

Ökologische Auswirkungen von Wurzeleinwuchs in Abwasserkanälen und –leitungen und ökonomische Maßnahmen zur Schadensvermeidung und Sanierung

Endbericht März 2001

Im Auftrag von GELSENKANAL, Gelsenkirchen

Gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

AUFTRAGGEBER

GELSENKANAL

Daimlerstr. 18

45891 Gelsenkirchen

FÖRDERNDE STELLE

Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW

Schwannstr. 3

40 190 Düsseldorf

AUFTRAGNEHMER

Institut für unterirdische Infrastruktur

Exterbruch 1

45 886 Gelsenkirchen

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Dr.-Ing. Bert Bosseler

PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt

cand. ing. Marco Bartel

cand. rer. nat. Heiko Schmiedener

 ${f B}$ EARBEITUNGSZEITRAUM

April 1998 bis März 2001



Danksagung

Das Institut für unterirdische Infrastruktur (IKT) bedankt sich an dieser Stelle bei dem Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW für das entgegengebrachte Vertrauen und bei dem Netzbetreiber GELSENKANAL für die Bereitstellung des notwendigen Datenmaterials sowie die fachliche Begleitung und praxisnahe Unterstützung. Ein persönlicher Dank gebührt Herrn Dr.-Ing C. Falk, der das Projekt maßgeblich beeinflußt hat.

INHALTSVERZEICHNIS 2

1	V	ERA	NLASSUNG UND ZIELSTELLUNG	4
	1.1	Ver	anlassung	4
	1.2	Zie	stellung des Forschungsvorhabens	5
	1.3	Voi	rgehensweise	5
2	G	ESE	TZLICHE GRUNDLAGEN UND NORMEN	7
	2.1	Lan	desbauordnung NRW	7
	2.2	DIN	N 1986	7
	2.3	Beg	riffe nach DIN 1986 Teil 1 und DIN 4045	7
	2	.3.1	Anschlusskanal	7
	2	.3.2	Abwasserleitungen	7
	2	.3.3	Grundleitung	7
	2	.3.4	Sammelleitung	7
	2.4	DIN	1 4060	8
	2.5	DIN	N 4062	8
	2.6	Koı	mmunale Satzung	8
	2.7	Ger	ichtsurteile	9
	2	.7.1	Entscheidungen des Bundesgerichtshofs	9
	2	.7.2	Entscheidung des Oberverwaltungsgerichts für das Land Nordrhein-Westfalen	10
	2	.7.3	Entscheidung des Landgerichts Essen	11
	2.8	Aus	swirkungen auf öffentliche und private Netzbetreiber	11
3	S	TAN	O VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK	13
	3.1	Wu	rzeleinwuchs	14
	3	.1.1	Natürliches Wurzelwachstum	14
	3	.1.2	Funktionen der Wurzeln	16
	3	.1.3	Wurzelentwicklung im städtischen Bereich	18
	3	.1.4	Wurzeln im Bereich von Versorgungsleitungen	20
	3.2	San	ierung	21
			Reparatur	24
			Renovierung	28
			Erneuerung	31
4	U	NTE	RSUCHUNGEN ZUM W URZELWUCHS	32
	4.1	Unt	ersuchungsumfang	32
	4.2	Bäu	me im Stadtgebiet von Gelsenkirchen	32
	4	.2.1	Ahorn	32
	4	.2.2	Bastardplatane	33
	4	.2.3	Kulturlinde	34
			Pappel	35
	4	.2.5	Robinie, Scheinakazie	36



Veranlassung und Zielstellung

Mit Datum vom 02.04.1998 wurde das Institut für unterirdische Infrastruktur, vormals Institut für Kanalisationstechnik, von GELSENKANAL, dem für die Abwasserbeseitigung zuständigen Eigenbetrieb der Stadt Gelsenkirchen, mit der Durchführung des Forschungsvorhabens:

Ökologische Auswirkungen von Wurzeleinwuchs in Abwasserkanälen und -leitungen und ökonomische Maßnahmen zur Schadensvermeidung und Sanierung

beauftragt.

1.1 Veranlassung

Verstopfungen von Kanälen kleiner Nennweite (z.B. Hausanschlussleitungen DN 150) und Abflussstörungen bei Kanälen größerer Nennweite infolge des Einwachsens von Wurzeln charakterisieren eine Schadensgruppe im öffentlichen und privaten Entwässerungsnetz, deren ökologische und ökonomische Auswirkungen derzeit noch nicht zuverlässig beurteilt werden können.

Erfahrungen aus dem Zeitraum der letzten 10 Jahre bspw. in Gelsenkirchen zeigen, dass sich selbst Erneuerungen, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprachen, nicht in allen Fällen als wurzelfest erwiesen.

In der Satzung über die Entwässerung der Grundstücke und den Anschluss an die öffentliche Abwasseranlage - Entwässerungssatzung - bspw. der Stadt Gelsenkirchen vom 14.02.1990 und entsprechenden Entwässerungssatzungen anderer Städte und Gemeinden in NRW ist geregelt, dass Grundstücksentwässerungsleitungen und Anschlusskanäle dicht gegen den Austritt von Abwasser und gegen das Eindringen von Baumwurzeln zu halten sind.

Aufgrund dieser Regelung wurde von Seiten der Stadt Gelsenkirchen in mehreren Gerichtsverfahren versucht, Ansprüche von Grundstückseigentümern abzuwehren, die auf Verwurzelungsschäden an Kanälen und Leitungen der Grundstücksentwässerung beruhen.

Mit Urteil des OVG Münster vom 11.04.1996 (AZ. 22 A 3106/94) wurde die Stadt Gelsenkirchen verpflichtet, Schadenersatz zu leisten und in Fällen, in denen bei der Baumpflanzung keine hinreichende Entfernung der Pflanzstellen zur bereits vorhandenen Leitung eingehalten worden ist, weitere Schädigungen zu verhindern. Das Gericht hat in der Urteilsbegründung im wesentlichen darauf abgestellt, dass die Stadt durch die Baumpflanzung in gefahrerhöhender Weise das Eindringen der Baumwurzeln erleichtert hat.

So sind im Stadtgebiet Gelsenkirchen derzeit etwa 100 Fälle, mit steigender Tendenz, anhängig, in denen von betroffenen Grundstückseigentümern Ansprüche auf Schadenersatz gestellt werden. Darüber hinaus sind aus anderen Städten in NRW vergleichbare Fälle bekannt. Die angemeldeten Ansprüche erfassen sowohl die bisherigen Kosten aus Inspektion und Reinigung der Leitungen als auch Folgekosten aus Sanierungsmaßnahmen.

Eine Verhinderung weiterer Schädigungen ist nur durch Sanierung der beschädigten Elemente der Grundstücksentwässerung in wurzelfester Ausführung möglich.

Eine Untersuchung der ökologischen Auswirkungen von Wurzeleinwüchsen in Abwasseranlagen sowie eine Bewertung vorhandener Sanierungsmaßnahmen ist dringend geboten, um

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 4 von 127



den Verantwortlichen in Städten und Gemeinden eine zuverlässige Entscheidungsfindung zu ermöglichen.

1.2 Zielstellung des Forschungsvorhabens

Zielstellung des Forschungsvorhabens ist die an Praxisbeispielen orientierte Untersuchung und Bewertung von

- ⇒ Rohrwerkstoffen und Rohrverbindungen hinsichtlich ihres Widerstandes gegen Wurzeleinwuchs.
- ⇒ Sanierungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Dichtheit von Grundstücksentwässerungsleitungen nach Schäden durch Wurzeleinwuchs.

Aufbauend auf dieser Bewertung sollen ökologische Auswirkungen von Wurzeleinwuchs ermittelt werden. Durch Erfassung und Bewertung gemeldeter sowie sanierter Wurzeleinwüchse wird u.a. die von unterschiedlichen Baumarten ausgehende Gefährdung eingeschätzt.

Ein Kosten-Nutzen-Vergleich der begleiteten Sanierungen in offener und geschlossener Bauweise ist nicht Bestandteil des Forschungsvorhabens.

1.3 Vorgehensweise

Um die komplexen Zusammenhänge bewerten zu können, die den Schadensfall Wurzeleinwuchs beeinflussen, wurden ca. 130 der in Gelsenkirchen gemeldeten Wurzeleinwuchsschäden wie folgt in einer Datenbank erfasst:

- ⇒ Schadensausmaß,
- ⇒ Schadensursache,
- ⇒ leitungsspezifische Randbedingungen
- ⇒ Rohrverbindungen und –werkstoffe und
- ⇒ geologische bzw. hydrogeologische Randbedingungen

Durch Verknüpfung bzw. Verschneidung dieser Parameter wurden weitergehende Aussagen erzielt.

Grundlage für die Interpretation der Ergebnisse ist eine möglichst genaue Kenntnis der Eigenschaften unterschiedlicher, im Stadtgebiet vorkommender Baumarten. Dabei müssen die das Baumwachstum bzw. Wurzelwachstum beeinflussende Faktoren, unter besonderer Betrachtung der natürlichen und der städtischen Baumstandorte, berücksichtigt werden. Hierzu wurde eine Literaturrecherche, unter Berücksichtigung biologischer und landschaftspflegerischer Aspekte, durchgeführt.

Die Sanierung von durch Wurzeleinwuchs geschädigten Grundstücksentwässerungsleitungen mit Verfahren in geschlossener Bauweise wird erst seit einigen Jahren durchgeführt. Im Rahmen des Vorhabens wurden die auf dem Markt befindlichen, nach Herstellerangaben für den Schadensfall Wurzeleinwuchs geeigneten Verfahren zusammengestellt. In 7 Pilotmaßnahmen kamen Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise zum Einsatz, die sich an den in Gelsenkirchen vorgefundenen Einbaubedingungen orientierten. Darüber hinaus wurden 2 Erneuerungsmaßnahmen in offener Bauweise begleitet. Dabei wurden Wurzelproben aus dem ge-

D:\endbericht.doc Seite 5 von 127 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



schädigten Bereichen entnommen und anhand von lichtmikroskopischen Untersuchungen an Wurzelschnitten dem schadenverursachenden Baum zugeordnet. Darüber hinaus wurden die Eigenschaften der Wurzeln anhand von Wurzelschnitten mit denen für einen natürlichen Wuchsort typischen Eigenschaften verglichen. Zusammenhänge zwischen Wurzelverlauf, Baumart, Bodeneigenschaften und Durchwurzelungsbild an Rohren bzw. Rohrverbindungen wurden herausgearbeitet.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 6 von 127



Gesetzliche Grundlagen und Normen

Landesbauordnung NRW

Seit dem 01. Januar 1996 enthält die Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NW) Vorschriften für die Überprüfung von privaten Abwasserleitungen [1].

Nach § 45 Abs. 5 BauO NW sind private Abwasserleitungen nach der Errichtung oder Änderung von Sachkundigen auf Dichtheit zu prüfen. Bestehende Anlagen müssen bis zum 31. Dezember 2015, Anlagen in Wasserschutzgebieten in der Regel bis zum 31. Dezember 2005 auf Dichtheit geprüft sein.

Nach § 45 Abs. 6 kann die Gemeinde für ihr Gebiet oder für abgegrenzte Teile des Gemeindegebietes durch Satzung kürzere Zeiträume für die erstmalige Prüfung nach Absatz 5 festlegen, wenn dies im Zusammenhang mit dem Ausbau oder der Instandhaltung der örtlichen Kanalisation steht und der Gefahrenabwehr dient.

2.2 **DIN 1986**

DIN 1986 Teil 30 [2] regelt die Instandhaltung von Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke. Die Dichtheit von bestehenden Anlagen, die nur häusliches Abwasser transportieren wird durch eine Inspektion mit einer Kanalfernsehanlage (KA) nachgewiesen. Nur bei wesentlichen baulichen Veränderungen und Erweiterungen (z.B. Sanierung/Totalumbau eines Gebäudes) ist eine Wasserdichtheitsprüfung (Druck) vorgesehen. Schäden sind zu dokumentieren und zu bewerten.

Werden Grundleitungen durch Innenauskleidung, z.B. Inliner saniert, darf der Mindestquerschnitt von DN 100 nicht unterschritten werden.

Begriffe nach DIN 1986 Teil 1 und DIN 4045

2.3.1 Anschlusskanal

Kanal zwischen dem öffentlichen Abwasserkanal und der Grundstücksgrenze bzw. der ersten Reinigungsöffnung (z.B. Übergabeschacht) auf dem Grundstück [3].

2.3.2 Abwasserleitungen

Leitung zwischen Entwässerungsgegenständen und der Grundstücksgrenze bzw. der letzten Reinigungsöffnung (z.B. Übergabeschacht) auf dem Grundstück. Weitere Leitungsarten sind in DIN 1986 Teil 1 [4] definiert.

2.3.3 Grundleitung

Im Erdreich oder der Grundplatte unzugänglich verlegte Leitung, die das Abwasser in der Regel dem Anschlusskanal zuführt.

2.3.4 Sammelleitung

Liegende Leitung zur Aufnahme des Abwassers von Fall- und Anschlussleitung, die nicht im Erdreich oder in der Grundplatte verlegt ist.

Seite 7 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



2.4 DIN 4060

Rohrverbindungen von Abwasserkanälen und –leitungen mit Elastomerdichtungen nach DIN 4060 [5] müssen nach Abschnitt 3.5 wurzelfest sein. Die Prüfung der Wurzelfestigkeit erfolgt nach Abschnitt 4.5. Dort ist beschrieben, dass der Nachweis der Dichtheit bei gleichzeitiger Scherlastbeanspruchung auch als Nachweis der Wurzelfestigkeit gilt.

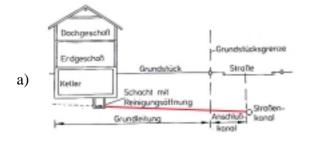
2.5 DIN 4062

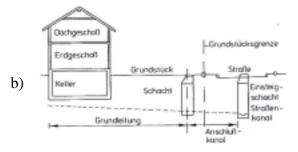
Im Gegensatz zur Wurzelfestigkeit der Rohrverbindungen von Abwasserkanälen und –leitungen nach DIN 4060 wird die Wurzelfestigkeit von kalt verarbeitbaren plastischen Dichtstoffen für Bauteile aus Beton nach DIN 4062, Abschn. 5.7 [6] geprüft. Diese Prüfung wird mit Hilfe von stark wurzelnden Pflanzen (Lupinien der Sorte Lupinus albus) durchgeführt. Eine Beurteilung der Wurzelfestigkeit der Dichtmittel erfolgt üblicherweise nach 6 Wochen, in den Wintermonaten nach 8 Wochen.

2.6 Kommunale Satzung

Die Regelung der Besitzverhältnisse und der Ausführung der Leitungsverlegung findet sich in den Entwässerungssatzungen der einzelnen Kommunen. Prinzipiell gibt es zwei Arten der Ausführung von Grundstücksentwässerungsleitungen und Anschlusskanälen.

- 1. Der Anschluss an den Straßenkanal erfolgt aus einem im Keller liegenden Revisionsschacht mit Revisionsstück. Die Leitung zwischen Straßenkanal und Revisionsstück wird ohne weitere Einläufe ausgeführt. Alle anderen Leitungen der Grundstücksentwässerung sind vor dem Revisionsschacht anzuschließen. (Abbildung 1 a)
- 2. An der Grundstücksgrenze wird zwischen Straßenkanal und Revisionsstück ein Schacht installiert, von dem Reinigungs- und Inspektionsmaßnahmen ausgeführt werden können. (Abbildung 1 b)





Die rot (—) gezeichnete Leitung wird nach der Entwässerungssatzung der Stadt Gelsenkirchen als *Grundstücksentwässerungsanschlussleitung* bezeichnet und im weiteren Text *Anschlusskanal* genannt.

Abbildung 1: Ausführungsarten der Grundstücksentwässerung [9]

- a) Reinigungsöffnung im Gebäude
- b) Einsteigschacht auf dem Grundstück

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 8 von 127



In Gelsenkirchen wird die Hausentwässerung nach Variante 1 (Abbildung 1 a) ausgeführt, der komplette Anschlusskanal, von der Reinigungsöffnung bis zum Straßenkanal, befindet sich in privatem Besitz.

2.7 Gerichtsurteile

2.7.1 Entscheidungen des Bundesgerichtshofs

Die Haftung für Schäden, die durch Eindringen von Wurzeln in die Entsorgungsleitungen verursacht werden, trifft vor allem die Kommunen, da sich vorwiegend Straßenbäume in der Nähe der Leitungen befinden.

Nach der Rechtsprechung ist grundsätzlich der Eigentümer, dessen Baum mit seinen Wurzeln in Leitungen eindringt, Störer im Sinn des § 1004 BGB und zur Beseitigung der Störung verpflichtet (siehe Urteile des Bundesgerichtshofes vom 07. März 1986 Neue Juristische Wochenschrift [NJW - 1986, 264]; 02. Dezember 1988 [NJW 1989, 1032]; 26. April 1991, Versicherungsrecht [VersR – 1991, 1179]) [7].

BGB § 1004 Anspruch auf Beseitigung und Unterlassung einer Beeinträchtigung

- (1)Wird das Eigentum in anderer Weise als durch Entziehung oder Vorenthaltung des Besitzes beeinträchtigt, so kann der Eigentümer von dem Störer die Beseitigung der Beeinträchtigung verlangen. Sind weitere Beeinträchtigungen zu besorgen, so kann der Eigentümer auf Unterlassung klagen.
- (2) Der Anspruch ist ausgeschlossen, wenn der Eigentümer zur Duldung verpflichtet ist.

Lässt der Geschädigte die Reparatur der von den Wurzeln beschädigten Leitungen auf eigene Kosten durchführen, so kann er diese Kosten vom Baumeigentümer nach § 812 BGB zurückverlangen, weil der Baumeigentümer insoweit ungerechtfertigt bereichert ist.

BGB § 812 Grundtatbestände der ungerechtfertigten Bereicherung

- (1)Wer durch die Leistung eines anderen oder in sonstiger Weise auf dessen Kosten etwas ohne rechtlichen Grund erlangt, ist ihm zur Herausgabe verpflichtet. Diese Verpflichtung besteht auch dann, wenn der rechtliche Grund später wegfällt oder der mit einer Leistung nach dem Inhalte des Rechtsgeschäfts bezweckte Erfolg nicht eintritt.
- (2) Als Leistung gilt auch die durch Vertrag erfolgte Anerkennung des Bestehens oder des Nichtbestehens eines Schuldverhältnisses.

Eine Entscheidung des Bundesgerichtshofes – Urteil vom 21. Oktober 1994, V ZR 12/94 schränkt diese weitreichenden Ersatzansprüche erstmals durch eine mögliche Mitverantwortung des Geschädigten nach § 254 BGB bei schadhaften Leitungen ein.

BGB § 254 Mitverschulden

(1)Hat bei der Entstehung des Schadens ein Verschulden des Beschädigten mitgewirkt, so hängt die Verpflichtung zum Ersatze sowie der Umfang des zu leistenden Ersatzes von den Umständen, insbesondere davon ab, inwieweit der



Schaden vorwiegend von dem einen oder dem anderen Teile verursacht worden ist.

(2) Dies gilt auch dann, wenn sich das Verschulden des Beschädigten darauf beschränkt, dass er unterlassen hat, den Schuldner auf die Gefahr eines ungewöhnlich hohen Schadens aufmerksam zu machen, die der Schuldner weder kannte noch kennen musste, oder dass er unterlassen hat, den Schaden abzuwenden oder zu mindern. Die Vorschrift des § 278 findet entsprechende Anwendung.

In der Urteilsbegründung heißt es:

"Es mag zutreffend sein, dass § 1004 BGB darauf abzielt, den gesetzmäßigen Zustand sicherzustellen, und dass die Haftung des Störers auf seiner rechtlichen Herrschaft über die Störungsquelle beruht. Gleiches gilt aber auch für den Eigentümer, wenn die Störung durch in seinen Herrschaftsbereich liegende Umstände mitverursacht wird. Dann sind auch die Verantwortlichkeiten dem allgemeinen Rechtsgedanken des § 254 BGB entsprechend zu verteilen. Auf ein Verschulden kann es dabei nicht ankommen. Ebensowenig wie der Störungsbeseitigungsanspruch des § 1004 Abs. 1 Satz 1 BGB an ein schuldhaftes Verhalten des Störers anknüpft, setzt die Mitverantwortlichkeit des gestörten Eigentümers für die eingetretene Störung einen Schuldvorwurf voraus."

Der Bundesgerichtshof nimmt eine Mitverantwortung des Eigentümers der verstopften Leitung nach § 254 BGB an, wenn die Leitung zum Zeitpunkt des Eindringen der Wurzeln bereits schadhaft war.

2.7.2 Entscheidung des Oberverwaltungsgerichts für das Land Nordrhein-Westfalen

In einer Entscheidung des Oberverwaltungsgerichts für das Land Nordrhein-Westfalen vom 11. April 1996 wurde die Stadt Gelsenkirchen zur Übernahme von Kosten für die Entfernung von Wurzeleinwuchs in einen privaten Anschlusskanal verurteilt [8]. In der Urteilsbegründung heißt es:

"Die Beklagte hat die aufgrund des Kanalbenutzungsverhältnisses obliegende (Sorgfalts-) Pflicht, Störungen der Funktionsfähigkeit des Grundstückanschlusses zu vermeiden, schuldhaft verletzt, indem sie den Ahorn leichtfertig direkt über die Anschlussleitung gepflanzt und dadurch das Eindringen von Baumwurzeln in gefahrerhöhender Weise erleichtert hat."

Der Verweis der Beklagten auf § 8 Abs. 5 EWS (Entwässerungssatzung), dass die Grundstücksentwässerungsanlage in einem ordnungsgemäßen Zustand, insbesondere dicht gegen den Austritt von Abwasser und gegen das Eindringen von Baumwurzeln zu halten sind, verstößt nach Auffassung des Verwaltungsgerichtes gegen das aus Art 20 Abs. 3 GG (Grundgesetz) folgende Rechtsstaatprinzip:

"Diese Regelung (EWS) ist jedoch, soweit sie über sämtliche bis dahin geltenden Satzungsbestimmungen hinaus nicht nur eine Abwasserdichtheit, sondern nunmehr auch eine Wurzeldichtigkeit von Abwasserleitungen verlangt, auf Altanlagen, die vor Inkrafttreten der EWS 1990 bereits in Übereinstimmung mit dem Stand der Technik und den zuvor geltenden satzungsrechtlichen Anforderungen hergestellt waren, nicht anwendbar. Denn die (nachträgli-

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 10 von 127



che) Forderung von Wurzeldichtigkeit verstößt bei Altanlagen gegen den aus dem Rechtsstaatprinzip (Art. 20 Abs. 3 GG) folgenden Grundsatz der Verhältnismäßigkeit, weil ihr Zweck in erster Linie darauf abzielt, die Stadt von Schadensansprüchen aus Baumpflanzungen freizustellen und damit auch die Folgen früheren pflichtwidrigen Verwaltungshandelns treuwidrig auf die Bürger abzuwälzen."

2.7.3 Entscheidung des Landgerichts Essen

Für die durch die Stadt Gelsenkirchen verursachten Schäden an Grundstücksentwässerungsanschlussleitungen durch Wurzeleinwuchs werden die Kosten für die Sanierung der Leitung zwischen dem Geschädigten und dem Verursacher geteilt. Die Kostenteilung erfolgt auf der Grundlage der in Gelsenkirchen üblichen Abschreibungsdauer für Kanäle von 100 Jahren. Der Verursacher übernimmt den Kostenanteil der sich aus der Restlebensdauer ergibt. Diese Regelung wird "neu für alt" genannt.

Im vorliegenden Fall hatte die geschädigte Leitung eine Restlebensdauer von 28 Jahren, bei einer Gesamtlebensdauer von 100 Jahren. Die Stadt Gelsenkirchen übernahm somit 28 % der Verlegekosten. Gegen diese Regelung klagte der Geschädigte auf Übernahme der Gesamtkosten durch den Verursacher.

In der Entscheidung des Landgerichts Essen vom 20. September 2000 wurde die in Gelsenkirchen angewandte Regelung "neu für alt" für die Sanierung von Anschlusskanälen bestätigt.

In der Urteilsbegründung heißt es:

"Der Kläger hat keinen Anspruch auf die Zahlung von weiteren 12.177,63 DM gem. einer positiven Vertragsverletzung des öffentlich-rechtlichen Kanalbenutzungsvertrages (vgl. hierzu das Urteil des OVG Münster vom 11.04.1996, Az.: 22 A 3106/94). Zu der Entscheidung auch über diesen öffentlich-rechtlichen Anspruch ist die Kammer gem. § 17 Abs. 2 Satz 1 GVG befugt und verpflichtet.

Bei diesem grundsätzlichen gegebenen Anspruch gemäß einer positiven Vertragsverletzung des öffentlich-rechtlichen Kanalbenutzungsverhältnisses hat der Kläger aber nur einen Anspruch auf die gezahlten 4.735,75 DM. Die Pflanzung des Baumes in der Nähe des Kanals war seitens der Beklagten pflichtwidrig und schuldhaft. Durch die Pflanzung des Baumes oberhalb des Kanals wurden die Verwurzelungsschäden an diesem erst verursacht. Bei diesem Anspruch handelt es sich um einen Schadensersatzanspruch bei dem gem. § 249 BGB ein Abzug unter dem Gesichtspunkt "neu für alt" vorzunehmen ist. Hiernach ist die Gesamtlebensdauer der ursprünglichen Leistung in Relation zu setzen zum vorzeitigen Austausch. Dabei ergibt sich, dass bei einem vorzeitigen Austausch nach 72 Jahren bei einer 100 jährigen Lebensdauer ein Abzug von 72 % von den Gesamtkosten vorzunehmen ist. Die verbleibenden 28 % entsprechen den gezahlten 4.735,75 DM."

Auswirkungen auf öffentliche und private Netzbetreiber 2.8

Mit Überarbeitung der Landesbauordnung für das Land NRW (BauO NW) [1] im Jahre 1996, wurde die Prüfung der Dichtheit von privaten Abwasserleitungen vorgeschrieben. Die hierfür vorgeschriebenen Nachweisfristen befinden sich, vom jetzigen Zeitpunkt aus betrachtet, noch weit in der Zukunft. Es besteht kein akuter Handlungsbedarf.

Wurzeleinwuchs in private Abwasserkanäle stellt derzeit einen der wenigen Gründe dar, bei dem vor Ablauf der Fristen eine Überprüfung und Sanierung der Leitungen notwendig ist. Rohre und Rohrverbindungen für Abwasserkanäle müssen wurzelfest, nach den geltenden Normen [5], ausgeführt werden. Diese Forderungen finden sich im Allgemeinen auch in den Entwässerungssatzungen der Städte, so z.B. der Stadt Gelsenkirchen. Sie lassen sich jedoch nur für neue Leitungen durchsetzen. Für Altleitungen gilt weiterhin das Verursacherprinzip.

Allerdings wird in der Regel nach einem Urteil des BGH dem Betreiber der Leitung eine Mitschuld zugesprochen, wenn der von ihm betriebene Abwasserkanal offensichtlich undicht ist [7].

D:\endbericht.doc Seite 12 von 127 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

3 Stand von Wissenschaft und Technik

Der Wurzeleinwuchs in die Kanalisation stellt heute immer noch eine häufig vorkommende Form von Abflusshindernissen dar, obwohl für alle Rohrwerkstoffe, Dichtmittel und Dichtringe sowie für die kompletten Rohrverbindungen bereits seit Ende der 50er-Jahre in den einschlägigen Normen Wurzelfestigkeit verlangt wird. [9]

Das Problem des Wurzeleinwuchs tritt nach heutiger Meinung nur bei solchen Kanälen auf, die ständig oder die meiste Zeit oberhalb des Grundwasserspiegels bzw. in Böden mit sehr begrenzten Wasserangebot liegen, da im anderen Fall der Wasserbedarf der im Bereich der Trasse vorhandenen Bäume und Sträucher bereits durch anstehendes Grundwasser gedeckt wird. [9]

Die durch undichte Kanäle exfiltrierenden Abwässer und diffundierenden Wasserdämpfe üben auf die äußerste Wurzelspitze einen Reiz aus, den sogenannten Hydrotropismus, der diese veranlasst, neue Zellen zu bilden, um so zur Reizquelle zu wachsen. Da diese Zellen äußerst klein sind, können sie auch durch feinste Risse, Poren, Löcher oder Undichtigkeiten in die Kanäle eindringen. Dort wächst die Wurzel bis zum vollständigen Verschluss des Rohrquerschnitts weiter, wobei Wurzellängen von mehreren Metern keine Seltenheit sind. Im Bereich der Eintrittsstelle kann es dabei zu Zerstörungen des entsprechenden Rohrbereiches kommen. Weitere Schäden können Lageabweichungen und partielle Zerstörungen von Rohren sein [9].

Mögliche Schadensfolgen von Wurzeleinwuchs in Kanalisationen sind:

- ⇒ Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bis hin zu Verstopfung und Rückstau,
- ⇒ Erhöhung des Wartungsaufwands sowie der damit verbundenen Kosten,
- ⇒ Vergrößerung von Undichtigkeiten.

Hinzu kommt das vermehrte Auftreten von Ablagerungen im Bereich von Wurzeleinwüchsen. Werden diese bei starkem Regenfall aufgewirbelt, gelangen bei Überlaufereignissen größere Schmutzstoffmengen in die Oberflächengewässer. Darüber hinaus kann es zu Geruchs- und Gasbelästigungen kommen. Korrosion und Zerstörung zementgebundener Werkstoffe werden begünstigt.

Wurzeleinwüchse können neben einer Verstopfung des Kanals auch zu einer Vergrößerung von Undichtigkeiten bzw. zu einer teilweisen Zerstörung der Rohre oder Bauwerke führen. Generell erhöhen Abflusshindernisse, wie z.B. Wurzeleinwüchse, durch die Vergrößerung der Rückstaugefahr das Gefährdungspotential durch exfiltrierendes Abwasser.

Das Entfernen von Wurzeln aus Kanälen nicht begehbarer Nennweite erfolgt heute vorwiegend durch den Einsatz ferngesteuerter Schneidgeräte unter Fernsehbeobachtung. In begehbaren Kanälen kann eine Beseitigung der Wurzeln von Hand erfolgen.

Nachteil dieser mechanisch arbeitenden Wurzelbeseitigung ist, dass das Herausschneiden zu einer verstärkten Wurzelneubildung führen kann und so eine erneute Behandlung in relativ kurzen Abständen notwendig macht.

Als Alternative zur mechanischen Wurzelbeseitigung wird die chemische Behandlung mit verschiedenen Herbiziden angesehen [9]. Die Herbizide werden in die außer Betrieb gesetzte

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 13 von 127



Leitung entweder in flüssiger Form bzw. als Schaum eingefüllt oder im zu behandelnden Bereich aufgesprüht. Hauptsächlich kommt das Verfahren mit geschäumten Herbiziden zum Einsatz, da es relativ einfach in der Handhabung ist und sich besonders gut für Anschlusskanäle eignet. Durch Umwandlung in Dämpfe wird der Schaum von den Wurzeln aufgenommen und führt nach ca. 4 - 20 Wochen, je nach Konzentration und Kontaktzeit, zu deren Verrottung. Die Wirkungsdauer kann sich auf 2 und mehr Jahre erstrecken. Trotz entsprechender Zulassungen der Mittel ist die Anwendung dieser Verfahren sowohl bei Verfahrensbetreibern als auch bei Kommunen umstritten [9].

Nach Entfernen der eingewachsenen Wurzeln müssen alle Undichtigkeiten - insbesondere auch die durch Wurzeleinwuchs verursachten - saniert werden.

3.1 Wurzeleinwuchs

3.1.1 Natürliches Wurzelwachstum

Das Wachstum der Wurzeln am natürlichen Standort ist von vielen Faktoren abhängig. Es lassen sich jedoch verallgemeinernd folgende Punkte anführen, die bei entsprechendem Zusammenwirken eine natürliche Ausprägung des Wurzelsystems eines Baumes fördern [10], [11]:

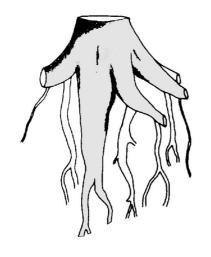
- Eine natürliche Bodenoberfläche, gekennzeichnet durch fehlende oder geringe Versiegelung, die einen Eintrag von Wasser, Gasen und anderen Stoffen aus der Umgebung ermöglicht. Hier stellt eine aufliegende Schicht Humus eine wichtige Größe bei der Aufrechterhaltung des Nährstoff- und pH-Haushaltes des Bodens, wie auch einen Schutz gegen Austrocknen dar.
- Ein natürlich ausgebildetes Bodenskelett, bestehend aus verwitterndem Naturgestein mit geringerer Verdichtung, erlaubt die Ausbreitung der in den Boden eingetragenen Stoffe, wie auch die Aufnahme von Wasser durch die Baumwurzeln aus Bodenporen mit einer Größe von >10µm. Am natürlichen Standort kann durch ein flaches Wachstum der Wurzeln der besser durchlüftete Bereich nahe der Oberfläche erschlossen werden.
- Ein erreichbarer Grundwasserspiegel zur Deckung des Wasserbedarfs. Die in tiefere Schichten des Erdreiches vordringenden Senkerwurzeln können den Wasserbedarf aus dem Bodenwasser (Kapillarsaum des Grundwassers) decken. Die Tiefe des Wurzelsystems ist abhängig vom Grundwasserstand, der Durchlüftung des Bodens sowie der Vitalität des Baumes.

Die Form des Wurzelsystems kann in Abhängigkeit der Baumart und der Umweltbedingungen auf 3 Grundtypen zurückgeführt werden (siehe Abbildung 2). Die Einordnung in die Grundtypen bezieht sich auf die Teile der Wurzel, welche die mechanische Verankerung im Boden bewirken. Das jeweilige Erscheinungsbild kann sich während des Wachstums verändern. [10]

Aufgrund der Vielfalt der für die Ausbildung des Wurzelsystems maßgebenden Einflussfaktoren muss den in der Literatur angegebenen verschiedenen Grundtypen gerade an städtischen Standorten eine Toleranz zugestanden werden [11]. Auch durch häufiges Umpflanzen und vegetative Vermehrung (Stecklinge) junger Bäume in der Baumschule werden diese Abweichungen verstärkt.

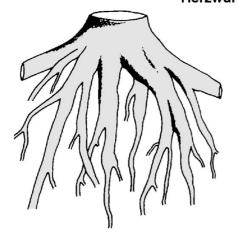
Übersicht der in der Literatur beschriebenen Wurzeltypen [10], [11], [13], [15]

Pfahlwurzel

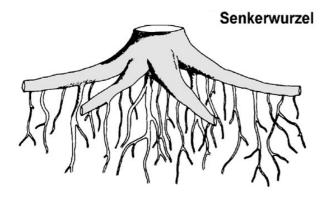


Ein großer Teil des Wurzelsystems dieses Typs besteht aus einer dominierensenkrecht abwärts gerichteten Hauptwurzel (z.B. junge Linden).





Hier fällt ein nach schräg abwärts gerichtetes Wachstum der meisten Wurzeln auf (z.B. Ahorn und Platane).



Dicht unter der Oberfläche des Substrates zweigen Wurzeln großen Durchmessers horizontal vom Zentrum ab. Geotrope Senkerwurzeln durchdringen tiefere Bodenschichten (z.B. Robinie)

Abbildung 2: Wurzeltypen

Die Ausbildung von pflanzlichen Organen, wie Wurzeln, ist im Zuge des Wachstums, genetisch festgelegt. Nach der Keimung des Samens, bestimmt die Schwerkraft, als von außen wirkender Reiz die Wuchsrichtung pflanzlicher Organe. Die sich im Zuge des Wachstums eines Baumes entwickelnden Hauptwurzeln, weisen, wie auch die Seitenwurzeln erster Ordnung, ein positiv geotropes Wachstum auf (sie wachsen in Richtung des Erdmittelpunktes).

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 15 von 127



Das Wachstum der hiervon abzweigenden Seitenwurzeln zweiter Ordnung wird als ungerichtet beschrieben [10]. Als Resultat dieser Verteilung des Wachstums wird der Boden am Standort gleichmäßig in alle Richtungen entsprechend der angegebenen Schemata der Wurzelsystem-Typen durchwurzelt. Veränderungen des Bodengefüges, insbesondere Bodenverdichtung und -versiegelung, können die Ausbildung von artuntypischen Merkmalen im Wurzelbereich zur Folge haben [11].

Das Wachstum von Wurzeln, also die Entwicklung des Wurzelsystems lässt eine Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Bodengefüges erkennen. Die Größe der Bodenporen in einem hauptsächlich sandigen Boden, lässt die Ausprägung längerer Wurzeln zu, als es im Vergleich zu einem lehmigen Boden, möglich ist. Mit abnehmender Größe der Bodenteilchen nehmen die Scherkräfte auf die Wurzeln bei Durchdringen des Bodens zu [10].

3.1.2 Funktionen der Wurzeln

Starke Wurzeln im Bereich des Oberbodens bewirken den mechanischen Halt und übernehmen die Funktion der Nährstoffspeicherung. Die Tiefe des Kapillarsaums des Bodenwassers bestimmt die Tiefe des Wurzelsystems, feine Wurzeln in der Nähe des Grundwasserspiegels erfüllen die Aufnahmefunktion [10], [12].

Die Durchwurzelung eines möglichst großen Bodenvolumens erschließt dem Baum den Vorrat des im Boden gespeicherten Wassers. Die Wurzeln können zu jeder Zeit eine maximale Menge an Wasser aufnehmen. Wobei nicht die starken, holzigen Skelettwurzeln den physiologischen Prozess der Wasseraufnahme realisieren, sondern kleine (~ 1 mm) sehr kurzlebige Wurzelhaare, die sich an unverholzten Faserwurzeln bilden. Die geringe Lebensdauer der Wurzelhaare und die damit verbundene Notwendigkeit der ständigen Neubildung erklärt, warum das Wurzelsystem zur Aufrechterhaltung seiner Aufnahmefunktion auf einen stetigen Zuwachs angewiesen ist [10].

Neben dem Weg über Wurzelhaare werden Stoffe bei den meisten Bäumen unter intakten ökologischen Bedingungen über ein symbiontisches Zusammenspiel mit Pilzzellen, den Mykorhiza aufgenommen. Diese Form von Pilzsymbionten können als durchgehende Schicht die Wurzeln vieler Bäume überziehen und sind ein Teil der natürlichen Bodenflora. Mit gegenseitigem Nutzen werden hier Stoffe zwischen den beiden Organismen ausgetauscht, wobei ein Mangel in der Funktion des einen Partners, ebenso negative Auswirkungen für den jeweils anderen zur Folge hat.

Mykorhizapilze bevorzugen Bodengefüge mit neutralem bis leicht saurem pH-Wert [10]. Die Aufrechterhaltung eines dauerhaften Stoffaustausches und somit einer natürlichen Entwicklung des Wurzelsystems, ist eng mit dem Zustand des Bodens (z.B. Durchlüftung, Verdichtung, Feuchtigkeit, besonders des pH-Wertes) verknüpft [10],[13].

Die für den mechanischen Halt zuständigen Wurzeln im Oberboden wachsen unter normalen Bedingungen gleichmäßig zu allen Seiten.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 16 von 127



Abbildung 3: Horizontale Belastung eines Baumes durch Wind [18]

Treffen Wurzeln bei Ihrem Wachstum auf Hindernisse, wie z.B. Leitungen, können diese von den Wurzeln umschlossen werden. Beim weiteren Wachstum ist die Wurzel bemüht die Kontaktspannung im gesamten Querschnitt konstant zu halten. Im Kontaktbereich gelingt der Wurzel dies durch eine Vergrößerung der Kontaktfläche (siehe Abbildung 4).

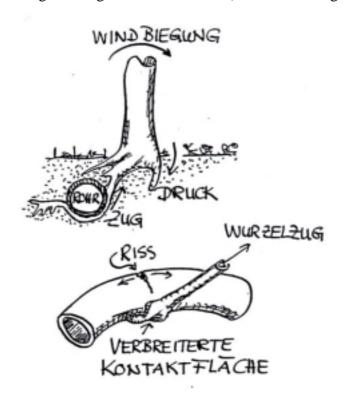


Abbildung 4: Schädigung einer Rohrleitung infolge Windbelastung [18]

Die sonst runde Form der Wurzel verändert sich zu einer mehr flachen Form. Das gleiche Verhalten lässt sich auch an Ästen oder Stämmen von Bäumen beobachten, die durch einen Fremdkörper belastet werden (siehe Abbildung 5)

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 17 von 127



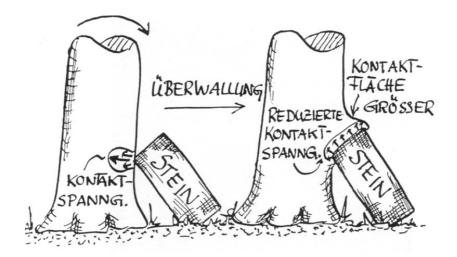


Abbildung 5: Vergrößerung der Kontaktfläche am Stamm eines Baumes zur Verringerung der Kontaktspannung [18]

Dynamisch wirkende Windlasten können nun die umschlossenen Leitungen zusätzlich belasten. Werden die zusätzlichen Lasten vom Rohrwerkstoff toleriert, besteht keine Gefahr für die umwurzelten Leitungen. Ist dies nicht der Fall, so kann es zu Schäden an den Leitungen kommen.

3.1.3 Wurzelentwicklung im städtischen Bereich

Baumstandorte im städtischen Bereich werden in der Regel im Anschluss an einen länger dauernden anthropogenen Eingriff angelegt. Mehrere Schichten Auftragshorizonte unter hoher Verdichtung, die oft Schuttbeimengungen und Schadstoffe enthalten, können einer gesunden Baumentwicklung entgegenstehen. Die Böden im Bereich von Baumstandorten in Großstädten sind teilweise durch einen erhöhten Kalkgehalt, resultierend aus Resten ehemaliger Stadtbebauung, gekennzeichnet, so dass die Lebensbedingungen für die Wurzeln der Bäume nicht optimal sind (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Schematische Wiedergabe des städtischen Wurzelraumes nach [10]

Große Mengen Geröll- oder Mörtelreste können den Effekt des oben erwähnten, höheren pH-Wertes unter abgedeckten Flächen steigern und eine Versorgung des Baumes mit Nährstoffen aus natürlichen Quellen behindern [11]. Dies begünstigt möglicherweise den Einwuchs von Baumwurzeln in Leitungen.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 18 von 127



Bei Planung und Ausführung von Baumstandorten sind die Bodenverhältnisse und die Bedingungen für ein dauerhaftes Wachstum zu berücksichtigen. Der Einsatz von Wuchssubstraten sowie die Anlage unverdichteter Bereiche abseits der unterirdischen Infrastruktur kann zur Begrenzung eines übermäßigen Wurzelwachstums im Bereich von Leitungen beitragen.[16]



Die Anlage von Baumpflanzungen umfasst in der Regel das Ausheben einer 2×2 m messenden Grube, die mit unverdichtetem Substrat ein- oder zweischichtig gefüllt wird. Im Zuge des Wachstums wird der unverdichtete Bereich in der Pflanzgrube, einem Blumentopf gleich, vollständig durchwurzelt. Die Ausbreitung der Wurzeln in den Bereich außerhalb der Grube ist aufgrund der dortigen Substrateigenschaften oftmals nicht möglich [10], [11].

Abbildung 7: Typischer Baumstandort im städtischen Bereich mit Nähe zur Bebauung



Leitungsgräben werden von den Baumwurzeln in Ermangelung anderer schwach verdichteter Bereiche als Raum für weiteres Wachstum erkannt. In der Folge können Wurzelspitzen in die Muffe bzw. schadhafte Stellen der Leitung eindringen.

Abbildung 8: Einwuchs von Ahornwurzeln in Steinzeugrohr mit Teerstrickdichtung

Die Effektivität der Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln hängt nicht allein vom Vorhandensein der Nährsalze ab, sondern wird auch durch andere Größen, wie z.B. pH-Wert, Wasserdargebot und Bodengefüge erheblich beeinflusst. Unter versiegelten Flächen kann durch Fortwehen von gefallenem Laub Nährstoffmangel (N, K, Mg2⁺) entstehen, da der ökologische Kreislauf unterbrochen wird. Der Wegfall der Huminsäuren aus verrottendem Laub kann auch eine Erhöhung des ph-Wertes bewirken [13].

Im Zusammenhang mit der Versiegelung der Oberfläche ist auch die Herabsetzung der Bodendurchlüftung durch Verdichtung zu berücksichtigen. An Aufgrabungen wurde das Abzweigen von Wurzeln an der Grenze zur Packlage der asphaltierten Straßendecke beobachtet [11]. In den betrachteten Fällen (Linde) wurde in dem stark verdichteten Bereich unter der Tragschicht kein Wurzelwuchs mehr beobachtet. Da nach DIN EN 1610 [14] Leitungen in ein künstliches Umfeld aus mittleren bis groben Sanden zu verlegen sind, bieten sich stattdessen Leitungsgräben für das Wurzelwachstum in besonderem Maße an.

Seite 19 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



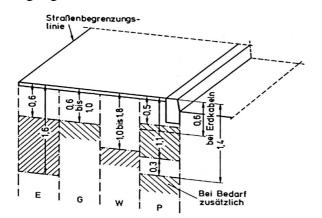
Abbildung 9: Wurzelwachstum entlang eines Leitungsgrabens [10]

Zur Aufrechterhaltung des pflanzlichen Stoffwechsels in den Wurzeln muss sowohl das von den Wurzeln als auch das von der Bodenfauna abgegebene CO₂ den Boden verlassen können. So sind Mykorhizapilze, die in Symbiose mit Laubbaumwurzeln leben, auf die Abfuhr von CO₂ und einen Zustrom von O₂ angewiesen. Im Falle der Robinie stellt darüber hinaus die Symbiose mit Knöllchenbakterien weitergehende Anforderungen an die Durchlüftung des Bodens, da gasförmiger Stickstoff aufgenommen und in den Nährstoffkreislauf eingebracht wird.

Die Auswahl einer geeigneten Baumart bei Abstimmung der Wuchsansprüche auf die am Standort des Baumes anzutreffenden Bedingungen [11], [26] stellt vermutlich den besten Weg dar, Probleme durch Wurzeleinwuchs dauerhaft zu vermeiden [10], [15], [16].

3.1.4 Wurzeln im Bereich von Versorgungsleitungen

Im Einflussbereich von Bäumen finden sich, neben Entsorgungsleitungen, auch Leitungen der Versorgung, wie Gas, Wasser, Telefon und Strom.



Legende:

E-Zone: Leitungen für

Elektrizitätsversorgung

G-Zone: Gasleitungen

W-Zone: Wasserleitungen

P-Zone: Leitungen der Deutschen

Bundespost

Abbildung 10: Zoneneinteilung nach DIN 1998 [17]

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 20 von 127

Diese Leitungen werden in geringer Tiefe im Gehwegbereich verlegt und haben zu den Bäumen sowohl horizontal, als auch vertikal einen meist kleineren Abstand als Abwasserkanäle und -leitungen. Die Zoneneinteilung in Gehwegen kann Abbildung 10 entnommen werden.





a) b)

Abbildung 11: a) Umwurzelte Versorgungsleitung

b) Umwurzelte Telefonleitung

Die in diesen Tiefen anzutreffenden Wurzeln älterer Bäume dienen jedoch der Einleitung der auf den Baum wirkenden vertikalen Lasten durch Eigengewicht und den horizontal wirkenden Windlasten (siehe Abbildung 11 a) und b)).

Erwähnt sei an dieser Stelle ein Gasunglück, das Anfang der neunziger Jahre zu einer Zerstörung eines Wohnhauses führte. Auslöser für dieses Unglück war die Umwurzelung einer Gasleitung durch eine Platanenwurzeln. Infolge über Jahre wirkender, dynamischer Windlasten kam es zu einem Ermüdungsbruch an einer durch eine Schweißnaht geschwächten Stelle einer Gasleitung aus Stahl [18]. Das Gas diffundierte durch einen Leitungsgraben ins Haus und kam dort zur Explosion.

Eine Gefährdung durch Wurzeleinwuchs besteht für Versorgungsleitungen, nach bisheriger Erkenntnis, nicht.

3.2 Sanierung

Nach DIN EN 752-1 [19] versteht man unter Sanierung alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen.

Die Verfahren zur baulichen Sanierung lassen sich in die drei Gruppen

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 21 von 127



- Reparatur
- Renovierung
- Erneuerung

einteilen. Eine ausführliche Zusammenstellung und Beschreibung der heute eingesetzten Verfahrenstypen kann [9] entnommen werden.

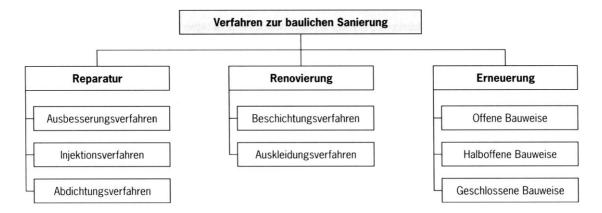


Abbildung 12: Übersicht über die Verfahrenshauptgruppen zur baulichen Sanierung von Entwässerungssystemen [9]

Eine Grundlage für die Auswahl von Sanierungsverfahren für Anschlusskanäle und Grundleitungen liefert die GSTT-Information Nr. 7, "Verfahren zur Reinigung, Inspektion, Dichtheitsprüfung und grabenlosen Schadensbehebung in Anschlusskanälen und Grundleitungen.".

Die GSTT-Information Nr. 7 unterscheidet zwischen Sanierung der

- ⇒ Anschlusskanäle bzw. Grundleitungen und
- ⇒ Anschlussbereiche, d.h. der Einmündung des Anschlusskanals in den Hauptkanal.

In Tabelle 1 ist exemplarisch eine aus der Information entnommene Entscheidungshilfe für die Sanierung mit Renovierungsverfahren dargestellt. Sie berücksichtigt Randbedingungen und Einsatzgrenzen wie

- ⇒ Arbeitsrichtungen, z.B. vom Hauptkanal zum Revisionsschacht,
- ⇒ Arbeitslängen,
- ⇒ Durchmesser Anschluss- / Grundleitung,
- ⇒ Einbeziehung von Bögen,
- ⇒ mögliche Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden 7 Grundstücksentwässerungsleitungen mit Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise saniert. So wurden 6 Anschlusskanäle zwischen der Reinigungsöffnung im Haus und dem Hauptkanal und die zugehörigen Einmündungen in den Hauptkanal saniert. Als siebte Maßnahme wurde eine unter dem Haus befindliche Grundleitung saniert.

Der Zugang zu den Grundstücksentwässerungsleitungen war in den 7 ausgewählten Sanierungsfällen nur über Reinigungsöffnungen möglich. Nach Tabelle 1 waren grundsätzlich alle

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 22 von 127



Renovierungsverfahren für die Sanierungen einsetzbar. Es bleibt allerdings unklar, ob seitliche Einläufe berücksichtigt werden können. Befinden sich zwischen dem Revisionsschacht und dem Hauptkanal seitliche Einläufe, so ist das Flexoren-Rohr der Firma Uponor-Anger AG nicht einsetzbar. Eine pauschale Auswahl der Sanierungsverfahren aufgrund der Tabelle ist somit nicht möglich.

Injektions- und Roboterverfahren, die zu den Reparaturverfahren zählen, wurden für die Sanierung der Anschlusskanäle nicht eingesetzt. Die vorhandene Technik kann weder über die Reinigungsöffnungen noch aus dem Hauptkanal in den Anschlusskanal eingebracht werden.

Erneuerungsverfahren in geschlossener Bauweise kamen ebenfalls nicht zum Einsatz. Die in der GSTT- Information Nr. 7 genannten Verfahren

- ⇒ HABM (Hausanschlussbohrmaschine) der Firma Bohrtec und
- ⇒ Grundocrack der Firma Tractotechnik

benötigen entweder begehbare Leitungsquerschnitte im Hauptkanal oder Start- bzw. Zielbaugruben. Für die ausgewählten Maßnahmen standen weder begehbare Leitungsquerschnitte zur Verfügung, noch sollten Aufgrabungen für die Durchführung der Sanierungen erfolgen.

Tabelle 1: Kriterien zur Auswahl von Sanierungsverfahren nach [20]

Tabelle & Technische Parameter – Sanierung (Renov	ierungsverfahren)						
		Renovierungsverfahren					
	Bezeichnung	KAS (keev.)	FAS (femst.)	HAS	Process Phoenix	Flexoren	Kaliberberste
	Hersteller	Insituform Techn. ¹⁾	Insitutore. Techn ¹¹	KMG	Phoenix	Uposar	Tracto-Technik
	Anwender z. B.	Insituform IRT ²⁾	Insituform IRT ²⁾	KMG ³⁵	Proussag ⁴⁾	K.T. Kunz Lobbe ⁵⁾	Tracto-Techni KMG ²⁾
	Material	SynthFilst UP oder EP	SynthFile/ EP	Glas/ EP/PU	Nylongewebe/ PE/EP	PE-HD	HDPE/ PVCGFK
	Einbauart	(warm-)/ kalthärtend	warmhirtend	warm-/ kalthärtend	warmhärtend	Einzug	Robreinzug
Arbeitsrichtung (nicht begehbare Dimensionen:)		Bei offe	ner Barweise des	Hauptkanals gi	lt sinngemäß Scha	cht = Baugrabe	
- Hauptkaral - Grundstücksgrenze	ja/nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein
- Hauptkanal - Revisionsschacht	ja/nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein
- Hauptkanal - Haus (Revisions@ffnung)	ja/nein	nein	ja	nein	nein	ja.	nein
- Revisionsschucht - Grundstücksgrenze	ja/nein	ja	ja	ja	nein	ja	ja
- Revisionsschacht - Revisionsschacht	ja/nein	ja	ja	ja	jn	ja	ja
- Haus (Revisionsöffnung) - Hauptkanal	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Arbeitslänge (Anschluß-/Grundleitung)	Ifd. m	-30	-15	-25	-500	-30	100
Durchmesser Hauptkanal von - bis	DN	ab 250	ab 250	> 200	200-900	>200	
Durchmesser Anschluß-Grundleitung von - bis	DN	150	150	100-200	>100	125-300	100-400
Position Amschlußleitung/Abgangswinkel	Uhrzeit ^a	0-12/0-90"	9-3/45-90"	0-12/-90*	0-12/0-90°	0-12/-90°	0-12/45-90°
Einbeziehung von Bögen möglich	Stitck/*	2-3/max. 45°	2-3/max, 45°	-45"	2/45*	3/max. 90°	max. 10°
Querschnittsreduzierung nach Einbau	mm	5-10	5-6	10	4-8	23-60	23-60
Abwasserhaltung Hauptkanal	ja/nein	nein	nein	ncin	nein	ncin	jn
Unterbrechung Abwasserfluß notwendig	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz seit (Erfahrung)	John	1984	1994	1995	1984	1993	1986
Anwender-Qualifikationen:							
- Zertifiziertes QM-System DIN ISO 9000 ff.	900/nein	199002,299001	19002,29000	399001	900049	90015)	59000
- Güteschutz Karulbau - sonstige	Gruppe/nein	2)-5-	Z)=S=	3)=5-	41-5-	S)=S=	nein
mögliche Qualitätssicherungsmallnahmen:	TV	ja	ja	ja	ja	ja.	jn
	DP	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	MatProbe	ja	nein	ncin	nein	ja	- ja
Bemerkungen: 1) Erweiterte Einsutzbereiche						Wasserschutz-	Ringraum-
1) Erweitene Eministrenene						zone III mit	verpressang
						spez. Dimmer	gleichzeitig mi
							Robreitung
							Verdrängung
							bei
							Einstura/
							Versatz

Seite 23 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



Für die Sanierung der Anschlussbereiche stehen Reparaturverfahren zu Verfügung, die dem Anhang entnommen werden können.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die in Gelsenkirchen angewandten Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise.

Tabelle 2: In Gelsenkirchen angewandte Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise

Sanierungs- fall	Sanierung 1	Sanierung 2	Sanierung 3	Sanierung 4	Sanierung 5	Sanierung 6	Sanierung 7
Anschluss- kanal	Schlauch- relining/ Kurz- schläuche		Schlauch- relining	Schlauch- relining	Rohrstrang verfahren	Kurz- schläuche	Schlauch- relining
Grundlei- tung	-	Schlauch- relining	-	-	-	-	-
Anschluss- bereich	Hutprofil	-	Hutprofil mit Kurz- schlauch	Spachtel- roboter	Hutprofil		-

In den folgenden Kapiteln sind die in den GSTT-Informationen aufgeführten Sanierungsverfahren, inklusive Injektions-, Roboter-, und Erneuerungsverfahren in geschlossener Bauweise zusammengefasst dargestellt (nach [9]).

3.2.1 Reparatur

Unter Reparatur, nach ATV-M 143 Teil 1 [21] auch als Instandsetzung bezeichnet, versteht man nach DIN EN 752-5 [22] Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden.

Zu den Reparaturverfahren zählen die

- Ausbesserungsverfahren
- Injektionsverfahren
- Abdichtungsverfahren

Reparaturen von außen werden sowohl an Einsteigschächten bzw. Schachtbauwerken als auch am Kanal selbst ausgeführt. Sie erfordern i.a. die Herstellung einer Baugrube.

Reparaturen von innen werden in begehbaren Kanälen und Bauwerken maschinell oder von Hand und/oder unter Verwendung geeigneter Hilfsmittel oder -geräte und in nichtbegehbaren Kanälen mit Hilfe ferngesteuerter Roboter durchgeführt. Sie können auch als Hilfs- bzw. Vorbereitungsmaßnahmen für Renovierungsverfahren eingesetzt werden.

Seite 24 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

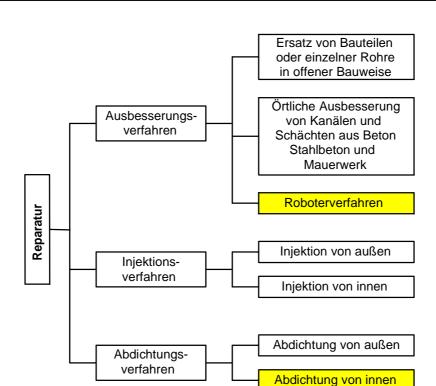


Abbildung 13: Übersicht über Reparaturverfahren. Die im Rahmen der Untersuchung eingesetzten Verfahren sind hervorgehoben.

3.2.1.1 Ausbesserungsverfahren

Ausbesserungsverfahren dienen zur örtlich begrenzten oder abschnittsweisen Ausbesserung oder zum Ersatz von Rohren bzw. Bauwerksteilen zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit, statischen Tragfähigkeit sowie der Wasserdichtheit.

Für die Ausbesserung nichtbegehbarer Kanäle stehen ferngesteuerte Roboterverfahren zur Behebung unterschiedliche Schäden, wie z. B. Undichtigkeiten, Abflusshindernisse, Risse, Rohrbruch, einragende oder nicht fachgerecht eingebaute Stutzen, von innen zur Verfügung.

Zu den auf dem Markt befindlichen Roboterverfahren gehören z.B.:

- KA-TE
- SikaRobot
- Kanaltec EL 300/EL 600
- Kasro
- PEKA-Tech
- ROBBYTECH
- PRIMO

Nachfolgend werden die Roboterverfahren am Beispiel des KA-TE-Systems, das im Rahmen der Sanierung eines Anschlussbereichs zum Einsatz kam, stellvertretend für die im folgenden angewendeten Systeme erläutert. Abbildung 14 zeigt einen KA-TE-Roboter mit Fräskopf.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 25 von 127





Abbildung 14: KA-TE-Roboter mit Fräskopf

Kernstück des KA-TE-Robotersystems ist ein selbstfahrendes Trägergerät, das mit Fräs-, Bohr- und Injektionsköpfen sowie einer Spachtelvorrichtung bzw. Schalung mit Mörtelzufuhr ausgerüstet werden kann. Das System eignet sich zur Reparatur in Kanälen aus Beton und Stahlbeton, Asbestzement, Stahl und Steinzeug mit Nennweiten DN 100 bis DN 800 bzw. entsprechenden Eiquerschnitten. Sämtliche Arbeiten erfolgen ferngesteuert und werden mit Hilfe einer eingebauten TV-Kamera überwacht. Zur Zentrierung und Führung des Roboters im Kanal stehen entsprechend der Rohrnennweite verschiedene aufsteckbare Radsätze zur Verfügung.

Fräs- und Bohrarbeiten können je nach Schadensart mit verschiedenen Werkzeugen unter Aufrechterhaltung einer teilweisen Vorflut im Kanal ausgeführt werden. Die Fräswerkzeuge werden hydraulisch mit einer Leistung von 3,3 KW bei einer Drehzahl von 5.400 min⁻¹ angetrieben. Um Heißlaufen und Leistungsverlust durch Verschmutzung zu verhindern, werden sie über eine Düse mit Kühlwasser besprüht.

In allen Reparaturfällen sind zur Erzielung einer optimalen Haftung lose Bestandteile durch Fräsen oder Hochdruckspülung zu entfernen. Bei Grundwasserinfiltrationen müssen undichte Stellen vorab durch Injektion abgedichtet werden.

Einsatzgrenzen für den KA-TE-Roboter sind nach Herstellerangaben aus technischer Sicht kaum gegeben, lediglich bei stark deformierten Rohren ist aus statischen Gründen von einer Innensanierung abzusehen.

3.2.1.2 Injektionsverfahren

Unter Injektion (Einpressen) wird in Anlehnung an DIN 4093 [23] das Einbringen von Injektionsmitteln (Einpressgut nach DIN 4093 [23]) in Risse und Hohlräume unter Druck über Einfüllstutzen verstanden. Hohlraum ist der Oberbegriff für natürliche und künstliche Hohlraumstrukturen aller Art:

im Felsgestein und in festen Tonböden für Klüfte, Spalten, Risse, Poren und kavernöse Strukturen,

Seite 26 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

- im Lockergestein für Poren
- in Bauwerken für Spalten, Fugen, Risse und Poren,
- zwischen Bauwerk und Untergrund für die Kontaktfugen.

Es handelt sich um Maßnahmen zur örtlich begrenzten oder abschnittsweisen Abdichtung und/oder Verfestigung von Lockergestein in der Leitungszone, von Rohrverbindungen oder Rissen und Poren in Rohren oder Bauteilen mit oder ohne Einbeziehung des Lockergesteins in der Leitungszone sowie zur Verfüllung von Hohlräumen im umgebenden Baugrund.

Injektionsverfahren kamen während der Vorhabens nicht zum Einsatz. Ein Einbau der für die Sanierung notwendigen Geräte durch die vorgefundenen Reinigungsöffnungen bzw. durch den Hauptkanal war nicht möglich.

3.2.1.3 Abdichtungsverfahren

Unter Abdichtungsverfahren versteht man örtlich begrenzte Maßnahmen zur Wiederherstellung der Wasserdichtheit und ggf. zur Stabilisierung der Tragfähigkeit. Sie erstrecken sich maßgeblich auf:

- Abdichtung von außen
 - Schrumpfschläuche
 - Außenmanschette
- Abdichtung von innen
 - Oberflächenbehandlung
 - Abdichtungsstoffe
 - Innenmanschetten.

Innenmanschetten gehören zu den Verfahren, die sich für einen Einsatz in Hauptkanälen wie auch in Anschlusskanälen und Grundleitungen eignen.

Sowohl in nichtbegehbaren als auch in begehbaren Kanälen können örtlich begrenzte Schäden und/oder betroffene Haltungsabschnitte durch den Einbau von Innenmanschetten abgedichtet und/oder stabilisiert werden. Die Verfahren lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

- Kurzschlauch-Verfahren (auch Kurzliner-Verfahren genannt)
 - Kurzschläuche auf der Basis von Kunstharz (GFK-Kurzschläuche)
 - Kurzschläuche auf der Basis von Zement als Bindemittel
- Innenmanschette aus Stahl mit
 - Elastomerdichtung
 - PU-Schaumdichtung
 - Kunstharzklebedichtung
- Innenmanschette aus PVC mit PE-Schaumdichtung
- Elastomermanschetten mit teilflächiger Verspannung

D:\endbericht.doc Seite 27 von 127 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



- Undichtigkeiten, Verwurzelungen, Versatz der Rohrverbindung
- Radialrisse

arten:

- begrenzte Längsrisse
- Scherben und
- Rohrbruch, insbesondere im Sohlenbereich.

Während des Forschungsvorhabens kamen Innenmanschette auf der Basis von Kunstharz (GfK-Kurzschläuche) zum Einsatz.

Der Einsatzbereich ist verfahrensabhängig und erstreckt sich vorzugsweise auf die Schadens-

3.2.2 Renovierung

Unter Renovierung versteht man nach [22] Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und –kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz.

Zur Durchführung der Maßnahmen dienen:

- Beschichtungsverfahren und
- Auskleidungsverfahren.

Renovierungsverfahren werden eingesetzt bei örtlich begrenzten, wiederholten Schäden sowie bei umfangreichen Schäden. Sie erstrecken sich immer auf mindestens eine Haltung.

Die Querschnittsabmessungen der zu sanierenden Haltung werden bei der Anwendung dieser Verfahren in der Regel reduziert. Daher muss im Vorlauf einer Renovierungsmaßnahme gemäß [22] überprüft werden, ob die dadurch bedingte Verringerung der Abflusskapazität zulässig ist.

Beschichtungsverfahren werden für die Sanierung von kleinen Querschnitten nicht angeboten und wurden deshalb im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht berücksichtigt.

Dagegen können Auskleidungsverfahren für die Sanierung von Leitungen der Grundstücksentwässerung angewandt werden.

Die Auskleidungsverfahren lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

- Auskleidung mit Rohren
- Auskleidung mit montierten Einzelelementen (Montageverfahren) in Form von
 - Teilauskleidungen des Sohlenbereiches oder
 - Vollauskleidungen

Unter Auskleidung mit Rohren versteht man die haltungsweise Herstellung selbsttragender Vollauskleidung von Kanälen auf der Basis

- vorgefertigter Rohre,
- örtlich hergestellter Rohre
- örtlich hergestellter und erhärtender Rohre.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 28 von 127



Bei den Montageverfahren, die in begehbaren Kanalhaltungen eingesetzt werden, unterscheidet man in Abhängigkeit des statischen Tragverhaltens zwischen selbsttragenden und nichtselbsttragenden Teil- und Vollauskleidungen.

Alle Vollauskleidungen werden nachfolgend auch als Inliner bezeichnet. Sie dienen zur Wiederherstellung oder Erhöhung des Widerstandsvermögen gegen physikalische, chemische, biochemische und/oder biologische Angriffe, zur Verhinderung einer erneuten Bildung von Inkrustationen, zur Wiederherstellung und/oder Erhöhung der statischen Tragfähigkeit sowie der Wasserdichtheit.

Nachträglich hergestellte Auskleidungen bedingen in der Regel eine Querschnittsreduzierung des zu sanierenden Kanals und damit entsprechend eine Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit.

In allen Fällen muss der zu sanierende Kanal zumindest vorübergehend standfest sein und das Einbringen der Auskleidung erlauben.

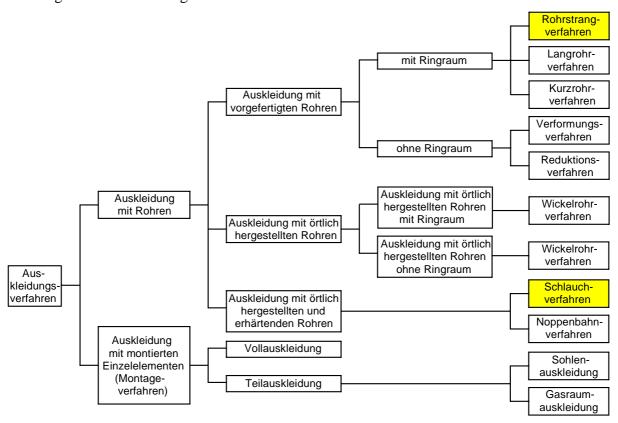


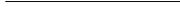
Abbildung 15: Übersicht über die eingesetzten Renovierungsverfahren. Die eingesetzten Verfahren sind farblich hervorgehoben.

Während des Forschungsvorhabens kamen

- ⇒ ein Rohrstrangverfahren und
- ⇒ Schlauchverfahren

zum Einsatz. Die Zuordnung der beiden Verfahren in die Gruppe der Renovierungsverfahren ist in Abbildung 15 dargestellt.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 29 von 127



3.2.2.1.1 Rohrstrangverfahren

Bei diesen Verfahren wird ein langer, flexibler und in den Stößen verschweißter Kunststoffrohrstrang aus PE-HD oder PP, dessen Außendurchmesser bzw. maximale Außenabmessung kleiner ist als die kleinste in der Haltung vorkommende lichte Weite, in einem Arbeitsgang über Baugruben oder Schächte in den zu sanierenden Kanalabschnitt (mindestens eine Haltung) eingezogen. Man unterscheidet zwischen:

- Rohrstrangverfahren mit Ringraum
 - Konventionelle Rohrstrangverfahren
 - Thermoline-Verfahren
 - Wellrohr-Verfahren

und

- Rohrstrangverfahren ohne Ringraum
 - Verformungsverfahren
 - Reduktionsverfahren.

Das für eine Sanierung angewandte Flexoren®-Verfahren gehört zu den Wellrohrverfahren.

3.2.2.1.2 Schlauchverfahren

ATV-M 143 Teil 3 [24] definiert die Schlauchverfahren bzw. das Schlauchrelining wie folgt:

"Ein Schlauch aus Trägermaterial, der mit Folien beschichtet sein kann, wird mit Reaktionsharz getränkt und über einen Schacht mit Wasser- oder Luftdruck in den Kanal umgestülpt oder mit Hilfe einer Winde in den Kanal eingezogen. Die Aushärtung erfolgt bei Normaltemperatur, durch Wärmezufuhr oder UV-Licht unter Innendruck. Es entsteht ein muffenloser Liner, der am bestehenden Kanal formschlüssig anliegen muss und mit diesem verbunden sein kann."

Beim Schlauchverfahren werden Harze, Träger- und Verstärkungsmaterialien sowie Zusatzstoffe entsprechend DIN 18820 [25] verwendet. Die Auswahl der Einzelkomponenten entscheidet über die Anfälligkeit zur Bildung von Falten, das aus dem Erhärten der Harze resultierende Schrumpfverhalten sowie die Festigkeitseigenschaften des Inliners.

Als Trägermaterial eignen sich Glas- und Polymerwerkstoffe, die gefilzt, gewebt oder gestrickt sind und die mit Folien sowohl außen als auch innen beschichtet sein können. Bezüglich des Kriteriums der Faltenbildung ist Filz etwas anfälliger als Gewebe oder Gestricke. Bei der Konfektionierung des Inlinerschlauches ist zu berücksichtigen, dass die lichten Kanalabmessungen Toleranzen aufweisen, die durch die Dehnbarkeit des Gewebeschlauches in Umfangrichtung kompensiert werden müssen.

Die Anzahl der zur Zeit auf dem Markt befindlichen Verfahren ist sehr groß. In Abhängigkeit insbesondere von der Art der Einbringung des Inlinerschlauches in die zu sanierende Haltung unterscheidet man zwischen:

- Einbringen durch Inversion (Umstülpen)
 - Insituform-Verfahren

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 30 von 127

- Houseliner-Verfahren (KMG)
- In-Tec-Verfahren
- Brawoliner-Verfahren
- Einbringen durch Einziehen
 - KM-Inliner-Verfahren
 - Multiliner.

3.2.3 Erneuerung

Unter Erneuerung versteht man nach DIN EN 752-5 [22] die Herstellung neuer Abwasserleitung und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen [9].

Die Erneuerung erfolgt immer mindestens Haltungsweise in:

- Offener Bauweise
- Halboffener Bauweise
- Geschlossener Bauweise

Eine Erneuerung kommt nach [21] alternativ zur Renovierung bei wiederholt auftretenden Schäden in Betracht, bei denen eine Instandsetzung mittels Renovierungsverfahren nicht mehr möglich ist.

Kann eine hydraulische Uberlastung oder eine Querschnittsreduzierung durch Renovierungsmaßnahmen nicht mehr toleriert werden oder ist ein hydraulisch größerer Abflussquerschnitt erforderlich, bleibt als einzige Sanierungsmaßnahme nur die Erneuerung übrig.

Bei der Erneuerung in gleicher Linienführung in geschlossener Bauweise erfolgt das Überfahren und Auswechseln des Altkanals unterirdisch, d.h. ohne Herstellung eines offenen Grabens.

Dabei werden im wesentlichen folgende Verfahren eingesetzt:

- Rohrvortrieb
- Berstliningverfahren
- Rohrziehverfahren

In allen Fällen sind zur Ausführung der Arbeiten Start- und je nach Verfahren Zielbaugruben erforderlich.

Das Prinzip des häufig eingesetzten Berstliningverfahrens besteht in der Zerstörung und Verdrängung der alten Leitung in den umgebenden Baugrund durch einen Verdrängungskörper. Hinter dem Verdrängungskörper wird in die aufgeweitete Leitungstrasse ein neues Rohr gleicher oder größerer Nennweite eingebaut. Die neue Leitung kann aus einem eingezogenen Rohrstrang oder aus eingezogenen oder eingeschobenen Kurzrohren bestehen. Durch die Verwendung von Kurzrohren ist es möglich, das Berstlining von einem vorhandenem Schacht aus durchzuführen, wobei zumindest der Anbindungsbereich im Schacht durch das Durchlaufen des Verdrängungskörpers beschädigt wird und erneuert werden muss.

Seite 31 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

4 Untersuchungen zum Wurzelwuchs

4.1 Untersuchungsumfang

Während des Projektes wurden

- ⇒ sieben Sanierungen in geschlossener Bauweise durchgeführt,
- ⇒ zwei Sanierungen in offener Bauweise begleitet und dabei Bodenproben aus verschiedenen Bereichen eines, in offener Bauweise erstellten, Leitungsgrabens entnommen und die Kornverteilungskurven bestimmt.

Zusätzlich wurden

- ⇒ 123 gemeldete Einwuchsfälle in einer Datenbank erfasst,
- ⇒ die zugehörigen schadensverursachenden Bäume identifiziert und beschrieben,
- ⇒ die geologisch und hydrogeologisch relevanten Parameter für die gemeldeten Fälle ermittelt und
- ⇒ die erfassten Daten ausgewertet.

4.2 Bäume im Stadtgebiet von Gelsenkirchen

Bäume im Bereich von Großstädten werden in einer Vielzahl von Arten und Formen angepflanzt. Sie weisen in Bezug auf die Form ihres Wurzelsystems, und die Ansprüche an ihren Standort, Unterschiede auf. Im Folgenden werden die in Gelsenkirchen mit Schäden in Zusammenhang gebrachten Baumarten beschrieben.

4.2.1 Ahorn

Die Ahornformen, Spitzahorn (*Acer platanoides*), Silberahorn (*Acer saccharinum*) und andere Ahornbäume, werden hier aufgrund ihrer Ähnlichkeiten zusammengefasst. Die Zuordnung der Ansprüche an den Wuchsort erfolgt hier für die gesamte Gattung Ahorn.

Das Verbreitungsgebiet des Spitzahorn liegt in Mittel- und Südeuropa, als Südgrenze wird Oberitalien, die Krim und das Kaukasusgebirge, als Nordgrenze Nordnorwegen bis zum Uralgebirge angegeben [26],[27]. Die natürlich vorkommenden Arten sind wenig anspruchsvoll. Sie sind tolerant gegenüber Staunässe und Überschwemmungen.

Der Bergahorn gilt als Nährstoff- und Mullbodenanzeiger und zählt zu den anspruchsvolleren Bäumen.

Beide Bäume gelten als nur mäßig schattentolerant [11].

Die in den Städten angepflanzten Bäume sind Zuchtformen, die in Bezug auf den Boden zu den anspruchsvollen Bäumen zählen. Sie sind, wie der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), als Nährstoff- und Mullbodenzeiger anzusehen [11],[27].

Das Einwachsen von Wurzeln in Rohre, wie auch das Anheben von Ver- und Entsorgungsleitungen wird in der Literatur für Ahornarten als möglich bis häufig beschrieben [9], [11].

Ahornbäume reagieren auf ein Zurückschneiden mit verstärktem Stockausschlag. Für die Wurzeln des Ahorn kann die gleiche Reaktion nach einer Reinigung mit Fräsgeräten erfol-

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 32 von 127



Das Wurzelwerk der Ahornbäume entspricht dem Herzwurzeltyp mit der Ausbildung von Senkerwurzeln (siehe Abbildung 2) [10], [11].

Die Wurzeln in horizontaler Richtung haben eine hohen Anteil und sind häufig im Durchmesser größer als 5 cm. Sie übertragen die auf den Baum wirkenden Windlasten in den Boden. In der Wurzelplatte tritt ein hoher Anteil an Wurzeln mit einem Durchmesser < 1 cm auf (Faserwurzeln, Feinstwurzeln (uneinheitliche Einordnung)) [11], [15].





a) Erscheinungsbild des Ahorn in natürlicher Umgebung

b) Blattform

Abbildung 16: Charakteristische Erkennungsmerkmale des Ahorn

4.2.2 Bastardplatane

(Platanus × acerifolia) (AIT.) WILLD.; (P. × hispanica) MUENCHH.

Bei der angepflanzten Art handelt es sich oft um die Mischform aus den Ausgangsarten *P.occidentalis* und *P. orientalis*. Die natürliche Heimat von P.orientalis sind mediterrane, trocken-warme Gebiete Europas und Westasiens. Die Art kommt hier als Flussbegleiter vor. *P. occidentalis* ist im Osten Nordamerikas beheimatet und im kontinentalen Klima ebenso an Trockenheit gewöhnt. [26], [27]

Um längere Trockenperioden zu überdauern, bildet die Platane ein tiefes Wurzelsystem aus. Auf diese Weise kann trotz eines niedrigen Grundwasserspiegels der Bedarf an Wasser gedeckt werden [11]. Am natürlichen Standort kann durch ein tiefes Wachstum der Wurzeln das im Bereich von trockenfallenden Flüssen und Trockenbetten stark schwankende Grundwasser erreicht werden. Die Toleranz gegen Überflutung sichert das Bestehen bei saisonalem Hochwasser.

Aufgrund ihrer Fähigkeit, Trockenheit, Überflutung, wie auch Bodenversalzung zu tolerieren, wird die Bastardplatane als ein idealer Stadtbaum beschrieben [11].

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand:A00-26.09.01 Seite 33 von 127



Das Wurzelsystem wird dem Herzwurzeltyp zugeordnet, welches hier dicht verzweigt ist und eine hohe Wurzelmenge aufweist (Abbildung 2). Die Hauptwurzeln dringen vergleichbar tief in den Boden vor [10], heben häufig Straßenbelege an [11], [26] und neigen dazu, in Anschlusskanäle einzuwachsen [9].



a) Abblätternde Borke am Stamm einer b) Blattform Platane

Abbildung 17: Charakteristische Erkennungsmerkmale der Platane

Die Aste von Platanen (Abbildung 17 a)) sind durch ihre abblätternde Borke und auffälligen Fruchtständen auch ohne Blätter gut zu erkennen. Abbildung 17 b) gibt ein Blatt der Platane wieder.

Die vegetative Vermehrung in den Baumschulen, durch Anzucht der Stecklinge, hat oft zur Folge, dass die so heranwachsenden Bäume eine veränderte Wuchsform im Kronen- wie auch im Wurzelbereich aufweisen. Die Folge ist oft die Ausbildung eines artuntypischen büschelförmigen Wurzelwerkes [11].

4.2.3 Kulturlinde

(*Tilia* × *europaea* `Pallida´ und andere Hybriden)

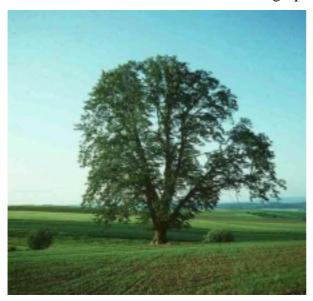
Die beiden in Mitteleuropa heimischen Linden, die Winter- und die Sommerlinde sind geeignet im städtischen Raum angepflanzt zu werden [11]. Sie sind in der Lage, eine eingeschränkte Sonnenbestrahlung in Folge der Bebauung, wie auch die Luftbelastung im Großstadtraum zu tolerieren. Statt der heimischen Winter- und Sommerlinde (T.cordata und T.platyphyllos) [26], werden in Städten häufig Hybridsorten, wie Tilia × europaea `Pallida´ angepflanzt [11]. Diese Bäume sind noch besser an das Stadtmilieu angepasst. Sie sind toleranter gegenüber Schadstoffbelastungen der Luft und des Bodens [11].

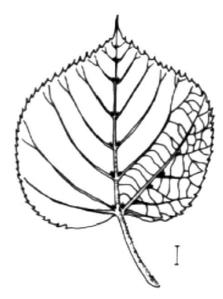
Werden Linden neben den Straßenkörper gepflanzt weichen die Wurzeln von ihrer ursprünglichen Wuchsrichtung ab und meiden den Bereich unter der Straßendecke. Als Ursache wird eine Empfindlichkeit gegen mangelnde Bodendurchlüftung, wie sie unter den hoch verdichteten Bodenbereichen unterhalb der Straßendecke vorzufinden sind, angenommen [11].

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 34 von 127



Das Wurzelsystem wird bei 7 bis 8 Jahre alten Bäumen vorwiegend von Pfahlwurzeln gebildet, bei älteren Bäumen tritt an deren Stelle ein kräftiges Herzwurzelsystem (Abbildung 2) [11]. Dabei kann ein hoher Anteil an Feinwurzeln und Wurzelpolstern dicht unter der Oberfläche festgestellt werden [15]. Zudem wurde eine weitreichende Ausdehnung des Wurzelsystems zur Seite und in die Tiefe vorgefunden. Trotz dieses, für das Einwachsen der Wurzeln in Anschlusskanäle günstigen Verhaltens, wird den Wurzeln der Linde in Arten und Sorten eine Interaktion mit Anschlusskanälen abgesprochen [9].





- a) Erscheinungsbild der Linde
- b) Blattform

Abbildung 18: Charakteristische Erkennungsmerkmale der Linde

Durch die vegetative Vermehrung in den Baumschulen können die so erhaltenen Stecklinge beim Heranwachsen die Ausbildung eines artuntypischen büschelförmigen Wurzelwerkes aufweisen (siehe Platane).

Linden (Abbildung 18 a)) sind durch ihre auffallende Blattform, wie durch den Umriss des Baumes zu erkennen.

4.2.4 Pappel

(Populus alba, Populus balsaminifera, Populus nigra, Populus tremula, Populus berolinensis)

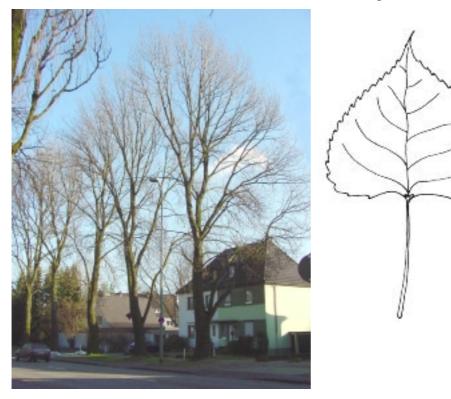
Trotz unterschiedlicher Charakteristika bezüglich Herkunft und Wuchs weisen die Arten einen vergleichbaren Wurzelwuchs auf und werden an dieser Stelle zusammengefasst.

Für ihr Wachstum benötigen alle Pappelarten nährstoffreiche und ausreichend feuchte Böden. Die Bäume werden aufgrund ihres durchschnittlich schnellen Wachstums zur Gewinnung von Nutzholz angepflanzt[13].

Pappeln weisen ein weites Wurzelsystem auf, dessen Ausprägung in Tiefe und Weite stark an die Gegebenheiten am Standort angepasst ist und vom Alter des Baumes abhängt. Sie bilden ein intensiven Wurzelwerk und neigen dazu, zusätzliche Wurzeln, Adventivwurzeln genannt, in der Nähe des Stammes auszubilden [15].

Seite 35 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

Mit Ausnahme der Berliner Lorbeerpappel (Populus berolinensis) werden für alle Arten Wurzeln beschrieben, welche über die Kronentraufe herausragen [10].



a) Erscheinungsbild der Pappel

b) Blattform

Abbildung 19: Charakteristische Erkennungsmerkmale der Pappel

Aufgrund ihrer Resistenz gegenüber dem Stadtklima werden die Pappelarten relativ häufig angepflanzt [11]. In Folge des starken Ausschlags von Geäst im unteren Bereich des Stammes sind Pappeln leicht zu erkennen. Abbildung 19 b) gibt ein Blatt der Pappel wieder. In Abbildung 19 a) ist der Baum in der Ansicht dargestellt.

4.2.5 Robinie, Scheinakazie

Robinia pseudoacacia L.

Als Charakteristikum für die Gruppe der Schmetterlingsblütler stellt sich die im Wurzelbereich auftretende Symbiose mit Knöllchenbakterien dar [13].

Das natürliche Verbreitungsgebiet dieser Art befindet sich in Nordamerika und Mitteleuropa. Sie wird seit Jahrhunderten angepflanzt [26], [27].

Die Fähigkeit, auf mageren Böden, mit Hilfe der symbiotischen Stickstofffixierung, den Bedarf an Stickstoff aus der Luft zu decken, verschafft der Robinie gegenüber anderen Bäumen den Vorteil, nährstoffarme Standorte besiedeln zu können.

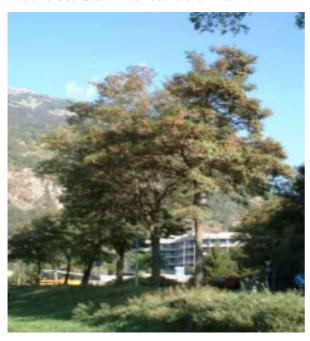
Die Gattung wird als idealer Straßenbaum mit Resistenz gegen städtische Belastungsfaktoren (Abgas, Bodenversalzung) dargestellt [11]. Robinien neigen nicht zum Einwuchs in Abwasserleitungen [9], [10]. Diese Tatsache könnte andeuten, dass die Bäume aufgrund der beschriebenen Symbiose den Nährstoffbedarf in städtischer Umgebung decken können.

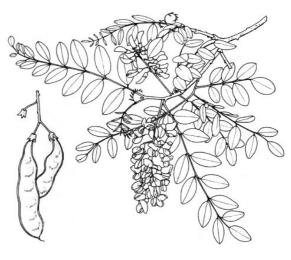
Seite 36 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



Das Wurzelsystem wird als tief reichend (bis 8-9 m), wie auch sehr variabel von Bodenparametern abhängig beschrieben. Verallgemeinernd wird ein weitreichendes Wachstum von starken Wurzeln dicht unter der Oberfläche angegeben. Des weiteren wird die Ausbildung von Senkerwurzeln [10], [11], [15] und das Vorkommen von Wurzelausläufern im Bereich der Kronentraufe beschrieben [26].

Als Pioniergehölz zeichnet sich die Robinie durch einen großen Bedarf an Licht aus, so dass aus dem einseitigen Wuchs, der Richtung der stärksten Bestrahlung entgegen, ein schräger Wuchs des Stammes resultieren kann.





Erscheinungbild der Robinie a)

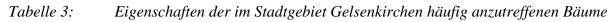
b) Blattform und Früchte

Abbildung 20: Charakteristische Erkennungsmerkmale der Robinie

Robinien (Abbildung 20 a)) sind durch Fiederblätter (geteilte Blätter), wie auch durch Dornen, Nebenblattdornen genannt, zu erkennen. Abbildungsteil b) gibt Blatt und Frucht der Robinie wieder.

Seite 37 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

38



Art	Wurzelsystem	Bodenanspruch	Verbreitungsgebiet	Anmerkungen
Ahorn – Hybriden und Formen u.a. Acer platanoides Acer Saccharinum	- Herzwurzel / Senker [26] - Tiefreichend [11]	 wenig anspruchsvoll, wenig empfindlich gegenüber Staunässe und Überschwemmungen[26]. toleranter als übrige Ahorn-Arten und – Sorten[26] Bevorzugt werden luftfeuchte, und tiefgründige Böden. Oft wird eine Neigung zu Uferbereichen beschrieben[26] 	- Mittel- und Südeuropa, der gesamte zentraleuro- päische Bereich	 teilweise Leitarten sommergüner Laubwälder [26] in Wäldern nur teilweise bestandsbildend, da mäßig schattentolerant.[13] neben Spitzahorn sind in Städten eine Fülle von Hybridsorten angepflanzt, die hier zusammengefasst werden
Platane Platanus × acerifolia	 wird zu den tiefwurzelnden Bäumen gezählt [11] es wird ein weites, flaches Wurzelsystem mit tiefen Senkerwurzeln beschrieben [12],[15] 	- feuchte Böden, jedoch keine Staunässe [26]	- P.occidentalis tritt in Osteuropa und Westasien auf. P.orientalis taucht in mediterranen Gebieten als Flussbegleiter auf. [26], [27]	- angepflanzte <i>Platanus</i> × acerifolia ist ist ein Bastard aus <i>P.occidentalis</i> und <i>P. orientalis</i> [26],[27]
Linde Tilia cordata Tilia platyphyllos Tilia tomentosa	 vorwiegend Seitenwurzeln, jedoch eine hoher Anteil von Faserwurzeln im Bereich der Wurzelplatte [15] es wird für alle Linden ein weitrei- chendes Wurzelsystem beschrieben 	- ohne besonderen Anspruch	 Nördliche gemäßigte Zone / Mitteleuropa Berglagen bevorzugt 	 Durchschnittlich breite Krone empfindlich für mangelnde Bodendurchlüftung [11] schatten- und abgastolerant
Pappel u.a. Populus nigra Populus tremula Populus nigra	- Tiefwurzler, Herzwurzler, feines Wurzelsystem, weitreichendes Wurzelsystem [10]	- Unspezifisch, jedoch meist intolerant gegenüber Versalzung [11]	- Je nach Art: Europa oder Amerika	- Die Bäume werden aufgrund ihres durch- schnittlich schnellen Wachstums zur Ge- winnung von Nutzholz angepflanzt[13].
Robinie Robinia pseudoaccacia	 sehr variabel, teilweise Wurzelausläufer oft flach wurzelnd mit Senkerwurzeln 	 Die Robinie wird als Pioniergehölz beschrieben [26],[27] und stellt keinen Anspruch an den Boden Im Zuge von Verwilderung überall heimisch 	- natürliches Vorkommen in den vereinigten Staa- ten [26]	hier tritt im Wurzelbereich eine Symbiose mit Actinomyceten/Strahlenpilzen auf, die in der Lage sind, bei entsprechenden Bodenverhältnissen, N_2 aus der Luft aufzunehmen[11],[27]

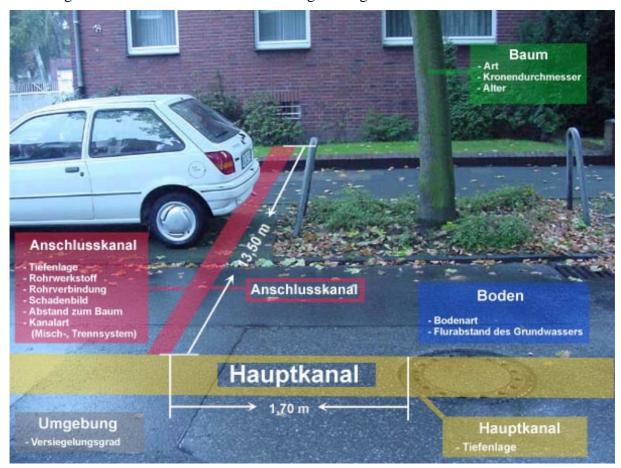


4.3 **Datenauswertung**

Das Einwachsen von Wurzeln in Abwasserleitungen hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab. Als lebende Organismen tendieren Wurzeln dazu, sich den Ihnen gegebenen Umweltbedingungen anzupassen, insbesondere um ihre Bedürfnisse nach Wasser und Nährstoffen zu decken.

Gerade im städtischen Gebiet kann ein Baum sein Wurzelwerk nicht gleichmäßig ausbilden, da infolge anthropogener Einwirkungen der umgebene Bodenkörper verändert wurde. Es finden sich neben dem gewachsenen Boden versiegelte Flächen, Leitungsgräben sowie Leitungen der Ver- und Entsorgung. Daneben beeinflussen die Eigenschaften des vorhandenen Bodens und Flurabstände des Grundwassers maßgeblich das Wurzelwachstum. Um eine Abhängigkeit zwischen den unterschiedlichen Randbedingungen feststellen zu können, wurden die maßgebende Parameter in einer Datenbank erfasst, durch Abfragen miteinander verknüpft und die Ergebnisse graphisch dargestellt.

Die maßgeblichen Parameter sind in Abbildung 21 dargestellt.



Übersicht über die maßgeblichen Parameter für den Schadensfall Wurze-Abbildung 21: leinwuchs

4.3.1 Rohrwerkstoffe, Dichtungen

Die verwendeten Rohrwerkstoffe und Dichtungen wurden aufgrund der Angaben in den Inspektionsprotokollen in die Datenbank eingetragen. In 73 Fällen konnte der Rohrwerkstoff

D:\endbericht.doc Stand: A00-26.09.01 Seite 39 von 127 26.09.01 - HS

KT

der geschädigten Kanäle benannt werden. In 70 gemeldeten Fällen wuchsen Wurzeln in eine "alte", heute nicht mehr verwendete Rohrverbindungsart der Steinzeugrohre ein, bei der geteerter Hanfstrick als Dichtungen eingesetzt wurde.

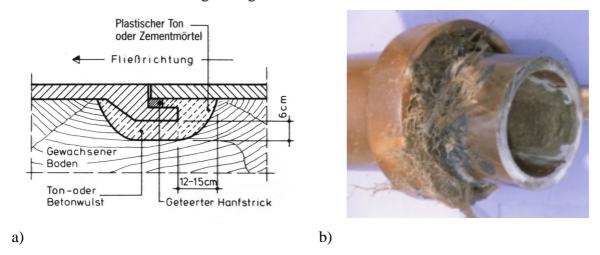


Abbildung 22: a) Rohrverbindung mit geteertem Hanfstrick (Zeichnung) b) Rohrverbindung aus einer Sanierungsmaßnahme in Gelsenkirchen

Die Prinzipskizze in Abbildung 22 a) stellt den Aufbau dar. Statt der in der Abbildung dargestellten Ausführung mit einer Beton oder Tonwulst wurden die Rohre ebenfalls mit einer Wulst aus Teer oder Bitumen zusätzlich ummantelt (Abbildung 22 b)). Zweimal wurde die Leitung als aus Gusseisen (Grauguss) bestehend identifiziert. In einem Fall wurde der Werkstoff PVC genannt (siehe Diagramm 1).

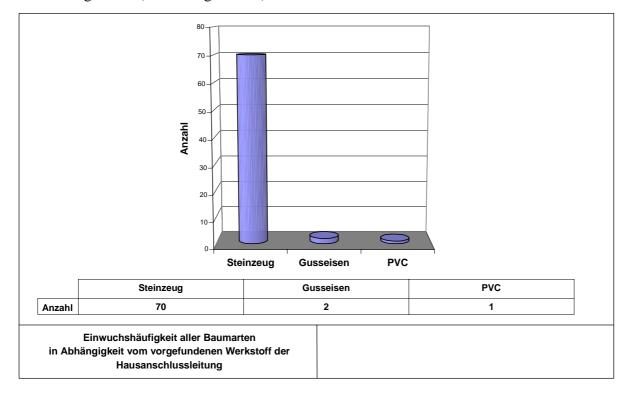


Diagramm 1: Einwuchshäufigkeit aller Baumarten in Abhängigkeit vom vorgefundenen Rohrwerkstoff

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 40 von 127



4.3.2 Verteilung der Baumarten

Die Daten bezüglich der Verteilung der an den Schadenfällen beteiligten Bäume wurden zum einen aus Informationen von GELSENGRÜN, dem für die öffentlichen Grünflächen in Gelsenkirchen zuständigen Eigenbetrieb, wie auch durch Inaugenscheinnahme der Bäume an den Standorten gewonnen. Für die Zusammenstellung der Baumarten wurden die angepflanzten Bäume Acer platanoides, Acer Saccharinum, und andere Acer-Hybriden als "Ahorn" zusammengefasst.

An 21 Standorten wurden keine Bäume mehr vorgefunden. Sie wurden, um weiteren Schaden zu vermeiden, bereits entfernt.

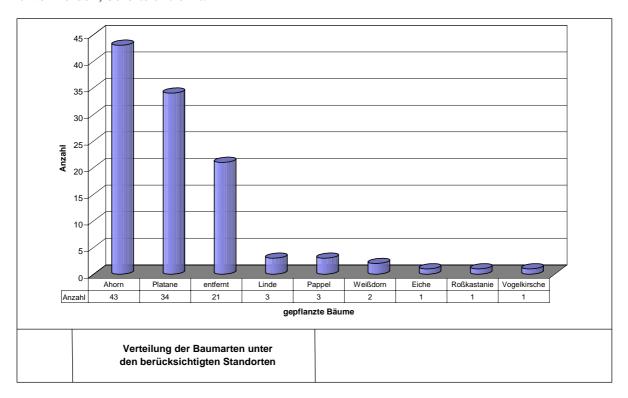


Diagramm 2: Verteilung der Baumarten unter den berücksichtigten Standorten

Auffallend ist die in Diagramm 2 zu erkennende Häufung der Einwüchse bei Bäumen der Gattung Ahorn und Platane, die einen Gesamtanteil von 87 % (77 Fälle) ausmachen. Ahorn ist mit 49 % (43 Fälle) der am häufigsten einwachsende Baum. Beide Baumarten werden als besonders resistent gegen Umweltbelastungen beschrieben und daher häufig angepflanzt. Eine Korrelation zu der Verteilung der in Gelsenkirchen angepflanzten Bäume konnte nicht untersucht werden, da keine zuverlässigen Zahlen über gepflanzte Bäume unterschiedlicher Gattungen vorlagen.

Die in Gelsenkirchen vorkommende Art der Robinie wächst auf der Grundlage der vorliegenden Daten gar nicht in Abwasserkanäle ein (vgl. Diagramm 2). Dies könnte mit der Art der Aufnahme des Nährstoffs Stickstoff in Zusammenhang stehen. Die Wurzeln der Robinie leben in Symbiose mit einer Pilzart, die auch geringe Mengen Stickstoff für die Robinie verwertbar machen. Da dieser Bedarf aus dem Boden gedeckt wird, ist die Erschließung anderer Nährstoffquellen, z.B. Anschlusskanäle und Grundleitungen, nicht notwendig.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 41 von 127



Weitere Baumarten sind an den Schäden in Gelsenkirchen selten beteiligt. Linde und Pappel sind mit jeweils drei Einwüchsen in Zusammenhang zu bringen, Weißdorn mit zwei Fällen sowie Eiche, Rosskastanie und Vogelkirschen mit jeweils einem Fall. Im Folgenden wurden nur für Ahorn und Platane weitergehende Auswertungen durchgeführt.

4.3.3 Einwuchshäufigkeit in Abhängigkeit von der Bodenart

Den Standorten der Straßenbäume wurden nach der ingenieurgeologischen Karte des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen [28], die entsprechende Bodenart zugeordnet. Die Karte gibt für das Stadtgebiet von Gelsenkirchen folgende Bodenarten an, die entgegen den in DIN 18196 [29] und DIN 4022 [30] verwendeten Kurzbezeichnungen für Bodenarten wie folgt abgekürzt wurden:

Tabelle 4: Bodenarten nach [28]

	S	Schluff, schwach feinsandig	
Schluff	Sfm	Schluff mit Sandeinlagerungen	
	SfmH	Schluff mit Sandeinlagerungen und Einlagerungen von Humus	
Sand	FM	Fein- bis Mittelsand, meist schwach schluffig	
Sand	FMs	Sand mit Schluffeinlagerungen	
Keine Anga-	ne Anga- A Anthropogene Aufschüttungen		
ben	kA	keine Angabe möglich	

Abbildung 23 zeigt die verwendete Bodenkarte für das Stadtgebiet von Gelsenkirchen. In Gelsenkirchen werden hauptsächlich zwei unterschiedliche Bodenarten angetroffen: zum einen Schluff, zum anderen Sand. Zudem befinden sich in Gelsenkirchen Gebiete, in denen keine Angaben zur Bodenart gemacht werden können, so bei Industrieanlagen oder anthropogenen Aufschüttungen.

Die Lage der gemeldeten Wurzeleinwüchse in Anschlusskanäle bzw. Grundleitungen sind mit einem roten Punkt (•) gekennzeichnet. Auffallend ist die Häufung der gemeldeten Einwüchse im nördlichen Teil des Stadtgebiets von Gelsenkirchen.

Seite 42 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



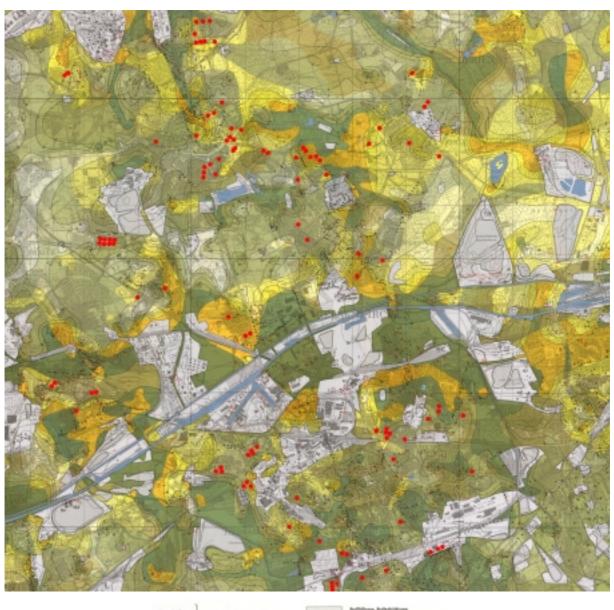
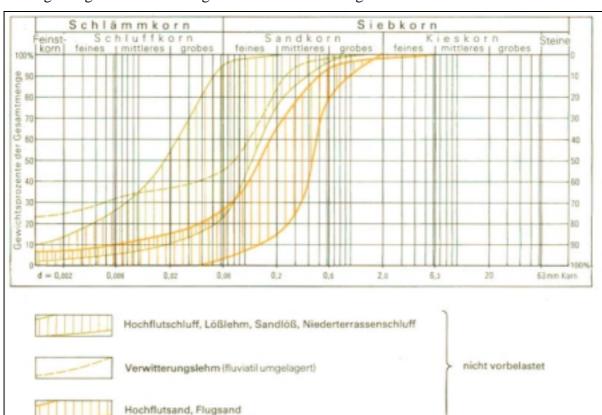




Abbildung 23: Bodenarten im Stadtgebiet von Gelsenkirchen

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 43 von 127



Die zugehörigen Kornverteilungskurven sind Abbildung 24 zu entnehmen.

Abbildung 24: Kornverteilungskurven für die in Gelsenkirchen anzutreffenden Bodenarten

Die Einwuchsfälle aller Baumarten wurden, abhängig von den vorgefundenen Bodenarten, in Diagramm 3 dargestellt. Die Einwuchsanzahlen der Platanen und Bäumen der Gattung Ahorn wurden getrennt ausgewertet und in Diagramm 4 und Diagramm 5 dargestellt.

Diagramm 3 lässt eine Häufung von Einwuchsfällen, betrachtet für alle Baumarten, auf Schluffböden erkennen. So wurden 62 Einwuchsfälle auf Schluffböden aber nur 28 Fälle auf Sandböden festgestellt.

Betrachtet man die Einwuchshäufigkeiten der Ahornbäume und Platanen in Abhängigkeit von der anstehenden Bodenart (siehe Diagramm 4 und Diagramm 5), lassen sich Unterschiede zwischen den einzelnen Baumarten erkennen. Die Platane (siehe Diagramm 4) wächst, vergleichbar mit Diagramm 3 häufiger ein, wenn der anstehende Boden ein Schluff ist (23 Fälle bei Schluffböden und 7 Fälle bei Sandböden). Dagegen wachsen Ahornbäume mit vergleichbarer Häufung ein. An 20 erfassten Standorten wurde ein Schluffboden, an 15 Standorten ein Sandboden angetroffen.

Der größere Porenraum vorwiegend sandhaltiger Böden ermöglicht den Wurzeln der Platanen scheinbar eher den Bedarf an Nährstoffen und Wasser zu decken. Dort sind weniger Einwüchse feststellbar. Überwiegend schluffige Böden können zu einer höheren Gefährdung von Abwasserkanälen durch Platanen führen, da der kleinere Porenraum eine höhere Saugwirkung der Baumwurzeln fordert und dadurch Wasser zu einem Mangelfaktor werden kann [10].

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 44 von 127



Bei Ahornbäumen lässt sich nach den bisherigen Ergebnissen kein Zusammenhang zwischen Einwuchshäufigkeit und der vorgefundenen Bodenart erkennen.

Während einer Sanierung in offener Bauweise wurden sowohl aus dem anstehenden Boden als auch aus dem Leitungsgraben Bodenproben entnommen. Die Kornverteilungskurven lassen den Schluss zu, dass für die Verfüllung des Leitungsgrabens der vorher entnommene Boden verwendet wurde (siehe Abbildung 25). Alle Bodenproben lassen sich dem Hochflutbzw. Flugsand der geologischen Karte zuordnen (Abbildung 24). Ersatzboden wurde in diesem Fall nicht verwendet.

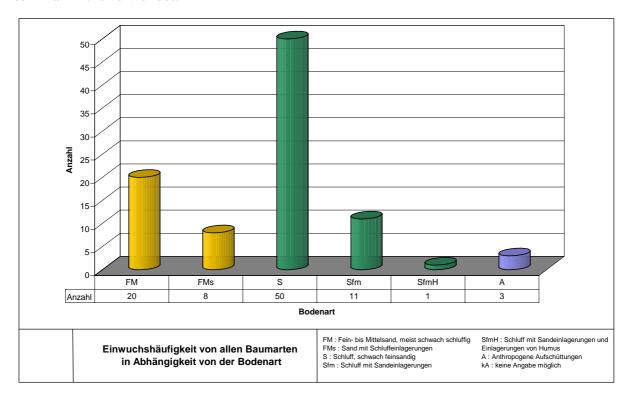
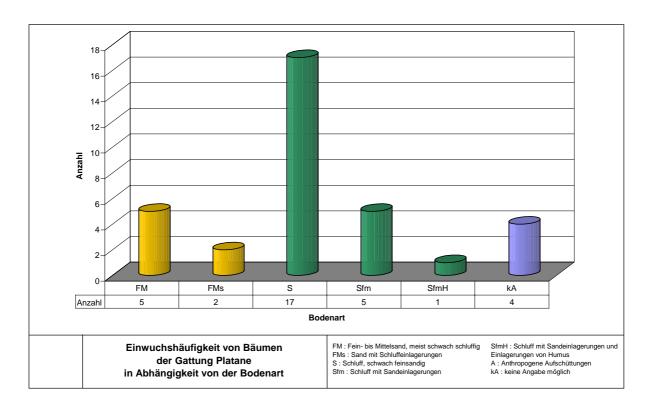


Diagramm 3: Einwuchshäufigkeit von allen Baumarten in Abhängigkeit von der Bodenart

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 45 von 127



Einwuchshäufigkeit von Bäumen der Gattung Platane in Abhängigkeit von Diagramm 4: der Bodenart

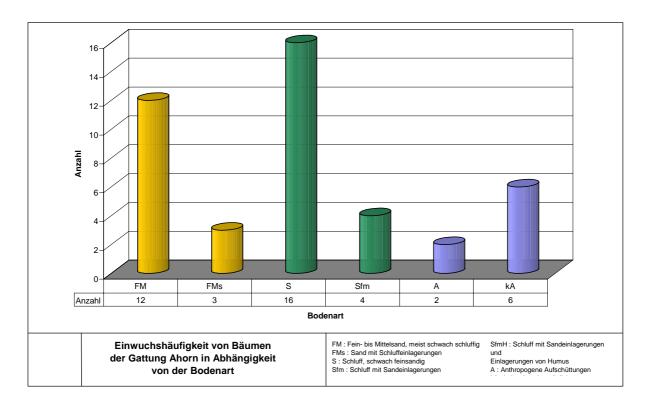
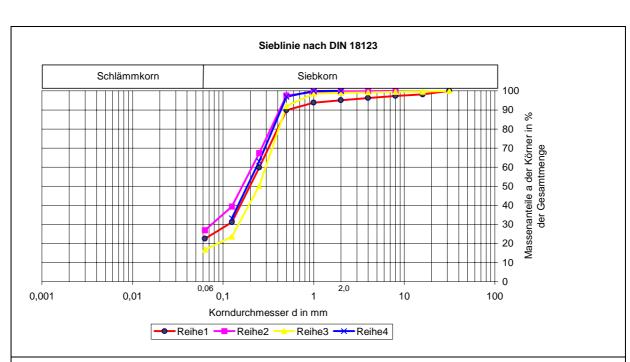


Diagramm 5: Einwuchshäufigkeit von Bäumen der Gattung Ahorn in Abhängigkeit von der **Bodenart**

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 46 von 127



Reihe 1: gewachsener Boden, oberhalb des Anschlusskanals, 5m vom Haus Reihe 2: gewachsener Boden, oberhalb des Anschlusskanals, 7m vom Haus Reihe 3: verfüllter Boden, Leitungszone ca. 1,5m vom Haus, Kanalsohle Reihe 4: verfüllter Boden, Leitungszone ca. 1m vom Haus, Kanalsohle

Abbildung 25: Vergleich der Kornverteilungskurven für Boden aus dem Leitungsgraben und gewachsenen Boden

4.3.4 Einwuchshäufigkeit in Abhängigkeit von der Tiefe

Die Verlegetiefe der Hausanschlussleitung wurde an den Baumstandorten ermittelt. Aus den Bestandsplänen des Netzbetreibers GELSENKANAL, konnte die Lage der Einmündung des Anschlusskanals in den Hauptkanal entnommen werden. Die durchschnittliche Tiefe des Revisionsschachtes im Haus wurde mit 1,5 m angenommen. Aus der Einmündung in den Hauptkanal und der Lage des Revisionsschachtes wurde ein Mittelwert gebildet. Der Verlegetiefe sind technisch enge Grenzen gesetzt, so dass sich der berücksichtigte Bereich zwischen 2 und 6 m befindet. Der Vergleich der Anzahl der Einwuchsfälle von Platane (Diagramm 7) und Ahorn (Diagramm 8) in Bezug auf die Verlegetiefe deutet an, dass die Wurzeln der Platane nicht so tief vordringen. Die Darstellung der Einwuchsfälle von Ahornbäumen zeigt 2 Fälle bei einer Verlegetiefe von 4 bis 5 m.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 47 von 127



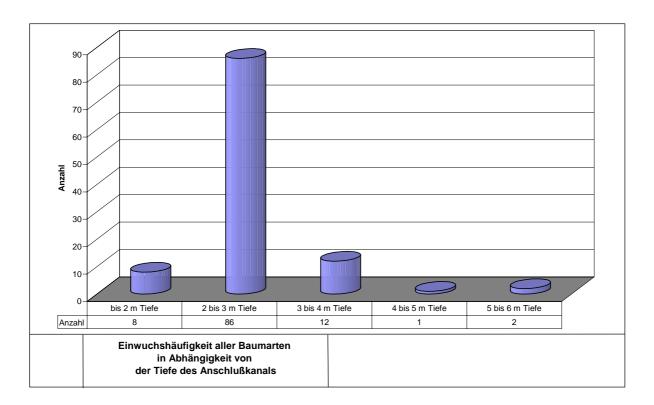


Diagramm 6: Einwuchshäufigkeit aller Baumarten in Abhängigkeit von der Tiefe des Anschlusskanals

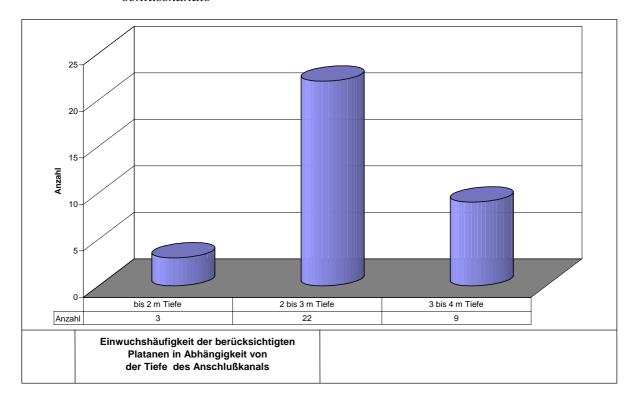


Diagramm 7: Einwuchshäufigkeit der berücksichtigten Platanen in Abhängigkeit von der Tiefe des Anschlusskanals

Seite 48 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

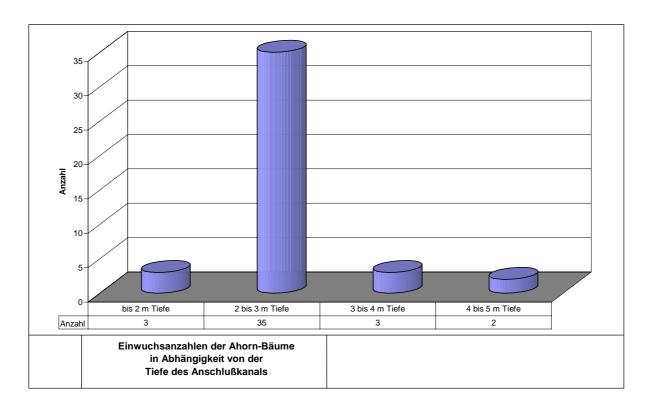


Diagramm 8: Einwuchshäufigkeit der berücksichtigten Ahornbäume in Abhängigkeit von der Tiefe des Anschlusskanals

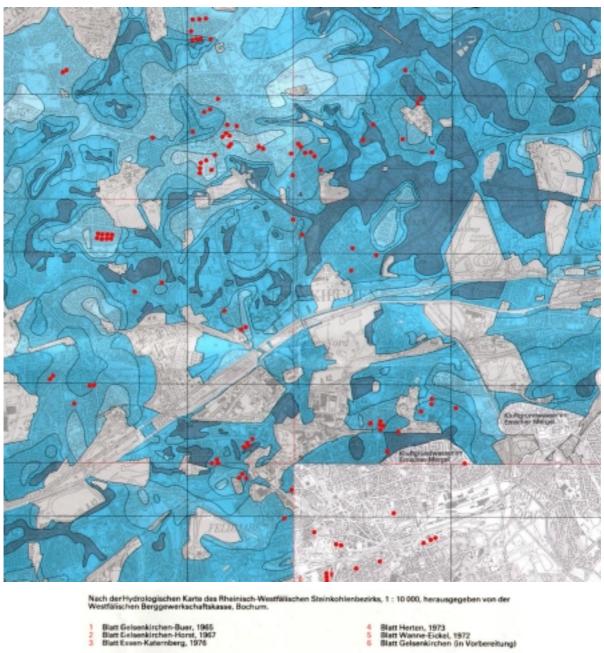
4.3.5 Einwuchshäufigkeit in Abhängigkeit vom Flurabstand

Mit Hilfe der Ingenieurgeologischen Karte des Geologischen Landesamtes NRW konnte für einen großen Teil der Baumstandorte der Flurabstand des Grundwassers bestimmt werden.

Die Karte basiert auf Angaben in den hydrgeologischen Karten 1:10.000 des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks, die von der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (WBK) in Bochum herausgegeben wurde. Die Karten datieren auf die Jahre zwischen 1965 und 1976. Inwieweit sich die Grundwasserstände in den letzen Jahren gerade infolge des damals noch aktiven Bergbaus veränderten wurde nicht berücksichtigt. So sind sowohl Grundwasserabsenkungen, als auch Geländesenkungen möglich. Die Auswertung von Messungen der Emschergenossenschaft in den Jahren 1984 und 1985 ergab im Vergleich mit den 1973 von der WBK im gleichen Gebiet kartierten Flurabstände bei drei von 10 Messstellen eine Abnahme des Flurabstandes. Während die WBK einen Grundwasserstand zwischen 1,5 und 3,0 m unter Geländeoberkante misst, wurde von der Emschergenossenschaft in den drei Punkten Abstände von 0,9 und 1,25 m gemessen. Die daraus zu folgernde, örtliche Anhebung des Grundwasserstandes muss auch anderswo kalkuliert werden, das heißt die für die Karte angegebenen mittleren Flurabstände können sich, speziell auch infolge Geländesenkungen, lokal verringern [31].

Abbildung 26 zeigt die verwendete Flurabstandskarte des Grundwassers für das Stadtgebiet von Gelsenkirchen. Die Lage der gemeldeten Wurzeleinwüchse in Anschlusskanäle bzw. Grundleitungen sind mit einem roten Punkt (•) gekennzeichnet. Auffallend ist die Häufung der gemeldeten Einwüchse im Norden des Stadtgebietes.





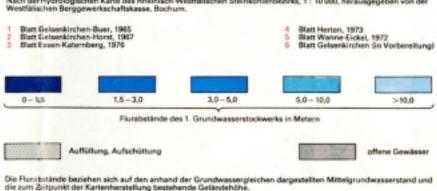


Abbildung 26: Flurabstände des Grundwassers und gemeldete Wurzeleinwüchse für das Stadtgebiet von Gelsenkirchen

Den Standorten wurden Flurabstände in Intervallen von 0 - 1.5 m; 1.5 - 3 m; 3.0 - 5.0 m; 5.0- 10,0 m oder über 10 m zugeordnet. Aufgrund der industriellen Prägung des Stadtgebietes von Gelsenkirchen konnten zu 27 Baumstandorten keine Flurabstände angegeben werden.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 50 von 127 Das benutzte Kartenmaterial weist in den betreffenden Bereichen "Anthropogene Aufschüttung" auf.

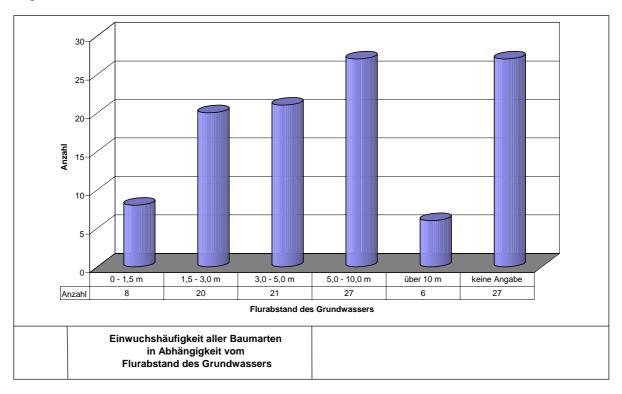


Diagramm 9: Einwuchshäufigkeit aller Baumarten in Abhängigkeit vom Flurabstand des Grundwassers

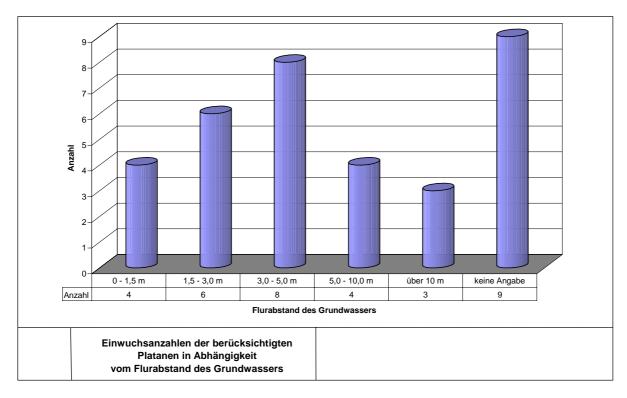


Diagramm 10: Einwuchshäufigkeit von Bäumen der Gattung Platane in Abhängigkeit vom Flurabstand des Grundwassers

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 51 von 127

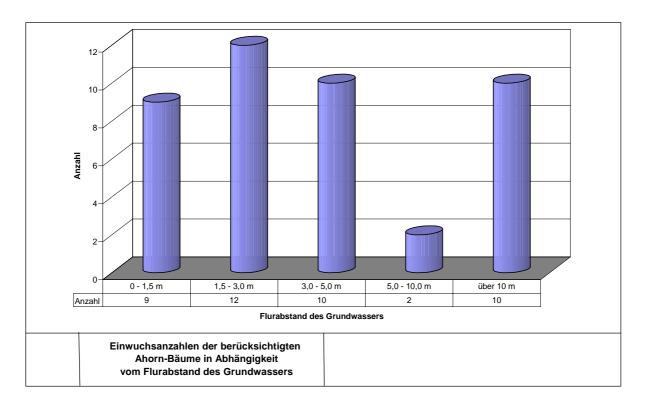


Diagramm 11: Einwuchshäufigkeit von Bäumen der Gattung Ahorn in Abhängigkeit vom Flurabstand des Grundwassers

Weitergehend wurde die Einwuchshäufigkeit der Bäume in Abhängigkeit von der errechneten Lage des Anschlusskanals in Bezug zum Grundwasserspiegel untersucht.

4.3.6 Einwuchshäufigkeit in Abhängigkeit von der errechneten Lage des Anschlusskanals in Bezug zum Grundwasserspiegel

Aus der Tiefenlage des Anschlusskanals und dem Flurabstand des Grundwasserspiegels, wurde für jeden erfassten Standort die Differenz gebildet, um feststellen zu können, ob der Einwuchs in den Anschlusskanal oberhalb oder unterhalb des Grundwasserspiegels erfolgte. Die Anzahl der Schadenfälle wurde entsprechend graphisch dargestellt (siehe Diagramm 12). Die Verlegung des Anschlusskanals in einem Bereich des Bodens, dessen Porenraum nicht durch anstehendes Grundwasser mit Feuchtigkeit versorgt werden kann, wurde als ein Faktor beschrieben, der einen Einwuchs in die Leitung fördert [9]. Das Diagramm zeigt, dass die Anzahl der Einwuchsfälle, bezogen auf alle Arten, bei Lage der Leitung unterhalb des Grundwasserspiegels, größer ist, als die Anzahl der Fälle, bei Lage oberhalb des aktuellen Grundwasserspiegels (siehe Diagramm 12). Inwieweit örtliche Grundwasserabsenkungen durch Drainagewirkung undichter Abwasserkanäle und -leitungen vorliegen konnte nicht berücksichtigt werden.

In Abbildung 27 ist die Lage eines Anschlusskanals sowie die Bodenschichten und der Grundwasserstand zur Veranschaulichung dargestellt.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 52 von 127





Die Lageverhältnisse von Grundwasserspiegel und Anschlusskanal, können mit Hilfe dieser Darstellungsform für die Adressen wiedergegeben werden.

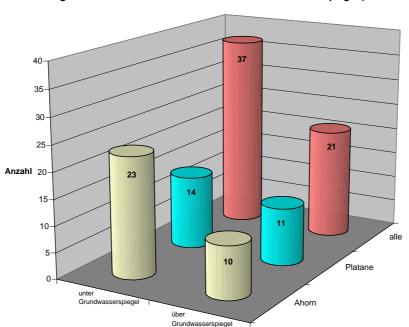
Abbildung 27: Lageverhältnisse von Anschlusskanal und Grundwasserspiegel

Es ist davon auszugehen, dass die aktuellen Grundwasserstände jahreszeitlichen bzw. jährlichen Schwankungen unterliegen. Inwieweit diese Schwankungen Einfluss auf das Wachstum der Wurzeln haben, kann anhand der ausgewerteten mittleren Flurabstände des Grundwassers nicht abgeschätzt werden. Abbildung 28 zeigt die Grundwasserschwankungen am Beispiel eines Werksbrunnens der VEBA Öl AG in Gelsenkirchen für die Jahre 1964 bis 1975.



Abbildung 28: Grundwasserstandsganglinie auf dem Gelände der VEBA-Öl AG [28]

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 53 von 127



Lage des Anschlußkanals in Verhältnis zum Grundwasserspiegel (alle Bäume)

Diagramm 12: Einwuchshäufigkeit in Abhängigkeit von der errechneten Lage des Anschlusskanals in Verhältnis zum Grundwasserspiegel

4.3.7 Einwuchshäufigkeit in Abhängigkeit von der Entfernung des Baumes zum Anschlusskanal

An jedem Baumstandort, der einen Schadenfall zur Folge hatte, wurde oberirdisch der kürzeste Abstand zwischen dem Anschlusskanal und dem Baumstamm gemessen. Die jeweiligen Entfernungen der Leitungen wurden in Intervallen zusammengefasst und ihre Verteilung für die verschiedenen Baumarten graphisch dargestellt. Erwartungsgemäß ist bei allen Baumarten ein gehäuftes Auftreten der Einwüchse bei geringer Entfernung zu erkennen (Diagramm 13). Der Vergleich der Darstellung der Einwuchsfälle von Ahornbäumen und Platanen lässt erkennen, dass sich die Haupteinwuchsfälle der Ahornbäume (Diagramm 14) auf einen Radius von 0 bis 4 m um den Baum beschränken. In einer Entfernung von 4 bis 5 m wurde nur ein Einwuchs durch einen Ahornbaum verzeichnet. Dagegen stiegen die erfassten Einwuchsfälle für das Entfernungsintervall von 5 bis 6 m auf sechs Stück. Die maximalen Entfernung für einen Einwuchs der Wurzel eines Ahornbaumes in einen Anschlusskanal wurde mit 8 m festgestellt. Eine proportionale Abnahme der Einwüchse in Abhängigkeit von der Entfernung zum Baum konnte nicht festgestellt werden.

Bei Platanen konnte ein solches proportionales Verhalten festgestellt werden. Je weiter der Anschlusskanal vom Baumstamm entfernt verlegt wurde, desto geringer wurde die Einwuchsanzahl (Diagramm 15). Der weitest entfernte Einwuchs wurde bei 6 m verzeichnet.

Seite 54 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



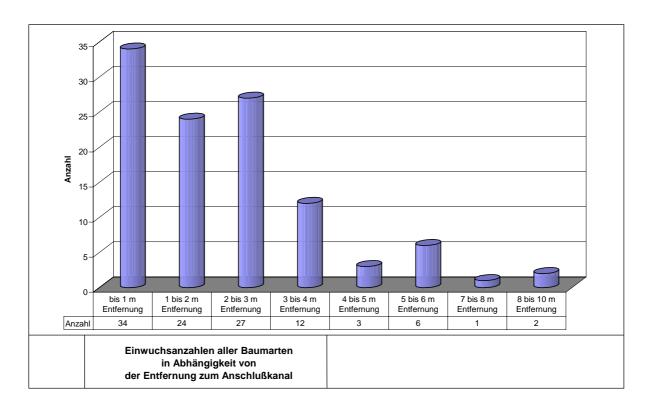


Diagramm 13: Einwuchshäufigkeit aller Baumarten in Abhängigkeit von der Entfernung zum Anschlusskanal

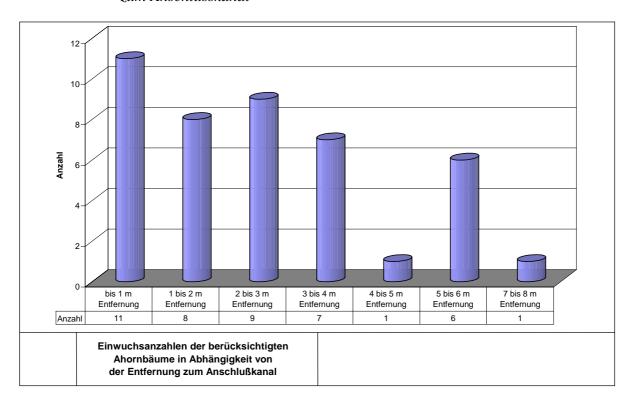


Diagramm 14: Einwuchshäufigkeit der berücksichtigten Ahornbäume in Abhängigkeit von der Entfernung zum Anschlusskanal

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 55 von 127

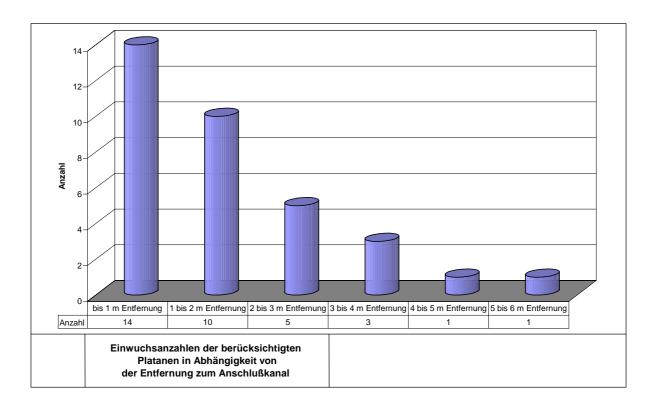


Diagramm 15: Einwuchshäufigkeit der berücksichtigten Platanen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Anschlusskanal

Abbildung 29 zeigt eine Draufsicht des Schadenfalls bei der Sanierung 4. Zu erkennen ist die vorhandene Bebauung (Hausnummern 10, 19 und 21), die Lage des betroffenen Anschlusskanals sowie des zugehörigen Hauptkanals. Zusätzlich sind die angetroffenen Bäume (Platane und Robinie) mit ihren Baumkronen maßstabsgerecht eingezeichnet. Exemplarisch sind zwei Schadenbilder mit Ihrer Lage in den beiden Kanälen hinzugefügt worden. Das erste Bild gibt den Einwuchs im Bereich des Stutzens wieder. Das Zweite einen Einwuchs im Anschlusskanal.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 56 von 127



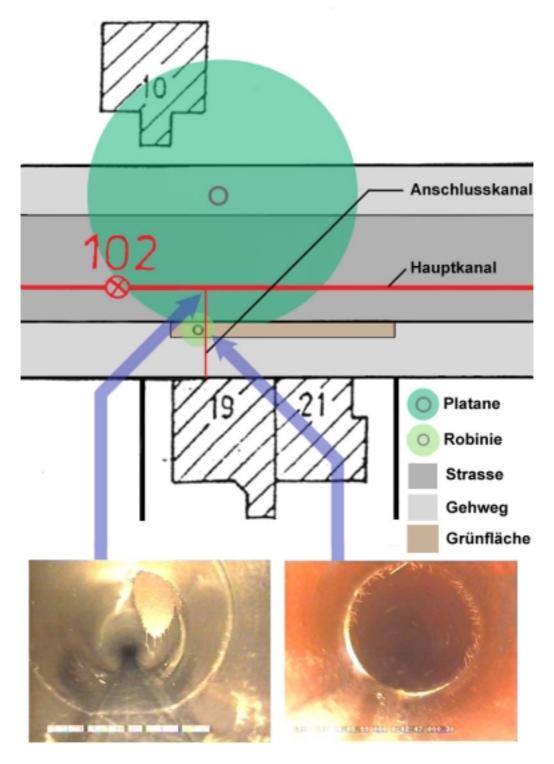


Abbildung 29: Benennung des schadenverursachenden Baumes

Die Einwuchsintensität nahm an den untersuchten Muffen der Hausanschlussleitung mit größerer Nähe zur Platane zu. Die legt nahe, dass es sich bei dem schadensverursachenden Baum auch um diese Platane handeln könnte. Für eine exakte Bestimmung des schadenverursachenden Baumes ist die Verschneidung der Position des Baumes und des Kronendurchmessers im Raum mit den Positionen der vorgefundenen Schäden notwendig. Ansonsten würde im Zweifelsfall die auf dem Anschlusskanal stehende Robinie gefällt.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 57 von 127



4.3.8 Bezug zwischen Kronenbreite und Abstand der Leitung zum Baumstamm

Aus der Verknüpfung der Daten hinsichtlich der auf die Geländeoberfläche projizierten Entfernung des Anschlusskanals vom Baummittelpunkt und des Radius der Krone, können die Standorte eingegrenzt werden, an denen vom gepflanzten Baum eine Gefährdung für die Infrastruktur ausgeht. Bei Anschlusskanälen oder Grundleitungen die sich im Kronenbereich eines Baumes befinden, ist aufgrund der Ausdehnung des Wurzelsystems des Baumes mit großer Sicherheit mit einem starken Wachstum von Wurzeln [11] und mit einer hohen Wahrscheinlichkeit mit Wurzeleinwüchsen in die Leitung zu rechnen [10]. Das Diagramm gibt das Verhältnis zwischen Kronenradius und Entfernung bei gleicher Skalierung wieder. Es wird deutlich, dass ein großer Anteil der Schadenfälle im Bereich des Kronenradius eintritt. Wie das Diagramm 16 zeigt, ist teilweise für die Entfernung des Baumes 0 m angegeben. Eine geringe Entfernung des Baumes zum Anschlusskanal kann als fördernder Faktor für den Einwuchs in Leitungen gedeutet werden.

Zwei Einwüchse außerhalb des Kronenbereichs lassen den Schluss zu, dass mit der Verlegung von Abwasserleitungen außerhalb des Kronenbereichs keine 100-prozentige Sicherheit vor Wurzeleinwuchs zu erreichen ist.

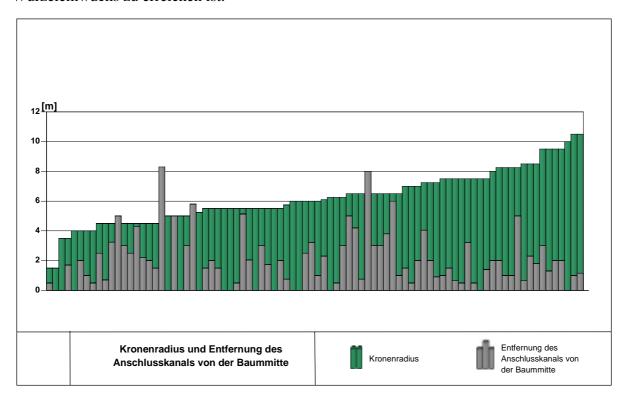


Diagramm 16: Kronenradius und Entfernung des Anschlusskanals von der Baummitte (Geländeprojektion)

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 58 von 127



4.3.9 Auswertung der erfassten Einzelschäden

Mit Hilfe der ausgewerteten Inspektionsprotokollen gemeldeter Schadenfälle in Gelsenkirchen und den durchgeführten Inspektionen an geschädigten Anschlusskanälen konnten die Einzelschäden in die Datenbank übernommen werden.

Grundstücksentwässerungsleitungen werden häufig mit Querschnitten DN 150 ausgeführt. Wachsen Wurzeln in diese Leitungen ein, kommt es schnell zur Verstopfung. Die Leitungen werden gereinigt, freigefräst. Die Wurzel reagiert darauf mit einem vermehrten Wachstum an der geschädigten Stelle, in Form von Feinwurzeln. Diese verschließen den Leitungsquerschnitt innerhalb kurzer Zeit erneut. So wurden in den erfassten Anschlusskanälen und Grundleitungen ausschließlich Wurzeln in Form von Wurzelpolstern, d.h. viele kleine Wurzeln vorgefunden.

4.4 Lichtmikroskopische Untersuchungen an Wurzeln aus dem Stadtgebiet Gelsenkirchen

Im Zuge einer Sanierungsmaßnahme in offener Bauweise in Gelsenkirchen wurde der den Schaden verursachende Baum aufgrund seiner Nähe zum Anschlusskanal als Ahorn identifiziert. Zur Identifikation des Baumes durch die eingewachsenen Wurzeln wurden aus dem Bereich einer verwurzelten Rohrverbindung Proben entnommen. Die Proben wurde nach dem Einwuchsorten Leitungsgraben, Muffenbereich und Rohrinneres sortiert und in der biologischen Fakultät der Ruhr-Universität Bochum für eine Baumbestimmung vorbereitet. Ein im botanischen Garten der Ruhr-Universität Bochum wachsender Ahorn konnte als Referenz benutzt werden, da er einen ähnlichen Entwicklungsstand wie der Straßenbaum aufwies.

4.4.1 Übersicht über die Proben

Aus Gründen der Vergleichbarkeit sollte bei der Probenentnahme am Schadens- und Referenzort darauf geachtet werden, dass Organe, wie Wurzeln, Äste und Blätter ähnlichen Entwicklungsstandes und ähnlichen Alters zum Vergleich herangezogen werden.

Eine Zuordnung zu Sorten und Gruppen wurde vernachlässigt und nur die Zuordnung zur Gattung Ahorn angestrebt. Zusätzlich konnte die Zuordnung zur Gattung Ahorn durch Vergleichsliteratur untermauert werden.

Es wurden Wurzeln der folgenden Probenahmestellen untersucht:

- 1. Leitungsgraben,
- 2. Durchwachsenen Muffe und
- 3. Innere des Rohres.

Die vorgefundenen Wurzeln wurden ihrem äußeren Durchmesser nach, in drei Gruppen eingeteilt.

rabette 3.	Zhinoninene Witzerproven				
	Leitungsgraben	durchwachsene Muffe	Rohrinneres	Gegenprobe Garten	
Faserwurzel	X	X	X	X	
2 – 9 mm	X	X	-	X	
9 - 15 mm	X	-	X	X	

Tabelle 5: Entnommene Wurzelproben

Wie zu erkennen ist, fanden sich in der durchwachsenen Muffe keine Wurzeln mit einem Durchmesser größer 9 mm. Dagegen traten im Leitungsgraben und im Rohrinneren Wurzeln von dieser Stärke auf. Das ist auf den ersten Blick überraschend, da Wurzeln üblicherweise von der Wurzelspitze an dicker werden. In diesem Fall ist ein Teil der im inneren entnommenen Wurzel dicker als der Teil aus der durchwachsenen Muffe. Dies ist durch ein verstärktes Dickenwachstum der Wurzeln erklärbar, die im Rohrinneren keinen Gegendruck durch Bodenpartikel unterliegen. Wurzeln mit einem Durchmesser von 2 bis 9 mm konnten im Rohrinneren nicht festgestellt werden. Es wurden nur Wurzeln mit einem Durchmesser von 9 bis 15 mm oder Faserwurzeln gefunden.

4.4.2 Grundbauplan von Wurzelorganen

Die Wurzel dient zur Verankerung im Boden, wie auch der Wasser- und Ionen- Aufnahme. Die Spitze der Wurzel ist von der Wurzelhaube (Kalyptra) umhüllt, deren Zellen verschleimen und die Wurzel vor mechanischer Beschädigung schützen. Die Wurzelhaare entstehen aus Rhizodermiszellen und leisten die Stoffaufnahme. Sie vervielfachen die dazu zur Verfügung stehende Oberfläche und wachsen nur in diesem jungen Bereich der Wurzel. In zentraler Richtung folgt das Rindenparenchym, das eine Speicherfunktion ausübt und nach innen von der Endodermis begrenzt wird. Die Endodermis bildet eine ringförmige Schicht, die den Eintritt von Wasser in den inneren Bereich, den Zentralzylinder kontrolliert. Der Leitbündelstrang im Zentralzylinder übernimmt den Transport von Stoffen in Längsrichtung der Wurzel.

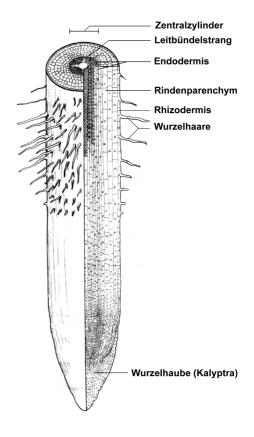


Abbildung 30: Primärwurzel

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 60 von 127



Dieser Zustand der "jungen" Wurzel wird primär genannt. Primärwurzeln werden von Abbildung 30, Abbildung 32, Abbildung 33 und Abbildung 34 wiedergegeben.

Durch weiteres Wachstum der Wurzel kommt es im Bereich des Leitbündelstranges von innen her zu einem Zuwachs und einer Umwandlung von Zellen. Während dieses sekundären Dickenwachstums vergrößert sich der äußere Durchmesser, die Rhizodermis wird durch ein anderes Abschlussgewebe, die Exodermis ersetzt. Der gesamte Anteil der Wurzel verholzt und kann größerer mechanischer Belastung wiederstehen. Dieser Zustand wird von Abbildung 31, Abbildung 35 und Abbildung 36 wiedergegeben. Die Zunahme des Durchmessers von innen ermöglicht es Wurzeln kleine Hohlräume des Bodens zu vergrößern.

4.4.3 Ergebnisse

4.4.3.1 Bestimmung der Baumart mittels Wurzeln aus dem Leitungsgraben

Für den vorliegenden Anwendungsfall bot sich der Einsatz lichtmikroskopischer Untersuchungen zur Bestimmung der Baumart anhand von Wurzelproben an. Durch Vergleich von Wurzelschnitten an Insitu-Proben mit entsprechenden Abbildungen aus der Literatur ließ sich so die Baumart nahezu sicher angeben. Neben den Gegebenheiten am Probenentnahmeort (chemisch-physikalische Randbedingungen) ist insbesondere das Baumalter zu berücksichtigen.

Zunächst wurden die für die Untersuchung wichtigen Gewebe mit einer entsprechenden Fixierung vorbereitet und eingebettet. Vor dem abschließenden Einbetten in flüssigem Paraffin, einem hydrophoben Medium, wurde den Präparaten das Wasser entzogen.

Für das Anfertigen der Querschnitte aus den vorbereiteten Wachsblöcken wurde ein Kurbelmikrotom mit einer eingestellten Schnittstärke von 14 µm benutzt. Die Schnitte wurden mit einer Astrablau-Safranin-Färbung angefärbt. Die Färbung wurde nach Durchsehen differenziert, um sowohl eine angemessene Rotfärbung der verholzten Zellwänden als auch eine Blaufärbung der aus Cellulose bestehenden Zellwände zu erreichen. Die Präparate wurden photographiert und zum Vergleich mit einem Größenmaßstab versehen.

Der Aufbau, der im Bereich des Anschlusskanals vorgefundenen Teile des Wurzelsystems wiesen im allgemeinen eine deutliche Übereinstimmung mit dem Grundbauplan von Wurzelorganen auf, so dass eine sichere Bestimmung der Baumart anhand von Querschnitten möglich war. Im Verlauf eines Vergleiches von Querschnitten der in Frage kommenden Arten mit den hier präparierten, konnten die am Anschlusskanal gefundenen Wurzelteile als eindeutig von einem Spitzahorn (Acer platanoides) stammend identifiziert werden.

Bei der Bestimmung der Baumart ist es nötig Faktoren zu berücksichtigen, die die Vergleichbarkeit behindern können.



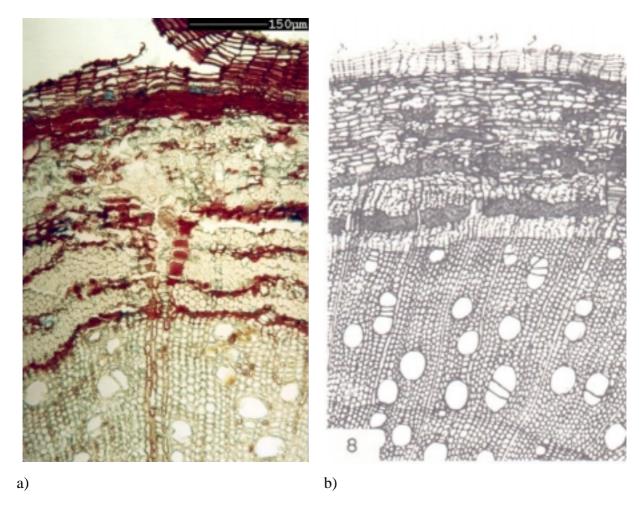


Abbildung 31: a) Querschnitt Ahornwurzel aus Leitungsgraben, Gelsenkirchen

b) Querschnitt aus Vergleichliteratur [12]

Wie Abbildung 31 a) zeigt, lässt sich im peripheren Bereich des Querschnittes einer bereits mehrjährigen, verholzten Wurzel die Aufeinanderfolge von Hart- und Weichbast als Abfolge stark und weniger stark rot gefärbter Bereiche erkennen. Daneben lässt sich im zentralen Bereich der Wurzel (Xylem) anhand der Anordnung von Leitelementen (großlumige Zellen) und den umgebenden Zellen, eine deutliche Übereinstimmung mit der Vergleichsabbildung (Abbildung 31 b)) der Literatur [12] bestätigen.

Der Vergleich der Feinwurzeln, die an verschiedenen Orten des Anschlusskanals gefunden wurden, ließ neben Ähnlichkeiten im Bau auch spezifische Unterschiede in der Ausprägung der Gewebe erkennen. Der hier vorliegende primäre Aufbau von Wurzelorganen steht in direktem Zusammenhang mit der hier erfüllten Funktion als Aufnahmeorgan für Wasser und Nährstoffe.

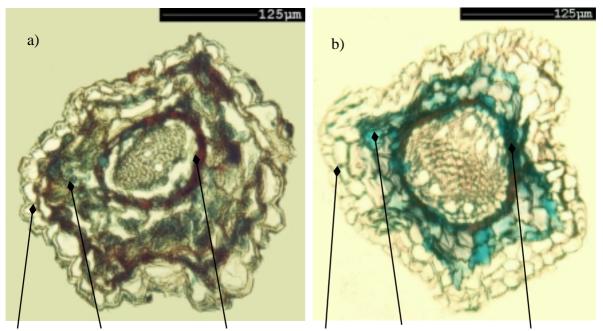
4.4.3.2 Beschreibung der Wurzeln aus dem Leitungsgraben

Abbildung 32 a) zeigt ein Präparat einer Wurzel aus dem Leitungsgraben, im Vergleich dazu gibt Abbildung 32 b) den Zustand einer Wurzel wieder, wie er sich bei Wuchs an einem, der natürlichen Umgebung ähnlichen Standort darstellt. Auffällig ist die Tatsache, dass an keinem der hier untersuchten Schnitte aus dem Leitungsgraben, Wurzelhaare nachzuweisen waren.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 62 von 127



Da die Ausbildung von Wurzelhaaren auf einen kleinen Bereich in der Nähe der Wurzelspitze begrenzt ist, wurde das Präparat wahrscheinlich nicht aus diesem Bereich gewonnen.



Rhizodermis Speicherparenchym Endodermis Rhizodermis Speicherparenchym Endodermis

Abbildung 32: a) Querschnitt Faserwurzel Leitungsgraben

b) Querschnitt Faserwurzel bot. Garten, Ruhr-Universität Bochum

Entsprechend dem Grundbauplan primärer Wurzelorgane, bestehend aus Rhizodermis, Endodermis und Speicherparenchym, lassen sich in beiden Abbildungen die erwarteten Gewebe erkennen. Im peripheren Bereich fällt ein Abschlussgewebe (Rhizodermis) mit meist nicht angefärbt erscheinenden äußeren Zellwänden auf. Darauf folgt in zentraler Richtung ein Verband von Zellen mit, zum größten Teil stark blau gefärbten Zellwänden, welche die Anwesenheit eines hohen Gehaltes an Cellulose in den Zellen nachweisen. Der auf diesem Wege nachgewiesene Anteil von Cellulose beruht auf der Speicherfunktion der hier präparierten Organe.

Der zentrale Teil des Wurzelquerschnittes wird von einer ringförmigen Zellschicht, der Endodermis, als inneres Abschlussgewebe begrenzt, die hier (Abbildung 32 a), Abbildung 32 b)) neben rot gefärbtem Holzanteil in den Wänden auch blau gefärbte Zellen aufweisen.

Der zentrale Teil wird von einem Leitbündelstrang eingenommen, dessen Gewebe hier keine rot anfärbbare Ein- oder Auflagerung zeigt.

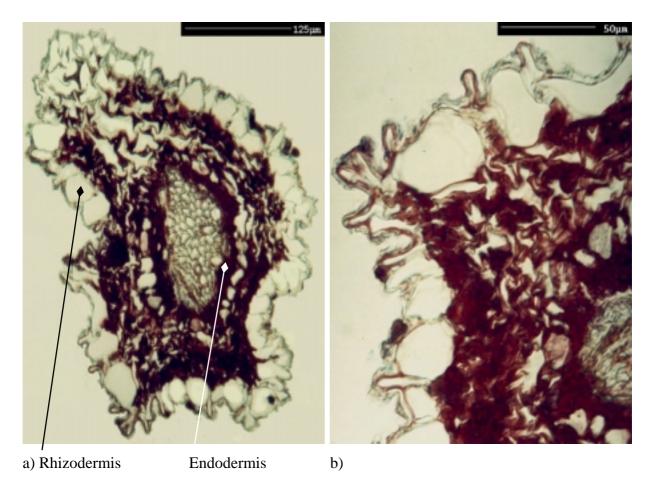
4.4.3.3 Beschreibung der Wurzeln aus der Muffe

Die Proben von Faserwurzeln, die in der durchwachsenen Muffe entnommen wurden, entsprechen in der Abfolge der Gewebe weitgehend der in Abbildung 32 b).

Abbildung 33 a) zeigt das Vorhandensein einer deutlichen Rhizodermis als äußeres Abschlussgewebe mit nur mäßig stark gefärbten Außenwänden. Es ist erkennbar, dass an den Rhizodermiszellen teilweise papillöse Strukturen auftreten, die Wurzelhaaren nicht unähnlich sind.

Seite 63 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01





a) Übersicht des Wurzelpräparats aus der Muffe Abbildung 33:

b) Detailansicht des Wurzelpräparats aus der Muffe

Im Gegensatz zu Abbildung 32 a) und Abbildung 32 b) fällt hier auf, dass die gesamten Zellen im Bereich der Rinde frei von Blaufärbung sind. Statt dessen sind hier vermehrt mechanisch stabilisierende Holzein bzw. -auflagerungen an ihrer roten Farbe erkennbar.

Hier fällt besonders die Tatsache auf, dass der Umfang des Organs ungleichmäßig und keinesfalls kreisförmig ist.

Der zentrale Leitbündelanteil ist bei den Präparaten aus den durchwachsenen Muffen durchweg von einer Endodermis mit stark anfärbbaren Einlagerungen begrenzt, die im Gegensatz zu den Proben aus dem Leitungsgraben (Abbildung 32) direkten Kontakt mit den Leitelementen haben.

Die Ausbildung verstärkender Elemente, wie auch der ungleichmäßige Umfang des Organs, resultieren möglicherweise aus starkem mechanischen Druck infolge des eingeschränkten Raumangebots im Bereich der Muffe.

4.4.3.4 Beschreibung der Faserwurzeln aus dem Rohrinneren

Abbildung 34 a) zeigt einen Querschnitt einer Faserwurzel, die als Probe im Inneren eines Anschlusskanals genommen wurde.

Seite 64 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



Wie Abbildung 34 b) im Detail erkennen lässt, konnten hier Wurzelhaare nachgewiesen werden. Der Vergleich mit den Querschnitten in Abbildung 33 a) und Abbildung 33 b) zeigt hier eine Rhizodermis mit Zellen, wesentlich geringerer Größe.

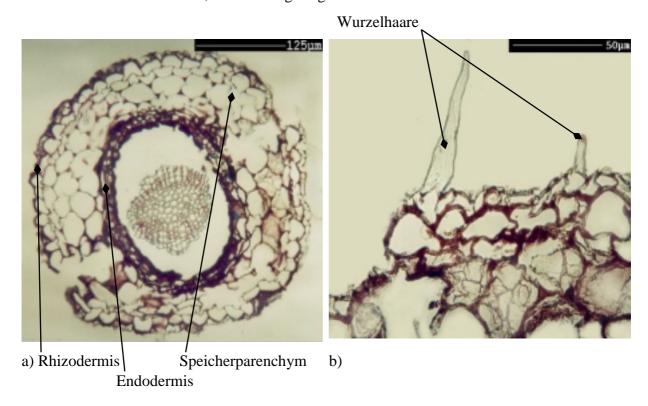


Abbildung 34: a) Übersicht über Faserwurzel aus dem Inneren eines Anschlusskanals

b) Detailansicht über Faserwurzel aus dem Inneren eines Anschlusskanals

Im Bereich des Speicherparenchym lassen sich hier (Abbildung 34 a)) im Gegensatz zu (Abbildung 33 a), Abbildung 33 b)) nahezu kugelförmige Zellen erkennen. Neben diesen, gleichmäßig ausgebildeten Zellen, lassen sich in den Schnitten deutlich Bereiche zerrissener Zellen erkennen, die im Querschnitt gegenüber liegen und einen Kontakt der Rohrinhaltes mit den Endodermiszellen ermöglichen.

Auf eine, hier ebenfalls aus deutlich verdickten Zellen bestehende Endodermis folgt bei den Präparaten aus dem Inneren der Anschlusskanal wieder ein Bereich, in dem sich keine Zellen befinden. Umgeben von diesem Hohlraum befindet sich zentral das Leitbündel.

Der nahezu kreisförmige Umfang dieses Organs, wie auch die Tatsache, dass die Zellen fast kugelförmig scheinen, ist möglicherweise durch den geringen Druck aufgrund des fehlenden Substrats begründet.

4.4.3.5 Wurzeln im verholzten Zustand

Abbildung 35 a) und Abbildung 35 b) zeigen Wurzeln im verholzten Zustand. Das Holz in der Wurzel hat die Funktion gelöste Stoffe zu anderen Stellen des Baumes zu transportieren und sorgt zudem für eine stabile Ausbildung der Wurzel, die für die Verankerung des Baumes im Boden notwendig ist. Die Vergrößerung des Holzanteils bewirkt eine Vergrößerung des Querschnitts in radialer Richtung. Dieses, als sekundäres Wachstum bezeichnete Phänomen führt

Seite 65 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



bei einem Einwuchs in eine Rohrverbindung zur Vergrößerung der Undichtigkeit. Zusätzlich kann die betroffene Verbindung zerstört werden.

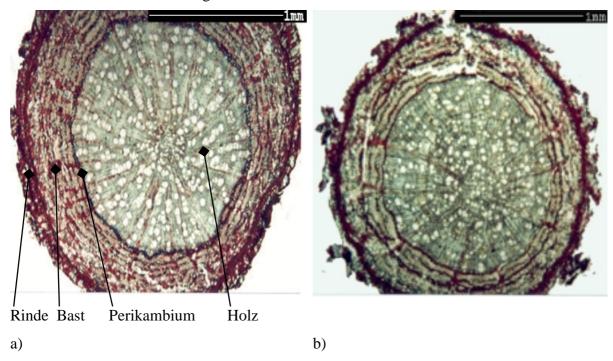


Abbildung 35: a) Präparat einer verholzten Wurzel aus dem Leitungsgraben

b) Präparat einer verholzten Wurzel aus der Muffe

Abbildung 36 a) und Abbildung 36 b) geben den Querschnitt einer verholzten Wurzel aus dem Inneren des Anschlusskanals wieder. Deutlich lässt sich hier das Fehlen des gesamten Bastteils und somit eines äußeren Abschlussgewebes erkennen. Die äußeren Schichten der Wurzel haben sich nach Einwachsen in die Leitung abgelöst. Als Resultat bildet die zuletzt vom Kambium nach innen abgegebene Zellschicht den Abschluss des Organs nach außen.

Die Anordnung der Elemente im Holzteil lässt in Folge ihrer Regelmäßigkeit und der großen Menge an Zellen zwischen den Jahresgrenzen, auf einen starken, gleichmäßigen Zuwachs während der Zeit der Bildung der entsprechenden Zellen schließen. Dieses starke sekundäre Wachstum lässt sich mit dem Entnahmeort im Inneren des Rohres in Zusammenhang bringen. Infolge des fehlenden Bodens und somit keinem Gegendruck, kann die Wurzel verstärkt in die Dicke wachsen. Das Wurzelvolumen nimmt ohne Gegendruck schneller als im Boden, mit Gegendruck, zu. Folglich wird bei gleichem Längenwachstum ein größeres Volumen beansprucht. Das betroffene Rohr wuchert schneller zu.

Die äußeren Zellschichten weisen Einlagerungen von dunkel erscheinenden Stoffen auf, die sich auf den Bereich des Zuwachses des letzten Jahres beschränken und vermutlich aus dem Abwasser stammen. Die Oberfläche war, wie vor der Präparation erkennbar, von einem Riss durchzogen. Abbildung 36 b) zeigt den Bereich der geschädigten Zellen in der Nähe, längs angeschnittener Zellen eines Holzstrahles, in einer Detailansicht. Hier sind ebenfalls deutlich die eingedrungenen Schmutzstoffe erkennbar.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 66 von 127



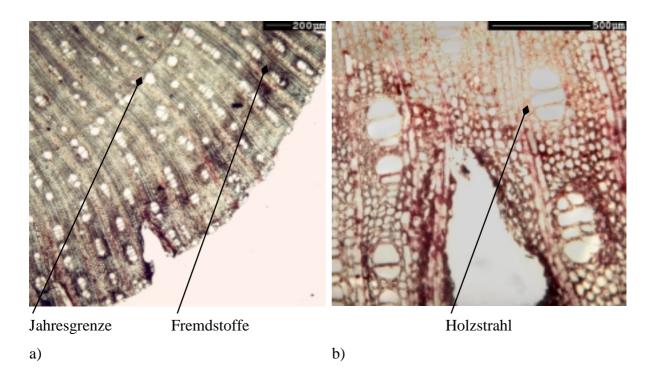


Abbildung 36: a) Ansicht der peripheren Bereiche der Wurzel aus dem Rohrinneren *b*) Detailansicht eines Risses im peripheren Bereich der Wurzel aus dem Rohrinneren

Im Zuge des inneren Zuwachses wurden die Markzellen aus dem intakten Kambium gebildet.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 67 von 127



5 Untersuchung von Sanierungsmaßnahmen

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Untersuchung der ausgesuchten Sanierungsfälle ist in Abbildung 37 schematisch dargestellt. Die Verknüpfung der einzelnen Verfahrensschritte ist Grundvoraussetzung für die Erstellung eines umfassenden Sanierungskonzeptes.

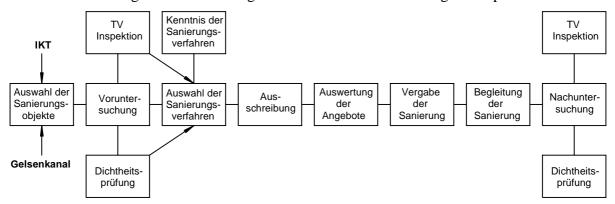


Abbildung 37: Übersicht über den Verfahrensablauf der Sanierungsmaßnahmen

5.1 Auswahl der Sanierungsobjekte und -verfahren

Grundlage für die Auswahl der für das Forschungsvorhaben in Frage kommenden Sanierungsobjekte waren die von GELSENKANAL gesammelten Erkenntnisse bzgl. wiederholt auftretender Verwurzelungen der Anschlusskanäle im Raum Gelsenkirchen. Hierbei waren die Hauptauswahlkriterien:

- 1. Die bei GELSENKANAL vorliegenden Inspektionsberichte der Kanalreinigungsfirmen mit denen eine Eingrenzung der Sanierungsverfahren möglich war.
- 2. Die an den gemeldeten Schadensorten gepflanzten und durch die Datenauswertung als Hauptschadensverursacher identifizierten Bäume.

Hauptaugenmerk bei der Auswahl der Sanierungsverfahren wurde dabei auf eine möglichst große Bandbreite der Verfahren gelegt. Da die Erneuerungsverfahren in geschlossener Bauweise aufgrund der Leitungsführung sowie der Zugänglichkeit über Reinigungsöffnungen nicht angewandt werden konnten, kamen Reparatur- und Renovierungsverfahren zum Einsatz. Die Verfahrensbreite schränkte sich infolge der in den Voruntersuchungen dokumentierten Randbedingungen auf folgende Verfahren ein:

- 1. Kurzschlauchverfahren
- 2. Rohrstrangverfahren und
- 3. Schlauchrelining

Die Schlauchreliningverfahren machen, gerade für den Bereich der kleinen Kanäle, einen Großteil der durchgeführten Sanierungsverfahren aus. Deshalb wurden mehrere, vom Verfahren her unterschiedliche, Schlauchreliningverfahren angewandt.

Folgende Verfahren kamen zum Einsatz:

 Midliner®-Verfahren und Houseliner®-Verfahren der Kanal-Müller-Gruppe (KMG), Schieder-Schwalenberg

- Schlauchrelining (KAS) mit offenem Ende durch die Firma Insituform®, Nürnberg
- Schlauchrelining (Nadelfilz) mit Sanierung des Einmündungsbereich mittels eines Hutprofils durch die Firma Kan.D.I.S, Schmalenberg
- Schlauchrelining mit dem Brawoliner-Verfahren und Aushärtung mit Warmwasser durch die Firma Pader-Kanal-Technik, Paderborn
- Flexorenrelining durch die Firma Lobbe, Iserlohn
- Kurzschlauch-Verfahren durch die Firma Rohr-Sanierung-Regh (RSR), Oberhausen
- Schlauchrelining mit dem Brawoliner-Verfahren und Aushärtung mit Luft unter Umgebungstemperatur durch die Firma Rohr-Sanierung-Regh (RSR), Oberhausen

In Tabelle 6 sind die einzelnen Verfahren den Sanierungsmaßnahmen zugeordnet.

Tabelle 6: Zuordnung der Sanierungsverfahren zu den Einsatzorten

Maßnahme	Sanierungsverfahren Grund- stücksentwässerung	Sanierungsverfahren Stutzen
Sanierung 1	Midliner®-Verfahren und Hou- seliner®-Verfahren	Hutprofil
Sanierung 2	KAS-Verfahren	_
Sanierung 3	IN-TEC-Verfahren	Hutprofil
Sanierung 4	Brawoliner®-Verfahren, War- maushärtung	Spachtelroboter
Sanierung 5	Flexorenrelining mit Hutprofil	Hutprofil
Sanierung 6	Kurzschlauch-Verfahren	_
Sanierung 7	Brawoliner®-Verfahren, Kaltaus- härtung	

Ein wichtiges Auswahlkriterium war der Zustand und Verlauf der zu sanierenden Grundstücksentwässerungsleitung. So wurden bei der Inspektion für die Sanierung 4 zwei 90°-Bögen festgestellt. Hierfür bot sich der Brawoliner® aufgrund seiner guten Bogengängigkeit an.

Das Flexoren®-Relining im Bereich der Anschlusskanäle kann nur dort eingesetzt werden, wo keine seitlichen Einläufe in den Kanal münden. Als einziger Hausanschluss bot sich hier der Anschlusskanal für die Sanierung 5 an.

Kurzschläuche werden im Bereich der Anschlusskanäle seltener eingesetzt. Da sie zu den Reparaturverfahren zählen, werden sie meist nur für örtlich begrenzte Schäden verwendet. Hier wurden sie aufgrund der in den Inspektionsberichten dokumentierten Schäden in größerer Anzahl auf der kompletten Länge der jeweiligen Anschlusskanäle eingebaut.

Seite 69 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



5.2 Voruntersuchung

Im Laufe der Voruntersuchungen sind für jeden Anschlusskanal Stamm- und Zustandsdaten nach Tabelle 7 erhoben worden.

Tabelle 7: Beschreibung der Stamm- und Zustandsdaten

Stammdaten	Zustandsdaten
Baujahr (Archiv GELSENKANAL)	Undichtigkeiten
Leitungslänge	Abflusshindernisse
Gefälle / Tiefenlage der Einbindung in den Hauptkanal	Lageabweichungen
Kanalart	mechanischer Verschleiß
Rohrprofil	Korrosion
Rohrdimension/ -wechsel	Verformung
Rohrmaterial/ -wechsel	Risse
Abzweige	Rohrbruch
Trassenverlauf	Einsturz
Revisionsschächte	Abzweige
	Baulicher Zustand der Revisionsschächte

Die TV-Inspektionen und Dichtheitsprüfungen der Anschlusskanäle sind eine wichtige Voraussetzung zur Erarbeitung des Sanierungskonzeptes. Das ATV-Merkblatt M 143 Teil 1 [21] bezeichnet mit Inspektionen Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von Kanalisationen. Bei einer Kamerabefahrung wird die überwiegende Zahl der Kanalschäden qualitativ und quantitativ ausreichend genau erfasst. Allerdings sind Undichtigkeiten in Rohrverbindungen oder Rohrwandungen visuell nur bei Infiltration (d.h. bei eindringendem Wasser) erkennbar.

Ablauf der TV-Inspektion:

Unmittelbar vor der Befahrung mit einer Inspektionskamera, ist eine Reinigung des Kanals unerlässlich. Zum einen können verfestigte Ablagerungen im ungespülten Kanal nicht mit ausreichender Sicherheit von lösbaren Ablagerungen unterschieden werden. Zum anderen muss die Kanalhaut vollständig von der Rohrwandung entfernt werden, um Schäden wie feine Risse und Korrosion erkennen und in ihrem Ausmaß beurteilen zu können. Die Inspektion erfolgte vom Revisionsschacht des Hauses.

Die TV-Inspektion dient der Dokumentation von

- ⇒ einwachsenden Wurzeln,
- ⇒ Lageabweichungen im Muffenbereich,
- ⇒ Ablagerungen,
- ⇒ seitlichen Zuläufen,

Seite 70 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



- ⇒ Trassenverlauf sowie
- ⇒ Abflusshindernissen

und ist Grundlage für die Auswahl der Sanierungsverfahren.

Abbildung 38 zeigt den auf die Geländeoberkante projizierten Trassenverlauf des Anschlussund Hauptkanals.

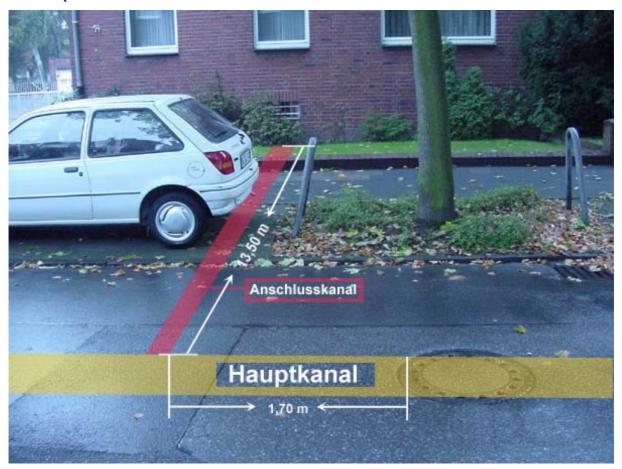


Abbildung 38: Übersicht des Trassenverlaufs der Entwässerungskanäle im Straßenraum

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 71 von 127



Dichtheitsprüfung:

Eine gesicherte Beurteilung der Dichtheit ist nur durch eine Dichtheitsprüfung möglich. Die Prüfungen wurden nach Vorgaben des ATV Merkblatts 143 Teil 6 [32] mit einem flexiblen, von der Firma Städtler + Beck konzipierten Dichtheitsprüfsystem durchgeführt.







"Untere" Absperrblase b) a)

"Obere" Absperrblase

c)

Befülleinrichtung mit Anschlusskabel für die Datenerfassung

Abbildung 39: Absperrblase des Dichtheitsprüfgerätes

Eine Absperrblase wird mittels eines Druckluftschiebestabes (Abbildung 39 a)) bis kurz vor den Einlauf in den Hauptkanal geschoben und durch Druckluftzugabe von 2,5 bar im Anschlusskanal fixiert. Dieser Vorgang wird von einer fahrbaren Inspektionskamera, die im Hauptkanal direkt vor der Einmündungsöffnung steht, beobachtet und gesteuert. Eine zweite Absperrblase (Abbildung 39 b)) wird direkt am Revisionsschacht positioniert. Befinden sich seitliche Zuläufe im Anschlusskanal oder der Grundleitung wird eine abschnittsweise Prüfung durchgeführt. Lassen sich die Zuläufe mit Absperrblasen abdichten, kann der gesamte Kanalstrang geprüft werden. Dies erfordert allerdings ein genaues Einmessen der seitlichen Zuläufe und eine anschließende Überprüfung der Position durch eine TV-Kamera, damit ein dichtes Abschließen des Prüfraumes gewährleistet ist.

Die Messwerte der Dichtheitsprüfung mit Luft nach ATV M 143 Teil 6 [32] wurden permanent datentechnisch erfasst und graphisch dargestellt. In Abbildung 40 ist der Druckverlauf einer Prüfung mit Luft dargestellt. Innerhalb von 43 Sekunden war ein Druckabfall von $\Delta p =$ 47 mbar feststellbar, Dieser liegt deutlich über dem erlaubten Druckabfall von $\Delta p = 15$ mbar innerhalb von 90 Sekunden nach ATV M 143 Teil 6 [32].

Bei der Prüfung mit Wasser wurde zur Ermittlung der Dichtheit des Anschlusskanals die zugegebene Menge Wasser gemessen und anhand der Vorgaben des ATV M 143 Teil 6 [32] ausgewertet.

Die augenscheinliche Beurteilung der sieben Anschlusskanäle nach der Durchführung der TV-Inspektion ergab, dass bei allen Kanälen aufgrund des Schadenbildes Sanierungsbedarf bestand. Dies wurde erwartungsgemäß durch die Dichtheitsprüfungen bestätigt.

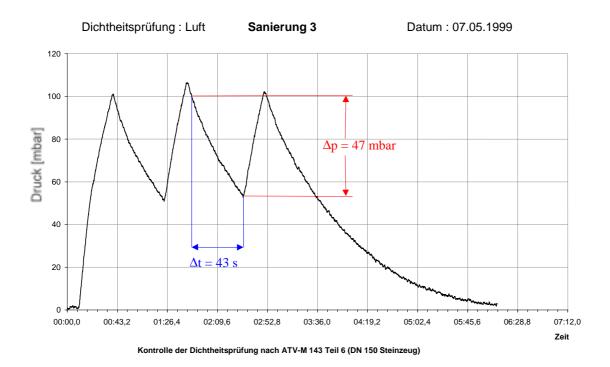


Abbildung 40: Druckverlauf einer Dichtheitsprüfung mit Luft nach ATV-M 143 Teil 6 [32] vor der Sanierung

Zur Erstellung eines Sanierungskonzeptes wurde auch der Einmündungsbereich des Anschlusskanals in den Hauptkanal auf Dichtheit geprüft. Hierzu wurde der Hauptkanal sowohl vor als auch hinter dem Einmündungsbereich des Anschlusskanals mittels Absperrblasen abgedichtet. Zusätzlich wurde eine Absperrblase direkt in den Anschlusskanal gesetzt, so dass nur der Bereich unmittelbar am Stutzen als Prüfraum zur Verfügung stand. Durch eine Absperrblase im Hauptkanal wurde dann Druckluft in den Prüfraum geleitet und durch geeignete Messtechnik der Druckverlust innerhalb des Prüfraumes gemessen.



Abbildung 41: Montage eines Dichtheitsprüfgeräts für Stutzen

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 73 von 127



Bei dieser Untersuchung wurde ebenfalls Sanierungsbedarf im Bereich der Einmündung des Anschlusskanals an den Hauptkanal festgestellt. Diese Erkenntnisse flossen in die Erstellung eines geeigneten Sanierungskonzeptes mit ein.

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Dichtheitsprüfung wiedergegeben.

Tabelle 8: Ergebnis der Dichtheitsprüfung vor der Sanierung

Straße	Dichtheit ?			
	Anschlusskanal	Stutzen		
Sanierung 1	nein	nein		
Sanierung 2	nein	_		
Sanierung 3	nein	nein		
Sanierung 4	nein	nein		
Sanierung 5	nein	nein		
Sanierung 6	nein	ja		
Sanierung 7	nein	_		

5.3 Sanierungen in geschlossener Bauweise

Während des Forschungsvorhabens wurden 7 Sanierungen von Grundstücksentwässerungsleitungen in geschlossener Bauweise und 2 in offener Bauweise begleitet.

Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die 7 Sanierungsfälle in geschlossener Bauweise.

26.09.01 - HS D:\endbericht.doc Stand: A00-26.09.01 Seite 74 von 127



Tabelle 9: Sanierungen in geschlossener Bauweise

Ort	Art	Werkstoff	Rohrverbin- dung	Länge [m]	Seitliche Einläufe	Zugang über
Sanierung 1	Anschluss- kanal	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	15,2	2	Reinigungs- öffnung im Haus / Hauptkanal
Sanierung 2	Grundleitung	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	10,2	3	Reinigungs- öffnung im Haus
Sanierung 3	Anschluss- kanal	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	13,5	1	Reinigungs- öffnung im Haus
Sanierung 4	Anschluss- kanal	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	12,0	1	Reinigungs- öffnung im Haus
Sanierung 5	Anschluss- kanal	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	13,4	_	Reinigungs- öffnung im Haus
Sanierung 6a	Anschluss- kanal	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	13,0	2	Reinigungs- öffnung im Haus
Sanierung 6b	Anschluss- kanal	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	12,0	1	Reinigungs- öffnung im Haus
Sanierung 7	Anschluss- kanal	Steinzeug	Muffe mit Teerstrick- dichtung	18,7	2	Reinigungs- öffnung im Haus

In sechs Fällen musste der Anschlusskanal zwischen Reinigungsöffnung und Hauptkanal saniert werden.

Bei Sanierung 2 war der Anschlusskanal bereits in offener Bauweise mit duktilen Gussrohren saniert worden. Die Verwurzelung setzte sich allerdings im Bereich der Grundleitungen bis unter das Haus fort, so dass eine Sanierung der Grundleitung vorgenommen werden musste.

Bei den Sanierungen 6a und 6b handelt es sich um einen sogenannten "Ypsilon"-Anschluss. Der Anschlusskanal der Sanierung 6b entwässert in den Anschlusskanal der Sanierung 6a. Beide Leitungen wurden saniert.

Der verwurzelte Anschlusskanal auf der Sanierung 5 stellt im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen eine Besonderheit dar, da keine seitlichen Einläufe hinter der Reinigungsöffnung bis zur Einmündung in den Hauptkanal vorgefunden wurden.

26.09.01 - HS D:\endbericht.doc Stand: A00-26.09.01 Seite 75 von 127



5.3.1 Sanierung 1

Der zu sanierende Anschlusskanal entwässert ein Zweifamilienhaus in einen Hauptkanal DN 300 (Mischwasserkanal) und hat eine Länge von 15,20 m. Die Reinigungsöffnung im Revisionsschacht mit den Maßen 50 x 50 x 50 cm ist als gut zugänglich zu bezeichnen.

5.3.1.1 Voruntersuchungen

Eine Inspektion des Anschlusskanals ergab folgendes Schadenbild:

Tabelle 10: Inspektionsbericht:

Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
2,20 m	Anschluss von links
2,80 m	Anschluss von rechts
3,50 m	Wurzeleinwuchs
4,00 m	Wurzeleinwuchs im Scheitel
6,00 m	Scherbenbildung
7,00 m	Wurzeleinwuchs im Scheitel, Scherbenbildung
8,00 m	Radiale Risse, Scherbenbildung, Wurzeleinwuchs
10,00 m	Scherbenbildung, Wurzeleinwuchs
11,00 m	Scherbenbildung, Wurzeleinwuchs
12,00 m	Risse im Muffenbereich, Scherbenbildung, Wurzeleinwuchs
13,00 m	Risse im Muffenbereich, Scherbenbildung, Wurzeleinwuchs
14,00 m	Risse im Muffenbereich, Scherbenbildung, Wurzeleinwuchs
15,20 m	Einmündung in Straßenkanal, Anschlussbereich vollständig

An beinahe jeder Rohrverbindung der einzelnen Steinzeugrohre waren Risse, Scherbenbildung und Wurzeleinwuchs zu beobachten. Zudem wurden bei der Inspektion zwei seitliche Einläufe festgestellt, an denen die Dachentwässerung angeschlossen ist.

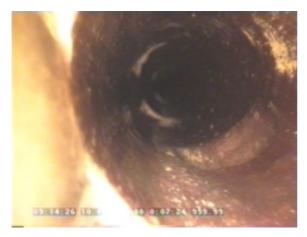
Eine Sanierung auf voller Länge war notwendig.

Der Anschluss an den Hauptkanal wurde unfachmännisch hergestellt und musste ebenfalls saniert werde.

Die Bilder in Abbildung 42 zeigen exemplarisch die vorgefundenen Situationen im Anschlusskanal.

D:\endbericht.doc Stand: A00-26.09.01 Seite 76 von 127 26.09.01 - HS



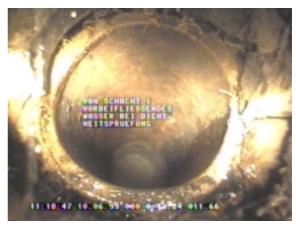




a) Zulauf rechter Kämpfer

09:31:54 10 06:99 000 0:24:52 999:91

b) Ausgeprägte Scherbenbildung



c) Wurzeleinwuchs

Einmündungsbereich des Anschluss d) kanals

Abbildung 42: Beispiele zur Situation Sanierung 1

Für die Sanierung wurden zwei Verfahren der Kanal-Müller-Gruppe, Schieder-Schwalenberg eingesetzt. In einem ersten Schritt wurden der Bereich von der Reinigungsöffnung bis zur Mitte des Anschlusskanals mit dem Midliner®-System saniert. In einem zweiten Schritt wurde das verbleibende Stück mit dem neu entwickelten Houseliner®-System vom Hauptkanal aus saniert. Im Anschlusskanal konnte mit diesem Vorgehen auf den Einsatz eines Roboters verzichtet werden.

5.3.1.2 Durchführung

Als erster Schritt wurde mit der Sanierung des Anschlusskanals an der Reinigungsöffnung begonnen. Insgesamt wurden 7,60 m des 15,20 m langen Anschlusskanals mit dem Midliner®-Verfahren saniert. Der noch nicht sanierte Teil wurde zu einem späteren Zeitpunkt mit dem Houseliner®-Verfahren vom Hauptkanal aus saniert.

Bei dem Midliner® handelt es sich um ein Kurzschlauchverfahren, dass bis zu einer Länge von 4,0 m eingesetzt werden kann. Durch die partielle Sanierung ließen sich die beiden intakten Einläufe der Regenentwässerung aussparen und der Einsatz eines Fräsroboters war nicht nötig.

Seite 77 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



Basismaterial von Midliner® ist ein mehrlagiges ECR-Glasfaserlaminat, das nach Bedarf mehrschichtig aufgebaut ist. Es wird getränkt mit einem kalthärtenden Epoxidharzsystem. Das Ergebnis ist eine formschlüssig im Kanal haftende Innenauskleidung von mindestens 4 Millimeter Wandstärke. Midliner® sind nach Herstellerangabe dicht, korrosionsbeständig und chemisch resistent gegen aggressive Abwässer. Nach der Tränkung der vor Ort konfektionierten Glasfaserlaminate werden diese durch einen flexiblen Midliner® Langpacker über den Revisionsschacht in den Anschlusskanal eingeführt. Ein pneumatischer Anpressdruck von bis zu 0,7 bar presst das Laminat formschlüssig an die Rohrwandung. Dort härtet es, je nach Umgebungstemperatur zum fertigen Liner aus [33].

Das Houseliner®-Verfahren gehört zu der Gruppe der Schlauchreliningverfahren wird aber, anders als die meisten Schlauchreliningverfahren für diese Nennweiten, nicht von der Reinigungsöffnung sondern vom Hauptkanal aus inversiert.

Die Houseliner®-Basis ist ein nahtloses Gestrick hochfester Polyesterfäden versehen mit einer wasserdichten Kunststoffbeschichtung. Der Houseliner®-Schlauch ist einseitig mit einer luft- und wasserdichten Spezialfolie versehen. Diese Folie ermöglicht die Druckbeaufschlagung bei der Inversion und verbindet sich bei der Aushärtung fest mit dem Liner. Die neuartige hydraulische Installation soll den Houseliner®-Einbau vom Hauptkanal aus ermöglichen. Der Liner wird nach klassischem Prinzip durch den Druck einer Wassersäule installiert. Der Inversionsdruck wird über ein Schlauchsystem im Hauptkanal aufgebaut. Die am Anschlussstutzen positionierte Umlenkeinheit gewährleistet, dass der Houseliner®-Schlauch in den Hausanschluss inversiert [33].

5.3.1.2.1 Sanierung mit dem Midliner®-Verfahren

Die exakte Positionierung der Kurzschläuche im zu sanierenden Anschlusskanal ist Grundvoraussetzung für einen dauerhaften Erfolg einer Sanierung für den Fall Wurzeleinwuchs. Die betroffenen Muffen und Einläufe wurden hierfür vom Sanierungspersonal eingemessen (Abbildung 43 a)).

Daraufhin wurde von einer auf Rollen gelagerten ECR-Folie ein bis zum ersten Zulauf passendes Stück zugeschnitten. Dieses Stück mit einer Länge von 1,80 m wurde mit einem 3-Komponenten Silikatharz imprägniert (Abbildung 43 c)) und anschließend eng auf den mit einer Schutzfolie versehenen Packer gewickelt (Abbildung 43 d)). Die Imprägnierung erfolgte durch die beidseitige Verteilung des Harzes mit Zahnspachteln. Um die imprägnierte ECR-Folie wurde eine weitere Kunststofffolie gewickelt, die den mittleren Teil der ECR-Folie bedeckte und nur ca. 10 cm an den Enden unbedeckt ließ. In diesem Abschnitt fand also keine Verklebung des Liners mit dem Altrohr statt.

Nun wurde der Packer (Abbildung 43 b)) mitsamt der imprägnierten Folie durch die Reinigungsöffnung in den Anschlusskanal geschoben (Abbildung 43 e)), positioniert und durch die am Packer angebrachten Luftdruckleitungen mit ca. 2,5 bar an die Rohrwandung im Anschlusskanal gepresst. Nach einer Aushärtzeit von etwa einer Stunde hatte das Harz seine volle Festigkeit im Verbund mit der ECR-Folie erreicht und bildete einen vollständig tragfähigen und nutzbaren neuen Kanalabschnitt.

Die Aushärtzeit kann durch die Zugabemenge der für die Durchhärtung notwendigen Komponente in Abhängigkeit von den herrschenden Temperaturverhältnissen variiert werden.



Die richtige Kombination der Einzelkomponenten unter den vorherrschenden Bedingungen sind Voraussetzung für einen tragfähigen Liner.

Im nächsten Schritt wurde der Bereich zwischen den beiden Einläufen der Dachentwässerung mit einem 55 cm langen Midliner® saniert (Abbildung 43 f)). Die optische Inspektion ergab, dass die beiden, für die Einläufe verwendeten Formstücke unbeschädigt waren und ausgespart werden konnten. Im Bereich hinter den beiden Einläufen wurden die einzelnen Liner mit 10 cm Überlappung verklebt. Nach Beendigung dieses Sanierungsvorgangs, der wiederum nach der oben beschriebenen Verfahrensweise ablief, waren 7,60 m im Anschlusskanal instandgesetzt.





a) Inspektion des Anschlusskanals



b) Geknickter Packer



c) Imprägnieren des Midliner®

d) Umwickeln des Packer

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 79 von 127







Einschieben des Midliners® e)

f) Vorbereiten eines Zwischenstücks

Abbildung 43: Sanierungsablauf Midliner®-Verfahren

5.3.1.2.2 Sanierung mit dem Houseliner®-Verfahren

In einem zweiten Schritt wurde die Sanierung mit dem Houseliner®-Verfahren fortgesetzt. Hierzu mussten im Hauptkanal drei einragende Stutzen auf der Strecke vom Startschacht bis zur Einmündungsöffnung des zu sanierenden Anschlusskanals beseitigt werden. Diese Fräsarbeiten wurden mit dem hydraulischen Robotersystem der Firma KA-TE vorgenommen. Die Beseitigung der einragenden Stutzen war notwendig, um zum einen das ferngesteuerte Houseliner®-System anwenden zu können, da ansonsten der Sanierungsroboter mitsamt Aufsatz (siehe Abbildung 44 b)) nicht bis zum beschädigten Anschlusskanal hätte vorfahren können, und zum anderen das Setzen eines Hutprofils als dichte Anbindung des Anschlusskanals an den Hauptkanal zu ermöglichen.

Zuerst wurde erneut die zu sanierende Strecke im Anschlusskanal eingemessen um den Liner vor Ort auf die richtige Länge konfektionieren zu können. Zusätzlich wurde mit einem weiteren Roboterfahrzeug die Entfernung vom Startschacht bis zur Einmündung des Anschlusskanals ausgemessen. Als Liner wurde ein Brawoliner® (Abbildung 44 c)), der mit einem 2-Komponenten Epoxidharz im Mischungsverhältnis 2:1 (2 Teile Harz zu 1 Teil Härter) getränkt wurde, verwendet (Abbildung 44 e)und f)).

Dieser Harz benötigt kalt ca. 26 Stunden zum Aushärten, wird aber durch die Zuleitung von bis zu 90° heißem Wasser aufgeheizt und zu einem schnelleren Aushärten angeregt (Abbildung 44 j)). Bei Erreichen der Normaltemperatur ist der Liner mitsamt dem Harz zu einem selbsttragenden und allen Anforderungen der Abwassertechnik entsprechenden System ausgehärtet.

Vor Beginn des Inversionsprozesses wurde von einem Inversionsgerüst (Abbildung 44 i)) über dem Startschacht, ein Führungsschlauch mit einem an der Robotereinheit hängenden Wagen (Abbildung 44 a)) zur Einmündung des Anschlusskanals transportiert. In diesem Führungsschlauch am Roboterwagen befestigt befanden sich sowohl der imprägnierte Liner als auch ein Stützschlauch (Abbildung 44 f und g)), die nach der exakten Positionierung des Wagens vor der Einmündungsöffnung durch Zuleitung von Wasser in den Anschlusskanal inversiert wurden. Der zum Inversieren nötige Wasserdruck wurde innerhalb des Stützschlauches, der an seinem vorderen Ende fest verschlossen ist, aufgebracht. Der Brawoliner® blieb somit an beiden Seiten offen und musste später nicht mit einem Fräsroboter geöffnet werden.



Am hinteren Ende des Brawoliner®-Schlauches wurde ein aus dem Brawoliner®-Material bestehendes Hutprofil mit einem Heißkleber fixiert (Abbildung 44 h)). Das Hutprofil, das mit einem anderen, schneller härtenden Harz getränkt wird, legt sich bei der Positionierung des Wagens direkt an die Rohrwandung des Hauptkanals an und bildet üblicherweise den dichten Anschluss des Houseliners® an den Hauptkanal. Abbildung 44 b) zeigt das Hutprofil vor der Imprägnierung mit Harz auf dem Packer, der vor dem Stutzen positioniert wird.

Der Inversionsprozess wie auch die Aushärtung unter einem Druck von 0,5 bar wurde vom Gerüst (Abbildung 44 i)) über dem Startschacht gesteuert und mit einer Kamera im Anschlusskanal beobachtet.





a) Fahreinheit



b) Wagen mit Hutprofil



c) Brawoliner®-Schlauch



d) Anrühren des Harzes



e) Imprägnierung des Liners

Einführen in den Führungsschlauch

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 81 von 127





g) Wasserzuleitungen



h) Anbringen des Hutprofils



i) Inversionsgerüst



Austretender Wasserdampf während der Warmaushärtung

Abbildung 44: Sanierungsablauf Houseliner®-Verfahren

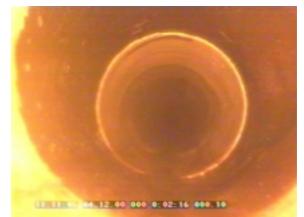
5.3.1.3 Nachuntersuchung

Im Folgenden sind Bilder des Anschlusskanals der Sanierung 1 nach der Sanierung dargestellt. Abbildung 45 a) und Abbildung 45 b) zeigt die sanierten Streckenabschnitte im Bereich der beiden Einläufe von links und rechts. In Abbildung 45 c) ist der Übergangsbereich zwischen Midliner® und Brawoliner® dargestellt. Auffällig ist die fehlende Überlappung der beiden Sanierungssysteme. Abbildung 45 e) zeigt den Bereich des Liners kurz vor der Einmündung in den Hauptkanal. Neben einigen schräg verlaufenden Falten, die von der inneren Folie verursacht werden, ist der Liner an einigen Stellen verformt. Das in Abbildung 45 f)

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Seite 82 von 127 Stand: A00-26.09.01

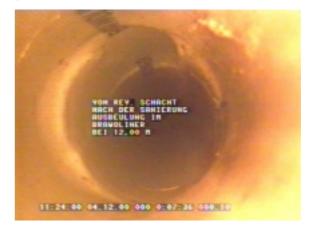
dargestellte Hutprofil zur Stutzensanierung konnte sich nicht an das Altrohr anlegen. Der vorher freigefräste Bereich um den Stutzen erwies sich größer als das Hutprofil.





a) Einlauf von links

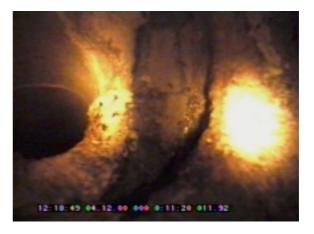
b) Einlauf von rechts



Fehlende Überlappung zwischen c) Midliner und Brawoliner



d) Beulen an der Rohrwandung



e) Liner vor Einmündung in den Hauptkanal

f) Hutprofil im Stutzenbereich

Abbildung 45: Nachuntersuchung Sanierung 1

Nach der Sanierung wurde eine Dichtheitsprüfung mit den Medien Luft und Wasser durchgeführt. Bei der Dichtheitsprüfung mit Luft konnte nur ein Druck von 50 mbar anstatt der gefor-

Seite 83 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



derten 100 mbar nach ATV M 143 Teil [32] aufgebracht werden, der sich aber nicht halten ließ. Die Prüfung mit Wasser erbrachte ebenfalls kein Ergebnis. Es ist möglich, dass die Prüfmedien im Bereich der fehlenden Überlappung (Abbildung 45 c)) entwichen. Des weiteren besteht die Möglichkeit, dass die Medien an der hinter dem Einlauf gesetzten Blase des Prüfsystems entwichen. Diese konnte aufgrund des begrenzten Platzes im Rohr nicht mit einer Kamera überwacht werden.

5.3.1.4 Bewertung

Problematisch war der Einbau der Midliner® durch die vorgefundene Reinigungsöffnung. So ließ sich der in Abbildung 43 b) dargestellte Packer nur schwer durch die 15 x 20 cm große Offnung einführen. Grund dafür waren der beim Einbringen entstehende Knick (Abbildung 43 b)) und die daraus resultierende Verbreiterung des Profils. Zudem konnte die Position des Liners nicht optisch kontrolliert werden. So war beim Setzen des letzten Packers ein Verrutschen des Laminats vom Packer zu verzeichnen, was zwar zu keinem Hindernis in der Flussbahn führte, den Querschnitt aber, wenn auch nicht unter die für Anschlusskanäle geltende Grenze von 100 mm, verringerte.

Bei der Anwendung des Houseliner®-Verfahrens erwies sich die Einbindung des Stutzens an den Hauptkanal als problematisch. Durch die vorbereitenden Fräsarbeiten wurde der zu sanierende Stutzen weiträumig verbreitert und war vor der Sanierung größer als das dort befestigte Hutprofil. Das Hutprofil liegt nicht an der Rohrwandung des Hauptkanals an. Nacharbeiten sind erforderlich.

Nur die genaue Abstimmung der an der Sanierung beteiligten Kolonnen, wie Fräs- und Sanierungskolonne, garantieren eine erfolgreiche Sanierung.

Das Midliner®-System verklebt sich, wie alle Kurzschlauchverfahren mit der Rohrwandung und gilt als partielle Sanierung. Bei der hier angewandten Variante verkleben nur 10 cm an den Enden der imprägnierten ECR-Folie. Es besteht also die Möglichkeit, dass Wurzeln in den verbleibenden Hohlraum eindringen und den Liner zur Seite drücken können. Eine Beobachtung der entsprechenden Abschnitte in regelmäßigen Abständen kann darüber Aufschluss geben.

Das Houseliner®-System ist ein Schlauchrelining-Verfahren. Schwachpunkte bzgl. Dichtheit und Wurzelfestigkeit können die Enden des Schlauches darstellen. Das ist zum einen der in Abbildung 45 c) dargestellte Bereich, in dem keine Überlappung mit dem Midliner®-System stattgefunden hat und zum zweiten der Stutzenbereich, an dem das Hutprofil für einen Abschluss sorgen soll. Diese Bereiche müssen weiterhin beobachtet werden.

5.3.2 Sanierung 2

Bei dieser Sanierungsmaßnahme wurde die Grundleitung eingehend begutachtet und saniert, da hier wie bei dem bereits sanierten Anschlusskanal erhebliche Beeinträchtigungen bei der Entwässerung des Mehrfamilienhauses zu verzeichnen waren. Die Grundleitung ist 10,50 m lang und endet in einem Regenfallrohr auf der Rückseite des Hauses. Zugang erlangte man über eine gut zugängliche Reinigungsöffnung im Keller des Hauses, die in einem Revisionsschacht (B*H*T = 50*50*50 [cm] / runde Öffnung mit 45 cm Durchmesser) eingebettet lag.



5.3.2.1 Voruntersuchung

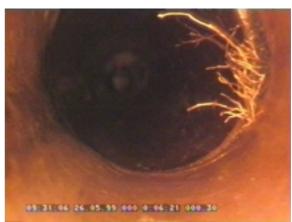
Eine Inspektion der Grundleitung ergab folgendes Schadenbild:

Tabelle 11: *Inspektionsbericht:*

Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
0,40 m	Wurzeleinwuchs, vertikaler Versatz, Muffe auseinander
1,40 m	Wurzeleinwuchs
2,40 m	Wurzeleinwuchs
4,20 m	Wurzeleinwuchs im Scheitel
5,00 m	Anschluß von links (Zugangsöffnung an der Kellertreppe)
5,50 m	Wurzeleinwuchs, Kämpfer rechts
6,00 m	Wurzeleinwuchs
6,50 m	Anschluß von rechts (Waschküche), zugewurzelt
7,50 m	Wurzeleinwuchs
8,00 m	Anschluß von links (linke Hausfalleitung)
8,50 m	Wurzeleinwuchs, Bogen nach rechts
9,00 m	Wurzeleinwuchs im Bogen
9,50 m	Anschluß von rechts (Zulauf aus Garten)
10,20 m	Wurzeleinwuchs im Scheitel, Bogen nach oben

An jeder Rohrverbindung wurde im Verlauf der Grundleitung Wurzeleinwuchs festgestellt. Zudem war einer der drei seitlichen Zuläufe komplett zugewurzelt. Die Bilder a) - d) in Abbildung 46 zeigen eine Auswahl der in der Grundleitung vorgefundenen Wurzeleinwüchse und zwei der drei Zuläufe. Aufgrund der Schadensituation war eine Sanierung der Grundleitung auf voller Länge notwendig.





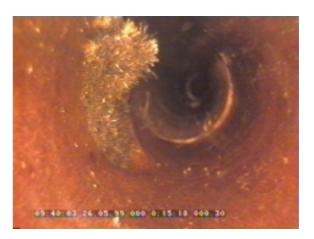
a) Zulauf linker Kämpfer

b) Leichter Wurzeleinwuchs

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 85 von 127







c) Starker Wurzeleinwuchs

d) Zugewurzelter Zulauf

Abbildung 46: Beispiele zur Situation Sanierung 2

5.3.2.2 Durchführung

Mit dem von der Firma Insituform® angebotenen KAS-Verfahren (Konventionelle Anschluss Sanierung) wurde eine Grundleitung unter der Fundamentplatte des Gebäudes saniert.

Eine gleichmäßige Materialdicke im gesamten Schlauchumfang wird durch das Zusammennähen der Längsnahtstöße des mehrlagigen Filzmaterials erreicht. Zur Erzielung einer langen Lebensdauer werden die Schläuche mit einer permanent haftenden, wasserdichten Polyethylenschicht versehen, die ca. 50% dicker als herkömmliche Beschichtungen ist. Die Langzeitfestigkeit eines Schlauchreliningsystems hängt im wesentlichen von den bei der Sanierung verwendeten Harzen und Aushärtsystemen ab. Das Vakuum-Tränkverfahren ermöglicht eine vollständige, porenfreie Imprägnierung und damit eine gleichmäßig hohe Festigkeit des ausgehärteten Rohres. Vor der Installation wird jeder Schlauch mit Harz getränkt. Auf der Baustelle wird durch einen zusätzlichen Folienschlauch (Preliner) verhindert, dass Harz beim Einbau ins Erdreich gelangt oder mit dem Grundwasser in Kontakt kommt. Gleichzeitig soll das harzgetränkte Schlauchmaterial luft- und porendicht zwischen den beiden Folien komprimiert werden, wodurch ein dichtes, über den gesamten Umfang gleichmäßig dickes Laminat hergestellt werden soll. [34]

Die Grundleitung war von starkem Wurzeleinwuchs befallen und von drei seitlichen Zuläufen unterbrochen. Am Ende der Grundleitung wurden bei der TV-Inspektion zuerst ein 90° Bogen nach rechts und direkt danach ein weiterer Bogen nach oben dokumentiert. An diesen Bogen ist ein Regenfallrohr auf der Rückseite des Gebäudes angeschlossen.

Die Sanierung wurde mit einem Schlauchreliningverfahren mit offenem Ende durchgeführt. Diese Verfahrensart in Zusammenhang mit dem Einbau eines Schlauches aus Polyester-Nadelfilz, der sich während des Inversionsvorgang in den seitlichen Zuläufen gut abzeichnet, sollte die abschließenden Fräsarbeiten auf ein Minimum reduzieren und vereinfachen. Die Verwendung eines Systems mir offenem Ende war außerdem notwendig, da ein Öffnen des Liners im hinteren Teil der Grundleitung in den engen Bögen mit einem Fräsroboter nicht möglich gewesen wäre und so durch ein genaues Ablängen des Schlauches die letzte Rohrverbindung unmittelbar vor dem Bogen nach rechts noch abgedeckt werden konnte.



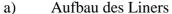
Das von der Firma Insituform eingesetzte Sanierungsfahrzeug ist für die Sanierung von Grossquerschnitten als auch für Kleinquerschnitte ausgestattet. Alle erforderlichen Vorbereitungen konnten im Fahrzeug vorgenommen werden.

Zunächst waren jedoch umfangreiche Fräsarbeiten zur Entfernung der Wurzeln im Vorfeld der Sanierung durchzuführen. Diese wurden einen Tag vor der eigentlichen Sanierungsmaßnahme ausgeführt. An jeder Rohrverbindung und in einem Zulauf, der komplett zugewurzelt war, mussten einwachsende Wurzeln entfernt werden. Anschließend wurde die Grundleitung mit einer Hochdruckspülung gereinigt. Danach wurde eine Längeneinmessung der Grundleitung, einschließlich einer Positionsbestimmung der Zuläufe, vorgenommen. Daraufhin sind der bei der Sanierung verwendete Preliner, der Polyester-Nadelfilzschlauch und der für die Druckaufbringung benötigte Stützschlauch nach den gemessenen Angaben zugeschnitten worden. (Abbildung 47 a))

Die Verwendung des Preliners, der nach dem Inversionsvorgang zwischen dem Nadelfilzschlauch und der Rohrwandung der Grundleitung liegt, verhindert zum einen das Eindringen von Harz in das umgebene Erdreich und zum anderen macht er auch eine Anwendung des Verfahrens bei einer Grundwasserbeeinflussung möglich.

Zunächst wurde der Liner mit einer Vakuumpumpe luftleer gezogen (Abbildung 47 b)) und dann mit einer automatischen Walzanlage imprägniert (Abbildung 47 d)). Zusammen mit dem Preliner wurde der imprägnierte Nadelfilzschlauch mit Luftdruck über eine Umlenkung in die Grundleitung inversiert (Abbildung 47 e)). Anschließend wurde mit dem gleichen Inversionsverfahren der Stützschlauch, der am hinteren Ende geschlossen ist (Abbildung 47 c)), in den locker in der Grundleitung liegenden Liner gestülpt und mit einem Luftdruck von ca. 0,5 bar belegt. Dadurch presst sich sowohl der Preliner als auch der Nadelfilzschlauch formschlüssig an die Rohrwandung an (Abbildung 47 g)). Nach einer Aushärtzeit von ca. 2 Stunden hat der Harz, der etwa 1,5 Stunden verarbeitbar bleibt, im Verbund mit dem Polyester- Nadelfilzschlauch eine selbsttragende und stabile Einheit gebildet. Der Stützschlauch wurde dann wieder gezogen. In der Grundleitung verbleibt der ausgehärtete Liner. Abschließend wurden die geschlossenen Zuläufe mit einem Robotersystem der Firma IMS aufgefräst (Abbildung 47 h)).







b) Vakuumpumpe

Seite 87 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

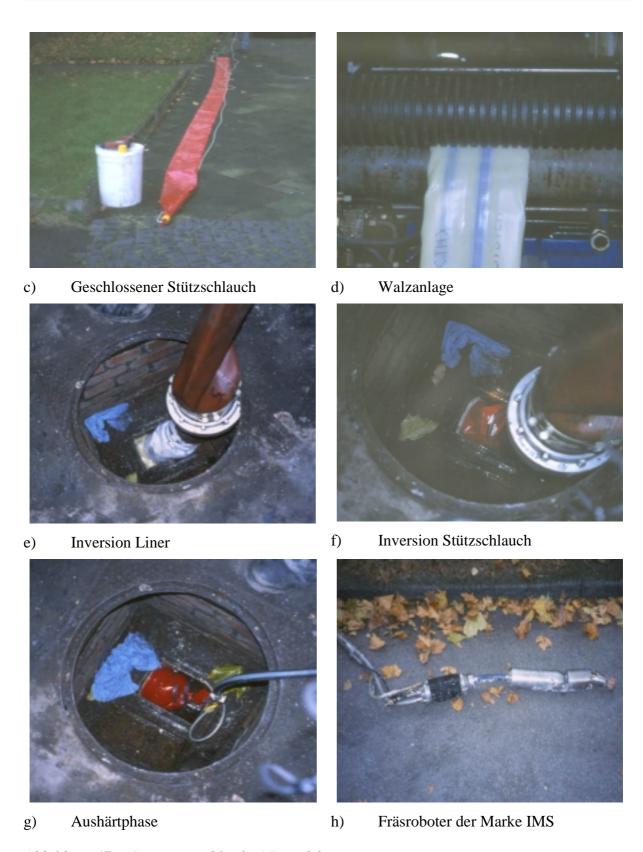


Abbildung 47: Sanierungsablauf KAS-Verfahren

5.3.2.3 Nachuntersuchung

In der folgenden Abbildung sind Bilder der sanierten Grundleitung nach der Sanierung zusammengestellt. Auf den Bildern a), b) und c) sind die drei seitlichen Einläufe zu erkennen,

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 88 von 127



die nach der Sanierung freigefräst wurden. Während die Einläufe auf den Bildern a) und b) komplett vom Liner überdeckt wurden, liegt der dritte Einlauf (Abbildung 48 c)) zum Teil frei. Auch die nachfolgende Muffe (Abbildung 48 d)) wurde nicht überdeckt.



11 16 32 05 12 00 000 0 02 55 000 0

a) Freigefräster Einlauf von links

b) Freigefräster Einlauf von rechts



c) Freigefräster Einlauf von links, nur zur Hälfte vom Liner überdeckt



d) Detail der in Bild c) nicht überdeckten Muffe

Abbildung 48: Nachuntersuchung Sanierung 2

Eine Dichtheitsprüfung des Liners wurde direkt nach der Sanierung, vor Öffnen der Einläufe, durch die ausführende Firma nach DIN EN 1610 durchgeführt. Innerhalb der Prüfzeit von 91 Sekunden wurde ein Druckabfall von 3 mbar festgestellt. Die zulässige Druckabfall beträgt 15 mbar. Der Liner ist als dicht zu beurteilen.

5.3.2.4 Bewertung

Das KAS-Verfahren ist ein Schlauchrelining-Verfahren, das mit einem Preliner eingebaut wird. Der Preliner verhindert, dass Harz durch geschädigte Bereiche im Anschlusskanal in das umgebende Erdreich eindringt. Durch die Verwendung des Preliners ließ sich der tragende, geharzte Nadelfilz außerdem sehr schnell durch einmaliges Aufbringen des Inversionsdrucks in das Altrohr inversieren.

Schwachpunkte können die drei aufgefrästen Einläufe darstellen, da durch den Preliner bewusst auf einen Verbund mit dem Altrohr verzichtet wurde und eine Hinterläufigkeit durch

Seite 89 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



abfließendes Wasser möglich ist. Inwieweit Wurzeln durch den Spalt zwischen Preliner und Altrohr eindringen können, muss beobachtet werden.

5.3.3 Sanierung 3

Der zu sanierende Anschlusskanal entwässert ein Mehrfamilienhaus in einen Hauptkanal DN 300 (Mischwasserkanal) und hat eine Länge von 13,50 m. Die Reinigungsöffnung im Revisionsschacht liegt im Keller des Hauses und ist gut zu erreichen.

5.3.3.1 Voruntersuchung

Eine Inspektion des Anschlusskanals ergab folgendes Schadenbild:

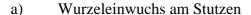
Tabelle 12: Inspektionsbericht:

Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
2,50 m (Muffe)	Anschluss von links bei ca. 90° (Regenwasserzulauf)
10,00 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
11,00 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
12,00 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
13,00 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs links unten und rechter Kämpfer
13,50 m	Hauptkanaleinbindung

Einwachsende Wurzeln waren nur im hinteren Bereich des Anschlusskanals zu verzeichnen. In Abbildung 21 ist der Trassenverlauf des Anschlusskanals dargestellt. Die Position des schadenverursachenden Baumes bedingt die Wurzeleinwüchse im hinteren Teil des Kanals.

Eine Sanierung des Anschlusskanals einschließlich des undichten Stutzen (Abbildung 49 a)) wurde auf der vollen Länge vorgenommen. Die Bilder b), c) und d) aus Abbildung 49 zeigen eine Auswahl der im Anschlusskanal vorgefundenen Wurzeleinwüchse.







Umfangreicher Wurzeleinwuchs b)

D:\endbericht.doc Seite 90 von 127 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01







c) Wurzeleinwuchs in beiden Kämpfern

d) Starker Wurzeleinwuchs rechter Kämpfer

Abbildung 49: Beispiele zur Situation Sanierung 3

5.3.3.2 Durchführung

Bei der Anfangs vorgenommenen TV-Inspektion, die zum Einmessen des Anschlusskanals und des seitlichen Zulauf diente, wurden gleichzeitig die im Vorfeld dokumentierten Wurzeleinwüchse mit dem Robotersystem IMS (Abbildung 50 b)) entfernt. Um eine spätere Inversion des Schlauches durchführen zu können, musste als erstes die Reinigungsöffnung im Revisionsschacht erweitert werden (Abbildung 50 a)).

Bevor mit den vorbereitenden Arbeiten zum Einbau des Liners nach dem IN-TEC-Verfahren begonnen werden konnte, wurde der Anschlusskanal von der Reinigungsöffnung in Richtung Hauptkanal mit einer Hochdruckspülung gereinigt.

Beim IN-TEC-System werden Rohrverläufe und Leitungen mit unterschiedlichen Durchmessern (DN100 bis DN300) mittels eines mit 2-Komponenten Epoxidharz getränkten Liners saniert. Dieser Liner wird von einer Drucktrommel aus in den defekten Anschlusskanal inversiert. Der kontrollierte Druck und die hohe Flexibilität des Liners sollen eine faltenfreie Ausführung ermöglichen [35]

Nachdem der Polyester-Filzschlauch zugeschnitten wurde (Abbildung 50 c)), ist der 2-Komponenten Epoxidharz gemischt worden (Mischungsverhältnis von Harz zu Härter entspricht 60:40). Das IN-TEC System arbeitet mit einer Harzmenge von 1,8 kg pro lfd. Meter bei DN 150 im Altrohr und einer veranschlagten Wandstärke des Liners von 3,5 mm. Das Imprägnieren des Schlauches aus Polyester-Filz erfolgte über eine Walze, mit der der Schlauch in mehrmaligen Umläufen getränkt wurde (Abbildung 50 d)). Der vor der Befüllung mit Harz mittels einer Vakuumpumpe luftleer gezogene Liner wurde an einem Ende dicht verschlossen und auf der Inversionstrommel (Abbildung 50 e)) aufgerollt. Zur Sicherheit wurde an dem Liner ein Zugseil befestigt, mit dem, im Fall eines Hängenbleibens, der Liner manuell durch den Anschlusskanal gezogen werden kann und erst dann mit Druckluft beaufschlagt wird. Über die Inversionstrommel wurde der Liner mit einem Luftdruck von ca. 0,5 bar in den Anschlusskanal eingebracht (Abbildung 50 f)). Damit das Aushärten von ca. 6 Stunden beim Kalthärtvorgang auf ca. 2,5 Stunden verkürzt werden konnte, wurde über die Trommel Wasser in den Liner geleitet und erwärmt. Nach Beendigung des Aushärtens wurde



vom Hauptkanal der neuverlegte Liner mit einem Fräsroboter geöffnet und bis zum Einmündungsbereich des Anschlusskanals plan zurückgefräst. Anschließend wurde der seitliche Regenzulauf im Anschlusskanal geöffnet und die dichte Anbindung an den Hauptkanal hergestellt.

Hierzu wurde zuerst ein Kurzschlauch, bestehend aus einer Glasfasermatte die mit einem 2-Komponenten Epoxidharz (System Bodenbender) getränkt (Abbildung 50 g)), vor die Einmündungsöffnung des Anschlusskanal gesetzt. Nach einer Aushärtzeit von einer Stunde wurde der Stutzen wieder aufgefräst und die eigentliche Anbindung des Stutzens mit einem Hutprofil konnte erfolgen. Das Hutprofil, das aus einem Textilgewebe besteht, wurde ebenfalls mit dem Harz des Systems Bodenbender imprägniert und auf einem Spezialpacker mit ausfahrbaren Stutzen befestigt (Abbildung 50 h)). Dieser Packer wurde genau vor der Einmündungsöffnung positioniert und das Hutprofil durch den ausfahrbaren Stutzen in den Anschlusskanal mittels Luftdruck eingebracht. Nach einer weiteren Stunde Aushärtzeit konnte der Packer und die Roboterfahreinheit aus dem Hauptkanal entfernt werden. Nach der Wiederherstellung der Reinigungsöffnung mit einem PVC-Formstück, das an den Anschlusskanal mit einem Kurzliner angebunden wurde, waren alle Sanierungsarbeiten abgeschlossen und ein voll funktionsfähiger, wurzelfreier und dichter Anschlusskanal instandgesetzt.

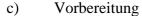


Erweiterte Reinigungsöffnung a)



b) Fräsroboter IMS







Imprägnieren d)

Seite 92 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01





e) Inversionstrommel



f) Inversionsvorgang



g) Kurzschlauch

h) Fahreinheit zum Setzen des Hutprofils [36]

Abbildung 50: Sanierungsablauf des IN-TEC Schlauchrelining

5.3.3.3 Nachuntersuchung

In der folgenden Abbildung sind Bilder des sanierten Anschlusskanals und des Stutzens zusammengestellt. In Abb. a) ist der freigefräste Einlauf zu erkennen. Abb. b) zeigt die Einmündung des Anschlusskanals in den Hauptkanal. Das dort nach der Sanierung des Anschlusskanals gesetzte Hutprofil hatte den Querschnitt verringert. Abb. d) zeigt den Stutzen vom Hauptkanal. Dort ist der Bereich rechts des Stutzen eingedrückt. Die Querschnittsverringerung wurde zu einem späteren Zeitpunkt mit einem Fräsroboter beseitigt.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 93 von 127







Einlauf von rechts a)



b) Einmündung in den Hauptkanal



c) Kurzschlauch im Hauptkanal

d) Hutprofil im Bereich des Stutzens

Abbildung 51: Nachuntersuchung Sanierung 3

Die Dichtheitsprüfung wurde abschnittsweise für den Bereich hinter dem Einlauf bis zum Hauptkanal durchgeführt. Der gesamte Anschlusskanal konnte nicht geprüft werden, da der seitliche Zulauf mit einer Absperrblase nicht abgedichtet werden konnte.

Die Prüfung mit Luft ergab einen Druckabfall von 9 mbar bei einer Prüfzeit von 90 Sekunden. Nach ATV M 143 Teil 6 [32] konnte der Liner als dicht beurteilt werden. Eine zusätzliche Dichtheitsprüfung mit Wasser brachte das gleiche Resultat. Während der Prüfzeit von 15 Minuten wurde kein Wasserverlust festgestellt.

5.3.3.4 Bewertung

Die Sanierung des Anschlusskanals wurde erstmals mit einem anderen Harz durchgeführt, das im Gegensatz zum bisher von der Fachfirma verwendeten Harz eine kürzere Verarbeitungszeit aufwies. Trotz dieser erst spät an das Sanierungspersonal weitergegebenen Information konnte der Liner eingebaut werden. Der seitliche Einlauf wurde mit einem Roboter geöffnet. Ob durch den Einlauf Wurzeln in den Anschlusskanal einwachsen werden, muss beobachtet werden.

Die Sanierung des Stutzen wurde durch die Kombination eines Kurzschlauchs im Hauptkanal mit einem Hutprofil realisiert. Sowohl der schlechte Zustand des Stutzens (siehe Abbildung

Stand: A00-26.09.01 Seite 94 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS



49 a)) als auch der Zustand des Hauptkanals machten diese Kombination sinnvoll. Nach der Sanierung stellte sich der Stutzen folgendermaßen dar:

Das Hutprofil hatte auf einer Seite des Einmündungsbereichs zu einer Verkleinerung des Querschnitts geführt (Abbildung 51 b)). Im Hauptkanal war ein Teilbereich um den Stutzen infolge des Anpressdrucks des Hutprofilpackers eingedrückt worden (Abbildung 51 d)). Durch nachträgliche Fräsarbeiten konnte das Profil des Anschlusskanals auf den vollen Querschnitt vergrößert werden.

Die Sanierung des Anschlusskanals und des Stutzens war aus heutiger Sicht erfolgreich.

5.3.4 Sanierung 4

Der zu sanierende Anschlusskanal entwässert ein Mehrfamilienhaus in einen Hauptkanal DN 700 (Mischwasserkanal) und hat eine Länge von 12,00 m. Die Reinigungsöffnung ist über einen Revisionsschacht mit einer Tiefe von ca. 50 cm und runder Schachtabdeckung, mit einem Durchmesser von ca. 50 cm, unter einer Treppe liegend zu erreichen. Die schlechte Erreichbarkeit des Schachtes und die durch die Treppe eingeschränkten Platzverhältnisse erschwerten die Ausführung der im folgenden beschriebenen Arbeiten.

5.3.4.1 Voruntersuchung

Eine Inspektion des Anschlusskanals ergab folgendes Schadenbild:

TT 1 11 12	T 1, 1 1 1,
Tabelle 13:	Inspektionsbericht:
I do che Is.	Trispentionisoer terti.

Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
2,00 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs, rechter Kämpfer
3,30 m	Anschluss von links (Regenwasserzulauf)
5,00 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs, vertikaler Versatz
6,00 m (Muffe)	Leichter Wurzeleinwuchs
7,00 m (Muffe)	Vertikaler Versatz
8,00 m (Muffe)	Vertikaler und horizontaler Versatz, leichter Wurzelein-
9,00 m (Muffe)	Vertikaler Versatz, Wurzeleinwuchs
10,00 m (Muffe)	Ablagerungen, Wurzeleinwuchs
11,00 m (Muffe)	Ablagerungen, Wurzeleinwuchs
12,00 m	Haltungsende, starker Wurzeleinwuchs

An fast allen Rohrverbindungen wurde Wurzeleinwuchs festgestellt.. Dieser nahm in Richtung Einmündung in den Hauptkanal an Stärke zu.

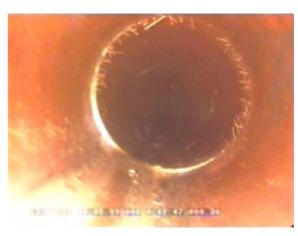
Eine Sanierung auf voller Länge war aufgrund der bei der Inspektion aufgenommenen Schäden notwendig.

Wie Abbildung 52 a) zeigt, war eine Sanierung des Anschlusses ebenfalls erforderlich, um weiteren Wurzeleinwuchs in diesem Bereich vorzubeugen. Die Bilder b), c), und d) in Abbildung 52 stellen exemplarisch die im Verlauf des Anschlusskanals vorgefundenen Schäden dar. In Abbildung 52 e) ist das vom Einmündungsbereich des Anschlusskanals entfernte Wurzelpolster abgebildet.





Zugewurzelter Stutzen a)



Leichter Wurzeleinwuchs b)



Abwinklung nach unten, starker c) Versatz im Scheitel



d) Abwinklung 90° nach unten, Wurzeleinwuchs



Entferntes Wurzelpolster e)

Abbildung 52: Beispiele zur Situation Sanierung 4

5.3.4.2 Durchführung

Das Verfahrensprinzip des Schlauchreliningsystems Brawoliner® entspricht im wesentlichen dem bereits beschriebenen Ablauf des IN-TEC-Verfahren. Unterschiede gibt es jedoch hinsichtlich der Materialkennwerte des verwendeten Schlauches und Harzes.

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 96 von 127



Brawoliner® basiert auf einem nahtlosen Textilschlauch aus 100% Polyester, der speziell zur Inliner-Sanierung von schadhaften Hauskanälen entwickelt wurde.. Nach Herstellerangaben ist ein faltenfreier Einbau auch in Bögen bis zu 90° möglich. Der Textilschlauch ist kombiniert mit einem flexiblen Folienschlauch. Beide Materialien sollen in Verbindung mit einem Brawoliner®-Harz in der Aushärtphase eine unlösbare, dichte, chemische Verbindung eingehen. Der Brawoliner®-Schlauch wird auf die benötigte Länge zugeschnitten. Die Menge des Harzes wird berechnet, gemischt und anschließend in den Schlauch eingefüllt. Auf der Imprägnieranlage wird das Harz gleichmäßig in den Schlauch eingearbeitet. Der imprägnierte Schlauch wird am Inversionsbogen befestigt und mit Druckluft im Stülpverfahren unter permanenter Beobachtung und dosierter Inversionsgeschwindigkeit in den Kanal eingeblasen. Durch den Druck legt sich der Brawoliner® an die Rohrinnenwand an (Abbildung 53g)). Der Kanal bleibt bis zum vollständigen Aushärten unter konstantem Druck. [37]

Die Anbindung des sanierten Anschlusskanals an den Hauptkanal wurde bei diesem Sanierungsfall mit dem im späteren Verlauf beschriebenen Einsatz eines Spachtelroboter wiederhergestellt (Abbildung 53 h)). Zur Beseitigung der Wurzeleinwüchse, eines starken Versatzes im Scheitel des Anschlusskanals (Abbildung 53 d)) und zum Offnen des seitlichen Zulaufs kam der von KA-TE entwickelte Super Robo 100 (Abbildung 53 b)) zum Einsatz.

Der selbstfahrende KA-TE Super Robo ermöglicht sehr kurze Einrichtzeiten und erlaubt durch seine Kurvengängigkeit in Kanälen mit Bögen bis zu 90° zu fahren und zu arbeiten. Die moderne Hydraulik-Technologie bietet eine sehr hohe Fräsleistung und mit einem Durchmesserbereich von 100-180 mm ist der KA-TE Super Robo 100 flexibel einsetzbar [38].

Mit den in Abbildung 53 c) dargestellten Fräsaufsätzen ist eine Bearbeitung unterschiedlichster Materialien möglich.

Das Brawoliner®-System erlangt nach dem Tränken mit dem 2-Komponenten Epoxidharz Konudur 160 Brawo III der Firma MC-BAUCHEMIE und dem anschließenden Aushärten, seine Standfestigkeit und Dichtheit. Der Imprägnierungsvorgang wurde auf einer, im Fahrzeug integrierten, automatischen Walzstrasse durch mehrmaliges Walzen vorgenommen.

Bei der Sanierung mit einem Schlauchrelining-Verfahren bei dem ein Liner mit geschlossenem Ende inversiert wird, ist die exakte Abmessung der Schlauchlänge wichtig. Die Linerlänge setzt sich aus der gemessenen Kanallänge, dem Überhang in den Hauptkanal und dem Überhang an der Reinigungsöffnung zusammen.

Aufgrund der beschriebenen beengten Platzverhältnisse sowie der schlechten Zugänglichkeit des Revisionsschachts musste der Liner von der Inversionstrommel aus erst über einen ca. 5 m langen Führungsschlauch zur Reinigungsöffnung inversiert werden und über einen Inversionsbogen in den Anschlusskanal eingebracht werden. Nach dem Einbringen des Brawoliner® in den Anschlusskanal wurde der Aushärtvorgang durch die Zugabe von warmen Wasser beschleunigt. Der Liner härtete bis zum Erreichen seiner vollen Stabilität vier Stunden aus. Sowohl die Beseitigung des im Hauptkanal überstehenden Brawoliner® als auch die Anbindung an den Hauptkanal mit einem Spachtelroboter wurde von der Firma DITOM, Dorsten vorgenommen.

Zur Wiederherstellung des Einmündungsbereichs wurden, um eine optimale Haftung der 2-Komponenten-Epoxidharz Spachtelmasse zu erzielen, alle losen Bestandteile mit einer Hochdruckspülung entfernt.. Das verwendete Harz wurde vorgemischt vom Spachtelroboter in



Kartuschen mitgeführt und drucklos auf die zu reparierende Stelle aufgebracht. Dann wurde es mit einer Spachtelvorrichtung im gesamten Einmündungsbereich verteilt und der Anschlusskanal nach Erreichen des Aushärtgrades dicht an den Hauptkanal angebunden.



Revisionsschacht samt Öffnung a)



b) KA-TE Super Robo 100



c) Fräsaufsätze für KA-TE Super Robo 100



d) Versatz im Scheitel



Aufrollen des Liners auf der e) Inversionstrommel

f) Angerührter Harz

Seite 98 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01







Faltenloses Anlegen in Bögen [37] g)

h) Wiederhergestellter Stutzen

Abbildung 53: Sanierungsablauf mit dem Brawoliner®-System

5.3.4.3 Nachuntersuchung

In den folgenden Abbildungen sind der sanierte Anschlusskanal und der Stutzen zusammengestellt. Abbildung 54 a) zeigt den freigefrästen Einlauf. In Abbildung 54 b) ist der vor der Sanierung mit einem Roboter bearbeitete Versatz im sanierten Zustand zu erkennen. Abbildung 54 c) und d) zeigen den Bereich des Stutzens nach der Sanierung.





Einlauf von rechts a)



b) Knick nach unten mit leichtem Versatz



c) Einmündung in den Hauptkanal

d) Sanierter Stutzen

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 99 von 127



Abbildung 54: Nachuntersuchung Sanierung 4

Die vor der Sanierung durchgeführte Dichtheitsprüfung für den kompletten Anschlusskanal, inklusive des Regenzulaufs von links, sollte nach der Sanierung auf die gleiche Art ausgeführt werden. Hierfür wurde versucht, den Zulauf mittels einer dritten Blase, die durch das Regenfallrohr geschoben werden sollte, abzusperren. Eine genaue Positionierung kurz vor der Einmündung in den Anschlusskanal war nicht mehr möglich. Die Blase blieb kurz vor erreichen des Einlaufs hängen. Bei der Dichtheitsprüfung mit Luft nach ATV-M 143 Teil 6 [32] konnte kein Druck aufgebaut werden. Eine Prüfung mit Wasser brachte ebenfalls kein Ergebnis. Die Position der Prüfblasen konnte aufgrund des geringen Arbeitsraumes zwischen Dichtheitsprüfgerät und Rohrwandung nicht kontrolliert werden. So ließ sich nicht erkennen ,ob das Prüfsystem eine Undichtigkeit aufwies, oder der Prüfraum nicht ausreichend abgedichtet war. Somit kann zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage über die Dichtheit des Liners gemacht werden.

5.3.4.4 Bewertung

Während der Sanierung des Anschlusskanals wie auch des Stutzens traten keine nennenswerten Probleme auf. Der in Abbildung 52 c) dargestellte starke Versatz wurde vorbereitend gefräst. Dieselbe Stelle nach der Sanierung ist der Abbildung 54 b) zu entnehmen.

Einen Schwachpunkt kann der seitliche Einlauf darstellen, da durch ihn Wurzeln einwachsen könnten.

5.3.5 Sanierung 5

Der zu sanierende Anschlusskanal entwässert ein Mehrfamilienhaus mit acht Parteien in einen Hauptkanal DN 500 (Mischwasserkanal) und hat eine Länge von 13,40 m. Die Zugänglichkeit der Reinigungsöffnung im Revisionsschacht (B*H*T = 50*80*110 [cm]) ist ausreichend, da hier nur eine Seilwinde zum Einziehen des Flexoren®-Liners aufgestellt werden musste.

5.3.5.1 Voruntersuchung

Eine Inspektion des Anschlusskanals ergab folgendes Schadenbild:

Tabelle 14: Inspektionsbericht:

Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
4,00 m	Vertikaler Versatz
4,50 m	Wurzeleinwuchs links, Muffenversatz
6,00 m	Abwinklung, Rohrstücke stumpf aneinandergelegt
6,50 m	Abwinklung, Rohrstücke stumpf aneinandergelegt
7,00 m	Horizontaler Versatz
9,00 m	Wurzeleinwuchs im Scheitel
10,00 m	Starker Wurzeleinwuchs, Risse mit Scherbenbildung an der Muffe
12,00 m	Abwinklung nach unten, Wurzeleinwuchs
13,40 m	Wurzeleinwuchs, Haltungsende



Eine Sanierung auf voller Länge des Anschlusskanals war erforderlich, da fast jede Rohrverbindung schadhaft war. Die Bilder b), c) und d) in Abbildung 55 zeigen einige im Verlauf des Anschlusskanal aufgenommenen Schäden.

Abbildung 55 a) zeigt, dass die Einmündung in den Hauptkanal ebenfalls saniert werden musste, da der Anschluss am letzten Rohrstück nach unten versetzt war.

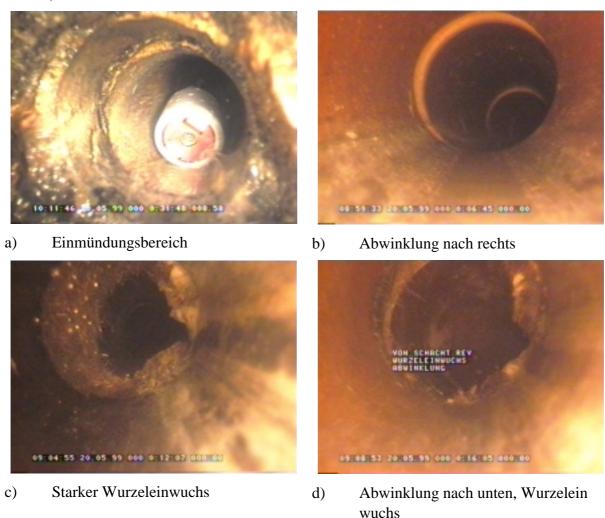


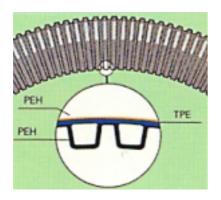
Abbildung 55: Beispiele zur Situation Sanierung 5

5.3.5.2 Durchführung

Nach Reinigung und Inspektion des Anschlusskanals wird die gesamte Strecke kalibriert. Die Flexoren®-Rohrstücke von 10 m werden inzwischen oberirdisch auf die gewünschte Länge zusammengeschweißt. Anschließend wird das gesamte Rohr mit Hilfe einer Seilwinde durch den defekten alten Kanal gezogen[39].

Die Anbindung an den Hauptkanal erfolgt durch ein an das Rohr geschweißtes Hutprofil. Die Haftung an der Rohrwand erfolgt mit einer 2-Komponenten-Epoxidharz getränkten Filzmatte (siehe Abbildung 55 b)). Nach dem Einziehen wird das Hutprofil mit einem Packer an die Rohrwandung im Hauptkanal gepresst, um den neuverlegten Anschlusskanal dicht anzuschließen.





Flexoren® ein 3-Schichten-Inlineist Rohrsystem aus geriffeltem HDPE-Kunststoff mit einer glatten Zwischenschicht aus TPE für Flexibilität und einer Innenschicht zur Verbesserung der hydraulischen Eigenschaften.[40]

Abbildung 56: Aufbau eines Flexoren®Liners

Da sich auf der zu sanierenden Strecke keine Einläufe befanden, bot es sich an, an diesem Standort Flexoren®-Relining einzusetzen.

Im Vorfeld der hier betrachteten Sanierungsmaßnahme wurden umfassende Vorarbeiten durchgeführt. Zum einem musste der Einmündungsbereich des Anschlusskanals zum störungsfreien Einziehen des Flexoren®-Schlauches plan bis zur Rohrwandung des Hauptkanals zurückgefräst werden. Zum anderen mussten die eingewachsenen Wurzeln mit einer Kettenschleuder entfernt und die vorhandenen Reinigungsöffnung im Revisionsschacht entfernt werden.

Zunächst wurden die im Anschlusskanal verbliebenen Wurzelreste und andere Rückstände mittels einer Hochdruckspülung entfernt. Danach wurde der Anschlusskanal mit einem speziell für die Verlegung von Flexoren®-Linern hergestellten Arbeitsgerät kalibriert (Abbildung 57 g)). Diese Kalibrierung ist notwendig, um ein problemloses Einziehen des Rohrstranges (Abbildung 57 b)) im Anschluss gewährleisten zu können.

Bei der anschließenden TV-Inspektion wurden sowohl der Anschlusskanal und auch der Hauptkanal nochmals begutachtet und die Längen eingemessen. Der Liner, der werkseitig auf eine Länge von 15 m vormontiert war, wurde daraufhin auf die exakten Maße zugeschnitten.

Eine Vormontage ist nötig, da die Flexoren®-Rohre nur in einer Länge von 10 m produziert werden und durch einen Schweißvorgang auf die benötigten Längen gebracht werden (Abbildung 57 e) und Abbildung 57 f)). Außerdem sollte bei diesem Sanierungsfall erstmalig der Einmündungsbereich des Anschlusskanals mit einem ebenfalls an den Liner geschweißten Hutprofil an den Hauptkanal dicht angebunden werden (Abbildung 57 c)). Hierzu wird das Hutprofil auf der zur Rohrwandung gerichteten Seite mit einem Filz beklebt (Abbildung 57 d)), der vor dem Einziehen mit einem 2-Komponenten Epoxidharz (System Bodenbender) imprägniert wird.

Um den Ringraum im Bereich des Stutzens mit Dämmer verfüllen zu können, wurde am Liner ein weiterer Schlauch außen angebracht. Das so entstandene Rohrbündel wurde über eine Seilwinde auf dem Revisionsschacht (Abbildung 57 h)) durch den Hauptkanal (Abbildung 57 1)) in den Anschlusskanal bis zum Anliegen des Hutprofils an der Rohrwandung eingezogen. Dann wurde ein Packer bis zur Einmündung des im Hauptkanal liegenden Hutprofil vorgefahren und dieses durch Aufbringen von Luftdruck an die Rohrwandung gepresst. Nach einer Aushärtzeit von einer Stunde wurde durch den außen am Flexoren®-Liner befestigten Schlauch der Ringraum hinterfüllt (Abbildung 57 k)). Abschließend wurde der Revisionsschacht wieder instandgesetzt



Ein Nachweis über die geänderte hydraulischen Leistungsfähigkeit des von DN150 auf einen Innendurchmesser von 102 mm verkleinerten Anschlusskanals ist dem Anhang beigefügt.



g) Kalibriervorrichtung



D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 103 von 127







Einführen des Schlauches



j) Liner im Revisionsschacht



k) Hinterfüllung

Schemazeichnung aus [39]

Abbildung 57: Sanierungsablauf des Flexoren®-Relining

5.3.5.3 Nachuntersuchung

Im Folgenden sind Bilder des sanierten Anschlusskanals zusammengestellt. Abbildung 58 b) zeigt den Liner im Bereich eines Unterbogens. Die beiden Stellen, an denen das Rohr geschweißt wurde, sind in Abbildung 58 b) und c) zu erkennen. Das an den Liner angeschweißte Hutprofil ist in den Bildern e) und f) der Abbildung 58 dargestellt. Der Zwischenraum, in dem der Dämmer die Einbindung an den Stutzen unterstützt, kann mit der optischen Inspektion nicht kontrolliert werden.

1)



Innenansicht Flexoren®-Liner a)

b) Liner mit Schweißnaht im Bereich eines Unterbogens

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 104 von 127







c) Liner mit Schweißnaht



d) Einmündung in den Hauptkanal



e) Mit einem Hutprofil sanierter Stutzen

f) Anbindung des Hutprofils an den Altkanal

Abbildung 58: Nachuntersuchung Sanierung 5

Die Prüfung auf Dichtheit nach ATV M 143 Teil 6 [32] wurde vom Flexorenliner bestanden. Ohne seitliche Einläufe konnte die Prüfung ohne Probleme durchgeführt werden.

5.3.5.4 Bewertung

Die Sanierung des Anschlusskanals sowie des Stutzen wurden problemlos durchgeführt.

Wurzeln können nach jetziger Einschätzung nur in den verbleibenden Ringraum zwischen Flexoren®-Rohr und dem Altrohr einwachsen. Ob dies zu einer Verformung des Liners führt, muss beobachtet werden.

Der Einsatz des Flexorenliners ist auf Anschlusskanäle ohne seitliche Einläufe beschränkt.

5.3.6 Sanierung 6a und 6b

Der zu sanierende Anschlusskanal entwässert ein Doppelhaus in einen Hauptkanal DN 600 (Mischwasserkanal). Die Haushälfte der Sanierung 6a entwässert dabei in einer geraden Trasse von 13,40 m Länge direkt bis zum Hauptkanal. Der Hausanschluss der Sanierung 6b entwässert dagegen in einer abgeknickten Trasse von 12,00 m Länge in den Anschlusskanal der anderen Haushälfte. Diese Art der Verlegung zweier Anschlusskanäle bezeichnet man als "Ypsilon"-Anschluss.



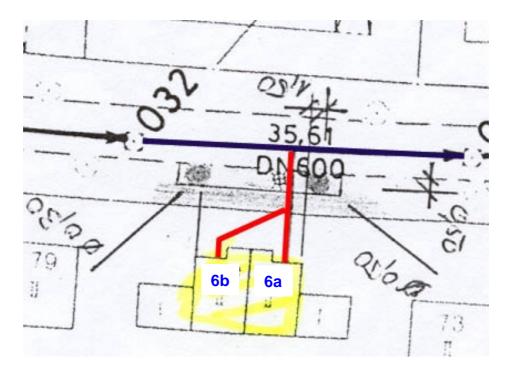


Abbildung 59: Lageplan zweier Häuser mit "Ypsilon"-Anschluss

5.3.6.1 Voruntersuchung

Eine Inspektion der Anschlusskanäle ergab folgendes Schadenbild:

Inspektionsergebnis Anschlusskanal Sanierung 6a Tabelle 15:

Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
1,50 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
2,40 m	Anschluss von rechts (Regenzulauf)
2,50 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
3,50 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
4,50 m (Muffe)	Horizontaler Versatz rechter Kämpfer, Riss linker Kämpfer
7,50 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
8,50 m	Anschluss von links (Zulauf von Sanierung 6b)
9,50 m (Muffe)	Horizontaler Versatz rechts, Riss im Sohlbereich
10,50 m	Vertikaler Versatz
12,00 m	Wurzeleinwuchs
12,50 m	Abwinklung nach unten, Wurzeleinwuchs, starker Versatz
13,00 m	Einmündung in Straßenkanal

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 106 von 127

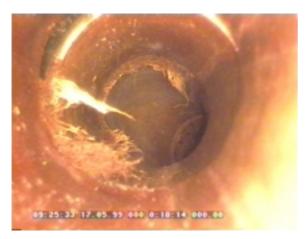
Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
0,50 m (Muffe)	Wurzeleinwuchs
1,50 m (Muffe)	Ablagerungen
2,20 m	Anschluss von links (Regenzulauf)
3,50 m	Abwinklung nach rechts
6,00 m	Vertikaler Versatz
7,00 m	Vertikaler Versatz
9,00 m	Wurzeleinwuchs
10,00 m	Vertikaler Versatz

Tabelle 16: Inspektionsergebnis Anschlusskanal Sanierung 6b

Vertikaler Versatz

Anbindung Sanierung 6a

Sowohl im Anschlusskanal der Sanierung 6a als auch im Anschlusskanal der Sanierung 6b wurden zahlreiche Wurzeleinwüchse im Bereich der Rohrverbindungen sowie Versätze in horizontaler und vertikaler Richtung dokumentiert. Im Anschlusskanal der Sanierung 6a wurden zusätzlich noch Risse im Sohlbereich und im linken Kämpfer beobachtet. Aufgrund der Schadenshäufigkeit war eine Sanierung auf voller Länge notwendig. Die Bilder a), b) und c) in Abbildung 60 zeigen exemplarisch einige der vorgefundenen Schäden.



11,00 m

12,00 m

a) Abwinklung nach unten, Wurzeleinwuchs



Wurzeleinwuchs im Scheitel b)

D:\endbericht.doc Seite 107 von 127 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01





Starker Versatz und Wurzeleinwuchs c) im Scheitel

Abbildung 60: Beispiele zur Situation Sanierungen 6a und 6b

5.3.6.2 Durchführung

Nach der TV-Befahrung, der damit verbundenen Längenmessung beider Anschlusskanäle dieses Doppelhausanschlusses (siehe Abbildung 59) und der Dokumentation der seitlichen Zuläufe, wurden mit einer Kettenschleuder (Abbildung 61 g)) die im Kanalverlauf festgestellten Wurzeleinwüchse entfernt.

Zur Erweiterung des Verfahrensspektrums wurde das Kurzschlauchverfahren eingesetzt

Bei der Sanierung mit Kurzschläuchen werden GFK-Matten bis zu einer Länge von 2 m zugeschnitten und anschließend mit einem 2-Komponenten Epoxidharz getränkt. Die bearbeitete Matte wird dann eng auf eine Packer gewickelt, der durch die Reinigungsöffnung am Anschlusskanal mittels Schiebestangen an der schadhaften Stelle positioniert wird. Die Stangen dienen gleichzeitig als Luftdruckleitung, um den Packer mitsamt der Matte an die Rohrwandung des Anschlusskanals pressen zu können. Nach dem Aushärten des Harzes wird der Pakker wieder herausgezogen und mit der nächsten Matte umwickelt. Diese wird dann mit einer Uberlappung von ca. 10 cm über den bereits verlegten Liner geschoben. Das kalthärtende Harz gewährleistet im Verbund mit der GFK-Matte eine ausgezeichnete Belastbarkeit und Stabilität innerhalb des Altrohres.

Zum problemlosen Einschieben der mit den Kurzschläuchen umwickelten Packer (Abbildung 61 c)) mussten beide Reinigungsöffnungen (Abbildung 61 a)) entfernt und vergrößert werden. Das Setzen der Kurzschläuche erfolgte zuerst in dem gerade zum Hauptkanal durchgehenden Anschlusskanal, beginnend beim Einmündungsbereich in Richtung Reinigungsöffnung.

Zuerst wurde ein 2,50 m langes Stück ECR-Folie zugeschnitten und mit einem 2-Komponenten Epoxidharz, dem "Multi Point-Liner System Harz 2000" der Firma Bodenbender, imprägniert. Das Harz wurde in einem geschlossenen Beutel fertig konfektioniert geliefert, durch die Beseitigung eines Trennstreifens im Beutel durchmischt und beidseitig mit Zahnspachteln auf der ECR-Folie verteilt. Anschließend wurde die Folie eng um einen mit einer Schutzfolie versehenen Packer (Abbildung 61 b)) gewickelt. Die Schutzfolie soll ein Verkleben des Harzes mit dem Packer verhindern.



Der Packer wurde mit Schiebestäben an die entsprechende Position im Anschlusskanal gebracht und mittels Luftdruck formschlüssig an die Rohrwandung angelegt. Während des Aushärtvorganges konnte der nächste Kurzschlauch anhand der vorgenommenen Einmessungen zugeschnitten werden und direkt nach dem Ausbau des Packers (Abbildung 61 d)) wieder eingebaut werden. Die Aushärtezeit pro Abschnitt betrug etwa eine Stunde.

Die seitlichen Zuläufe sollten ausgespart werden, um Fräsarbeiten zu vermeiden (vgl. Midliner®-System). Die Sanierung der in den Anschlusskanal mündenden Entwässerungsleitung des Hauses Nr. 77 sollte auf die gleiche Art vorgenommen werden.

Am Ende der Sanierungsarbeiten wurden die beiden Reinigungsöffnungen wiederhergestellt, indem ein PVC-Formstück mit zwei Kurzschläuchen (Abbildung 61 f)) sowohl in Richtung des Anschlusskanals als auch in Richtung der Grundleitung dicht angebunden und anschließend mit einem Fließzement eingebettet wurde (Abbildung 61 e)).

Die Sanierung des abgerissenen Einmündungsstutzens und damit die dichte Anbindung des Hausanschlusssytems wurde im Rahmen des Forschungsprojektes noch nicht vorgenommen. Das Schadenbild ließ eine Sanierung in geschlossener Bauweise vorerst nicht zu, da das Beseitigen der Versatzkante mittels eines Fräsroboters derzeit technisch nicht möglich ist.



Revisionsschacht mit Reinigungsöffa) nung



b) Packer mit Schutzfolie



c) Umwickeln des Packer



d) Ausbau des Packers

Seite 109 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01

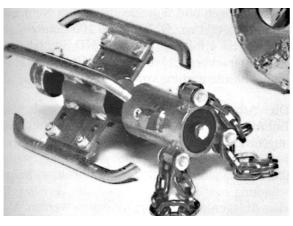






Wiederhergestellte Reinigungsöffnung f) e)





Kurzpacker



g) Kettenschleuder aus [9]

h) Abgerissener Stutzen

Abbildung 61: Sanierungsablauf Kurzschlauchverfahren

5.3.6.3 Nachuntersuchung

Die nachfolgend dargestellten Bilder in Abbildung 62 zeigen sanierte Bereiche der Anschlusskanäle Sanierungen 6a und 6b.

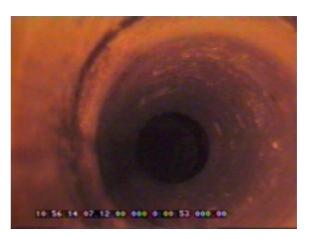
Die einzelnen Kurzschläuche sollten überlappend eingebaut werden und nach der Sanierung nur an den Einläufen Aussparungen aufweisen. Abbildung 62 b) und c) zeigen sanierte Bereiche in denen dennoch das Altrohr erkennbar ist. Zudem sind leichte Ausfransungen bzw. Verdickungen an den Schlauchenden zu erkennen. Abbildung 62 f) zeigt einen Abschnitt, in dem Harz zu fehlen scheint (links oben). Der Stutzen konnte bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht saniert werden und zeigt sich immer noch im in Abbildung 62 g) und h) dargestellten Zustand.

D:\endbericht.doc Seite 110 von 127 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01





Einlauf von links im Anschlusskanal a) Sanierung 6b



b) Verdickung am Rand eines Kurzschlauchs Sanierung 6a



c) Fehlende Überlappung zwischen zwei Kurzschläuchen



d) Aussparung im Bereich des seitlichen Zulaufs von Sanierung 6b



e) Abwinkelung nach bei f) unten 11,5 m Sanierung 6a



Fehlstelle vor der Einmündung des Anschlusskanals Sanierung 6b in den Kanal Sanierung 6a

Seite 111 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01





Stutzen aus dem Anschlusskanal g) aufgenommen

h) Stutzen aus dem Hauptkanal aufgenommen

Abbildung 62: Nachuntersuchung Sanierungen 6a und 6b

Die abschnittsweise Dichtheitsprüfung wurde gleichzeitig für beide Anschlusskanäle von den seitlichen Zuläufen aus bis zum Hauptkanal vorgenommen. Bei der Prüfung mit Luft ließ sich kein Druck aufbauen. Während der Prüfung mit Wasser konnte eine Blase, die den Anschlusskanal der Sanierung 6b abdichten sollte, den Wasserdruck nicht halten und wurde undicht.

5.3.6.4 Bewertung

Der Einsatz von Kurzschläuchen in Anschlusskanälen, die schlecht durch Reinigungsöffnungen zu erreichen sind und zudem keinen geradlinigen Verlauf aufweisen, kann nicht empfohlen werden. Während der Baumaßnahme rutschten mehrmals Kurzschläuche von den Pakkern. Eine Querschnittsverringerung unter das zulässige Maß von DN100 war die Folge. Die so entstandenen Abflusshindernisse mussten mit einem Roboter aus dem Kanal gefräst werden. Die Baumaßnahmen konnten wegen der Roboterarbeiten und der Aushärtzeiten der Kurzschläuche nicht an einem Tag beendet werden.

Die Wurzelfestigkeit der sonst komplett mit dem Altrohr verklebten Kurzschläuche lässt sich erst durch Langzeitbeobachtungen beurteilen

5.3.7 Sanierung 7

Der zu sanierende Anschlusskanal entwässert ein Mehrfamilienhaus mit acht Parteien in einen Hauptkanal DN 300 (Mischwasserkanal) und hat eine Länge von 18,70 m. Die Zugänglichkeit der Reinigungsöffnung im Revisionsschacht (B*H*T = 50*80*110 [cm]) ist ausreichend. Für die Sanierung wurde die Reinigungsöffnung entfernt und durch eine neue ersetzt.

5.3.7.1 Voruntersuchung

Eine Inspektion der Anschlusskanäle ergab folgendes Schadenbild:



Tabelle 17: Inspektionsbericht

Abstand von Rev.	Beschreibung des Inspektionsergebnis
1,2 m	Wurzeleinwuchs Anfang, an jeder Muffe bis 17,3 m
1,7 m	Anschluss von links
2,1 m	Anschluss von rechts
17,3 m	Bogen nach unten
17,6 m	Wurzeleinwuchs Ende
18,7 m	Einmündung in den Straßenkanal

Bei der ersten Inspektion wurden auf der gesamten Länge des Anschlusskanals Wurzeleinwuchs festgestellt. Zwischen den einzelnen Rohren wurden leichte Versätze festgestellt. In einem Abstand von 17,3 m vom Revisionsschacht befindet sich eine Bogen größer 70° nach unten. Der Anschlusskanal mündet nach 18,7 m im Hauptkanal. Der Stutzen war in diesem Fall gut angebunden.

5.3.7.2 Durchführung

Für die Sanierung wurde auch hier der Brawoliner® eingesetzt, da für den Bereich des Bogens eine faltenfreie Sanierung angestrebt wurde. Vor der Sanierung wurden die Wurzeln mit einer Kettenschleuder entfernt. Der Anschlusskanal wurde anschließend mit Hochdruck gereinigt. Die beiden seitlichen Einläufe bei 1,2 m und 2,1 m wurden eingemessen.

Vor der Sanierung wurde in einem ersten Arbeitsgang die alte Reinigungsöffnung entfernt. Die seitlichen Einläufe, an denen jeweils ein Regenfallrohr angeschlossen ist, wurden vor der Sanierung getrennt.

Der Liner wurde daraufhin konfektioniert, mit Harz getränkt und in den Anschlusskanal inversiert. Abweichend von der Sanierung 4, bei der nach der Inversion mit Luft die Aushärtung mit Warmwasser durchgeführt wurde, wurde hier sowohl die Inversion als auch die Aushärtung mit Luft unter Umgebungstemperatur durchgeführt. Bei der Aushärtung mit Luft unter Umgebungstemperatur benötigt das Harz eine Aushärtezeit von 12 Stunden. Hierdurch war eine Beendigung der Baumaßnahme am selben Tag nicht möglich. Am folgenden Tag wurde der Liner an der vergrößerten Reinigungsöffnung mit einem Trennschneider und im Hauptkanal mit einem pneumatisch betriebenen Roboter der Firma KASRO geöffnet. Die beiden seitlichen Einläufe wurden danach ebenfalls mit einem pneumatisch betriebenen Roboter geöffnet werden.

Zum Abschluss wurde eine neue Reinigungsöffnung eingebaut.

5.3.7.3 Nachuntersuchung

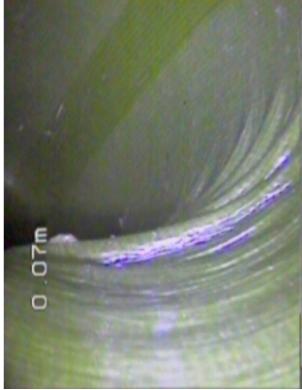




a) Längs- und Querfalten in der Sohle b) und der Firste

Freigefräster Einlauf von links





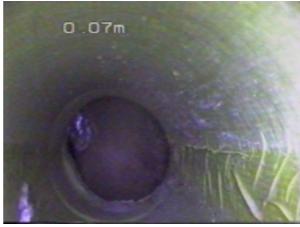
c) Bogen nach unten mit Faltenbildung

d) Detail Faltenbildung im Bereich des Bogens

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 114 von 127







- e) leichter Muffenversatz
- f) Einmündung des sanierten Anschlusskanals in den Hauptkanal

Abbildung 63: Nachuntersuchung Sanierung 7

Auf der gesamten Länge des Anschlusskanals sind sowohl im Scheitel als auch in der Sohle Längs- und Querfalten an der Innenfolie zu erkennen (siehe Abbildung 63 a)). Im Bereich des Bogens (siehe Abbildung 63 c) und d)) sind Falten im Linermaterial zu erkennbar, die bei dem verwendeten Brawoliner® unüblich sind. An den aufgefrästen seitlichen Einläufen (siehe Abbildung 63 b)) sind Fransen zu erkennen, die keinen Einfluss auf die hydraulische Leistungsfähigkeit haben.

5.3.7.4 Bewertung

Die hydraulische Leistungsfähigkeit des sanierten Anschlusskanals wird durch die entstandenen Falten bei der Sanierung nur geringfügig verringert. Die über die gesamte Länge anzutreffenden Falten an der Innenfolie sowie die Linerfalten im Bereich des Bogens sind dennoch als Baumangel anzusehen. So sind zwar bei dem verwendeten Brawoliner® Falten an der Innenfolie im Bereich des Bogens möglich, Falten entlang des gesamten Kanals lassen sich bei einer richtigen Ausführung vermeiden.

Sanierungen in offener Bauweise

Die klassische Variante der Sanierung von durch Wurzeln geschädigten Anschlusskanälen und Grundleitungen ist die Erneuerung in offener Bauweise.

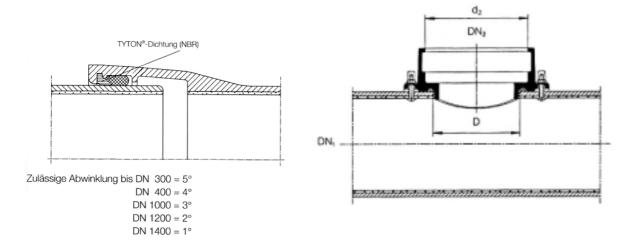
In Gelsenkirchen werden hierzu in der Regel Muffenrohre aus duktilen Gusseisen nach DIN EN 598 eingesetzt, die:

- 1. in langen Rohrstücken geliefert werden (Herstellungslänge 6,0 m) und
- 2. im Bereich der Rohrverbindung einen engen Bund zur Verhinderung von Dezentrierbewegungen aufweisen.

Der Anschluss an den öffentlichen Kanal erfolgt mit einem Sattelstück, das mittels Kernbohrung im Hauptkanal angesetzt wird.

Abbildung 64 a) zeigt die in Gelsenkirchen eingesetzte Rohrverbindung Tyton für duktile Gussrohre. In Abbildung 64 b) ist das verwendete Sattelstück dargestellt.

Die heutigen Rohrverbindungen müssen nach den geltenden Normen wurzelfest ausgeführt werden.



a) Tyton-Verbindung b) Sattelstück zum Anschluss eines Spitzendes.

Abbildung 64: Rohrverbindung für duktile Gussrohre

Zum Anschluss von seitlichen Einläufen, z.B. Regenfallrohren, die hinter dem Revisionsstück in den Anschlusskanal münden, werden u.a. Abzweigstücke, wie in Abbildung 65 dargestellt, verwendet.



Abbildung 65: Abzweig zur Einbindung eines seitlichen Einlaufs (Regenfallrohr)

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 116 von 127



5.4.1 Bauablauf

Bei einer Sanierung von Anschlusskanälen, die Schädigungen durch Wurzeleinwuchs aufweisen, wird der Strang vom Revisionsschacht bis zum Anschlusskanal erneuert. Eine stückweise Sanierung, z.B. nur des von Wurzeleinwuchs betroffenen Teilstücks, erscheint nicht sinnvoll. Die im Boden verbliebenen Wurzeln würden eine Gefahrenquelle für die nicht sanierten Teilstücke darstellen. Als Folge wäre Wurzeleinwuchs in diesen Teilstücken zu erwarten.

Die zu sanierenden Anschlusskanäle kreuzen in der Regel Gas, Wasser, Strom und Fernmeldeleitungen. Diese müssen bei einer Sanierung in offener Bauweise mittels Handschachtung freigelegt werden.

Bestehende Mauern, die Lage des Revisionsschachtes unterhalb der Kellersohle sowie kreuzende Versorgungsleitungen lassen nur bedingt den Einsatz von schweren Geräten wie Baggern zu. Handschachtungen werden zusätzlich durch das Wurzelgeflecht behindert. Die Wurzeln müssen mittels Sägen von Hand gekappt werden.

In Abbildung 66 sind die Probleme beim Ausbau des alten Anschlusskanals erkennbar. Beide Bereiche wurden mittels Handschachtung freigelegt.



Abbildung 66: Rückbau einer Steinzeugleitung: im Bereich des Revisionsschachtes unterhalb der Kellersohle

In Abhängigkeit von der Leitungslänge und der Zugänglichkeit der Leitungen treten neben den Kosten für die Verlegung zusätzlich Kosten für die Wiederherstellung der Oberfläche auf, die einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen können.





Abbildung 67: Lagerung der ausgestochenen Soden und Humusschicht neben dem Leitungsgraben

Während der Baumaßnahmen wird das komplette Wurzelwerk aus dem Leitungsgraben entfernt. Somit wird der Hauptgrund für die Sanierung, die Wurzeln, beseitigt. Sie müssen sich in diesem Bereich erst wieder neu bilden, um bis zur Leitung vorzudringen. Ein Wurzeleinwuchs in die alten Zuleitungen, wie z.B. Regenfallrohre (siehe Abbildung 65), konnte während des Forschungsvorhabens nicht beobachtet werden.

In beiden Fällen musste der Anschluss an den Hauptkanal neu hergestellt werden.



Abbildung 68: Freigelegter Stutzen bei einer Erneuerungsmaßnahme

Der alte Anschlusskanal war in Ermangelung anderer Techniken, an den Hauptkanal durch "Anschlagen" eingebunden worden. Dabei wurde mit einem Hammer ein Loch in den Hauptkanal geschlagen, der Anschlusskanal hineingesteckt, oder angelegt und die Lücken neben

D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01 Seite 118 von 127



dem Anschlusskanal mit Lehm oder Beton geschlossen. In Abhängigkeit vom verwendeten Rohrwerkstoff, dem handwerklichen Geschick des "Anschlägers" und den gerade griffbereiten Dichtungsmaterialien wurde dieser Anschluss meist ungenügend ausgeführt und stellt damit einen der Hauptschäden im Hauptkanal dar. In diesem undichten Bereich wachsen ebenfalls Wurzeln ein, die den Hauptkanal verstopfen können. Abbildung 68 zeigt einen freigelegten Stutzen mit erkennbarer Schädigung des Hauptkanals und Wurzelpolstern um den Stutzen.

5.4.2 Bewertung

In den mit duktilen Gussrohren sanierten Anschlusskanälen wurde bisher kein Wurzeleinwuchs festgestellt.

5.5 Ergänzende Schlussfolgerung

Die Auswahl eines angemessenen Verfahrens zur Sanierung von Anschlusskanälen in geschlossener wie auch in offener Bauweise ist abhängig von

- ⇒ den vorgefundenen Schäden und
- ⇒ der Zugänglichkeit des Anschlusskanals.

Sanierungen in offener Bauweise lassen sich prinzipiell immer durchführen. Eine genaue Schadenbeschreibung durch Inspektion des zu sanierenden Anschlusskanals ist dann nicht erforderlich, da in den meisten Fällen der gesamte Anschlusskanal saniert wird. In Abhängigkeit von den vorgefundenen Randbedingungen wie z.B. Tiefenlage des Anschlusskanals, anstehender Boden oder Flurabstand des Grundwassers, können die Kosten für eine solche Sanierung steigen. Für Bereiche, die durch Wurzelwuchs gefährdet sind werden häufig Rohre eingesetzt, die wenige oder keine Rohrverbindungen aufweisen. So werden in Gelsenkirchen duktile Gussrohre eingebaut, die in Längen von 6 m geliefert werden. Durch den Einsatz von Kunststoffrohren aus PE, die im Verbindungsbereich geschweißt werden, kann sogar auf jegliche Muffenverbindung verzichtet werden.

Während der Sanierungen in offener Bauweise werden die schadenverursachenden Wurzeln aus dem Bereich des Anschlusskanals komplett entfernt. Das hat zur Folge, dass

- 1. die Wurzeln erst nach längerer Zeit wieder in den Bereich des Anschlusskanals wachsen können und sich so eine Gefährdung verzögert, aber
- 2. das Wurzelwerk des Baumes verkleinert wird.

Bei Sanierungen in geschlossener Bauweise bleibt das Wurzelwerk dagegen voll erhalten. Lediglich die in die Leitungen einwachsenden Wurzeln werden beseitigt. Der Eingriff in den Wurzelraum kann somit auf ein Minimum beschränkt werden.

Sanierungen in geschlossener Bauweise müssen vom Auftraggeber detailliert vorbereitet werden. Zudem muss eine genaue Kenntnis über die unterschiedlichen Verfahren und fachkompetente ausführende Firmen bei dem Ausschreibenden vorliegen. Diese Aufgabe kann zum jetzigen Zeitpunkt sicherlich nicht vom privaten Hausbesitzer wahr genommen werden.

Bei den in Gelsenkirchen angewandten Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise hat sich gezeigt, dass die Relingverfahren (Schlauch- und Rohrstrangrelining) für die vorgefundenen Schäden und Einbaubedingungen am praktikabelsten waren. So konnten diese Bau-



maßnahmen spätestens nach zwei Tagen beendet werden. Zudem treten verfahrensbedingt keine Rohrverbindungen auf, in die Wurzeln einwachsen können. Inwieweit die einzelnen Reliningverfahren wurzelfest sind, kann trotzdem erst durch eine Langzeitbeobachtung festgestellt werden. Besonders aufmerksam müssen auch die seitlichen Einläufe beobachtet werden. Durch undichte Rohrverbindungen in diesen "Seitenarmen" könnten Wurzeln bis in die sanierten Bereiche eindringen.

Bei den hier angewandten Kurzschlauchverfahren zur Komplettsanierung der durch Wurzeleinwuchs geschädigten Anschlusskanäle traten Probleme auf, die auf den Einbau durch die Reinigungsöffnungen in Revisionschächten zurückzuführen sind. In beiden Sanierungsfällen (Sanierung 1, Sanierung 6) rutschte ein Kurzschlauch vor der richtigen Positionierung vom Packer und härtete mit einem verkleinerten Querschnitt aus.

Seite 120 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Nach § 45 der Landesbauordnung Nordrhein-Westfalen, muss für bestehende Abwasserleitungen die erste Dichtheitsprüfung spätestens bis zum 31.12.2015 durchgeführt werden. Wurzeleinwuchs in private Anschlusskanäle und Grundleitungen stellt derzeit einen der wenigen Gründe dar, bei dem vor Ablauf dieser Frist eine Inspektion und darauffolgende Sanierung notwendig ist.

Ein Großteil der Schäden wird durch Bäume verursacht, die sich im Besitz der öffentlichen Hand befinden. Nach einem Urteil des Oberverwaltungsgerichts für das Land Nordrhein-Westfalen vom 11. April 1996 wurde die Stadt Gelsenkirchen zur Übernahme von Kosten für die Entfernung von Wurzeleinwuchs in einem privaten Anschlusskanal verurteilt. Die Stadt hat nach Aussage des Gerichtes einen Ahorn direkt über die Anschlussleitung gepflanzt und dadurch das Eindringen von Baumwurzeln in gefahrerhöhender Weise erleichtert. Der Einwand, dass die geschädigten Leitungen, nach der geltenden Entwässerungssatzung, hätte dicht und wurzelfest sein müssen, wurde vom Gericht als Verstoß gegen den aus dem Rechtsstaatprinzip folgenden Grundsatz der Verhältnismäßigkeit angesehen.

Um die komplexen Zusammenhänge bewerten zu können, die den Schadensfall Wurzeleinwuchs beeinflussen, wurden 123 der in Gelsenkirchen gemeldeten Wurzeleinwuchsschäden wie folgt in einer **Datenbank** erfasst:

- ⇒ Schadensausmaß,
- ⇒ Schadensursache,
- ⇒ leitungsspezifische Randbedingungen
- ⇒ Rohrverbindungen und –werkstoffe und
- geologische bzw. hydrogeologische Randbedingungen

Durch Verknüpfung bzw. Verschneidung dieser Parameter wurden weitergehende Aussagen erzielt.

Grundlage für die Interpretation der Ergebnisse ist eine möglichst genaue Kenntnis der Eigenschaften unterschiedlicher, im Stadtgebiet vorkommender Baumarten. Dabei wurden die das Baumwachstum bzw. Wurzelwachstum beeinflussenden Faktoren, unter besonderer Betrachtung der natürlichen und städtischen Baumstandorte, berücksichtigt. Hierzu wurde eine Literaturrecherche, unter Berücksichtigung biologischer und landschaftspflegerischer Aspekte, durchgeführt.

Die Sanierung von durch Wurzeleinwuchs geschädigten Grundstücksentwässerungsleitungen mit Verfahren in geschlossener Bauweise wird erst seit einigen Jahren durchgeführt. Im Rahmen des Vorhabens wurden die auf dem Markt befindlichen, nach Herstellerangaben für den Schadensfall Wurzeleinwuchs geeigneten Verfahren zusammengestellt. In 7 Pilotmaßnahmen kamen Sanierungsverfahren in geschlossener Bauweise zum Einsatz, die sich an den in Gelsenkirchen vorgefundenen Einbaubedingungen orientierten. Darüber hinaus wurden 2 Erneuerungsmaßnahmen in offener Bauweise begleitet. Bei letzteren wurden Wurzelproben aus dem geschädigten Bereichen entnommen und anhand von lichtmikroskopischen Untersuchun-



gen an Wurzelschnitten dem schadenverursachenden Baum zugeordnet. Darüber hinaus wurden die Eigenschaften der Wurzelschnitte mit denen für einen natürlichen Wuchsort typischen Eigenschaften verglichen. Zusammenhänge zwischen Wurzelverlauf, Baumart, Bodeneigenschaften und Durchwurzelungsbild an Rohren bzw. Rohrverbindungen wurden herausgearbeitet.

Treffen mehrere schadensbegünstigende Faktoren aufeinander werden Rohre von Wurzeleinwuchs befallen.

- ⇒ Ein Hauptfaktor für den Schadensfall Wurzeleinwuchs ist der im Bereich der Grundstücksentwässerung angepflanzte Baum. Hierbei konnten Ahorn und Platane als Hauptverursacher indentifiziert werden. Ein Grund hierfür ist in der Anpassungs- und Widerstandsfähigkeit der beiden Baumarten zu sehen. Sie finden in den Anschlusskanälen einen besiedelbaren Lebensraum.
- ⇒ Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Abstand des Anschlusskanals zum schädigenden Baum und der Häufigkeit des Einwuchses. Über 90 % der Einwüchse in Anschlusskanäle und Grundleitung befanden sich im Bereich der von der Baumkrone überdeckten Fläche. Die Faustregel Kronenbreite = durchwurzelter Raum konnte, von wenigen Ausnahmen abgesehen, bestätigt werden.
- ⇒ Zur exakten Identifizierung des schadenverursachenden Baumes müssen alle im umliegenden Raum gepflanzten Bäume zusammen mit den festgestellten Schäden betrachtet werden. Die Art des in die Grundstücksentwässerungsleitung eingewachsenen Baumes kann durch vergleichende Betrachtung von Wurzelschnitten identifiziert werden.
- ⇒ In Folge des fehlenden seitlichen Drucks im Inneren der Anschlusskanäle reagieren die eingewachsenen Wurzeln mit einem verstärkten sekundären Wachstum. Sie nehmen schneller einen größeren Raum ein. Eine schnelle Verstopfung kleiner Querschnitte ist die Folge.
- ⇒ In Abhängigkeit von der anstehenden Boden-, zusammen mit der angepflanzten Baumart, konnten unterschiedliche Häufigkeiten von Wurzeleinwuchs in Anschlusskanäle festgestellt werden. Für alle erfassten Baumarten konnte ein verstärkter Wurzeleinwuchs bei der Bodenart Schluff verzeichnet werden.
- ⇒ Ein Zusammenhang zwischen Grundwasserstand und Einwuchshäufigkeit konnte bei den untersuchten Fällen nicht festgestellt werden.

Bei den im Rahmen des Forschungsvorhabens begleiteten Sanierungen in offener und durchgeführten Sanierungen in geschlossener Bauweise konnten folgende Sachverhalte festgestellt werden:

- ⇒ Renovierungsverfahren, die den gesamten Anschlusskanal bei der Sanierung auskleiden, haben sich bei den vorgefundenen Schadensbildern und Zugänglichkeiten über Reinigungsöffnungen als praktikable Sanierung herausgestellt.
- ⇒ Infolge der schlechten Zugänglichkeit und vorgefundenen Schadenbilder traten bei den eingesetzten Reparaturverfahren wiederholt Probleme auf. Der Einsatz dieser Verfahren unter den vorgefundenen Randbedingungen kann *nicht* empfohlen werden.



- ⇒ Für die Einbindung seitlicher Einläufe in den vorgefundenen Querschnitten DN 150 stehen derzeit keine Verfahren zur Verfügung. Voraussetzung für eine erfolgreiche Sanierung des Anschlusskanals in geschlossener Bauweise ist ein guter Zustand der vorgefundenen Einläufe.
- ⇒ Verfahrensbedingt wird bei einigen der hier angewandten Verfahren in geschlossener Bauweise auf einen Verbund zwischen Altrohr und Neurohr verzichtet. In diese Zwischenräume könnten Wurzeln eindringen, das neue Rohr schädigen oder an den mangelhaft eingebundenen seitlichen Einläufe erneut in den Anschlusskanal einwachsen.
- ⇒ Werden Schlauchreliningverfahren angewandt, bei denen das verwendete Harz direkten Kontakt zum Altrohr hat, ist es denkbar, dass der Verbund zwischen Liner und Altrohr das Eindringen von Wurzeln verhindert. Inwieweit ein Verbund zwischen Altrohr und Liner vorliegt, kann aufgrund der durchgeführten Sanierungen nicht eingeschätzt werden.
- ⇒ Eine Sanierung der in den Anschlusskanal mündenden Leitungen, wie z.B. Sammelleitungen der Dachentwässerung wurde nicht durchgeführt. Es ist zu erwarten, dass sich diese Leitungen in einem ähnlich schlechten Zustand wie die Anschlusskanäle, vor der Sanierung, befinden. Ob durch diese Leitungen Wurzeln bis in den Anschlusskanal vordringen und diesen verstopfen, ließ sich im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht klären.
- ⇒ Die Dichtheit von Renovierungsverfahren muss vor dem Offnen seitlicher Einläufe nachgewiesen werden. Dichtheitsprüfungen nach dem Auffräsen können infolge der schlechten Zugänglichkeit der seitlichen Einläufe nur abschnittsweise vorgenommen werden. Die Dichtheit der seitlichen Einläufe ließ sich – unabhängig vom Sanierungsverfahren – nicht prüfen, da eine Positionierung der Dichtblase im seitlichen Zulauf, z.B. durch die Regenfallleitung, nicht möglich war.

6.2 Ausblick

Für die Sanierung von Grundstücksentwässerungsleitungen stehen neben der Sanierung in offener Bauweise, Verfahren in geschlossener Bauweise zur Verfügung. Für die im Laufe des Vorhabens durchgeführten Sanierungen in geschlossener Bauweise ließen sich verfahrensbedingte Unterschiede feststellen. Ein Hauptunterscheidungsmerkmal ist der Verbund zwischen den Altrohren und den Linern. Hier können drei Gruppen benannt werden.

- 1. Verfahren bei denen ein Verbund zwingend notwendig ist. Darunter fallen die eingesetzten Kurzschlauchverfahren. Diese müssen sich, aufgrund ihrer geringen Baulänge, mit dem Altrohr verkleben, da nur die Klebefläche den sicheren Halt des Liners im Altrohr gewährleistet.
- 2. Verfahren, bei denen der Verbund zwischen Liner und Altrohr für eine Lagesicherung im Altrohr nicht ausschlaggebend ist, der Verbund im Bereich der Einläufe aber die Dichtheit sichert. In diese Kategorie fallen die Schlauchreliningverfahren, mit Ausnahme des KAS-Verfahrens der Firma INSITUFORM.
- 3. Verfahren bei denen bewusst auf einen Verbund zwischen Altrohr und Liner verzichtet wird. Für diese Kategorie sind die Rohrstrangverfahren sowie das Schlauchreliningverfahren des Firma INSITUFORM zu nennen.



Mit Ausnahme des Flexorenrelingverfahrens, das den Rohrstrangverfahren zugeordnet wird und nur eingesetzt werden kann, wenn der Anschlusskanal ohne Einläufe ausgeführt wurde, ließ sich während des Forschungsvorhabens nur die Dichtheit der Linermaterialien prüfen. Inwieweit auch die Einläufe dicht ausgeführt wurden, konnte in-situ nicht ermittelt werden.

So stellt sich die Frage, ob die seitlichen Einläufe nach den Fräsarbeiten dicht an das Rohr anbinden.

Hierfür sind Einflussfaktoren wie:

- ⇒ verwendeter Werkstoff des Altrohres (Steinzeug, PVC, PE-HD, duktiles Gusseisen, usw.),
- ⇒ Reinigungsgrad des Anschlusskanals,
- ⇒ Feuchtigkeit im Anschlusskanal und
- ⇒ Art der Aushärtung des Inliners (warm, kalt; mit Wasser, mit Luft)

zu nennen.

Darüber hinaus besteht für die, nach jetzigem Kenntnisstand sanierten und als dicht geprüften Anschlusskanäle noch Unsicherheit, ob nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme von einer Langzeitbeständigkeit gegen Wurzeleinwuchs ausgegangen werden kann.

Seite 124 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01



Literatur

- [1] Boeddinghaus/Hahn/Schulte: Bauordnung Nordrhein-Westfalen mit ergänzenden Vorschriften. Verlagsgruppe Jehle Rehm, 2. Auflage (06.2000)
- [2] DIN 1986-30: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Teil 30: Instandhaltung
- [3] DIN 4045: Abwassertechnik (12.85)
- [4] DIN 1986: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke; Teil 1: Technische Bestimmungen für den Bau (06.1988)
- [5] DIN 4060: Rohrverbindungen von Abwasserkanälen und -leitungen mit Elastomerdichtungen - Anforderungen und Prüfungen an Rohrverbindungen die Elastomerdichtungen enthalten (02.98)
- [6] DIN 4062: Dichtstoffe für Bauteile aus Beton; Anforderungen, Prüfungen und Verarbeitung (09.1978)
- [7] Breloer, Helge: Minderung des Ersatzanspruchs bei Eindringen von Wurzeln in schadhafte Leitungen; Stadt und Grün, 6/95; S. 404 - 406.
- [8] Oberverwaltungsgericht des Landes Nordrheinwestfalen, Münster: Aktenzeichen, AZ.: 22 A 3106/94
- [9] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn (1998)
- [10] Balder, Hartmut 1998: Die Wurzeln der Stadtbäume, Parey Verlag Berlin
- [11] Meyer F.H. 1982: Bäume in der Stadt, Ulmer Verlag Stuttgart
- [12] Cutler, David F.: Root identification manual of trees and shrubs; :a guide to the anatomy of roots of trees and shrubs hardy in Britain and Northern Europe. London: Chapman and Hall 1.Exp. (1987)
- [13] Strasburger: Lehrbuch der Botanik, 33. Auflage / P.Sitte, 1991, G.Fischer Verlag, Stuttgart
- [14] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen (10.97)
- [15] Gasson P.E. & D.F. Cutler 1990, Tree root plate morphology /Arboricultural Journal 1990 14/3 S.193-164
- [16] Liesecke, Hans-Joachim; Heidger, Clemens 1994: Untersuchung zur "Entwicklung und Erprobung von vegetationstechnichen und bautechnischen Massnahmen zur Optimierung des Wurzel- und Standraumes von Bäumen in Stadtstrassen", Bundesministerium für Verkehr, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 640
- [17] DIN 1998: Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen; Richtlinien für die Planung (05.1978)



- [18] Matthek, C.: Gutachten über das Gasunglück in Viersen hinsichtlich der Wurzel-Rohrleitungs-Wechselwirkungen. unveröffentlicht
- [19] DIN EN 752-1: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Teil 1: Allgemeines und Definitionen (01.96).
- [20] GSTT- Informationen Nr. 7: Verfahren zur Reinigung, Inspektion, Dichtheitsprüfung und grabenlosen Schadensbehebung in Anschlußkanälen und Grundleitungen. Arbeitskreis 3, Grabenloses Bauen, Leitungsinstandhaltung, Arbeitsgruppe 6, Anschluss- und Grundleitungen (12.97)
- [21] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen. Teil 1: Grundlagen (12.89)
- [22] DIN EN 752-5: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Teil 5: Sanierung (11.97).
- [23] DIN 4093: Einpressen in den Untergrund (09.87)
- [24] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen. Teil 3: Relining (04.93)
- [25] DIN 18820: Laminate aus textilfaserverstärkten ungesättigten Polyester- und Phenacrylatharzen für tragende Bauteile (GF-UP, GF-PHA); Teil 1: Aufbau, Herstellung, Eigenschaften (03.91); Teil 2: Physikalische Kennwerte der Regellaminate (03.91): Teil 3: Schutzmaßnahmen für das tragende Laminat (03.91); Teil 4: Prüfung und Güteüberwachung (03.91).
- [26] Eiselt, M.G., Schröder R./Laubgehölze 1. Aufl. 1977 Neumann Verlag, Leipzig-Radebeul, GDR
- [27] Rothmaler, Exkursionsflora von Deutschland, Bd.2, Gefäßpflanzen, Gustav Fischer Jena, 1996
- [28] Ingenieurgeologische Karte der Stadt Gelsenkirchen: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 1988: Maßstab 1:25000
- [29] DIN 18196: Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke (10.88)
- [30] DIN 4022: Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels (09.87)
- [31] Ingenieurgeologische Karte der Stadt Gelsenkirchen: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 1988: Erläuterungen
- [32] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen. Teil 6: Dichtheitsprüfung bestehender, erdüberschütterter Abwasserleitungen und –kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck (06.98)
- [33] Firmeninformation der Kanal Müller Gruppe Deutschland
- [34] Firmeninformation der Insituform® Rohrsanierungstechniken GmbH
- [35] Firmeninformation der Ecokanal GmbH

- [36] Firmeninformation der kan.d.i.s Kanaltechnologie GmbH & Co. KG
- [37] Produktinformation Brawoliner® aus dem Hause KOB, Karl Otto Braun KG
- [38] Firmeninformation der Pader Kanal Technik GmbH & Co.
- [39] Produktinformation der Firma Uponor Anger GmbH
- [40] Firmeninformation der Lobbe GmbH & Co.

Anhang

Seite 127 von 127 D:\endbericht.doc 26.09.01 - HS Stand: A00-26.09.01