

10. Göttinger Abwassertage Aus der Praxis – für die Praxis **Neue Anforderungen an die Kanalsanierung – Recht, Technik, Praxis**

Qualitätssicherung im Kanalbau

Prof. Dr.-Ing. Olaf Selle¹

1. Einleitung

Ohne eine funktionsfähige stadttechnische Infrastruktur ist ein Leben in unseren Kommunen undenkbar. Mit der Industrialisierung im vorigen Jahrhundert beginnt gewissermaßen die Neuzeit unserer kommunalen Ver- und Entsorgungssysteme; denn es bleibt festzuhalten, daß bereits die Römer in ihrem Gemeinwesen den Germanen ein herausragendes Niveau der Wasserversorgung und der Abwasserbeseitigung mit den dazugehörigen Bauwerken vorführen konnten. Leider folgten Jahrhunderte mit niedrigerem Standard, und es bedurfte erst verheerender Krankheiten und Seuchen, um erneute Anstrengungen einzuleiten, ein höheres Niveau in der Wasserversorgung und Abwasserableitung zu erreichen. Diese Entwicklung ging mit dem Aufbau der Gasversorgung und später der Elektroenergieversorgung einher. Später kamen noch die Informationsversorgung und, gewissermaßen als letztes Medium der Energieversorgung, die Fernwärme hinzu, und heute wird über geschlossene Müllentsorgungssysteme weiter nachgedacht.

Schon sehr früh bestand die Notwendigkeit, alle Leitungen nach entsprechenden Regeln im öffentlichen Bauraum, d.h. im Straßenquerschnitt, anzuordnen. Den damaligen Ingenieuren ist zu danken, daß auf diesem Gebiet allgemeingültige Regeln bestehen, die im Wesentlichen auch noch heute gelten [siehe Bild 1]. Allerdings führt die Tendenz zum verstärkten Einsatz leitungsgebundener Energieträger in Verbindung mit den Forderungen des Umweltschutzes, der steigende Versorgungskomfort, die zunehmende Verdichtung der Versorgung und die Entwicklung neuer Kommunikationstechniken zu immer schwierigeren Problemen bei der Verlegung von Leitungen im unterirdischen Bauraum, die sich in aufwendigen Bauverfahren niederschlagen.

Wenn man den Versuch unternimmt, einige bautechnische Probleme in der Verlegung von Rohrleitungen in der gebotenen Kürze aufzuzeigen, eignen sich dafür zweifellos im besonderen Maße die Abwasserableitungssysteme. Grund dafür ist u.a., dass die Kanalisation, bedingt durch ihre allgemeine Tiefenlage, ihre Einordnung unterhalb der Straße und die erwünschte Lagegenauigkeit eine bautechnisch komplizierte Aufgabe darstellt.

¹ Prof. Dr.-Ing. Olaf Selle, Universität Leipzig / Prof. Selle Consult GmbH

2. Ingenieurbauwerk Rohrleitung

Betrachtet man die Kanalisationsnetze im Aufbau, so sind - bautechnisch gesehen - diese Netze eine Aneinanderreihung von kleinen Bauwerken, hier Schächte genannt, und Rohrleitungen, oft auch Kanäle genannt. Eine Besonderheit, die für alle Medien zutrifft, ist die in den letzten Jahren fast vollständige Verwendung von Fertigteilen in Montagebauweise. Monolithbauweise im Kanalbau, wie sie in vergangenen Jahrzehnten, insbesondere in den Anfängen der Entwicklung z.B. als gemauerte Profile bzw. Schächte zur Anwendung kamen, gehören heute zu den bewunderten Besonderheiten [siehe Bild 2]. Vielleicht werden auch deshalb in den letzten Jahren - im Gegensatz zu den obengenannten Ingenieurbauwerken der Abwassertechnik - bautechnische Probleme in bezug auf Rohrleitungen nun schon traditionell unterschätzt. Rohrleitungen sind aber auch Ingenieurbauwerke, bei denen das Zusammenwirken von Rohr, Rohrverbindung, Rohrauflagerung, Einbettung und Überschüttung die Grundlage für die Stand- und Betriebssicherheit ist. Die zugelieferten Materialien wie Rohre, Formstücke, Schachtteile und Dichtmittel bilden mit der am Ort zu erbringenden Leistung - wie Rohrauflagerung, Herstellung der Rohrverbindung, Einbettung und Überschüttung - eine Einheit. Konstruktiv handelt es sich dabei um langgestreckte, liegende (Schächte: stehende) feingliedrige Hohlkörper, die allseitig von Erdreich umgeben sind und direkt (Schächte) oder indirekt durch Oberflächenlasten, z.B. Verkehrslasten, beansprucht werden. Zusätzliche Belastungen für das Bauwerk ergeben sich durch das Medium, das unter Druck bzw. drucklos die Konstruktion sowohl mechanisch und chemisch als auch thermisch beanspruchend durchfließt. Wenn man dann noch die Beanspruchungen im Montageprozess dazu nimmt, so muss mit Recht von einem anspruchsvollen Bauwerk gesprochen werden.

Nicht verwunderlich sind aus Gründen der latenten Unterschätzung leider viel zu viele Schadensfälle. Die Auswertung der eigenen begutachteten Schadensfälle an öffentlichen Abwasserkanälen zeigt eine näherungsweise Aufteilung der Schäden in

| | |
|-------------------|-------|
| Planungsfehler | 40 % |
| Materialfehler | 15 % |
| Ausführungsfehler | 35 % |
| Sonstiges | 10 %. |

Die Anlagen des Entwässerungsnetzes sind nur ausreichend leistungsfähig und genügen den wasserwirtschaftlichen Belangen, wenn sie dem Anliegen - Herstellung von dichten Leitungssystemen mit einer hohen Betriebssicherheit bei Einhaltung der geforderten Nutzungsdauer und effektiven Herstellungs- und Betriebskosten - genügen. Voraussetzungen dazu sind

- solide Planung
- qualitätsgerechtes Material und
- fachgerechte Bauausführung.

Nur im Zusammenwirken der genannten Komponenten entsteht die geforderte Qualität bzw. werden Schadensfälle vermieden.

Obwohl in die Gesamtkosten der Herstellung des Ingenieurbauwerkes Rohrleitung die nachstehenden Kostengruppen mit Anteilen von

- | | |
|--|-------------|
| • Rohre (Lieferung, Verlegung) | 10 ... 25 % |
| • Rohrgraben (Bodenaushub, Bodenausbau) | 30 ... 60 % |
| • Straßenaufbruch und -wiederherstellung | 10 ... 20 % |
| • Schächte | 10 ... 20 % |
| • Sonstiges (Wasserhaltung, Baustelle) | 5 ... 10 % |

einfließen, d.h. die eigentliche Rohrleitung oft nur ca. 15 % der Gesamtkosten ausmacht, stehen die verwendeten Rohrmaterialien unter einem hohen Wettbewerbsdruck.

Die generellen Anforderungen an die Rohrsortimente sind

- hohe Gebrauchseigenschaften
- rationelle Verlegetechnik und
- große Systemsicherheit

bei wirtschaftlichen Kosten.

Die notwendigen Gebrauchseigenschaften leiten sich aus den Forderungen nach DIN EN 476 ab. Die dabei verlangten Eigenschaften Maßhaltigkeit, Wandrauheit, Formbeständigkeit, Langzeitverhalten, Wasserdichtheit, Temperaturverhalten, Korrosionsbeständigkeit und Bearbeitbarkeit werden von allen zugelassenen Rohrmaterialsorimenten erfüllt. Abwasserrohre gehören zu den Erzeugnissen des Bauwesens, die in der Bauregelliste des DIBt enthalten sind - eine Ausnahme gegenüber den Rohrmaterialien für andere Medien. Die in der vom Vortragenden geleitete anerkannte PÜZ-Stelle des DIBt MFPA Leipzig GmbH durchgeführten Prüfungen zeigen den hohen Standard der angebotenen Rohrsortimente und darüber hinaus den mit dem Qualitätssicherung verbundenen erheblichen Aufwand der Rohrerhersteller.

In der Fachliteratur und in Vorträgen werden immer wieder vergleichende Betrachtungen zum Einsatz der verwendeten Materialien vorgenommen. Alle Materialien haben besondere Eigenschaften, die hinsichtlich ihres Einsatzes von der Herstellung über Transport und Verarbeitung bis zum Verhalten im langjährigen Kanalbetrieb zu unterschiedlichen Reaktionen führen. Ein Idealmaterial, das allen Anforderungen genügt, gibt es nicht. Deshalb sind für die vorgesehenen Einsatzbereiche und Einsatzbedingungen differenzierte Anforderungen an das jeweilige Rohrmaterial zu stellen.

3. Statischer Nachweis (Standicherheit) der Rohrleitung

Der statische Nachweis der Rohrleitungen der Kanalisation stellt eine besondere Leistung nach VOB/B Teil C (vgl. DIN 18306) dar.

In der Praxis wird diese Leistung auch dergestalt ausgeschrieben, dass diese Leistungsposition vom Ausführungsbetrieb zu erbringen ist, obwohl es im eigentlichen Sinne eine Ausführungsplanung darstellt. Beispiele für Ausschreibungen sind

- die Statik ist eine gesonderte Leistungsposition [siehe Bild 3 und Bild 5]
- die Statik ist Bestandteil der Einheitspreise [siehe Bild 4 und Bild 6]

Die maßgebenden Normative sind die bekannte DIN EN 1610 und ihre nationale Ergänzung DWA A 139 bzw. die DIN EN 1295 und ihre nationale Ergänzung DWA A 127.

Zusammenfassend gilt:

Rohrleitungen und Schächte sind im Wesentlichen technische Konstruktionen, bei denen das Zusammenwirken von Bauteilen, Einbettung und Verfüllung die Grundlage für Stand- und Betriebssicherheit ist. Die zugeordneten Teile, wie Rohre, Formstücke und Dichtmittel, zusammen mit der am Ort zu erbringenden Leistung, wie Bettung, Herstellen der Rohrverbindung, Seiten- und Hauptverfüllung, sind wichtige Faktoren, damit die bestimmungsgemäße Funktion des Bauwerks sichergestellt wird.

Das Tragwerkssystem Rohr/Boden wird wesentlich bestimmt aus dem Zusammenwirken von Bauteilen sowie der künstlich geschaffenen und/oder natürlich vorhandenen Umgebung (Bettung, Seiten- und Hauptverfüllung, Verdichtung, Bodenarten, Grundwasser, Bodentragfähigkeit u. a.). Es beeinflusst maßgeblich die Funktion und Nutzungsdauer der Rohrleitung.

Das Tragwerkssystem muss vorhandene und zukünftige Belastungen mit ausreichender Sicherheit aufnehmen können. Kriterium dabei ist neben der Lastabtragung die sichere Funktion des Abwasserkanals bzw. der -leitung.

Die genaue Umsetzung der Planungsvorgaben ist entscheidend für die Qualität der Bauleistung. Der Umfang und die Anforderungen der zu erbringenden Ingenieurleistungen sind für den jeweils vorliegenden Einzelfall zwischen Auftraggeber und Planer abzustimmen.

Die auf Abwasserkanäle und -leitungen einwirkenden statischen und dynamischen Lasten sind bei der Planung festzulegen. Dazu gehören ggf. auch Belastungen aus Bauzuständen, die für die Bemessung bestimmend sein können.

Vor Beginn der Bauausführung muss die Tragfähigkeit einer Rohrleitung in Übereinstimmung mit DIN EN 1610 und EN 1295-1 und der nationalen Ergänzungen DWA A 139 und DWA A 127 nachgewiesen, entschieden oder vorgegeben sein. Die Ausführung der Arbeit sollte in der Weise kontrolliert werden, dass die Lastannahmen, die sich aus den Planungsunterlagen ergeben, abgesichert oder an die veränderten Bedingungen angepasst sind.

Für die Rohrleitungen sind in Abhängigkeit von der Steifigkeit der verwendeten Rohrleitung der Spannungsnachweis, der Verformungsnachweis bzw. der Stabilitätsnachweis zu führen. Für die in

Göttingen weitestgehend zur Anwendung kommenden flexiblen PE-Rohre ist der Spannungsnachweis und insbesondere der Verformungsnachweis entscheidend.

In diesem Zusammenhang ist nochmals zu betonen, dass die ggf. vorhandene Überschreitung der vorgegebenen maximalen Verformung hydraulisch ohne Bedeutung ist und weder die bautechnische Grenze der Verformbarkeit darstellt, noch das Eintreten von Undichtigkeiten zur Folge hat. Ein Tatbestand, der immer wieder im Mittelpunkt von Bewertungen steht.

Der Standsicherheitsnachweis wird nach dem bekannten Formblatt der DWA A 127 geführt [siehe Bild 7]. Nicht allen am Bau Beteiligten ist dabei gegenwärtig, dass es eine Vielzahl von statischen Einflussfaktoren gibt, die alle in diesem Formblatt erfasst werden sollen [siehe Bild 8].

In den letzten Jahren sind die Berechnungsverfahren erheblich verfeinert worden, allerdings mit dem Nachteil, daß die obengenannten Belastungen und Einbaubedingungen immer genauer erfaßt werden müssen und Abweichungen auf der Baustelle sich gravierend auswirken. Zudem wird der für den Planer mit erheblichem Aufwand verbundene statische Nachweis teilweise durch eine „Rahmenstatik“, die als Serviceleistung des Rohrerstellers angeboten wird, ersetzt.

Bei allen Schadensanalysen zeigt sich, daß Materialfehler der Rohre als Ursache für das Versagen z.B. durch Reißerscheinungen am Rohr bzw. Verformungen, kaum oder gar nicht auftreten. Vornehmlich ist es der Verbund zwischen Rohrleitung und dem umgebenden Erdreich, der - beeinflusst durch die Art der Verlegung, durch Setzungen und andere Bodenveränderungen - zum Versagen der Rohrleitung führt. Die als vorrangige Versagensursache festgestellten Risse, Brüche bzw. Verformungen der Leitungen ergeben sich aus statischer Überbeanspruchung des Gesamtsystems. Aus dieser Tatsache folgt, daß in Zukunft nicht nur die Materialeigenschaften des Rohres, sondern gleichzeitig auch das Rohr im Verbund mit dem umgebenden Erdreich als Kriterium für die langfristige Betriebssicherheit in Betracht gezogen werden muss.

Bei Baumaßnahmen im Erdreich sind Setzungen im Zuge der Durchführung bzw. nach dem Abschluß der Arbeiten unvermeidbar. Im Großen und Ganzen sind sie je nach Bodenart und Verdichtung innerhalb von wenigen Monaten weitgehend abgeschlossen. Die im ATV-Arbeitsblatt A 127 empfohlenen Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Belastungen von erdverlegten Rohren berücksichtigen die in Verbindung mit den Setzungen auftretenden Belastungsveränderungen. Allerdings bleibt nochmals festzustellen, daß beim Planer wie auch beim Bauausführenden nur ungenügende Kenntnis des "Rohrring/Baugrund-Modells" teilweise vorhanden ist. Ursache dafür ist neben der obengenannten Rohrstatik des Rohrerstellers der aktuelle Trend zu "Einheitsrohren" für eine breite Palette von Belastungen.

Es muß noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die wesentlichsten Bauausführungselemente wie

- Rohrgraben,
- Rohraufleger und
- das Verfüllen und Verdichten innerhalb des Rohrgrabens

eine entscheidende Bedeutung für die statische Berechnung der Rohrleitung haben. Eine Abweichung der Bauausführung vor Ort von der vom Planer vorausgesetzten Bauausführung hat in vielen Fällen eine verhängnisvolle Bedeutung. Aus den genannten Gründen sind vom Planer nicht die maximal möglichen und damit statisch günstigsten Bauausführungsvarianten zu berücksichtigen, sondern die vor Ort mögliche und durch den Baubetrieb realisierbare Ausführung der statischen Berechnung zugrunde zu legen. Im Einzelnen sind von besonderem Interesse:

- **Rohrgrabenausbildung**
Insbesondere die Rohrgrabenbreite in Rohrscheitelhöhe besitzt neben der Art und Weise des Verbaus von Rohrgräben eine entscheidende Bedeutung, da hier sowohl entlastende als auch belastende Effekte auftreten können. Mit Nachdruck muß auf die Technologie des schrittweisen Entfernens des Verbaus mit lagenweiser Verdichtung des verfüllten Bodens hingewiesen werden.
- **Auflager**
Die Ausführung des Auflagers beeinflusst in entscheidendem Maße die Druckverteilung auf den Rohrumfang und damit die Spannungen, die in der Rohrwandung auftreten. In der Ausführung ist besonders auf die Übereinstimmung zwischen dem statisch angenommenen und dem sich tatsächlich einstellenden Auflagerwinkel zu achten.
- **Verfüllen und Verdichten**
Die Verfüllung und Verdichtung in der Rohrleitungszone hat einen wesentlichen Einfluß auf die Belastungsverteilung des Rohres. Eine nicht einwandfreie Einbettung ist die häufigste Ursache für Schäden an Rohren. Nicht planungsgerechter Einbau des Bodens und unzureichende Verdichtung in diesem Bereich verursachen mehrere sich negativ überlagernde statische Einflußfaktoren.
Bei der Verfüllung und Verdichtung ist die Schütthöhe dem Boden und den zum Einsatz kommenden Verdichtungsgeräten anzupassen.

An Beispielen sollen diese Einflussfaktoren qualitativ und quantitativ erfasst werden.

5. Zusammenfassung

Abwasserableitungssysteme sind ein unverzichtbarer Bestandteil zum "Funktionieren" eines Gemeinwesens und stellen darüber hinaus einen erheblichen volkswirtschaftlichen Wert dar. Daraus folgt, dass das des Abwasserableitungssystems - als aufwendigstes stadttechnisches Netz als Ingenieurbauwerk Rohrleitung eine größere Beachtung als bisher verdient. In Auswertung von Schäden an liegenden Netzen wird neben einem qualitätsgerechten Materialeinsatz eine solide, den technologischen Möglichkeiten der Bauausführung gerecht werdende Planung gefordert, um die Standsicherheit der Rohrleitung zu gewährleisten. Dabei ist das Zusammenwirken der Rohrleitung mit dem umgebenden Boden zu beachten. Zielstellung aller am Bau Beteiligten bleibt die Herstellung dichter Leitungssysteme mit einer hohen Betriebssicherheit, der Einhaltung der geforderten Nutzungsdauer und effektiven Herstellungs- und Betriebskosten.

Bild 2: Historische Entwicklung

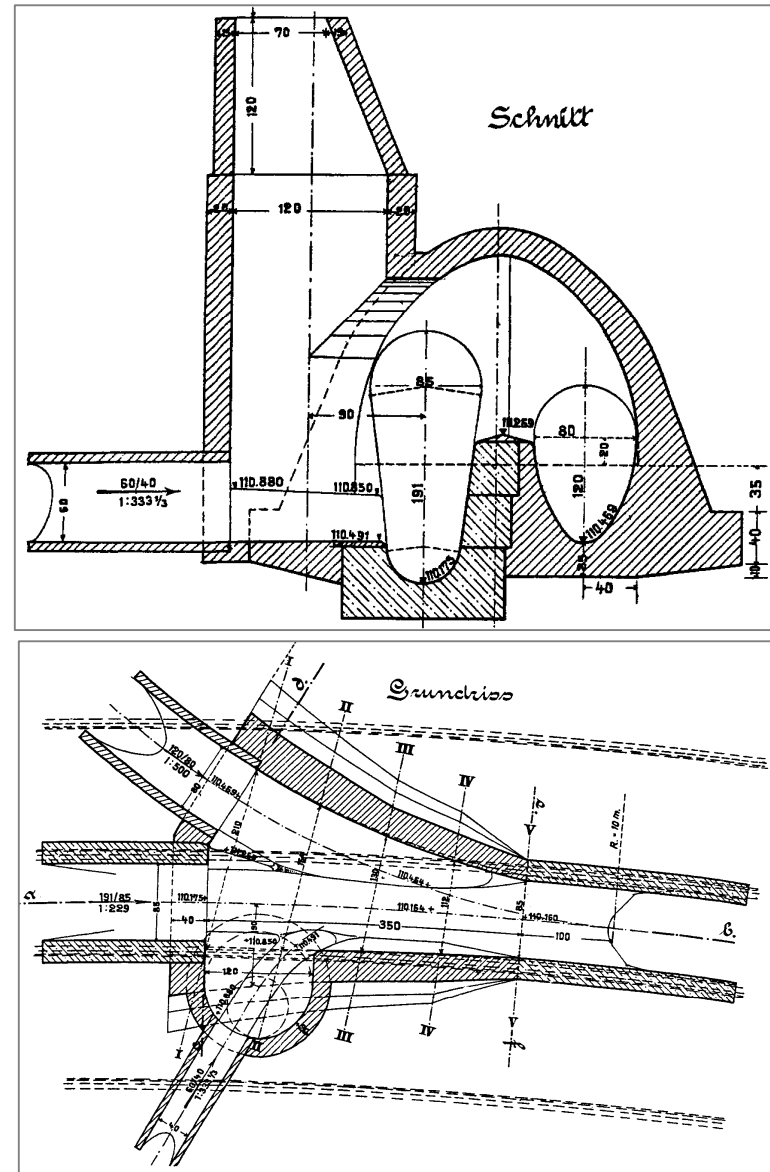
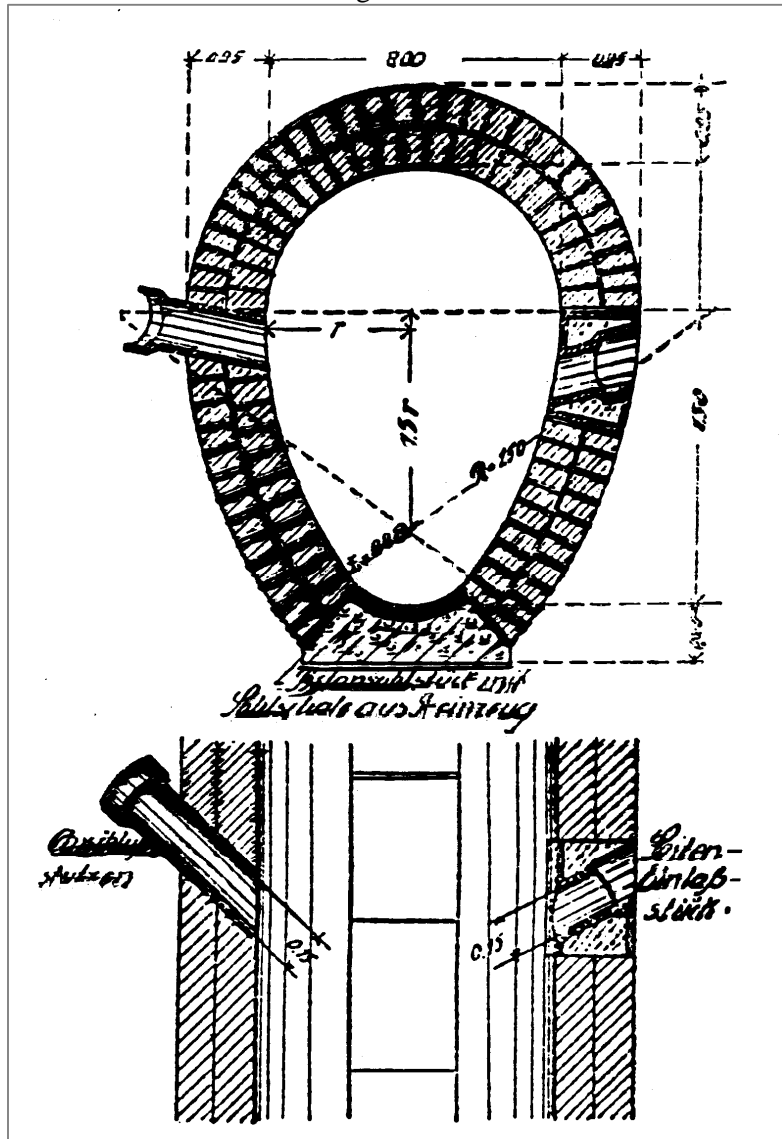


Bild 3: Ausschreibungs“varianten“ Standsicherheitsnachweis

| | |
|---|--|
| A) Durch den Ausführungsbetrieb zu erbringen <u>als Leistungsposition</u> | |
| Pos. 3.5.1 | <p>PEHD Schachtanschlüsse DN 400, PE 100-SDR 17, $d_a = 450$ mm, Wandstärke $d = 40$ cm des Stb-Bauwerks, $l = 650$ mm, für den auf der einen Seite bündigen Einbau in die Stb-Wand, Flansch bei 20 cm vom Rohrende, geeignet für den Einsatz von Elektroschweißmuffen 3,0 Stck.</p> <p>Prüffähige Statik für die PEHD-Rohre PE 100, DN 400 ($d_a = 450$ mm, $s = \text{mind. } 26,7$ mm) 1,0 Stck.</p> <p>Kabelschutzrohre PVC-U DN 100, mit Klebemuffe, Baulänge 6,0 m, gem. DIN 8061/ 8062 und DIN 16873, 110 x 3,2 mm 384,0 m</p> |

Bild 4 Ausschreibungs“varianten“ Standsicherheitsnachweis

| | |
|--|---|
| B) Durch den Ausführungsbetrieb <u>in den Einheitspreisen</u> einzurechnen | Rohrverlegung Allgemeine Erläuterungen LV |
| | <p>Bei der Abrechnung werden die Achslängen zu Grunde gelegt. Formstücke werden übermessen und als Zulage nach Stück gesondert abgerechnet. Schächte mit einzubindenden Rohren werden mit der lichten Weite abgezogen. Dichtringe, Gleitmittel, Reiniger und Kleber sowie Leistungen zum Ablängen und Anschrägen der Rohre sind in die Einheitspreise einzukalkulieren.</p> <p>Der Standsicherheitsnachweis für das Rohrsystem ist vor Baubeginn vorzulegen. Die statische Berechnung der Rohre erfolgt nach ATV-DVWK- A 127 und ist vom Lieferanten beizubringen. Neben den statischen Nachweisen sind alle Aufwendungen für Prüfungen und Genehmigungen in die Einheitspreise einzurechnen. Der AN haftet für die Vollständigkeit und evtl. Beschädigungen der angelieferten Materialien. Der AN hat den einwandfreien Empfang auf dem jeweiligen Lieferschein zu bestätigen und diesen unmittelbar an die Bauleitung weiterzuleiten. Die Rohre sind vom Fahrzeug auf der Baustelle bzw. Zwischenlagerplatz abzuladen und auf einwandfreie Beschaffenheit zu überprüfen. Für den Einbau der Rohre sind diese an die Verwendungsstelle zu transportieren und nach Angabe und Zeichnung höhengerecht mit Gefällegebung und fluchtgerecht nach Absteckung zu verlegen. Nach Beendigung der Rohrverlegung sind übrig gebliebene Rohre unaufgefordert von der Baustelle zu entfernen. Die Muffen sind entsprechend den Vorschriften des Herstellers zu dichten. Bei der Verlegung ist die fachgerechte Kürzung von Rohren sowie Verschnitt in die Einheitspreise einzurechnen. Irrtümlich aufgebrochene und ausgehobene Gräben gehen zu Lasten des AN.</p> |

Bild 5 Ausschreibungs“varianten“ Standsicherheitsnachweis

C) Durch den Ausführungsbetrieb als „verdeckte“ Leistungsposition

| Nr. | Menge/Einheit | EHP |
|------------|---|-----|
| 002.260.07 | PE-Rohrleitung herst. m. Erdarbeit. DN 500 | |
| | <p>Entwässerungsrohrleitung aus PE-Rohren nach statischen und konstruktiven Erfordernissen - Dammlleitung nach DIN 4033 - herstellen.</p> <p>Erdarbeiten in Boden der Klassen 3 bis 5 sowie ggf. einschließlich Verbau ausführen.</p> <p>Schächte und Anschlüsse an Schächte sowie Formstücke werden gesondert vergütet.</p> <p>Rohr DN 500 aus PE nach DIN 19537.</p> <p>Rohrverbindung mit Muffe, Dichtung mit Dichtring aus Elastomeren nach DI N 4060-1.</p> <p>Auflager nach DIN 4033 in gewachsenem Boden herstellen.</p> <p>Verlegetiefe bis Fließsohle über 1,25 bis 2 m.</p> <p>Überdeckungshöhe über 1 bis 2 m.</p> <p>Straßenverkehrslast SLW 60.</p> <p>Statische Berechnung aufstellen und liefern.</p> <p>Aushub seitlich lagern und zum Verfüllen verwenden.</p> <p>Überschüssiger Aushub in Eigentum des AN übernehmen und von der Baustelle entfernen.</p> <p>Lieferung und Verlegung von Warnbandfolie...</p> | |

Bild 6: Ausschreibungs“varianten“ Standsicherheitsnachweis

D) Durch den Ausführungsbetrieb in die Einheitspreise einzuarbeiten

| | |
|------------|---|
| 1 8 | Entwässerungskanalarbeiten |
| 1 8 1 | 465,00 m |
| | <p>KG-Kanalrohre DN 200, wandverstärkt (Jumbo KG oder gleichwertig) nach DIN 16961 mit angeformten Steckmuffen, einschließlich eingelegter Lippendichtringe und Trassenwarnband liefern und nach DIN EN 1610 und den Verlegerichtlinien des Herstellers in jeder Baugrubentiefe höhen- und fluchtgerecht verlegen.</p> <p>Mengenermittlung und Abrechnung nach Aufmaß auf der Baustelle</p> |

Bild 8: Überblick über statische Einflussfaktoren bei der Verlegung von Rohrleitungen

Faktoren der Bauausführung mit statischen Auswirkungen

- Unterschied zwischen der ausgeführten Grabenbreite und der Berechnungsgrabenbreite
- Unterschied zwischen der ausgeführten Grabentiefe und der Berechnungsgrabentiefe
- Grabenverbau (Pölzung) und Auswirkungen seiner Entfernung nach Abschluss der Arbeiten
- Veränderung des Verdichtungsgrades der Leitungszone und der Hauptverfüllung, insbesondere wenn niedriger als vorgesehen
- Veränderung von Bettungs- und Leitungszone
- Baustellenverkehr und zeitweise Belastungen
- Bodenarten und Bodenkennwerte (Untergrund, Grabenwände, Überdeckung der Rohrzone)
- Grabenform (z.B. Stufengraben, Graben mit geböschten Wänden)
- Wechsel in der Beschaffenheit von Untergrund und Boden (z.B. durch Frieren und Tauen, Regen, Schnee, Überflutungen)
- Grundwasserstand
- weitere Rohrleitungen in demselben Graben