



# Information

**Nr. 9**

**Instandhaltung von  
Entwässerungsleitungen in Deponien**

August 2007

Arbeitskreis Nr. 3  
Grabenloses Bauen  
Leitungsinstandhaltung

Arbeitsgruppe Nr. 6  
Instandhaltung von Deponieleitungen

**NODIG** – warum Gräben aufreißen, wenn es bessere Lösungen gibt!

# **Instandhaltung von Entwässerungsleitungen in Deponien**

## **GSTT-Information Nr. 9**

### **1 Einführung**

Bundesdeutsche Abfalldeponien sind zur Fassung des Sickerwassers in der Regel an der Basis mit einer mineralischen Entwässerungsschicht ausgestattet. Von dieser wird das Sickerwasser in Sickerleitungen gesammelt, über Sammelleitungen transportiert und einer Sickerwasserbehandlung zugeführt. Bei nicht ordnungsgemäß abgeführtem Sickerwasser kann es bereits kurzfristig zum Einstau, zu Sickerwasseraustritten und zu Stabilitätsproblemen des Müllkörpers mit der Folge gravierender Umweltschäden kommen.

Durch eine regelmäßige gründliche Hochdruckreinigung kann dieser Zustand verhindert werden. Eine Kamerainspektion im Anschluss belegt den Reinigungserfolg und gibt Rückschlüsse über den baulichen Zustand der untersuchten Entwässerungsleitungen.

Die vorliegende aktuelle GSTT-Information dokumentiert den Stand der Technik im Bereich der Hochdruckreinigung, TV-Inspektion, Vermessung und Sanierung von Entwässerungsleitungen.

Auch in Oberflächenabdichtungssystemen kommt Entwässerungsleitungen, zum Beispiel im Zusammenhang mit Kapillarsperren, erhebliche Bedeutung zu. Auch für diesen Anwendungsfall können die vorliegenden Informationen angewendet werden.

### **2 Rechtsgrundlagen, Richtlinien, Vorschriften**

#### **2.1 Kontrollen**

Rechtliche Grundlage zur Instandhaltung von Entwässerungsleitungen sind für den Deponiebetreiber die Vorgaben in der abfallrechtlichen Zulassung der Deponie in Form des Planfeststellungsbeschlusses, einer Plangenehmigung oder einer nachträglichen Anordnung und die Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerversordnung (Deponieverordnung-DepV [1])

Die Genehmigungsbehörde stützt ihre Entscheidung unter Berücksichtigung der jeweiligen Gegebenheiten des konkreten Einzelfalles grundsätzlich auf

- rechtsverbindliche Gesetze und Verordnungen,
- Runderlasse seitens der obersten Abfallbehörden der Länder, die die zuständigen Behörden weitgehend binden,

- Verwaltungsvorschriften, die die Grundlage der Ermessensentscheidung der zuständigen Behörde darstellen, und
- Normen, technische Richtlinien von Fachbehörden und wissenschaftlich technischen Vereinigungen, die zunächst nur empfehlenden Charakter haben.

Wesentlich in diesem Zusammenhang sind die Zweite und Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall - TAA [2] und TA Siedlungsabfall - TAsi [3]) auf die auch in der DepV verwiesen wird. Die Technischen Anleitungen fordern (TAA Nr. 9.6.6 und TAsi Nr. 10.6.6) von jedem Deponiebetreiber Eigenkontrollen u. a. der Abdichtungssysteme. Diese können von ihm selbst oder einer von ihm beauftragten Stelle durchgeführt werden.

Bezüglich des Kontrollumfangs wird sowohl in der TAA wie auch in der TAsi auf den Anhang G der TAA verwiesen:

#### *3.1.1 Verformungen des Deponiebasisabdichtungssystems*

*Es sind in jährlichen Intervallen durchgehende Höhenvermessungen der Sickerrohre im Entwässerungssystem durchzuführen. Die gemessenen Verformungen sind mit den Ergebnissen der Setzungs- und Verformungsberechnung nach Nr. 9.4.1.1 dieser Technischen Anleitung zu vergleichen.*

#### *3.1.2 Funktionsfähigkeit der Sickerrohre*

*Es sind in jährlichen Intervallen (bis zu einer Abfallschütthöhe von 2 m vierteljährlich) durchgehende Kamerabefahrungen der Sickerrohre durchzuführen. Bei den Befahrungen ist insbesondere auf Rohrschäden, Inkrustationen und Leitungssackungen zu achten. Sofern diese festgestellt werden, sind sie nach Art und Umfang schriftlich und bildlich in Bestandsplänen zu dokumentieren, wobei auf folgendes zu achten ist:*

##### *a) Mechanische Beschädigungen*

- *Deformationen*
- *Muffenversatz*
- *Risse*
- *Scherbenbildungen*
- *Brüche*

##### *b) Inkrustationen*

- *Ausmaß der Inkrustationen*
- *Lage im Rohr*
- *Konsistenz*
- *chemische Zusammensetzung.*

*Soweit Inkrustationen festgestellt werden, ist eine Rohrreinigung durchzuführen, deren Wirksamkeit durch eine anschließende Kamerabefahrung zu kontrollieren ist.*

### *3.1.3 Temperaturverhältnisse im Deponiebasisabdichtungssystem*

*Jährlich sind durchgehende Temperaturprofile in den Sickerrohren aufzunehmen. Die Temperaturmessungen müssen vor der Spülung der Sickerrohre erfolgen. Bei abgeschlossenen Deponieabschnitten und Temperaturen mit fallender Tendenz können die Meßabstände auf bis zu 2 Jahre ausgedehnt werden.*

Generell besteht für die Genehmigungsbehörde ein Ermessensspielraum bei der Festlegung der Kontrollumfangs. Damit dieser Abwägungsrahmen unter Berücksichtigung des konkreten Einzelfalles möglichst landeseinheitlich genutzt wird, hat beispielsweise das Niedersächsische Umweltministerium diesbezüglich im März 1997 einen entsprechenden Runderlass [4] herausgegeben.

Die Pflicht zur Durchführung der Eigenkontrollen endet nicht mit der Ablagerungs- bzw. Betriebsphase. Nach Anhang G der TAA Nr. 4 sind die vorstehend genannten Eigenkontrollen auch in der Nachsorgephase in jährlichen Intervallen auszuwerten. Für den Antrag auf Entlassung aus der Nachsorge gemäß DepV §14 hat der Deponiebetreiber den Behörden Unterlagen vorzulegen, die der Behörde u. a. eine Einschätzung darüber erlauben, ob an der Deponiebasis noch Sickerwasser anfällt, das eine weitere Beobachtung oder Sanierungsmaßnahmen erforderlich macht.

## **2.2 Berichte**

Über alle gewonnenen Daten sind Übersichten zu erstellen und entsprechend auszuwerten und zu bewerten (TAA Nr. 5.4.4.2, TASi Nr. 6.4.4.2 und TAA Anhang G Nr. 4), Überwachungs- und Reinigungsarbeiten sind zu dokumentieren (DIN 19667 [17] Nr.5). Auf dieser Grundlage hat der Deponiebetreiber jährlich eine Erklärung zum Deponieverhalten zu erstellen und diese zusammen mit den Übersichten und Auswertungen der zuständigen Behörde vorzulegen (TAA Nr. 9.6.6.2, TASi Nr. 10.6.6.3). Die Dokumentationen der Kontrolluntersuchungen gehören zu den Antragsunterlagen jedes Deponiebetreibers auf Feststellung der Stilllegung (DepV §12 (4)). Darüber hinaus bestimmt die DepV, dass Befeuchtungsmaßnahmen zur Beschleunigung biologischer Abbauprozesse z. B. durch Sickerwasserrückführung bei Hausmülldeponien nur zulässig sind, wenn ein funktionierendes Sickerwasserfassungssystem vorhanden ist (DepV §14 (8)).

Die inhaltlichen Anforderungen an diesen so genannten Deponiejahresbericht wurden z. B. in dem vorgenannten Runderlass des Niedersächsischen Umweltministeriums auf der Basis der Vorgaben der Verwaltungsvorschriften zusammengestellt.

Neben den Ergebnissen der Eigenkontrolle sind vom Deponiebetreiber auch die der Fremdkontrolle auszuwerten und zu beurteilen. Hierzu zählen auch die Ergebnisse aus der Kontrolle der Entwässerungsleitungen.

Um die Erstellung und Prüfung der Berichte zu erleichtern, wurden beispielsweise beim ehemaligen Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ) unter Berücksichtigung von Empfehlungen von Deponiebetreibern und Behörden entsprechende Formblätter entwickelt. Sie wurden als Teil des vom NLÖ herausgegebenen Deponiehandbuches /6/ veröffentlicht. Für die Darstellungsform der Ergebnisse aus den Kontrollen der Entwässerungsleitungen wurde auf bestehende Regelungen seitens der ATV [24] – [26] zurückgegriffen. Sie sollten zur Erleichterung der Prüfung beachtet werden (s. auch Nr. 3.6).

Empfänger der Deponiejahresberichte ist die sich aus den jeweiligen landesabfallrechtlichen Regelungen ergebende zuständige Überwachungsbehörde.

### **3      Wartung von Entwässerungsleitungen in Deponien**

Entwässerungsleitungen in Deponien neigen zur Bildung teils hartnäckiger Inkrustationen. Werden diese ständig wiederkehrenden Sedimente nicht regelmäßig entfernt, kann es in relativ kurzer Zeit zum Verschluss der Wassereintrittsöffnungen bis hin zur Völlfüllung der Entwässerungsleitung und somit zum hydraulischen Versagen kommen. Dies gilt für im Betrieb befindliche sowie in gleicher Weise für geschlossene und abgedeckte Deponien.



Extreme deponiespezifische Inkrustation (20 cm stark)

Die Baulängen der Entwässerungsleitung sind zum Teil erheblich, sie können bis zu 700 m ohne Zwischenschacht betragen.

#### **3.1      Die hydrodynamische Reinigung**

Die Inkrustationsbeseitigung von Entwässerungsleitungen in Altbereichen, meist aus Steinzeug, muss rohrschonend erfolgen. Der Einsatz von klassischen Kanalrohrfräsen kann durch den Deponiebetrieb vorgeschädigte Steinzeugrohre weiter schädigen oder gar zum Einsturz bringen. Neuentwickelte Rotationsdüsen minimieren diese Gefahr.

Die hydrodynamische Reinigung mit hochgespannten Wasserstrahlen ist nach wie vor das anerkannte Verfahren zur regelmäßigen Entfernung loser, halbfester und kristalliner Ablagerungen in Entwässerungsleitungen.



#### 800 m Spül-Saugfahrzeug im Einsatz

Es kommen eigens für den Deponiebereich konzipierte Spül-Saugfahrzeuge zum Einsatz. Starke Hochdruck-Plungerpumpen treiben mittels spezieller Düsen ultraleichte Kunststoff-Spülschläuche bis zu 800 m in die Entwässerungsleitungen. Trotz der extremen Schlauchlänge herrscht im Bereich der Düse ein Arbeitsdruck, mit welchem lose bis halbfeste Sedimente problemlos gelöst und beim langsamen Zurückziehen des Spülschlauches transportiert werden können.

Die Pumpenausgangsdrücke betragen bis zu 250 bar, der Arbeitsdruck an der Düse bis zu 200 bar.

Das Strömungsverhalten des hochgespannten Wassers bei der Passage durch den Spülschlauch kann durch die Zugabe von Strömungsverbesserern optimiert werden. Mit dieser Technik ist eine weitere Steigerung der Arbeitskraft am Ende des Spülschlauches möglich. Inkrustationen können auf diesem Wege oftmals ohne zusätzliche Fräsen rohrschonend entfernt werden.

Zur Beseitigung extremer Inkrustationen wurden kugel- oder kegelrollengelagerte, gebremst rotierende, Rotationsdüsen entwickelt. Diese Spezialgeräte sind neuerdings auch mit zusätzlichem Schlag lieferbar, welcher selbstverständlich nur in biegeweichen Rohrmaterialien verwendbar ist.

Hydrodynamisch betriebene Fräsgeräte mit festen Fräsköpfen werden von erfahrenen Fachfirmen nur noch in Einzelfällen zum Einsatz gebracht.

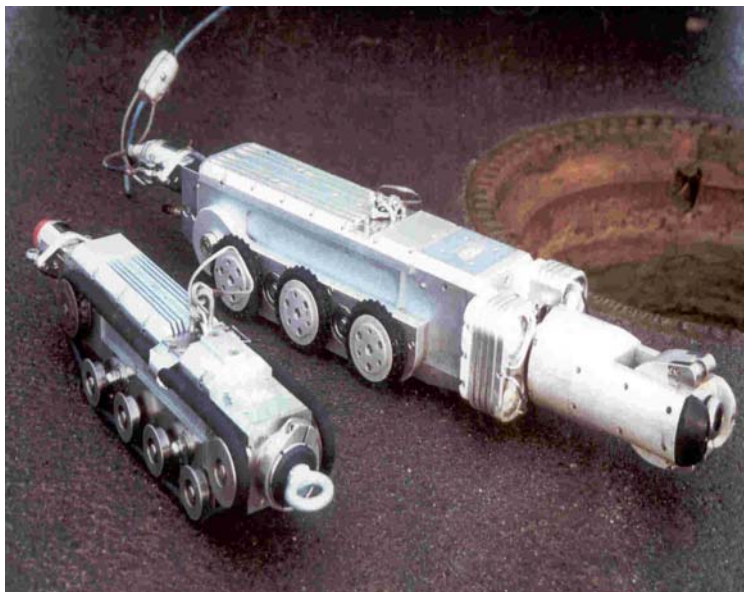
Am Arbeitsschacht wird das herantransportierte Wasser-Sedimentgemisch mit Vakuumtechnik abgesaugt. Die Verwendung von Hochleistungspumpen ermöglicht in Verbindung mit speziellen Saugtechniken die Überwindung von bis zu 25 m Höhenunterschied.

Bei modernen kombinierten Spül-Saugfahrzeugen kann im Deponiebereich die Wasserrückgewinnung eingesetzt werden. Hier wird durch spezielle Filterverfahren (Drehspaltfilter, Hydrozyklone) das aufgesaugte Wasser-Schmutzgemisch getrennt, das zurückgewonnene Wasser wird erneut den Hochdruckpumpen zugeführt.

Durch diese Technik wird nicht nur Frischwasser gespart, sondern auch zusätzlich aufwendig zu klärendes Schmutzwasser vermieden.

### **3.2 TV-Inspektion**

Mittels TV-Inspektionen wird der Bauzustand, sowie der Verschmutzungs- bzw. Inkrustationsgrad der Entwässerungsleitungen erfasst. Gleichzeitig können Neigungsverlauf und Temperatur der untersuchten Entwässerungsleitungen ermittelt werden. Sämtliche Untersuchungen in sicherwasserführenden Leitungen dürfen nur mit exgeschütztem Equipment zur Ausführung gebracht werden. Stand der Technik sind exgeschützte TV- Untersuchungssysteme, welche in einem Befahrungsgang die Inspektion auf den Bauzustand, die Neigungs- und auch die Temperaturmessung durchführen können.



Ex-geschützte Digitalkameras

Befahrungslängen bis zu 600 m ohne Zwischenschacht sind unter bestimmten Voraussetzungen realisierbar.

Abhängig von der Beschaffenheit der Sohle der Entwässerungsleitung erfolgt der Antrieb der exgeschützten Kamerafahrwägen mit Rad- oder Raupenantrieb.

Neu entwickelte Mini-Systeme erlauben die TV-Inspektion kleiner Nennweiten bis DN 100. Auch in dieser kleinen Dimension sind mittlerweile die bei den größeren Systemen üblichen Schwenkköpfe verfügbar.

Gasleitungen mit noch kleineren Nennweiten lassen sich bis auf eine Länge von ca. 100 m mit speziellen Schiebe-Kamerasystemen untersuchen.

### **3.3 Neigungs- und Höhenmessung**

Das Setzungsverhalten der Deponiebasis wird in der Praxis mit dem Inklinometer oder einem hydrostatischen Messverfahren beobachtet. Durch die eingesetzte Messtechnik muss gewährleistet sein, dass die Neigungsprofile in Jahresreihen verglichen werden können (Profilhistorie).

#### **3.3.1. Inklinometrische Messung**

Die inklinometrische Neigungsmessung kann bei der normalen Kamerafahrt ausgeführt werden, vorausgesetzt natürlich, dass das Untersuchungssystem über die entsprechende Hard- und Software verfügt.

Abhängig von deren Ausführung und Qualität wird in Abständen von 1 - 100 cm elektronisch ein Winkelwert gemessen. Die Bestimmung der Höhenlagen der Messpunkte erfolgt über einen Polygonzug. Dabei bestimmt sich die Höhenlage eines Punktes aus der Höhe des zuvor gemessenen Punktes zzgl. der Höhendifferenz, die sich aus dem neuen Winkel und der ermittelten Strecke zwischen dem vorherigen und dem aktuellen Messpunkt ergibt. Einzelne Messfehler, z.B. durch Anhebung der Kamera bei der Passage von Restverschmutzungen, können sich aus dem oben genannten Grund ungünstig auf den Rest der Messfahrt auswirken. Moderne Messprogramme sind in der Lage, solche Fehler-Peaks zu erkennen und auszusondern.

Kann dem Vermesser bzw. Kameraoperator die Höhenlage des Anfangs- und des Endpunktes der betreffenden Leitung angegeben werden, ist durch eine in der Software integrierte Fehlerverteilung eine Steigerung der Genauigkeit der Messung um den Faktor 10 möglich.

Der Messbereich moderner Kamerainklinometer beträgt +/- 30 Grad. Die max. Messlänge beträgt 600 m.

#### **3.3.2. Hydrostatische Höhenvermessung**

Die hydrostatische Höhenvermessung basiert auf dem Prinzip der Schlauchwaage. Die Höhenlage der Messpunkte bestimmt sich aus der hydrostatischen Druckdifferenz zwischen dem betrachteten Messpunkt in der Entwässerungsleitungen und der außerhalb der Entwässerungsleitungen installierten Messeinrichtung. Da sich die Höhenlagen der Messpunkte unabhängig von der Höhe der vorhergehenden Messpunkte ergeben, besitzt ein aufgetretener Messfehler keine Auswirkung auf die Messgenauigkeit der folgenden Messpunkte. Die max. Messlänge beträgt 400 m.

### **3.3.3. Messgenauigkeit**

Die exakteste Höhenmessung von Drainageleitungen und somit der Deponiebasis lässt sich mit dem hydrostatischen Verfahren erzielen.

Das Inklinometerverfahren liefert unter Einbeziehung bekannter Anfangs- und Endhöhen der untersuchten Drainageleitung sowie bei Verwendung optimaler Hard- und Software gute Ergebnisse.

Wird das Inklinometerverfahren ohne NN-Höhen verwendet, erhält man eine Relativmessung, welche lediglich qualitative Aussagen zulässt.

Die Genauigkeit der Inklinometermessung kann durch zusätzliche punktuelle hydrostatische Stützpunkt-Messungen deutlich verbessert werden. (kombiniertes Verfahren)

### **3.4 Temperaturmessung**

Die Messung der Temperatur erfolgt neuerdings mit Infrarot-Sensoren. Der große Vorteil dieser innovativen Technik liegt in der zeitlichen Unabhängigkeit gegenüber zuvor durchgeführten Hochdruckreinigungen, da nicht mehr wie früher üblich, die Temperatur der Atmosphäre innerhalb der Entwässerungsleitungen, sondern die Temperatur des Materials der Entwässerungsleitungen gemessen wird.

Da in der Leitungszone Temperaturen bis zu 70° auftreten können, müssen die eingesetzten Messsysteme entsprechend ausgelegt sein.

### **3.5 Auswertung der Wartung und Kontrolle**

Die Auswertung der Ergebnisse aus der Untersuchung von Entwässerungsleitungen sollte in der Regel durch ein entsprechendes, unabhängiges Ingenieurbüro erfolgen.

Die Grundlage einer ordnungsgemäßen Auswertung der gewonnenen Daten bilden zunächst grundsätzlich plausible Ergebnisse aus der Zustandserfassung einschließlich Neigungs- und Temperaturmessung. Bewährt hat sich bei der Auswertung der Reinigung und TV-Inspektion eine enge Zusammenarbeit zwischen der ausführenden Firma und der auswertenden Instanz (Ingenieurbüro oder Deponiebetreiber).

#### **3.5.1. Verarbeitung der Inspektionsdaten**

Für die Weiterverarbeitung der erfassten Daten stehen umfangreiche Möglichkeiten zur Verfügung. Entweder werden die Daten direkt im Format des Erfassungsprogramms oder an eine Schnittstelle für eine Datenbank übergeben. Stand der Technik ist die Zusammenfas-

sung der Daten in digitaler Form, die dann dem Deponiebetreiber mit dem Jahresbericht zum Zustand der Entwässerungsleitungen auf Datenträger übergeben werden.

Hierbei können alle zu den Entwässerungsleitungen bzw. den einzelnen Haltungen relevanten Daten wie:

- Stammdaten der einzelnen Haltungen
- Neigungsprofile/Neigungsprofile in Jahresreihen
- Temperaturprofile
- Digitale Schadensbilder
- Haltungsgrafiken
- Videosequenzen einzelner Leitungsabschnitte

eingesehen werden.

### **3.5.2. Bericht zum Zustand der Entwässerungsleitungen**

Auf Basis der voran beschriebenen Datenerhebung und -verwaltung kann ein bedarfsgerechter Bericht über den Zustand der Entwässerungsleitungen erstellt werden. Dieser kann dann, meist ohne weitere Bearbeitung dem jährlichen Bericht zum Deponieverhalten beigelegt werden.

Es genügt nicht, dem jährlichen Bericht die Befahrungsprotokolle der TV-Inspektion oder Auszüge von Statistiken aus Datenbanken beizulegen. Vielmehr sollen die Daten der TV-Inspektion als Basis einer ausführlichen Zustandsbeurteilung der Entwässerungsleitungen dienen.

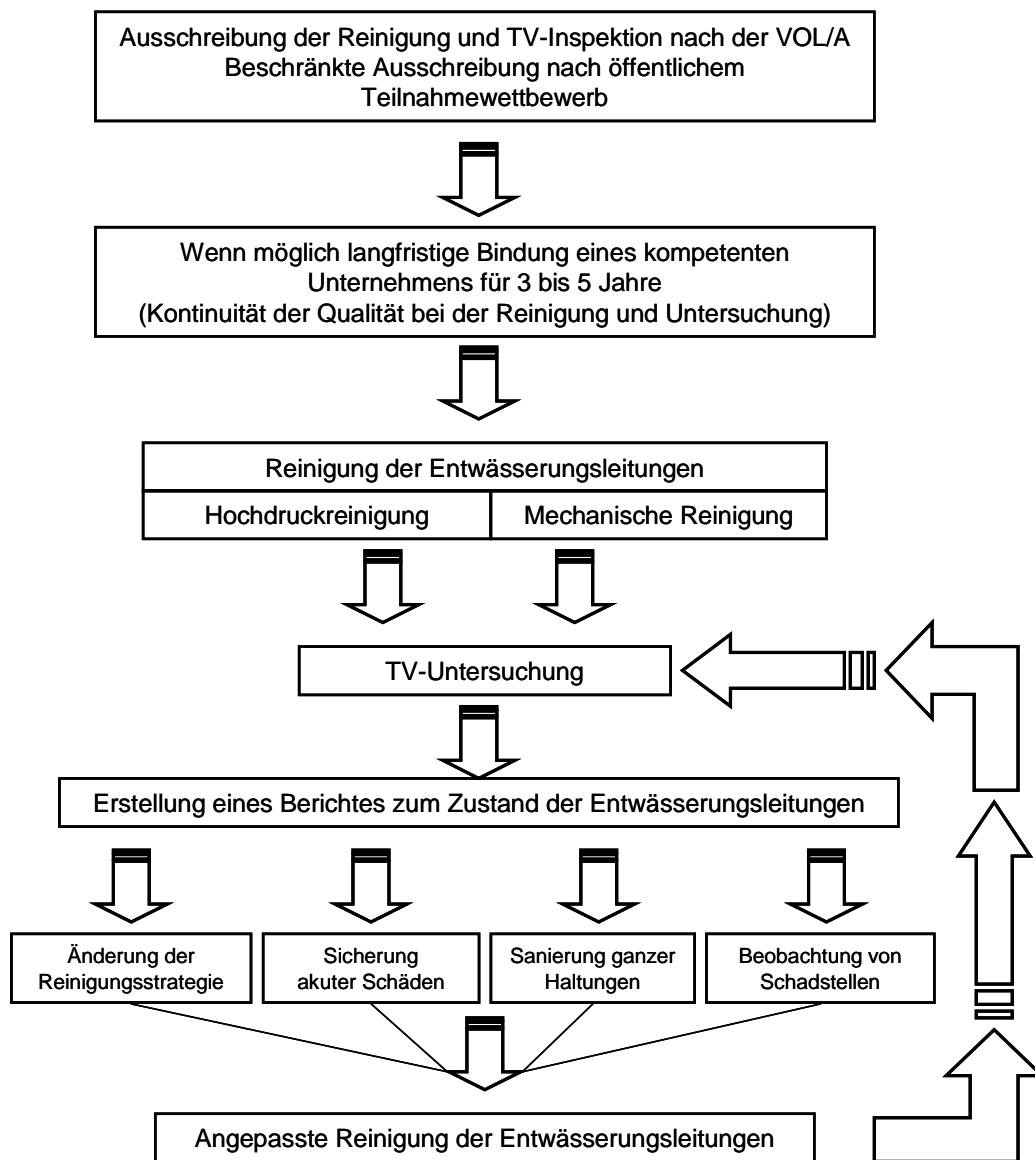
Ein adäquater und zielgerichteter Bericht zum Zustand der Entwässerungsleitungen sollte folgende Punkte enthalten:

- Vorbemerkung/Veranlassung
- Grundlagen/Vorgehensweise
- Allgemeines zur Deponie
- Vorgehensweise bei der Reinigung und Untersuchung, angewandte Techniken
- Allgemeines zu Schäden in Entwässerungsleitungen
- Bewertungsgrundsätze von Schäden
- Bestandsaufnahme der Schächte/Handlungsbedarf
- Bestandsaufnahme bei den Entwässerungsleitungen /Handlungsbedarf
- Zusammenfassung des Handlungsbedarfs
- Umsetzung von Instandhaltungsmaßnahmen/Realisierungsfahrplan
- Kostenschätzung
- Zusammenfassung

Der Bericht soll den Gesamtzustand der Entwässerungsleitungen darstellen und einen mehrstufigen Handlungsbedarf erarbeiten. Hierbei soll sukzessive eine Ertüchtigung einzelner Entwässerungsleitungen, unter Beachtung der Gesamtzusammenhänge bei der Entwässerung des Deponiekörpers, herbeigeführt werden. In der Regel genügen hierfür 3 bis 4 Wartungszyklen.

Bei einer gezielten Umsetzung der in den jährlichen Berichten dargestellten Maßnahmen können die in der Nachsorgephase der Deponie notwendigen Aufwendungen für die Instandhaltung und Überwachung der Entwässerungsleitungen auf das rein erforderliche Maß reduziert werden.

### **Grundstrategie zur Instandhaltung von Entwässerungsleitungen**



Die in den jährlichen Berichten darzustellenden Instandhaltungsmaßnahmen lassen sich in der Regel in verschiedene zeitliche Kategorien einteilen. Maßgebend ist hier die Einstufung und Beurteilung der einzelnen Entwässerungsleitungen nach folgenden Kriterien:

- Entwässerungsfunktion innerhalb des Gesamtsystems
- Grad der Schädigungen und Gefahr des Funktionsverlustes
- Lage der Entwässerungsleitungen (innerhalb, außerhalb des Deponiekörpers)

### **3.5.2.1. Kurzfristige Maßnahmen**

Kurzfristige Maßnahmen sollten direkt im Anschluss an die aktuelle Kamerabefahrung durchgeführt werden. Hierzu bedarf es einer engen Zusammenarbeit zwischen dem ausführenden Firma und dem Entscheidungsträger des Deponiebetreibers bzw. dem überwachenden Ingenieurbüro, da oftmals vor Ort über die weitere Vorgehensweise entschieden werden muss.

Vordergründig sollten solche kurzfristigen Maßnahmen ergriffen werden bei

- einer akuten Gefährdung der Umwelt durch Schäden in einer Leitung von zentraler Bedeutung
- massiven Ablagerungen, die einen Leitungsverschluss zur Folge haben könnten

### **3.5.2.2. Mittelfristige Maßnahmen**

Noch vor dem nächsten Untersuchungszyklus sollten, auf der Basis der Auswertung aus der TV-Inspektion, mittelfristige Maßnahmen zur Verbesserung der Entwässerungssituation ergriffen werden. Aufgabe der mittelfristigen Maßnahmen ist es, eine Verbesserung der Wartungs- und Untersuchungsmöglichkeiten herbeizuführen.

Folgende Maßnahmen sollten zwischen zwei Untersuchungszyklen realisiert werden:

- Sanierung von einzelnen Schadenstellen die zum Abbruch der Kamerabefahrung und damit zu fragmentierten Erkenntnissen führen
- Schaffung von Zugängen zu bis dato nicht befahrbaren Entwässerungsleitungen z.B. durch Ertüchtigung einzelner Schächte
- Entfernung massiver Ablagerungen bzw. Ablagerungsansätzen im Nachgang zur turnusmäßigen Reinigung

Die mittelfristigen Maßnahmen sollten unter anderem dazu führen, dass die Erkenntnisse über den Zustand der Entwässerungsleitungen, mit der darauf als Nachweis dienenden TV-Inspektion, erweitert werden.

### **3.5.2.3. Langfristige Maßnahmen**

Innerhalb von 2 bis 4 Untersuchungszyklen sollten die langfristigen Maßnahmen realisiert werden. Diese bauen auf den Ergebnissen der kurz- bzw. mittelfristig umgesetzten Maßnahmen auf und sollen dazu führen, dass die Entwässerungsleitungen nachhaltig funktions-tüchtig bleibt. Langfristige Maßnahmen umfassen in der Regel Folgendes:

- Sanierung ganzer Leitungsabschnitte bzw. Haltungen, welche für die Gesamtentwässerung von Bedeutung sind
- Sicherung des, durch die kurz- und mittelfristigen Maßnahmen erreichten Zustands der Leitungen
- Beobachtung von prägnanten Schadenstellen hinsichtlich Fortschritt bzw. Konsolidierung (Verformungen, Rissbildungen, Ablagerungen)

Die Umsetzung der langfristigen Maßnahmen sollte dazu führen, dass in den Entwässerungsleitungen

- in den befahrbaren Leitungen keine störenden Ablagerungen mehr vorhanden sind,
- die Entwässerungsleitungen keine gravierenden Schäden wie Scherben- oder Lochbildung aufweisen,
- über längere Zeiträume beobachtete kleinere Schäden konsolidiert sind und
- alle Transportleitungen außerhalb des Deponiekörpers schadenfrei sind.

Wurden diese Punkte realisiert, ist eine Reduzierung der Wartungsarbeiten, unter dem Aspekt der Erhaltung des Ist-Zustandes, ohne weiteres möglich.

Ein regelmäßiges Reinigen und Inspizieren der Entwässerungsleitungen wird jedoch in der Nachsorgephase einer Deponie immer erforderlich sein.

Langfristige Maßnahmen können auch in der Betriebs- oder Stilllegungsphase einer Deponie notwendig werden. Eine Realisierung kann, bei entsprechender Strategie, die Aufwendungen von kurz- und mittelfristigen Maßnahmen in der Nachsorgephase reduzieren, da neuralgische Punkte bereits funktionstüchtig gemacht wurden.

## **4 Schäden in Deponieentwässerungssystemen**

Die Betrachtung und Einordnung von Schadensbildern setzt die Kenntnis voraus, dass besonders bei den Entwässerungsleitungen in Deponiekörpern eine enorme Entwicklung sowohl hinsichtlich der technischen Ausgestaltung von Rohrwandungen (Wandstärke, Lochung, Schlitzung, ...) als auch von verwendeten Materialien (Ton, Asbestzement, Steinzeug, PVC, PE, ...) stattgefunden hat. Besonders Letzteres ist bei der Betrachtung von Schäden von elementarer Bedeutung.

Nachfolgend soll ein Überblick gegeben werden über den aktuellen Kenntnisstand von Schäden in Entwässerungsleitungen von Deponien und deren Entwicklungsstufen.

#### **4.1 Unterbögen**

Unterbögen stellen sich durch örtliche Verformung, z.B. Setzung des Untergrunds im Bereich des Rohraufagers ein. Ursache hierfür können örtlich schlechterer Baugrund oder örtlich stark erhöhte Lasten sein. In den Senken staut sich das abfließende Wasser auf, so dass hier ab bestimmten Tiefen die Kanalkamera unter Wasser gerät.



Senke mit Sickerwasseransammlung

Im Bereich von Senken staut sich innerhalb der Deponiefläche Sickerwasser auf der Basisabdichtung.

#### **4.2 Inkrustationen**

Inkrustationen entstehen durch Ausfällung von im Sickerwasser gelösten Stoffen in den Rohrleitungen. Sie können die Funktion einer Flächendrainage weitgehend stören. Die Inkrustationen sind hauptsächlich auf Ausfällungsreaktionen zurückzuführen, bei denen im Sickerwasser gelöste Stoffe durch einen Milieuwechsel (Zutritt von Luftsauerstoff, Temperatur- oder pH-Wert-Änderungen, biochemische Vorgänge etc.) in weniger lösliche Stoffe überführt werden. Die üblichen Ausfällungsprodukte Calciumcarbonat (meist als Kalzit) sowie Eisen- und Manganverbindungen verfestigen das Kiesmaterial und blockieren Drainageöffnungen der Sammelleitungen. Somit können Inkrustationen zu einem fast vollständigen Verlust der Drainagewirkung der Sickerleitung und seiner Umgebung führen.

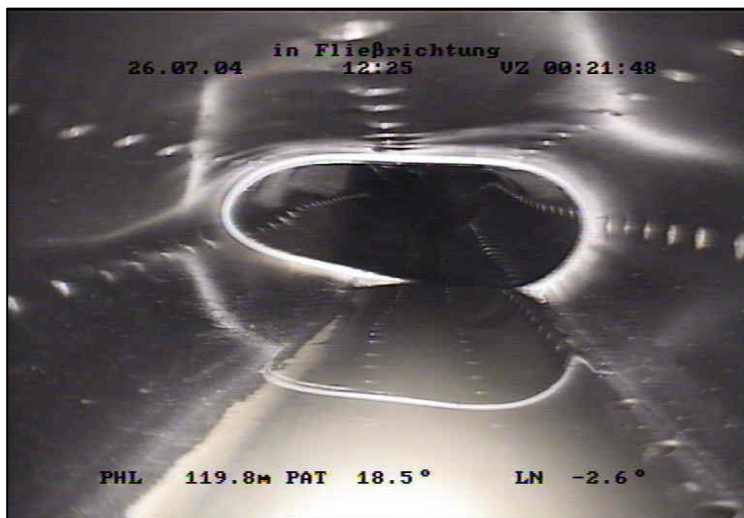
Inkrustationen lassen sich in einem gewissen Umfang durch siphonierte Leitungen (kein Luftzutritt) reduzieren. Gänzlich zu unterbinden sind sie in Deponien nicht. Am besten zu entfernen sind sie durch eine rechtzeitige, regelmäßige Hochdruckreinigung.

### **4.3 Muffenspalte**

Muffenspalte ergeben sich durch unsachgemäße Rohrverlegung, zu große Abwinkelungen, und bei PE-Rohren durch Nichtbeachtung des Temperaturdehnungsverhaltens (große Ausdehnung bei Erwärmung) bei der Verlegung. Muffenspalte in Sickerleitungen sind ohne Belang solange sie Spülarbeiten, die TV-Befahrung und die Standsicherheit der Rohre nicht beeinträchtigen. Muffenspalte in Sammelleitungen außerhalb der Deponie deuten auf Undichtigkeiten hin und sind unbedingt zu prüfen sowie gegebenenfalls zu sanieren bzw. abzudichten.

### **4.4 Verformungen des Rohrquerschnittes**

Verformungen des Rohrquerschnittes ohne Rissbildung treten nur bei biegeweichen Rohren auf. Ursache hierfür sind zu hohe Lasten, unsachgemäße Auflagerung (Rohrbettung), starke Senken oder zu hohe Temperaturen (insbesondere bei PE-Rohren). Bei der Beurteilung von Querschnittsverformungen ist von Bedeutung, ob das betreffende Rohr zukünftig durch zusätzliche Aufschüttung (z.B. Oberflächenabdichtungen) höhere Lasten erfährt. Bei Verformungen ab 12 % ist eine kontinuierliche Beobachtung und fachlich qualifizierte Beurteilung der Verformungsentwicklung zwingend erforderlich.



Starke Verformung einer PE- Leitung

### **4.5 Risse**

Risse treten überwiegend bei biegesteifen Rohren (wie z. B. Steinzeug) auf. Seit geraumer Zeit werden aber auch in PE-Rohren Risse festgestellt. Risse werden unterschieden in:

- Längsrisse
- Querrisse
- Risse von einem Punkt ausgehend

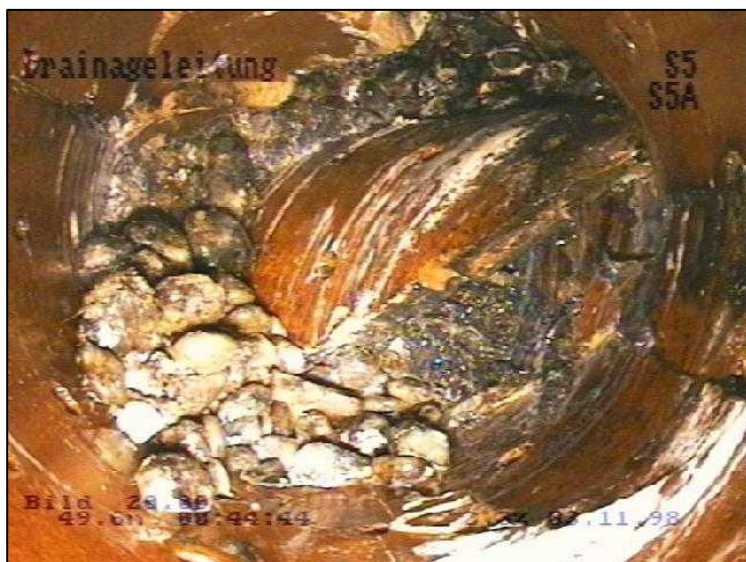
Bereichsweise auftretende Risse können auch eine bautechnische Ursache haben, z.B. in der nicht sachgerechten Einbettung der Muffenbereiche in den Untergrund. Hierbei kommt es zu unzulässigen Punktlagerungen.

Längsrisse entstehen in Sickerwasserleitungen entweder durch ein unsachgemäß ausgebildetes Rohrauflager, d.h. durch eine Linienlagerung, oder durch eine zu hohe Auflast auf das Rohr. Scheitel- und Sohlenrisse öffnen sich im Allgemeinen zuerst auf der Innenseite der Rohrwandung; Kämpferrisse auf der Außenseite.

Querrisse verlaufen oft im gesamten Rohrfumfang und treten bei schlechtem Rohrauflager meist in der Rohrmitte auf.

Von einem Punkt ausgehende Risse können auch von auf die Rohrwandung drückenden Einzellasten herrühren. Diese Punktlasten können auch beim unsachgemäßen Einbau der ersten Mülllage (Sperrmüll etc.) entstehen. Hierbei kann es vorkommen, dass sperrige Teile wie Balken, Stahlträger o. ä. die Kiesrigole über dem Rohr durchdringen und auf die Rohrwand drücken.

Sich überlagernde Risse (längs und quer) führen letztendlich zu Scherbenbildung und Rohrbruch (als Rohrbruch wird das Fehlen mehr oder weniger großer Stücke der Rohrwandung bezeichnet) und im Extremfall zum Einsturz des Rohrs. Ein Einsturz ist die folgenschwerste Phase in der Zerstörung einer Entwässerungsleitung. Er unterbricht den Rohrquerschnitt und macht Kontroll- und Wartungsarbeiten sowie einige Sanierungsverfahren unmöglich. Nachfolgende Abbildung zeigt die folgenschwerste Phase von Rissbildungen in Form eines Einsturzes. Deutlich sichtbar ist die in den Rohrquerschnitt hineingestürzte mineralische Entwässerungsschicht.



Einsturz in eines biegesteifen Sickerrohrs

Bei den nachfolgend betrachteten Rohren handelt es sich um biegeweiche Rohre (PE). Rissbildung ist für biegeweiche Rohre eigentlich atypisch. Es treten jedoch seit geraumer Zeit immer häufiger auch Risse in PE-Rohren auf, wobei diese Schäden auf Grund des Materials nach erstmaligem Auftreten ständig weiter fortschreiten. Nach den derzeitigen Erkenntnissen zeichnen sich die Rissbilder in PE-Leitungen in verschiedenen Entwicklungsstufen ab, die teilweise sehr rasch verlaufen.



Aufklaffender Riss in einer PE-Leitung

Eine zusätzliche Beanspruchung der Rohre besteht in der Lochung bzw. Schlitzung. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Fortschreiten der Risse von Loch zu Loch.



Typischer Längsriss beginnend an einem Loch

Kommt es zu einer Überlagerung von Längs- und Querrissen kann dies auch zu einem Einsturz der PE-Rohren führen, wie er ansonsten nur von den biegesteifen Steinzeugrohren bekannt ist.



Einsturz einer gelochten PE-Sickerwasserrohr

#### **4.6 Beurteilung und Einordnung von Schadensbilder**

Die vorigen Ausführungen machen deutlich, dass die Einschätzung von bestimmten Schadenskonstellationen für die Festlegungen der Vorgehensweisen bei der Instandhaltung von Entwässerungsleitungen fundamental sind.

Schäden müssen hierbei insbesondere in 2 Hauptkategorien unterteilt werden:

- Schadenstagnation über einen zu definierenden Zeitraum
- Schadensintensivierung über einen zu definierenden Zeitraum

Die Instrumentarien zur Überwachung der Schäden, die letztendlich zu einer Beurteilung der Schadenskonstellation führen, werden in Kapitel 3 aufgezeigt.

### **5 Sanierung von Entwässerungsleitungen**

Die Wahl des richtigen Sanierungsverfahrens erfordert ein hohes Maß an Erfahrung auf dem Gebiet der Leitungssanierung unter den besonderen Randbedingungen, die auf einer Depo nie herrschen. Die Planungen sollten daher nur von Ingenieurbüros durchgeführt werden, die auf diesem Gebiet langjährige Erfahrungen nachweisen können. Gleiches gilt für die Ausführung der erforderlichen Sanierungsarbeiten. Diese sollten nur an Fachfirmen vergeben werden, die bereits bei diversen Maßnahmen die notwendigen Referenzen erworben haben.

Bei der Sanierung von Entwässerungsleitungen wird gemäß DIN EN 752-1 [7] unterschieden in:

- Reparatur
- Renovierung
- Erneuerung

## **5.1 Reparaturverfahren**

Unter Reparatur werden nach DIN EN 752-5 [8] Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes bei örtlich begrenzten Schäden verstanden. Ein Zugang zur Leitung von einer Seite ist Voraussetzung, wobei die Schachtgröße min. 1,0 m aufweisen sollte.

### **5.1.1. Robotersanierungsverfahren**

Durch die Weiterentwicklung von Robotersystemen sind mittlerweile Einfahrlänge bis ca. 350 m möglich. Sämtliche Reparaturarbeiten werden mittels Kamera überwacht und gesteuert. Die Ex-Schutzbedingungen sind einzuhalten.



Fräsroboter

Roboterverfahren eignen sich vor allem zur Behebung von sektionalen Scherben- oder Rissbildungen. Bei den auf dem Markt befindlichen Systemen handelt es sich um eine Kombination aus Fräs- und Spachtelroboter. Die Roboterarbeiten werden über einen Monitor überwacht und von einem Kommandopult aus gesteuert. Die Roboter werden vor allem zum Beseitigen von Hindernissen eingesetzt, wie z.B. Abfräsen von:

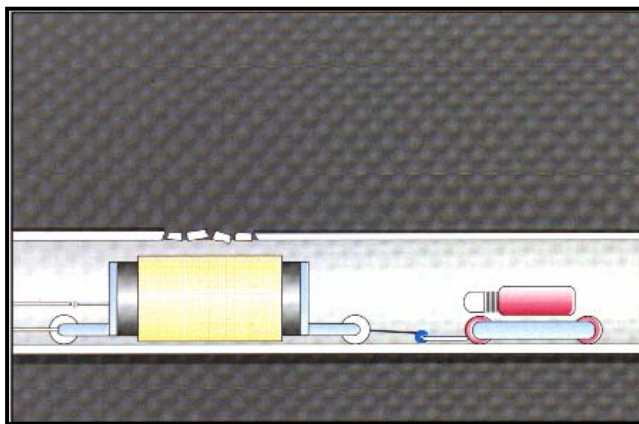
- Schweißwülsten
- Ablagerungen
- einragenden Stutzen
- einragenden Scherben als Vorarbeit zu nachfolgenden Sanierungsverfahren

### 5.1.2. Kurz-Inliner-Verfahren

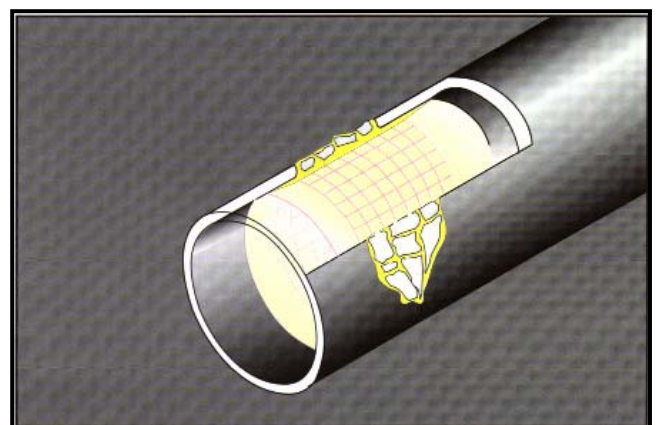
Kurz-Inliner werden in der Regel bei sektionalen Schäden wie Scherbenbildung, beginnender Scherbenbildung und Rissüberlagerungen eingesetzt. Beim Einbau von Kurz-Inlinern werden Zugeinrichtungen benötigt, um die Sanierungspacker entsprechend positionieren zu können. Kann keine Zugvorrichtung eingerichtet werden, muss der Sanierungspacker mit Schiebestangen positioniert werden. Unter günstigen Voraussetzungen kann man bis zu 200 m in die Leitung einfahren.

Beim Kurz-Inliner-Verfahren wird von den bestehenden Kontrollschächten ein auf das Depo-niesickerwasser abgestimmter, mit Kunstharz getränkter Glasfaser-Kurzschlauch auf ECR-Glas-Basis mittels Packertechnik an die zu reparierende Schadstelle eingeschoben oder eingezogen. Der Packer wird daraufhin mit Luft beaufschlagt, der Kurzschlauch legt sich dadurch an die Rohrwandung an. Nach der Aushärtung des Harzes wird die Luft des Packers abgelassen, der Packer wird aus dem Rohr gezogen. An der Schadstelle verbleibt der nun ausgehärtete Kurzschlauch.

Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass mit einem relativ geringen Aufwand eine Sicherung der Schadstelle über mehrere Jahre erfolgen kann. Nachteilig ist jedoch, dass es sich lediglich um eine temporäre Sicherung handelt und nach einer gewissen Zeit eine endgültige Lösung realisiert werden muss.



Positionierung des Packers



Ausgehärteter Kurzliner



Offener Rohrscheitel bei 70 m



Sanierter Einsturz bei ca. 70 m

Die Qualität der Teilliner hängt in besonderem Maße - da es ein vor Ort imprägniertes Produkt ist - von der ausführenden Firma bzw. Personal ab.

### **5.1.3. Offene Partielle Reparatur**

Offene Verfahren sind davon geprägt, dass das defekte Rohrstück im Schutze einer herzustellenden Baugrube durch ein neues Rohrstück ausgetauscht wird. Für die Sicherung der Baugrube kommen entweder Stahlrohre im Durchmesser von 2,50 bis 3,0 m zum Einsatz, oder aber die Baugrubenwandung wird mittels Spritzbetonschale gesichert. Als vorteilhaft ist zu erwähnen, dass mit diesem Verfahren eine dauerhafte Sanierung eines örtlich begrenzten Schadens erfolgen kann, nachteilig ist jedoch, dass die Herstellung der Baugrube je nach Tiefenlage der Entwässerungsleitung aufwändig ist.



Austausch eines Rohrkurzstückes im Schutze eines Stahlrohverbandes

## **5.2 Renovierungsverfahren**

Unter Renovierung werden nach DIN EN 752-5 [8] Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Entwässerungsleitungen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz verstanden.

### **5.2.1. Reliningverfahren**

Auf Deponien hat sich hierfür das Relining-Verfahren durchgesetzt. Hierbei werden i.d.R. statisch tragfähige Kurzrohre aus GfK oder PE mit einem geringeren Außendurchmesser als die Nennweite des vorhandenen Rohres von den bestehenden Kontrollschächten in die zu sanierende Leitung eingeschoben oder eingezogen. Somit steht eine neue Entwässerungsleitungen in der alten Entwässerungsleitungen zur Verfügung. Nachteilig ist hierbei, dass der Querschnitt wesentlich verkleinert wird, so dass dieses Verfahren nur bei ausreichend dimensionierten Entwässerungsleitungen eingesetzt werden kann.

### **5.2.2. Weitere Renovierungsverfahren**

Neuerdings werden zwei weitere Verfahren zur Renovierung eingesetzt, das Close-Fit-Wickelrohr-Verfahren sowie das Schlauchinliner-Verfahren. Beiden Verfahren ist gemeinsam, dass sie für spezielle Einzelfälle eingesetzt werden können.

Das Wickelrohr-Verfahren kommt zum Einsatz, wenn ein noch statisch tragfähiges Vollrohr auf Grund von Undichtigkeiten saniert werden muss. Unter Nutzung bestehender, auch kleiner, Schachtbauwerke wird hierbei ein stabiles PVC-Profil untermassig in die bestehende Rohrleitung eingewickelt. Versätze, Schweißwülste und kleinere Schäden können somit problemlos überwunden werden. Nach erfolgreichem Wickelvorgang wird der Liner aufkalibriert und liegt formschlüssig am Altrohr an.



Renovierung einer Entwässerungsleitungen mit Ribloc-Wickelrohr

Geringe Havariegefahr, Zugangsmöglichkeit über kleine Kontrollschächte und sehr kurze Installationszeiten sind die Vorzüge dieses Verfahrens.

Das Schlauchinliner-Verfahren ist für diesen Anwendungsfall ebenso einsetzbar. Darüber hinaus kann es auch für die Sanierung von gelochten Entwässerungsleitungen eingesetzt werden. Nach dem Einzug des Schlauchinliners müssen allerdings nachträglich die Wassereintrittsöffnungen mittels ex-geschütztem Kanalroboter in den Schlauch sowie das Altrohr nach einem vorher festgelegten Schema gebohrt werden.

Für beide vorab genannten Verfahren muss eine statische Einzelfallbetrachtung im Vorwege der Sanierung erfolgen.



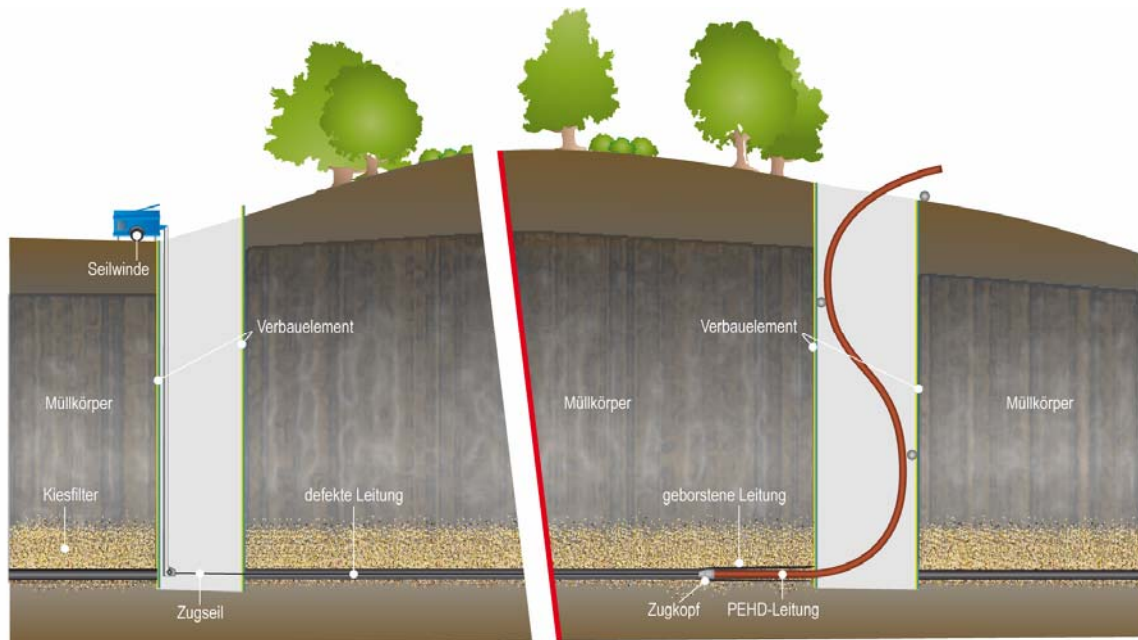
Einbau eines Inliner-Schlauchs

### **5.3 Erneuerungsverfahren**

Unter Erneuerung werden nach DIN EN 752-5 [8] Maßnahmen zur Herstellung neuer Leitungen, welche die Funktion der alten, außer Betrieb genommenen, übernehmen, verstanden. Dies kann an derselben Stelle durch Auswechslung (Substanzerstörung) oder an anderer Stelle (Substanzaufgabe) erfolgen.

### 5.3.1. Berstlining-Verfahren

Als Erneuerungsverfahren auf Deponien hat sich das Berstlining-Verfahren durchgesetzt, das Prinzip ist nachfolgender Abbildung zu entnehmen.



#### Schematische Darstellung des dynamischen Berstlining-Verfahrens

Der Grundgedanke dieses Verfahrens besteht darin, einen Bodenverdrängungskörper durch die defekte Entwässerungsleitungen zu ziehen, die Rohrwandung zu zerstören und in den anstehenden Boden zu verdrängen. Unmittelbar hinter dem Verdrängungskörper wird eine neue Rohrleitung aus PE gleicher oder größerer Nennweite eingezogen.

Es werden zwei Verfahrensvarianten unterschieden: das dynamische und das statische Berstlining-Verfahren. Beim dynamischen Berstlining-Verfahren erfolgt der Vortrieb für den Berst- und Einziehvorgang durch einen druckluftangetriebenen Bodenverdrängungshammer, beim statischen Berstlining-Verfahren über eine hydraulisch angetriebene Zuglafette mit Berstgestänge.

Im Berstlining-Verfahren können viele Altrohrmaterialien erneuert werden. Spröde Altrohrwerkstoffe wie Steinzeug und Beton o.ä. werden zertrümmert, zähe wie z.B. Kunststoffe werden geschnitten, aufgeweitet und verdrängt.

In der Regel wird ein komplett vorgeschweißter Langrohrstrang unter Berücksichtigung des Biegeradius des Neurohres eingezogen. In einzelnen Fällen können auch Kurzrohrmodule zum Einsatz kommen.

Für eine erfolgreiche Berstmaßnahme sind folgende Voraussetzungen erforderlich:

- verdichtungsfähiges Material in der Leitungszone
- geradlinige Haltung ohne größere Abwinkelungen und Versätze
- Durchgängigkeit der alten Entwässerungsleitungen für das Einbringen eines Zugseiles bzw. Berstgestänges
- Zugänglichkeit der Anfangs- und Endpunkte

Mit dem Berstlining-Verfahren können in Abhängigkeit von den örtlichen Randbedingungen Haltungslängen von über 200 Meter Länge in einem Zuge erneuert werden. Es entsteht ein neues, statisch tragfähiges Rohrsystem mit einer langen Lebensdauer. Die statische Berechnung erfolgt auf der Grundlage der Erfahrungen aus diversen Messprogrammen.

### **5.3.2. Sonstige Erneuerungsverfahren**

Weitere Erneuerungsverfahren wie z.B. Microtunneling, Horizontalspülbohrverfahren, Press-/Ziehverfahren, Hilfsrohrverfahren etc. spielen auf Deponien nur eine untergeordnete Rolle, bzw. sind auf Grund der Randbedingungen nur in Einzelfällen einsetzbar.

## **5.4 Schachtsanierung**

Im Zuge der Leitungssanierung erfolgt vielfach auch eine Schachtsanierung. Hierfür wird in den für die Leitungssanierung hergestellten Baugruben, die selbstverständlich auf den Außendurchmesser des neuen Schachtbauwerkes abgestimmt sein müssen, der Schacht neu aufgebaut. Dieses neue Schachtbauwerk ist entweder aus PE-Wickelrohr, je nach Tiefenlage teleskopierbar, oder aber aus Stahlbetonfertigteilen, die innen und außen mit 3 – 5 mm dicken PE-Platten ummantelt sind.

## **6 Anforderungen an die Rohre**

Aufgrund der in den Deponien auftretenden Betriebstemperaturen (bis zu 40° über 50 Jahre) und der chemischen und biochemischen Beanspruchung durch Sickerwasser sind für Rohre Werkstoffe zu wählen, die diesen Anforderungen gerecht werden.

Rohre aus Polyethylen und Polypropylen weisen eine hohe chemische Widerstandsfähigkeit gegenüber den am häufigsten in Deponien vorkommenden Medien auf.

In abfallrechtlichen Zulassungen von Deponiebaumaßnahmen und in Ausschreibungen wird als Werkstoff für Kunststoffrohre häufig "PE-HD" nach DIN 8074 [12] / 8075 [13] gefordert. Nach diesen Normen ist jedoch "PE-HD" keine Werkstoff-Klassifizierung im Sinne von DIN EN ISO 1043-1[10], sondern ein Werkstoffbegriff ohne Anforderung an die Mindest-(Langzeit-Festigkeit (MRS) analog zu DIN EN ISO 12162 [14].

Aufgrund der besonderen Anforderungen an die Langzeitbeständigkeit, Schadensfreiheit und Betriebssicherheit der Entwässerungsleitungen in der Basis- und Oberflächenabdichtung von Deponien wird empfohlen, Rohre aus Kunststoff ausschließlich aus PE-Rohren der Werkstoff-Klassifizierung PE 80 oder PE 100 nach DIN EN ISO 12162 herzustellen.

Darüber hinaus sind an die Formmasse bzw. an den Formstoff zusätzliche Anforderungen zu den Vorgaben der gewählten Werkstoffleistungsstufe zu stellen:

- hoher Widerstand gegen langsame Rißfortpflanzung; Nachweis durch den Full-Notch-Creep-Test (FNCT) nach DIN EN 12814-3 [15] bzw. Richtlinie DVS 2203-4, Beiblatt 2 [20].  
Der Mindestwert soll FNCT  $\geq$  300 h betragen.
- Langzeitstabilisierung gegen thermisch-oxidativen Abbau: Nachweis durch den OIT-Wert nach DIN EN 728 [6].  
Der Mindestwert soll OIT  $\geq$  30 min (200°C) betragen.
- Einhaltung der Mindestfestigkeit (MRS): Nachweis durch Zeitstand-Innendruckversuche über mind. 1000 h nach DIN 8075 bzw. DIN EN 921 [9].  
Die Mindeststandzeit soll  $\geq$  1000 h bei 80°C betragen.

Alternativ kann als Eignungsnachweis für die eingesetzte Formmasse der Nachweis des Bestehens einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [19] des DIBt unter Berücksichtigung der vorgenannten Anforderungen (s. a. PE 100) gefordert werden.

Die Maße der Sicker- und Vollwandrohre haben DIN 8074 bzw. DIN EN 13244-2 [16] zu entsprechen. Für Sickerrohre gilt bezüglich der Größe und Anordnung der Wassereintrittsöffnungen, der Prüfung der Ringsteifigkeit unter Zeitbeanspruchung und der Scheitelkennzeichnung zusätzlich DIN 4266-1 [11].

## **6.1 Anforderungen an Rohre zur Sanierung von Sickerwasserleitungen**

Zur Sanierung beschädigter Rohre kommen durch Scherben verursachte Kerbbelastungen aus eingezogenen Riefen an der Rohroberfläche hinzu. Aus diesem Grund muss eine besonders hohe Kerbunempfindlichkeit vorhanden sein. Diese wird über den FNCT (Full Notch Creep Test) nach DIN EN 12814-3 [15] und nach Richtlinie DVS 2203 Teil 4 Beiblatt 2 [20] nachgewiesen.

Zusätzliche Anforderungen:

- Es ist eine Formmasse aus PE100 nach DIN 8075 einzusetzen.
- Für jede Formmassencharge ist ein FNCT - Mindestwert von > 1.600 Stunden (Prüfbedingungen: 80 °C, 4 N/mm<sup>2</sup>, 2 % Arkopal N-100) nachzuweisen. Der Kerbeinfluss an Bohrungen ist grundsätzlich geringer als an Schlitzten, selbst wenn Schlitzte mit Abrundungen versehen sind.

## **6.2 Schweißverbindungen**

Für die Schweißverbindungen der Rohre sind nur Fachfirmen mit fachlich geschultem und geprüftem Personal zugelassen. Gültige Kunststoffschweißerprüfungen sind mit den Zulassungsbescheinigungen zu dokumentieren. Schweißwulste sind innen und außen zu entfernen.

## **6.3 Perforierte PE-Rohre**

Zur Vermeidung von Rohrbrissen beim Einziehen von Kunststoffrohren ist der axiale Lochmittenabstand (LA) von mindestens:

$$2 \times \text{Rohrwand} + 2 \times \text{Lochdurchmesser}$$

einzuhalten.

Um ausreichende Eintrittsfläche nach DIN 4266 [11] und 19667 [17] (100 cm<sup>2</sup>/m freie Wassereintrittsfläche) zu erreichen, sind 12 Löcher am Umfang anzubringen, wobei jeweils 6 Löcher um die halbe Achse versetzt angeordnet werden. Als Mindestlochdurchmesser ist 12 mm zu wählen.

Da an geschlitzten Rohren Schäden überwiegend an nicht ausgerundeten Schlitzten aufgetreten sind, wird empfohlen, Schlitzecken auszurunden.

# **7 Statische Berechnung von Rohren und Schächten**

## **7.1 Überblick über die üblichen Berechnungsverfahren**

### **7.1.1. Rohre**

Die übliche statische Berechnung für Rohre in Deponien basiert auf den ATV Regelwerken Arbeitsblatt A127 [21] und seit März 1996 auf einer Ergänzung im Merkblatt M127 Teil 1 [22]. Für Sanierungen steht von der ATV seit Januar 2000 noch die Ergänzung M127, Teil 2 [23] zur Verfügung. Letztere behandelt allerdings im Wesentlichen die im kommunalen Bereich vorherrschenden Linerverfahren.

Gültige Bemessungsregeln für das im Deponiebau am häufigsten angewendete Sanierungsverfahren Berstlining existieren nicht. Von der LGA Bayern wurde jedoch in einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz ein Bemessungskonzept für das Verfahren erstellt [29]. Für die ebenfalls im Deponiebereich eingebauten Liner/Teilliner, sofern diese statische Funktionen übernehmen müssen, ist die sinngemäße Anwendung von M 127, Teil 2 möglich.

### **7.1.2. Schächte**

Die Bemessung von Schächten erfolgt nach den GDA Empfehlungen Geotechnik der Atlanten und Deponien E 2-22 [27]. Für Stabilitätsnachweise wird üblicherweise eine Untersuchung, die G. Sonntag 1966 veröffentlichte [35], angewendet.

### **7.1.3. Allgemeine Berechnungsmodelle**

Neben den genannten analytischen Methoden können alle Bauwerke mit den üblichen baustatischen Methoden berechnet werden. Stabwerksmodelle werden häufig für die Berechnung von Baugruben angewendet. Sie sind aber auch für jede Art von Rohren und Schächten einsetzbar. Dasselbe gilt auch für Kontinuumsmodelle (FEM Berechnungen).

## **7.2 Grundlagen der Berechnung**

Jede Berechnung erfordert die Kenntnis der Kenngrößen der eingesetzten Materialien. Für den Baugrund sind Kennwerte durch einen Baugrundspezialisten vorzugeben, teilweise kann auf in den Bemessungsrichtlinien angegebene Werte zurückgegriffen werden. Hinweise für Bemessungen und Angaben zum Material PE, das im Deponiebau am häufigsten eingesetzt wird, sind seit 1995 in 'Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien – Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme' des Deutschen Institutes für Bautechnik veröffentlicht. Weitere Angaben werden von den Herstellern der PE Werkstoffe gemacht. Für alle verwendeten Materialien müssen die Abminderungsfaktoren für Zeit-, Medium- und Temperatureinflüsse gemäß den Anforderungen des Einsatzbereiches angesetzt werden. Perforationen sind bei den Berechnungen der Rohre zu berücksichtigen.

## **7.3 Berechnung bei profiliertem Wandaufbau**

Profilierte Wandungen werden insbesondere bei Schächten aus PE regelmäßig im Deponiebau eingesetzt. Sie dienen der Materialersparnis und damit der Wirtschaftlichkeit des Bauwerkes. Eine statische Berechnung ist grundsätzlich nach denselben Verfahren wie für Vollwandquerschnitte möglich. Für die Berechnung wird üblicherweise eine 'äquivalente' Vollwanddicke verwendet. Während die so berechneten Ergebnisse für die Verformung direkt gültig sind, müssen die Spannungen in den Profilteilen im Anschluss an die Ermittlung der Schnittgrößen mittels äquivalenter Vollwanddicke separat unter genauer Berücksichtigung der Profilgeometrie ermittelt werden. Es kann keinesfalls davon ausgegangen werden, dass ein Erfüllen aller Anforderungen durch die Berechnung mit äquivalenter Vollwand dasselbe auch für das Profil bedeutet.

## **7.4 Dimensionierung von Rohren in Schachtnähe**

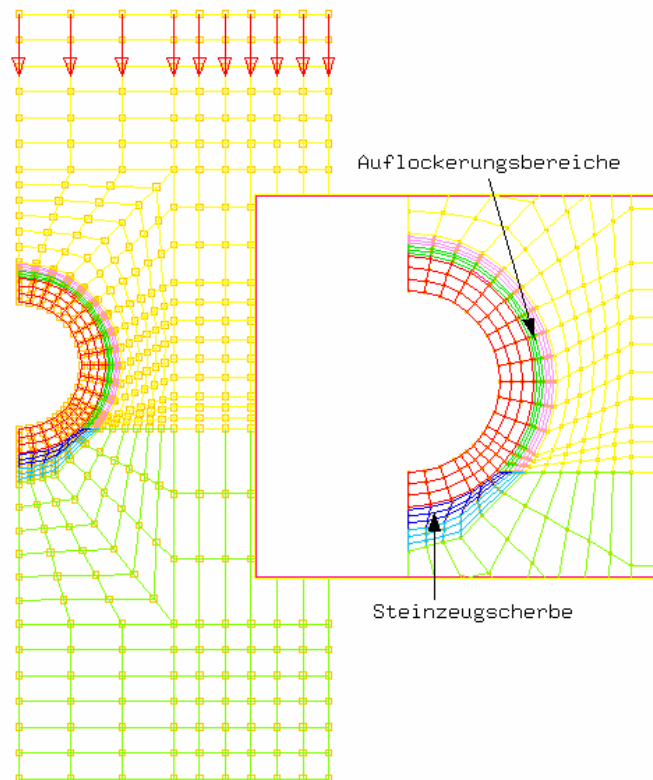
Von der LGA Bayern wurden in einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) schachtnahe Schäden, die auf mehreren Deponien aufgetreten sind, untersucht. Die Schäden reichen von Wassereinstau durch Absenken der Rohre über Risse bis zu Beulen von 2/3 des Rohrdurchmessers im Schachtbereich. Als wesentliches Ergebnis kann angesehen werden, dass die Vertikalspannungen unter Kiesmänteln das 2-fache der rechnerischen Auflast und mehr betragen können. Die Rohre in diesem Bereich sind entsprechend zu dimensionieren. Konstruktiv können Probleme z.B. durch Wahl der Fundamentgröße und -form in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten oder durch Hüllrohre schon beim Bau verringert werden.

## **7.5 Berechnung von Rohren beim Berstlining-Verfahren**

Eine übliche rohrstatische Berechnung nach den Regelwerken ATV A/M127 setzt definierte Einbauverhältnisse voraus und kann deshalb bei den im Berstlining-Verfahren verlegten Leitungen nicht angewendet werden. Um eine dauerhafte Funktion der neuen Entwässerungsleitungen zu gewährleisten, sind zur Erstellung einer zutreffenden statischen Berechnung weitergehende Untersuchungen von Rohrwerkstoff, Baugrund und Einbau erforderlich.

Es wurde im Auftrag des LfU ein Leitfaden zur Dimensionierung der neuen Sickerwasserleitungen erarbeitet, nach dem Standsicherheitsnachweise für die mit dieser Sanierungsmethode eingebauten Sickerwasserrohre mit abgesicherten Parametern und zutreffenden Lastfällen erstellt werden können. Hierfür ist eine Bestandsaufnahme vor der Maßnahme erforderlich, die alle relevanten Parameter deponiespezifisch erfasst. Interessant sind unter anderem neben allen Geometrien (Altrohr, Leitungszone) Materialien, Temperaturen, Neigungen des Altrohres und Verlegung in Radien. Mittels aller Daten kann die Ausschreibung erfolgen, zu der bereits eine Vorstatik für die neuen Rohre gehören sollte.

Die endgültige statische Berechnung kann zutreffend nur mittels FEM erfolgen. Hierfür sind baubegleitend Aufnahmen der tatsächlich entstandenen Einbaugeometrien und aller Besonderheiten - insbesondere auch bezüglich Boden-Abfallmaterials - erforderlich. Für die FEM Berechnung wird die vorgefundene Situation als Kontinuumsmodell abgebildet. Berechnungen erfolgen nun für verschiedene Parametervariationen.



FEM Netz Berstrohr

## 8 Ausschreibung von Wartung- und Sanierungsarbeiten

### 8.1 Allgemeines

Grundsätzlich ist zunächst zu ermitteln ob anhand einer Schwellenwertüberschreitung die Maßnahmen EU-weit ausgeschrieben werden müssen. Wartungsleistungen werden nach VOL oder VOB ausgeschrieben, Bauleistungen nach VOB.

Bei dem eigentlichen Vergabeverfahren haben sich beschränkte Ausschreibungen nach einem öffentlichen Teilnahmewettbewerb bzw. direkte beschränkte Ausschreibungen bewährt. Auf Basis von § 3 Nr. 3 Abs. 2a VOB 2a ist dies ohne weiteres möglich, da die Arbeiten in adäquater Art und Weise nur von einem beschränkten Kreis von Unternehmen ausgeführt werden können. Der entsprechende Passus gilt für die VOL/A analog.

Erforderliche Fristen müssen sehr genau geprüft werden, da zum Einen zwischen den inländischen Ausschreibungen und EU-weiten Ausschreibungen und zum Anderen zwischen der VOL und der VOB in Teilbereichen Unterschiede bestehen.

Für die Leistungsbeschreibung gelten folgende Maßgaben:

- Die Leistung ist eindeutig und so erschöpfend zu beschreiben, dass alle Bewerber die Beschreibung im gleichen Sinne verstehen müssen und ihre Preise sicher und ohne umfangreiche Vorarbeiten kalkulieren können.
- Dem Auftragnehmer darf kein ungewöhnliches Wagnis aufgebürdet werden für Umstände und Ereignisse auf die er keinen Einfluss hat.

- Die für die Ausführung der Leistung wesentlichen Verhältnisse der Baustelle z.B. Untergrund- und Wasserverhältnisse sind so zu beschreiben, dass Auswirkungen auf die bauliche Anlage und die Bauausführung hinreichend beurteilt werden können. Ortsbesichtigungen durch den Bieterkreis sind zu empfehlen.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Arbeiten an Entwässerungsleitungen im kontaminierten Bereich durchgeführt werden. Es ist deshalb ein hohes Maß an Arbeits- und Emissionsschutz in die Ausschreibung einzuarbeiten und bei der Preisbildung zu berücksichtigen. In der Regel kann hier, insbesondere bei der Durchführung von Sanierungsarbeiten ein Kostenansatz von bis zu 20 % der Gesamtbausumme zu Buche schlagen. Die immer wieder aktualisierten Vorschriften der Berufgenossenschaften und Unfallversicherungsverbände sind bei der Erstellung der Leistungsbeschreibung zu berücksichtigen.

Nebenangebote und Änderungsvorschläge sollten im Regelfall zugelassen werden, da die ausführenden Unternehmen oftmals über Erfahrungen und Erkenntnisse verfügen, die über die ausgeschriebenen Techniken hinausgehen.

## **8.2 Reinigungs- und Inspektionsarbeiten**

Wird die Leistungsfähigkeit der einzelnen Bieter über einen Teilnahmewettbewerb abgefragt, sollten folgende Nachweise erbracht bzw. Angaben gemacht werden:

- Angaben zu Reinigungsfahrzeugen (Pumpenleistungen, einsetzbare Düsen, Spülschlauchlängen ...)
- Angaben zu Inspektionskameras (Kabellängen, befahrbare Leitungsdurchmesser, Fahrwerke, Ex-Schutz Zertifikate)
- Angaben zu Messbereichen und –genauigkeiten der Temperatur- und Neigungsmessungen
- Angaben zum eingesetzten Datenerfassungsprogramm
- Referenzobjekte
- Angaben zur Arbeitsschutzausrüstung
- 

Die durchzuführenden Arbeiten sind unter exakter Beschreibung der Randbedingungen und zu erwartenden Schwierigkeiten zu beschreiben. Insbesondere sollten folgende Punkte enthalten sein:

- Allgemeine Beschreibung des Entwässerungssystems und aktuelle Analyse des Sickerwassers
- Beschreibung der einzelnen Haltungen (Längen, Rohrdimension, Material, Sohlhöhen, Neigungsverhältnisse ...)
- Beschreibung der Schachtbauwerke (Anfahrbarkeit, Zugängigkeit, Tiefe, Durchmesser ...)

- Besonderheiten in einzelnen Haltungen und Schächten (z.B. eingestürzte Bereiche, sanierte Bereiche, Bögen, verschraubte Abdeckungen ...)
- Letzte durchgeführte Reinigung und Inspektion, zu erwartender Verschmutzungsgrad
- Wasserentnahmemöglichkeit
- Wasserhaltung, wenn notwendig
- Räumgutentsorgung

Bewährt hat es sich, einen aktuellen Bestandsplan mit allen maßgeblichen Entwässerungsleitungen, Schächten und weiteren Randbedingungen den Ausschreibungsunterlagen beizufügen.

Das eigentliche Leistungsverzeichnis ist jeder Deponie spezifisch anzupassen. In der Regel sind folgende Positionenblöcke vorzusehen:

- Baustelleneinrichtung
- Reinigung von Schächten und Becken
- Reinigung der Entwässerungsleitungen mit herkömmlicher Technik
- Reinigung der Entwässerungsleitungen mit Spezialwerkzeugen (Rotationsdüse, Fräsen ...)
- Optische Inspektion von Schächten und Becken
- Optische Inspektion von Entwässerungsleitungen einschl. Höhen- und Temperaturprofil
- Optische Inspektion der Entwässerungsleitungen mit Spezialkameras (Schiebekamera, Kamera am Spülkopf ...)
- Dokumentation (Video - DVD's, Schachtprotokolle, Daten der TV-Inspektion auf Datenträger, Haltungsgrafiken, Temperatur- und Höhenprofile ...)
- Arbeitsschutz, Sicherheitstechnik
- Stundenlohnarbeiten

### **8.3 Sanierungsarbeiten**

Bei der Ausschreibung von Sanierungsarbeiten ist grundsätzlich zu beachten, dass derartige Arbeiten ausschließlich nur von erfahrenen und adäquat ausgerüsteten Firmen mit entsprechenden Referenzen durchgeführt werden dürfen.

Die Struktur der Verdingungsunterlagen ist im Prinzip nicht abhängig vom gewählten Sanierungsverfahren, so dass die nachfolgenden Angaben zunächst grundsätzlich auf alle Verfah-

renstechniken angewandt werden können. Fallspezifische Besonderheiten sind jedoch grundsätzlich zu berücksichtigen.

Wichtig in jedem Fall ist eine genaue Leistungsbeschreibung, die folgende Angaben enthalten sollte:

- Vorhandene bzw. zu sanierende Entwässerungsleitungen (Dimension, Lage und Richtungsänderungen, baulicher Zustand, Schäden, Ablagerungen, Abzweige ...) weitere Zwangspunkte die für das gewählte Sanierungsverfahren relevant sein können
- Angaben zum gewählten Sanierungsverfahren
- Zugängigkeit der zu sanierenden Leitung bzw. Angaben zur Herstellung der Zugängigkeit
- Angaben zu den vorgesehenen Materialien (PE-Rohre, Inlinerschläuche, Glasfaserlamine, Schachtauskleidungen ...)
- Verlangte Nachweise von Materialeigenschaften
- Überschüttungshöhen, Erforderliche Einfahrlängen in einzelne Haltungen
- Statiken
- Werkstoffe im Allgemeinen und Speziellen
- Vorhandene Rohrbettung und –umhüllung
- Ausführung von Baugruben und deren Verbau
- Angaben zu notwendigen Eigen- und Fremdprüfungen
- Arbeitsschutz (SiGe-Plan, Schwarz-Weiß Abgrenzungen, Atemschutz, Personenrettung, Betriebsanweisung, Gesundheitsprüfung des Personals, Technische Lüftungsmaßnahmen, Ex-Schutz von eingesetzten Maschinen ...)
- Qualitätsmanagementplan
- Angaben zum Aushubmaterial
- Entsorgungswege von Aushubmaterial

Die Aufteilung der einzelnen Positionen im Leistungsverzeichnis orientieren sich in großem Maße am durchzuführenden Sanierungsverfahren. Nachfolgend wird zum Zweck der Verallgemeinerung der mögliche Aufbau eines fiktiven Leistungsverzeichnisses dargestellt. Hierbei wurden alle möglichen Arbeitsfelder aufgeführt. Fallspezifisch können Teilbereiche auch entfallen.

- Baustelleneinrichtung
- Arbeits- und Immissionsschutz
- Vorbereitende Arbeiten (Hochdruckreinigung, Arbeiten mit Kanalroboter, TV-Inspektion, Ortung, Vermessung ...)

- Erdarbeiten (Rückbau und Wiederherstellung vorhandener Oberflächenabdichtung, Herstellung von Arbeitsplattformen und Fahr rampsen ...)
- Wasserhaltungsarbeiten
- Herstellung von Gruben und Gräben (Verbauarten, Aushubseparierung, Entsorgung von Aushub, Wiederverfüllung ...)
- Sanierungsarbeiten (Aufwendungen für die vorgesehenen Techniken)
- Rohrverlegearbeiten (Kosten für Rohrmaterialien, Rohrbettung – und Überschüttung)
- Aufwendungen für Qualitätsmanagement
- Straßen- und Wegebau (Schotterwege, Asphaltarbeiten ...)
- Dokumentation der durchgeführten Arbeiten einschl. Abnahmebefahrung
- Sonstiges
- Stundenlohnarbeiten

## **9 Literatur**

- [1] Bund  
Deponieverordnung - Verordnung über Deponien und Langzeitlager (DepV) vom 24. Juli 2002 (BGBl I Nr. 52 Seite 2807) zuletzt geändert am 13. Dezember 2006 durch Artikel 2 der Verordnung (BGBl. I Nr. 59, ausgegeben zu Bonn am 16. 12. 2006 S. 2860)
- [2] Bund  
Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall) Teil 1; Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen  
Bek. d. BMU v. 12. März 1991 - WA II 5-30121-1/18-
- [3] Bund  
Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall); technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993; Bundesanzeiger Jahrgang 45 Nr. 99a
- [4] NIEDERSACHSEN  
Eigenkontrolle und Jahresberichte für Deponien , RdErl. d. MU v. 20.03.1997 - 309-62805/2 (Nds. Mbl. Nr. 18/1997 S. 658)
- [5] NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE  
Deponiehandbuch - Anforderungen an Siedlungsabfalldeponien in Niedersachsen  
August 1994

- [6] DIN EN 728, Ausgabe: 1997-03  
Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme - Rohre und Formstücke aus Polyolefinen - Bestimmung der Oxidations-Induktionszeit; Deutsche Fassung EN 728:1997
  
- [7] DIN EN 752-1, Ausgabe: 1996-01  
Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeines und Definitionen; Deutsche Fassung EN 752-1:1995.
  
- [8] DIN EN 752-5, Ausgabe: 1997-11 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Teil 5: Sanierung; Deutsche Fassung EN 752-5:1997
  
- [9] DIN EN 921, Ausgabe: 1995-01  
Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Rohre aus Thermoplasten - Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens bei konstanter Temperatur; Deutsche Fassung EN 921:1994
  
- [10] DIN EN ISO 1043-1, Ausgabe: 2002-06  
Kunststoffe, Kennbuchstaben und Kurzzeichen; Teil 1: Basis-Polymere und ihre besonderen Eigenschaften (ISO 1043-1:2001)
  
- [11] DIN 4266-1, Ausgabe: 1992-01  
Sickerrohre für Deponien aus PVC-U, PE-HD und PP; Anforderungen, Prüfungen und Überwachung
  
- [12] DIN 8074, Ausgabe: 1999-08  
Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD - Maße
  
- [13] DIN 8075, Ausgabe: 1999-08  
Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen
  
- [14] DIN EN ISO 12162, Ausgabe:1996-04  
Thermoplastische Werkstoffe für Rohre und Formstücke bei Anwendungen unter Druck - Klassifizierung und Werkstoffkennzeichnung - Gesamtbetriebs(berechnungs)koeffizient (ISO 12162:1995);
  
- [15] DIN EN 12814-3, Ausgabe: 2000-03  
Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen- Teil 3: Zeitstand-Zugversuch; Deutsche Fassung EN 12814-3:2000
  
- [16] DIN EN 13244-2, Ausgabe: 2003-04  
Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erd- und oberirdisch verlegte Druckrohrleitungen; Polyethylen (PE); Teil 2: Rohre

- [17] DIN 19667, Ausgabe: 1991-05  
Dränung von Deponien; Technische Regeln für Bemessung, Bauausführung und Betrieb.
- [18] DIBt  
Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien – Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme – Deutsches Institut für Bautechnik Berlin, November 1995
- [19] DIBt  
Zulassungsgrundsätze für Formmassen aus Polyethylen (PE 63, PE 80, PE 100); Fassung 2004-12, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- [20] DVS  
Richtlinie DVS 2203-4 Beiblatt 1 und Beiblatt 2 "Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen –Zeitstandzugversuch" Ausgabe Dezember 2001
- [21] ATV / DVWK  
ATV DVWK Regelwerk Arbeitsblatt ATV-DVWK A 127 Statische Berechnung von Abwasserkanälen und –leitungen 3. Auflage August 2000
- [22] ATV / DVWK  
ATV Regelwerk Merkblatt M 127, Teil 1 „Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien, Ergänzung zum Arbeitsblatt A 127“, März 1996
- [23] DGGT  
GDA Empfehlungen Geotechnik der Altlasten und Deponien 3. Auflage 1997, Berlin Ernst & Sohn E 2-22 Vertikale Schächte in Deponien
- [24] LGA et al.  
Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz LfU, LGA/IB Wölfel, Sept. 2000
- [25] LGA  
Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien unter Berücksichtigung des statischen Berstens und des Kurzrohrberstlinings, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz LfU, LGA, Juli 2006
- [26] Edenberger  
Schäden in Deponieentwässerungsleitungen und Möglichkeiten zu deren Behebung, Beitrag zum Handbuch der Altlastensanierung, Kapitel 8204, C.F. Müller Verlag, Ergänzungslieferung Mai 2000.

- [27] Edenberger, Burkhardt  
Adäquate Überwachung und Instandhaltung von Deponieentwässerungssystemen in der Nachsorgephase einer Deponie , Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten 2002, Erich Schmidt Verlag
- [28] Edenberger  
Schäden in Deponieentwässerungssystemen –sanieren oder überwachen? , Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2005, Erich Schmidt Verlag
- [29] Edenberger  
Extremschäden in Steinzeugleitungen und bedarfsgerechte Sanierung mittels Glasfaserlaminaten und Linersystemen, 2. Urbacher Statusseminar „Deponieentwässerungssysteme“,2004
- [30] Edenberger  
Schäden in PE-Leitungen und Möglichkeiten der Sanierung – status quo -, 2. Urbacher Statusseminar „Deponieentwässerungssysteme“, 2004
- [31] Sonntag  
Die Stabilität dünnwandiger Rohre im kohäsionslosen Kontinuum, Felsmechanik und Ingenieurgeologie Vol. 4/3, 1966 Springer Verlag

## Mitglieder GSTT AG 6, AK 3

Ferrum Bau und Umwelt GmbH  
**Dipl.-Geol. Eckhard Brandt**  
Obmann

Ingenieurgesellschaft  
Prof. Czurda u. Partner  
**Dipl.-Ing. (FH)  
Wolfgang Edenberger**

Boden- und Deponiesanierungs  
GmbH  
**Dipl.-Ing. Detlef Löwe**

LGA Nürnberg  
**Dipl.-Ing. Armin Stegner**

Frank Deponietechnik GmbH  
**Dipl.-Ing. Philipp Frank**  
**Dipl.-Ing. Heike Frank**

AVR  
Abfallverwertungsgesellschaft  
des Rhein-Necker-Kreises  
**Dipl.-Ing. Norbert Bauknecht**

Tracto Technik GmbH  
**Dipl.-Ing. Jörg Sommer**

Ferrum Bau und Umwelt GmbH  
**Dipl.-Geog. Michael  
Lobenhofer**

KTF GmbH  
**Dipl.-Ing. (FH) Walter Friess**

IWA Ingenieurgesellschaft für  
Wasser und Abfallwirtschaft  
**Dr.-Ing. Ernst Reuter**

Staatliches Gewerbe-  
aufsichtsamt Hildesheim  
**Dipl.-Ing. Wolfgang Bräcker**

AWG Abfallwirtschaftsbetrieb  
Landkreis Calw GmbH  
**Dipl.-Ing. Anja Brinkmeyer**



**AWG Abfallwirtschaftsbetrieb  
Landkreis Calw GmbH**  
Anja Brinkmeyer

Gäuallee 5  
72202 Nagold

Tel. 07452/6006-7045  
Mail: [anja.brinkmeyer@awg-info.de](mailto:anja.brinkmeyer@awg-info.de)

# Ferrum

**Bau und Umwelt**

A  COMPANY

**Ferrum Bau und Umwelt  
GmbH**

Eckhard Brandt  
Julius-Müller-Straße 6  
32816 Schieder-Schwalenberg  
Tel. 05284/705-311  
Mail [eckhard.brandt@kmg.de](mailto:eckhard.brandt@kmg.de)

Michael Lobenhofer  
Bergheimer Str. 8  
92287 Schmidmühlen  
Tel. 09474/9517931  
Mail [lobenhofer@ferrum-umwelt.de](mailto:lobenhofer@ferrum-umwelt.de)



**Ingenieurgesellschaft  
Prof. Czurda u. Partner**  
Wolfgang Edenberger

Größenwiesenweg 28  
73660 Urbach  
Tel. 07181-995203  
Mail: [edenberger@icp-ing.de](mailto:edenberger@icp-ing.de)

Boden- und Deponie-Sanierungs GmbH



**Boden- und Deponiesanie-  
rungs GmbH**

Detlef Löwe  
Untere Hauptstraße 9  
85386 Eching  
Tel. 089-962421-0  
Mail: [loewe@but.de](mailto:loewe@but.de)



**LGA Nürnberg**  
Armin Stegner

Tillystraße 2  
90431 Nürnberg  
Tel. 0911-655-4843  
Mail: [armin.stegner@lga.de](mailto:armin.stegner@lga.de)



**CPT Chevalier Pipe Techno-  
logies GmbH**

Lutz Belting  
Julius-Müller-Straße 6  
32816 Schieder-Schwalenberg  
Tel. 05284/705-403  
Mail [lutz.belting@cptlink.com](mailto:lutz.belting@cptlink.com)



**Frank Deponietechnik GmbH**

Phillipp Frank  
Heike Frank  
Industriestraße 10  
61200 Wölfersheim  
Tel. 06036-9798317  
Mail [h.frank@frank-gmbh.de](mailto:h.frank@frank-gmbh.de)



**aha Abfallwirtschaft  
Hannover**

Dr. Beate Vielhaber  
Karl-Wiechert-Allee 60 c  
30625 Hannover  
Tel. 0511-991147949  
Mail: [beate.vielhaber@aha-region.de](mailto:beate.vielhaber@aha-region.de)



**IWA Ingenieurgesellschaft für  
Wasser und Abfallwirtschaft**

Dr. Ernst Reuter  
Marienstraße 122  
32425 Minden  
Tel. 0571-9461811  
Mail: [reuter@iwa-minden.de](mailto:reuter@iwa-minden.de)



**KTF GmbH  
Kanal-Technik-Friess**

Dipl.-Ing. (FH) Walter Friess  
Kirchplatz 18  
89177 Börslingen  
Tel. +49(0)7340 / 91992 0  
Mail: [info@ktf-gmbh.de](mailto:info@ktf-gmbh.de)