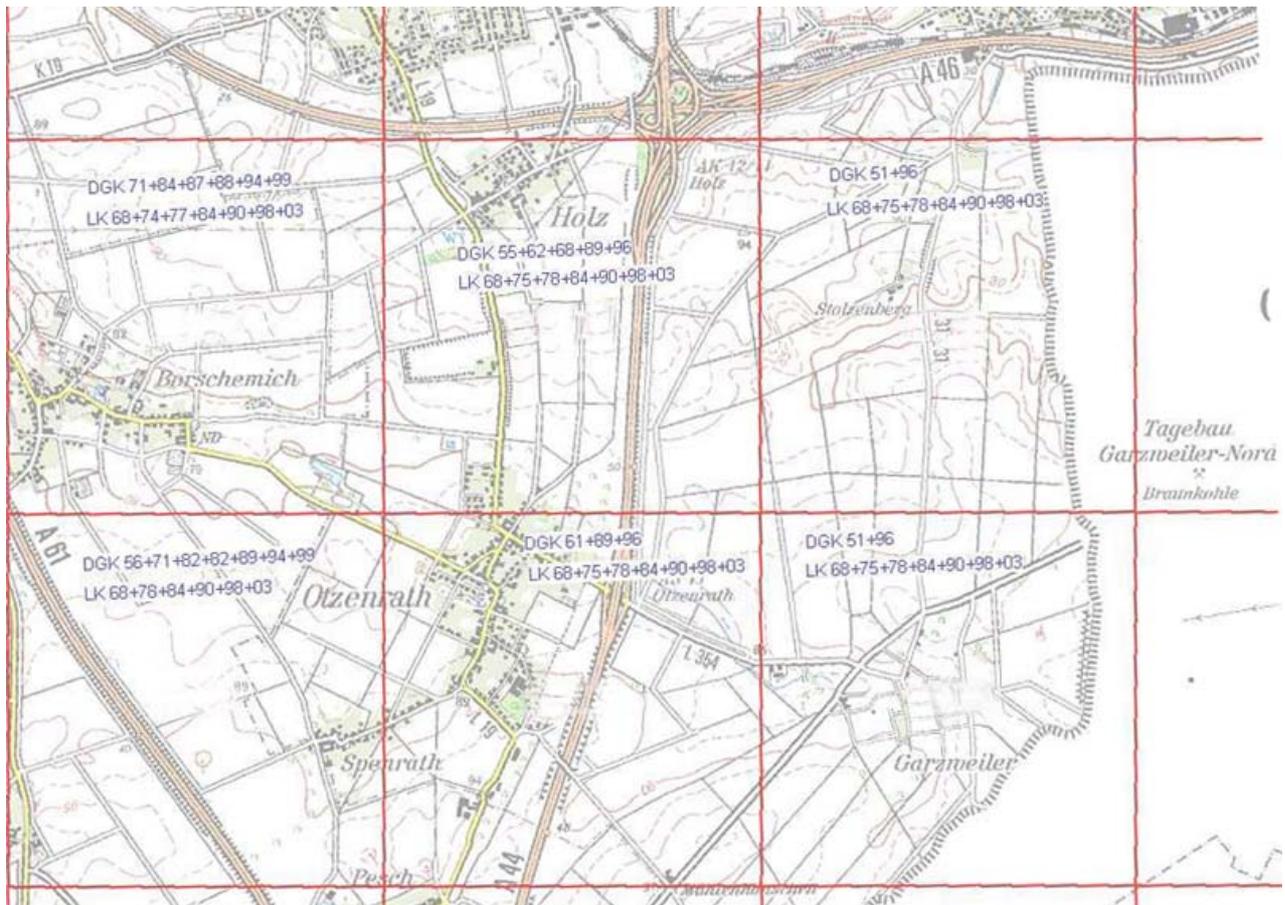


## Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle „ergänzende Feldversuche“



- Endbericht -  
(Aktenzeichen: IV - 9 – 041 105 280)

**Auftraggeber:**



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

**Auftragnehmer:**



IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur  
Exterbruch 1  
45886 Gelsenkirchen  
[www.ikt.de](http://www.ikt.de)

**Projektpartner:**



Ruhr-Universität Bochum  
Lehrstuhl für Evolution und Biodiversität  
Prof. Dr. Thomas Stützel  
Universitätsstraße 150  
44780 Bochum



Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft  
an der RWTH Aachen  
52056 Aachen  
[www.fiw.rwth-aachen.de](http://www.fiw.rwth-aachen.de)

**Bearbeitung:**

Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt  
Dipl.-Biol. Heiko Schmiedener  
Dipl.-Biol. Markus Streckenbach  
Dipl.-Ing. Susanne Hüben  
Dipl.-Ing. Jochen Schunicht  
cand. rer. nat. Kathrin Ströcker

<b>1</b>	<b>Veranlassung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zielstellung und Vorgehensweise.....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Naturwissenschaftlich-Technischer Hintergrund .....</b>	<b>3</b>
3.1	Wurzeln.....	3
3.2	Boden- und Grundwasserschutz .....	4
3.3	Wurzeln und Leitungen.....	5
<b>4</b>	<b>In-Situ-Untersuchungen.....</b>	<b>6</b>
4.1	Allgemeines .....	6
4.2	Untersuchungsgebiet.....	6
4.2.1	<i>Gebietscharakterisierung.....</i>	<i>6</i>
4.2.2	<i>Entwässerungssystem und Abwasserbeschaffenheit im Untersuchungsgebiet .....</i>	<i>7</i>
4.2.3	<i>Geologie im Untersuchungsgebiet .....</i>	<i>8</i>
4.3	Identifizierung der Untersuchungsobjekte .....	11
4.3.1	<i>Voraussetzungen zur Auswahl der Untersuchungsobjekte.....</i>	<i>11</i>
4.3.2	<i>Auswahl der Untersuchungsobjekte .....</i>	<i>12</i>
4.4	Grundsätzliches Vorgehen im Rahmen der Untersuchungen .....	15
4.5	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 1 .....	17
4.5.1	<i>Situation vor Ort.....</i>	<i>17</i>
4.5.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion .....</i>	<i>18</i>
4.5.3	<i>Aufgrabung .....</i>	<i>19</i>
4.5.4	<i>Untersuchung der entnommenen Wurzel- und Leitungsproben .....</i>	<i>22</i>
4.6	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 2 .....	23
4.6.1	<i>Situation vor Ort.....</i>	<i>23</i>
4.6.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion .....</i>	<i>24</i>
4.6.3	<i>Aufgrabung .....</i>	<i>25</i>
4.7	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 3 .....	27
4.7.1	<i>Situation vor Ort.....</i>	<i>27</i>
4.7.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion .....</i>	<i>29</i>
4.7.3	<i>Aufgrabung .....</i>	<i>30</i>
4.8	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 4 .....	32
4.8.1	<i>Situation vor Ort.....</i>	<i>32</i>
4.8.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion .....</i>	<i>33</i>
4.8.3	<i>Aufgrabung .....</i>	<i>35</i>
4.8.4	<i>Untersuchung der entnommenen Wurzel-Leitungsproben:.....</i>	<i>36</i>
4.9	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 5 .....	37
4.9.1	<i>Situation vor Ort.....</i>	<i>37</i>

4.9.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion</i> .....	38
4.9.3	<i>Aufgrabung</i> .....	40
4.10	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 6 .....	44
4.10.1	<i>Situation vor Ort</i> .....	44
4.10.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion</i> .....	47
4.10.3	<i>Aufgrabung</i> .....	47
4.11	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 7 .....	48
4.11.1	<i>Situation vor Ort</i> .....	48
4.11.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion</i> .....	50
4.11.3	<i>Aufgrabung</i> .....	52
4.12	Aufgrabung Untersuchungsobjekt 8 .....	53
4.12.1	<i>Situation vor Ort</i> .....	53
4.12.2	<i>Ergebnisse der TV-Inspektion</i> .....	56
4.12.3	<i>Aufgrabung</i> .....	57
4.13	Schlussfolgerung .....	58
<b>5</b>	<b>Verfahren zur Wurzelentfernung</b> .....	<b>59</b>
5.1	Chemische Wurzelentfernung .....	59
5.1.1	<i>Übersicht möglicher Verfahren</i> .....	59
5.1.2	<i>In-Vitro-Untersuchungen zur chemischen Wurzelentfernung</i> .....	61
5.2	Mechanische Wurzelentfernung .....	68
5.2.1	<i>Verfahren zur mechanischen Wurzelentfernung</i> .....	68
5.2.2	<i>Wurzelentfernung im Kanalnetz (In-Situ-Untersuchungen)</i> .....	71
5.2.3	<i>Wurzelentfernung an Prüfaufbauten im IKT</i> .....	73
5.3	Schlussfolgerungen .....	75
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>79</b>

## 1 Veranlassung

Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen tritt in öffentlichen und privaten Entwässerungsnetzen auf. In der Regel findet Wurzeleinwuchs an Rohrverbindungen statt. Bei Kanälen kleiner Nennweite (z.B. Hausanschlussleitungen DN 150) führt dies in einigen Fällen zum totalen Verschluss der Leitung, der Querschnitt von Kanälen größerer Nennweite wird von Wurzeln nur teilweise verschlossen.

Die Problematik „Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen“ wurde bereits in abgeschlossenen Forschungsprojekten bearbeitet [1] [2]. Dabei wurde unter anderem ermittelt, dass der Hauptauslöser des Wurzeleinwuchses nicht die Suche der Wurzeln nach Nährstoffen ist. Es wurde nachgewiesen, dass durch den direkten Kontakt zu Schmutzwasser an Wurzeln Schädigungen auftreten können. Offenbar ist nicht ausschließlich das Leitungsmedium für Wurzeln attraktiv, sondern die Bedingungen im Leitungsraben bzw. die äußere Oberfläche von Leitungen fördern Wurzelwachstum in der Nähe der Leitung. Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen stellt eine natürliche Reaktion der Wurzeln auf Bedingungen dar, die im Leitungsraben auftreten [1].

Im Rahmen der abgeschlossenen Forschungsprojekte wurde eine Modellvorstellung entwickelt, mit deren Hilfe die Reaktion von Wurzeln auf bestimmte Bodenparameter, wie Porosität bzw. Verdichtung beschreibbar ist. Demnach folgen Wurzeln Bodenbereichen mit hohem Porenanteil, wie sie zum Teil im Leitungsraben auftreten. Das so genannte Dichtefallenmodell beschreibt darüber hinaus, dass Wurzeln Bereiche mit geringem Porenanteil bzw. hoher Verdichtung nicht wieder verlassen können und aus diesem Grund Leitungen regelrecht verfolgen und deren Bettungsmaterial kontinuierlich durchwurzeln. [1]

Eine zuverlässige Bestätigung der o.a. Annahmen und Modellvorstellungen war bisher nicht möglich. Weitere Aufgrabungen und ergänzende Untersuchungen bieten sich hier an, auch mit Blick auf geeignete Maßnahmen zur Wurzelentfernung.

## 2 Zielstellung und Vorgehensweise

Ziel des Vorhabens ist es, mit Hilfe von Aufgrabungen in nicht mehr in Betrieb befindlichen Leitungsnetzen im Braunkohleabbaugebiet „Garzweiler II“ die Modellvorstellungen zum Einfluss unterirdisch verlegter Abwasserleitungen bzw. ihres Bettungsmaterials auf das Wurzelwachstum zu überprüfen. Hierzu wird das Wurzelwachstum im Bodenraum von Grundstücken betrachtet, deren Leitungsnetz bzw. deren Bepflanzung bereits seit mehr als 20 Jahren besteht.

Darüber hinaus sollen Randbedingungen eingegrenzt werden, welche die Wahrscheinlichkeit eines Einwuchses von Wurzeln in die Leitungszone und schließlich in die Leitung verringern. Dabei wird die vom Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft der RWTH Aachen (FiW) im Rahmen des

Forschungsvorhabens „Untersuchung der Langzeitauswirkungen von Abwasseranlagen auf den Boden“ [3] erprobte Vorgehensweise der Aufgrabung und Dokumentation angewandt.

Die folgenden Untersuchungsschwerpunkte werden hinsichtlich der Interaktion Rohr/Boden/Wurzel gewählt:

- Untersuchung zur Ausbreitung von Wurzeln im Bereich von Leitungszonen unter verschiedenen Randbedingungen, wie Alter und Art der Gehölze, Nähe der Gehölze zur Leitungszone und Wurzelwachstum. Dies geschieht auch mit Blick auf die Erweiterung der Datengrundlage der bestehenden Wurzel Datenbank zur Bestimmung der Baumart anhand von Wurzelproben.
- Untersuchung von Fällen, in denen kein Wurzelwachstum in die Leitung und damit auch kein Einfluss des Leitungsinhaltes zu beobachten ist, zur Dokumentation der medienunabhängigen Rohr-Wurzel-Interaktionen.
- Erprobung chemischer und mechanischer Verfahren zur Wurzelentfernung.

## 3 Naturwissenschaftlich-Technischer Hintergrund

### 3.1 Wurzeln

Wurzeln dienen der Aufnahme von Nährstoffen und Wasser aus dem Boden. Damit der wachsende Organismus seinen Bedarf an Nährstoffen und Wasser über seine gesamte Lebensdauer hinweg decken kann, wächst auch das Wurzelsystem weiter und erschließt sich stetig neuen Bodenraum. Wurzelwachstum in anthropogenen Böden unterscheidet sich stark von dem an natürlichen Standorten [1].

Alle Pflanzen sind im Laufe ihres Wachstums auf einen kontinuierlichen Zuwachs ihrer Wurzelmasse angewiesen, da lediglich verhältnismäßig junge Wurzeln (Primärwurzeln) die Fähigkeit zur Nährstoffaufnahme besitzen. Verholzte, mehr als armdicke Wurzeln dienen ausschließlich der mechanischen Verankerung des Baumes. Zur Aufrechterhaltung von Transportvorgängen im Rahmen ihres Stoffwechsels sind alle Pflanzen auf eine kontinuierliche Verfügbarkeit von Nährstoffen und Wasser und damit auch auf einen Zuwachs angewiesen. Der Zuwachs erfolgt im Bereich des kontinentalen Mitteleuropas in der Regel in Abhängigkeit von den Jahreszeiten. [4]

Das Wachstum von Wurzeln wird stark durch die Bodenstruktur beeinflusst. Wurzeln wachsen vorwiegend in Bodenbereichen, die ein ausreichendes Maß an Poren enthalten [1]. Hier wird ihr Sauerstoffbedarf aus der Bodenluft in den Poren des Bodens gedeckt.

Wurzeln benötigen darüber hinaus einen ausreichenden Gehalt an Sauerstoff, der sich in den Bodenporen befindet [5], [6]. Die Wurzeln füllen die Bodenporen aus, vergrößern durch Wachstum ihr Volumen und komprimieren dabei den Boden. Damit sich die Pflanze im Boden verankern kann, müssen die Bodenpartikel den Wurzeln ausweichen können und so Räume freigeben, die von Wurzeln eingenommen werden.

Eine Abnahme der Porosität des Bodens, wie sie z.B. durch Verdichtung entsteht, führt dazu, dass die Durchlüftung des Bodens vermindert wird und sich Wurzeln in dem betreffenden Boden eingeschränkt ausbreiten [7]. In Böden mit einem hohen Porenanteil fällt das Wurzelwachstum generell stärker aus als in vergleichbaren Böden mit geringerem Porenanteil [8]. Grenzsichten zwischen unterschiedlichen Bodenbereichen, wie sie z.B. durch Verlegung unterirdischer Leitungen an der Grenze zwischen Bettungsmaterial und anstehendem Boden bestehen, sind für Wurzeln ebenfalls attraktiv.

### 3.2 Boden- und Grundwasserschutz

Mit Blick auf den Einsatz von chemischen Verfahren zur Wurzelentfernung in Abwasserleitungen und Kanälen sind Fragen des Boden- und Grundwasserschutzes von Bedeutung, weil eine Exfiltration der verwendeten Substanzen nicht ausgeschlossen ist. Präparate zur chemischen Entfernung von Wurzeln in Entwässerungssystemen enthalten in der Regel als Wirkstoffe Herbizide, die bei Kontakt mit Wurzeln, ein Absterben der Wurzelzellen verursachen.

Der Umgang mit grundwassergefährdenden Substanzen und das Einleiten solcher Stoffe in Abwasserreinigungsanlagen und die Vorfluter, wie z.B. von Herbiziden, ist innerhalb von Deutschland stark geregelt [9], [10], [11], [12] und [13]. Eine Zersetzung solcher Stoffe im Bodenkörper oder in der Grundwasserschicht ist aufgrund fehlender Bedingungen kaum oder nur in geringem Maße möglich, so dass diese in die biologische Stufe einer Abwasserreinigungsanlage bzw. in den Vorfluter gelangen können [14].

Die Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (AbwV) [9] sieht vor, keine Substanzen in die Abwasserreinigungsanlage und letztendlich in Vorfluter einzuleiten, von denen eine nachteilige Wirkung oder eine Betriebs-Gefährdung für die angesprochenen Systeme ausgeht.

Bei den verwendeten Herbiziden handelt es sich um Stoffwechselgifte, die unter anderem einen schädigenden Einfluss auf die biologische Reinigungsstufe einer Kläranlage haben können. Aufgrund ihrer nachteiligen Wirkung auf die Reinigungsleitung von Kläranlagen ist die Verwendung derartiger Produkte im Bereich der Bundesrepublik Deutschland nicht gestattet [9],[10],[11] und [12].

Mit einigen der laut Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit [13] zugelassenen Herbizide, wie Trifluralin (Handelsname Treflan [15], etc.), Kupfersulfat (Handelsname Rootdestroyer [16], etc.) oder Diquat (Handelsname Reglone [17], etc.), wird Wurzelentfernung in andern Ländern durchgeführt. Diese Wirkstoffe sind im Bereich der Bundesrepublik Deutschland als wassergefährdend eingestuft.

Produkte zur chemischen Wurzelentfernung werden in einigen Ländern Europas und des außereuropäischen Auslandes vertrieben und eingesetzt. Die Produkte werden über den internationalen Versandhandel (Postweg) in Deutschland vertrieben und hier in Entwässerungsanlagen eingesetzt. Durch das Einleiten derartiger Substanzen sind Beeinträchtigungen des Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen und letztendlich der Lebensgemeinschaften in Gewässern nicht ausgeschlossen.

### 3.3 Wurzeln und Leitungen

Abwasserleitungen und deren Umgebung, der Leitungsgraben sowie der gewachsene Boden, bieten Lebensraum für die Wurzeln von Bäumen. Die Ursachen für den Wurzeleinwuchs in Leitungen hängen eng mit den örtlichen Randbedingungen z.B. in Bezug auf Bodenstruktur oder Versiegelung der Oberfläche zusammen.

Der Bodenkörper in Stadtböden wird für Bauwerke der unterirdischen Infrastruktur genutzt und ist dadurch in seiner Struktur stark verändert. Zum einen werden üblicherweise Versorgungsleitungen in Tiefen bis zu 1,60 m verlegt (vgl. [18]). Zum anderen befinden sich dort Bauwerke der Ortsentwässerung wie Abwasserkanäle, Hausanschlussleitungen und Straßeneinläufe. Einen Eindruck der Nutzung und Verwurzelung des Bodenkörpers von Stadtböden gibt Abb. 1.

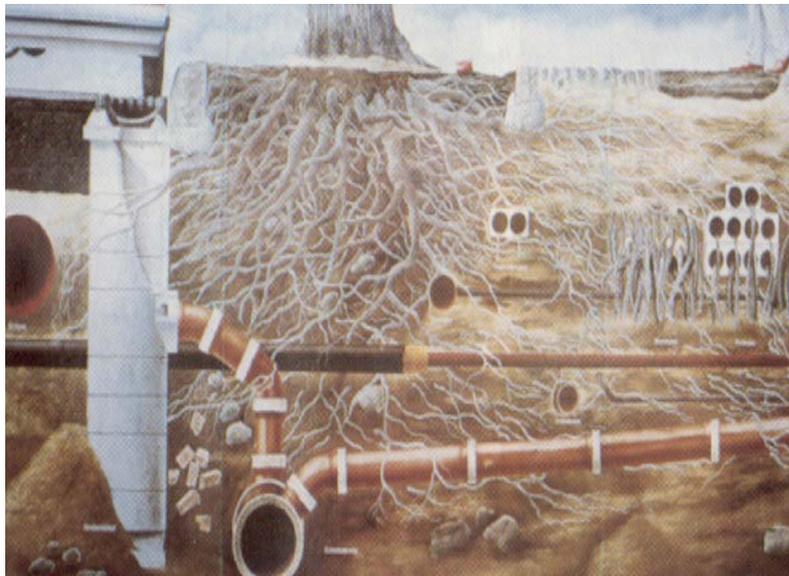


Abb. 1: Schematische Wiedergabe des städtischen Wurzelraumes, aus [19].

Insbesondere die Herstellung von Kanalisationen in der offenen Bauweise stellt einen starken Eingriff in den Bodenkörper dar. Sie erfolgt durch Ausheben eines Grabens, Verlegen der Leitung im Schutze einer Böschung oder eines Verbaus und anschließendes lagenweises Verfüllen des Grabens und sorgfältiges Verdichten des eingefüllten Materials (vgl. DIN EN 1610 [20]). Die entscheidenden Problemzonen bei der Verdichtung des Leitungsgrabens stellen die schwer zugänglichen Zwickel dar. Besonders in schmalen Rohrleitungsgräben, wie sie bei Grundstücksentwässerungsleitungen in typischer Weise auftreten, sind die Zwickel schlecht erreichbar, so dass dort Bereiche geringer Verdichtung auftreten können. Aufgrund der hohen Attraktivität gering verdichteter Bereiche für Wurzeln, erreichen sie durch ihr Wachstum in vielen Fällen Komponenten der unterirdischen Infrastruktur.

Während Wurzeleinwuchs in private Entwässerungsleitungen größtenteils unmittelbar mit einer Sanierung der betroffenen Leitungen einhergeht, handelt es sich bei Wurzeleinwuchs in die öffentliche Kanalisation oftmals zunächst nur um ein betriebliches Problem. Die einwachsenden Wurzeln reduzieren den hydraulischen Querschnitt und es besteht die Gefahr der Entstehung von Ablagerungen und gegebenenfalls Verstopfungen in der betroffenen Leitung. Üblicherweise werden die Wurzeln mit Hilfe von Spezialgeräten aus dem Fließquerschnitt entfernt. Erst durch die wiederholte Durchführung der betrieblichen Maßnahme der Wurzelentfernung bzw. durch den Einsatz von Geräten mit großer schädigender Wirkung auf die Kanalsubstanz, wie z.B. der Kettenschleuder, kommt es auch zu einer baulichen Beeinträchtigung durch Wurzeleinwuchs. Die Folge ist vielfach eine Verschlechterung des baulichen Zustandes und dementsprechend eine Zuordnung der entsprechenden Haltung in eine ungünstigere Schadensklasse. Je nach Schadensklasse ist damit eine mehr oder weniger kurzfristige Sanierung verbunden.

## 4 In-Situ-Untersuchungen

### 4.1 Allgemeines

Zur Untersuchung des Wurzelwachstums in Leitungsräumen wurden In-situ-Untersuchungen an Abwasserleitungen in den drei Ortschaften (Alt-) Otzenrath, Holz und Spenrath durchgeführt. Die drei Dörfer werden aufgrund des Braunkohletagebaus Garzweiler abgerissen. Untersuchungen zum Wurzelwachstum im Leitungsbereich können daher an bereits leer stehenden Anwesen gut durchgeführt werden, da die Leitungen außer Betrieb sind und bei Beschädigung durch die Untersuchungen nicht mehr rückgebaut werden müssen.

### 4.2 Untersuchungsgebiet

#### 4.2.1 Gebietscharakterisierung

Die drei Dörfer (Alt-) Otzenrath, Holz und Spenrath sind ca. 800 bis 1000 Jahre alt und besitzen eine ländliche Struktur. In allen drei Dörfern zusammen lebten zwischen 2.000 und 2.500 Einwohner. Die Dörfer gehören zur Gemeinde Jüchen im Kreis Neuss und liegen bzw. lagen direkt an der Autobahn 44, nahe dem Autobahnkreuz Holz (siehe Abb. 2). Aufgrund des Tagebaus existiert das Autobahnkreuz Holz und ein Teil der Autobahn 44 jetzt nicht mehr.



Abb. 2: Übersicht des Untersuchungsgebiets (Alt-Otzenrath, Holz und Spennath) [Quelle: Google-Earth]

Die Bebauung in den drei Dörfern ist in der Regel zwischen 20 und 100 Jahre alt und besteht überwiegend aus Einfamilienhäusern und Bauernhöfen. Da die Ortschaft Otzenrath zu Beginn des Vorhabens bereits weitestgehend abgerissen war, wurden die Untersuchungen vorwiegend in Holz und Spennath vorgenommen. Beide Ortschaften verfügen zur Zeit noch über bewohnte Häuser, so dass nicht das gesamte Ortsgebiet für die Untersuchungen zur Verfügung steht.

#### 4.2.2 Entwässerungssystem und Abwasserbeschaffenheit im Untersuchungsgebiet

Das Abwasser der drei Dörfer (Alt-) Otzenrath, Holz und Spennath wird seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts über eine Kanalisation abgeleitet. Bis zu diesem Zeitpunkt fand die Abwasserbeseitigung ausschließlich über Kleinkläranlagen statt. Die Kanalisation sowie die in Betrieb gewesenen Hausanschlussleitungen sind daher zum Zeitpunkt der Untersuchungen etwa 25 bis 35 Jahre alt.

Aufgrund des bevorstehenden Abrisses des Ortes wurde im Einvernehmen mit der Bezirksregierung die Inspektion der öffentlichen Kanalisation nach der Selbstüberwachungsverordnung Kanal NRW nicht mehr durchgeführt und es lagen somit keine Inspektionsprotokolle vor. Da die öffentliche Kanalisation bzw. der darüber liegende Straßenraum jedoch noch nicht von RWE-Power zum Zeitpunkt der Untersuchungen übernommen worden war, bestand keine Möglichkeit Untersuchungen an der öffentlichen Kanalisation vorzunehmen.

Zur Charakterisierung der Abwasserbeschaffenheit kann auf die Untersuchungen des Forschungsvorhabens „Untersuchung von Abwasseranlagen und deren Langzeitauswirkungen auf den Boden“ [3] zurückgegriffen werden. Während des Forschungsvorhabens wurden an der Pumpstation in Otzenrath drei Abwasserproben in etwa halbjährlichen Abständen entnommen. Die Ergebnisse der Probenanalyse zeigen, dass typisches kommunales Abwasser mit einigen Konzentrationsschwankungen vorliegt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Abwasserbeschaffenheit an der Pumpstation in Otzenrath in den Jahren 2003 und 2004 [3]

Untersuchungsparameter	Einheit	Abwasserprobe			Mittelwert
		1	2	3	
pH	[ - ]	8,02	8,24	7,61	7,96
Leitfähigkeit	[ $\mu$ S/cm ]	1490	1070	1270	1.276,67
DOC	[ mg/L ]	124	105	130	119,67
Ammonium-N	[ mg/L ]	80	43	66	63,00
Ca	[ mg/L ]	89	90	89	89,33
K	[ mg/L ]	20	38	23	27,00
Mg	[ mg/L ]	36	20	2	19,33
Gesamt-P	[ mg/L ]	12,3	11,9	9,7	11,30
B	[ mg/L ]	0,01	0,63	0,44	0,360
Pb	[ mg/L ]	0,015	0,030	0,024	0,023
Cu	[ mg/L ]	0,095	0,10	0,04	0,077
Zn	[ mg/L ]	0,23	0,35	0,082	0,221
Cr	[ mg/L ]	0,0057	0,012	0,005	0,008

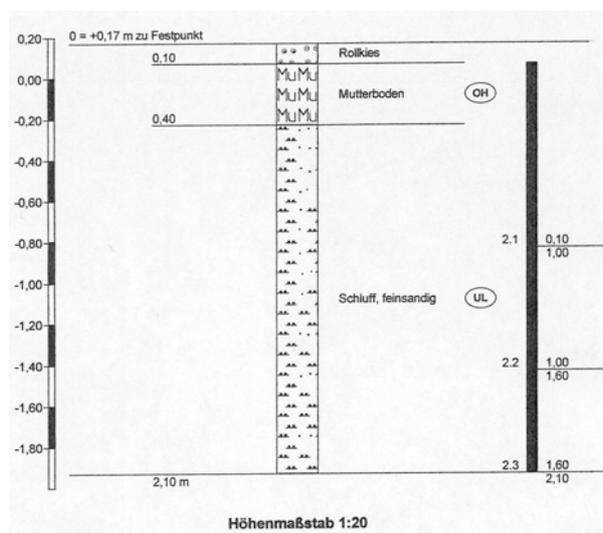
#### 4.2.3 Geologie im Untersuchungsgebiet

Hydrogeologische Karten des Untersuchungsgebiets zeigen, dass die obere Schicht des Bodens in den drei Dörfern und Umgebung bis zu einer Tiefe von 10 m aus Lösslehm und Löss (kalkhaltig) besteht (vgl. Abb. 3). Darunter sind jüngere Hauptterrassen des Rheins, die sich aus Mittel- und Feinkies mit Grobsand, Grobkies und Mittelsand zusammensetzen.



**Abb. 3:** Oberflächennahe Bodenschichten im Bereich Otzenrath (ca. 4 bis 5 m unter der Geländeoberkante) [3]

Die geologischen Untersuchungen aus dem Forschungsvorhaben „Untersuchung von Abwasseranlagen und deren Langzeitauswirkungen auf den Boden“ [3] bestätigen die Aussagen der hydrogeologischen Karten. Alle in dem Forschungsvorhaben vorgenommenen geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen in dem Untersuchungsgebiet haben gezeigt, dass unter einer Oberbodenschicht von 0,3 m bis 1,3 m (in der Regel aus einer Oberflächenbefestigung und Mutterboden bestehend) feinsandiger Schluff ansteht. Da der Grundwasserstand weiträumig abgesenkt wurde, wurde auch in den vorgenommenen Sondierungen kein Wasser gefunden. Im Folgenden sind beispielhaft die Ergebnisse der Bodenuntersuchung eines Standortes in Otzenrath dargestellt.



**Abb. 4:** Beispiel einer Schichtenfolge des Bodens in der Ortschaft Otzenrath [3]

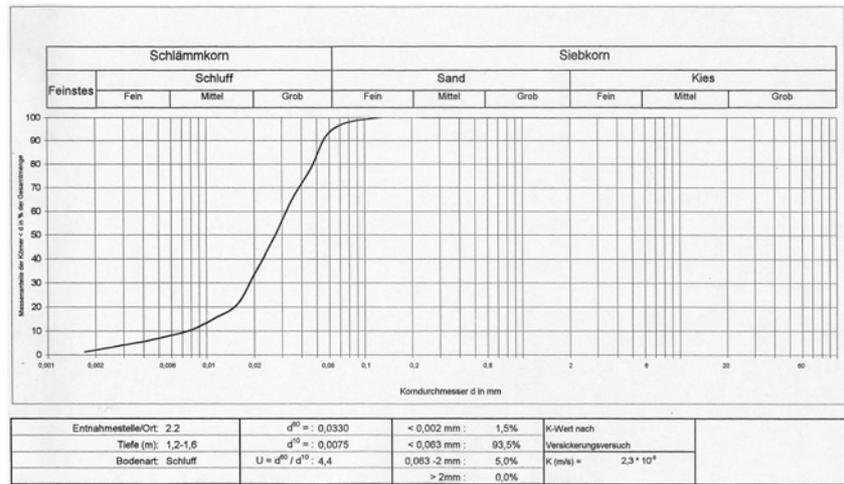


Abb. 5: Beispiel einer Sieblinie von 1,2 m bis 1,6 m unter GOK des Bodens in der Ortschaft Otzenrath [3]

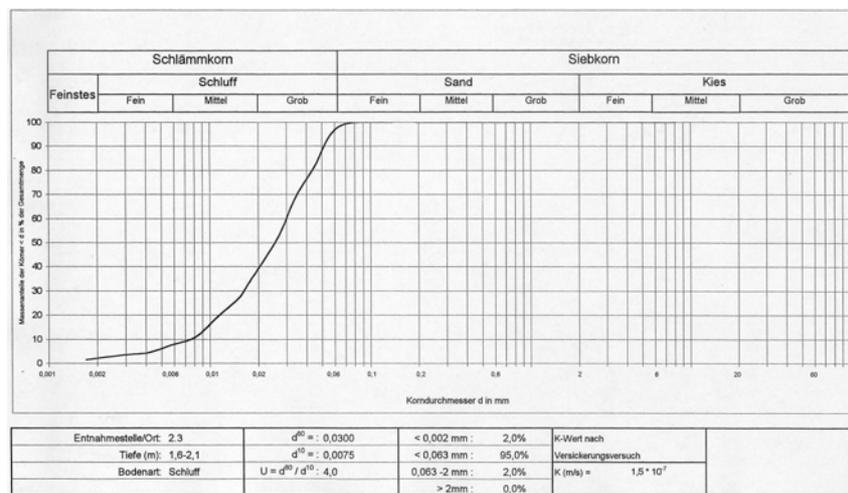


Abb. 6: Beispiel einer Sieblinie von 1,6 m bis 2,1 m unter GOK des Bodens in der Ortschaft Otzenrath [3]

Tabelle 2: Beispiel eines Durchlässigkeitswerts und Wassergehalts des Bodens in der Ortschaft Otzenrath [3]

Ebene [m]	$k_f$ -Wert [m/s]	Wassergehalt [%]
1,60	$2,3 \times 10^{-8}$	17,9
2,10	$1,5 \times 10^{-7}$	17,3

Während der In-situ-Arbeiten im Rahmen der Untersuchungen dieses Vorhabens hat sich herausgestellt, dass die Bodenverhältnisse auch in Holz und Spenrath denen aus Otzenrath ähnlich sind. Es handelt sich folglich um einen feinsandigen Schluff, also einen bindigen, wenig durchlässigen Boden.

Bei den Aufgrabungen wurden punktuelle Bodenproben entnommen, mit dem Ziel markante Unterschiede zwischen anstehendem Boden und dem im Leitungsgraben befindlichen Boden zu ermitteln. Eine erste Begutachtung der Bodenproben ergab jedoch, dass die Unterschiede zwischen den Proben bezüglich ihrer Korngrößen und deren Verteilung nur äußerst gering sind.

Eine weitere Untersuchung der Proben wurde nicht durchgeführt, da die zu erwartenden Aussagen eine geringe Verwertbarkeit für das Ergebnis des Vorhabens besitzen. Anstelle einer geologischen Analyse der Bodenproben wurde die Suche nach verwurzelten Leitungsabschnitten im Rahmen der Aufgrabung verstärkt.

### 4.3 Identifizierung der Untersuchungsobjekte

#### 4.3.1 Voraussetzungen zur Auswahl der Untersuchungsobjekte

Die Identifizierung geeigneter Untersuchungsobjekte erfolgte sowohl im Hinblick auf botanische als auch auf örtliche Randbedingungen. Für die Untersuchungen ist das bloße Vorhandensein von Bäume bzw. Wurzeln nicht grundsätzlich ausreichend. Neben der Entfernung zwischen Bäumen und Leitung sind Aspekte, wie z.B. die freizulegende Leitungslänge oder Zugänglichkeiten für Baugeräte von Bedeutung.

Auswahlkriterien aus botanischer Sicht:

1. Baumart: Bei der Auswahl der Untersuchungsobjekte wurden Standorte bevorzugt, an denen Angiospermen (Laubbäume) wachsen, da Angiospermen den überwiegenden Teil der bekannten Wurzeleinwüchse verursachen. Im untersuchten Gebiet finden sich allerdings ebenso häufig Gymnospermen (Nadelbäume) wie Angiospermen als Bepflanzung in den Gärten der Wohnhäuser. Es wurden 3 Objekte mit Gymnospermen-Bewuchs und 5 mit Angiospermen-Bewuchs untersucht. Die Charakterisierung von Bäumen als Flach- oder Tiefwurzler hatte keinen Einfluss auf die Objektwahl.
2. Baumalter: Es wurden Standorte ausgewählt, an denen Bäume mit einem Alter von mindestens 20 Jahren vorkommen, damit ein ausreichend ausgebildetes Wurzelwerks zu untersuchen war. Jüngere Bäume besitzen aufgrund ihrer geringeren Größe ein weniger großes Wurzelwerk, wodurch die Chance, Wurzelwuchs in Rohrgräben oder gar Rohrverbindungen festzustellen, sehr gering ist.
3. Standort: Standorte, an denen Bäume mit den oben genannten Eigenschaften einzeln (d.h. nicht in Gruppen mit anderen Baumarten) stehen, wurden bei der Auswahl besonders berücksichtigt. Dieser Umstand vereinfacht die Zuordnung von im Boden vorgefundenem Wurzelwuchs zum verursachenden Baum. Ein ausschlaggebendes Kriterium bei der Auswahl der untersuchten Objekte war letztlich die Nähe des Baumstandorts zu den Entwässerungsleitungen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die aufgegrabene Leitung sich im oder in unmittelbarer Nähe des Kronenradius der benachbarten Bäume befindet. In einigen Fällen wurden jedoch auch Bereiche aufgegraben, die sich außerhalb des Kronenradius befanden, wenn durch Kamerainspektionen oder

Aufgrabungen Hinweise auf ein weiterreichendes Wurzelsystem vorlagen (Wurzeleinwuchs; oberflächennahe, weit reichende Wurzeln).

Örtliche Randbedingungen sind vor allem die Zugangsmöglichkeiten zu den Leitungen. Sind diese nicht mit schwererem Gerät erreichbar, ist eine Freilegung in der Regel nicht möglich, da der Boden zum Teil so verfestigt ist, insbesondere auch durch Wurzelwerk, dass eine Handschachtung nur bedingt möglich ist. Weiterhin ist zu beachten, dass Untersuchungen nur an Objekten bzw. Anwesen vorgenommen werden können, die bereits von RWE-Power übernommen worden sind. Da dies im gesamten Gebiet zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch nicht für den gesamten öffentlichen Straßenraum galt, konnten Untersuchungen nur im Bereich der Hausanschluss- und Grundstücksentwässerungsleitungen durchgeführt werden.

#### **4.3.2 Auswahl der Untersuchungsobjekte**

Unter Beachtung der in Kapitel 4.3.1 aufgeführten Voraussetzungen fanden Begehungen der Örtlichkeiten statt. Der Fokus wurde dabei aus den oben genannten Gründen auf die Hausanschluss- und Grundstücksentwässerungsleitungen gelegt.

In Otzenrath waren fast alle Anwesen zum Zeitpunkt der Untersuchungen bereits abgerissen und daher wurden die Ortschaften Holz und Spenrath komplett begangen. In Holz standen etwa 150 Anwesen und in Spenrath ca. 60 Anwesen für Untersuchungen zur Verfügung. Bei der Begutachtung der Anwesen wurden sowohl die Front- als auch die Rückseite der Anwesen für mögliche Untersuchungen in Betracht gezogen. In der Regel kann in den Ortschaften davon ausgegangen werden, dass die Anschlussleitung zum Kanal auf der Frontseite des Anwesens verläuft und auf der Rückseite evtl. noch alte Leitungen zu einer außer Betrieb genommenen Kleinkläranlage verlaufen (siehe Beispiel Abb. 9). Eine Untersuchung dieser älteren Leitungen ist im Rahmen des Projektes auch in Betracht gezogen worden.



A



B

**Abb. 7:** Begutachtung eines Anwesens während der Begehung **A** Frontansicht des Hauses. Hier liegen keine Möglichkeiten für eine Untersuchung vor, da weder ein großer Baumbestand vorhanden ist, noch eine größere Leitungslänge zu erwarten ist. **B** Die Rückseite des Anwesens grenzt an ein älteres Haus und es befindet sich dort ein Obstbaum. Hier ist zu prüfen, ob evtl. alte Leitungen vorhanden sind, die zu einer außer Betrieb genommenen Kleinkläranlage führen.

Bei der ersten Begutachtung wurden die Anwesen zunächst aus botanischer Sicht, gemäß den in Kapitel 4.3.1 aufgeführten Kriterien, beurteilt. Da an vielen Standorten kein oder für das Vorhaben wenig aufschlussreicher Baumbestand vorhanden war, waren von den insgesamt 210 zur Verfügung stehenden Untersuchungsobjekten nur 19 (also nur 9 % aller Objekte) aus botanischer Sicht interessant.

Bei den 19 aus botanischer Sicht gewählten, potenziellen Untersuchungsobjekten war der Leitungsverlauf der Hausanschluss- und Grundstücksentwässerungsleitungen zunächst nicht klar. Dieser konnte erst durch die optische Inspektion der Leitungen festgestellt werden. Mit der optischen Inspektion konnte an den für eine Untersuchung in Frage kommenden Objekten ebenfalls eruiert werden, ob Wurzeleinwuchs vorliegt. Die Inspektionen konnte teilweise von den Gebäuden oder Revisionen aus vorgenommen werden, wobei der Zugang zu den Gebäuden durch RWE-Power ermöglicht wurde. (siehe Abb. 8)



**Abb. 8:** Inspektion der Hausanschluss- und Grundstücksentwässerungsleitungen **A** Die Inspektion der Leitung wurde vom Keller des Hauses aus vorgenommen und die Daten wurden über ein Kabel, welches ein Kellerfenster passiert, nach außen geleitet. **B** Inspektion einer Regenfallleitung, um eine weitere Zugangsmöglichkeit der Leitung zu prüfen.

Konnten Leitungen nicht vom Gebäude oder von einer Revision aus inspiziert werden oder musste die Inspektion einer Leitung aufgrund von Bögen in der Leitung oder sonstigen Gründen frühzeitig abgebrochen werden, wurden Kopflöcher erstellt, von denen aus die Inspektion begonnen wurde. Dazu wurden, da der Leitungsverlauf nicht bekannt war, zunächst Suchgräben zum Auffinden der Leitung erstellt. Beim Untersuchungsobjekt 4 war der Leitungsverlauf beispielsweise so weiträumig angelegt, dass drei Kopflöcher erstellt werden mussten, um das gesamte Leitungsnetz inspizieren zu können (vgl. Kapitel 4.8).

Erst nachdem die Leitungen inspiziert worden sind und der Leitungsverlauf, der Leitungszustand und das Leitungsmaterial bekannt waren, konnte beurteilt werden, ob Aufgrabungen der Leitungen von Interesse sind. Die Untersuchungsobjekte wurden im Hinblick auf die folgenden Aspekte ausgewählt:

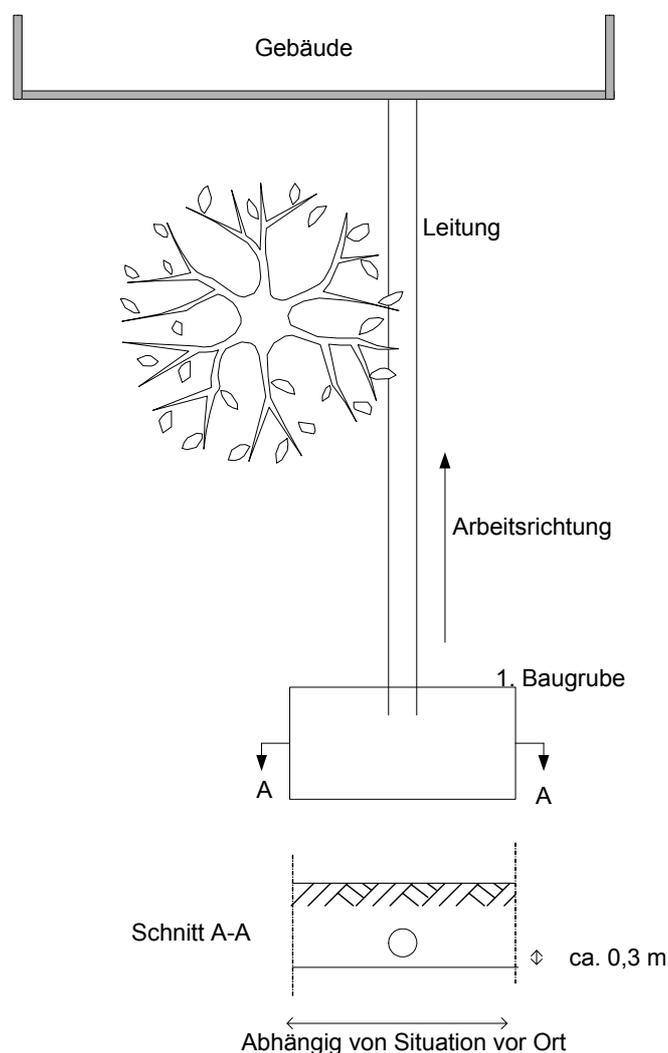
1. geringe Entfernung zwischen Leitungen und Bäumen
2. Vorliegen von Variationen bezüglich der unterschiedlichen Leitungsmaterialien
3. Auftreten unterschiedlicher Baumarten
4. Vorliegen von Wurzeleinwuchs in den Leitungen

Da diese Aspekte nur bei einer geringen Anzahl der potentiellen Untersuchungsobjekte gegeben waren, wurde die Anzahl der für Untersuchungen interessanten Objekte stark eingeschränkt (ein Großteil der Leitungen besteht aus PVC-U, die Leitungen liegen nicht immer im Einflussbereich eines Baumes und nur in wenigen Fällen wurde Wurzeleinwuchs festgestellt). Bei lediglich 19 (9 % aller betrachteten Objekte) der insgesamt 210 zur Verfügung stehenden Anwesen lagen derartige Bedingungen vor, dass sie als potenzielle Untersuchungsobjekte in Frage kamen. Nach den Inspektionen dieser Objekte, wurden letztlich 8 der Objekte (4 % aller betrachteten Objekte) für eine Untersuchung gewählt (siehe Kapitel 4.5 bis 4.12). Insgesamt ist anzumerken, dass bei der Wahl der Untersuchungsobjekte

insbesondere die botanischen Randbedingungen bzw. Auswahlkriterien von Bedeutung waren.

#### 4.4 Grundsätzliches Vorgehen im Rahmen der Untersuchungen

Die Untersuchungen zum Wurzelwachstum an Abwasserleitungen wurden in der Regel gemäß der Schemazeichnung in Abb. 9 durchgeführt. Dies bedeutet, dass zunächst die Aufgrabung in etwas größerem Abstand vom Baum stattfindet und in Richtung Baum fortgesetzt wird. Eine derartige Vorgehensweise erlaubt es, den Verlauf von Wurzeln in Richtung des Leitungsgrabens nachzuvollziehen und den Einfluss des Abstandes zwischen Baum und Leitungsgraben zu ermitteln.



**Abb. 9:** Grundsätzliches Vorgehen bei den Aufgrabungen von Leitungen

Die dargestellte Vorgehensweise zur Aufgrabung von Leitungen wurde teilweise modifiziert, wenn es die Situation vor Ort erforderte. Liegt eine Leitung beispielsweise im Einflussbereich mehrerer Bäume führt das dargestellte Vorgehen nur bedingt zu

den gewünschten Ergebnissen und die Vorgehensweise bei der Aufgrabung wurde an die örtlichen Bedingungen angepasst (vgl. Kapitel 4.5).

Die Aufgrabungen der oberen Bodenschichten erfolgten mit Hilfe eines Baggers, der Bereich in der Nähe Leitungen wurde von Hand freigelegt. Zur Freilegung der empfindlichen Wurzeln wurde zum Teil eine Druckluftpistole verwendet (Abb. 10). Der dabei zutage tretende Wurzelverlauf sowie die Bodenverhältnisse wurden fotografisch dokumentiert und ausgewertet. Zusätzlich wurden Wurzel- und Bodenproben entnommen.



**Abb. 10:** Aufgrabungstechniken. **A** Aufgraben der Oberfläche und Aushub mit dem Bagger; **B** Freilegen des Leitungsbereichs von Hand; **C** Säubern der Wurzeln und der Leitungsoberfläche mit Druckluft.

## 4.5 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 1

### 4.5.1 Situation vor Ort

Untersuchungsobjekt 1 ist das Grundstück eines freistehendes Einfamilienhauses (Abb. 11), welches über eine PVC-Mischwasserleitung DN 125 entwässert wird. Die 1980 erstellte Leitung verfügt über Rollring-Dichtungen und verläuft in etwa 1,0 m Entfernung parallel zur Hauswand. Zudem fanden sich in größerem Abstand (ca. 2,0 m) zum Haus Reste einer 1970 verlegten, stillgelegten Steinzeugleitung DN 150, die von einem Sickerschacht ausgehend in Richtung Straße verläuft. Beide Leitungen liegen in 0,5 m Tiefe, die Rohrgräben sind mit dem anstehenden Boden locker verfüllt.



**Abb. 11:** Untersuchungsobjekt 1, Vorderansicht. Auf der linken Seite des Hauses befindet sich eine Reihe Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.).

In 2,0 bzw. 3,0 m Entfernung zu den beiden Leitungen befindet sich eine Reihe von 5 Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.), von denen drei ein Alter von ca. 60, die übrigen zwei ein Alter von 30 Jahren haben. Ebenfalls in der Nähe der Leitungen steht eine um die 10 Jahre alte Säulen-Zypresse (*Cupressus sempervirens* L.). Die Lage der Leitungen und Bäume ist in Abb. 12 dargestellt.

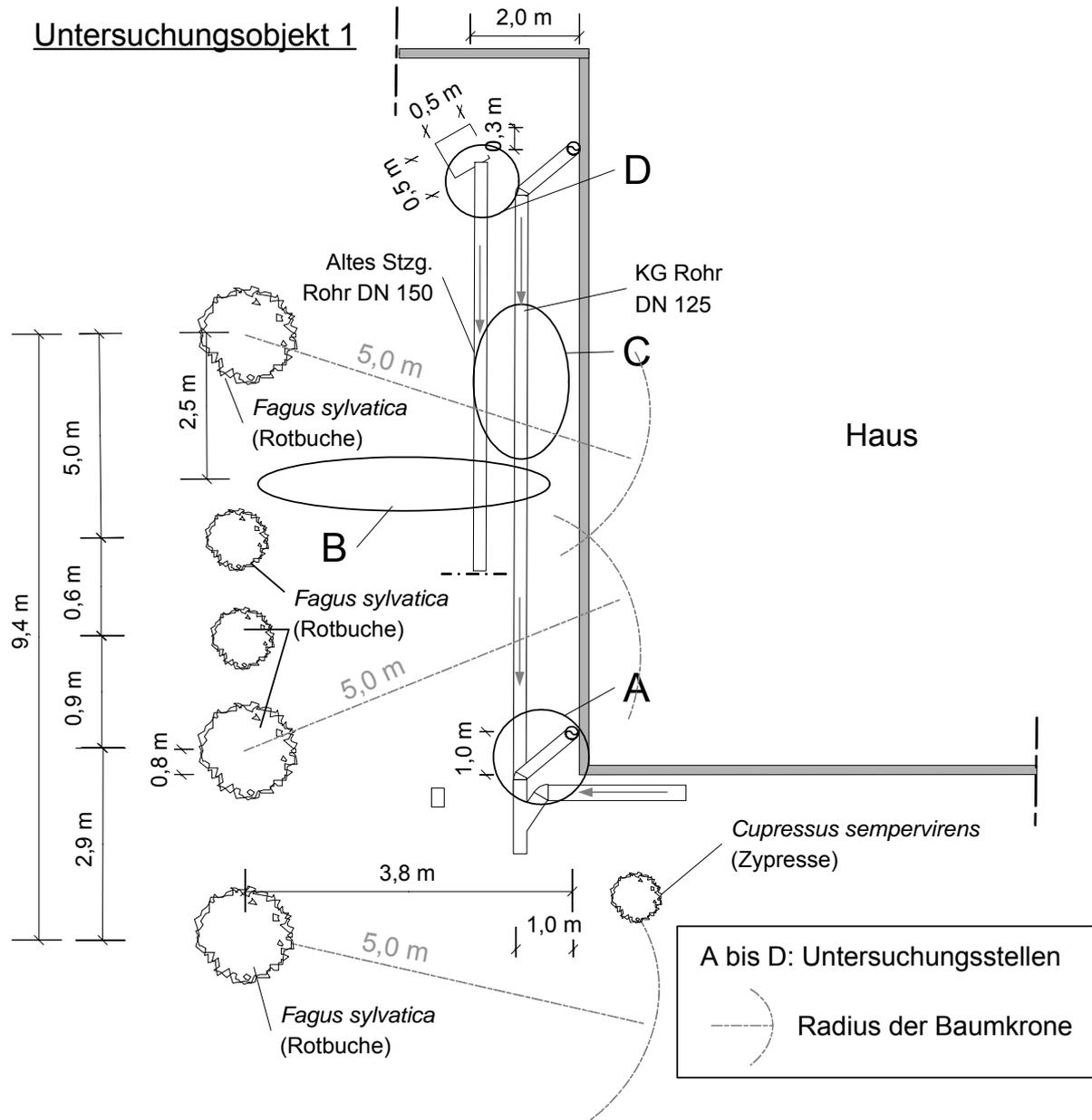


Abb. 12: Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 1 (Skizze)

#### 4.5.2 Ergebnisse der TV-Inspektion

Die KG-Leitung (DN 125) wurde inspiziert, um festzustellen, ob Wurzelwachstum in der Leitung vorliegt. Eine Inspektion der Steinzeugleitung fand nicht statt, da deren Existenz erst durch die Freilegung der KG-Leitung bekannt wurde. Die Ergebnisse der Inspektion zeigen, dass die Leitung unbeschädigt ist und kein Wurzeleinwuchs vorliegt. (vgl. Tabelle 3)

**Tabelle 3:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 1, KG-Leitung von hinterer Fallleitung in Fließrichtung

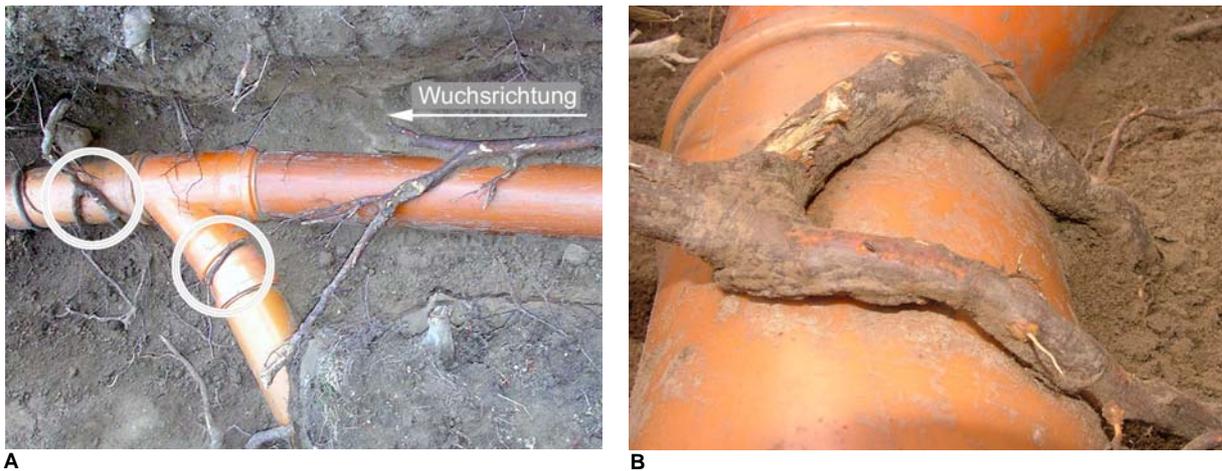
Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
0,2	Abzweig links	k. A.
0,9	Bogen unten	k. A.
2,4	Bogen links	k. A.
6,4	Abzweig links	k. A.
10,0	Bogen links (15° bis 30°)	k. A.
11,0	Bogen links, Muffe leicht auseinander, Ende Inspektion, kein Weiterkommen	

### 4.5.3 Aufgrabung

Bei der Aufgrabung wurden 2 Abschnitte der PVC-Leitung sowie der Sickerschacht mit einem Abschnitt der Steinzeugleitung freigelegt (Untersuchungsstellen A, C (PVC) und D (Schacht/Steinzeug), Abb. 12). Zusätzlich wurde ein 2,5 m langer, 1,0 m tiefer Graben ausgehoben, welcher beide Leitungen im rechten Winkel schneidet (Untersuchungsstelle B, Abb. 12).

#### Untersuchungsstelle A

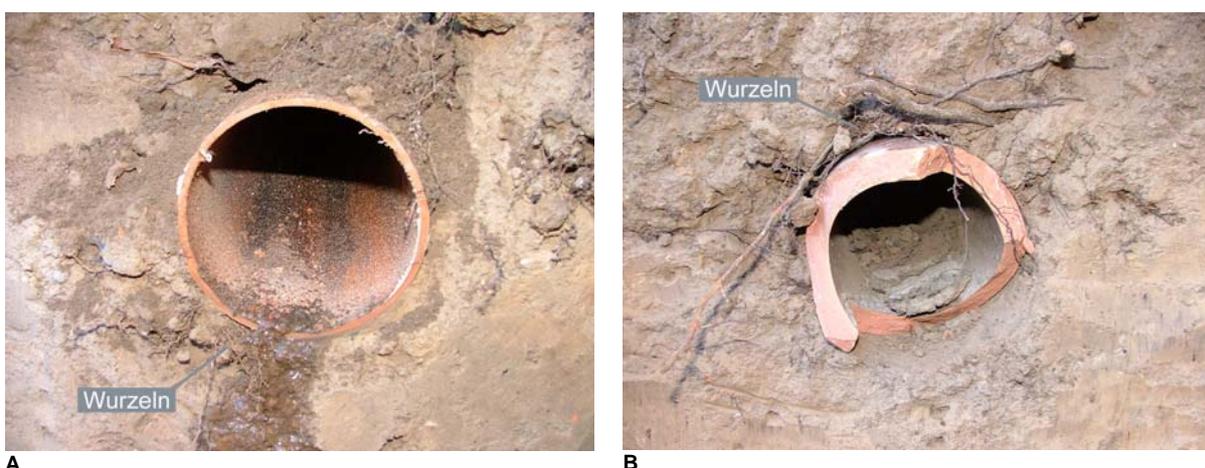
An dieser Untersuchungsstelle wurde ein Abschnitt der PVC-Leitung mit einem Abzweig (Regenwassereinlauf) aufgedeckt. Der Bereich um die Leitung ist von zahlreichen Wurzeln verschiedenen Alters durchzogen, die in ihrem Verlauf der Leitung zum Teil in engem Kontakt folgen (Abb. 13 A). Einige Wurzeln liegen der äußeren Rohrwandung direkt an und zeigen infolge des engen Kontakts Verformungen (Abb. 13 B). Darüber hinaus treten zahlreiche Verwachsungen von Wurzeln auf. Im Bereich des Abzweigs umwächst eine Wurzel von 10 mm Durchmesser eine Rohrverbindung entlang des Muffenspalts. Die betroffene Rohrverbindung wurde samt Wurzel zur weiteren Untersuchung geborgen (Kap.4.5.4).



**Abb. 13:** Untersuchungsstelle A: Wurzelwachstum in der Nähe von Entwässerungsleitungen. **A** Die Wurzeln sind im Bettungsmaterial parallel der Leitung gewachsen (Pfeil Wuchsrichtung). An einigen Stellen sind sie direkt auf der äußeren Oberfläche der Leitung gewachsen (kreisförmige Markierung). **B** Detailsicht einer Kontaktzone zwischen Wurzel und Leitung. Die Wuchsform der Wurzeln wird durch die Form der Leitung beeinflusst.

### Untersuchungsstelle B

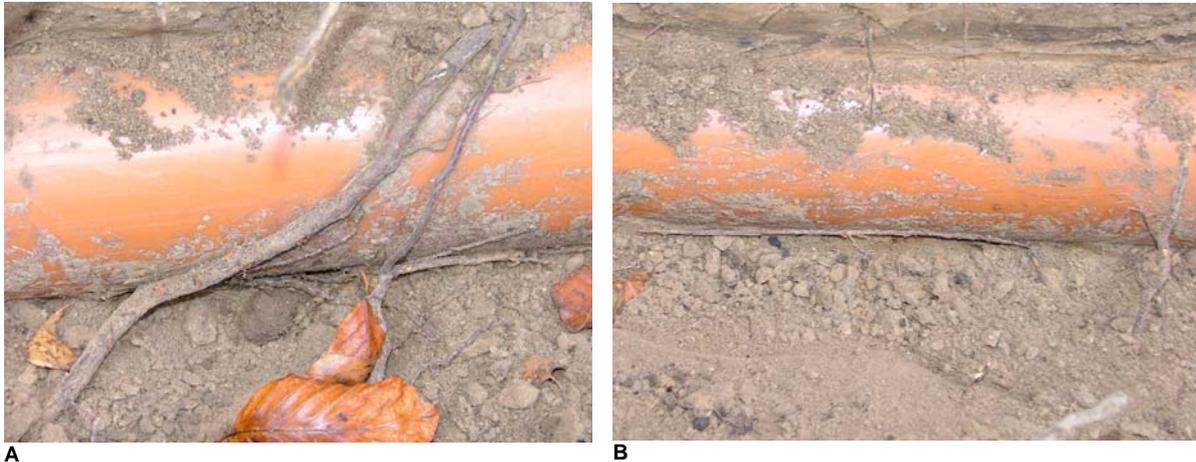
An dieser Untersuchungsstelle wurde ein 2,5 m langer, 1,0 m tiefer Graben ausgehoben, welcher Steinzeug- und PVC-Leitung im rechten Winkel schneidet. Dabei wurde die Schichtung des Bodens erkennbar. Die obere, 0,4 m tiefe Bodenschicht besteht aus lockerem, angeschütteten Gartenboden. Dieser Bereich ist stark von Wurzeln durchzogen. Die darunter liegende Bodenschicht besteht aus dem im Untersuchungsgebiet anstehenden Lehmboden. Dort sind lediglich wenige Wurzeln zu erkennen. Der Boden im direkten Umkreis der beiden Leitungen ist stärker durchwurzelt als der anstehende Boden in gleicher Tiefe, wobei sich die Bewurzelung im Falle der Steinzeugleitung auf den Scheitelbereich, im Falle der PVC-Leitung auf den Sohlenbereich konzentriert. (Abb. 14 A, B).



**Abb. 14:** Untersuchungsstelle B: Wurzelwachstum in der Nähe von Entwässerungsleitungen. **A** Im Sohlenbereich der PVC-Leitung haben sich feine Wurzeln ausgebreitet. **B** Der Scheitelbereich der Steinzeugleitung ist von älteren Wurzeln durchzogen.

### Untersuchungsstelle C

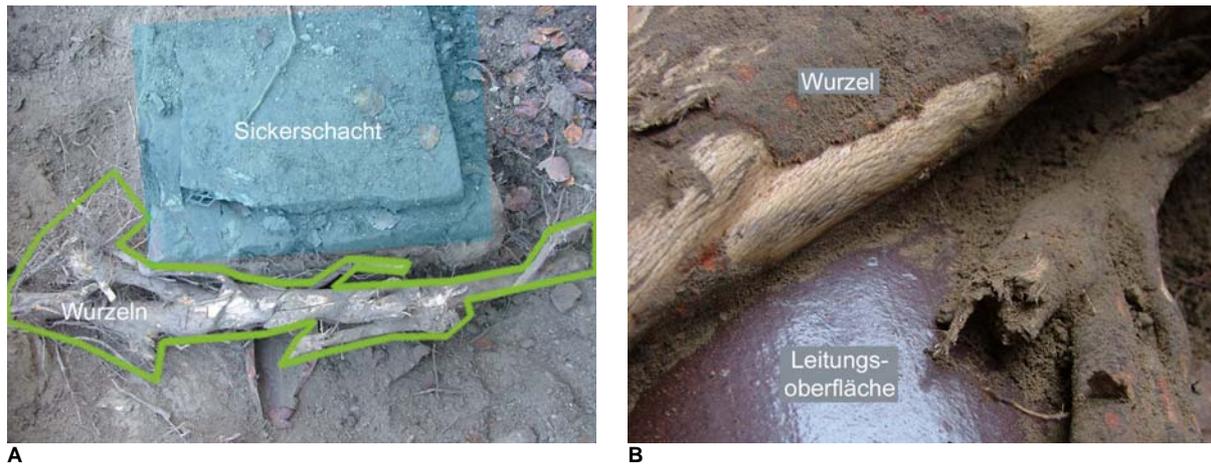
An Untersuchungsstelle C wurde ein weiterer Abschnitt der PVC-Leitung freigelegt. Auch hier fanden sich Wurzeln, die dem Leitungsverlauf folgen. Bei den hier vorgefundenen Wurzeln handelt es sich jedoch um feinere Wurzeln. Der umgebende Boden ist frei von Wurzeln (Abb. 15 A, B).



**Abb. 15:** Untersuchungsstelle C: Wurzelwachstum in der Nähe von Entwässerungsleitungen. **A** Im direkten Kontakt zur Rohrwandung haben sich Wurzeln ausgebreitet. **B** Eine Wurzel folgt der Leitung im Zwickelbereich. Der umgebende Boden ist frei von Wurzeln.

### Untersuchungsstelle D

Der hier aufgegrabene Sickerschacht und die daran angeschlossene Steinzeugleitung befinden sich in einem Abstand von 0,8 m zum Standort einer der 60 Jahre alten Buchen. Der aus Ziegeln gemauerte Schacht wird von mehreren stark verwachsenen Hauptwurzeln nahezu vollständig umschlossen. Das Mauerwerk ist von einem Feinwurzelgeflecht überzogen (Abb. 16 A). Auch im Bereich der Leitung wachsen zahlreiche Wurzeln in direktem Rohrkontakt und zeigen starke Verwachsungen und Verformungen (Abb. 16 B).



**Abb. 16:** Untersuchungsstelle D: Wurzelwachstum in der Nähe von Entwässerungsleitungen. **A** Wurzeln (grün hervorgehoben) haben sich in der direkten Umgebung eines Sickerschachtes (blau hervorgehoben) stark ausgebreitet. **B** Detailansicht einer verholzten Wurzel, die der Leitungsoberfläche einer Keramikleitung anliegt.

#### 4.5.4 Untersuchung der entnommenen Wurzel- und Leitungsproben

Die an der Untersuchungsstelle A entnommene PVC-Rohrverbindung ist von einer etwa 10 mm starken Wurzel ringförmig umwachsen (Abb. 17 A). Die Verbindung wurde mit der Bandsäge längs geöffnet und das Spitzende entfernt. An der umwachsenden Wurzel waren starke Verformungen erkennbar. Teile der Wurzel wachsen in den Ringspalt ein und verbreitern sich dort bandartig. Seitenwurzeln füllen den Ringraum, überwinden jedoch nicht das Dichtelement (Abb. 17 B).



**Abb. 17:** Eine Wurzel umwächst eine Rohrverbindung. **A** Die Wurzel liegt auf dem Ringspalt der Rohrverbindung. **B** Nach Öffnen der Rohrverbindung: Die Wurzel hat sich verzweigt, zum Teil bandartig verbreitert und sich in Richtung des Dichtelementes ausgebreitet, nachdem sie den Ringspalt ausgefüllt hat. Sie hat jedoch nicht die Dichtlippe überwunden und ist nicht in den Querschnitt der Leitung gewachsen.

## 4.6 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 2

### 4.6.1 Situation vor Ort

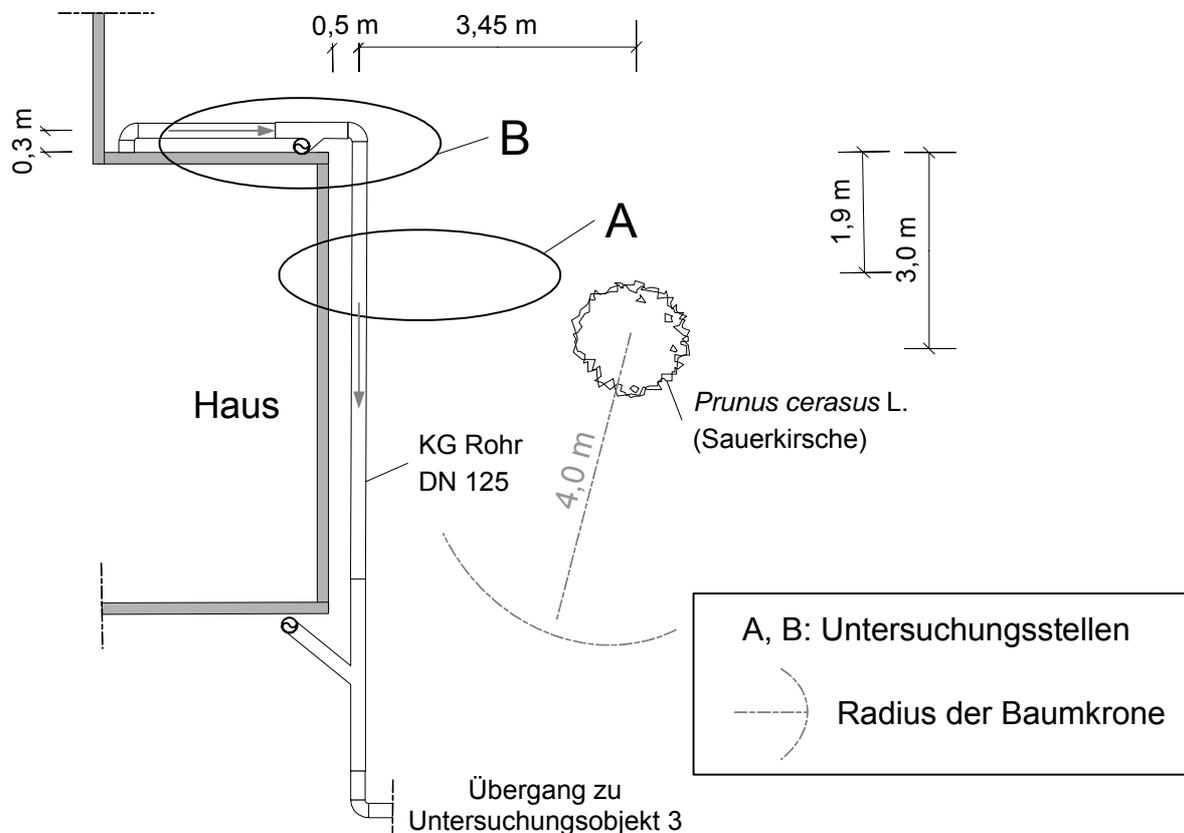
Das Untersuchungsobjekt 2 ist eine PVC-Mischwasserleitung DN 125, die im Jahr 1987 erstellt wurde und zu einem Einfamilienhaus gehört. Sie läuft entlang der seitlichen und der vorderen Hauswand und trifft an der Grundstücksgrenze mit der Entwässerungsleitung des Untersuchungsobjekts 3 zusammen (vgl. Kapitel 4.7). An der Hausseite befindet sich die Leitung in etwa 0,2 m Tiefe, an der Grundstücksgrenze beträgt die Verlegetiefe 1,0 m. Bettungs- und Verfüllmaterial des Grabens bestehen aus Sand, einem Kies-Sand-Gemisch oder dem Bodenaushub, zum Teil vermischt mit Sand.



**Abb. 18:** Untersuchungsobjekt 2, Vorderansicht. Ein Kirschbaum (*Prunus cerasus* L.) mit einem Alter von 30 Jahren bildet die Bepflanzung auf dem Grundstück.

Entlang der Hauswände sind Kiesbetten angelegt, die vom darunter liegenden Leitungsgraben durch ein Plastikfolie getrennt sind. Auf dem Grundstück des Untersuchungsobjekts 2 steht in ca. 3,5 m Entfernung zur Leitung ein 30 Jahre alter Sauerkirschbaum (*Prunus cerasus* L.) (Abb. 19).

## Untersuchungsobjekt 2

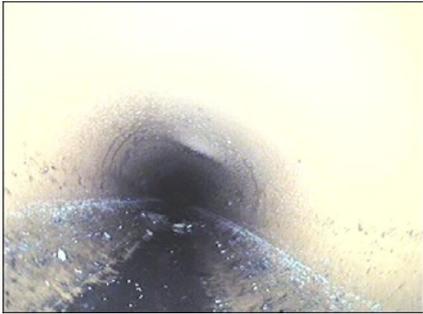
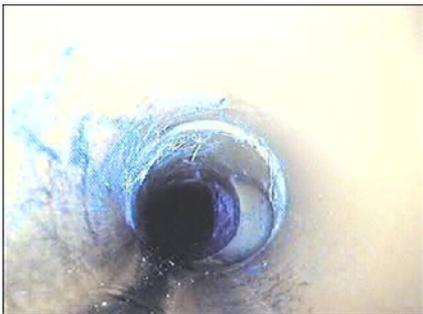


**Abb. 19:** Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 2 (Skizze)

### 4.6.2 Ergebnisse der TV-Inspektion

Zur Inspektion der KG-Leitung (DN 125) wurde ein Kopfloch an der rechten Hausecke erstellt und die Leitung von dort aus in Fließrichtung (Richtung Untersuchungsobjekt 3) inspiziert. Die Ergebnisse der Inspektion zeigen, dass die Leitung nur geringe Schäden aufweist und Wurzeleinwuchs nicht vorliegt. (vgl. Tabelle 4)

**Tabelle 4:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 2, KG-Leitung von vorderer rechter Hausecke in Fließrichtung

Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
6,6	Ausbeulung im Scheitelbereich	
8,5	Abzweig rechts, Spinnenweben im Verbindungsbereich	
10,4	Muffe Rollring im Scheitelbereich rechts sichtbar	
10,6	Bogen links	k. A.
11,1	Bogen nach unten	k. A.
11,6	Ende	Kein Weiterkommen

### 4.6.3 Aufgrabung

Aufgegraben wurde zunächst ein die Leitung senkrecht schneidender, 1,0 m breiter und 3,5 m langer Graben an der vorderen Hausseite (Untersuchungsstelle A). Bei diesen Grabungen fiel eine 70 mm starke Wurzel auf, die oberflächenah vom Kirschbaum aus in Richtung Leitung wächst und dem Leitungsverlauf folgt. Um den weiteren Verlauf der Wurzel zu dokumentieren, wurde die Leitung in einer Länge von mehreren Metern weiter aufgegraben (Untersuchungsstelle B). (Abb. 19)

## Untersuchungsstelle A

An Aufgrabungsstelle A wurde ein 1,0 m breiter, etwa 3,5 m langer Graben gezogen, welcher die Entwässerungsleitung senkrecht schneidet. Der Graben zeigte deutlich die Schichtung des Bodens. Die etwa 0,3 m tiefe Oberbodenschicht besteht aus lockerem Gartensubstrat und ist von sehr vielen, bis zu armdicken Wurzeln des Kirschbaums durchzogen (Abb. 20 A). Im mit Sand verfüllten Bereich des Leitungsgrabens haben sich viele feine Wurzeln ausgebreitet (Abb. 20 B).



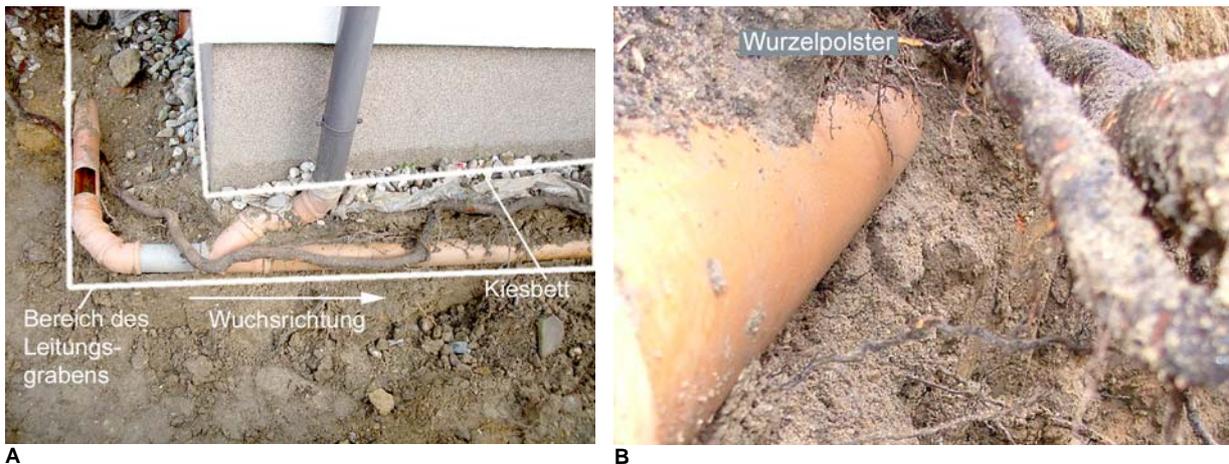
**Abb. 20:** Untersuchungsstelle A. **A** Bodenprofil. **B** Es ist deutlich zu erkennen, dass Wurzeln vermehrt im Bettungs- bzw. Verfüllmaterial der Leitung gewachsen sind. Der umgebende Boden ist nahezu frei von Wurzeln.

## Untersuchungsstelle B

Im Leitungsgraben unterhalb des Kiesbetts hat sich eine 70 mm starke Wurzel bis in eine Entfernung von 10,0 m zum Baumstandort ausgebreitet. Außerhalb des Leitungsgrabens befinden sich keine Wurzeln in einem solchen Abstand zum Standort des Kirschbaums. Die Wurzel liegt zum Teil in direktem Kontakt zur Leitung, ist jedoch zum Zeitpunkt der Aufgrabungen nicht in Rohrverbindungen eingewachsen. (Abb. 21 A, B).

Die Wurzel hatte sich im Bereich des Leitungsgrabens offensichtlich stark vergrößert und dabei die Leitung beschädigt. Die Leitung befindet sich zum Teil unterhalb der Wurzel und ist zum Zeitpunkt der Aufgrabung mit einem Stück HT-Rohr saniert (Abb. 21 A). Anhand des Alters des Baumes bzw. des Hauses und der Leitung ist für dieses Untersuchungsobjekt folgender zeitlicher Verlauf nachzuweisen:

1. Errichtung des Hauses
2. Pflanzung des Baumes
3. Verlegung der Leitung und Rückschnitt der Wurzeln des Kirschbaumes
4. Ausbreitung der Wurzel im Leitungsgraben und Beschädigung der Leitung



**Abb. 21:** Untersuchungsstelle B: Wurzelwachstum im Leitungsbereich. **A** Wurzelverlauf im Bereich des Leitungsgrabens. Ein Abschnitt der Leitung wurde durch ein Reparaturstück (HT-Rohr, grau) saniert. **B** Die Wurzeln sind parallel zur Leitung gewachsen und haben auf der äußeren Oberfläche der Leitung Wurzelpolster gebildet.

## 4.7 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 3

### 4.7.1 Situation vor Ort

Bei der Entwässerungsleitung des Grundstücks (Untersuchungsobjekt 3) handelt es sich um eine PVC-Mischwasserleitung DN 150, die 1987 verlegt wurde. Wie bereits im Kapitel 4.6 beschrieben, läuft diese Leitung an der Grundstücksgrenze mit der Entsorgungsleitung des Nachbarhauses (Untersuchungsobjekt 2) zusammen. Die vereinigte Leitung verläuft Richtung Straßenkanal (Abb. 23). Die ca. 1,0 m tief liegende Leitung ist in Sand gebettet, der Graben ist mit dem anstehenden Boden verfüllt.



**Abb. 22:** Untersuchungsobjekt 3, Vorderansicht. Auf der rechten Seite des Hauses befinden sich eine Korkenzieherweide (*Salix matsudana* L. „Tortuosa“), ein Walnussbaum (*Juglans regia* L.) sowie ein Kirschbaum (*Prunus cerasus* L.) (letzterer im Bild nicht sichtbar).

Auf dem Grundstück befinden sich eine 20 Jahre alte Sauerkirsche (*Prunus cerasus* L.) sowie ein 10-jähriger Walnussbaum (*Juglans regia* L.) und eine 20-jährige Korkenzieherweide (*Salix matsudana* L. cv. „Tortuosa“) (Entfernung Stamm-Leitung in der oben genannten Reihenfolge: 2,25 m, 2,75 m und 5,70 m). (Abb. 22)

### Untersuchungsobjekt 3

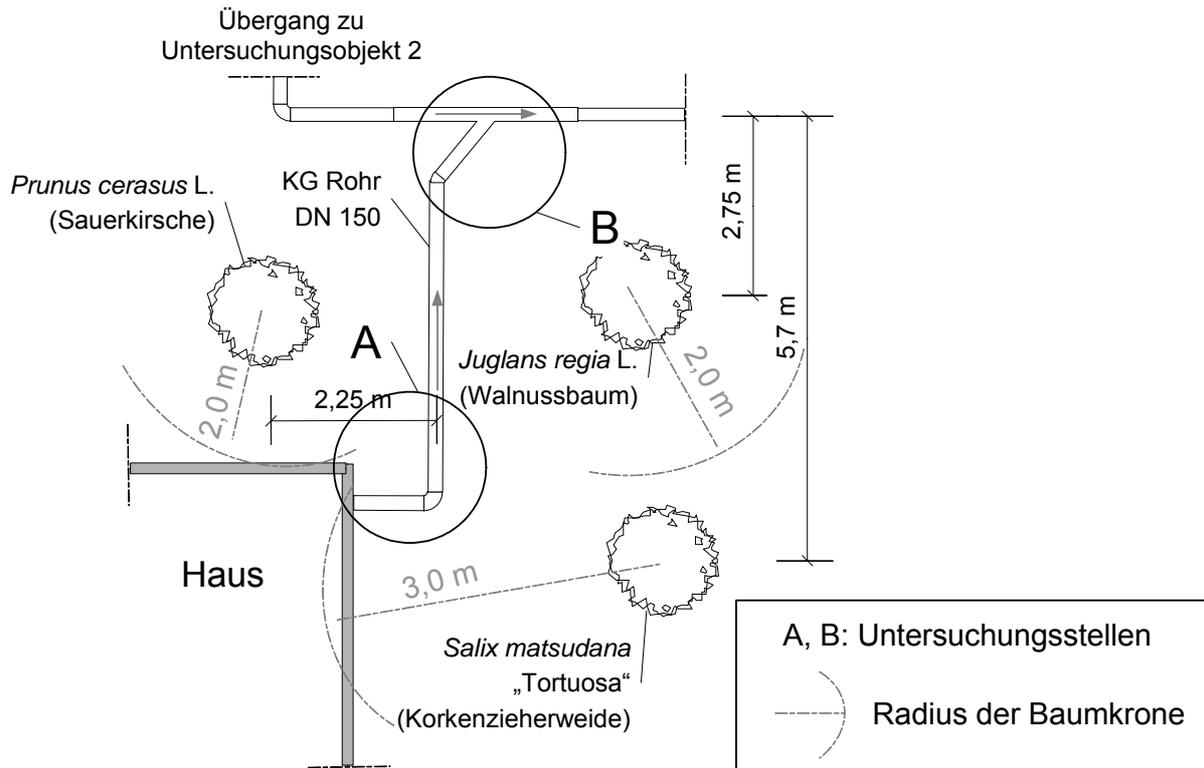


Abb. 23: Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 3 (Skizze)

#### 4.7.2 Ergebnisse der TV-Inspektion

Zur Inspektion der KG-Leitung DN 150 wurde ein Kopfloch an der rechten Hausecke erstellt und in Fließrichtung inspiziert. Es wurden keine Schäden an der Leitung festgestellt. (vgl. Tabelle 5)

Tabelle 5: Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 3, KG-Leitung von vorderer rechter Hausecke in Fließrichtung

Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
1,0	Bogen links	k. A.
3,0	Bogen nach unten	k. A.
6,9	Bogen rechts	k. A.
7,2	Bogen links	k. A.
7,5	Revision	k. A.
8,2	Ende der Inspektion	Kein Weiterkommen

### 4.7.3 Aufgrabung

Es wurde ein Bereich an der Hausecke am Regenfallrohr aufgegraben (Untersuchungsstelle A), sowie der Bereich des Zusammenflusses mit der Leitung des Nachbargrundstücks (Untersuchungsstelle B) (Abb. 23).

#### Untersuchungsstelle A

Die Aufgrabung im Bereich des Regenfallrohrs zeigte eine gleichmäßige Bewurzelung des Bodens und des Leitungsgrabens (Abb. 24 A, B).



A

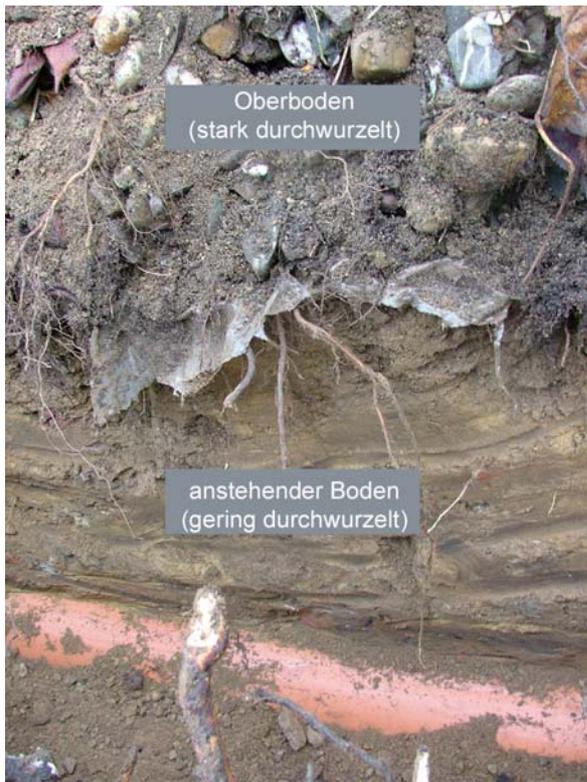


B

**Abb. 24:** Untersuchungsstelle A: **A** Wurzeln des Kirschbaums im oberflächennahen Bereich direkt an der Leitung am Regenfallrohr **B** Feineres Wurzelwerk an derselben Stelle.

#### Untersuchungsstelle B

Bei der Aufgrabung trat zunächst eine massiv durchwurzelte, etwa 0,3 m starke Schicht aus Gartensubstrat zutage. Der darunter liegende anstehende Boden ist nur gering durchwurzelt (Abb. 25 A). Darüber hinaus fiel eine Wurzel mit einem Durchmesser von 30 mm auf, die zunächst oberflächennah verläuft und dann in den Leitungsgraben einwächst. Sie liegt der äußeren Rohrwandung direkt an und hat sich ihrer Form zum Teil angepasst (Abb. 25 B). Ein Einwuchs fand jedoch an keiner Rohrverbindung statt.



A



B

**Abb. 25:** Untersuchungsstelle B **A** Der anstehende Boden weist eine geringere Durchwurzelung als der Oberboden auf. **B** Wurzelverlauf an der Oberfläche der Entwässerungsleitung. Die Wurzeln haben sich im Verlauf ihres Dickenwachstums der Form der Außenwandung angepasst (Markierung stellt den Umfang der ursprünglichen Leitung dar).

## 4.8 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 4

### 4.8.1 Situation vor Ort

Die Entwässerung des Grundstücks (Untersuchungsobjekt 4) erfolgt über eine Steinzeug-Mischwasserleitung DN 150. Die 1970 erstellte Leitung verläuft entlang der Grundstücksgrenze in 5,5 m Entfernung zum Haus (Abb. 27). Die Leitung ist in etwa 1,0 m Tiefe verlegt. Bettung und Seitenverfüllung des Rohrgrabens bestehen aus einem Kies-Sand-Gemisch, der Rest des Grabens ist mit Bodenaushub verfüllt. In direkter Nähe der Leitung (Entfernung Stamm-Leitung 1,6 m) befindet sich eine 25 Jahre alte Reihenpflanzung von Serbischer Fichte (*Picea omorika* (PANČ.) PURK.) und Abendländischem Lebensbaum (*Thuja occidentalis* L.) (Abb. 26).



**Abb. 26:** Untersuchungsobjekt 4, Vorderansicht. Die Reihe Nadelbäume auf der linken Bildseite befindet sich im Abstand von 1,6 m zur Leitung (Leitung im Bild nicht erkennbar, zur Lage der Leitung vgl. Abb. 27). Die Bepflanzung besteht aus Serbischer Fichte (*Picea omorika* (Panč.) Purk.) und Abendländischem Lebensbaum (*Thuja occidentalis* L.).

Untersuchungsobjekt 4

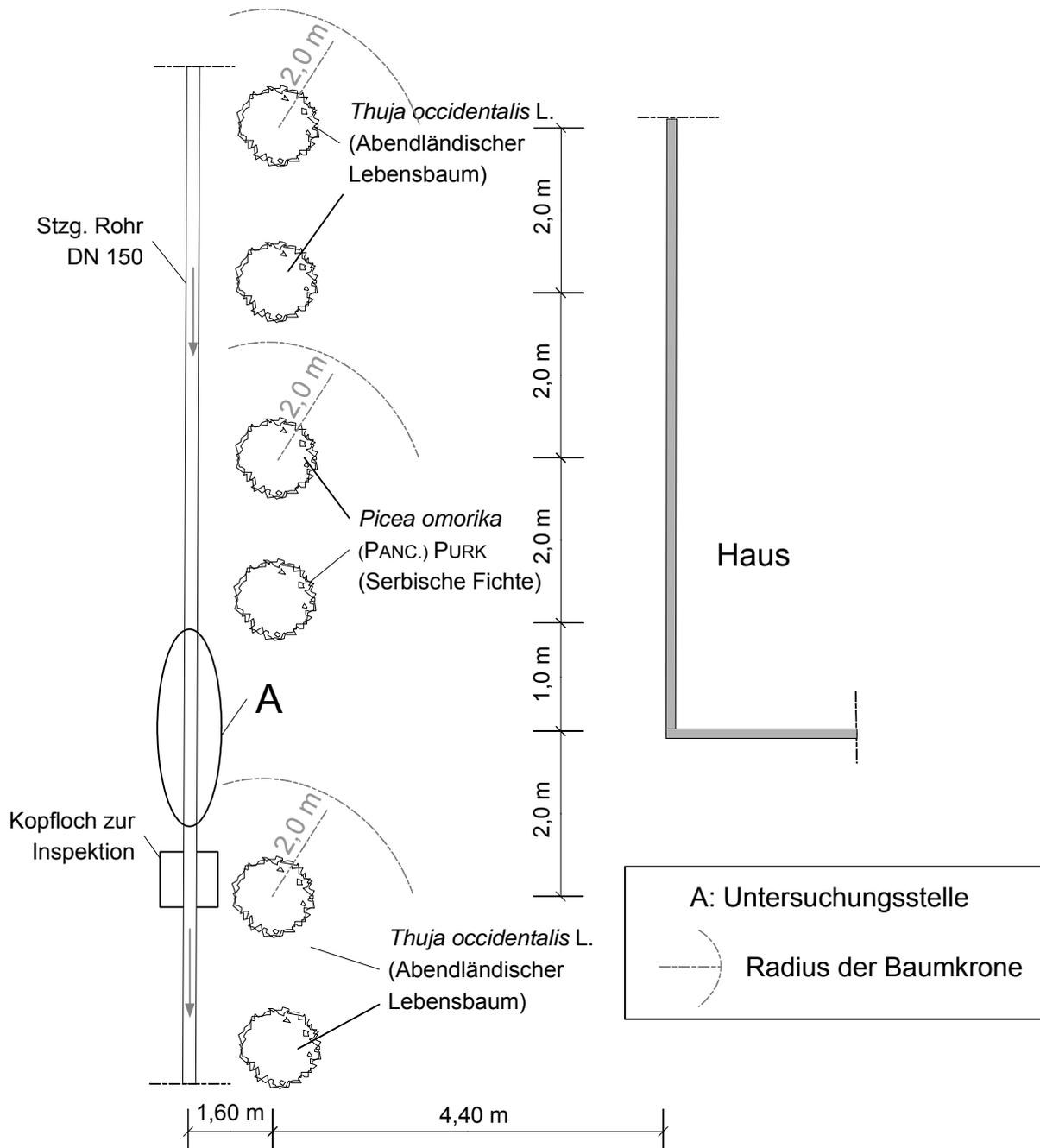


Abb. 27: Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 4 (Skizze).

**4.8.2 Ergebnisse der TV-Inspektion**

Aus Richtung des Wohnhauses war die Inspektion nur sehr eingeschränkt möglich, daher wurden drei Kopflöcher erstellt, um die Leitungen, die in der Nähe der Nadelhölzer liegen, zu inspizieren. In allen Leitungen wurden nicht fachgerecht

ausgeführte Verbindungen festgestellt. Zum Teil waren an den Rohrverbindungen Versätze feststellbar. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Inspektion der aufgedugenen Leitung zusammengestellt (vgl. Abb. 27). Das Kopfloch zur Inspektion dieser Leitung wurde in unmittelbarer Nähe zur Aufgrabungsstelle erstellt (vgl. Abb. 27).

**Tabelle 6:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 4, Stzg.-Leitung vom Kopfloch entgegen der Fließrichtung

Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
0,5	Nicht fachgerecht ausgeführte Verbindung	
1,5		
2,5		
3,5		
4,5		
5,5		
6,5		
7,5		
8,5		
8,5		Bogen rechts
8,5	Inspektion Ende	Kein Weiterkommen

**Tabelle 7:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 4, Stzg.-Leitung vom Kopfloch in Fließrichtung

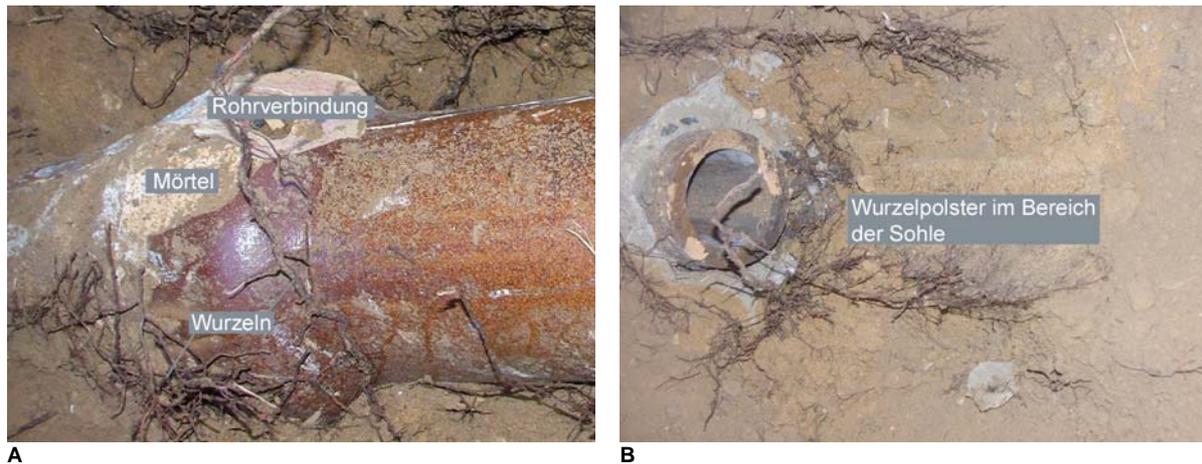
Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
0,7	Nicht fachgerecht ausgeführte Verbindung	
1,7		
2,7		
3,7		
4,4	Abzweig links	k. A.
4,7	Muffenversatz	k. A.
5,9	Abzweig rechts	k. A.
6,3	Nicht fachgerechte ausgeführte Verbindung	k. A.
7,3		
8,3		
8,3	Inspektion Ende	Kein Weiterkommen

### 4.8.3 Aufgrabung

Die Leitung wurde über eine Länge von 1,5 m aufgedigelt (Untersuchungsstelle A) (Abb. 27).

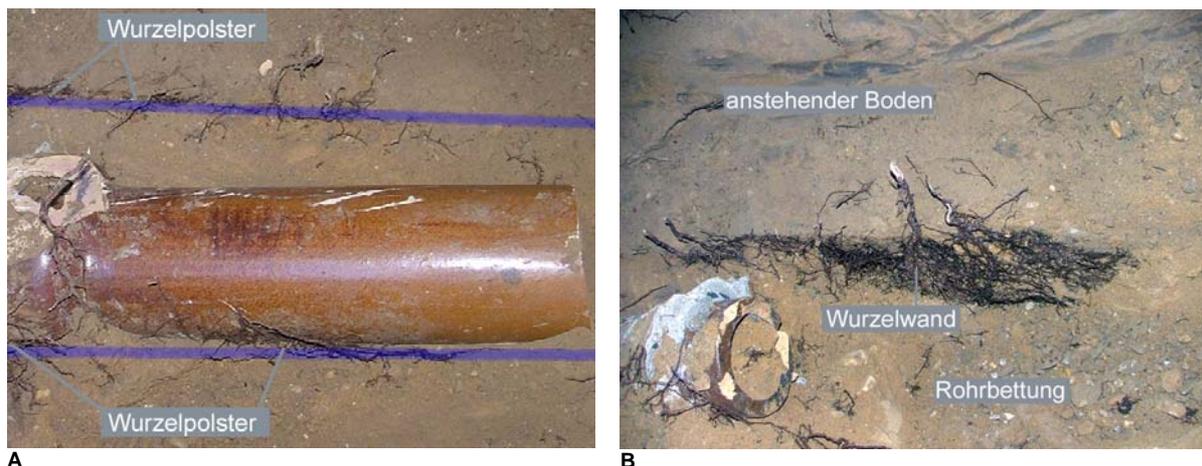
#### Untersuchungsstelle A

Bei der Aufgrabung der Leitung zeigte sich, dass die mit Mörtel abgedichteten Rohrverbindungen der Leitung von einem Wurzelgeflecht überzogen sind (Abb. 28 A). Ein Einwuchs von Wurzeln in die Rohrverbindungen wurde nicht beobachtet. Im Bereich der Rohrsohle fand sich ein massives Wurzelpolster (Abb. 28 B).



**Abb. 28:** Untersuchungsstelle A **A** Die mit Mörtel abgedichtete Muffe ist mit einem Wurzelgeflecht überzogen **B**. Im Sohlbereich findet sich ebenfalls ein Wurzelpolster.

Zudem wurde ein dichtes Geflecht aus feinen Wurzeln an der Grenzfläche zwischen der sandigen Rohrbettung und Seitenverfüllung und dem umgebenden Erdreich freigelegt. Die von oben in den Leitungsgraben einwachsenden Wurzeln verzweigen sich stark und bilden eine Wurzelwand (Abb. 29 A, B).



**Abb. 29:** Untersuchungsstelle A: Wurzelwachstum im Leitungsgraben. **A** Der Verlauf des Leitungsgrabens (blau markiert) wird durch Wurzelpolster abgebildet. **B** An der Grenzfläche zwischen sandiger Bettung und dem anstehenden Boden haben sich von oben einwachsende Wurzeln massiv verzweigt und flächig zu einer Wurzelwand ausgebreitet.

#### 4.8.4 Untersuchung der entnommenen Wurzel-Leitungsproben:

Die Wurzeln, die sich flächig in der Nähe der Leitung ausgebreitet haben, wurden mikroskopisch als Wurzeln von Serbischen Fichten (*Picea omorika* (PANČ.) PURK.) bestimmt. Im direkten anatomischen Vergleich zeigten die entnommenen Wurzelproben alle ausschlaggebenden Merkmale.

## 4.9 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 5

### 4.9.1 Situation vor Ort

Bei dem hier untersuchten Grundstück (Untersuchungsobjekt 5) erfolgt die Abwasserentsorgung über eine Steinzeugleitung DN 150, die in eine private Kleinkläranlage mündet. Die in 1,2 m Tiefe verlegte Schmutzwasserleitung stammt aus dem Jahr 1960. Der in die Steinzeugleitung mündende Hausanschluss besteht aus PVC und Gussrohr DN 150. Die Rohrverbindungen der Steinzeug- bzw. Gussrohrleitung sind mit Teerstricken und Bitumen-Vergussmasse abgedichtet.



Abb. 30: Untersuchungsobjekt 5. Ansicht des Hauses.

Der Materialübergang von PVC-U auf Gussrohr am Hausanschluss ist auf eine Sanierungsmaßnahme zurückzuführen, bei der neben dem Leitungsabschnitt aus PVC-U eine neue Bettung aus feinkörnigem Sand eingebaut wurde. Die Steinzeugleitung ist in einem teils mit Kies- Sand-Gemisch, teils mit Bauschutt verfüllten Graben verlegt. Der den Leitungsgraben umgebende Boden besteht aus dem anstehenden Lehmboden und Bauschutt. In 4,0 bis 8,0 m Entfernung zur Leitung befinden sich mehrere 20-jährige Fichten (*Picea abies* L.) sowie eine 30 Jahre alte Blauzeder (*Cedrus atlantica* (ENDL.) MANETTI cv. „Glauca“). Oberhalb des Leitungsgrabens ist ein Gehweg aus Natursteinplatten in einem Bett aus Sand und Mörtel angelegt. Die Bettung ruht ihrerseits auf einer 0,1 m starken Betonplatte, die den Leitungsgraben von oben abschließt (Abb. 34 A).

## Untersuchungsobjekt 5

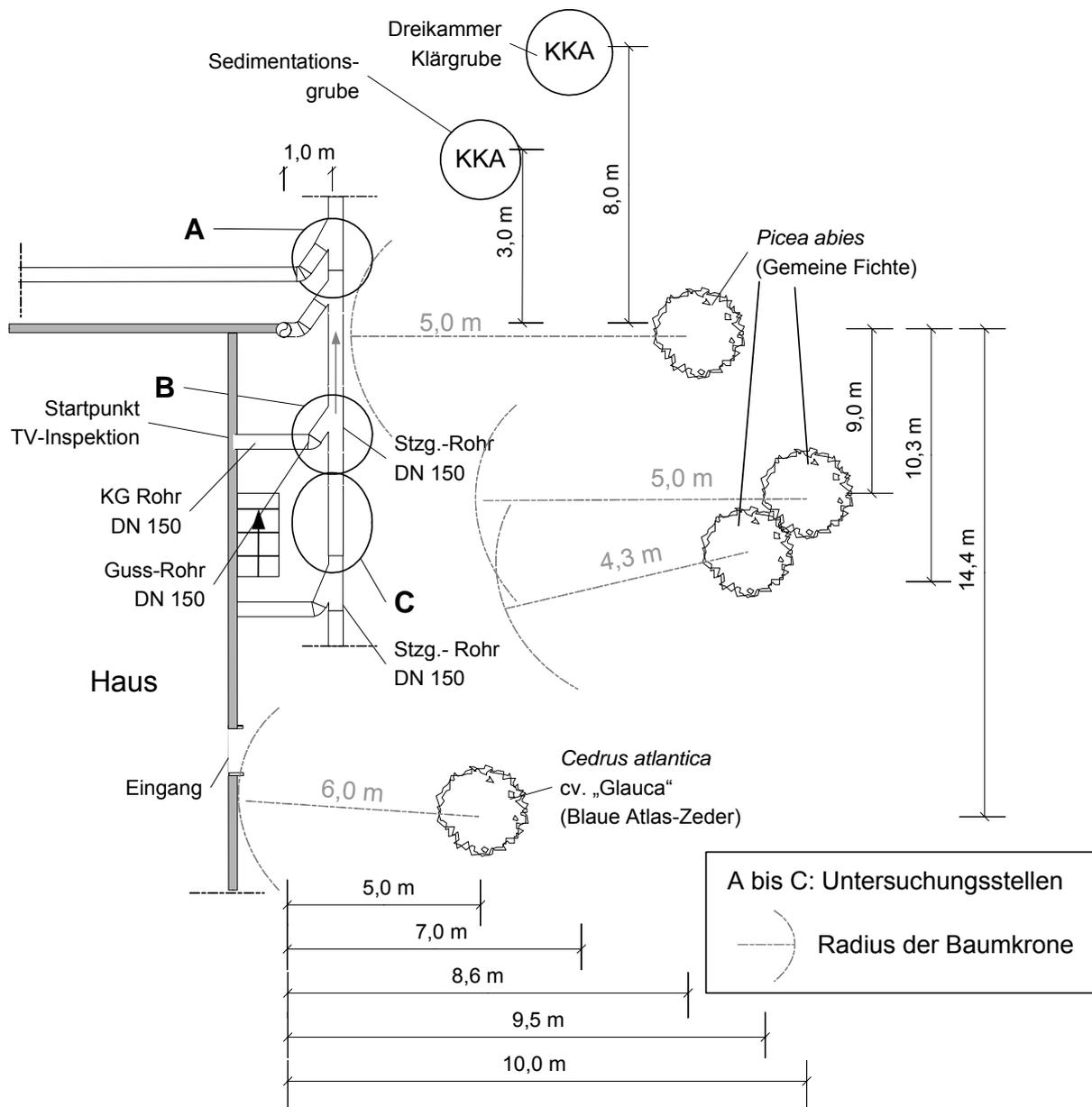


Abb. 31: Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 5 (Skizze)

### 4.9.2 Ergebnisse der TV-Inspektion

Die TV-Inspektion der Leitung konnte von der rechten Haushälfte aus vorgenommen werden (vgl. Abb. 31). Nach einem kurzen Stück KG-Rohr folgt ein Bogen in Gussrohr und dieser geht über in eine Stzg.-Leitung. Im Bereich der Stzg.-Leitung konnte Wurzelwachstum beobachtet werden (vgl. Tabelle 8).

**Tabelle 8:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 5, KG-/Stzg.-Leitung

Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
2,0	Bogen links, Übergang auf Guss	k. A.
2,5	T-Stück (Bogen nach links, Abzweig von rechts), Übergang auf Steinzeug	k. A.
3,7	Einragende Dichtmasse	
4,6	Muffenversatz, einragende Dichtmasse	
6,6	Einragendes Material, Wurzeln bzw. Spinnenweben	
8,6	Einragendes Material, Wurzeln bzw. Spinnenweben	

Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
9,6	Muffenversatz, einragendes Material, Wurzeln bzw. Spinnenweben	
14,5	Ende Inspektion, kein Weiterkommen	k. A.
15,0	Abzweig oben	Nicht genau erkennbar

### 4.9.3 Aufgrabung

Am Untersuchungsobjekt 5 wurden insgesamt drei Untersuchungsstellen freigelegt. Aufgegraben wurden zwei Abschnitte der Steinzeugleitung (Untersuchungsstellen A, C), sowie der Bereich eines Zulaufs aus dem Haus (Untersuchungsstelle B) (Abb. 31).

#### Untersuchungsstelle A

An dem hier aufgegrabenen Leitungsabschnitt befindet sich eine Rohrverbindung, an der bei der Kamerainspektion Wurzeleinwuchs festgestellt wurde (vgl. Tabelle 8). Im Bereich des Leitungsgrabens, insbesondere im Sohlbereich befinden sich einige, dem Leitungsverlauf parallel folgende, feine Wurzeln (Abb. 32 A). Der den Leitungsgraben umgebende anstehende Boden ist nur von wenigen Wurzeln durchzogen. Die freigelegte Rohrverbindung zeigte äußerlich nur eine geringe Bewurzelung. Im Ringspalt ist die Bitumen-Dichtungsmasse nur teilweise erhalten. Die von Vergussmasse freien Bereiche sind mit eingetragenen Erdreich gefüllt und von feinen Wurzeln durchzogen, von denen einige in den Querschnitt der Leitung ragen (Abb. 32 B).



**Abb. 32:** Untersuchungsstelle A: **A** Im Bereich der Rohrsohle befinden sich Wurzeln und wachsen parallel zum Leitungsverlauf. **B** Geöffnete Rohrverbindung: In die von Vergussmasse freien Bereiche des Ringspalts sind Erdreich und Wurzeln eingedrungen. Wurzeln ragen in den Leitungsquerschnitt.

### Untersuchungsstelle B

Hier wurden der Bereich des Zulaufs aus PVC-U und Gussstahl sowie ein Abschnitt der Steinzeugleitung aufgegraben. Im anstehenden Boden tritt nur geringer Wurzelwuchs auf. Im Leitungsgraben wachsen einige Wurzeln verschiedenen Alters parallel zur Leitung. So wächst eine 15 mm starke Wurzel in einem Abstand von 0,1 m neben dem Rohr entlang, bis sie im Bereich einer Rohrverbindung zur Leitung hin abknickt und sich im Sohlbereich unterhalb der Muffe zu einem massiven Wurzelpolster verzweigt. Der Ringspalt der Rohrverbindung ist fast vollständig von Erdreich und Wurzeln ausgefüllt, es ist jedoch keine Wurzel in den Leitungsquerschnitt eingewachsen (Abb. 33 A, B, C).


**A**

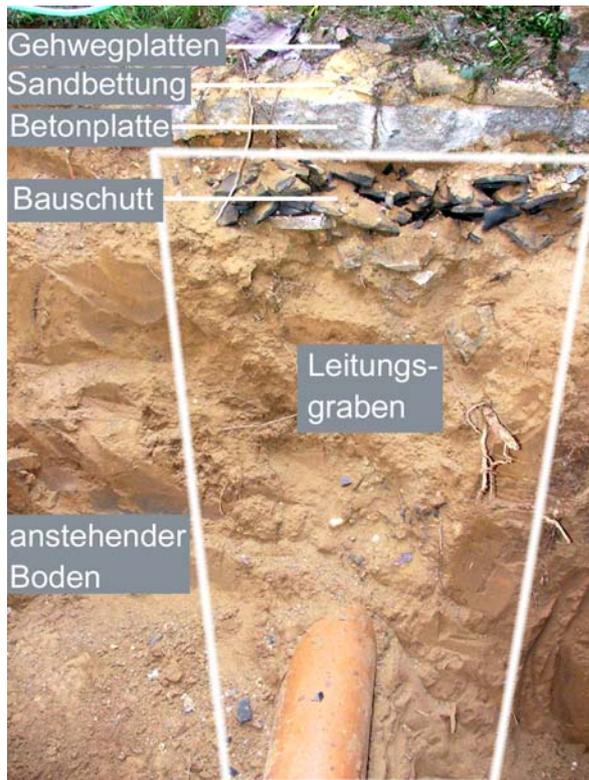
**B**

**C**

**Abb. 33:** Ausbreitung der Wurzeln im Bereich der Untersuchungsstelle B. **A** Eine Wurzel wächst in 0,1 m Abstand parallel zur Leitung und verzweigt sich unter der Rohrverbindung. **B** Geöffnete Rohrverbindung: Im Ringspalt hat sich ein Wurzelpolster gebildet. **C** Nach Ausbau der Leitung: Die seitlich neben dem Rohr liegende Wurzel verzweigt sich unterhalb der Rohrverbindung zu einem Wurzelpolster.

### Untersuchungsstelle C

Am oberen Leitungsverlauf wurde ein weiterer Abschnitt der Steinzeugleitung aufgedigelt. Der obere Bodenbereich an dieser Stelle, d.h. die sandige Bettung der Gehwegsplatten ist von feinen, stark verzweigten Wurzeln durchzogen. Besonders an der Grenze zwischen Gehwegsbettung und Mutterboden wachsen zahlreiche Wurzeln, die dem Verlauf des Materialübergangs folgen. (Abb. 34 B)



A



B

**Abb. 34:** Untersuchungsstelle C. **A** Bodenprofil: Der locker verfüllte Leitungsgraben ist von einer Betonplatte und einem in Sand gebettetem Gehweg aus Natursteinplatten bedeckt. **B** An der Grenze zwischen Bettung und Mutterboden wachsen zahlreiche Wurzeln.

Im Leitungsgraben wächst eine 20 mm starke Wurzel parallel zur Leitung. Die Wurzel trifft diagonal auf den Leitungsgraben, ändert ihre Wuchsrichtung und wächst in ihrem weiteren Verlauf parallel zur Leitung (Abb. 35 A). Im Zwickelbereich der Leitung hat sich ein massives Wurzelgeflecht ausgebildet (Abb. 35 B).



A

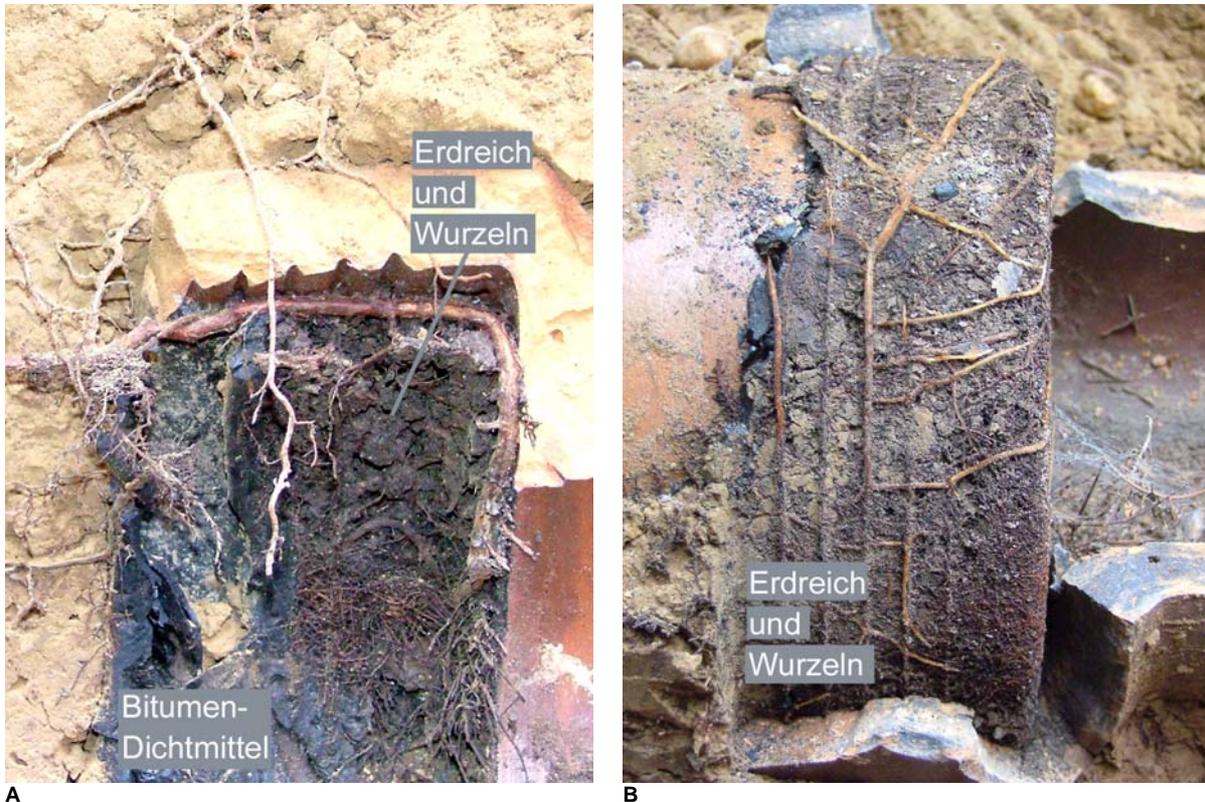


B

**Abb. 35:** Untersuchungsstelle C, Leitungsgraben. **A** Eine Wurzel (Ø 20 mm) trifft diagonal auf den Leitungsgraben, ändert ihre Wuchsrichtung und folgt dem Leitungsverlauf. (Die Wurzel wurde bei der Aufgrabung durchtrennt, die Lage ist unverändert.) **B** Im Zwickelbereich der Leitung hat sich ein kräftiges Wurzelgeflecht ausgebildet.

Die im Bereich der Untersuchungsstelle C geöffneten Rohrverbindungen weisen Wurzeleinwuchs auf. Die Ringspalte der betroffenen Rohrverbindungen enthalten nur noch Reste des Bitumen-Dichtmittels. Sie sind zum Großteil mit Wurzeln und eingetragendem Erdreich gefüllt. Einige Wurzeln ragen in den Leitungsquerschnitt. Im Fall einer anderen Rohrverbindung wächst eine mehrjährige Wurzel in den Ringspalt, ändert ihre Wuchsrichtung bei Kontakt mit der Muffe und verzweigt sich zu einem

Wurzelpolster (Abb. 36 A). Bei einer weiteren Verbindung fanden sich junge Wurzeln, die das Spitzende radial umwachsen, wobei sie dem Verlauf der Vertiefungen der Rohrrinnenwandung des Glockenendes folgen. Einige Seitenwurzeln wachsen in den Leitungsquerschnitt ein (Abb. 36 B).

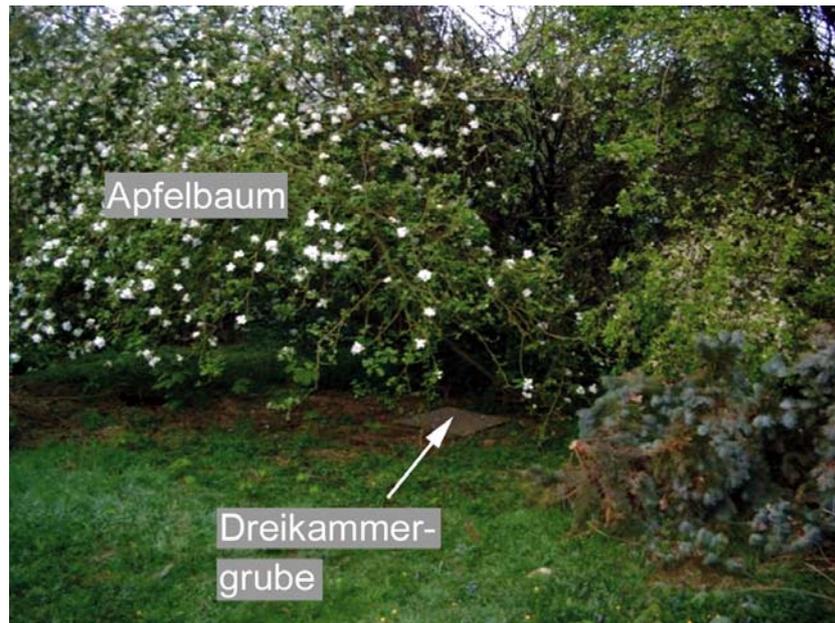


**Abb. 36:** Untersuchungsstelle C, Rohrverbindungen mit Wurzeleinwuchs. **A** Im Ringspalt der Verbindung wächst eine mehrjährige Wurzel, die sich zu einem Wurzelpolster verzweigt. Reste des Dichtmittels sind noch vorhanden. **B** Junge Wurzeln sind im Bereich der Einkerbungen der Rohrrinnenwandung gewachsen. Der Ringspalt ist nahezu vollständig mit Erdreich aufgefüllt.

## 4.10 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 6

### 4.10.1 Situation vor Ort

Beim Untersuchungsobjekt 6 handelt es sich um das Grundstück eines freistehenden Einfamilienhauses, welches über eine PVC-Leitung DN 100 von 1980 entwässert wird. Die Entsorgung der Abwässer erfolgt über eine Kleinkläranlage und eine daran angeschlossene Rigole, über die das geklärte Abwasser im Garten versickert wird. Die Rigole besteht aus einem in Kies gebetteten Drainagerohr, wobei die Kiesbettung oberseits mit einer Kunststoffolie abgedeckt ist. Die Bepflanzung des Grundstücks in der Nähe der Leitung besteht aus einem Apfelbaum (*Malus domestica* BORKH) und einem Pflaumenbaum (*Prunus domestica* L. subsp. *domestica*), wobei sich der Apfelbaum in 1,0 m, der Pflaumenbaum in 3,5 m zur Rigole befindet. Ansicht des Gartens und Lage des Objekts sind in Abb. 37 und Abb. 38 dargestellt.



**Abb. 37:** Ansicht des Grundstücks Untersuchungsobjekt 6. Im Bild der Apfelbaum in unmittelbarer Nähe der Kleinkläranlage mit Dreikammergrube.

## Untersuchungsobjekt 6

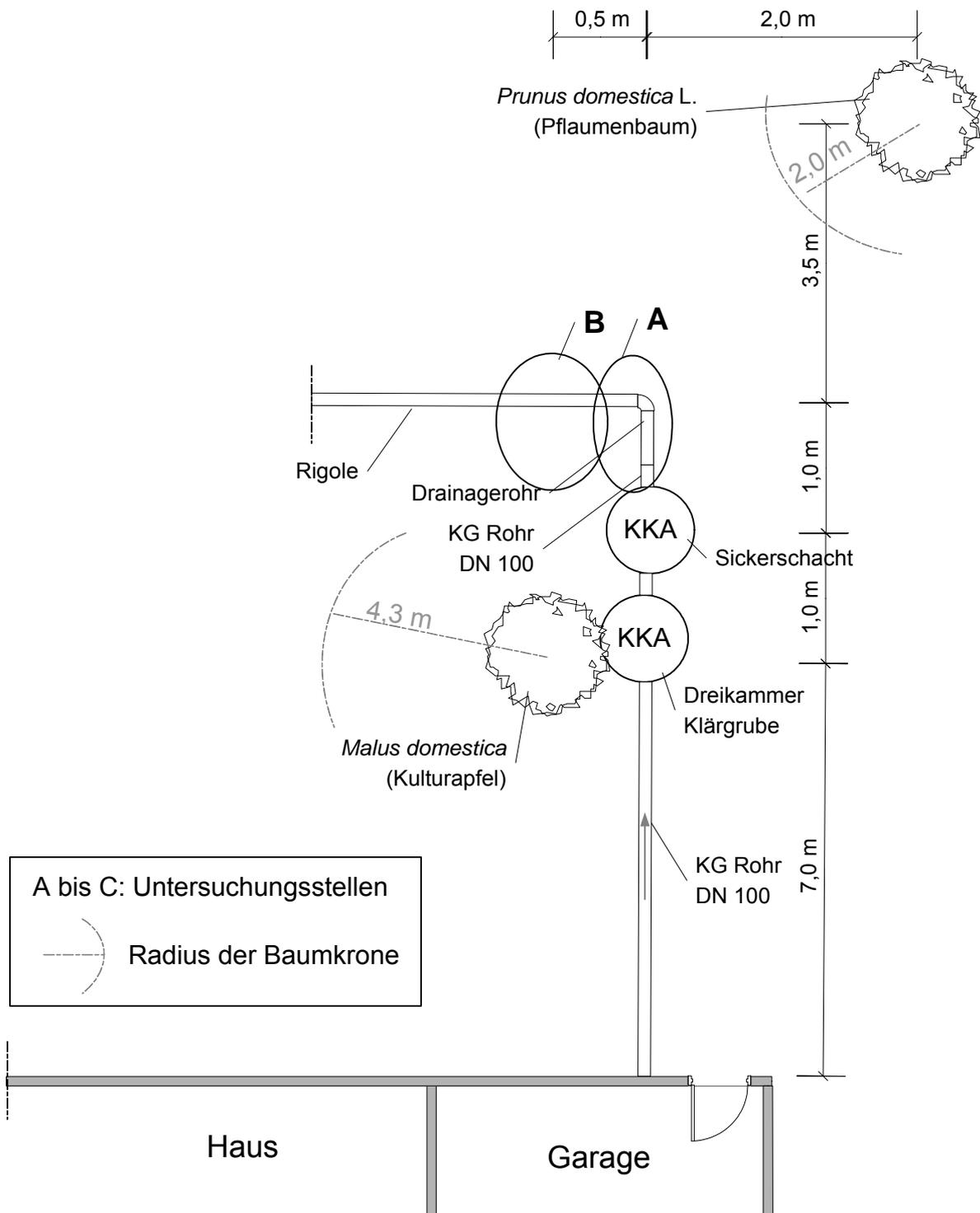


Abb. 38: Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 6 (Skizze)

### 4.10.2 Ergebnisse der TV-Inspektion

Während der TV-Inspektion der KG-Leitung in Richtung Dreikammergrube wurden keine wesentlichen Schäden oder Wurzeleinwuchs festgestellt. Ab der Station 4,6 m wurde Wasser im Rohr festgestellt. Evtl. ist dies ein Hinweis auf einen Unterbogen. (vgl. Tabelle 9)

**Tabelle 9:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 6, KG-Leitung, DN 100

Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
1,0	Abzweig rechts	k. A.
4,6	Wasser im Rohr	evtl. Unterbogen
7,0	Ende Inspektion, KKA erreicht	

### 4.10.3 Aufgrabung

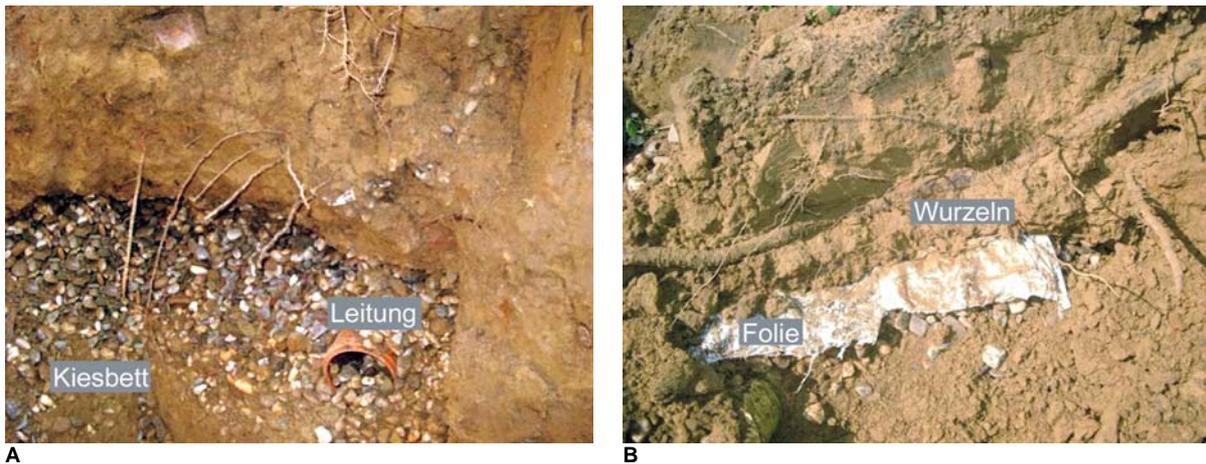
Im Bereich der Rigole wurde ein Graben mit den Maßen 3,0 m x 1,5 m ausgehoben, in welchem die Untersuchungsstellen A und B untersucht wurden. Untersuchungsstelle A befindet sich direkt am Auslauf des Sickerschachtes und Untersuchungsstelle B schließt sich daran an (Abb. 38).

#### Untersuchungsstelle A

Der Bereich des oberen Leitungsgrabens ist von zahlreichen feinen Wurzeln durchzogen. In dem die Leitung umgebenden Kiesbett haben sich keine Wurzeln ausgebreitet (Abb. 39 A).

#### Untersuchungsstelle B

Die weiter unterhalb gelegene Untersuchungsstelle B zeigte ebenfalls eine Bewurzelung des oberen Leitungsgrabens. Besonders direkt oberhalb der Kunststoffolie haben sich viele Wurzel, darunter auch eine 20 mm starke Wurzel horizontal ausgebreitet (Abb. 39 B).



**Abb. 39:** Objekt 6. **A** Untersuchungsstelle A: Im locker verfüllten Bereich oberhalb der Rigole wachsen zahlreiche Wurzeln. Im Kiesbett unterhalb der Folie haben sich keine Wurzeln ausgebreitet. **B** Untersuchungsstelle B: Oberhalb der Kunststoffolie ist der Boden von Wurzeln durchzogen.

## 4.11 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 7

### 4.11.1 Situation vor Ort

Das Untersuchungsobjekt 7 ist das Grundstück eines Wohnhauses, das über eine Steinzeugleitung DN 150 von 1975 entwässert wird. Der Bereich des Hausanschlusses sowie ein Abschnitt der Leitung sind 1995 bei einer Sanierung gegen PVC-Rohre (DN 150) ausgetauscht worden. Die Leitung führt in 1,2 m Tiefe parallel zu einem im Vorgarten angelegten Gehweg vom Haus in Richtung Straßenkanal. Die Bettung der Leitung besteht aus Sand, der Leitungsraben ist mit Bodenaushub und Bauschutt locker verfüllt. Die Bepflanzung des Vorgartens besteht aus vier 35 Jahre alten Sommerlinden (*Tilia platyphyllos* SCOP.). Die Vorderansicht des Hauses und die Lage des Objekts sind in Abb. 40 und Abb. 41 dargestellt.



**Abb. 40:** Vorderansicht Untersuchungsobjekt 7. Im Bild zwei der vier Sommerlinden. Die Leitung verläuft parallel zum Gehweg im Vorgarten.

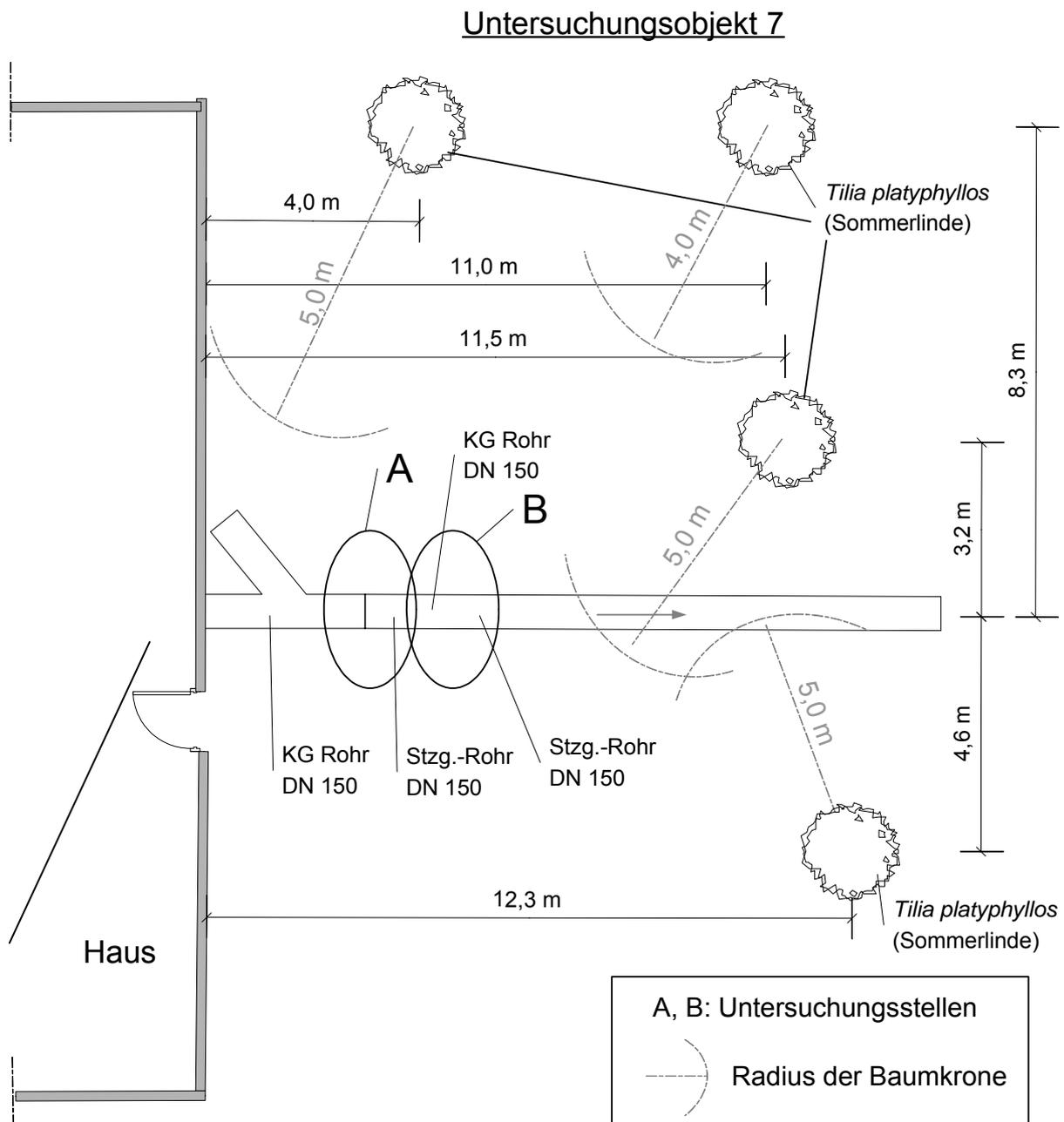


Abb. 41: Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 7 (Skizze)

#### 4.11.2 Ergebnisse der TV-Inspektion

Die TV-Inspektion der Leitung wurde vom Haus aus in Fließrichtung durchgeführt. Dabei war festzustellen, dass die Leitung sowohl Abschnitte aus KG-Rohr (PVC-U), als auch solche aus Stzg.-Rohr enthält. (vgl. Abb. 41). Durch Wasser in der Leitung wurde die Inspektion zum Teil behindert. (vgl. Tabelle 10).

**Tabelle 10:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 7, KG-/Stzg.-Leitung

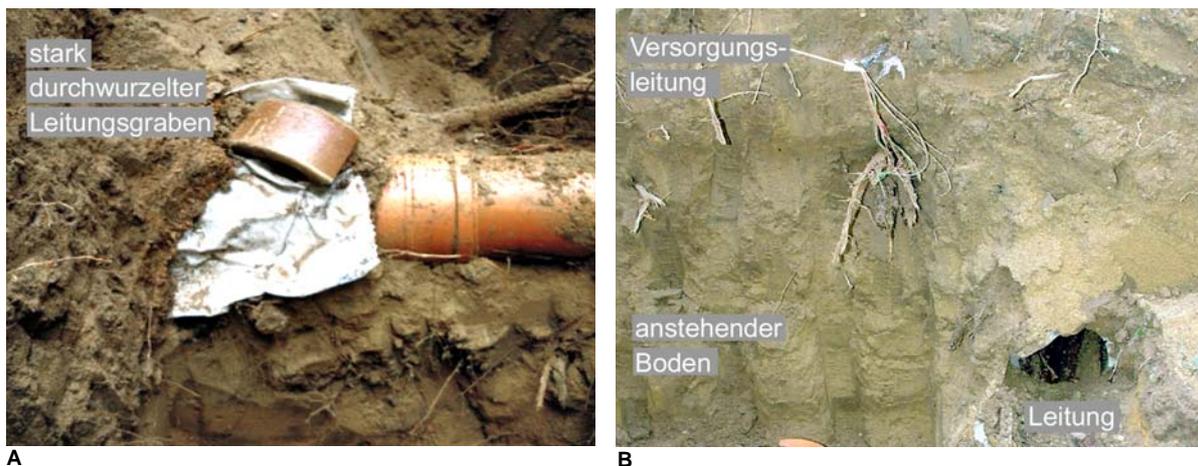
Stationierung[m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
1,1	Abzweig links	k. A.
2,0	Materialwechsel, KG auf Steinzeug	k. A.
3,0	Materialwechsel, Steinzeug auf KG Wurzeleinwuchs im rechten Muffenbereich	
4,0 - 4,20	Materialwechsel KG auf Steinzeug., fehlende Scherbe, Plastik im Bereich der fehlenden Scherbe	
5,0	Fehlende Scherbe im Scheitelbereich, Wurzeleinwuchs	
6,5	Evtl. Wurzeleinwuchs rechte Seite	
7,7	Leichter Muffenversatz,	k. A.
12,7	Ende Inspektion, keine Weiterkommen	k. A.

### 4.11.3 Aufgrabung

Zur Analyse des Wurzelverlaufes wurde der sanierte Bereich des Hausanschlusses und der Leitung (Untersuchungsstelle A) aufgegraben. Darüber hinaus wurde ein mehrere Meter langer Abschnitt der Steinzeugleitung untersucht (Untersuchungsstelle B). (Abb. 41)

#### Untersuchungsstelle A

Der die Leitung umgebende Bereich an der Untersuchungsstelle A ist von zahlreichen Wurzeln durchzogen. Der anstehende Boden hingegen ist weitgehend frei von Wurzeln (Abb. 42 A, B).



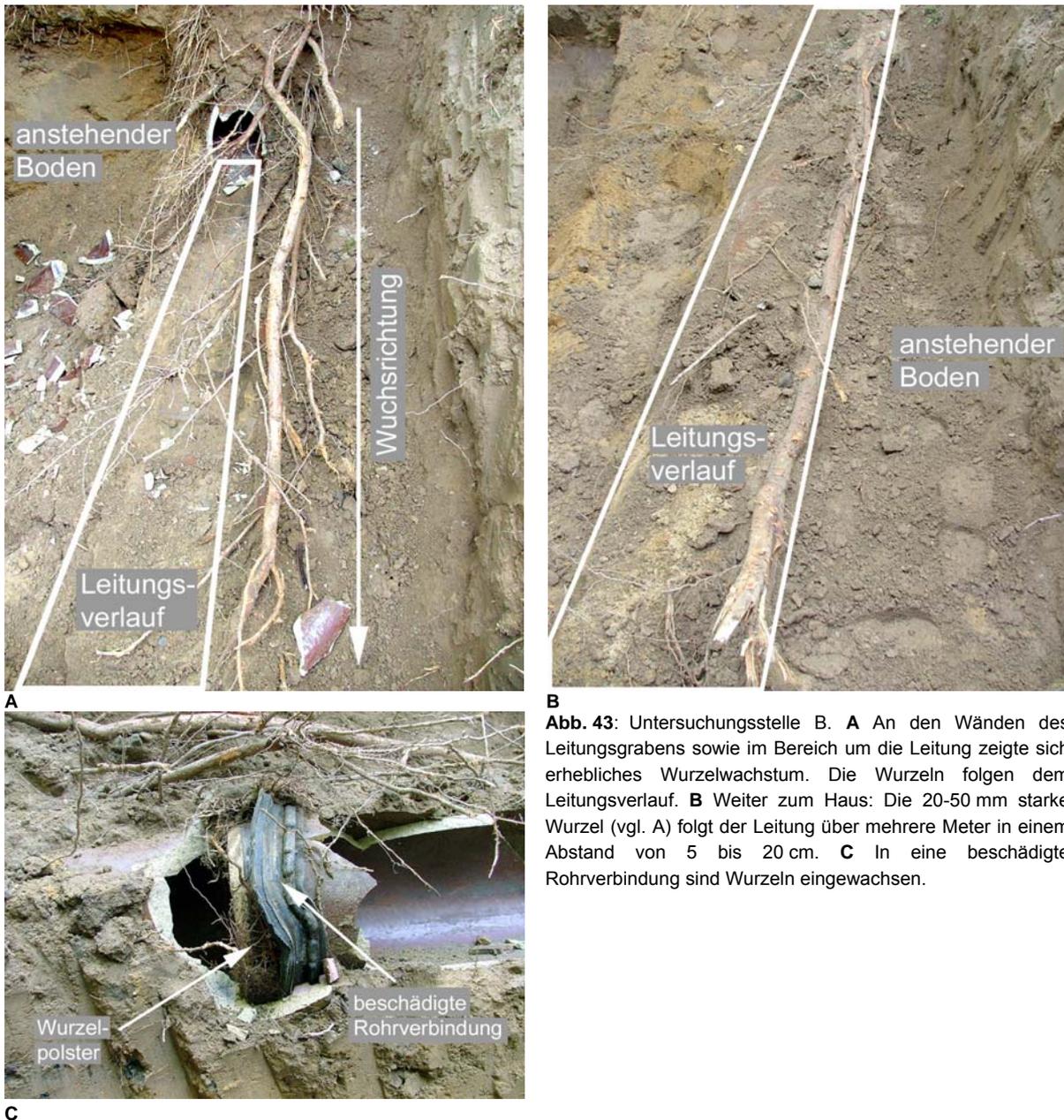
**Abb. 42:** Untersuchungsstelle A. **A** Der Leitungsgaben ist von zahlreichen Wurzeln durchzogen. **B** Im anstehenden Boden auf Höhe der Leitung haben sich nur wenige Wurzeln ausgebreitet.

#### Untersuchungsstelle B

Bei der Aufgrabung der Steinzeugleitung zeigte sich, dass eine zwischen 20 und 50 mm starke Wurzel dem Leitungsverlauf über eine Länge von 3,0 m folgt. Die Wurzel befindet sich dabei stets in einem Abstand von 5 bis 20 cm zur Leitungsoberfläche (Abb. 43 A, B).

Darüber hinaus waren zahlreiche weitere Wurzeln unterschiedlichen Alters zu erkennen, die der Leitung in ähnlicher Weise folgen. Der auf diesem Grundstück vorliegende Boden ist bis in eine Tiefe von 1,0 m regelmäßig, aber nicht besonders stark durchwurzelt. Eine Konzentration der Wurzeln auf die oberste Bodenschicht ist nicht zu erkennen. Im Bereich der Grabenverfüllung, besonders an den ehemaligen Grabenwänden und in der direkten Umgebung der Leitung finden sich auffällig viele Wurzeln (Abb. 43 A).

Eine Rohrverbindung der Leitung zeigte eine starke Beschädigung. Durch diese Beschädigung - es handelt sich hierbei um eine Scherbenbildung am Glockenende – sind zahlreiche Feinwurzeln eingewachsen, die sich im Folgenden weiter verzweigen und in den Querschnitt der Leitung ragen (Abb. 43 C).



**Abb. 43:** Untersuchungsstelle B. **A** An den Wänden des Leitungsgrabens sowie im Bereich um die Leitung zeigte sich erhebliches Wurzelwachstum. Die Wurzeln folgen dem Leitungsverlauf. **B** Weiter zum Haus: Die 20-50 mm starke Wurzel (vgl. A) folgt der Leitung über mehrere Meter in einem Abstand von 5 bis 20 cm. **C** In eine beschädigte Rohrverbindung sind Wurzeln eingewachsen.

## 4.12 Aufgrabung Untersuchungsobjekt 8

### 4.12.1 Situation vor Ort

Untersuchungsobjekt 8 ist eine PVC-Leitung DN 150, welche das Abwasser zweier Einfamilienhäuser ableitet. Die Leitung verläuft im Abstand von 1,9 m parallel zur linken Hauswand in einer Tiefe von 0,6 m. Kurz vor Erreichen des Hauptkanals befindet sich ein Revisionsschacht. Die Leitung ist zum Teil in Sand gebettet.



**Abb. 44:** Vorderansicht des Untersuchungsobjekts 8. In 2,6 m Entfernung zur Fichte verläuft eine Entwässerungsleitung Richtung Straße (Leitung nicht im Bild).

Auf der einen Seite der Leitung befindet sich in einer Entfernung von 2,6 m eine 20-jährige Gemeine Fichte (*Picea abies* L.), auf der anderen Seite der Leitung befinden sich im Abstand von 1,0 m bzw. 2,0 zwei Abendländische Lebensbäume (*Thuja occidentalis* L.). Ansicht und Plan des Objekts sind in Abb. 44 und Abb. 45 dargestellt.

## Untersuchungsobjekt 8

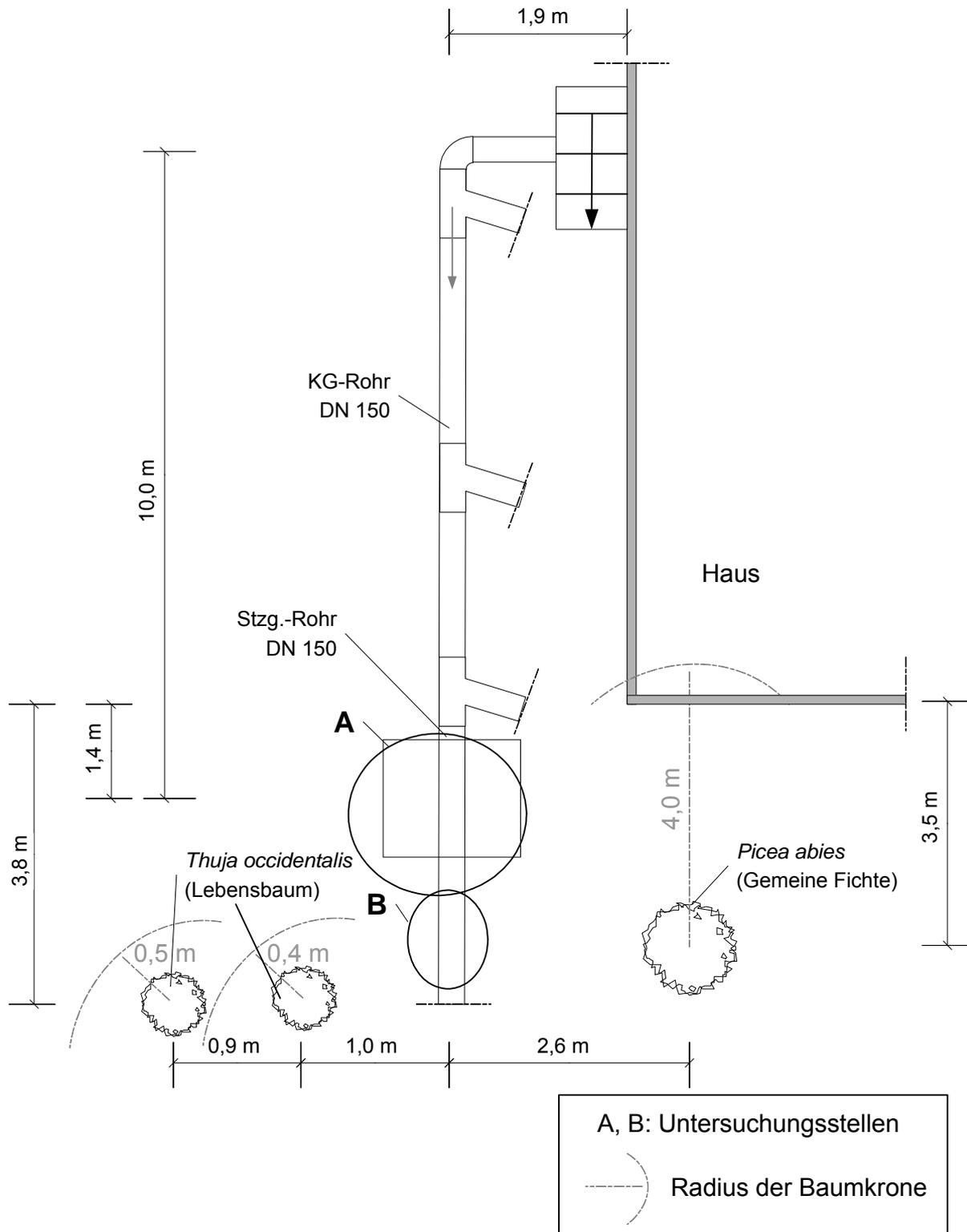


Abb. 45: Übersichtszeichnung des Untersuchungsobjekts 8 (Skizze)

### 4.12.2 Ergebnisse der TV-Inspektion

Die Inspektion der Leitung wurde von einem Revisions-Zugang, der sich im Kellerabgang neben dem Haus befindet, aus vorgenommen. Bei der Leitung handelt es sich um eine KG-Leitung aus PVC-U, die im Revisions-schacht auf eine Stzg.-Leitung übergeht. Am Übergang von KG- auf Stzg.-Rohr ist ein Muffenversatz und es wurde Wurzeleinwuchs vermutet. Es lagen jedoch lediglich Spinnenweben vor. (vgl. Tabelle 11)

**Tabelle 11:** Ergebnisse der TV-Inspektion, Objekt 8, KG-Leitung

Stationierung [m]	Spezifikation	Foto/Bemerkung
1,1	Bogen links, einragende Dichtmasse im Muffenbereich	
1,7	Abzweig links,	Wahrscheinlich Zulauf Regenwasser
6,5	Abzweig links	Wahrscheinlich Zulauf vorderes Haus
9,1	Abzweig links	k. A.
9,9	Muffenversatz, Übergang auf Stzg., leichter Wurzeleinwuchs	
10,8	Inspektionsende	Bogen nach unten

### 4.12.3 Aufgrabung

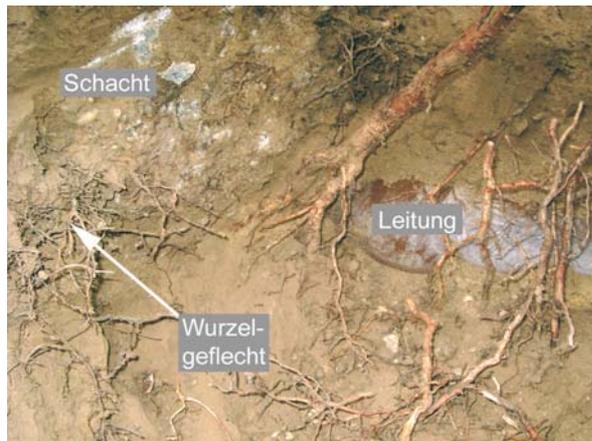
Es wurden zwei Untersuchungsstellen (A und B) in unmittelbarer Nähe zur Fichte (*Picea abies* L.) betrachtet. Untersuchungsstelle A umfasst den Revisionsschacht, Untersuchungsstelle B den Bereich, der sich unmittelbar an den Revisionsschacht in Fließrichtung anschließt. An dieser Stelle wurden die Steinzeugleitung und ihre Rohrverbindungen untersucht (Untersuchungsstelle B).

#### Untersuchungsstelle A

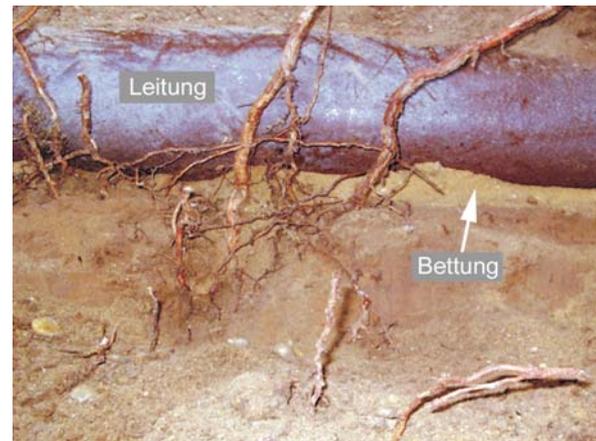
An der Untersuchungsstelle A zeigte sich intensives Wurzelwachstum, insbesondere an den Außenwänden des Revisionsschachts. Diese sind von einem dichten Wurzelgeflecht überzogen (Abb. 46 A), ein Einwuchs in den Schacht ist jedoch nicht zu beobachten.

#### Untersuchungsstelle B

Auch im Bereich der Steinzeugleitung fand sich eine starke Bewurzelung, im Besonderen an der Grenzfläche zwischen der sandigen Bettung der Leitung und dem umgebenden Boden (Abb. 46 B). Nach Entfernen der Leitung zeigte sich, dass die Bettung im Bereich der Rohrsohle von Regenwürmern (*Lumbricus terrestris* L.) bewohnt wird. Der von den Würmern verursachte Erdeintrag (Wurmhumus) ist in der sandigen Bettung gut erkennbar (Abb. 46 C).



A



B



C

**Abb. 46:** Objekt 8. **A** Untersuchungsstelle A: An der Außenwand des Revisionschachts ist ein Wurzelgeflecht sichtbar. **B** Untersuchungsstelle B: In der Umgebung der Leitung, insbesondere an der Grenze zwischen sandiger Bettung und dem umgebenden Boden haben sich zahlreiche Wurzeln ausgebreitet. **C** Untersuchungsstelle B: In der sandigen Rohrbettung leben Regenwürmer, die Erde eintragen.

#### 4.13 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Aufgrabungen unterstreichen, dass unterirdische Leitungen bzw. deren Bettungs- und Verfüllmaterial, im Gegensatz zum anstehenden Boden, eine große Attraktivität für Wurzeln besitzen. Bei den durchgeführten Aufgrabungen war zu beobachten, dass Wurzeln entweder in direkter Nähe der Leitung (Abb. 15 B, Abb. 21 A oder Abb. 25 B) oder an den Grenzen des Leitungsgrabens (Abb. 29 A) gewachsen sind.

Frühere Untersuchungen legten nahe, dass die Ausbreitung von Wurzeln durch die Porosität bzw. die Verdichtung des Bodens bestimmt wird [1]. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen bestätigen diese Ergebnisse und weisen dem Zwickelbereich von Leitungen eine besondere Bedeutung zu. Hier wird bei Verlegen der Leitung oft nur eine geringe Verdichtung erreicht. Wurzeln wachsen vornehmlich in solchen gering verdichteten, d.h. porenreichen Bodenbereichen (z.B. Abb. 20 B, Abb. 35 B sowie Abb. 43 A und B). Diese Beobachtungen bestätigen, dass Wurzelwachstum in erster Linie durch die Verdichtung bzw. durch die Porosität des Bodens beeinflusst bzw. gelenkt werden. Wurzeln bleiben in gering verdichteten bzw. stark porenhaltigen Bodenbereichen eingeschlossen und wachsen nicht zurück in den stärker verdichteten, bzw. porenärmeren Boden der Umgebung (Abb. 43 B).

Ein weiteres zentrales Ergebnis der Aufgrabungen ist, dass Wurzeln der Oberfläche von Gegenständen im Boden, wie z.B. Leitungen bzw. Schächten folgen, wenn sie mit ihnen in Kontakt kommen (Abb. 15 B und Abb. 21 A). Wurzeln wachsen in direkter Nähe zu Leitungen, ohne dass zwangsläufig ein Einwuchs stattfinden muss (vgl. Abb. 21 B). Es ist hervorzuheben, dass die äußere Oberfläche von Leitungen oder Schächten für Wurzeln attraktiv ist, auch wenn diese nicht in Betrieb sind (vgl. Abb. 17). Die Oberfläche der betreffenden Gegenstände hat einen Einfluss auf die Ausbreitung von Wurzeln, der im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen nicht näher zu ermitteln war. Die Annahme, Leitungsinhalt sei der Stimulus für den Wurzeleinwuchs wurde in keinem der untersuchten Fälle bestätigt.

Bei den Aufgrabungen wurden lediglich Pflanzengruppen angetroffen, deren Vertreter bereits in der Wurzel-Datenbank aufgenommen worden waren. Durch die Entnahmen und Analyse der angetroffenen Wurzeln war somit keine Erweiterung der Datenbank zur Bestimmung der Baumart anhand von Wurzel-Querschnittbildern möglich.

## 5 Verfahren zur Wurzelentfernung

Wurzeln ragen in der Regel von den Rohrverbindungen her in den Querschnitt der jeweiligen Leitung. Sie haben vielfach im Bereich des Scheitels die Rohrverbindung durchwachsen und bleiben dort fixiert. Die Wurzeln hängen in Form eines Vorhangs in der Leitung herab. Sie sind mit Hilfe rotierender Werkzeuge, wie z.B. Kettenschleudern oder Fräsen zu entfernen. Darüber hinaus ist eine Wurzelentfernung in Abwasserleitungen mit Hilfe von chemischen Verfahren möglich. Dabei werden Substanzen, die zum Absterben der eingewachsenen Wurzeln führen, wie z.B. Herbizide, in betroffene Leitungsabschnitte eingebracht. Die Agenzien werden nach Ablauf einer Einwirkzeit aus der Leitung entfernt und zum Teil mit dem Abwasser entsorgt.

### 5.1 Chemische Wurzelentfernung

#### 5.1.1 Übersicht möglicher Verfahren

Im Rahmen einer Recherche wurden internationale Anbieter für Verfahren bzw. Produkte zur chemischen Wurzelentfernung ermittelt. Die Verfahren bzw. Produkte sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

**Tabelle 12: Anbieter- und Produktrecherche international**

<b>Name</b>	<b>Chem. Name (IUPAC)</b>	<b>Unterschiedliche Produktbezeichnung</b>	<b>Wirkweise der Substanz</b>	<b>Zulassungsstatus in der Bundesrepublik Deutschland</b>
Dichlobenil	2,6-Dichlorbenzonitril	RootX, Foaming Root Killer	Hemmung der Cellulose- sowie der Kallose-Synthese, nicht systemisch	nicht zugelassen
Diquat	<i>NN'</i> -Ethylen-2,2'-Bipyridium-Dibromid	Razorooter II, Reglone	Photosystem I: Elektronenakzeptor, Wirkung besonders stark in photosynthetisch aktiven Organen, bei Belichtung	zugelassen (Herbizid in Acker- und Hopfenbau)
Metam-Sodium	Natrium- <i>N</i> -Methyldithiocarbamat	Vapam	Setzt bei Kontakt mit Feuchtigkeit Methylisothiocyanat (MIT) frei:	nicht zugelassen
Kupfer-Sulfat	Kupfer(II)-Sulfat-pentahydrat	Root-Destroyer, K-77	Giftiges Schwermetall	nicht zugelassen, wassergefährdend 2
MCPP	( <i>RS</i> ) -2- (4-Chloro- <i>o</i> -Tolyloxy)-Propionsäure	Mecoprop Duplosan KV	Auxin-Wirkung	Zugelassen  (Herbizid in Ackerbau, Zierpflanzenbau) wassergefährdend 2
Oryzalin	3,5-Dinitro- <i>N,N'</i> -Dipropylsulfanilamid	Surflan	Blockade des Zellzyklus (Mikrotubuli) sowie Entkopplung der Elektronentransportketten in Mitochondrien und Chloroplasten	nicht zugelassen
Trifluralin	$\alpha,\alpha,\alpha$ -Trifluoro-2,6-Dinitro- <i>N,N'</i> -Dipropyl- <i>p</i> -Toluidin	Triflan, Bio-Barrier Treflan	Blockade des Zellzyklus (Mikrotubuli) sowie Entkopplung der Elektronentransportketten in Mitochondrien und Chloroplasten	nicht zugelassen (Herbizid in Ackerbau, Gemüsebau)

Diese Substanzen bzw. Produkte kommen in Frage, jedoch ist der große Teil nicht zugelassen. Die Substanz *NN'*-Ethylen-2,2'-Bipyridium-Dibromid wird in vielen Fällen unter der Bezeichnung Diquat in den Handel gebracht und ist als Herbizid für den Nutzpflanzenbau zugelassen. Jedoch ist nachgewiesen, dass diese eine nachteilige Wirkung auf die Umwelt haben kann [21], so dass in dem hier durchgeführten Forschungsvorhaben von der Verwendung Abstand genommen wurde.

Die Recherche hat ergeben, dass die in Europa und im weiteren Ausland erhältlichen Präparate zur Wurzelentfernung im Bereich der Bundesrepublik Deutschland aufgrund der geltenden Verordnungen nicht einsetzbar sind [9], [10], [11], [12], [13], (vgl Kapitel 3.2). Bei einem Einsatz derartiger Präparate fallen größere Mengen Prozesswasser an, das bei der Wurzelentfernung vollständig aufzufangen und einer entsprechenden Entsorgung zuzuführen wären. Hinzu kommt mindestens eine Spülung mit Frischwasser zur Beseitigung der Herbizid-Lösung innerhalb der Leitung. Nachfolgend werden daher die Bedingungen, die bei einer chemischen Wurzelentfernung in einem Leitungsabschnitt von Bedeutung sind, mit dem Ziel, die Auswahl und Konzentration der verwendeten Herbizide nachzustellen, auf den Labormaßstab übertragen. Die Eignung von chemischen Verfahren zur Wurzelentfernung wird somit auf Basis von In-vitro-Versuchen untersucht.

### 5.1.2 In-Vitro-Untersuchungen zur chemischen Wurzelentfernung

Bei den in Tabelle 12 aufgeführten Produkten zur chemischen Wurzelentfernung handelt es sich mit Ausnahme von MCPP weder um alkalische noch um saure Substanzen. Die Herbizide werden nach der Applikation von den Wurzeln aufgenommen und greifen dann an verschiedenen Stellen in den pflanzlichen Stoffwechsel ein. So werden beispielsweise essentielle Synthesewege blockiert, so dass die betroffenen Pflanzenteile degenerieren. Da diese Substanzen eine nachteilige Wirkung auf die Umwelt haben [21], wurde in dem hier durchgeführten Forschungsvorhaben von deren Verwendung Abstand genommen.

Zur Ermittlung des Erfolges von Verfahren zur chemischen Wurzelentfernung wurde eine Versuchsreihe angesetzt, in der Wurzeln in einem geschlossenen System dem Einfluss eines Detergens ausgesetzt wurden. Die Wurzeln von *Salix spec.* (Weide) wurden in Laborgefäßen kultiviert, die mit SODOSIL®-Lösungen in aufsteigenden Konzentrationen gefüllt waren.

SODOSIL® ist ein alkalischer Reiniger, der in seiner hier eingesetzten Form (SODOSIL® RA08) für die apparative Reinigung in Laborspülautomaten mit Festdosierung vorgesehen ist. Das als ätzend gekennzeichnete Detergens besitzt einen pH-Wert von 12,2 und enthält unter anderem Phosphate (15-30%), anionische Tenside (<5%) sowie Natriummetasilikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), Natriumcarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) und Chloramin T ( $\text{C}_7\text{H}_{13}\text{ClNNaO}_5\text{S}$ ), von denen vor allem das zugesetzte Chloramin T umweltgefährdend ist (Wassergefährdungsklasse 2, schädlich für wasserlebende Organismen). Daher darf der Reiniger nicht unverdünnt in die Kanalisation eingeleitet werden. SODOSIL® RA08 ist in Form einer 0,3%igen Reinigungslauge zu 90% biologisch abbaubar und sein Einsatz daher unbedenklich.

Über die Einflussnahme von alkalischen Reinigern auf den pflanzlichen Stoffwechsel ist derzeit nichts bekannt. Das hier eingesetzte Detergens wirkt, indem es, aufgrund seiner ätzenden Eigenschaft, ganze Gewebeverbände aufzulösen vermag. Dieser

als Mazeration beschriebene Effekt wird bei der Untersuchung von pflanzlichen Geweben angewendet und sowohl mit Säuren als auch mit basischen Chemikalien durchgeführt.

Für die Versuchsreihe wurden SODOSIL® RA08-Lösungen mit verschiedenen Konzentrationen angesetzt, in Reagenzgläser überführt und diese anschließend mit bewurzelten Weidenstecklingen versehen. Je Konzentration wurden 5 Reagenzgläser auf diese Weise vorbereitet. Zur Kontrolle wurde eine zusätzliche Reihe von 5 Pflanzen mit eingefülltem Leitungswasser aufgestellt (Abb. 47). In Tabelle 13 sind die verwendeten Lösungen sowie deren pH-Werte aufgeführt.



**Abb. 47:** Versuchsaufbau zur Ermittlung des Erfolges von Verfahren zur chemischen Wurzelentfernung.

Um den Einfluss verschieden hoher Konzentrationen des Detergens auf die Wurzeln zu erfassen, wurde zunächst eine grob abgestufte Verdünnungsreihe gewählt. Die Ergebnisse der Versuchsreihe können dann einen ersten Anhaltspunkt auf eine mögliche Grenzkonzentration geben, die einen Kompromiss zwischen der notwendigen Menge an eingesetztem Detergens, der gewünschten Wirkung und einer kleinstmöglichen Belastung für die Umwelt darstellt. Deren genaue Ermittlung kann anschließend anhand einer linear abgestuften Verdünnungsreihe erfolgen.

**Tabelle 13:** Konzentrationen und pH-Werte der eingesetzten Lösungen

<i>Versuchsansatz</i>	<i>Konzentration</i>	<i>SODOSIL® RA 08 (g/l)</i>	<i>pH-Wert</i>
1 (Kontrolle)	-	-	7,83
2	1:250	400	11,88
3	1:100	200	12,23
4	1:50	100	12,58
5	1:25	40	12,80
6	1:10	20	13,01
7	1:5	10	13,23
8	1:2,5	4	13,35

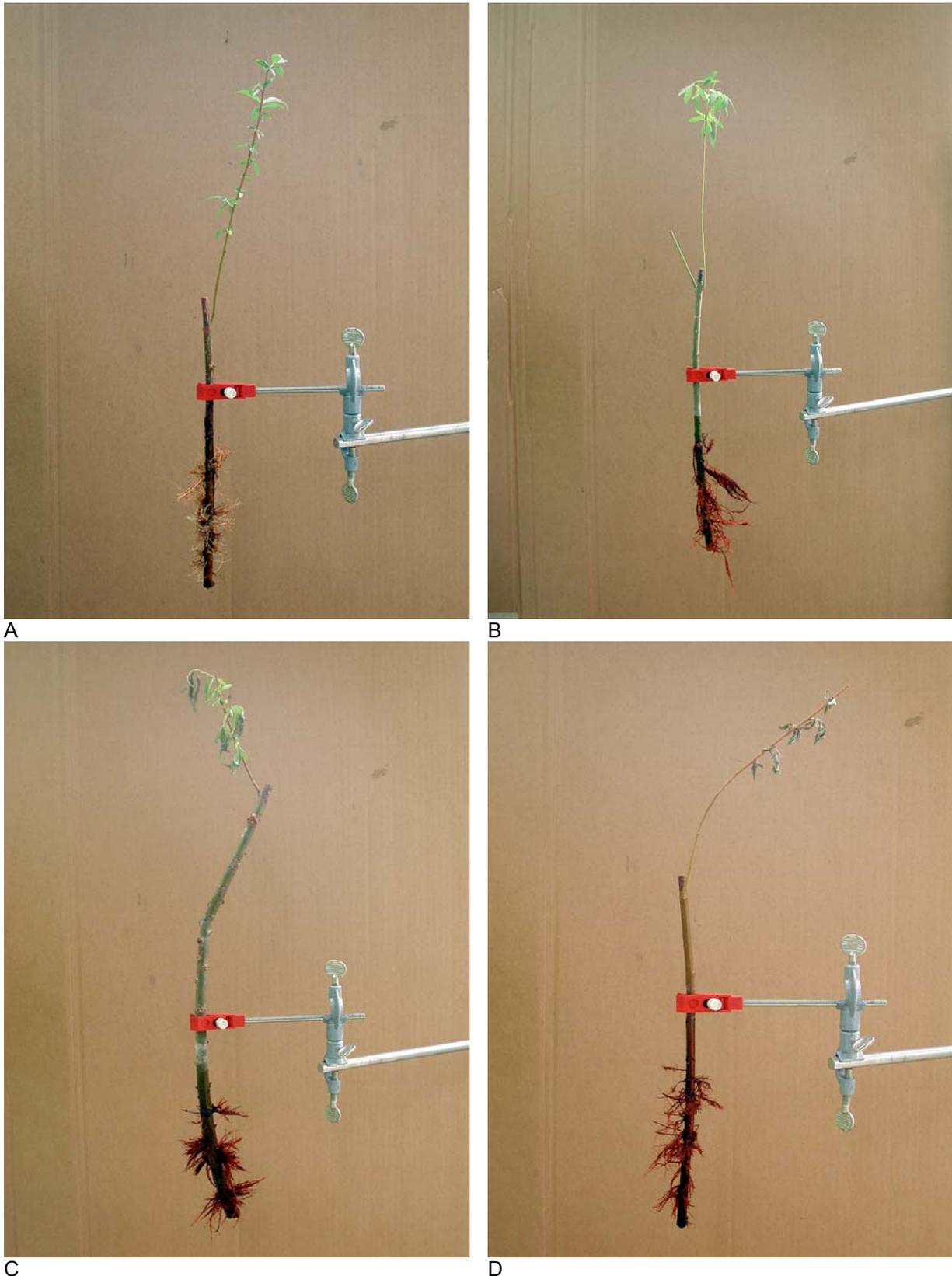
Die insgesamt 40 Versuchsbehälter wurden im Abstand von 12 Stunden kontrolliert und sichtbare Veränderungen an den eingesetzten Versuchspflanzen dokumentiert.

Nach wenigen Stunden zeigten sich in den Reagenzgläsern deutliche Verfärbungen. Dabei handelte es sich um aus den Pflanzen herausgelöste Gerbstoffe. Sprosse und Blätter der Pflanzen zeigten denselben Habitus wie zum Zeitpunkt des Einsetzens.

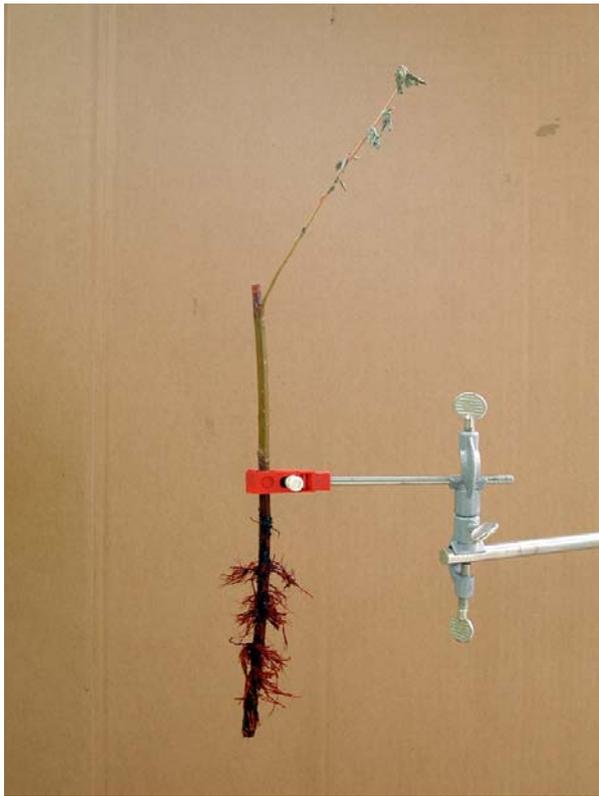
Nach einer Versuchsdauer von 24 Stunden zeigten alle Versuchspflanzen ein unverändertes Erscheinungsbild.

Nach einer Standzeit von 36 Stunden traten vornehmlich bei den Pflanzen, die in Reagenzgläsern mit hohen Konzentrationslösungen (1:2,5; 1:5; 1:10 und 1:25) kultiviert wurden, erste Mangelerscheinungen in Form welker Blätter auf. Zudem zeigten die Sprosse z.T. großflächige Nekrosen (dunkle Verfärbungen).

Nach 48 Stunden konnte bei allen mit dem Detergens in Verbindung stehenden Pflanzen Veränderungen im Aussehen festgestellt werden (Abb. 49).



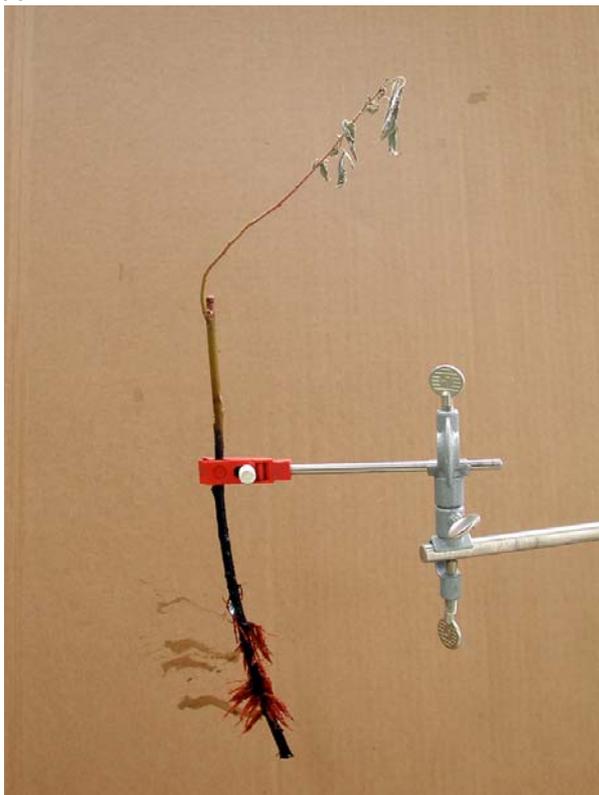
**Abb. 48:** In-Vitro-Versuche zur chemischen Wurzelentfernung, Habitus der Versuchspflanzen nach 48 h. **A** Kontrolle, ohne Sodasil; **B** Sodasil 1:250 verd.; **C** Sodasil 1:100 verd.; **D** Sodasil 1:50 verd.



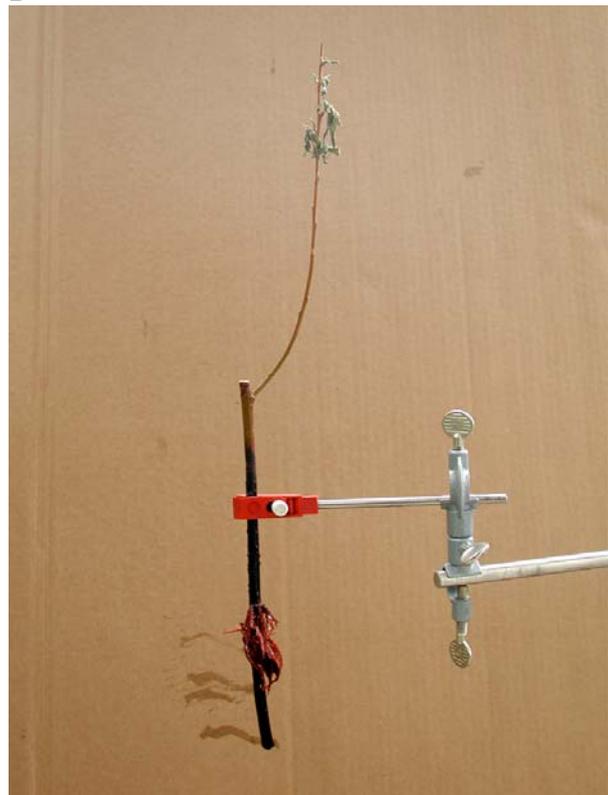
A



B



C

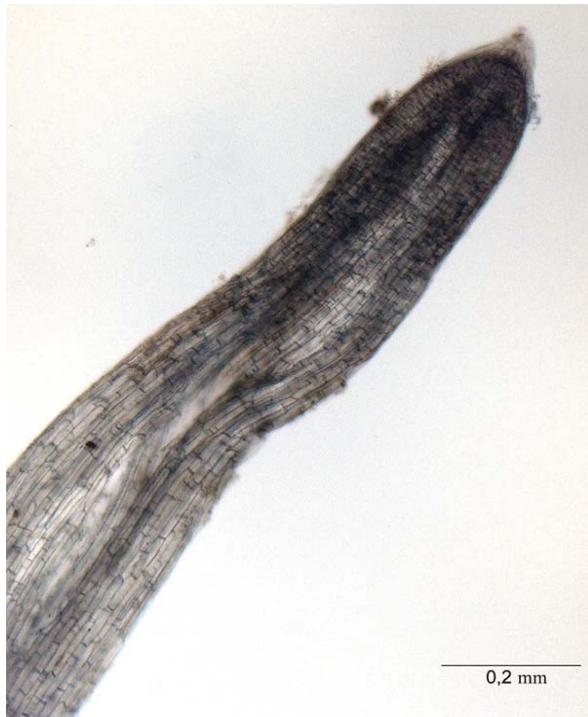


D

**Abb. 49:** In-Vitro-Versuche zur chemischen Wurzelentfernung, Habitus der Versuchspflanzen nach 48 h. **E** Sodosil 1:25 verd.; **F** Sodosil 1:10 verd.; **G** Sodosil 1:5 verd.; **H** 1:2,5 verd.

Da die Beobachtung und Dokumentation der Wurzeln aufgrund der Verfärbungen der Lösungen nicht möglich war, wurde der Versuchsansatz an dieser Stelle

abgebrochen. Um den Effekt, den der alkalische Reiniger auf die Wurzeln ausübt darzustellen, wurden Wurzelproben aus den verschiedenen Versuchsbehältern entnommen und von diesen Quetschpräparate angefertigt (Abb. 50 A bis D und Abb. 51 A bis D).



A



B



C



D

**Abb. 50:** Quetschpräparate von Wurzelspitzen der Versuchspflanzen. Nach Einwirkung des Detergens in unterschiedlichen Verdünnungen. **A** Kontrolle, ohne Sodasil; **B** Sodasil 1:250 verd.; **C** Sodasil 1:100 verd.; **D** Sodasil 1:50 verd.



**Abb. 51:** Quetschpräparate von Wurzelspitzen der Versuchspflanzen. Nach der Einwirkung des Detergens in unterschiedlichen Verdünnungen. **A** Sodosil 1:25 verd.; **B** Sodosil 1:10 verd.; **C** Sodosil 1:5 verd.; **D** Sodosil 1:2,5 verd.

Die Auswertung der Proben ergab folgendes Bild. Die Wurzeln der Kontrollpflanzen sind vollständig intakt. Der Gewebeverband bleibt als Ganzes bestehen, in Folge der Probenaufbereitung ist der Wurzelkörper lokal der Länge nach aufgerissen.

Die Wurzeln der mit dem Detergens in Kontakt stehenden Versuchspflanzen zeigen Deformationen der Wurzelspitzen, bedingt durch den Verlust von Gerbstoffen, Verblassungen und die Auflösung ganzer Zellverbände. Die fortschreitende Mazeration der Wurzelgewebe korreliert dabei mit der aufsteigenden Konzentration der Lösungen. Mit einem ansteigenden Gehalt an SODOSIL® zeigen die Proben eine verstärkte Degeneration.

Die in Tabelle 12 aufgeführten Produkte blockieren zwar pflanzliche Synthesewege, sind jedoch nicht in der Lage pflanzliche Gewebe aufzulösen. Nach deren Einsatz müssen daher die im Rohr verbliebenen Wurzeln maschinell entfernt werden.

Die hohe Regenerationsfähigkeit von pflanzlichen Geweben verhindert einen nachhaltigen Effekt maschinell durchgeführter Entfernungsmethoden. Das relativ saubere Abtrennen einer Wurzel an der Innenwand eines Rohres hat zur Folge, dass sich die Wurzel noch im Rohr befindet (Muffenspalt) und dass sich aus dem intakten Wurzelgewebe nahe der Schnittstelle vermehrt neue Wurzeln bilden können. Im Gegensatz dazu kann der Einsatz eines geeigneten Detergens, welches in der Lage ist Zellverbände aufzulösen und die Degeneration der Wurzeln bis außerhalb des Muffenspaltes bewirkt, eine längerfristige und materialschonende Lösung darstellen.

## 5.2 Mechanische Wurzelentfernung

Während Wurzeleinwuchs in Deutschland nur selten mit chemischen Verfahren beseitigt wird, kommen mechanische Verfahren häufig im Rahmen des Netzbetriebs zum Einsatz. Da die in den Gemeinden Otzenrath, Spenrath und Holz (vgl. Kapitel 4) inspizierten und aufgegrabenen Leitungen nur selten von Wurzeleinwuchs betroffen waren, wurden die mechanischen Verfahren alternativ in noch betriebenen Kanalnetzen einer anderen Gemeinde sowie an eigens errichteten Prüfaufbauten im IKT eingesetzt.

### 5.2.1 Verfahren zur mechanischen Wurzelentfernung

In begehbaren Kanälen kann eine Wurzelentfernung manuell durchgeführt werden. Die eingewachsenen Wurzeln werden unter Einsatz von Hilfsmitteln (Meißel, Messer oder Spaten) entfernt. In nicht-begehbaren Kanälen kommen mechanische Verfahren zum Einsatz (vgl. [22]).

Spezialgeräte bzw. schlagende Geräte zur Beseitigung von Wurzeln oder Inkrustationen sind Kettenschleudern, hydraulische Wurzelschneider und „automatische Schlag-Bohrdüsen“.

Eine **Kettenschleuder** besteht aus Führungsschlitten, Kettenschleuderkopf und Ketten. Der Kettenschleuderkopf mit den daran befestigten Ketten kann hydraulisch (Hochdruckdüse) oder mechanisch (Motor) angetrieben werden. Die Wurzeln werden durch die mit hoher Geschwindigkeit rotierenden Ketten zerschnitten (Abb. 52). Bei dem Einsatz einer Kettenschleuder beim IKT-Warentest „Hausanschlusstutzen“ [23] entstanden große Schäden an Kanalrohren und Anschlussstutzen. Das Verfahren ist kostengünstig. Der Aufwand bei der Durchführung ist mit dem der Kanalreinigung vergleichbar.



Abb. 52: Kettenschleuder zur Beseitigung von Wurzelschäden.

**Mechanisch betriebene Wurzelschneider** benutzen als Antrieb ein Aggregat, das das Werkzeug mit Hilfe einer Spirale antreibt. Der eigentliche Schneidvorgang wird dabei durch Vorrichtungen ausgeführt, die während des Arbeitsvorganges der inneren Rohrwandung anliegen und dabei rotieren.



Abb. 53: Mechanischer Wurzelschneider zur Beseitigung von Wurzelschäden.

**Hydraulische Wurzelschneider** sind ähnlich wie Kettenschleudern aufgebaut. Anstelle von Ketten sind sie mit Schneidwerkzeugen ausgestattet, die durch eine schnelle Rotation die Wurzeln an der Rohrwandung abschneiden (Abb. 54). Das Antriebsprinzip, anfallende Kosten und Aufwand zur Durchführung sind vergleichbar.

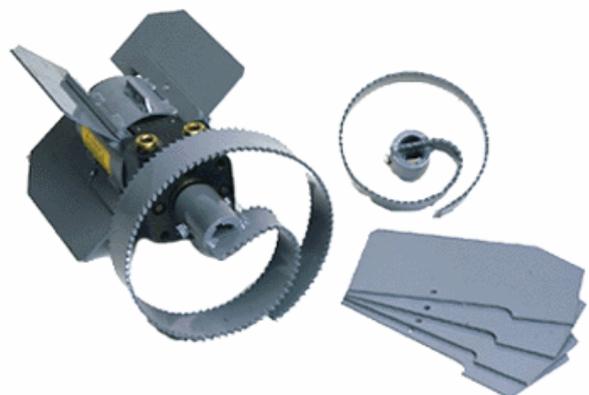


Abb. 54: Hydraulischer Wurzelschneider zur Beseitigung von Wurzelschäden.

**Automatische Schlag - Bohrdüsen** werden zur Beseitigung von Verstopfungen und Wurzeleinwüchsen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1000 verwendet. Vor einem Führungsschlitten wird durch Wasserhochdruck ein mit stählernen Sägemessern bestückter Bohrkopf in drehende und schlagende Bewegung versetzt (Abb. 55). Der Bohrkopf muss so gewählt werden, dass er bis kurz vor die Rohrwandung reicht, um so die Wurzeln knapp abschneiden zu können. Das Verfahren ist kostengünstig. Der Aufwand bei der Durchführung ist mit dem der Kanalreinigung vergleichbar.

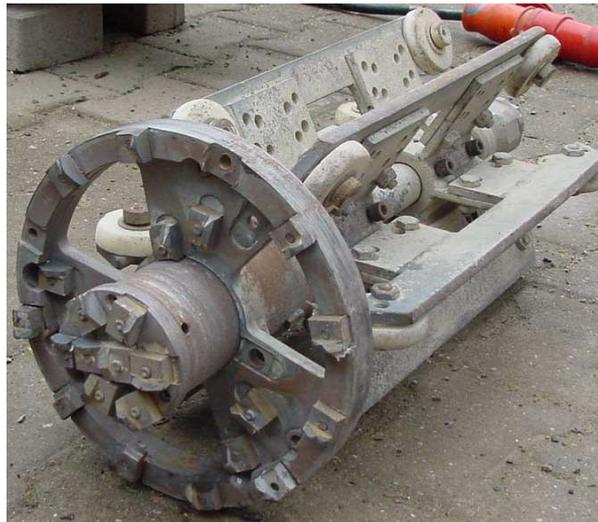


Abb. 55: Schlag-Bohrdüse

Daneben kann die Wurzelbeseitigung auch mit Schneidgeräten ausgeführt werden. Dabei werden die Wurzeln mittels Wasserstrahlen oder Schneiden abgeschnitten.

Bei **Hochdruckwasserstrahl – Schneidegeräte** (vgl. Abb. 56) werden (rotierende) Hochdruckdüsen verwendet, um eingewachsene Wurzeln mit Wasserhochdruck zu zerschneiden. Große Schäden an Kanalrohren und Kanalbauteilen können bei diesem Verfahren durch die Einstellung des Wasserdruckes vermieden werden. Das Verfahren ist kostengünstig. Der Aufwand bei der Durchführung ist mit dem der Kanalreinigung vergleichbar.

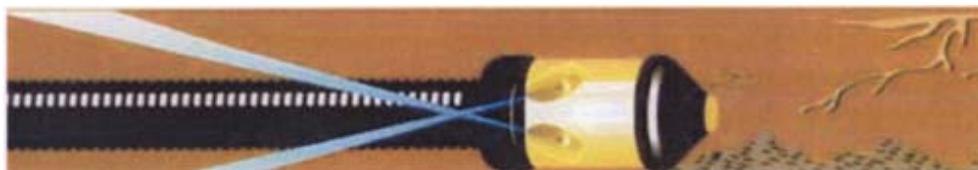


Abb. 56: Spezielle Hochdruckdüse zur Wurzelentfernung.

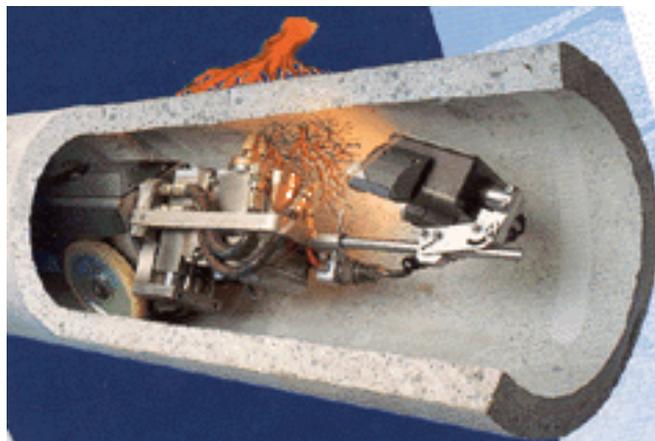
**Schneidkörbe** können mit hoher Kraft über eine Winde durch den Kanal gezogen werden, um Wurzeln abzuscheren. Die Windenzugseile können mit einer Hochdruckdüse eingespült werden.

Bei **Rohrsägerobotern** wird ein Sägeschwert zum Schneiden der Wurzeln eingesetzt, das Vorwärts- Rückwärtsbewegungen unter gleichzeitiger Drehbewegung ausführt. Das Sägeschwert wird mit Wasser benetzt, damit es gekühlt und gereinigt wird. Das Gerät muss vor der Schadensstelle verspannt werden. Über die integrierte

TV – Kamera kann die Positionierung, der Schneideprozess und nachträglich die Schnittstellen begutachtet werden.

Bei Einsatz von Robotertechnik können auch mehrere Aufgaben durch den Einsatz eines Werkzeuges erfüllt werden. Dabei werden Verfahren eingesetzt, welche sowohl das Entfernen der Wurzeln als auch eine Kontrolle der laufenden Arbeiten leisten können.

**Fräsroboter** werden auf einem Fahrwagen ferngesteuert durch das Kanalrohr gefahren. Der rotierende Fräskopf kann unter Kamerabeobachtung an die entsprechende Stelle gebracht werden, so dass die Wurzeln passgenau abgefräst werden. Bei einigen Modellen kann der Durchmesser des Fräskopfes ferngesteuert verstellt und somit den Gegebenheiten im Kanalrohr angepasst werden (Abb. 57).



**Abb. 57:** Fräsroboter zur Beseitigung von Wurzeleinwüchsen. Die Wurzeln werden unter Beobachtung mit einem schwenkbaren Fräskopf mit einer Drehzahl von bis zu  $5.400 \text{ min}^{-1}$  beseitigt.

### 5.2.2 Wurzelentfernung im Kanalnetz (In-Situ-Untersuchungen)

Je nach Position und Struktur (Dichte) der vorhandenen Wurzelpolster kommen unterschiedliche Werkzeuge zum Einsatz. Im vorliegenden Fall wurde ein Fräsroboter mit auswechselbaren Fräsköpfen in die Haltungen eingebracht, mit dem die Wurzeln unter Kamerabeobachtung entfernt werden können. Die Werkzeuge sind an einem schwenkbaren Arm befestigt, der bei den Arbeiten an den Einmündungsbereich herangeführt wird. (Abb. 58 bis Abb. 61)



Abb. 58: Einbringen des Fräsroboters zur Wurzelentfernung in einen Schacht des Hauptkanals in der Schermebecker Straße in Raesfeld.

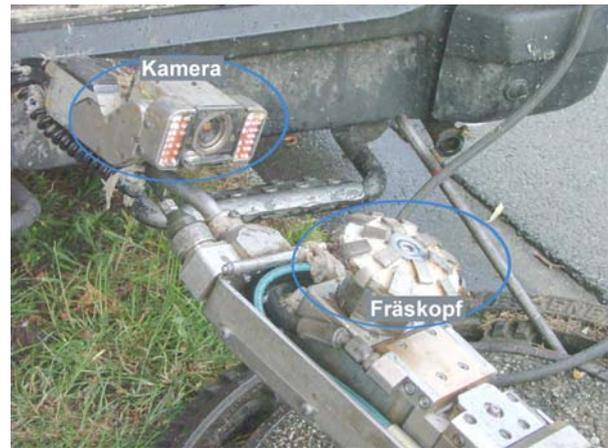


Abb. 59: Der Fräsroboter besitzt zur visuellen Kontrolle neben dem Fräskopf eine Kamera.

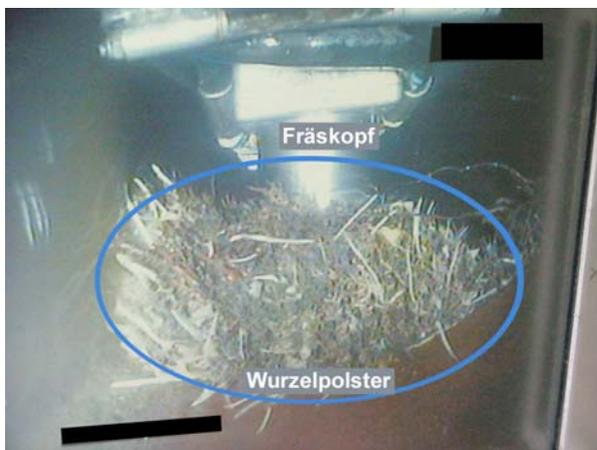


Abb. 60: Ausfräsen eines Wurzelpolsters unter Kamerabeobachtung im Bereich einer Muffe. Online-Bild der Kamera (vgl. Abb. 59)

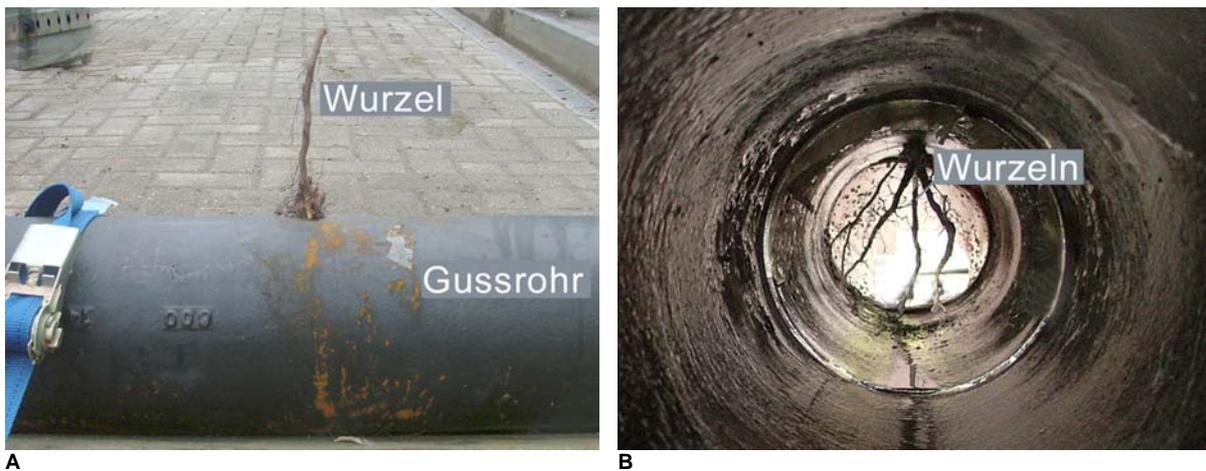


Abb. 61: Zur Entfernung von Wurzelpolstern im Einmündungsbereich der Anschlussleitungen (Abzweige) wurde ein Fräskopf mit einer Verlängerung eingesetzt.

Für die Fräsarbeiten in leicht-zugänglichen Bereichen, wie z.B. Rohrverbindungen des Hauptkanals, wurde ein scheibenförmiger, flacher Fräskopf verwendet (vgl. Abb. 59 und Abb. 60). Dieses Werkzeug erlaubt es, eingewachsene Wurzeln großflächig zu entfernen. Für die Arbeiten in den Einmündungsbereichen wurde jeweils ein Fräskopf mit einer Verlängerung verwendet. Dieses Gerät besitzt im Vergleich zum vorher beschriebenen, flachen Fräskopf eine größere Reichweite (Abb. 61). Mit seiner Hilfe ist es möglich, ansonsten schlechter erreichbare Wurzelpolster zu entfernen.

### 5.2.3 Wurzelentfernung an Prüfaufbauten im IKT

Zur Beurteilung der Leistung von mechanischen Verfahren zur Wurzelentfernung wurde ein Versuchsaufbau verwendet, mit dessen Hilfe die Verfahren in praxisnaher Situation eingesetzt und die Ergebnisse beurteilt werden können. Zu diesem Zweck wurde typischer Wurzeleinwuchs basierend auf den Erfahrungen aus [1], [2], [3] und [24] in einer geeigneten Anordnungen nachgestellt. Für die Versuche wurde eine Versuchsstrecke aus duktilem Gussstahlrohr mit einem Innendurchmesser von DN 150 aufgebaut. (Abb. 62 A)



**Abb. 62:** Versuche zur mechanischen Wurzelentfernung. **A** Versuchsaufbau mit Gussrohr und applizierter Wurzel. **B** Blick in den Querschnitt der vorbereiteten Versuchsstrecke.

Der Wurzeleinwuchs wurde mit Wurzeln und Sprossabschnitten des Blutroten Hartriegel (*Cornus sanguinea* L.) simuliert. Das Pflanzenmaterial wurde in dass mit Bohrungen versehene Gussrohr appliziert, um das Vorhandensein von verholzten, mehrjährigen Wurzeln im Querschnitt der Leitung nachzustellen (Abb. 62 B).



A

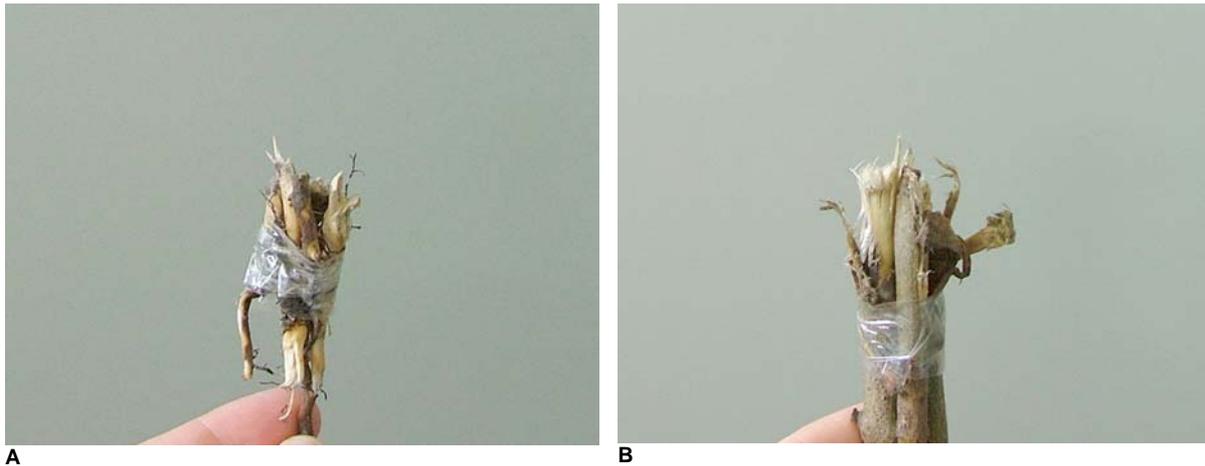
B

**Abb. 63:** Werkzeuge zur mechanischen Wurzelentfernung. **A** Kettenschleuderfräse mit hydraulischem Antrieb. **B** Wurzelfräse mit mechanischem Antrieb.

Die Versuche zur mechanischen Wurzelentfernung wurden mit einer Kettenschleuder mit hydraulischem Antrieb (maximale Umdrehungsgeschwindigkeit 10.000 Umdrehungen pro Minute, Abb. 63 A) und einer Wurzelfräse, die mit Klingen und mechanischem Antrieb (maximale Umdrehungsgeschwindigkeit 500 Umdrehungen pro Minute, Abb. 63 B) ausgestattet ist, durchgeführt.

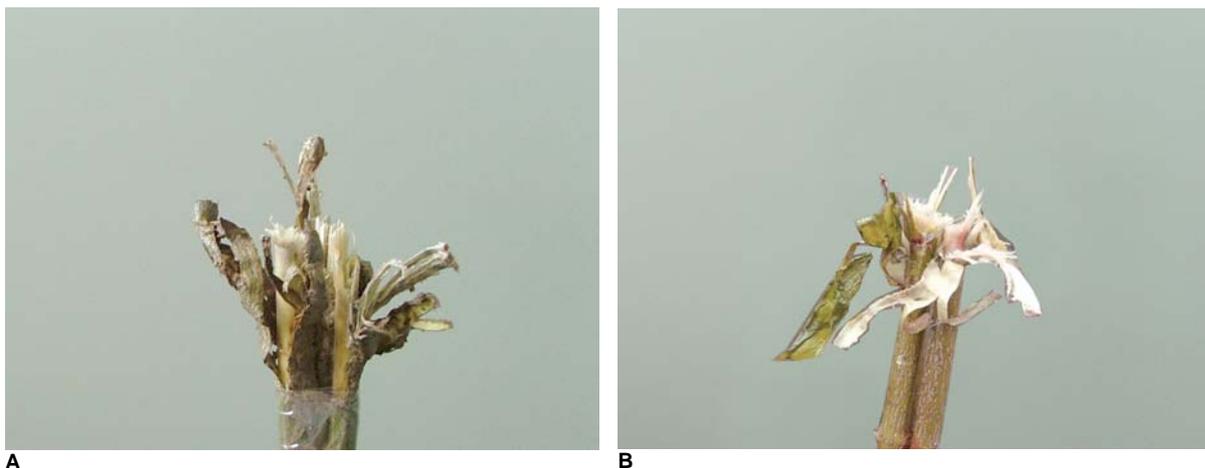
Nach einer Wurzelentfernung erfolgt der Neuaustrieb von Wurzeln stärker, wenn die verbleibenden Schnittflächen glatt beschnitten sind. Glatte Schnittflächen mit vergleichsweise kleiner Oberfläche hemmen das Eindringen von Verunreinigungen aus dem Kanal. Abgeschlagene oder abgerissene Schnittflächen fördern über das Eindringen von Schadstoffen aus dem Kanal Schädigungen an den Wurzeln, die einen Neuaustrieb hemmen können, da über die größere Oberfläche schneller Keime eindringen können. Die Nachhaltigkeit von Verfahren zur Wurzelentfernung kann von den eingesetzten Werkzeugen abhängen. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wird Struktur und Oberfläche der resultierenden Schnittflächen an den Enden des verwendeten Pflanzenmaterials im Hinblick auf Anregung eines Neuaustriebes beurteilt.

Die Untersuchungen zeigten im Ergebnis, dass das Entfernen von Wurzeln mit beiden untersuchten Verfahren möglich ist. Die applizierten Wurzeln und Sprossabschnitte ließen sich in allen Fällen durch die hydraulisch angetriebene Kettenschleuder, wie auch durch die mechanisch angetriebene Wurzelfräse entfernen (vgl. Abb. 65 A, B und Abb. 64 A, B). Sichtbare Veränderungen am verwendeten Rohrmaterial aus duktilem Gussstahl traten nicht auf.



**Abb. 64:** Ergebnisse der Versuche zur mechanischen Wurzelentfernung. **A** Pflanzenmaterial: Wurzeln, Werkzeug: Wurzelfräse mit Klingen **B** Pflanzenmaterial: Wurzeln, Werkzeug: Wurzelfräse mit Ketten.

Darüber hinaus ist als Resultat der mechanischen Wurzelentfernung festzuhalten, dass kein deutlich erkennbarer Zusammenhang zwischen der Struktur der verbleibenden Wurzelenden und dem eingesetzten Werkzeug besteht. Sowohl bei Verwendung der Wurzelfräse mit Ketten, als auch bei Verwendung der Wurzelfräse mit Klingen wird das Pflanzenmaterial stumpf abgetrennt.



**Abb. 65:** Ergebnisse der Versuche zur mechanischen Wurzelentfernung. **A** Pflanzenmaterial: Spross, Werkzeug: Wurzelfräse mit Klingen **B** Pflanzenmaterial: Spross, Werkzeug: Wurzelfräse mit Ketten.

Bei Verwendung von Wurzeln (vgl. Abb. 65 A und Abb. 64 A) und Sprossabschnitten (vgl. Abb. 65 B und Abb. 64 B) bleiben glatte Schnitte aus, sondern es verbleiben beim jeweiligen Einsatz beider Werkzeuge Schnittflächen mit einer vergleichsweise großen Oberfläche, die ein Eindringen von Keimen fördern können.

### 5.3 Schlussfolgerungen

Sowohl die mechanische als auch die chemische Wurzelentfernung sind – richtig angewendet – geeignet, Abflusshindernisse durch Wurzeleinwuchs zu entfernen. Für beide Vorgehensweisen lassen sich jedoch Vor- und Nachteile anführen, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind (Tabelle 14):

**Tabelle 14: Auswahlkriterien für die Auswahl von Verfahren zur Wurzelentfernung**

	Chemische Wurzelentfernung	Mechanische Wurzelentfernung
Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugänglichkeit nur bedingt erforderlich</li> <li>• Keine Beschädigung an den üblichen Rohrmaterialien (z.B. Keramik, Kunststoff, Beton) zu erwarten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugänglichkeit für Werkzeuge erforderlich</li> <li>• Keine Umweltbeeinträchtigung möglich</li> </ul>
Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umweltbeeinträchtigung durch Agenzien möglich</li> <li>• Mögliche Probleme beim Absperren unbekannter Netzen</li> <li>• In der Regel Einwirkungsdauer und nachträgliche Reinigung notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkzeuge nur eingeschränkt flexibel</li> <li>• Zugänglichkeit für Werkzeuge erforderlich</li> <li>• Mögliche Beschädigungen am Rohrmaterial</li> </ul>

Die Auswahlkriterien sind auf das jeweilige Abwassernetz abzustimmen. Für die Anwendung chemischer Verfahren zur Wurzelentfernung sind z.B. alle seitlichen Zuläufe abzusperrern. Im Fall stark verzweigter Netze können einzelne Zuläufe übersehen werden und dadurch möglicher Weise Umweltbeeinträchtigungen durch das Austreten der verwendeten Agenzien entstehen. Die chemischen Agenzien zur Wurzelentfernung werden zum Teil aufgeschäumt und in der Regel mit Hilfe von Pumpen in die Leitung eingebracht, so dass sie sich dort gleichmäßig verteilen und dadurch alle Abschnitte einer Leitung, wie z.B. Einmündungsbereiche und Rohrverbindungen erreichen können. Jedoch ist nach dem Einbringen eine Einwirkzeit erforderlich, während der die verwendeten Agenzien ihre Wirkung entfalten können. Es ist zu erwarten, dass die heute eingesetzten Rohrwerkstoffe Keramik, Beton und Kunststoffe, wie z.B. PCV-U, PE oder PP, gegen die in Tabelle 12 aufgeführten Agenzien beständig sind. Entsprechende Nachweise liegen i.d.R. allerdings nicht vor.

Bei der mechanischen Wurzelentfernung besteht, abhängig vom Rohrwerkstoff, die Gefahr der Beschädigung der Leitung durch den Einsatz der Werkzeuge. Für das Entfernen der Wurzelpolster an den unterschiedlichen Leitungsabschnitten, wie z.B. in Einmündungsbereichen und Rohrverbindungen ist zum Teil ein Werkzeugwechsel notwendig. Zur Entfernung von Wurzeln in den Einmündungsbereichen von Grundstücksentwässerungsleitungen werden die Werkzeuge in der Regel vom Hauptkanal aus in die angebundene Leitung eingebracht. Dabei bestimmt der Leitungsquerschnitt in vielen Fällen den erreichbaren Arbeitsraum und damit die Reichweite der verwendeten Werkzeuge.

Die Entscheidung für die Anwendung eines Verfahrens zur Wurzelentfernung ist notwendiger Weise auf die konkreten Bedingungen eines vorliegenden Schadenfalles abzustimmen.

## 6 Zusammenfassung

Die Erkenntnisse aus den Aufgrabungen an Hausanschlussleitungen bestätigen das bestehende Modell der Wurzelausbreitung und damit das Modell des Wurzeleinwuchs in Leitungen, dass im Rahmen abgeschlossener Forschungsvorhaben beschrieben wurde [1], [2]. Wurzeln werden nicht generell durch Bodenbereiche mit guter Nährstoffverfügbarkeit angezogen bzw. gelenkt. Sondern sie wachsen, wie es die jeweiligen Bodenbedingungen am Standort eines Baumes in Bezug auf Porosität zulassen. Dabei sind die verfügbaren Poren zwischen den Bodenpartikeln ausschlaggebend, die einen Gasaustausch zwischen Wurzeln und der Atmosphäre ermöglichen, deren Gesamtheit jedoch den Raum für das Wachstum der Wurzeln darstellt.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass ein Großteil der vorgefundenen Bettungs- bzw. Verfüllmaterialien von Leitungen durchwurzelt waren (z.B. Abb. 20 B oder Abb. 21 A). Wurzeln finden hier attraktive Bedingungen. Faktoren, wie Porosität bzw. Durchlüftung der Bettungs- bzw. Verfüllmaterialien haben eine besondere Bedeutung für das Wurzelwachstum. Neben der grundsätzlichen Attraktivität einiger Bettungs- und Verfüllmaterialien, die sich aus ihrer Zusammensetzung ergibt, existieren in direkter Nähe der Leitung gering verdichtete Bodenabschnitte. Durch das Erstellen von Entwässerungsanlagen in offener Bauweise verbleiben im Leitungsgraben, besonders im Zwickelbereich, Bereiche geringer Verdichtung. Wurzeln können sich hier besser ausbreiten als in der Umgebung (z.B. Abb. 43 A und B). Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte das in [1] aufgestellte Dichtefallenmodell bestätigt werden.

Darüber hinaus war festzustellen, dass Grenzen unterschiedlicher Bodenbereiche, wie auch die Oberfläche von unterirdischen Bauteilen, wie etwa Leitungen oder Schächten eine besondere Attraktivität für Wurzeln besitzen. Wurzeln wachsen in einigen der beobachteten Fällen in direktem Kontakt zur Oberfläche von Leitungen oder Schächten. (z.B. Abb. 13, Abb. 15 A und B Abb. 16 A und B)

Wurzeln sind in der Lage, auf den Kontakt zu unterirdischen Bauteilen, wie Leitungen zu reagieren. Nachdem sie eine Leitung erreicht haben, reagieren sie auf den Kontakt und vergrößern in einigen Fällen ihre Kontaktfläche zu den Bodenkörpern durch Verzweigung oder Veränderungen ihrer Wuchsform. (vgl. Abb. 17) Der Einwuchs in die Leitung erfolgt meist als Folge von Formveränderungen bzw. Verzweigungen von Wurzeln.

Die Auswahl von Verfahren zur Beseitigung von Wurzeleinwuchs hat die Randbedingungen der jeweiligen Einsatzsituation zu berücksichtigen. Bei der

mechanischen Wurzelentfernung sind, abhängig vom jeweiligen Rohrwerkstoff, Beschädigungen an den betreffenden Leitungen, nicht ausgeschlossen, so dass vor bzw. nach Einsatz der Verfahren in einigen Fällen eine Zustanderfassung notwendig ist.

Die Ergebnisse der chemischen Wurzelentfernung (vgl. 5.1) belegen den schädigenden Einfluss eines stark alkalischen Reinigers auf Wurzelgewebe. Die fortschreitende Mazeration der Wurzeln ermöglicht, bei entsprechender Wirkungsdauer, die Entfernung von in Leitungssystemen eingewachsenen Wurzeln und erlaubt den Verzicht maschinell durchgeführter Entfernungsmethoden, die das Rohrmaterial in hohem Maße mechanisch belasten. Allerdings sind die übrigen aus der Recherche bekannten Verfahren aufgrund möglicher Gefährdungen des Bodens und Grundwassers nicht für den Einsatz in Deutschland zugelassen.

Die Anwendung von chemischen Verfahren zur Wurzenentfernung erfordert darüber hinaus eine Überprüfung der Nachhaltigkeit der beobachteten Kurzzeitreaktionen, diese sind durch Langzeitversuche zu überprüfen. Diese sollten sowohl Versuche zur Regenerationsfähigkeit von Wurzeln, die durch alkalische Reiniger geschädigt wurden, als auch Versuche zur Ermittlung einer geeigneten Wirkstoffkonzentration und Wirkungsdauer umfassen. Aus den zu erwartenden Ergebnissen können möglicherweise anschließend Vorschläge für ein praxisgerechtes Verfahren zur Wurzelentfernung erarbeitet werden.

Die Aufgrabungen wurden zum Teil an Baumstandorten durchgeführt, an denen Wurzeln bei der Verlegung von Leitungen beschnitten worden sind (vgl. Kapitel 4.6, Abb. 21 A). Die Befunde haben ergeben, dass Bodenveränderungen bei Einbau der Leitung die Ausbreitung von Wurzeln im Bereich des Leitungsgrabens beeinflusst haben können. Die Wurzeln sind hier nach ihrem Rückschnitt bei Einbau der Leitung in das Bettungs- und Verfüllmaterial der Leitung gewachsen und haben sich hier stark ausgebreitet.

Bisher wurden lediglich Schadensfälle durch Wurzeleinwuchs dokumentiert, die durch die Wurzeln von Laubbäumen (Angiospermen) verursacht wurden. Daher bestand die Annahme, die Wurzeln von Nadelbäumen verfügen über strukturelle oder physiologische Eigenschaften, die zur Folge haben, dass sie nicht in Leitungen oder Schächte einwachsen. Im Rahmen der durchgeführten Aufgrabungen wurde jedoch eine beschädigte Grundstücksentwässerungsleitung aufgedeckt, bei der die eingewachsenen Wurzeln von einer Blauzeder (*Cedrus atlantica* (ENDL.) MANETTI cv. „Glauca“) stammen (vgl. Kapitel 4.9, Abb. 31, Abb. 36 A).

## 7 Literatur

- [1] STÜTZEL, TH.; BOSSELER, B.; BENNERSCHIEDT, C.; SCHMIEDENER, H.: „Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und -kanäle“, Abschlussbericht. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen; Juli 2004
- [2] BOSSELER, B.; BENNERSCHIEDT, C.: Ökologische Auswirkungen von Wurzeleinwuchs in Abwasserkanäle und –leitungen und ökonomische Maßnahmen zur Schadensvermeidung und Sanierung - Projektendbericht, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des MUNLV NRW, 2004
- [3] HÜBEN, S.; BOLLE, F.-W.: „Untersuchung der Langzeitauswirkungen von Abwasseranlagen auf den Boden“, Abschlussbericht, Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW), Dezember 2004
- [4] SITTE, P.; WEILER, E.W.; KADEREIT, J.W.; BRESINSKY, A.; KÖRNER, C.; Strasburger - Lehrbuch der Botanik; 35. Aufl.; Spektrum Verlag, Heidelberg; 2002
- [5] SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHNABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde, 14. Aufl., Enke-Verlag, 1998
- [6] HILLER, A.H., MEUSER H.: Urbane Böden; Springer Verlag Berlin, 1998
- [7] TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R.: Relative penetrating ability of different plant roots. Agron, J. 52, S.579-581, 1960
- [8] BOHNE, H.; HARTGE, K.H.: Auswirkungen der Gefügegeometrie auf den Wuchs von Getreidekeimlingen, Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 34, S. 141-144, 1982
- [9] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV), Neufassung der Abwasserverordnung vom 17. Juni 2004
- [10] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe) Vom 27. Juli 2005
- [11] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. November 1996 (BGBl. I Nr. 58 vom 18.11.1996 S. 1695)
- [12] Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen PflSchG, BGBl Im, 1986
- [13] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland, www.bvl.bund.de, 2007
- [14] KLEIN, I.-C.; Einfluß von Vegetationsfilterstreifen auf den Austrag ausgewählter Herbizidwirkstoffe mit dem Oberflächen- und Zwischenabfluß in ackerbaulich genutzten Böden einer Mittelgebirgslandschaft; Diss. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Universität Bonn, Hohe Landwirtschaftliche Fakultät, 2004

- [15] Vertrieb für Treflan, [http://www.dixondalefarms.com/site\\_map/](http://www.dixondalefarms.com/site_map/)
- [16] Vertrieb für Rootdestroyer, <http://www.hspears.com/rootdestroyer/>
- [17] Vertrieb für Reglone, [www.syngenta.com](http://www.syngenta.com)
- [18] DIN 1998: Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen, Richtlinien für die Planung; Mai 1978
- [19] BALDER, H.: Die Wurzeln der Stadtbäume, Parey-Verlag, 1998
- [20] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen, Deutsche Fassung EN 1610 – Juli 1997
- [21] Richtlinie 2001/21/EG der Kommission vom 5. März 2001 zur Änderung von Anhang I der Richtlinie 91/414/EWG des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufnahme der Wirkstoffe Amitrol, Diquat, Pyridat und Thiabendazol
- [22] Vorhabensbeschreibung „Betriebs- und Sanierungsmaßnahmen bei Wurzelschäden in öffentlichen und privaten Abwasserleitungen und –kanälen“, IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, 2005, unveröffentlicht
- [23] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: IKT-Warentest – Reparaturverfahren für Anschlussstutzen; im Auftrag und unter Beteiligung zahlreicher Netzbetreiber, Juni 2004
- [24] Gesprächsnotiz Rohrreinigungstechnik-Schiwy, Gelsenkirchen