



LEITFADEN ZUR AUSWAHL VON ROHRWERKSTOFFEN FÜR KOMMUNALE ENTWÄSSERUNGSSYSTEME

TEILEXPERTISE

„Wirtschaftlichkeit“

Im Auftrag der Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V. (FBS), Bonn

Bearbeitung: Prof. Dr.-Ing. D. Stein
Dipl.-Ing. A. Brauer

(Auszugsweise) Veröffentlichung nur mit Genehmigung
der Prof Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH

Bochum, 03. Juni 2005

1 Einführung in das Thema

Der Bau von Abwasserkanälen und -leitungen erfordert erhebliche Investitionen. So beträgt sein Anteil an den Gesamtkosten der Abwasserentsorgung etwa 2/3 [1].

Die Kosten von Kanalbaumaßnahmen sind örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen. Bei der Ermittlung der wirtschaftlichsten Alternative ist deshalb immer eine auf die konkrete Situation bezogene Kostenermittlung erforderlich [2, 3].

Besonderen Einfluss haben die aktuelle konjunkturelle Situation und damit verbunden die Auslastung der Firmen und das jeweilige Preisniveau [4]. Angebot und Nachfrage in Form von Vergabevolumina durch öffentliche Auftraggeber sowie Anzahl konkurrierender Auftragnehmer schlagen sich unmittelbar auf die Baupreise nieder.

Zur vergleichenden Betrachtung verschiedener Rohrleitungssysteme (Rohr, Rohrverbindung, zugehörige Bauwerke) müssen generell die jeweiligen Jahreskosten herangezogen werden. Diese setzen sich aus folgenden Kostengruppen zusammen [5]:

- **Kapitalkosten** (Kalkulatorische Abschreibung der Investitionskosten und Verzinsung des Kapitals)
- **Betriebskosten** (für Inspektion, Reinigung, Sanierung etc.).

Die Kapitalkosten bzw. Investitionskosten setzen sich, im Gegensatz zu den hier nicht weiter behandelten Betriebskosten, für die offene und geschlossene Bauweise aus unterschiedlichen Einflussfaktoren zusammen, da die Bauweise hier maßgeblich die einzelnen Kostengruppen bestimmt.

Im Folgenden wird die Zusammensetzung der Investitionskosten (Baukosten) für die offene und geschlossene Bauweise ausführlicher dargestellt.

1.1 Offene Bauweise

Im Rahmen der Ermittlung der Baukosten bei der Verlegung von Abwasserkanälen in offener Bauweise sind im Einzelnen nachfolgende Teilprozesse zu berücksichtigen [3]:

- Freimachen der Grabentrasse oder Aufbrechen der Straßenbefestigung
- Herstellen des Leitungsgrabens einschließlich Erdaushub und Sicherung der Grabenwände (Verbau)
- Vorbereiten der Grabensohle und Verlegen der Leitung
- Verfüllen und Verdichten des Leitungsgrabens einschließlich Rückbau eines evtl. vorhandenen Verbaus
- Wiederherstellen der Straßenbefestigung.

Die Baukosten hängen dabei im Wesentlichen von folgenden Parametern ab [6]:

- Rohre (Rohrwerkstoff und -querschnitt)
- Aufbruch und Wiederherstellung der ggf. befestigten Geländeoberfläche
- Graben- und Verbauart
- Bodenklassenverhältnisse, Erdaushub, Bodenabfuhr und -deponierung
- Tiefenlage bzw. Verlegetiefe
- Wasserhaltung, Drainage
- Anzahl der Hausanschlüsse/Abzweige
- Abstand der Einsteigschächte
- Sichern von Gebäuden, Bauteilen, Ver- und Entsorgungsleitungen

Die vorgenannten Punkte haben dabei jeweils unterschiedlichen Einfluss auf die Kanalbaukosten. Für mittlere Verhältnisse (DN/ID 300 bis DN/ ID 500, Tiefe = 3,50 m) ergibt sich folgende exemplarische Baukostenverteilung (Bild 1):

- Aushub und Verbau rd. 49 %
- Rohrlieferung, -verlegung und -sicherung rd. 11 %
- Straßenaufbruch und -wiederherstellung rd. 20 %

- Wasserhaltung rd. 9%
- Herstellung der Schächte rd. 11 %.

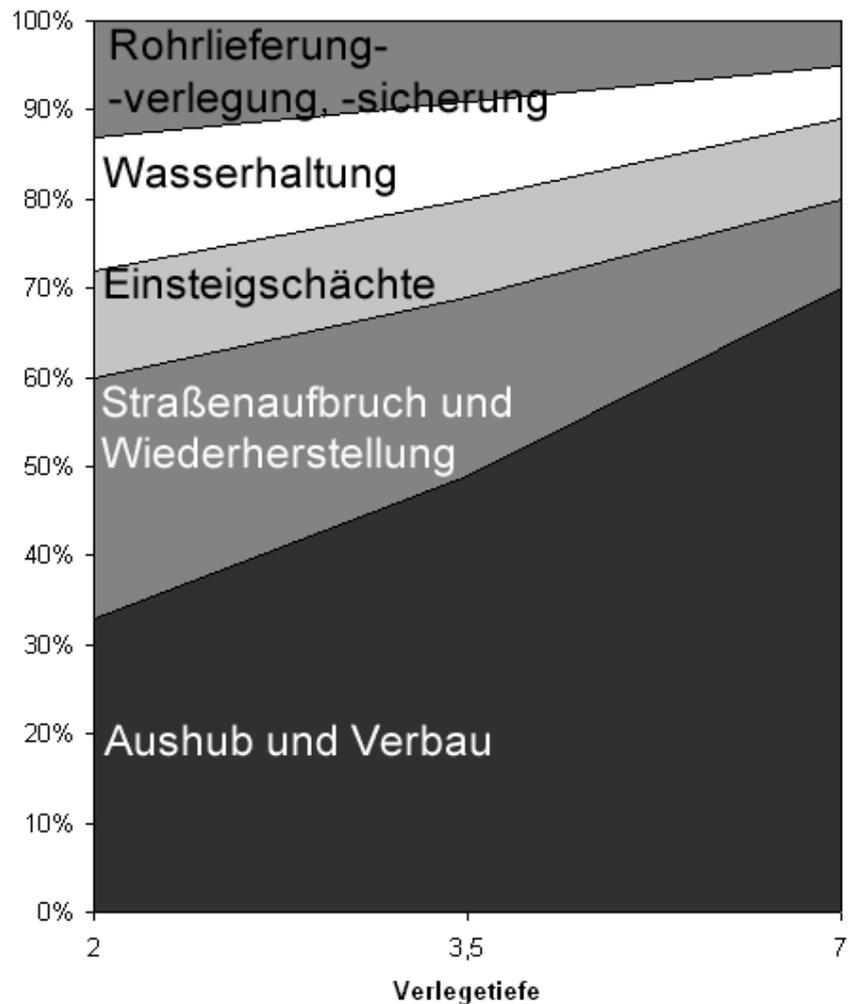


Bild 1 Durchschnittlicher Anteil der einzelnen Kostengruppe bei der Verlegung von Abwasserkanälen DN/ID 300 bis DN/ID 500 einschließlich der Einsteigschächte in offener Bauweise nach [7]

Bis auf die Kosten für die Rohre handelt es sich um nicht beeinflussbare Parameter. Sie unterliegen starken örtlichen Schwankungen. Dies führt dazu, dass die Baukosten der konventionellen offenen Bauweise grundsätzlich in starker Abhängigkeit zu den baustellenspezifischen Randbedingungen (insbesondere Verlegetiefe) stehen.

Ca. 70 bis 80 % der Baukosten der offenen Bauweise entfallen auf die Gewerke Straßenbauarbeiten, Bodenaushub/Verbau und Wasserhaltung (Bild 2), deren

Leistungserbringung im Rahmen des eigentlichen Kanalbaus nur als Vorleistungen anzusehen sind [8].

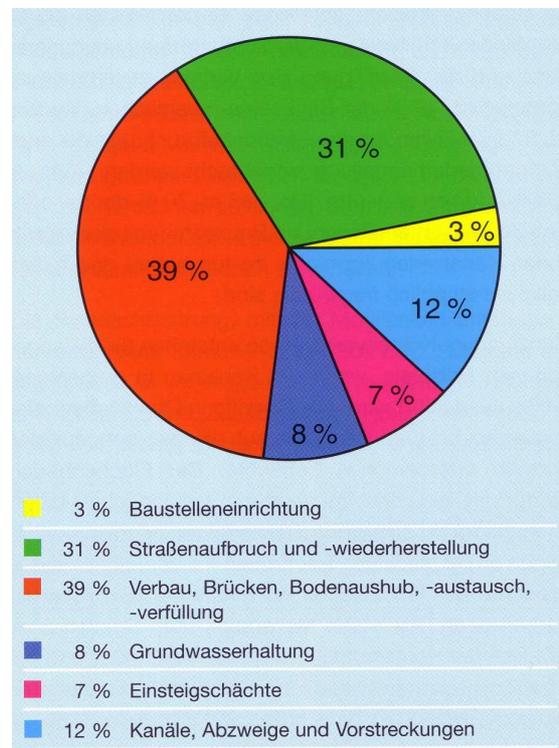


Bild 2 Kostenverteilung beim Bau von Schmutzwasserkanälen DN/ID 200 und DN/ID 250 in offener Bauweise in Berlin [9]

Der Kostenanteil für die Rohre, Formstücke etc. einschließlich ihrer Verlegung sowie anderer hiermit verbundener Arbeiten beträgt beim Kanalbau in offener Bauweise, wie die o.g. Beispiele (Bild 1 bzw. Bild 2) sowie Praxiserfahrungen zeigen, 12 bis 15 %. Zieht man von dieser Zahl den Anteil für die Rohrverlegung, der in der Regel auf Grund der erforderlichen manuellen Tätigkeiten im Rohrgraben sehr lohnintensiv ist, ab, so kann der eigentliche Kostenanteil für das Rohr im hier betrachteten Nennweitenbereich $150 \leq \text{DN/ID} \leq 800$ werkstoffunabhängig auf ca. 5 % geschätzt werden [10], d.h. er ist von untergeordneter Bedeutung.

1.2 Geschlossene Bauweise

Die Kosten für die Erstellung von Leitungen in geschlossener Bauweise hängen von den im Abschnitt erwähnten Parametern ab, ergänzt durch spezifische Eigenschaften des Vortriebsverfahrens (Pilotrohr-Vortrieb und insbesondere Mikrotunnelbau). Dazu zählen die in geringem Maße beeinflussbaren Größen, wie

Material- und Gerätekosten.

Die Baukosten bei der geschlossenen Bauweise werden im Wesentlichen von vier Kostenanteilen beeinflusst:

- Start-, Durchfahr- und Zielschächte
- Vortriebsrohre
- Vortrieb
- sonstige Kosten.

Bei den Mikrotunnelbauverfahren dominiert - weitgehend unabhängig von Nennweite, Tiefenlage und Oberflächenbefestigung - immer der eigentliche Vortriebsvorgang einschließlich der Vortriebsrohre mit ca. 60 bis 70 % Kostenanteil (Bild 3). Danach folgen die Start- und Zielschächte mit maximal 25 % der Gesamtkosten. Durch innovative Lösungen für die Konstruktion der Start- und Zielschächte, aber auch durch Vergrößerung der Vortriebslängen und die Ausnutzung der größten betrieblich vertretbaren Haltungslängen können hier Einsparungsmöglichkeiten aktiviert werden. Nahezu bedeutungslos sind die Kosten für den Aufbruch und die Wiederherstellung der Oberflächen [9].

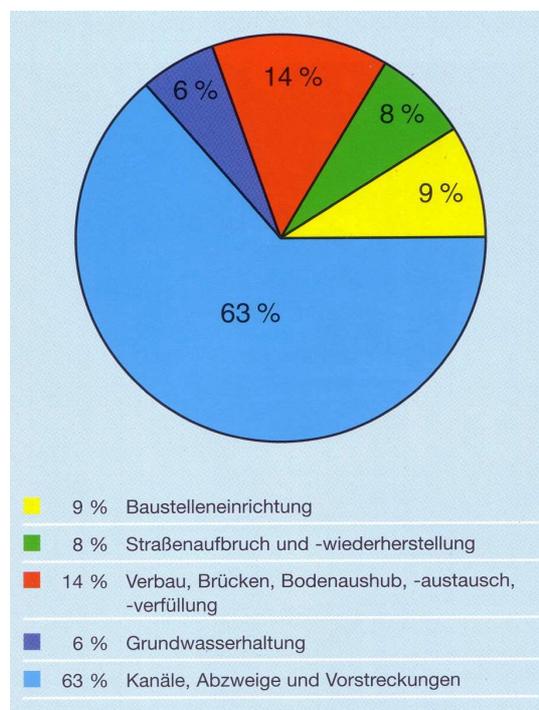


Bild 3 Kostenanteile beim Bau von Schmutzwasserkanälen DN/ID 200 und DN/D 250 in geschlossener Bauweise in Berlin [9]

Der Kostenanteil für die Vortriebsrohre einschließlich ihrer Verlegung (Vortrieb) sowie anderer hiermit verbundener Arbeiten beträgt beim Kanalbau in geschlossener Bauweise, wie die o.g. Beispiele (Bild 1 bzw. Bild 2) sowie Praxiserfahrungen zeigen, bis zu 70 %. Zieht man von dieser Zahl den Anteil für die eigentliche Vortriebstechnik, die in der Regel, insbesondere beim Mikrotunnelbau auf Grund des Mechanisierungs- und Automatisierungsgrades sehr kostenintensiv ist, ab, so kann der eigentliche Kostenanteil für das Vortriebsrohr im hier betrachteten Nennweitenbereich $150 \leq \text{DN/ID} \leq 800$ werkstoffunabhängig auf unter 10 % geschätzt werden und ist somit ebenfalls von relativ geringer Bedeutung [10].

1.3 Vergleich offene/geschlossene Bauweise

Aus der Tatsache, dass Vortriebe (Bild 4) mit punktförmigen gegenüber den linienförmigen Baustellen bei der offenen Bauweise auskommen, leiten sich zahlreichen Vorzüge der geschlossenen Bauweise mit zum Teil erheblichen wirtschaftlichen und umweltrelevanten Konsequenzen ab [11].

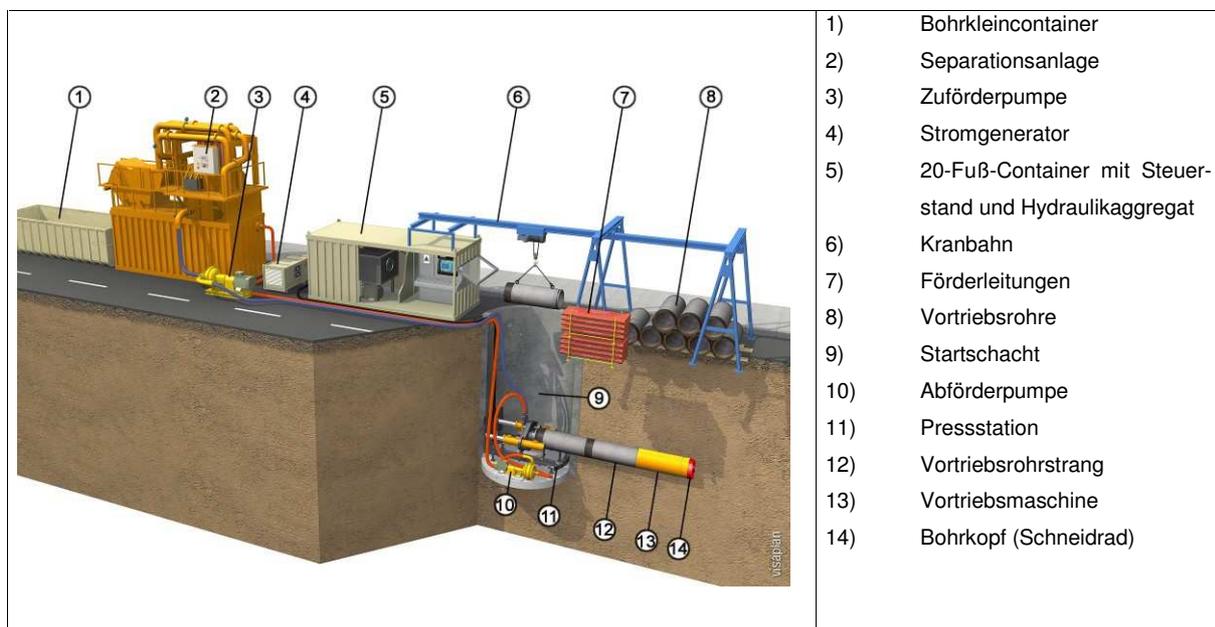


Bild 4 Prinzipskizze des Mikrotunnelbaus mit hydraulischer Förderung beim einphasigen Vortrieb [11]

In Berlin wurden beispielsweise von 1984 bis 2002 durch den Einsatz der geschlossenen Bauweise gegenüber der offenen Bauweise folgende Kostenvorteile erzielt [12]:

- Einsparung von 52 Mio. € Baukosten, welche in andere Projekte investiert werden konnten
- Vermeidung des Aufbruchs und der Wiederherstellung von rund 970.000 m² Straßenoberfläche
- Verzicht auf Aushub von 1,8 Mio. m³ Boden und entsprechende Wiederverfüllung, da durch den Vortrieb selbst nur etwa 64.000 m³ abgebaut wurden
- Verzicht auf Bodentransporte durch die Stadt von mehr als 148.000 LKW-Ladungen, dadurch konnten enorme Schadstoffemissionen durch Auspuffgase bzw. zusätzliche Verkehrsbelastungen vermieden werden
- Einschränkung von Grundwasserhaltungsmaßnahmen, so dass rund 160 Mio. m³ Grundwasser von vornherein nicht abgesenkt werden mussten.

Für die offene Bauweise und geschlossene Bauweise (Mikrotunnelbau) beim Bau von Abwasserkanälen oberhalb des Grundwasserspiegels wurden in [9] für verschiedene Rohrnennweiten, Verlegetiefen, Oberflächenbefestigungen Kostenvergleichsrechnungen angestellt. In Tabelle 1 sind beispielhaft die sich hieraus ergebenden wirtschaftlichen Verlegetiefen beim Einsatz von Verfahren des Mikrotunnelbaus in Berlin aufgeführt. Hierbei wurde u.a. auch festgestellt, dass die Kosten des Mikrotunnelbaus im Gegensatz zur offenen Bauweise nahezu unabhängig von der Verlegetiefe sind.

Tabelle 1 Wirtschaftliche Verlegetiefen (Mindestmaße) für Mikrotunnelbau- und Pilotrohr-Vortriebe mit Steinzeug-Vortriebsrohren im Nennweitenbereich $200 \leq DN/ID \leq 800$ oberhalb des Grundwasserspiegels in Berlin (1997) nach [9]

Nennweite DN/ID	Oberfläche			
	Unbefestigt [m]	Verbundsteinpflaster [m]	Betondecke [m]	Bitumen [m]
200	2,95	1,75	0	0
250	3,80	2,55	0	0
300	4,40	3,45	2,45	2,25
400	> 6,00	5,45	4,30	4,15
500	> 6,00	5,00	4,00	3,80
600	6,00	4,95	4,00	3,80
800	5,20	4,35	3,40	3,35

1.4 Indirekte Kosten

Neben den in den vorangegangenen Abschnitten direkt bezifferbaren Kostenarten, die insbesondere durch Kosten der Baudurchführung verursacht werden, sind die indirekten oder soziale Kosten mit in die Kostenbetrachtung bzw. Wirtschaftlichkeitsvergleiche einzubeziehen. Indirekte Kosten sind Folge externer Wirkungen der Baudurchführung, die Dritte betreffen. Sie werden den Planungs-/ Genehmigungs- oder Herstellungskosten nicht zugerechnet und entstehen z.B. durch

- Verkehrsbehinderung bzw. Verkehrslenkungsmaßnahmen
- Beeinflussung der Anlieger (insbesondere Umsatzeinbußen des Einzelhandels)
- Lärm- und Schadstoffemissionen durch Bau und Verkehr
- Schädigung der Vegetation und der Grundwasserverhältnisse
- Verkürzung der Restnutzungsdauer von Straßenoberflächen und damit verbundener Wertminderung [2, 3, 5, 8, 13]

Konkrete Datenermittlungen zur Quantifizierung und Monetarisierung dieser indirekten Kosten und statistische Erhebungen zum subjektiven Störungsempfinden der Betroffenen liegen für Leitungsbaumaßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland bisher nicht vor.

2 Analyse der verschiedenen Werkstoffe bezüglich ihrer Auswirkung auf die Baukosten

Ein direkter Vergleich von bei den jeweiligen Herstellern bzw. Baustoffhändlern erfragten Rohrpreisen in konkreten Zahlen ist schwierig und letztlich nicht repräsentativ, da eine diesbezügliche Kostengegenüberstellung ggf. zu einer Verzerrung der tatsächlich am Markt bestehenden Verhältnisse führen könnte. Die tatsächlichen Rohrpreise der verschiedenen Werkstoffe sind in der Praxis von folgenden Randbedingungen abhängig:

- Nennweite
- Baulänge (Anzahl Rohrverbindungen)

- Liefermenge
- Transportkosten (insbesondere Entfernung)
- Hersteller (Konkurrenzsituation, regionale Verhältnisse („Dominanz“))
- Auftraggeber (z.B. Größe der Kommune bzw. des Entwässerungsbetriebes, langjährige Geschäftsbeziehungen, „politische“ Werkstoffgesinnung).

Auf Grund der im Abschnitt 1 aufgeführten großen Anzahl von Einflussfaktoren liegen bislang keine umfassenden Untersuchungen bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Rohrverlegung in offener und geschlossener Bauweise in Abhängigkeit des eingesetzten Rohrwerkstoffes vor. Angesichts des immensen Anteils der Lohn- und Gerätekosten am Gesamtaufwand kommt dem Zeitaufwand für die Rohrverlegung und Herstellung der Rohrverbindung eine entsprechende Bedeutung zu. Demgegenüber sind die Rohrpreise, wie bereits in den Abschnitten 1.1 und 1.2 aufgeführt, in der Praxis von eher untergeordneter Bedeutung.

Angesichts der o.g. Verhältnisse wurden von den Tarifvertragsparteien der deutschen Bauwirtschaft im Jahr 1993 Arbeitszeit-Richtwerte-Tabellen (ART) für Rohrlegearbeiten für Freispiegelleitungen (offene Bauweise) herausgegeben [14], um realitätsnahe Kalkulationen bzw. Zeitplanungen für Kanalbaustellen aufstellen zu können. Die dort aufgeführten Richtwerte wurden für verschiedene Rohrnennweiten und -werkstoffe aus Zeitmessungen in der gesamten Bundesrepublik Deutschland unter folgenden Voraussetzungen ermittelt:

- Aufgabengerechte und zweckmäßige Baustellenorganisation
- Nach Leistung aufeinander abgestimmte Gerätekombination
- Entsprechende Fachbesetzung der Baustelle
- Gleichwertige Zusammensetzung der Baustellenbelegschaft bzw. der Leistungsgruppen während des gesamten Arbeitsablaufes.

Es wird zwischen verbauten und unverbauten Gräben unterschieden. Den Arbeitszeit-Richtwerten für

- Verlegen mit Geräten sowie
- Unterstopfen, Einbetten

liegen folgende hier behandelten Rohrwerkstoffe bzw. -längen zu Grunde:

- Beton: 2,5 m (kreisrunde Rohre ohne Fuß)
- Steinzeug: 2,0 m
- Duktiler Guss: 6,0 m
- PVC-U: 5,0 m (Vollwand- und profilierte Rohre).

Rohre aus Stahlbeton, Polymerbeton sowie anderen Kunststoffen (GFK, PE-HD und PP) wurden in den ART von 1993 nicht berücksichtigt. Eine Aktualisierung der Werte hat bislang nicht stattgefunden. Überträgt man die in Tabelle 2 aufgeführten Angaben von Beton aus Gewichts- und Längengründen sinngemäß auf Stahl- und Polymerbeton sowie von PVC-U auf GFK, PE-HD und PP, so können auch für diese Rohrwerkstoffe adäquate Arbeitszeit-Richtwerte angenommen werden.

Tabelle 2 Arbeitszeit-Richtwerte für die Verlegung von Abwasserrohren DN/ID 400 aus verschiedenen Werkstoffe in offener Bauweise im verbauten Leitungsgraben (beispielhafter Auszug aus [14])

Tätigkeit			Einheit	Rohrwerkstoff						
				Beton	Steinzeug	Guss	PVC-U (Vollw.)	PVC-U (gerippt)		
				[h/Einheit]						
01	Rüstzeit (Vorbereitungs- und Abschlusszeit)		A	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
02	Ab- oder Aufladen mit Gerät am Zwischenlager		m	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		
03	Auflager herstellen und verdichten (aus Sand, Kies, Splitt etc.)	d = 10 bis 20 cm	m	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21		
04		d = 20 bis 30 cm		0,29	0,29	0,29	0,29	0,29		
05										
06	Rohre verlegen		m	0,51	0,55	0,43	0,30	0,27		
07										
08	Rohrleitung	unterstopfen	m	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22		
09		einbetten		0,22	0,22	0,22	0,22	0,22		
10	Zu- la- gen	Formstücke einbauen		St.	0,92	0,94	0,64	0,38	0,36	
11		Rohre kürzen								
12		Rohre transportieren	von Hand unter 50 m							
13			mit Gerät über 50 m		0,14	0,14		0,14	0,14	
14		Steifen ein- und ausbauen				0,10	0,10		0,10	0,10

Geht man, wie in Tabelle 2 dargestellt, exemplarisch von kreisrunden Rohren DN/ID 400 im verbauten Leitungsgraben aus, ergeben sich folgende Arbeitszeit-Richtwerte (Rüstzeit, Ab-/Aufladen, Auflager herstellen (d = 20 cm bis 30 cm), Rohre verlegen, Rohrleitung unterstopfen und einbetten):

- Beton: 1,26 h/m
- Steinzeug: 1,30 h/m
- Duktiler Guss: 1,18 h/m
- PVC-U (Vollwand): 1,05 h/m
- PVC-U (profiliert): 1,02 h/m.

Die Unterschiede bei den dargestellten Rohrwerkstoffen ergeben sich lediglich aus dem unterschiedlichen Zeitbedarf für die Verlegung der Rohre (s. Tätigkeit 06 „Rohre verlegen“ in Tabelle 2). Aus dieser beispielhaften Aufstellung auf Basis der Angaben in Tabelle 2 wird ersichtlich, dass nach den ART insbesondere die PVC-U-Rohre pro verlegten Meter Kanal zeitliche Vorteile auf Grund des besseren Handlings (Gewicht, Baulänge, Rohrverbindungen) gegenüber Gussrohren sowie Beton- und Steinzeugrohren aufweisen.

Inwieweit sich diese Vorteile jedoch vorbehaltlos auf den praktischen Baustellenalltag übertragen lassen, sollte, trotz der von den Tarifvertragsparteien der deutschen Bauwirtschaft ausdrücklich betonten Praxisnähe, kritisch hinterfragt werden. Insbesondere wäre diesbezüglich zu prüfen, inwieweit sich die anderen in diesem Leitfaden behandelten Rohrwerkstoffe (s.o.) oder z.B. Fußrohre mit verbesserten Verlegeeigenschaften auf die o.g. Verlegezeiten auswirken.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Kosten beim Bau von Kanalisationen sind von zahlreichen Parametern und Einflussfaktoren, insbesondere den baustellenspezifischen Randbedingungen abhängig.

Die größtmöglichen Beeinflussungspotenziale für das Ausmaß der späteren Investitions- und Betriebskosten liegen generell im Bereich der Planungsphase. Der planende Ingenieur ist angehalten, durch Variantenvergleiche die wirtschaftlichste Lösung für die jeweilige Kanalbaumaßnahme zu erzielen. Diese müssen auch den Vergleich zwischen der offenen und der geschlossenen Bauweise einbeziehen [11].

Aber nicht nur die Qualität einer Planung, sondern auch die Sorgfältigkeit bei der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen sind von entscheidendem Einfluss auf die späteren Kosten einer Baumaßnahme. Mit einem klar strukturierten Leistungsverzeichnis bildet der Planer die Grundlage dafür, dass durch das Angebot des späteren Auftragnehmers der Auftraggeber ein optimales und transparentes Preisgefüge erhält.

Es wurde herausgestellt, dass durch die Wahl eines bestimmten Rohrwerkstoffes für die Verlegung eines Abwasserkanals keine bedeutenden Einsparpotenziale erzielt werden können, da, wie im Abschnitt 1 gezeigt, die eigentlichen Kosten für die Abwasserrohre ca. 5 % der Gesamtbaukosten bei der offenen und ca. 10 % bei der geschlossenen Bauweise ausmachen. Diese Prozentwerte beinhalten bereits die mehr oder weniger großen Preisunterschiede zwischen den einzelnen Rohrherstellern/-lieferanten bzw. Rohrwerkstoffen, so dass relativ gesehen das diesbezüglich mögliche Einsparungspotenzial noch geringer ausfällt.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass eine hochwertige Qualität beim Neubau eines Abwasserkanals durch fachgerechte Bauausführung und -überwachung gemäß des bestehenden Normen- und Regelwerks eine größere Rolle spielt als die Wahl des eigentlichen Rohrwerkstoffes. Aufgrund der anhaltenden Rezession sind gegenwärtig jedoch „Dumpingangebote“ von Bauunternehmungen keine Seltenheit mehr. Ist die Angemessenheit von Preis und Leistung jedoch nicht gegeben, muss mit einem qualitativ schlechteren Entwässerungssystem gerechnet werden, das später für den Kanalnetzbetreiber letztlich hohe Betriebskosten verursachen kann [15], auch wenn eigentlich hochwertige und somit verhältnismäßig „teure“ Rohre eingebaut worden sind [16]. Nach einer vom Güteschutz Kanalbau in Auftrag gegebenen Studie [17] sind 50 % bis 80 % der notwendigen Sanierungsmaßnahmen auf mangelnde Qualität bei der Bauausführung zurückzuführen.

Bei einer betriebswirtschaftlichen Kostenbetrachtung sind deshalb, im Interesse einer wirtschaftlichen und sparsamen Verwendung von öffentlichen Haushaltsmitteln sowie der von den Haushalten zu entrichtenden Abwassergebühren, neben den Investitionskosten für den Neubau immer auch die später entstehenden Kosten für den Betrieb der Kanalisation (Betriebskosten) zu berücksichtigen. Die kalkulatorische Abschreibung der Investitionskosten sowie die späteren Betriebskosten werden

dabei im Wesentlichen von der erzielbaren Nutzungsdauer eines Kanals bestimmt (nach LAWA werkstoffunabhängig 80 bis 100 Jahre [18], s. Teilexpertise „Nutzungsdauer“ [19]).

Fazit:

Der hohe Qualitätsstandard der FBS-Beton- und Stahlbetonrohre wird durch das in der FBS-Qualitätsrichtlinie [20] festgelegte Qualitätssicherungssystem mittels Eigen- und Fremdüberwachung sichergestellt und garantiert eine lückenlose Qualitätskontrolle von den Ausgangsstoffen über die Herstellung bis zum Endprodukt Rohr.

Dieses garantiert hochwertige Rohre, welche in Verbindung mit fachgerechtem Einbau und Betrieb, einer langen Lebens- bzw. Nutzungsdauer sicherstellen und somit beim Betreiber zu geringen Jahreskosten (Kapitalkosten aus kalkulatorischer Abschreibung und Verzinsung sowie Betriebskosten) führen. FBS-Beton- und Stahlbetonrohre leisten somit einen Beitrag, die Abwassergebühren auf lange Sicht niedrig zu halten.

4 Literatur

- [1] Pecher, K. H.: Warum sind dauerhafte Abwasserkanäle unentbehrlich? FEUGRES International Barcelona 2001.
- [2] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998.
- [3] Stein, D.: Grabenloser Leitungsbau. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2003.
- [4] N.N.: Preisindizes beim Ortkanalbau fallen und erreichen Niveau von 1992. Aus: EUWID – Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH, Ausgabe: Wa – Wasser und Abwasser, Nr. 19 vom 17.09.2002.
- [5] Merkblatt ATV-DVWK-M 159: Materialanforderungen an Abwasserleitungen und -kanäle (Entwurf 09.2004).
- [6] Günthert, F.W., Reicherter, E.: Investitionskosten der Abwasserentsorgung. Oldenbourg Industrieverlag München, München 2001.
- [7] ATV-Handbuch: Bau und Betrieb der Kanalisation. 4. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1995.
- [8] GSTT Information Nr. 11: Kostenvergleich offener und geschlossener Bauweisen unter Berücksichtigung der direkten und indirekten Kosten beim Leitungsbau und der Leitungssanierung (Oktober 1999).
- [9] Möhring, K.: Wirtschaftliche und umweltgerechte Herstellung von Abwasserkanälen und -leitungen durch Microtunnelbau – Ein Leitfaden für die Planung und Bauvorbereitung. Informationsbroschüre (Hrsg.: Steinzeug Abwassersysteme GmbH, Köln), Berlin (ohne Jahr).
- [10] Firmeninformation Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum.

-
- [11] Stein, D., Brauer, A.: Praxisorientierter Leitfaden zur Anwendung von Verfahren des Mikrotunnelbaus zur umweltgerechten, kostenminimierten Verlegung von Abwasserleitungen und -kanälen. Hrsg: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes NRW. Düsseldorf, Dezember 2003.
- [12] Firmeninformation Berliner Wasserbetriebe (BWB), Berlin.
- [13] Grunwald, G.: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei Kanalsanierungen: Dissertation Ruhr-Universität Bochum 1996. Veröffentlicht in der Schriftenreihe des Instituts für Kanalisationstechnik an der Ruhr-Universität Bochum; Bericht 97/3 (1997).
- [14] Tarifvertragsparteien der deutschen Bauwirtschaft (Hrsg.): Handbuch ART – Arbeitszeit-Richtwerte für Rohrlegearbeiten – Freispiegelleitungen. Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1993.
- [15] Reicherter, E., Günthert, F.W.: Ein Modell zur Kostenschätzung für Abwasserkanalisationen. KA 44 (1997) , H. 2.
- [16] Schaaf, O.: Qualitätssicherung und Wirtschaftlichkeit beim Bau von Kanälen. Abwasserforum Köln e.V. – Fachjournal für Abwassertechnik, Jubiläumsausgabe 10, November 2001, S. 16–20.
- [17] N.N.: Die wirtschaftliche Bedeutung des Güteschutzes beim Bau von Abwasserkanälen. Studie der Diebold Deutschland GmbH, Eschborn im Auftrag des Güteschutz Kanalbau e.V. Bad Honnef. Eschborn 1995.
- [18] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 6. überarbeitete Auflage, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, 1998.
- [19] Stein, D., Brauer, A.: Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für kommunale Entwässerungssysteme – Teilexpertise „Nutzungs- bzw. Lebensdauer“. Expertise der Prof.-Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum im Auftrag der FBS e.V., Bonn. Bochum, Dezember 2004.

- [20] FBS-Qualitätsrichtlinie – Teil 1 (FBS-QR Teil 1): Rohre und Formstücke aus Beton und Stahlbeton in FBS-Qualität für erdverlegte Abwasserleitungen und -kanäle – Ausführungen, Anforderungen, Prüfungen (09.2004).