Musterbaustelle“



7.2 Beschreibung „Musterbaustelle“

Für einen Kostenvergleich wird eine fiktive, aber durchaus in der Praxis häufig vorkommende Baustellensituation bei der Erneuerung von Freispiegelleitungen und Druckrohrleitungen dargestellt. Die Haltungen des Kanalnetzes und die Leitungsabschnitte des Druckrohrnetzes sind Teil eines Gesamtnetzes Die genaue Beschreibung der Musterbaustelle, mit der örtlichen Situation, den betroffenen Netzen, den Verfahren und Annahmen sind nachstehend aufgeführt.

7.2.1 Örtliche Situation

Die Baustelle befindet sich in einem innerstädtischen Bereich in einer Straße, mit Geschäften, Wohnungen mit Anliegerverkehr sowie Lieferverkehr für die Gewerbetreibenden. In der Straße verkehrt ein Linienbus mit einer Haltestelle im Baustellenbereich. Die Straße hat in jede Richtung eine Fahrspur. Das Parken erfolgt auf seitlich angeordneten Parkstreifen. Im Bereich der Parkstreifen befinden sich einige Bäume. Der Fahrbahnaufbau ist in bituminöser Bauweise ausgeführt. Der Gesamtaufbau beträgt 60 cm und ist neuwertig. Parkstreifen und Gehwege sind gepflastert mit einem Gesamtaufbau von 25 cm. Auch die Gehwege und Parkstreifen sind neuwertig.

Die zu erneuernden Haltungen und Leitungsabschnitte bestehen aus einem Schmutzwasserkanal, der mittig in einer Fahrbahnhälfte liegt, sowie zwei Druckrohrleitungen, die in den Gehwegen liegen. Der Kanal hat etwa alle 15 m Hausanschlüsse. Die Tiefenlage der Kanalsohle beträgt ca. 2,75 m unter GOK. Der Kanal hat ein Gefälle, das ungefähr dem Längsgefälle der Straße entspricht. Die Haltungslängen betragen 30 m bis 60 m mit Durchmessern der Rohre von DN 200 bis DN 600 aus Steinzeug. Für die Haltungen wurde nach ATV-M 127-2 der Altrohr-Zustand II ermittelt. Die Haltungen können renoviert werden.

Bei den Druckrohrleitungen handelt es sich um eine Versorgungsleitung DN 150 GG und eine Transportleitung DN 250 GG. Die Versorgungsleitung hat Hausanschlüsse, die die Grundstücke auf beiden Gehwegseiten versorgen. Es besteht eine Verbindung zwischen der Versorgungs- und der Transportleitung.

7.2.2 Gewählte Bauverfahren für die Sanierung des Kanales

Die Sanierung der Kanalhaltungen soll mit Erneuerungsverfahren in offener und grabenloser Bauweise und durch Renovierung durchgeführt werden. Der Neubau des Kanales in offener Bauweise bildet die Basisvariante für den Kostenvergleich.

Für die grabenlose Erneuerung werden das Berstverfahren und der Mikrotunnelbau gewählt. Bei letzterem wird in neuer Trasse gebohrt und das vorhandene Altrohr zugeschlämmt. Als Renovierungsverfahren werden der Einbau eines Liners und der Einzug von Kurzrohren untersucht.

Die Sanierung der Schächte und der Anschlussleitungen wird je nach Verfahren erforderlich. Hierbei wird ausschließlich eine technologische Sanierung betrachtet. In der offenen Bauweise, beim Mikrotunnelbau und teilweise beim Berstverfahren ist ein Neubau der Schächte erforderlich.

7.2.3 Gewählte Verfahren für die Rehabilitation der Druckleitungen

Die Druckrohrleitungen sind zur Rehabilitation vorgesehen. Der Erneuerung in offener Bauweise soll die Rehabilitation (Sanierung) in grabenloser Bauweise gegenüber gestellt werden. Es werden im Beispiel verschiedene grabenlose Technologien ausgewählt und betrachtet.

Der Grad der Detaillierung innerhalb der Verfahren muss in dieser Gegenüberstellung begrenzt werden.
Ausschlaggebend für eine Entscheidung zwischen offener und grabenloser Bauweise sind überwiegend die Baukosten für Erd-, Verbau- und Pflasterarbeiten.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Alle Hausanschlüsse werden neu eingebunden,
- alle Armaturen werden ausgetauscht,
- die Hausanschlussbaugruben und Armaturenbaugruben werden ggf. durch Erweiterung als Maschinen- und Einziehbaugruben verwendet.

7.2.4 Örtliche Rahmenbedingungen

Der Baugrund besteht aus Boden der Klassen 3 und 4. Er ist nicht kontaminiert und für den Wiedereinbau (Verfüllung), bis auf die Rohrleitungszone, verwendbar. Das Rohrauflager kann im gewachsenen Boden ausgebildet werden. Die Haltungen liegen nicht im Grund- oder Schichtenwasser. Es ist keine Bodenlagerung im Baustellenbereich möglich. Baumschutzmaßnahmen müssen einkalkuliert werden.

Bei der offenen Bauweise dürfen max. zwei Haltungen gleichzeitig offen sein. Eine Umleitung des Schmutzwassers mit einer Umleitung bzw. Überleitung im Pumpbetrieb wird in allen Varianten mit dem gleichem Aufwand berücksichtigt.

Für das Druckrohrnetz ist für die Zeit der Baumaßnahmen an der Versorgungsleitung eine Notversorgungsleitung zu legen. Alle Anschlüsse sind für die Bauzeit umzubinden. Die Arbeiten an der Transportleitung sollen in der versorgungsarmen Zeit erfolgen, so dass eine Notversorgung möglichst nicht erforderlich wird.

Die tägliche Bauzeit beträgt max. 10 Stunden. Es wird in der Zeit von 6:00 Uhr bis 20:00 Uhr gearbeitet.

Es wird ein vollautomatischer Ampelbetrieb für einspurigen Verkehr vorgesehen. Es ist eine Baustellensicherung und Beleuchtung gefordert. Bei offener Bauweise des Kanales werden zunächst keine Überfahrten in die Kosten eingerechnet. Eventuell werden Überfahrten noch als Zulage in den Kosten berücksichtigt. Wegen der örtlichen Situation ist eine Vorkopf-Bauweise erforderlich. Für die Druckleitungen werden wegen der Zugänge zu den Grundstücken Überfahrten vorgesehen.

Die Fahrbahn über einer Haltung oder Baugrube wird jeweils nach Fertigstellung eines Bereiches provisorisch geschlossen. Für die Gehwegwiederherstellung wird sofort eine endgültige Wiederherstellung vorgesehen. Die Anordnung einer Baustelleneinrichtung vor und hinter dem offenen Bereich und im Parkstreifen ist möglich.

Andere Leitungsträger, wie Gas, Fernwärme oder Kabel, sind nicht berücksichtigt. Deren Lage und Anforderungen wären insbesondere bei der offenen Bauweise noch zu berücksichtigen.

Die Gesamtlänge der Kanalhaltungen beträgt ca. 320 m.

Die Arbeiten an den Druckrohrleitungen werden jeweils auf ganzer Länge ausgeführt. Die Gesamtlänge der Versorgungsleitung beträgt ca. 330 m, die der Transportleitung ca. 260 m.

7.2.5 Erläuterungen zum Berechnungsweg

Für die Kostenermittlungen sind als Tabellenkalkulation Arbeitsblätter auf Excel-Basis erstellt worden. Da diese dem Leser dieser Informationsschrift nicht vorliegen, werden sie zum besseren Verständnis in diesem Anhang näher beschrieben. Für die Datenermittlung wichtige Details sind nachstehend aufgeführt.

7.2.5.1 Kanalbau

Die Inhalte der Excel-Arbeitsblätter „Kanalbau“ sind wie folgt gegliedert:

- Hinweis zum Arbeitsblatt
- Projektskizze
- Projekt Leistungsübersicht
- Massenermittlung
- Verrechnungssätze
- Offene Bauweise Kanal
- Mikrotunnelbau
- Berstverfahren
- Linerverfahren
- Einzelrohr-Lining
- Zusammenfassung Kanalbau

7.2.5.2 Druckrohrleitungsbau

Die Inhalte der Excel-Arbeitsblätter „Druckrohrleitungsbau“ sind wie folgt gegliedert:

- Hinweis zum Arbeitsblatt
- Projektskizze
- Projekt Leistungsübersicht
- Massenermittlung
- Verrechnungssätze
- Offene Bauweise Druckleitung
- Grabenlose Renovierung
- Grabenlose Erneuerung
- Grabenlose Neuverlegung
- Zusammenfassung Druckrohrleitungsbau

7.2.6 Hinweise zur Kostenermittlung „Musterbaustelle“

Die Leistungsumfänge und die Bauzeiten sind in einer Tabellenkalkulation (Excel) ermittelt worden. Für die Datenermittlung wichtige Details sind in Anlage 7 ff dargestellt und mit den für die „Musterbaustelle“ ausgeführten Massenermittlungen und den jeweiligen Verrechnungssätzen in die Tabellenblätter übernommen worden.

Bei der Kostenermittlung wird auf Werte zurückgegriffen, die lokalen Verrechnungssätzen entsprechen. Da diese örtlich stark variieren können, werden vom Nutzer angestellte eigene Berechnungen von den hier ermittelten Werten entsprechend abweichen.

Es sollte beachtet werden, dass mit den Berechnungen für die Musterbaustelle eine überschlägige Ermittlung und keine detaillierte Kalkulation erfolgt. Die Ergebnisse sind immer mit den Randbedingungen und Vorgaben der Musterbaustelle in Bezug zu setzen.

Für die Projektvarianten werden in den einzelnen Tabellenblättern Kosten ermittelt. Dabei erfolgt eine Leistungsaufteilung in folgende Titel:

1. Baustelleneinrichtung und vorbereitende Arbeiten

Kanal und Druckrohr

Baustelleneinrichtung
Verkehrssicherung, Beschilderung, Beleuchtung u.a.
Baumpflege
Bushaltestelle verlegen
Überleitung einrichten und betreiben
Brücken als Zufahrten bzw. für Fußgänger

2. Fahrbahnaufbruch- und -wiederherstellung

Kanal und Druckrohr

Fahrbahnaufbruch
Fahrbahnprovisorium
Fahrbahnwiederherstellung

3. Erd-, Abbruch- und Verbauarbeiten

Kanal	**Druckrohr**
Haltung AB, 60 m DN 200	
Haltung BC, 40 m DN 300	
Haltung CD, 50 m DN 300	Baugraben Druckrohrleitungen
Haltung DE, 50 m DN 400	für DN 150 und DN 250 nach Planlängen
Haltung EF, 60 m DN 600	
Haltung ES, 60 m DN 200	

4. Wasserhaltungsarbeiten
Keine

5. Kanalbauarbeiten, Schächte, Hausanschlüsse bzw. Druckrohrverlegung mit Armaturen, Einbindungen und Hausanschlüssen

Kanal	**Druckrohr**
Kanalbauarbeiten , offene Bauweise	Druckrohrleitungen, offene Bauweise
Mikrotunnelbau	Grabenlose Bauweise
Berstverfahren	diverse Verfahren
Liner	
Einzelrohr-Lining	
Schächte	
Hausanschlüsse	Hausanschlüsse

6. Sonstige Arbeiten

Kanal	**Druckrohr**
Kanal spülen	Druckleitung spülen und desinfizieren
Dichtheitsprüfung	
TV-Befahrung	
Verdämmen	
Nachweise, Prüfungen	Nachweise, Prüfungen

Diese Aufteilung in Einzelleistungen wird projektabhängig in den Tabellenblättern angepasst, d.h. bei der Kanalsanierung mit dem Liner werden z.B. im vorgelegten Projektbeispiel keine Erdarbeiten erforderlich. Falls in einem Projekt parallel zur Sanierung mit dem Liner z.B. auch eine Teilhaltung offen saniert werden muss, können die entsprechenden Positionen aktiviert bzw. von einer Tabelle in die andere kopiert werden. Das erfordert nachfolgend jedoch eine Kontrolle der Detailergebnisse, da ggf. Bezüge ergänzt werden müssen.

Das Projektdatenblatt ist entsprechend einem Leistungsverzeichnis erstellt worden. Die Leistung ist stichwortartig oder mit einem Kurztext beschrieben. Leistungen, die in allen Varianten ähnlich sind, sind meistens pauschal mit einer Summe erfasst worden. Um Basisdaten zu erhalten, wurde jeweils ein Kalkulationsansatz dargestellt, der z.B. die Ermittlung von Gerätestunden und Dieselverbrauch ermöglicht.

Leistungen, die speziell die einzelnen Projektvarianten betreffen, sind etwas detaillierter erfasst. Hier wurden Lohnstunden, Geräteeinsatz und Leistungsansatz angegeben und auch das Material (Stoffe) berücksichtigt sowie wiederum der Dieselverbrauch ermittelt. Daraus ergeben sich entsprechend summierbare Werte.

Die Haltungen des Projektes wurden einzeln erfasst, um ggf. auch Sanierungsvarianten in einem Beispiel unterzubringen bzw. durch Kopie eines Titels das Projekttabellenblatt zu erweitern.

Die ermittelten Herstellkosten werden mit einem Umlagewert beaufschlagt und nachfolgend als Einheitspreis ausgewiesen.

Die Titel werden nach unten summiert und auch in die Zusammenfassung übergeben.

Die so ermittelten Kosten können abschließend für die weiteren Vergleichsbetrachtungen verwendet werden.

7.3 Benutzerhinweise

Diese Ermittlungen sind als Arbeitshilfe zu verstehen, um die Kosten verschiedener Ausführungsvarianten miteinander vergleichen zu können. Es ist keine Kalkulation, und es ist keine Erstellung eines Leistungsverzeichnisses mit den Basisblättern möglich. Die Inhalte erheben keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit und sind vom Nutzer für seine Zwecke abzustellen und auf Plausibilität zu prüfen.

Haftungsansprüche aus diesen Texten, Tabellen und Grafiken jeglicher Art gegenüber der GSTT bzw. den Verfassern dieser Informationsschrift sind ausgeschlossen.

Weiterhin ist kein Rechtsanspruch hinsichtlich Vollständigkeit und Richtigkeit auf die GSTT bzw. den Verfassern abzuleiten.

8. Quellenverzeichnis

[1] GSTT-Information Nr. 11 (2002). *Kostenvergleich offener und geschlossener Bauweisen unter Berücksichtigung der direkten und indirekten Kosten beim Leitungsbau und der Leitungssanierung.* Hamburg: GSTT (Dt. Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.)

[2] BAYER, H.-J. (2007). *Ökonomische und soziale Kosten von offenen und grabenlosen Sanierungs- und Ersatzbaumaßnahmen.* In: Nürnberger Kolloquien zur Kanalsanierung 2007, Fachhochschule Georg-Simon-Ohm, Nürnberg
und TIEFBAU, Heft 8 (2007), Zw.St. München, Erich-Schmidt-Verlag, S. 483–488

[3] DIN 1998 (05/1978). *Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen; Richtlinien für die Planung*

[4] STEIN, D. (2003). *Grabenloser Leitungsbau*. 1. Auflage, Ernst und Sohn Verlag

[5] EUB-Infoblatt (01/2009). *Berechnung der indirekten Kosten, Kostenmodelle des 7. Forschungsrahmenprogramms - Berechnung der indirekten Kosten.* EU-Büro des BMBF für das Forschungsrahmenprogramm

[6] KIESSELBACH, G. (1998-99). *Projektstudie über die Verfüllung von Künetten*. Im Auftrag vom Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 22 – Umweltschutz, i. Zusammenarbeit mit ÖkoKaufWien – Arbeitsgruppe Tiefbau

[7] BAYER, H.-J. (2/2010). *Straßenoberflächen nach grabenlosen Verlegearbeiten*. In: bi Umweltbau, 2010, Seite 26ff

[8] HENNECKE, Y. nach Entwurf von H.-J. Bayer, 2010

[9] FRAKTION BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. 13.01.2010. *Gesetzentwurf zum Gesetz zur Einführung einer Abgabe auf die Entnahme von Kiesen und Sanden in Nordrhein-Westfalen (Kieseuro)*. Drucksache 14/10521, Landtag Nordrhein-Westfalen

[10] GERINGER, B., TOBLER, W.K. (n.d.). *auto-umwelt.at, Kapitel 7 „Fahrstil“.*[Online]. Verfügbar unter: www.auto-umwelt.at [19.12.2011]. Institut für Fahrzeugantriebe und Automobiltechnik, Technische Universität Wien, Hrsg. Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK

[11] SCHÖLLER, G. & KITZBERGER, J. (2011). *Emissionsbetrachtungen im grabenlosen Leitungsbau - Einsparungsmöglichkeiten gegenüber der offenen Bauweise.* In: Wiener Mitteilungen – Band 223, S. I 1-19. Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur, Wien

[12] SCHÖLLER, G. & KITZBERGER, J. (2011). *Emissionsbetrachtungen im grabenlosen Leitungsbau - Einsparungsmöglichkeiten gegenüber der offenen Bauweise.* Wiener Mitteilungen – Band 223, S. I 4 ff. Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur, Wien

[13] SCHÖLLER, G. & KITZBERGER, J. (2010). *Emissionsbetrachtungen im grabenlosen Leitungsbau - Einsparungsmöglichkeiten gegenüber der offenen Bauweise*. Vortrag IFAT 2010, Büro Dr. Lengyel ZT GmbH, Wien – Villach – Saalfelden

[14] UMWELTBUNDESAMT (April 2007). *Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen von öffentlichen Investitionen*. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes

[15] GERLINGER, K. (2004). *Muster globaler anthropogener CO2-Emissionen: Sozio-ökonomische Determinanten und ihre Wirkung.* Dissertation Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät, Universität Potsdam

[16] SCHÖLLER, G. & KITZBERGER, J. (2011). *Emissionsbetrachtungen im grabenlosen Leitungsbau - Einsparungsmöglichkeiten gegenüber der offenen Bauweise.* Wiener Mitteilungen – Band 223, S. I 3 ff. Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur, Wien

[17] SCHÖLLER, G. & KITZBERGER, J. (2011). *Emissionsbetrachtungen im grabenlosen Leitungsbau - Einsparungsmöglichkeiten gegenüber der offenen Bauweise.* Wiener Mitteilungen – Band 223, S. I 5. Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur, Wien

[18] FEINSTAUB (2011) [online].
Verfügbar unter: http://de.wikipedia.org/wiki/Feinstaub [25.10.2011]

[19] SCHÖLLER, G. & KITZBERGER, J. (2011). *Emissionsbetrachtungen im grabenlosen Leitungsbau - Einsparungsmöglichkeiten gegenüber der offenen Bauweise.* Wiener Mitteilungen – Band 223, S. I 8 ff. Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Universität für Bodenkultur, Wien

[20] WHO-LUFTGÜTELEITLINIEN (n.d.) [online]. Verfügbar unter: http://www.euro.who.int/air/activities/20050222_2?language=German [22.02.2005]

[21] BRAMANN, H. (2010). *Feinstaubemissionen von Baumaschinen - Hintergrundpapier des Hauptverbandes der deutschen Bauindustrie*. In: BauPortal, 122, 12/2010, S. 710-712

[22] *6.Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm).* 26.08.1998

[23] *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschemissionen*. 19.08.1970

[24] AUFFARTH, U. & CLASSEN, M. (1996). *Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen offener und geschlossener Bauweise für Neubau bzw. Erneuerung von Abwasserkanälen*. Diplomarbeit, Abschnitt 4.2.1.2

[25] SCHALLABSTRAHLUNG (2011) [online]. Verfügbar unter: http://computational-acoustics.de/html/schallabstrahlung.html [15.11.2011]

[26] *Baulärm-Richtlinie, Richtlinie über bauliche und betriebliche Massnahmen zur Begrenzung des Baulärms gemäss Artikel 6 der Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, Schweiz, März 2006

[27] ÖKOLOGIE (2011) [online]. Verfügbar unter: http://de.wikipedia.org/wiki/Ökologie [15.11.2011]

[28] GSTT-Info Nr. 8 (1999). *Grabenloses Bauen, Baum- und Bodenschutz*. Hamburg: GSTT (Dt. Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.)

[29] GSTT-Info Nr. 24 (2010). *Offensive für alternative Bauverfahren im Leitungsbau, grabenlos – kostengünstig – sicher*. Berlin: GSTT (Dt. Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.)

[30] KÖHLER, R. (1997). *Tiefbauarbeiten für Rohrleitungen.* 6. Aufl., Köln: Rudolf Müller-Verlag, 208 S.

[31] GANGL, G. (Hg.: Kainz, H., Technische Universität Graz) (2008). *Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen, Abstract: Staukosten infolge Baumaßnahmen an Versorgungsnetzen.* In: Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 53, Technische Universität Graz

[32] SINN, H.-W. (28.02.2003). In: Süddeutsche Zeitung, S. 2

[33] *DIN EN 15885 – Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung und Reparatur von Abwasserkanälen und -leitungen (deutsche Fassung, 2010),* Ausgabe 03-2011

[34] ROSCHER, H. et al. (2009). *Rehabilitation von Wasserversorgungsnetzen - Strategien-Verfahren-Fallbeispiele*. 2. Aufl., Berlin und Essen: HUSS-Medien und Vulkan-Verlag, 421 S.

[35] SCHREYER, C., MAIBACH, M., SUTTER, D., DOLL, C., BICKEL, P. *Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland – Aufdatierung 2005 (Schlussbericht)* (Hg.: Infras Zürich) (3/2007)

[36] UMWELTBUNDESAMT (April 2007). *Ökonomische Bewertung von Umweltschäden (Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten),* Hg.: Umweltbundesamt

[37] BERLINER WASSERBETRIEBE AöR (Bereich Bau Kanäle, 2010)

[38] MAIBACH, M. et al. (Hg.: Umweltbundesamt Dessau) (2007). *Praktische Anwendung der Methodenkonvention: Möglichkeiten der Berücksichtigung externer Umweltkosten bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen von öffentlichen Investitionen. UBAFB-Nr 001010, Förderkennzeichen 203 14 127.* Selbstverlag, 102 S.

[39] BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU), SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT (2009), Bern

[40] FEINSTAUBBELASTUNG (2011) [online]. Verfügbar unter: www.sz-online.de [10.06.2011]

[41] GIERING, K. (Hg.: Umweltbundesamt) (2010). *Lärmwirkungen, Dosis-Wirkungsrelationen (Sondervorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit).* FH Trier

[42] SICHERER TIEFBAU (Profi-Partner Club) & INITIATIVKREIS SICHERHEITSPARTNETSCHAFT TIEFBAU E.V. (Hg.: Mainova AG) (2011). *aber sicher!* In: Magazin Nr.52, Frankfurt am Main

[43] HEFFNER, M. (2.12.2011). *Nur 80 Bäume sind leicht verpflanzbar.* In: Stuttgarter Zeitung [online].
Verfügbar unter: http://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.stuttgart-21-nur-80-baeume-sind-leicht-verpflanzbar.57d2de2d-a12d-4500-a296-6565dcfcadd7.html [20.12.2011]

[44] IHK SAARLAND (1/2007). *Rechte der Anlieger bei Maßnahmen des Straßenbaus (Allgemeine Rechtsfragen- R5)*. Saarbrücken

[45] IHK WIESBADEN (n.d.). *Anliegerrechte bei Straßenbaumaßnahmen.*[Online]. Verfügbar unter: http://www.ihk-wiesbaden.de/index.php?id=2806 [14.11.2011]

[46] GRUNWALD,G. (1997). *Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Kanalsanierung. Bericht 97/3 – April 1997*. Gesellschaft für Erfassung der Kanalisationstechnik mbH, Gelsenkirchen

[47] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (1998). *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen*. Ausgearbeitet vom LAWA-Unterausschuss, Wirtschaftlichkeitsfragen in der Wasserwirtschaft / KVR-Leitlinien 2005

[48] Hg.: FGSV (1997). *Entwurf: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) – Aktualisierung der RAS-W 1986*

[49] *Supplement zum Amtsblatt der Europäischen Union,* 2011/S 163-269190, F-Le Mans : Travaux relatifs aux conduites d'alimentation en eau, Verfügbar unter : http://ted.europa.eu/TED [20.12.2011]

THEWES, M., KAMARIANAKIS, S., BIELECKI, R. (2011). *Eine softwaregestützte Analyse für ganzheitliche Bewertungen von offenen und geschlossenen Bauweisen unterirdischer Infrastrukturprojekte.* In: GSTT-Information Nr. 25. Berlin: GSTT (Dt. Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.)

9. Anschriften beteiligte Autoren GSTT Information Nr.11, 4.Auflage:

Mit * gekennzeichnete Autoren waren zusätzlich an der Ausarbeitung „Druckrohrleitungsbau", Oktober 2014 zur 4. Auflage der GSTT Information Nr.11, beteiligt

Dr. Hans-Joachim Bayer *
TRACTO-TECHNIK GmbH & Co. KG
Paul-Schmidt-Str. 2
57368 Lennestadt
Tel. : +49 7025 843704
Fax.: +49 7025 843705
Mobile : +49 170 9670421
E-Mail: hj-bayer@tracto-technik.de

Jörg Brunecker
Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung
Hauptstraße 2
55483 Schlierschied
Tel: +49 6765 9 11 55
Mobil: +49 170 1794 796
E-Mail: joerg.brunecker@swietelsky-faber.de

Ulrich Edeling *
Roedernallee 72b
13437 Berlin
Tel.: +49 30 41783339
Mobil : +49 160 98725046
E-Mail: ulrich.edeling@t-online.de

Jens Goll *
RELINEEUROPE Liner
GmbH + Co. KG
Große Ahlmühle 31
76865 Rohrbach
Tel.: +49 6349 93934 225
Fax: +49 6349 93934 101
Mobil: +49 172 7097294
E-Mail: jens.goll@relineeurope.com

Jörg Konert
egeplast international GmbH
Robert-Bosch-Str. 7
48268 Greven
Tel. +49 2575 9710 158
Fax. +49 2575 9710 33 158
Mobil. +49 176 14971 158
E-Mail. joerg.Konert@egeplast.de

Hans-Rudi Petermann
KRT Kanal-Service AG
Industriestraße 47
6300 Zug, Schweiz
Tel.: +41 41 462 7103
Mobil: +41 79 2923050
E-Mail : pe@krtag.ch
Fax: +41 41 462 7145

Rolf Richter *
Fliederweg 4
17454 Zinnowitz
Tel : 038377 37877
Mobil: 0152 55771663
E-Mail : post@margrit-rolf-richter.de

Leopold Scheuble *
Infrastructure Consulting
Magdeburger Ring 32 d
6344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel : +49 721 8306047
Mobil : +49 170 4755294
E-Mail :leopold.scheuble@t-online.de

Peter Steinhauser *
Kondrauer Quellenweg 4
95652 Waldsassen
Tel : +49 9632 2602
Mobil : +49 171 5516500
E-Mail : p.steinhauser@gmx.de

GERMAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY E.V.

Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.

Messedamm 22, D – 14055 Berlin
Tel.: +49 (0)30 3038-2143, Fax: 49 (0)30 3038-2079
E-Mail: info@gstt.de, Internet: http://www.gstt.de