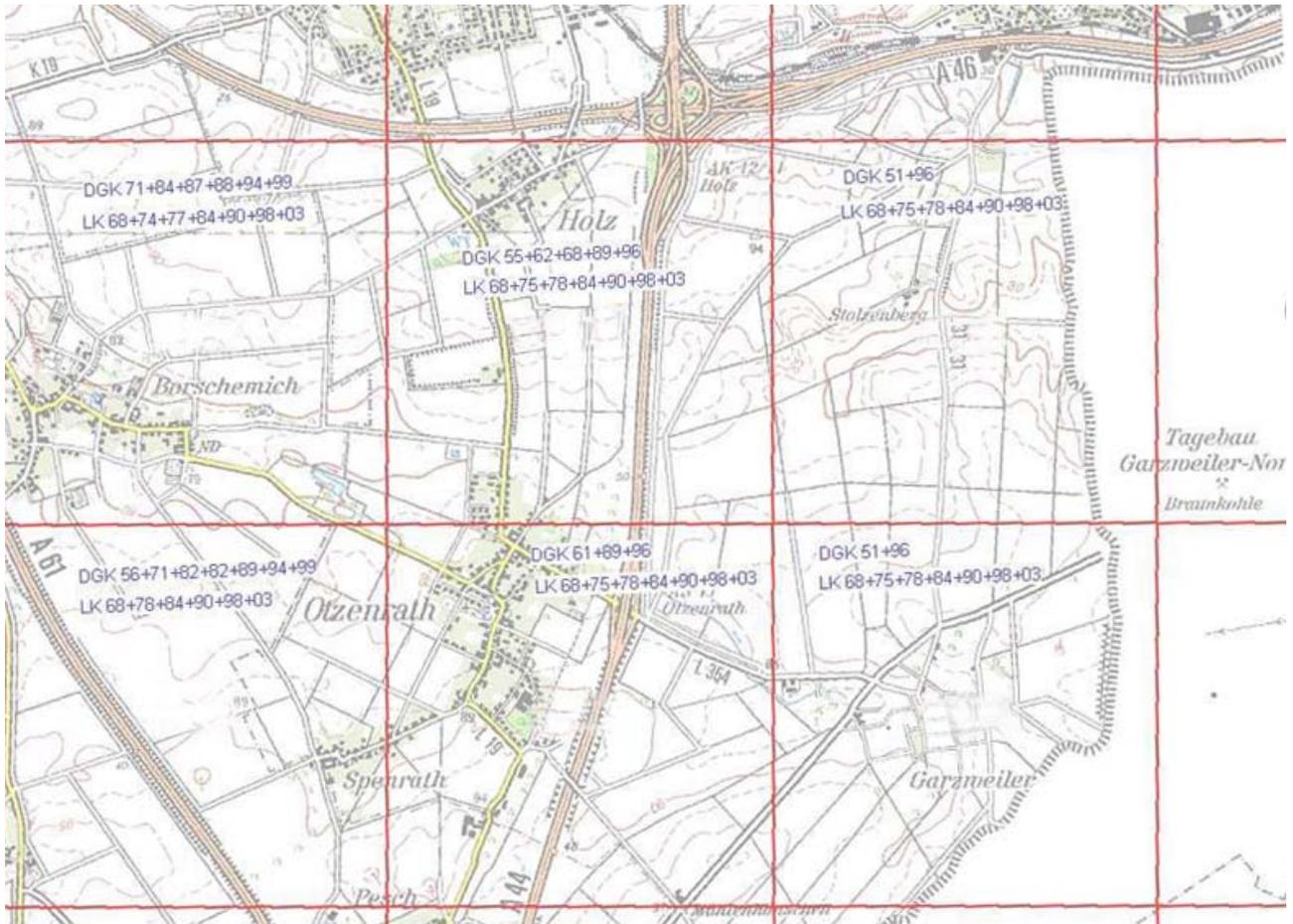


## Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle „ergänzende Feldversuche“



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

---

<b>1</b>	<b>Problem- und Zielstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Naturwissenschaftlich-Technischer Hintergrund</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>In-Situ-Untersuchungen</b> .....	<b>4</b>
3.1	Allgemeines .....	4
3.2	Untersuchungsgebiet .....	4
3.3	Identifizierung der Untersuchungsobjekte.....	5
3.4	Vorgehensweise und Ergebnisse .....	5
3.5	Schlussfolgerungen .....	9
<b>4</b>	<b>Verfahren zur Wurzelentfernung</b> .....	<b>11</b>
4.1	Chemische Wurzelentfernung.....	11
4.2	Mechanische Wurzelentfernung .....	14
4.3	Schlussfolgerungen .....	17
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>21</b>

## 1 Problem- und Zielstellung

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 Leitungsgraben 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 Leitungsgraben 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 Leitungsgraben 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. Ziel des vorliegenden Vorhabens ist es daher, 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 im Rahmen von Aufgrabungen das Wurzelwachstum im Bodenraum von Grundstücken betrachtet, deren Leitungsnetz bzw. deren Bepflanzung bereits seit mehr als 20 Jahren besteht. Darüber hinaus werden chemische und mechanische Verfahren zur Wurzelentfernung unter In-situ- und Labor-Bedingungen auf ihre Wirksamkeit und Anwendungsmöglichkeiten untersucht.

## 2 Naturwissenschaftlich-Technischer Hintergrund

**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. [3]

Das Wachstum von Wurzeln wird stark durch die Bodenstruktur beeinflusst. Wurzeln wachsen vorwiegend in Bodenbereichen, die ein ausreichendes Maß an Poren enthalten [1], [4], [5]. 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 [6]. In Böden mit einem hohen Porenanteil fällt das Wurzelwachstum generell stärker aus als in vergleichbaren Böden mit geringerem Porenanteil [7]. Grenzschichten 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.

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 [8], [9], [10], [11] und [12]. 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 [13]. Aufgrund ihrer nachteiligen Wirkung auf die Reinigungsleitung ist die Verwendung derartiger Produkte im Bereich der Bundesrepublik Deutschland allerdings nicht gestattet.

Mit einigen der laut Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit [12] zugelassenen Herbizide, wie Trifluralin (Handelsname Treflan [14], etc.), Kupfersulfat (Handelsname Rootdestroyer [15], etc.) oder Diquat (Handelsname Reglone [16], etc.), wird Wurzelentfernung in anderen Ländern durchgeführt. Diese Wirkstoffe sind im Bereich der Bundesrepublik Deutschland als wassergefährdend eingestuft.

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. [17]). Zum anderen befinden sich dort Bauwerke der Ortsentwässerung wie Abwasserkanäle, Hausanschlussleitungen und Straßeneinläufe.

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 [18]). 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.

### 3 In-Situ-Untersuchungen

#### 3.1 Allgemeines

Zur Untersuchung des Wurzelwachstums in Leitungsgräben 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 den bereits leer stehenden Anwesen gut durchgeführt werden, da die Leitungen außer Betrieb sind und bei Beschädigung durch die Untersuchungen nicht mehr instand gesetzt werden müssen.

#### 3.2 Untersuchungsgebiet

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. 1). Aufgrund des Tagebaus existiert das Autobahnkreuz Holz und ein Teil der Autobahn 44 jetzt nicht mehr.



Abb. 1: Übersicht des Untersuchungsgebiets (Alt-Otzenrath, Holz und Spenrath) [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 Spennrath vorgenommen. Beide Ortschaften verfügen zur Zeit noch über bewohnte Häuser, so dass nicht das gesamte Ortsgebiet für die Untersuchungen zur Verfügung steht.

Das Abwasser der drei Dörfer (Alt-) Otzenrath, Holz und Spennrath 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. Zur Charakterisierung der Abwasserbeschaffenheit konnte auf die Untersuchungen des Forschungsvorhabens „Untersuchung von Abwasseranlagen und deren Langzeitauswirkungen auf den Boden“ [19] zurückgegriffen werden.

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. Darunter sind jüngere Hauptterrassen des Rheins, die sich aus Mittel- und Feinkies mit Grobsand, Grobkies und Mittelsand zusammensetzen.

### 3.3 Identifizierung der Untersuchungsobjekte

Die Identifizierung geeigneter Untersuchungsobjekte erfolgte sowohl im Hinblick auf botanische als auch auf örtliche Randbedingungen. Neben der Entfernung zwischen Bäumen und Leitung sind Aspekte, wie z.B. die freizulegende Leitungslänge oder Zugänglichkeiten für Baugeräte von Bedeutung. Zu den Auswahlkriterien aus botanischer Sicht zählen: die Baumart, das Baumalter, der Standort.

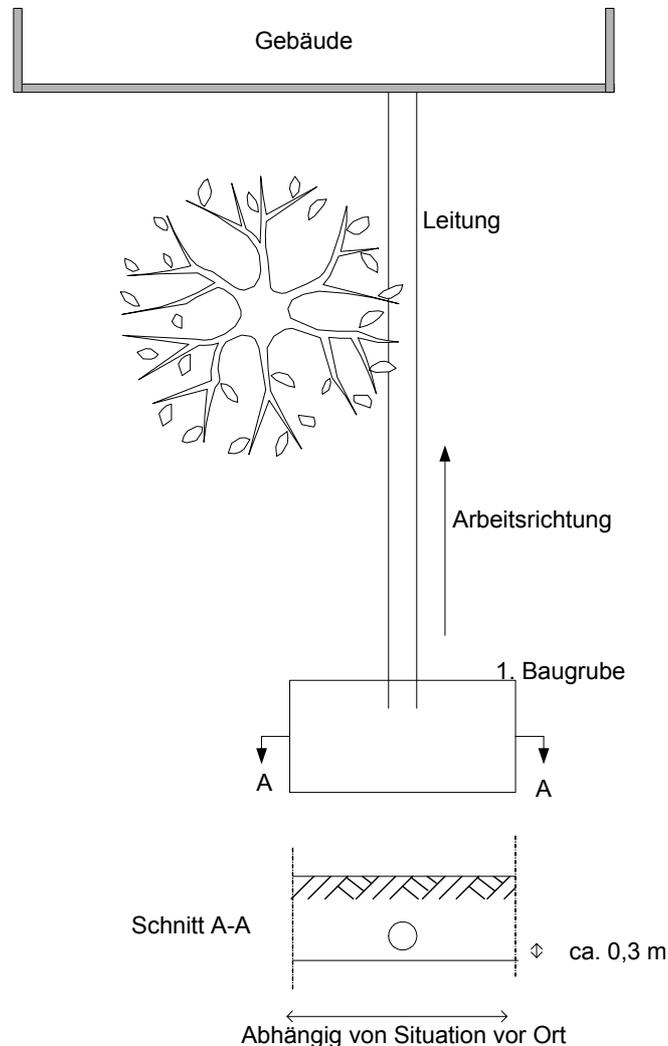
Örtliche Randbedingungen sind vor allem die Zugangsmöglichkeiten zu den Leitungen. Sind diese nicht mit schwererem Gerät erreichbar, ist eine Freilegung in der Regel nicht möglich, da der Boden zum Teil so verfestigt ist, insbesondere auch durch Wurzelwerk, dass eine Handschachtung nur bedingt möglich ist.

Unter Beachtung der o.a. aufgeführten Voraussetzungen fanden Begehungen der Örtlichkeiten statt. Der Fokus wurde dabei auf die Hausanschluss- und Grundstücksentwässerungsleitungen gelegt. Bei den 19 aus botanischer Sicht gewählten, potenziellen Untersuchungsobjekten war der Leitungsverlauf zunächst nicht klar. Dieser konnte erst durch die optische Inspektion der Leitungen festgestellt werden. Eine Eignung der Grundstücke war lediglich bei einer geringen Anzahl der potentiellen Untersuchungsobjekte gegeben, da die Leitungen nur selten im Einflussbereich eines Baumes lagen und nur in wenigen Fällen von Wurzeleinwuchs betroffen waren.

### 3.4 Vorgehensweise und Ergebnisse

Die Untersuchungen zum Wurzelwachstum an Abwasserleitungen wurden in der Regel gemäß der Schemazeichnung in Abb. 2 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. 2:** 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.

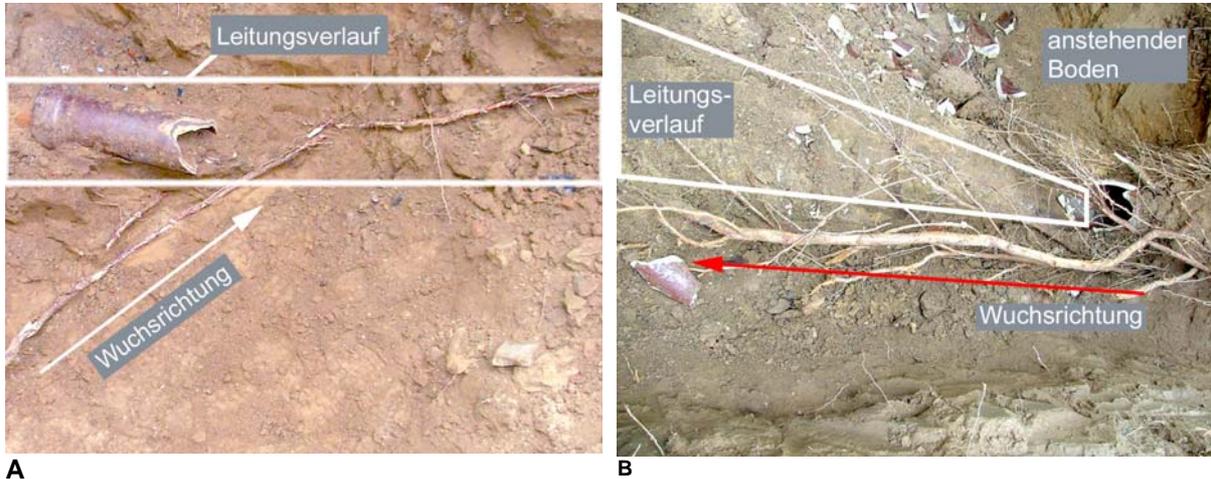
Die Aufgrabungen der oberen Bodenschichten erfolgten mit Hilfe eines Baggers, der Bereich in der Nähe Leitungen wurde von Hand freigelegt. Zur Freilegung der empfindlichen Wurzeln wurde zum Teil eine Druckluftpistole verwendet (Abb. 3). Der dabei zutage tretende Wurzelverlauf sowie die Bodenverhältnisse wurden

fotografisch dokumentiert und ausgewertet. Zusätzlich wurden Wurzel- und Bodenproben entnommen.

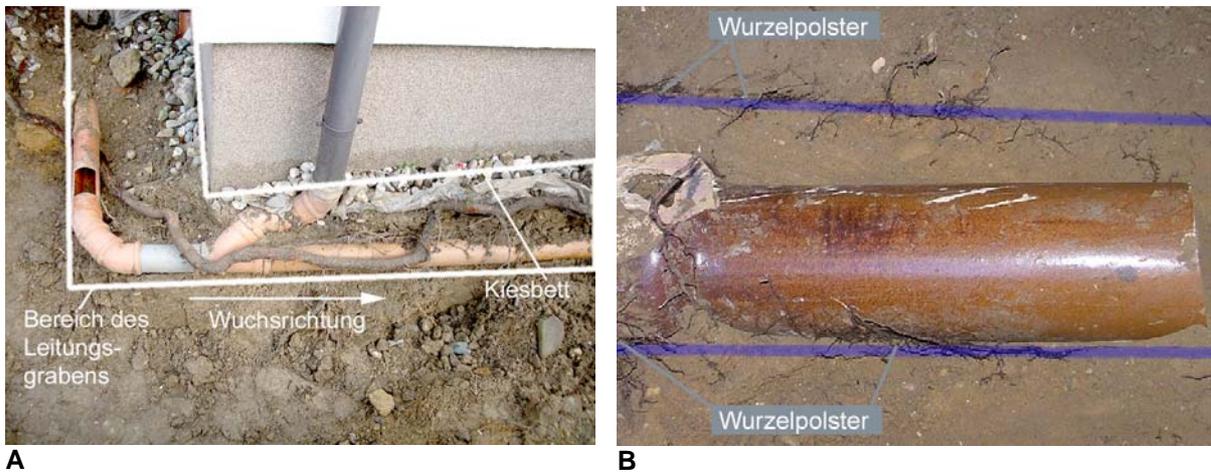


**Abb. 3:** Aufgrabungs- und Analysetechniken. **A** Aufgraben der Oberfläche und Aushub mit dem Bagger. **B** Freilegen des Leitungsbereichs von Hand. **C** Säubern der Wurzeln und der Leitungsoberfläche mit Druckluft. **D** Freigelegter Leitungsstrang.

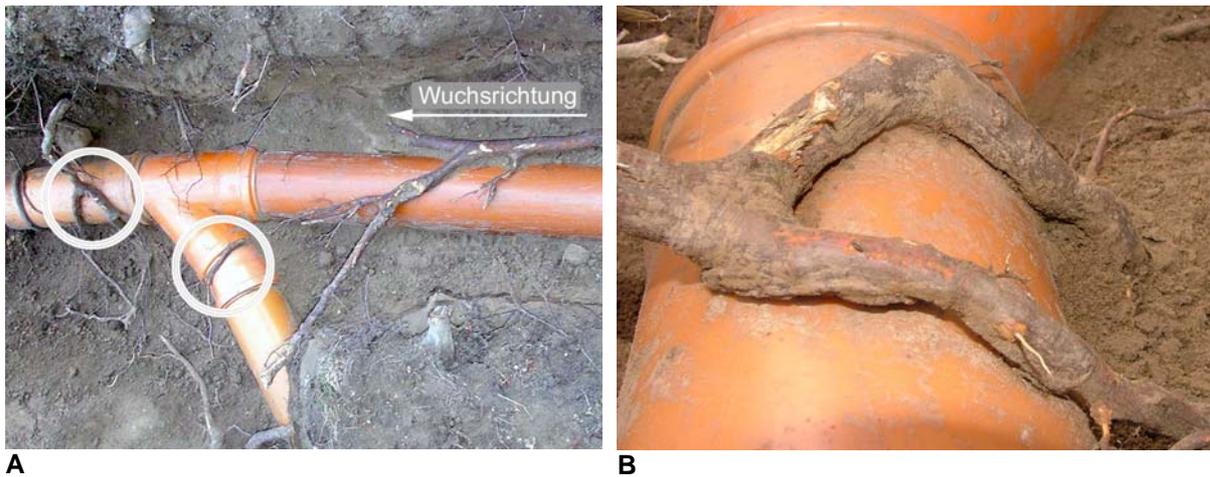
Zur Dokumentation und Analyse des Wurzelverlaufes in der Nähe von Entwässerungsleitungen wurden in 8 Fällen Aufgrabungen durchgeführt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen beispielhaft das Wurzelwachstum innerhalb des Leitungsgrabens (Abb. 4 und Abb. 5 A und B ), auf der Oberfläche der Leitung (Abb. 6 A und B) und innerhalb von Rohrverbindungen (Abb. 7).



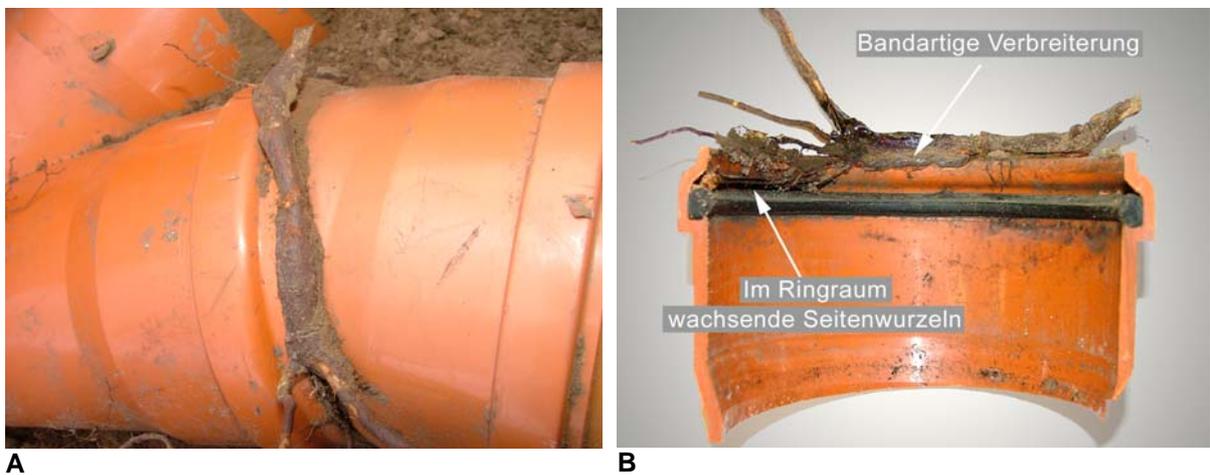
**Abb. 4:** Wurzelwachstum im Leitungsgraben **A** Eine Wurzel trifft diagonal auf den Leitungsgraben, ändert ihre Wuchsrichtung und folgt dem Leitungsverlauf. (Die Wurzel wurde bei der Aufgrabung durchtrennt, die Lage ist unverändert.). **B** Die Wurzeln sind dem Leitungsverlauf gefolgt. Im Leitungsgraben sowie im Zwickelbereich der Leitung zeigte sich erhebliches Wurzelwachstum.



**Abb. 5:** Wurzelwachstum in Leitungsgräben. **A** Ausbreitung von Wurzeln im Bereich des Leitungsgrabens. Ein Abschnitt der Leitung wurde durch ein Reparaturstück (HT-Rohr, grau) saniert. **B** Wurzeln haben sich an der Grenzschicht zwischen Leitungsgraben und umgebenden Boden ausgebreitet. Der Verlauf des Leitungsgrabens (blau markiert) wird durch Wurzelpolster abgebildet,



**Abb. 6:** Wurzelwachstum auf der Oberfläche von Leitungen, **A** Die Wurzeln sind im Bettungsmaterial parallel der Leitung gewachsen (Pfeil Wuchsrichtung). An einigen Stellen sind die Wurzeln direkt auf der äußeren Oberfläche der Leitung gewachsen (kreisförmige Markierung). **B** Detailansicht einer Kontaktzone zwischen Wurzel und Leitung. Die Wuchsform der Wurzeln wird durch die Form der Leitung beeinflusst.



**Abb. 7:** 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.

### 3.5 Schlussfolgerungen

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. 5 A, Abb. 6 A oder Abb. 7 A), im ihrem Zwickelbereich (Abb. 4 B) oder an den Grenzen des Leitungsgrabens (Abb. 5 B) gewachsen sind.

Wurzeln, die den Bereich von Leitungsgräben erreichen, folgen dem Verlauf der betreffenden Leitung. Die Wurzeln breiten sich in diesen Fällen parallel der Leitung aus (Abb. 4 A und B, Abb. 5 A). Im Bereich des Rohrzwickels liegt in der Regel eine geringere Verdichtung vor, als im umgebenden Bettungsmaterial. Wurzeln breiten sich hier besonders stark aus (Abb. 4 B).

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. 4 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. 5 B).

Grenzschichten zwischen unterschiedlichen Bodenbereichen, wie z.B. zwischen Bettungsmaterial und umgebender Boden werden durchwurzelt. Die Aufgrabungen haben ergeben, dass sich Wurzeln in solchen Grenzbereichen ausbreiten. (Abb. 5 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. Wurzeln wachsen in direkter Nähe zu Leitungen, ohne dass zwangsläufig ein Einwuchs stattfinden muss. Es ist hervorzuheben, dass die äußere Oberfläche von Leitungen oder Schächten für Wurzeln attraktiv ist, auch wenn diese nicht in Betrieb sind. 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.

Wurzeln reagieren auf den Kontakt zu unterirdischen Bauteilen, wie z.B. Leitungen. In einigen Fällen werden Rohrverbindungen von Wurzeln ringförmig umwachsen (Abb. 7 A). 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. 7 B). Wurzeln wachsen in Rohrverbindungen ein, ohne, dass sie den Leitungsinhalt erreichen.

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-Querschnittsbildern möglich.

## 4 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.

### 4.1 Chemische Wurzelentfernung

Im Rahmen einer Recherche wurden internationale Anbieter für Verfahren bzw. Produkte zur chemischen Wurzelentfernung ermittelt (Tabelle 1). Es zeigt sich, dass die in Europa und im weiteren Ausland erhältlichen Präparate zur Wurzelentfernung im Bereich der Bundesrepublik Deutschland aufgrund der geltenden Verordnungen i.d.R. nicht ohne Weiteres einsetzbar sind [8], [9], [10], [11], [12]. So wäre das anfallende Prozesswasser bei der Wurzelentfernung vollständig aufzufangen und einer entsprechenden Entsorgung zuzuführen. Die Substanz NN'-Ethylen-2,2'-Bipyridium-Dibromid wird zwar 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 [20], so dass in dem hier durchgeführten Forschungsvorhaben auch von der Verwendung dieses Produktes Abstand genommen wurde.

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

**Tabelle 1:** 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)

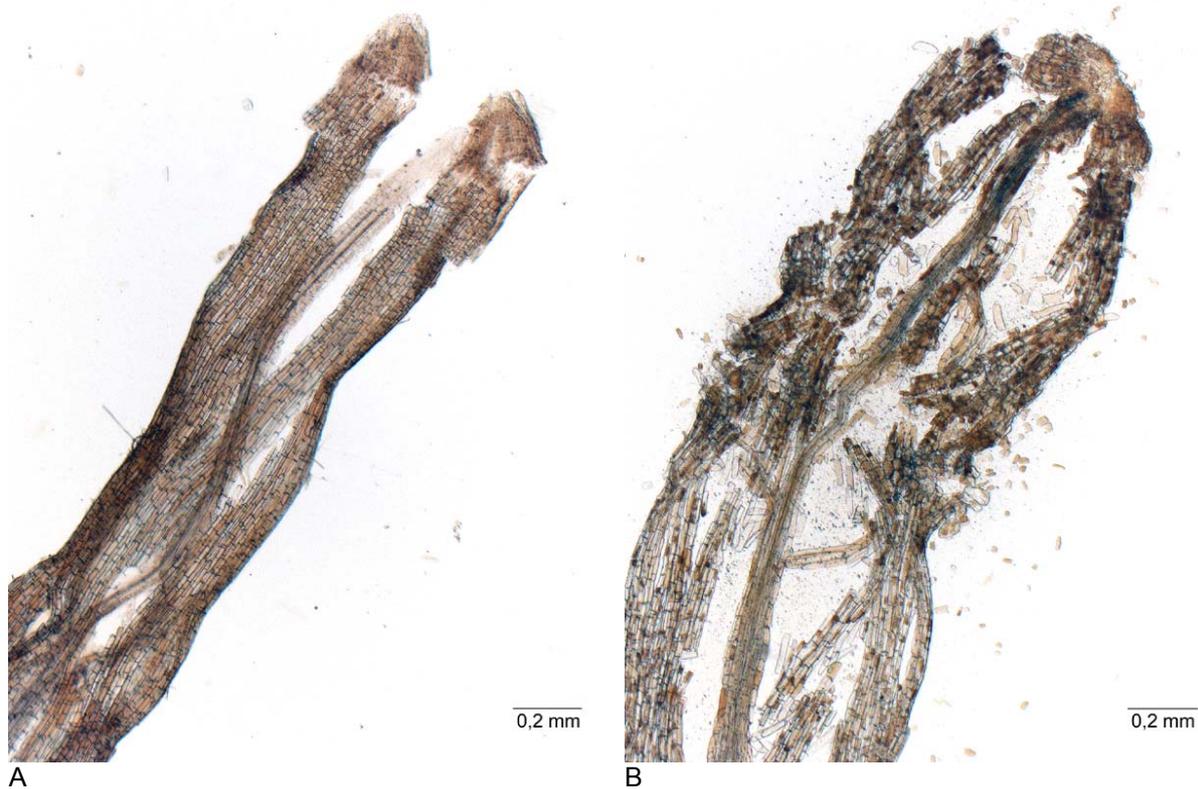
Für die Versuchsreihe wurden SODOSIL® RA08-Lösungen mit verschiedenen Konzentrationen angesetzt, in Reagenzgläser überführt und diese anschließend mit bewurzelten Weidenstecklingen versehen. Je Konzentration wurden 5 Reagenzgläser auf diese Weise vorbereitet. Zur Kontrolle wurde eine zusätzliche Reihe von 5 Pflanzen mit eingefülltem Leitungswasser aufgestellt.



**Abb. 8:** Versuchsaufbau zur Ermittlung des Erfolges von Verfahren zur chemischen Wurzelentfernung.

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 Mangelercheinungen 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. 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. 9 A, B).



**Abb. 9:** Quetschpräparate von Wurzelspitzen der Versuchspflanzen. **A** Kontrollversuch, ohne Detergens. **B** Nach Einwirkung des Detergens in einer Verdünnungen von 1:2,5. Die Zellstrukturen wurden durch die Einwirkung des Detergens zerstört.

Die Wurzeln der mit dem Detergens in Kontakt stehenden Versuchspflanzen zeigten dabei 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.

#### 4.2 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 3) inspizierten und aufgegebenen 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.

Je nach Position und Struktur (Dichte) der vorhandenen Wurzelpolster kommen unterschiedliche Werkzeuge zum Einsatz. Im vorliegenden Fall wurde in situ 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. 10 bis Abb. 13)



Abb. 10: Einbringen des Fräsroboters zur Wurzelentfernung in einen Schacht des Hauptkanals in der Schermbecker Straße in Raesfeld.

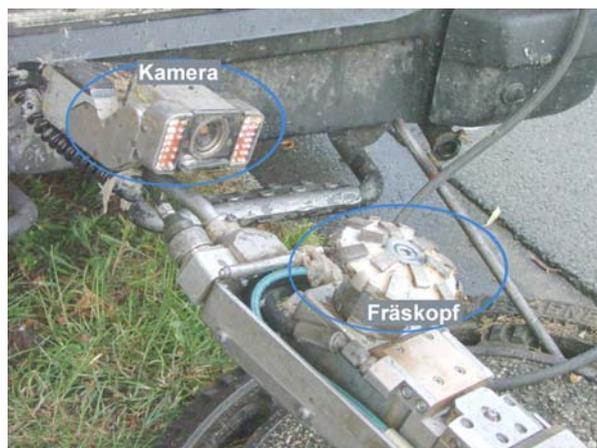


Abb. 11: Der Fräsroboter besitzt zur visuellen Kontrolle neben dem Fräskopf eine Kamera.

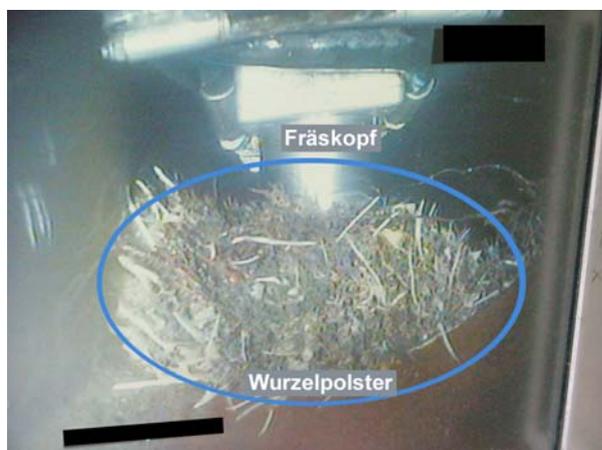


Abb. 12: Ausfräsen eines Wurzelpolsters unter Kamerabeobachtung im Bereich einer Muffe. Online-Bild der Kamera (vgl. Abb. 11)

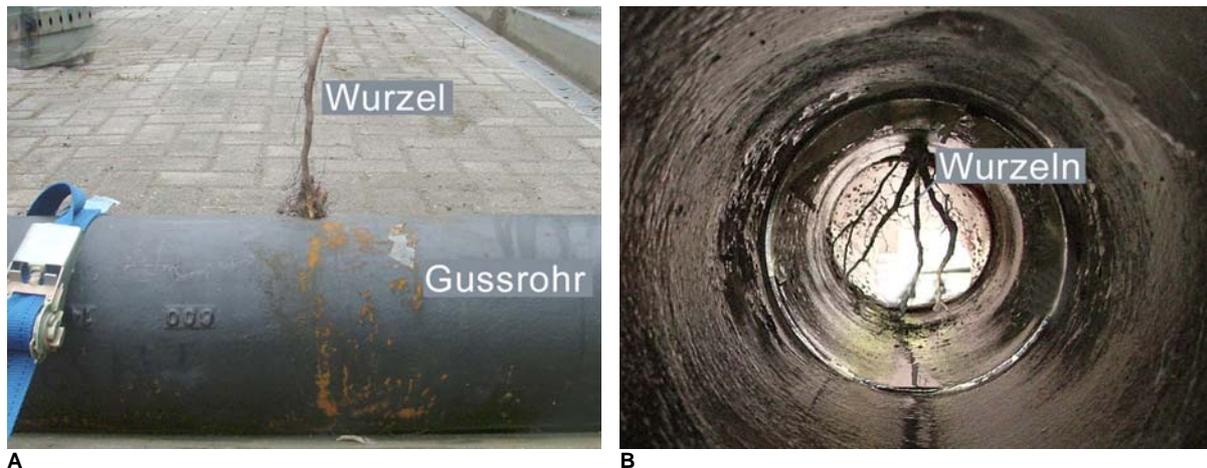


Abb. 13: Zur Entfernung von Wurzelpolstern im Einmündungsbereich der Anschlussleitungen (Abzweige) wurde ein Fräskopf mit einer Verlängerung eingesetzt.

Für die Fräsarbeiten in leicht-zugänglichen Bereichen, wie z.B. Rohrverbindungen des Hauptkanals, wurde ein scheibenförmiger, flacher Fräskopf verwendet (vgl. Abb. 11 und Abb. 12). 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. 13). Mit seiner Hilfe ist es möglich, ansonsten schlechter erreichbare Wurzelpolster zu entfernen.

Zur Beurteilung der Leistung von mechanischen Verfahren zur Wurzelentfernung wurde darüber hinaus 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], [19] und [21] in einer geeigneten Anordnungen nachgestellt. Für die Versuche

wurde eine Versuchsstrecke aus duktilem Gussstahlrohr mit einem Innendurchmesser von DN 150 aufgebaut. (Abb. 14 A)

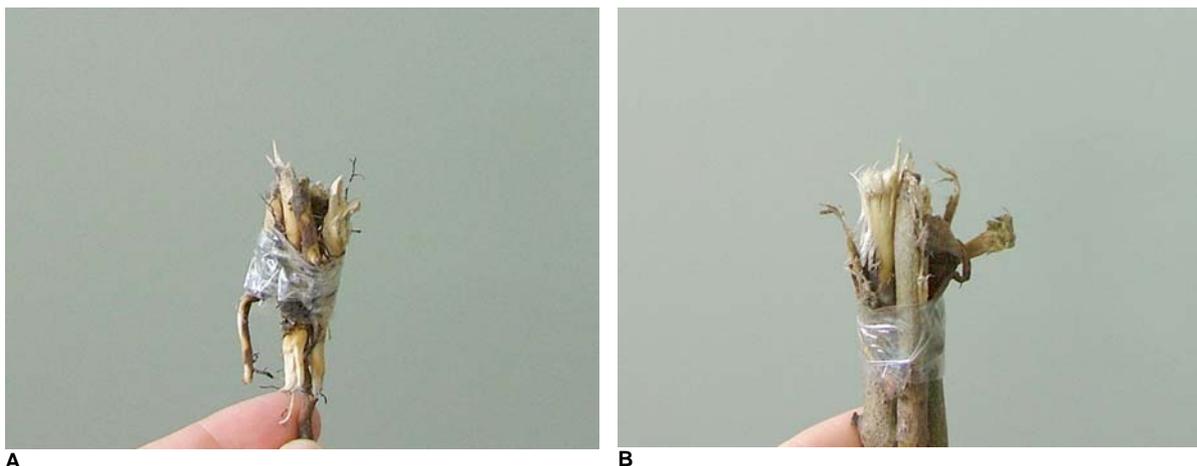


**Abb. 14:** Versuche zur mechanischen Wurzelentfernung. **A** Versuchsaufbau mit Gussrohr und applizierter Wurzel. **B** Blick in den Querschnitt der vorbereiteten Versuchsstrecke.

Der Wurzeleinwuchs wurde mit Wurzeln und Sprossabschnitten des Blutroten Hartriegel (*Cornus sanguinea* L.) simuliert. Das Pflanzenmaterial wurde in das mit Bohrungen versehene Gussrohr appliziert, um das Vorhandensein von verholzten, mehrjährigen Wurzeln im Querschnitt der Leitung nachzustellen (Abb. 14 B).

Die Nachhaltigkeit von Verfahren zur Wurzelentfernung kann von den eingesetzten Werkzeugen abhängen. 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.

In den Versuchen wurden eine hydraulisch angetriebene Kettenschleuder und eine mechanisch angetriebene Wurzelfräse mit Klingen eingesetzt, um die Schnittflächen zu vergleichen. Es zeigte sich, dass bei beiden Verfahren das Pflanzenmaterial stumpf abgetrennt wird. Beide Verfahren erzeugen Schnittflächen mit einer vergleichsweise großen Oberfläche, die ein Eindringen von Keimen fördern können (vgl. Abb. 15 A und B).



**Abb. 15:** Ergebnisse der Versuche zur mechanischen Wurzelentfernung. **A** Pflanzenmaterial: Wurzeln, Werkzeug: Wurzelfräse mit Klängen **B** Pflanzenmaterial: Wurzeln, Werkzeug: Wurzelfräse mit Ketten.

### 4.3 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 2).

**Tabelle 2: 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 abzusperren. 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 gegen die in Tabelle 1 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.

## 5 Zusammenfassung

Die Erkenntnisse aus den Aufgrabungen an Hausanschlussleitungen bestätigen das bestehende Modell der Wurzelausbreitung und damit das Modell des Wurzeleinwuchses 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. 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. 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, eine besondere Attraktivität für Wurzeln besitzen. Wurzeln wachsen in einigen der beobachteten Fällen in direktem Kontakt zur Oberfläche von Leitungen. Dieser Kontakt löst eine Reaktion der Wurzel aus, es kann in einigen Fällen durch Verzweigung oder Veränderungen der Wuchsform zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche zu den Bodenkörpern kommen. 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 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. Die Befunde haben ergeben, dass Bodenveränderungen bei Einbau der Leitung die Ausbreitung von Wurzeln im Bereich des Leitungsgrabens beeinflusst haben können. Die Wurzeln sind nach ihrem Rückschnitt bei Einbau der Leitung in das Bettungs- und Verfüllmaterial der Leitung gewachsen und haben sich hier stark ausgebreitet.

Bisher waren lediglich Schadensfälle durch Wurzeleinwuchs dokumentiert worden, die durch die Wurzeln von Laubbäumen (Angiospermen) verursacht worden waren. 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.

## 6 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] SITTE, P.; WEILER, E.W.; KADEREIT, J.W.; BRESINSKY, A.; KÖRNER, C.; Strasburger - Lehrbuch der Botanik; 35. Aufl.; Spektrum Verlag, Heidelberg; 2002
- [4] SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHNABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde, 14. Aufl., Enke-Verlag, 1998
- [5] HILLER, A.H., MEUSER H.: Urbane Böden; Springer Verlag Berlin, 1998
- [6] TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R.: Relative penetrating ability of different plant roots. Agron, J. 52, S.579-581, 1960
- [7] BOHNE, H.; HARTGE, K.H.: Auswirkungen der Gefügegeometrie auf den Wuchs von Getreidekeimlingen, Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 34, S. 141-144, 1982
- [8] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV), Neufassung der Abwasserverordnung vom 17. Juni 2004
- [9] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe) Vom 27. Juli 2005
- [10] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. November 1996 (BGBl. I Nr. 58 vom 18.11.1996 S. 1695)
- [11] Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen PflSchG, BGBl Im, 1986
- [12] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland, www.bvl.bund.de, 2007
- [13] 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
- [14] Vertrieb für Treflan, [http://www.dixondalefarms.com/site\\_map/](http://www.dixondalefarms.com/site_map/)
- [15] Vertrieb für Rootdestroyer, <http://www.hspears.com/rootdestroyer/>
- [16] Vertrieb für Reglone, [www.syngenta.com](http://www.syngenta.com)

- [17] DIN 1998: Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Flächen, Richtlinien für die Planung; Mai 1978
- [18] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen, Deutsche Fassung EN 1610 – Juli 1997
- [19] 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
- [20] 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
- [21] Gesprächsnotiz Rohrreinigungstechnik-Schiwy, Gelsenkirchen