



Abfallverwertungsgesellschaft  
des Landkreises Ludwigsburg mbH  
71638 Ludwigsburg



Größenwiesenweg 28  
73660 Urbach

Projektgemeinschaft

## **„Standzeitprognose von Sickerwasserleitungen aus PE“**

**Im Auftrag des Umweltministeriums  
Baden-Württemberg**

Abschlussbericht

Urbach, im Februar 2012

# 1 INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b><u>INHALTSVERZEICHNIS</u></b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><u>PROJEKT BETEILIGTE</u></b>	<b>4</b>
	2.1 Auftraggeber	4
	2.2 Projektgemeinschaft	4
	2.3 Labortechnische Untersuchungen	4
<b>3</b>	<b><u>VERANLASSUNG / AUFGABENSTELLUNG</u></b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b><u>ZUR VERFÜGUNG STEHENDE UNTERLAGEN</u></b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b><u>GRUNDDATEN ZUR UNTERSUCHTEN ENTWÄSSERUNGSLEITUNG</u></b>	<b>9</b>
	5.1 Allgemeine Angaben zur Deponie „Burghof“	9
	5.2 Allgemeine Angaben zur untersuchten Leitung	9
	5.3 Rohrmaterial im Sanierungsabschnitt	10
	5.4 Beschreibung der Basisabdichtung, geologische Barriere	11
	5.5 Abfallzusammensetzung	11
	5.6 Ergebnisse der Temperaturmessungen	11
	5.7 Zusammensetzung des Sickerwassers	11
<b>6</b>	<b><u>ALLGEMEINES ZUR RISSBILDUNG IN PE-LEITUNGEN</u></b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b><u>SCHADENS BILD IN HALTUNG S6.1</u></b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b><u>DARSTELLUNG DES SCHADENS BILD AM AUSGEBAUTEN ROHR</u></b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b><u>ERGEBNISSE DER DURCHGEFÜHRTEN UNTERSUCHUNGEN</u></b>	<b>20</b>
	9.1 Auflager und Bettung des gerissenen Rohres	20
	9.2 Labortechnische Untersuchung des Rohrmaterials	20
	9.3 Statische Nachberechnung der vorgefundenen Einbausituation	21
<b>10</b>	<b><u>GESAMTINTERPRETATION DER ERMITTELTEN ERGEBNISSE</u></b>	<b>22</b>
<b>11</b>	<b><u>HANDLUNGSEMPFEHLUNG</u></b>	<b>24</b>
	11.1 Materialanforderungen für neu zu verlegende Rohre	24
	11.2 Rechnerische Anforderungen	24
	11.3 Bautechnische Maßnahmen	26
	11.4 Prognosewirksame Aussagen	26
<b>12</b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG/RESUMEE</u></b>	<b>28</b>



---

## Anlagen:

- 1 Statische Bemessung des eingebauten Rohres, Materialvorgaben
- 2 Zeitstandzugprüfungen an Rohrproben der Haltung S6.1
- 3 Bodenmechanische Untersuchung der Auflagerbedingungen der Haltung S6.1
- 4 Sickerwasseranalyse; Gesamtsickerwasser der Deponie Burghof
- 5 Nachrechnung von deformierten PE-Rohren der Deponie Burghof, TÜV Rheinland/LGA Bautechnik GmbH
- 6 Checkliste zur Standzeitbeurteilung von PE-Leitungen

## 2 PROJEKT BETEILIGTE

### 2.1 Auftraggeber

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden Württemberg  
Kernerplatz 9  
70182 Stuttgart  
Tel: 0711/126-2691; Fax: 0711/126-2867; e-mail: [rolf-wizgall@um.bwl.de](mailto:rolf-wizgall@um.bwl.de)  
Ansprechpartner: Ministerialrat Rolf Wizgall

### 2.2 Projektgemeinschaft

#### Deponiebetreiber

AVL  
Abfallverwertungsgesellschaft des Landkreises Ludwigsburg mbH  
Hindenburgstr. 30  
71638 Ludwigsburg  
Tel: 07141/14456-00; Fax: 07141/14456-70;  
e-mail: [Albrecht.Tschackert@avl-ludwigsburg.de](mailto:Albrecht.Tschackert@avl-ludwigsburg.de)  
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Albrecht Tschackert, Prokurist

#### Federführung und Koordination:

ICP  
Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH  
Größenwiesenweg 28  
73660 Urbach  
Tel: 07181/99520 3; Fax: 07181/99520 4; e-mail: [edenberger@icp-ing.de](mailto:edenberger@icp-ing.de)  
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Edenberger, Leiter Büro Urbach  
**Mitglied im GSTT-Arbeitskreis 3 AG 7: Instandhaltung Entwässerungsleitungen  
in Deponien**

### 2.3 Labortechnische Untersuchungen

HESSEL Ingenieurtechnik GmbH  
Am Vennstein 1a  
D-52159 Roetgen  
Tel.: 02471 - 920 22-0; Fax: 02471 - 920 22-19, e-mail: [info@hessel-ingtech.de](mailto:info@hessel-ingtech.de)

### 3 VERANLASSUNG / AUFGABENSTELLUNG

Deponien sind heutzutage gut durchgeplante Ingenieurbauwerke, welche die Aufgabe haben, die Umwelt möglichst lange vor den Schadstoffen in Abfällen zu schützen. Hierzu werden Deponien abgedichtet, so dass kein verschmutztes Sickerwasser durch die Basisabdichtung aus der Deponie austreten und Boden, Grund- oder Oberflächenwasser verschmutzen kann.

Zur gezielten Entwässerung der Deponiekörper werden auf der Basisabdichtung Sickerrohre verschiedenster Materialien verlegt. Die Art und das Material dieser Rohre hat seit den 70 er Jahren eine Entwicklung durchgemacht, die seit Mitte der 80 er Jahre in der Verlegung von PE - Leitungen mündete.

Bis vor kurzem bestand die Auffassung, dass die Rohre aus PE den hohen chemischen und physikalischen Beanspruchungen in einem Deponiekörper gewachsen sind und dieses Rohrmaterial eine über viele Jahrzehnte anhaltende Entwässerung des Deponiekörper sicherstellt.

Seit wenigen Jahren zeigen sich in zahlreichen Deponien neuartige, völlig unerwartete Schäden, welche zum Versagen der Entwässerung führen, obwohl die Rohre zum Zeitpunkt des Einbaus nach dem Stand der Technik und des seinerzeitigen Wissens hinsichtlich ihrer Standsicherheit bemessen wurden:

Es bilden sich Risse in den Rohren (Abbildung 1).

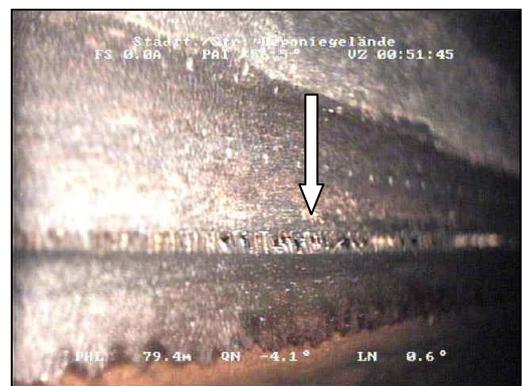


Abbildung 1: Beginnender Längsriss in einem PE – Rohr

#### Hinweis:

Im Folgenden werden immer wieder Bilder von Rissen in PE-Rohren gezeigt. Um dem Leser zu verdeutlichen, wo sich diese Risse im Umfang der Rohrwandung befinden, wird neben dem jeweiligen Bild ein Schema stehen, dass mit einem Pfeil die Lage des Risses am Rohr aufzeigt.

Aussagen über die Ursachen dieser Schäden sind derzeit rein spekulativ und wissenschaftlich nicht fundiert. Das in einigen Deponien festgestellte Fortschreiten bei der oben dargestellten Rissbildung übertrifft die seither gemachten Erfahrungen bei der Schadensentwicklung in z.B. Steinzeugleitungen bei der Entwicklungsgeschwindigkeit um ein Vielfaches. Zum Teil konnte schon ein völliges Versagen der Rohre in Teilbereichen beobachtet werden.



Abbildung 2: Einsturz in einem PE - Rohr

Dies kann zur Folge haben, dass

- die Leitung nicht mehr mit Hochdruck gereinigt werden kann und sich entsprechend massive Ablagerungen bilden, die letztendlich zu einem Rohrverschluss führen
- ein hervorgerufener Sickerwasseraufstau auf die Basisabdichtung stattfindet, was einen unkontrollierten Sickerwasseraustrag aus dem Deponiekörper nicht ausschließen lässt.

Es steht fest, dass derartige Schäden hinsichtlich des Verlaufes nur dann hinreichend prognostizierbar bzw. beurteilbar werden, wenn man sich ein breit gefächertes Abbild der jeweils auf die bereits geschädigten Rohre einwirkenden Randbedingungen mit folgenden Zielsetzungen erstellt:

- Erstellung einer Handlungsempfehlung hinsichtlich Notwendigkeit und Zeitpunkt der Sanierung bereits vorhandener (geschädigter) Rohre, (so spät als möglich, aber so früh dass immer noch durchführbar)
- Anpassung bzw. Qualifizierung der derzeitig verwendeten Werkstoffe
- Hilfestellung für Auswahl und Dimensionierung neuer Rohrmaterialien für
  - die Sanierung und
  - den Neubau von Sickerwasserleitungen.

Im Rahmen einer aktuell anstehenden Sanierung einer Sickerwassertransportleitung auf der Deponie „Burghof“ (Landkreis Ludwigsburg) bot sich die Möglichkeit, Proben aus gerissenen Rohrabschnitten einer PE-Leitung zu entnehmen. Die in genannter Haltung festgestellte Rissbildung weicht von den herkömmlichen Randbedingungen in gerissenen PE-Drainagerohren (gelocht oder geschlitzt) ab, da es sich um eine vollwandige Abflussleitung unterhalb der Basisabdichtung handelt. Dieser Aspekt „verschärft“ die Diskussion dahingehend, dass das Riss begünstigende Element der Drainageöffnungen fehlt. Die Beschreibung der betroffenen Haltung S6.1 erfolgt im Weiteren.

Die Abfallverwertungsgesellschaft des Landkreises Ludwigsburg hat die Sanierungsarbeiten im Zuge einer beschränkten Ausschreibung an die Fa. BHG aus Ludwigshafen zu einem Auftragsvolumen von ca. 1,07 Mio. € inkl. MwSt. vergeben. Hierbei werden insgesamt 7 verrohrte Bohrungen mit Tiefen bis ca. 40 m auf die Deponiebasis abgeteuft und eine Rohrstrecke von ca. 40 m mittels Berstverfahren sowie ca. 25 m in offener Bauweise in den verrohrten Bohrungen erneuert.

Die im Zuge der Baumaßnahme entnommenen Rohrproben sollten in einem kunststofftechnischen Labor untersucht werden auf:

- Übereinstimmung mit den für die Bemessung zu Grunde gelegten Werkstoffeigenschaften,
- Veränderungen der ursprünglichen Werkstoffeigenschaften
- Zeitstandverhalten, Alterungsverhalten und Entwicklungsprognose der Materialeigenschaften



Insgesamt wurden im Rahmen dieses ersten Projekts 3 Materialproben untersucht, bewertet und die Ergebnisse in einem ausführlichen Bericht zusammengefasst (Anlage 2). Ergänzend werden unter anderem Veränderungen des Rohrmaterials in Korrelation mit den sich darstellenden Randbedingungen (Temperatur, Rohraflager, u.a.) gesetzt sowie die vorgenannten Punkte abgearbeitet.

Mit vorliegendem Bericht werden die gewonnenen Erkenntnisse dargestellt.

#### 4 ZUR VERFÜGUNG STEHENDE UNTERLAGEN

- TV-Inspektion der Haltung S6.1 vom 17.06.2009 durch die Ferrum GmbH
- Temperaturmessungen in Haltung S6.1
- Sickerwasseranalysen der Deponie Burghof
- Zeitstandzugprüfungen an Proben aus der Haltung S6.1 zur Bestimmung des Widerstandes gegenüber langsamem Rissfortschritt im Full Notch Creep Test (FNCT); Hessel Ingenieurtechnik GmbH, 13.10.2009
- Bodenmechanische Untersuchungen im Bereich des Rohraufagers in Haltung S6.1; ICP Karlsruhe, August 2009
- Statische Berechnung der in Haltung S6.1 eingebauten Rohre vom 05.03.1987; Simona Rohrwerke, Kirn
- Qualitätsanforderungen an die zur Verwendung vorgesehenen PE-Rohre; Leistungsverzeichnis vom 26.08.1986, Vedewa Stuttgart
- Vermessungsplan der Haltung S6.1, Vermessungsbüro Wild, 1987, Umrechnung von örtlichen Koordinaten in Gauss-Krüger-Koordinaten
- 2 Bilder vom Ausbau der Parzelle VI, AVL, 25.09.1987
- Aufmassskizze der Fa. ATS Bau, 07.08.1987 vom Ausbau der Parzelle VI
- Aktenvermerk an Dezernat II über Amt 22 / 210, Landratsamt Ludwigsburg, Amt 22, Peter Maier, vom 11.03.1987 und 14.05.1987 bzgl. Ausbau der Parzelle VI
- Schreiben der VEDEWA an das Landratsamt Ludwigsburg, 25.02.1987, Herrichtung der Parzelle VI zur Ablagerung von Müll
- Nachrechnung der Statik nach heutigem Maßstab (Vergleich der heute erforderlichen Dimensionierung bei der vorhandenen Materialqualität), Anlage 5

## 5 GRUNDDATEN ZUR UNTERSUCHTEN ENTWÄSSERUNGSLEITUNG

### 5.1 Allgemeine Angaben zur Deponie „Burghof“

Typ: Siedlungsabfalldeponie, Rohmülldeponie bis zum Mai 2005, danach Deponie für mineralische Abfälle, (nachfolgend Inertmüll genannt) gemäß TA Siedlungsabfall, Deponieklasse II

Eigentümer des Geländes: Stadt Vaihingen/Enz.

Zulassung: Planfeststellungsbeschluss des Regierungspräsidiums Stuttgart vom 8. Juli 1975

- Betriebsbeginn: 1978
- genehmigte Ablagerungsfläche: ca. 40,2 ha
- Volumen insgesamt (brutto): ca. 10,4 Mio. m<sup>3</sup>

Die Deponiesickerwassererfassung, -aufbereitung und -ableitung umfasst:

- Deponiesickerwasserleitungen (ca. 7.650 m befahrbar) aus Ton, Steinzeug und PE-HD
- 20 Schächte
- Sickerwasserstaukanal (2 Rohre, Volumen ca. 460 m<sup>3</sup>)
- Sickerwasserleitungen außerhalb der Ablagerungsfläche ca. 2.200 m
- Sickerwasserreinigungsanlage
- Transportleitung zum Mettertalsammler

### 5.2 Allgemeine Angaben zur untersuchten Leitung

Die Haltung S6.1 befindet sich in Parzelle VI der Deponie Burghof und besteht aus Polyethylen. Sie verläuft zunächst als  $\frac{2}{3}$  gelochte Drainageleitung mit einem Aussendurchmesser von 280 mm und einer Wandstärke von 25 mm, ausgehend von einem eingehauten Anfangsstutzen an der Deponierandstraße, auf der Deponiebasis. In Fließrichtung taucht die Haltung bei ca. 116 m unter die Basisabdichtung eines Erweiterungsabschnittes und verläuft dort in denselben Dimensionen als vollwandige Transportleitung. Bei ca. 200 m in Fließrichtung erfolgt ein Dimensionswechsel von 280 mm auf 400 mm mit einer Wandstärke von 36 mm. Von dort verläuft die Leitung bis zum Deponiefuß. Die Gesamtlänge beträgt ca. 460 m.

Die maximale Müllüberdeckung beträgt im Bereich des Sanierungsabschnittes etwa 45 m.

Die Haltung wird in der Trasse von acht Sickerwasserdrainageleitungen gekreuzt. Zwei Haltungen sind im Kämpferbereich angeschlossen. Sie liegen in einem Bereich, der nicht saniert wird. Zwei weitere Leitungen sind im Scheitel angeschlossen. Sie liegen im erwähnten Sanierungsabschnitt. Die restlichen Haltungen sind nicht angeschlossen.

Bedingt durch das festgestellte und nachfolgend näher beschriebene Schadensbild war eine Sanierung des vollwandigen Haltungsabschnittes unter der Basisabdichtung zwischen dem Leitungsbereich ab Meter 116 und bis Meter 180 in Fließrichtung erforderlich.

Das vollwandige Rohr wurde mit einem Erweiterungsabschnitt überbaut. Der zu sanierende Abschnitt liegt auf der gesamten Länge unterhalb der Basisabdichtung dieses Abschnittes.

Das Rohr wurde beim Einbau in bindiges Material eingebettet und befindet sich im Sanierungsbereich zwischen 0 m (Durchdringungsbereich) und bis zu 2,5 m unterhalb der Basisabdichtung. Die nachfolgende Abbildung zeigt das in der Baugrube (Tiefe ca. 40 m) freigelegte Vollrohr.



Abbildung 3: Einbettung des zu untersuchten Rohres

### 5.3 Rohrmaterial im Sanierungsabschnitt

Durch Recherchen in Bauakten der AVL konnten detaillierte Angaben zu den in diesem Bereich verwendeten Rohren ermittelt werden. Ergänzend zu den nachfolgenden Angaben können die Unterlagen in Anlage 1 eingesehen werden. Es konnten zwar nur die statischen Berechnungen für das in diese Bereich ebenfalls verwendete gelochte Rohr ermittelt werden. Die statischen Werte stellen sich für ein nicht geschwächtes vollwandiges Rohr jedoch als grundsätzlich besser dar.

*Einbaujahr der Rohre: 1987*

*Anforderungen gem. Leistungsverzeichnis: PEh, „deponietauglich“, formbeständig bis 50°C*

*Statische Berechnung und geliefertes Rohrmaterial:*

- Rohrwerkstoff PE-HD nach DIN 8074/75
- Aussendurchmesser 280 mm
- Wandstärke 25,5 mm
- Temperaturkoeffizient für statische Berechnung 45 °C
- Müllüberdeckungshöhe 60 m

Insgesamt lässt sich sagen, dass das verwendete Rohr dem damaligen Stand der Technik entsprach. Durch die Verlegung des Vollrohres in bindigem Material haben sich die Bedingungen für das Rohr gegenüber der statischen Berechnung eher verschlechtert. Eine Rohrbettung in Sand wäre hier günstiger gewesen.

#### **5.4 Beschreibung der Basisabdichtung, geologische Barriere**

Im Bereich der Parzelle VI wurde dem damaligen Stand der Technik entsprechend Ton in einer Lagenstärke von 2 x 30 cm als Basisabdichtung eingebaut. Die Drainagerohre wurden anschließend auf einem Rohraufleger verlegt. Zum Schutz der Basisabdichtung wurde Boden mit einer Mächtigkeit von ca. 1 m aufgebracht. Im Bereich der Drainageleitungen wurden Rigolen aus Kiese / Schotter 16/32 ebenfalls mit einer Mächtigkeit von ca. 1 m eingebaut.

#### **5.5 Abfallzusammensetzung**

Während der Verfüllung wurden Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbe- und Bauabfälle eingebaut. Im Rahmen des Baus der temporären Abdichtung wurde zu profilierungszwecken 1 bis 2 m Boden und Bauschutt eingebaut. Die temporäre Abdeckung besteht aus einem Bändchengewebe.

#### **5.6 Ergebnisse der Temperaturmessungen**

In der Haltung S6.1 wurden parallel zur Befahrung mit einer Inspektionskamera Temperaturmessungen durchgeführt. Die aktuellen Aufzeichnungen zwischen 2003 und 2009 zeigen Temperaturen im Bereich des untersuchten Rohres zwischen 35 und 45 °C. Es ist davon auszugehen, dass das Rohr zu Beginn der Befüllung der Deponie höheren Temperaturen ausgesetzt war. Aufgrund seiner räumlichen Lage unterhalb der Basisabdichtung und den Erfahrungen bei vergleichbaren Deponien schätzen wir die Situation so ein, dass nicht von einer Maximalbelastung über 60° C auszugehen ist.

#### **5.7 Zusammensetzung des Sickerwassers**

Für den durch die Haltung S6.1 entwässerten Bereich liegen keine separaten Sickerwasseranalysen vor. Regelmäßig untersucht wird das Gesamtsickerwasser der Deponie. Das Sickerwasser der Deponie „Burghof“ (siehe Anlage 4) entspricht dem normalen Sickerwasser einer ehemaligen Hausmülldeponie. Das Rohrmaterials war demnach keinen außergewöhnlichen chemischen Belastungen ausgesetzt.

## 6 ALLGEMEINES ZUR RISSBILDUNG IN PE-LEITUNGEN

Nach den aktuellen Erkenntnissen zeichnen sich die Rissbilder in PE-Leitungen in verschiedenen Entwicklungsstufen ab, die teilweise sehr rasch verlaufen. Die Entwicklung zeigt zunächst eine Vertiefung an der Oberfläche [1], im zweiten Stadium ein anreißen und „ziehen“ des PE-Materials [2] bis hin zum klaffenden Riss im Endstadium [3].



Stufe 1 Vertiefung



Stufe 2 Dehnung  
mit Fadenbildung



Stufe 3 Riss

**Abb. 4 bis 6: Entwicklungsstadien der Rissbildung in biegesteifen Rohren ohne Lochung bzw. Schlitzung**

Kommt es zu einer Überlagerung der verschiedenen Längrisse mit Querrissen sowie zu einem „Durchreißen“ der gesamten Rohrwandstärke, kann dies zu Scherbenbildung bzw. im Endstadium zu einem Einsturz der PE-Leitung führen (Abbildung 2), wie er ansonsten nur von den biegesteifen Steinzeugleitungen bekannt ist.

Diese Einstürze sind oftmals nur sektional, machen jedoch eine Reinigung und TV-Inspektion der betroffenen Leitung nicht mehr möglich.

Als alarmierend anzusehen ist die Geschwindigkeit mit der sich die Risse in einigen Leitungen fortsetzen. Sowohl die Anzahl als auch die Längenentwicklung der Risse kann sich innerhalb eines halben Jahres verdoppeln.

## 7 SCHADENSbild IN HALTUNG S6.1

Das Hauptschadensbild der Haltung S6.1 zeigt sich in Form von Längsrissen im Scheitel-, Kämpfer und Sohlbereich der Leitung, die 2005 erstmals festzustellen waren. In Teilbereichen wurden in 2008 erstmals auch Querrisse festgestellt. Die Längsrisse haben sich zunächst im Scheitel- und im Kämpferbereich gezeigt. In einem fortgeschrittenen Stadium wurden Risse auch in der Sohle festgestellt. Weiter weist die Haltung Deformationen mit Querschnittsreduzierungen zwischen 10 und 17 % auf.

Die Rissbildung zeigt sich sowohl in verformten als auch in unverformten Bereichen, definitive Erklärungen gibt es hierfür nicht, vermutlich ist der Grund in der inneren Stabilität bzw. einem Stabilitätsverlust zu suchen. Die nachfolgende Fotodokumentation zeigt den allgemeinen Zustand der Leitung vor der Sanierung.

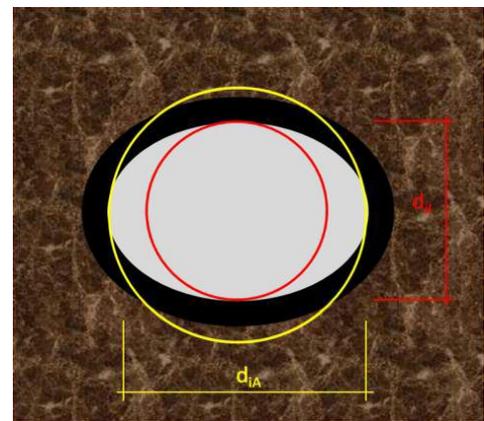


Abbildung 7: stärkste Verformung im untersuchten Bereich und Vermessungsprinzip

Die Messung der Verformung erfolgt in sogenannten Teilkreisverfahren. Hierbei werden auf dem Bildschirm 2 Kreise eingeblendet, die mit der Maus auf dem Live-Bild positioniert und in ihrer Größe verändert werden können. Die Kreise müssen so platziert werden, dass ein Kreis auf den „idealen“ kreisförmigen Rohrquerschnitt gesetzt und der zweite innerhalb des „deformierten“ Querschnittes positioniert wird. Das Durchmesser Verhältnis beider Teilkreise zueinander ist ein Maß für die Deformation des Rohres. Das Messergebnis wird in einem Messwertfeld angezeigt und an der entsprechenden Kameraposition in der Leitung im Protokoll der TV-Inspektion gespeichert.



Abbildung 8: Darstellung der Verformungsmessung

Für biegeweiche Rohre ist eine vertikale Durchmesseränderung  $\delta_v$  im Langzeitnachweis von 6 % zulässig. Wird die Standsicherheit nach dem Ansatz der Theorie 2. Ordnung gemäß den Bemessungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) nachgewiesen, ist unter gewissen Voraussetzungen eine Verformung von bis zu  $\delta_v = 9$  % zulässig. In diesem Zusammenhang wird auf die Ausführung der statischen Nachberechnung in Anlage 5 hingewiesen.

Larjoomaa [1] gibt den in Tabelle 2 aufgeführten Klassifizierungsvorschlag zur Beurteilung verformter relativ dünnwandiger (SDR 26, SDR 33) Kanalrohre im Bereich der Stadtentwässerung:

Klasse	Querschnittsveränderungen	Beurteilung
I	$\delta_v < 8$ %	Tauglich
II	$8 \% < \delta_v < 12$ %	Tauglich mit Vorbehalten
III	$12 \% < \delta_v < 16$ %	Tauglich mit Bedenken
IV	$\delta_v > 16$ %	Untauglich

**Tab.1: Schwedischer Klassifizierungsvorschlag zur Beurteilung der Verformung biegeweicher Kanalrohre**

Ein vollständiges Beulen (Zusammenfallen des Rohrquerschnittes) bei Kanalrohren aus PE tritt nach Lauer [2] und Brömstrup [3] bei etwa 35 bis 40 % Verformung ein.

Die GDA-Empfehlung A 4-16 gibt für Sickerrohre aus PE in Deponien folgende Hinweise:

Überschreiten die sich einstellenden Verformungen ( $\delta_v$ ) 9 %, so ist die betreffende Haltung auf eine Verstärkung des Schadensbildes über die Zeit hin zu beobachten. Bei Verformungen über etwa 15 % ist die Kamerabefahrung und Beobachtung zu intensivieren. Bei Verformungen ab etwa 25 bis 30 % sind wegen der drohenden Zerstörung des Rohres geeignete Sanierungsmaßnahmen einzuleiten. Für PVC-Rohre gelten diese Empfehlungen nicht, da PVC ein anderes Verformungsverhalten zeigt.

Querschnittsveränderungen	Beurteilung / Handlungsempfehlung
$\delta_v \leq 9$ %	Verformungen unbedenklich
$> 9 \% < \delta_v \leq 15$ %	tauglich mit Vorbehalten, Verformung ist zu beobachten
$> 15 \% < \delta_v < 30$ %	Verstärkte Beobachtung des verformten Bereichs
$\delta_v \geq 30$ %	Sanierungsmaßnahmen sind einzuleiten, da totales Versagen und Rissbildung droht

**Tab.2: Handlungsempfehlungen des Arbeitskreises 6.1 „Geotechnik der Deponien“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT)**

[1] LARJOMAA, I.: Ergebnisse der Überprüfung erdverlegter Kanalisationsrohre Straßen und Tiefbau ( s+t ) 1980

[2] LAUER, H.: Statische Berechnung von erdverlegten Entwässerungskanälen aus PVC-hart und PE-hart 3R international 17, 1978

[3] BRÖMSTRUP, H.: Das Tragverhalten biegeweicher Rohre Vortrag im Rahmen eines Seminars; Wechselwirkung zwischen Statik und Bauausführung erdverlegter Abwasserkanäle

Bei der Beurteilung von Querschnittsverformungen ist des Weiteren von Belang, ob das betreffende Rohr zukünftig durch zusätzliche Aufschüttung (durch Abfall oder Profilierungsmaterial) höhere Lasten erfährt, oder ob das Rohr nicht mehr zusätzlich belastet wird. In letzterem Falle kann sich eine stabile Situation einstellen, da sich das Rohr durch die Verformung zumindest teilweise der Last entzieht.

In jedem Fall empfehlen wir, die in den beiden Tabellen gezeigten Handlungsempfehlungen auf die Belange einer gesicherten Entwässerung von Deponien an die gewonnenen Erkenntnisse anzupassen, da sich bereits bei einem Verformungsgrad von 10 bis 15 % Risse einstellen, die in kurzer Zeit zum Versagen der Rohrleitung führen können.

Die nachfolgenden Bilder zeigen Risse in der untersuchten Leitung in den bereits aufgezeigten verschiedenen Entwicklungsstadien.

Als allgemeingültig kritisch anzusehen ist die Tatsache, dass die Rissfortpflanzung bzw. die Rissentstehung und – fortpflanzung in einer, bei biegesteifen Rohren nicht bekannten, rasanten Geschwindigkeit abläuft.

Weitere Angaben zur Intensität der einzelnen Rissentwicklungsstufen können den Darstellungen in Abschnitt 8 entnommen werden. Weiterführend wird auf das Gutachten in Anlage 2 verwiesen.

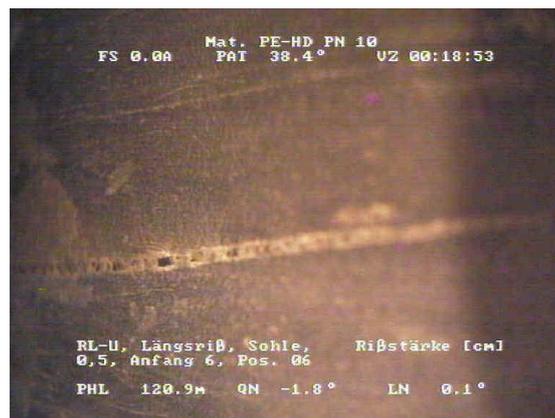


Abbildung 9: Beginnender Längsriß in der Sohle



Abbildung 10: Querriß in der Sohle



Abbildung 11: Querriss in der Sohle

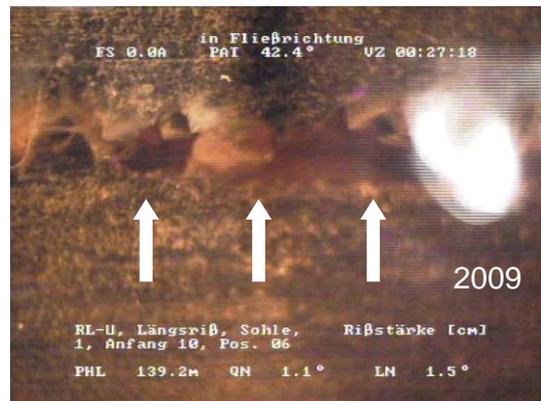
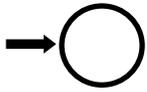


Abbildung 12 und 13: Entwicklung eines Längsrisses beginnend im linken Kämpfer (2008) bis in die Sohle (2009)



Abbildung 14: stark aufklaffender Längsriß

## 8 DARSTELLUNG DES SCHADENSZUSTANDS AM AUSGEBAUTEN ROHR

Im Zuge der eingangs genannten Sanierung der Haltung S6.1 wurden verschiedene Rohrstücke aus den verrohrten Baugruben geborgen und für eine labortechnische Untersuchung aufbereitet. Hierfür wurden Bereiche aus dem Rohr getrennt, die mit Rissen durchsetzt waren.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen beispielhaft ein ausgebautes Rohrstück.



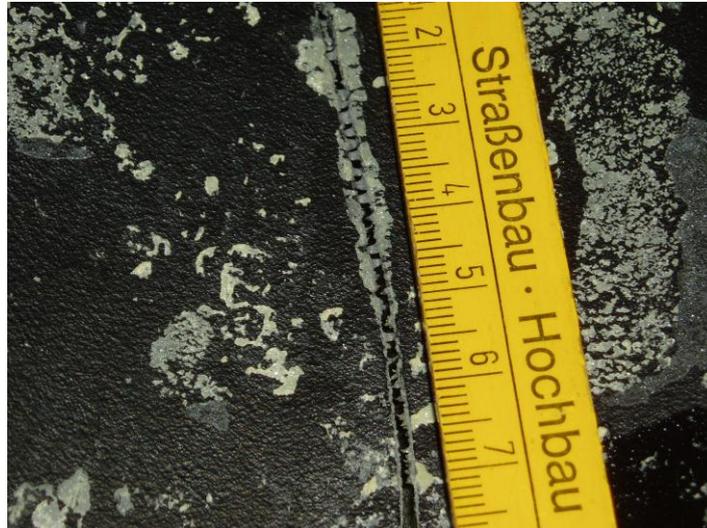
Abbildung 15 und 16: ausgebaute Rohrprobe, leicht verformt (ca. 10 %)



Abbildung 17: Riss im Scheitel- und Sohlbereich

Abbildung 17 zeigt deutlich, dass sich die Risse in Bereichen gebildet haben in denen, bedingt durch die Verformung, Zugspannungen entstehen.

Die vorhandenen Risse zeigen die Strukturen der in Abschnitt 6 dargestellten Entwicklungsstufen. In nachfolgender Abbildung ist die Bildung von „PE-Fäden“ (Entwicklungsstufe 2) zu erkennen, die in einer dritten Phase mit dem Aufklaffen des Risses abreißen.



**Abbildung 18: Struktur des Längsrisses in Phase 2**



**Abbildung 19: Tiefe des Längsrisses in Phase 2**

Abbildung 19 zeigt, dass die Risstiefe des in Abb. 18 dargestellten Längsrisses etwa die Hälfte der Rohrwandstärke von ca. 25 mm beträgt.

Wie bereits erwähnt, schreitet die Rissbildung in PE-Rohren rasch voran. Dies betrifft sowohl die Rissfortpflanzung als auch die Risstiefe.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einen Riss der Stufe 3. Deutlich erkennbar ist hier, dass das PE keine Fadenbildung mehr aufweist und der Riss deutlich aufklafft. Das „Aufweiten“ des Risses hat zur Folge, dass auch die Risstiefe auf ca.  $\frac{3}{4}$  der Rohrwandstärke zunimmt. Die Rissbreite beträgt ca. 2 mm (8 % der Wandstärke bzw. 8 ‰ des Rohrdurchmessers).



**Abbildung 20: aufklaffender Längsriss**



**Abbildung 21: Tiefe eines aufklaffenden Längsrisse**

Die Darstellung macht deutlich, dass die Risstiefe in der Rohrwand mit der Entwicklungsstufe bzw. Breite des Risses einhergeht. Es kann festgehalten werden, dass schon bei einer Rissbreite von ca. 2 mm sich eine Risstiefe von ca. 1,9 cm eingestellt hat.

Die gezeigten Ausmaße machen deutlich, dass sich ein Durchreißen der gesamten Rohrwandstärke und somit ein kompletter Verlust der Rohrstatik schon bei geringen Rissbreiten einstellen kann.

## 9 ERGEBNISSE DER DURCHGEFÜHRTEN UNTERSUCHUNGEN

### 9.1 Auflager und Bettung des gerissenen Rohres

Für die Interpretation des Verformungsverhaltens sowie der statische Beanspruchung des hier untersuchten und gerissenen Rohres sind die Auflager- bzw. Bettungsbedingungen des Rohrstranges von elementarer Bedeutung.

Wie bereits dargestellt, wurde das Rohr mit der Basisabdichtung eines Erweiterungsabschnittes überbaut. Dadurch erfolgte im Durchdringungsbereich durch die Dichtung keine Bettung in einem definierten Rohraufleger. Vielmehr wurde der gesamte Rohrstrang in bindiges Material eingebettet. Auch der unter der Dichtung liegende Bereich verfügt nicht über ein definiertes Rohraufleger, was als nicht vorteilhaft einzustufen ist.

Ebenso fehlt die im Bereich oberhalb der Basisabdichtung vorhandene stützende Kiesschüttung (Rigole), die nach der alten statischen Berechnung vorzusehen war.

Zur labortechnischen Untersuchung des Bettungsmaterials wurden am 07.08.2009 insgesamt 3 Stechzylinder im Rohrbereich entnommen. Die Lage der Stechzylinder kann der Skizze in Anlage 3 entnommen werden.

Die ermittelte Bodenkonsistenz liegt im Bereich „steif“, der Verdichtungsgrad beträgt in allen Proben über 100 %. Allerdings ist die Bettung gegenüber einem definierten Sand-Kies-Aufleger mit Kiesüberschüttung als weich und plastisch verformbar einzustufen. Zudem ist nicht auszuschließen, dass beim Einbau der Rohre erhöhte Belastungen aufgetreten sind, um diese Lagerungsbedingungen (100 % Verdichtungsgrad) zu erreichen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Auflager- und Bettungsbedingungen für das Rohr ungünstig sind.

### 9.2 Labortechnische Untersuchung des Rohrmaterials

Um festzustellen, ob das gerissene Rohr einer Wärmealterung unterlag und aus diesem Grund hierin eine Rissursache zu suchen ist bzw. wie die rasche Rissfortpflanzung im Rohr zu begründen ist, wurden Rohrproben an ein, auf derartige Untersuchungen spezialisiertes Labor gegeben.

Hierzu wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

1. Berechnung der Randfaserdehnung an der Rohrwandinnenseite des verformten Rohres
2. Messung der Oxidations-Induktionszeit (OIT-Wert) bei 210 °C
3. Prüfung des Widerstandes gegenüber Spannungsrisssbildung im Full Notch Creep Test (FNCT)

Die Ergebnisse werden in Anlage 2 dargestellt und können folgendermaßen dargestellt (zusammengefasst) werden:

1. Die Randfaserdehnung im Scheitel beträgt 2,2 %, im Kämpferbereich wurde eine Stauchung von 2,7 % ermittelt. Die ermittelte Randfaserdehnung liegt unterhalb des Grenzwertes von 3 % gem. der Richtlinie DVS 2205-1 (Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.). Aufgrund der ermittelten Werte dürften noch keine Schädigungen an der Rohroberfläche erkennbar sein.



2. Die Oxidations-Induktionszeit beträgt 22 Minuten. An den Rohrproben ist demnach noch keine Wärmealterung erkennbar.
3. Die Zeitstanduntersuchung im FNCT erbrachte eine Standzeit von maximal 26,2 Stunden. Das Versagen erfolgte in Sprödbrüchen. Im Vergleich zu derzeit gängigen PE-Materialien ist das Rohr zwischen herkömmlichem PE-HD und PE 63 einzuordnen. Es entspricht somit dem zum Zeitpunkt des Einbaus geltenden Stand der Technik.

### **9.3 Statische Nachberechnung der vorgefundenen Einbausituation**

Die statische Nachrechnung (vergleiche Anlage 5) kommt zum Ergebnis, dass nach den heutigen Erkenntnissen die Rohre durch den Einbau im relativ weichen Dichtungsmaterial für die vorhandene maximale Überdeckung nicht ausreichend dimensioniert sind. Weitere Ursachen für das Versagen des Rohres sind in der dauerhaft hohen Temperatureinwirkung und in der Zugspannungsempfindlichkeit des seinerzeit verwendeten PE-Materials zu vermuten.

## 10 GESAMTINTERPRETATION DER ERMITTELTEN ERGEBNISSE

Die voran dargestellten Arbeiten und Untersuchungen zeigen grundsätzlich eines deutlich: **Jede Prognose zur Rissentstehung in PE-Leitungen muss die jeweiligen deponiespezifischen Randbedingungen berücksichtigen.** Mit den bei dieser Untersuchung erhaltenen Ergebnissen kann noch keine allgemeingültige Aussage getroffen werden.

Untersucht wurde ein PE-Rohr mit Herstellungsdatum 1987. Dieses Rohr war vollwandig und wies demnach keine Schwächung der Rohrwandung durch Löcher oder Schlitze, wie bei Drainageleitungen, auf. Löcher und Schlitze begünstigen nach derzeitigen Erkenntnissen definitiv die Rissentstehung bzw. die rasche Rissfortpflanzung, so dass man davon ausgehen kann, dass die mit vorliegender Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse in jedem Fall auch für Drainageleitungen gelten, jedoch die Schadensentstehung und –entwicklung hier wesentlich intensiver verläuft.

Zusammenfassend wurde folgendes festgestellt:

- Herstellungs- und Einbaudatum des Rohres 1987, zeitgleich eingebaute gelochte Rohre im oberen Bereich der Haltung zeigen keine Rissbildung
- Gute Auflager- bzw. Bettungsbedingungen waren nicht gegeben
- Maximale Verformung 17 %, was bereits als kritisch anzusehen ist und einer verstärkten Beobachtung bedarf
- Das Rohrmaterial entsprach dem zum Zeitpunkt der Herstellung bestehenden Stand der Technik, Qualität zwischen PE-HD und PE 63
- Die maximale Temperatur im Rohr beträgt aktuell 45 °C. Die Maximaltemperatur seit Rohrverlegung wird mit ca. 60 °C geschätzt und damit höher als die Auslegungstemperatur von 50 °C
- Das Rohr unterlag keiner maßgeblichen Wärmealterung
- Nach einer Rissentstehung schreiten diese, aufgrund der materialbedingten (PE-HD) geringen Zeitstandfestigkeit rasch voran, von einer Risstagnation kann beim untersuchten Rohrmaterial nicht ausgegangen werden
- Erhöhte Randfaserdehnung innen im Scheitel und in der Sohle, hervorgerufen durch eine Verformung des Rohrquerschnittes
- Erhöhte Randfaserdehnung außen im Kämpfer, hervorgerufen durch eine Verformung des Rohrquerschnittes

Es kann gesagt werden, dass das im vorliegenden Fall untersuchte Rohr zwar dem damaligen Stand der Technik entsprach, jedoch den Langzeitbeanspruchungen nicht stand hielt und nach heutigen Auslegungsgesichtspunkten nicht standhalten kann. Dies bestätigt so prinzipiell auch die statische Nachberechnung in Anlage 5.

In Teilbereichen wurden Scheitel- und Sohlrisse durch Verformungen hervorgerufen, da sich hier die Randfaserdehnung erhöhte. Es ist davon auszugehen, dass Rohre der Herstellungsreihen aus den 80er Jahren bei Verformungen ab ca. 10 % und demzufolge einer erhöhten Randfaserdehnung mittel- bis langfristig Risse bekommen werden. Bedingt durch einen entsprechend geringen FNCT-Wert weiten sich diese Risse rasch aus.



Durch die nicht auslegungskonformen Bettungsbedingungen und die fehlende seitliche Stützung werden die Verformungen begünstigt.

Da jedoch auch Risse in unverformten Bereichen festgestellt wurden, kann die oben gemachte Aussage nicht als allein ursächlich angesehen werden. Möglicherweise erfolgte die Schwächung des Rohres auch schon in der Einbauphase durch z.B. dynamische Verdichtungsarbeiten im Bereich der Rohrbettung. Die im oberen Bereich der Haltung eingebauten gelochten und mit einer Kiesrigole überschütteten Rohre zeigen noch keine Risse.

Ein gewisser Alterungsprozess des Rohres und die damit möglicherweise verbundene „Versprödung“ des Materials scheidet als Ursache für die Rissbildung im vorliegenden Fall aus. Dies bestätigt im wesentlichen auch die Aussage der Zeitstandsprüfung gem. Anlage 2.

## 11 HANDLUNGSEMPFEHLUNG

Die Ausführungen zeigen, dass die Rissbildung in PE-Rohren nicht durch eine allgemeingültig definierbare Ursache hervorgerufen wird. Demzufolge sind die Möglichkeiten, um diese bei der Verlegung neuer Rohre zukünftig zu verhindern auch relativ breit gestreut. Bereits verlegte Rohre sind hinsichtlich ihres Alters, ihrer Dimensionierung, Lagerungsbedingung und Einbauzustand zu überprüfen und zu beurteilen. Die nachfolgenden Ausführungen müssen in jedem Fall anhand der Randbedingungen in der einzelnen Deponie betrachtet werden.

### 11.1 *Materialanforderungen für neu zu verlegende Rohre*

Die Anforderungen an das PE können schon in der Ausschreibungsphase klar definiert werden. Grundsätzlich sollten für das einzubauende PE-Rohr folgende Maßgaben gelten:

#### Normale Beanspruchung

- PE 100
- Beachtung der SKZ/TÜV - LGA Richtlinie „Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien“ vom Juni 2010
- Werkstoff nach DIN EN ISO 12162
- Hoher Widerstand gegen Rissfortpflanzung, FNCT Wert  $\geq 300$  h
- Langzeitstabilisierung gegen thermisch-oxidativen Abbau: OIT Wert  $\geq 30$  min. bei 200°C
- Einhaltung der Mindestfestigkeit: MRS  $\geq 1.000$  h bei 80°C

Alternativ kann als Eignungsnachweis für die eingesetzte Formmasse der Nachweis einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des DIBt unter Berücksichtigung der vorgenannten Anforderungen verlangt werden.

#### Extreme Beanspruchung

Bei der Sanierung beschädigter Rohre wird in Deponien oftmals das Berstverfahren eingesetzt. Die bei der Zertrümmerung der Altröhre durch die Berstrakete entstehenden Scherben verursachen an der Aussenseite des einzuziehenden Neurohres Kerbelastungen. Aus diesem Grund muss eine besonders hohe Kerbunempfindlichkeit vorhanden sein. An Rohre im Berstverfahren sollten folgende zusätzliche Anforderung gestellt werden:

- Für jede Formmassencharge: FNCT  $\geq 1.600$  h bei 80°C, 4 N/mm<sup>2</sup>, 2 % Arkopal N-100

Grundsätzlich gilt, dass Drainageleitungen mit runden Löchern auszuführen sind.

### 11.2 *Rechnerische Anforderungen*

In jedem Fall sollte für die durch Auflast beanspruchten Rohre eine adäquate Rohrstatik gerechnet werden. **Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen bereits eingebauten und neu zu verlegenden Rohren**, dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die in den 80er und zu Beginn der 90er Jahre gerechneten Rohrstatiken sind anhand der heutigen Vorgaben prognosewirksam zu überrechnen
- Die Berechnung sollte gem. ATV A/M127 erfolgen
- Beachtung von Bemessungsrichtlinien z.B. „Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien – Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme“ des Deutschen Instituts für Bautechnik
- Genaue Definition der Einbauverhältnisse (nach Zustandserhebung aus Akten, Fotodokumentationen, Erkenntnisse aus Aufgrabungen, etc.)
  - ✓ Untergrundbeschaffenheit
  - ✓ Abmessungen und Material der Bettungsschicht (Breite, Tiefe, Bettungswinkel)
  - ✓ Abmessung der Kiesüberdeckung oder anderes Material (Kennwerte)
  - ✓ Tatsächliche Abfallüberdeckung
  - ✓ Belastung beim Einbau (Verdichtung des Überdeckungs- und Verfüllmaterials)
- Abminderungsfaktoren für Medium- und Temperatureinflüsse müssen in Anlehnung an die DIN 4266 angepasst werden. Sollten nachweislich höhere Temperaturen im Deponiekörper vorherrschen als die in der DIN verankerten 45°C, ist der Temperaturwert anzupassen. Zur Abminderung für die Gebrauchsdauer ist das Kriechmoduldiagramm gem. DVS 2205 heranzuziehen.
- Berücksichtigung von Perforationen bei der Berechnung durch Abminderungsfaktoren gem. ATV-M 127 Teil 1.
- Erhöhte Vertikalspannungen im Rohr in schachtnahen Bereichen sind konstruktiv und rechnerisch zu berücksichtigen.

#### Besonderheiten bei Rohren im Berstverfahren

- Bestandsaufnahme vor der Durchführung der Sanierungsmaßnahme, zur Optimierung der Bersteinheit sowie der zulässigen Zugkäfte auf das Neurohr.
- Berücksichtigung von Geometrie und Material des Altrohres und der Leitungszone, zur Festlegung des Neurohrdurchmessers.
- Neigung des Altrohres und Radien in der Rohrtrasse. Beachtung der zulässigen Biegeradien des Neurohres (25 x Rohraussendurchmesser).
- Berechnung der endgültigen Statik mittels FEM (finite Elemente Methode). Ermittlung und Angabe von erforderlichen Lagerungs- bzw. Bettungsbedingungen. (Linienlagerung oder Verdämmung von Zwischenräumen bei vollwandigen Leitungen)

### **11.3 Bautechnische Maßnahmen**

Schäden und demzufolge auch die gezeigten Rissbilder in PE-Leitungen können mitunter auch bautechnische Ursachen haben. Fehler beim Handling der Rohre auf der Baustelle und unsachgemäß ausgebaute Leitungszonen (Rohraufleger, seitliche Bettung und Überdeckung) können zu Verformungen, Senken und letztendlich auch zu Rissbildungen führen. Folgende grundsätzliche Dinge sollten neben den bereits in Kapitel 11.1 und 11.2 dargestellten Anforderungen beachtet werden:

- Vermeidung von zu starker Bestrahlung der Rohre durch UV-Licht auf der Baustelle bei der Bereitstellung und beim Einbau
- Ziehen von Rohren über rauen Untergrund und Schotter ist zu vermeiden (Riefen!!)
- Zulässige Biegeradien beachten, z.B. beim Transport vorgeschweißter Stränge
- Bei Neuverlegung adäquates Rohraufleger gem. DIN 19667:2009-09 als 120° Auflager ausbauen
- Leitungszone und Rohrüberdeckung sind fachgerecht gem. DIN 19667:2009-09 auszubilden.
- Rohreinbindungen in Schächte fachgerecht gestalten (schachtnahe Setzungen). Einbau eines Mantelrohres als Schutzrohr im schachtnahen Bereich. Durchführung der Rohre in die Schächte mit elastischen Ringraumdichtungen.
- Bei eingebauten Rohren Vermeidung von „Beschädigungen“ der Rohrwand bei der Reinigung und der Beseitigung von massiven Ablagerungen mittel Kanalfräsen.
- Konzeption von Rohrleitungen mit Verschleißschicht (innen, außen bei Berstliningsanierungsverfahren).

### **11.4 Prognosewirksame Aussagen**

Um eine Prognose für bereits eingebaute PE-Rohre abgeben zu können, ist zunächst eine Betrachtung der Randbedingungen erforderlich. Nachfolgend werden rissbegünstigende Faktoren dargestellt.

Je mehr Faktoren mit den bestehenden Verhältnissen in Übereinstimmung gebracht werden können, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich in der betreffenden Leitung Risse einstellen werden. Hierzu wird auf die Checkliste in Anlage 6 verwiesen.

#### Rissbildung begünstigende Faktoren:

- Herstellungsjahr des Rohres vor 1995
- Qualität schlechter als PE 100
- Verformungen über 10 %
- Lochung/Schlitzung



- Kratzer und Riefen in der Rohrwand (innen, durch Reinigung)
- Längerfristige Temperaturbelastung über 55 °C
- Kein adäquates Rohraufleger (120 ° Winkel) vorhanden und fehlende seitliche Bettung (Sichtung von Bauakten)
- Keine Kiesüberschüttung des Rohres von mindestens 2 x Rohraussendurchmesser
- Zu hohe statische Belastung (Nachrechnung der Rohrstatik)

Prognosewirksame Aussagen zur Möglichkeit der Rissentstehung bzw. zur langfristigen Standsicherheit bereits verformter oder gerissener Rohre müssen am Einzelfall geprüft und beurteilt werden. Hierbei steht die Funktionspriorität des einzelnen Entwässerungsstranges im Gesamtsystem an vorderster Stelle.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die langfristige Prognose von bereits gerissenen PE-Leitungen sehr schlecht ist.

Sollten über das verwendete Rohrmaterial aus der Historie heraus keine Angaben vorliegen, sollte in Erwägung gezogen werden, aus der Rohrwand, ggfs. mittels Kanalroboter eine Materialprobe zu entnehmen und diese im Labor auf die im Bericht dargestellten Parameter untersuchen zu lassen.

## 12 ZUSAMMENFASSUNG/RESUMEE

Die seit Mitte der 80er Jahre zur Entwässerung von Deponiekörpern eingesetzten PE-Leitungen zeigen seit geraumer Zeit Rissbildungen, wie sie bis dato nur von biegesteifen Rohrmaterialien (Steinzeug, Beton ...) bekannt waren. Durch die Auswertung von Kamerabefahrungen zahlreicher Deponien wurde deutlich, dass es sich bei genanntem Phänomen nicht um einen Einzelfall handelt, sondern etliche Deponien davon betroffen sind.

Durch die in 2009 durchgeführte Sanierung einer PE-Leitung auf der Deponie Burghof im Landkreis Ludwigsburg eröffnete sich erstmals die Möglichkeit Untersuchungen an einem gerissenen PE-Rohr durchführen zu können. Dieses PE-Rohr wurde mit 45 m Müll überschüttet und befand sich als Vollrohrleitung unterhalb der Basisabdichtung eines Erweiterungsabschnittes.

Mit Werkvertrag vom August 2009 erhielt die Projektgemeinschaft AVL Ludwigsburg/ICP Urbach den Auftrag die beschädigten Rohrstücke im Zuge der Sanierung auszubauen und zu untersuchen.

Mit den Ergebnissen der Untersuchungen sollte versucht werden prognosewirksame Aussagen zu möglichen Faktoren der Schadensentstehung bzw.- entwicklung zu treffen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Das 1987 hergestellte und eingebaute PE-Rohr war in bindigem Bodenmaterial vollumfänglich eingebettet, sowohl das Auflager als auch die seitlichen Bettungsbedingungen sowie die Überschüttung mit bindigem Material sind im angetroffenen Zustand als suboptimal zu bezeichnen, da bindiges Material im Zuge von Konsolidierungsprozessen seitlich ausweichen kann.

Das Rohr wies Verformungen bis 17 % sowie Längs- und Querrisse auf, die bereichsweise auch in unverformten Bereichen festgestellt wurden.

Labortechnische Untersuchungen ergaben, dass das Rohrmaterial dem damaligen Stand der Technik entsprach. Die äußeren Einflüsse auf das Rohr wie Temperatur, Sickerwasser und Auflast führten nicht zu einer Wärmealterung des Materials. Die Langzeitprognose des Rohres bei bereits vorhandener Rissbildung ist schlecht, da das eingebaute Material relativ spannungsrissempfindlich ist. Die Randfaserdehnung im Bereich der Verformungen liegt im zulässigen Bereich und ist nicht der Grund für die Rissbildung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die bis etwa 1995 unter der Bezeichnung „PE-HD“ eingebauten Sickerwasserrohre zwar dem damaligen Stand der Technik entsprachen, die Langzeitbeständigkeiten des PE-Materials unter den Bedingungen in einem Deponiekörper allgemein überschätzt wurden. Die statischen Berechnungen aus dieser Zeit entsprechen (nicht mehr) den heutigen Anforderungen. In der Folge kann dies zu Standsicherheitsproblemen führen, eine regelmäßige intensive TV-Inspektion auch mit dem Fokus auf mögliche Rissbildungen ist deshalb erforderlich.

Prognosewirksame Aussagen bei bereits bestehenden bzw. sich noch einstellenden Schäden bedürfen zunächst Einzelfallprüfungen. Eine erste Hilfestellung liefern dabei die in Kapitel 11 formulierten Anforderungen und Rahmenbedingungen sowie die Checkliste in Anlage 6. Die Erstellung von Datenreihen mehrerer beschädigter PE-Leitungen wäre wünschenswert und wird zur Verifizierung der Aussagen als sinnvoll erachtet.



Ludwigsburg/Urbach, Februar 2012

**AVL** Abfallverwertungsgesellschaft  
des Landkreises Ludwigsburg mbH

**ICP** Ingenieurgesellschaft  
Prof. Czurda und Partner mbH

ppa. Dipl.-Ing. Albrecht Tschackert

ppa. Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Edenberger

# **Anlage 1**

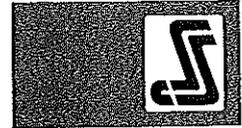
**Statische Bemessung des eingebauten Rohres**

**Materialvorgaben**

# SIMONA

GmbH Kunststoffwerke

Eing.: 09. MRZ. 1987					
vedewa Stuttgart					



SIMONA GmbH · Postfach 133 · 6570 Kirn/Nahe

Vedewa  
Kommunale Vereinigung für  
Wasser- und Abfallwirtschaft r.V.  
Z. Hd. Herrn Lausterer  
Werfmershalde 22

7000 Stuttgart 1

SIMONA GmbH  
Kunststoffwerke  
Postfach 133  
6570 Kirn/Nahe  
Telefon (0 67 52) 14-1  
Telex 4 26 111 simo d  
Fax 14-211

Ihr Ansprechpartner:

Herr Krämer  
Durchwahl: (0 67 52) 14-

Ihr Zeichen

Ihr Schreiben vom

Unser Zeichen

Datum

254

WK/Ts

05.03.87

Statische Berechnung für die Kreismülldeponie Hornheim

Sehr geehrter Herr Lausterer,

für die statische Berechnung sind wir von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

1. Berechnung Nr. 11:54:24

Überdeckungshöhe  $h$  über dem Rohrscheitel mit Kies  $16/32 = 560$  mm ( $2 \times d_a$ ),  $EB1 - EB3 = 23$  N/mm<sup>2</sup>,  $EB4 = 230$  N/mm<sup>2</sup>,  $\gamma$  Müll = 17 kN/m<sup>3</sup>.  
Überdeckungshöhe mit Müll  $h = 60$  m. Aus der Berechnung resultiert eine Langzeitverformung von 5,30%. Dies ist nach ATV A 127 zulässig. Der Grenzwert beträgt 6%.

2. Berechnung Nr. 14:23:56

Überdeckungshöhe  $h$  über dem Rohrscheitel mit Kies  $16/32 = 360$  mm ( $2 \times d_a$ ),  $EB1 - EB3 = 23$  N/mm<sup>2</sup>,  $EB4 = 230$  N/mm<sup>2</sup>,  $\gamma$  Müll = 17 kN/m<sup>3</sup>.  
Überdeckungshöhe mit Müll  $h = 60$  m. Aus der Berechnung resultiert eine Langzeitverformung von 5,28%. Dies ist nach ATV A 127 zulässig. Sollten Sie noch Fragen haben, steht Ihnen Herr Krämer gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

S I M O N A GmbH

Banken:  
Landesbank und Girozentrale Mainz (BLZ 550 500 00) 110 010 634  
Dresdner Bank Idar-Oberstein (BLZ 510 800 60) 03 007 480 00  
Berliner Bank Frankfurt a. M. (BLZ 501 204 00) 8 508 526 000  
Kreuznacher Volksbank Kirn (BLZ 560 900 00) 4 517 008  
Sparkasse Bad Kreuznach Kirn (BLZ 560 501 80) 2 020 402

Werk I und Verwaltung: Teichweg 16  
Werk II: Sulzbacher Straße  
Telegramm-Adresse: Simona Kirn/Nahe

Geschäftsführer: Dr. Wolfgang Bürkle,  
allein zeichnungsberechtigt,  
Hans-Werner Marx, Heinz Schreyer (stellv.),  
Hans-Wilhelm Voss (stellv.)  
gemeinsam zeichnungsberechtigt.  
HRB 1390 Bad Kreuznach



\*\*\*\*\*  
**S I M O N A Anwendungstechnik**  
 \*\*\*\*\*

Seite 2 zu Berechnung Nr.: 11:54:24

**D) Verkehrs - & Oberflaechenlast**  
 ^^^

Schwerlastwagen	SLW	60	
Stoßfaktor	psi	1.2	
Verkehrslast ohne Stoßfaktor	Pv*	0.0000	N/mm2
Oberflaechenlast (Gamma * Ho)	Peo	1.0200	N/mm2
Wichte Muell	Gamma o	0.000017	N/mm3
Ueberdeckungschoehz Muell	ho	60.0	m

=====  
**Lastermittlung**  
 =====

Abminderungsfaktoren fuer Grabenlast	Kappa	1.0000	
	Kappa b	1.0000	
	Kappa o	1.0000	
Aequivalente Schichtdicke der Deckenbefestigung	De	0.00	m
Erdlast	Pe	0.0112	N/mm2
Erdlast bei Pe	Peo	1.0200	N/mm2
Rohrsteifigkeit Kurzzeit	Sr	0.4292	N/mm2
Rohrsteifigkeit Langzeit	Sr	0.0536	N/mm2
Horizontale Bettungssteifigkeit	SbH	13.8000	N/mm2
Systemsteifigkeit Kurzzeit	V rb	0.03110	
	V rb	0.00389	
Seitendruckbeiwert Kurzzeit	K*	0.9195	
	K*	1.2786	
Verformungsbeiwert Kurzzeit	Cv*	-0.0305	
	Cv*	-0.0075	
Vertikale Bettungssteifigkeit	SbV	23.0000	N/mm2
Steifigkeitsverhaeltnis Kurzzeit	VS	0.6128	
	VS	0.3122	
	VS 1	0.8000	
	VS 1	0.8000	
Konzentrationsfaktoren Kurzzeit	Lambda 0	0.4706	
	Lambda 0	0.4706	
	Lambda max	1.3509	
	Lambda R	0.9425	
	Lambda R	0.7968	
	Lambda B	1.0192	
	Lambda B	1.0677	
	Lambda RG	0.9425	
	Lambda RG	0.7968	
Vertikale Bodenspannung Kurzzeit	qV	0.0106	N/mm2
	qV	0.8217	N/mm2
Verkehrslast mit Stoßfaktor	Pv	0.0000	N/mm2
Wasserdruck	Pw	0.0000	N/mm2
Durchschlagsbeiwert Kurzzeit	alpha d	0.0000	
	alpha d	0.0000	
Horizont. Bodenspannung Kurzzeit	qH	0.0051	N/mm2
	qH	0.4410	N/mm2
resultier. Reakt.-druck Kurzzeit	qH*	0.0050	N/mm2
	qH*	0.4867	N/mm2

```
*****
*
*   VERFORMUNGSBERECHNUNG
*   =====
*   Delta V      -0.0385 %   Kurzzeit
*   Delta V      -5.3021 %   Langzeit
*
*****
```

**Stabilitaetsnachweis**  
 =====

kritische Beulspannung	Kurzzeit	qV krit	4.8673	N/mm2
infolge Erddruck	Langzeit	qV krit	1.7209	N/mm2
kritische Beulspannung	Kurzzeit	pW krit	0.0000	N/mm2
infolge aeuss. Wasserdr.	Langzeit	pW krit	0.0000	N/mm2
Stabilitaetsnachweis				
Erddruck	Kurzzeit	eta V	461.09	
	Langzeit	eta V	2.09	
Aeusserer Wasserdr.	Kurzzeit	eta W	0.00	
	Langzeit	eta W	0.00	
Wirken von Wasser-	Kurzzeit	eta VuW	0.00	
und Erddruck	Langzeit	eta VuW	0.00	

Unsere anwendungstechnische Beratung erfolgt nach bestem Wissen und basiert auf Ihren Angaben sowie dem uns bekannten Stand der Technik. Die Berechnung stellt keine Zusicherung von bestimmten Eigenschaften dar und begründet kein selbststaendiges Rechtsverhaeltnis. Unsere Angaben entbinden Sie nicht von der Pflicht der eigenen Pruefung, auch ueber das Bestehen eventueller Schutzrechte Dritter. - - - Sollte dennoch eine Haftung in Frage kommen, so ist diese ausgeschlossen, soweit nicht Vorsatz oder grobe Fahrlaessigkeit vorliegen.



D) Verkehrs - & Oberflaechenlast  
 ^^^

Schwerlastwagen	SLW	60	
Stossfaktor	psi	1.2	
Verkehrslast ohne Stossfaktor	Pv*	0.0000	N/mm2
Oberflaechenlast (Gamma * Ho)	Peo	1.0200	N/mm2
Wichte Muell	Gamma o	0.000017	N/mm3
Ueberdeckungshoehe Muell	ho	60.0	m

=====  
 Lastermittlung  
 =====

Abminderungsfaktoren fuer Grabenlast	Kappa	1.0000	
	Kappa b	1.0000	
	Kappa o	1.0000	
Aequivalente Schichtdicke der Deckenbefestigung	De	0.00	m
Erdlast	Pe	0.0072	N/mm2
Erdlast bei Pe	Peo	1.0200	N/mm2
Rohrsteifigkeit Kurzzeit	Sr	0.4298	N/mm2
Rohrsteifigkeit Langzeit	Sr	0.0537	N/mm2
Horizontale Bettungssteifigkeit	SbH	13.8000	N/mm2
Systemsteifigkeit Kurzzeit	V rb	0.03115	
	V rb	0.00389	
Seitendruckbeiwert Kurzzeit	K*	0.9191	
	K*	1.2785	
Verformungsbeiwert Kurzzeit	Cv*	-0.0305	
	Cv*	-0.0075	
Vertikale Bettungssteifigkeit	SbV	23.0000	N/mm2
Steifigkeitsverhaeltnis Kurzzeit	VS	0.6131	
	VS	0.3123	
	VS 1	0.8000	
	VS 1	0.8000	
Konzentrationsfaktoren Kurzzeit	Lambda 0	0.4706	
	Lambda 0	0.4706	
	Lambda max	1.3509	
	Lambda R	0.9426	
	Lambda R	0.7969	
	Lambda B	1.0191	
	Lambda B	1.0677	
	Lambda RG	0.9426	
	Lambda RG	0.7969	
Vertikale Bodenspannung Kurzzeit	qV	0.0068	N/mm2
	qV	0.8186	N/mm2
Verkehrslast mit Stossfaktor	Pv	0.0000	N/mm2
Wasserdruck	Pw	0.0000	N/mm2
Durchschlagsbeiwert Kurzzeit	alpha d	0.0000	
	alpha d	0.0000	
Horizont. Bodenspannung Kurzzeit	qH	0.0033	N/mm2
	qH	0.4391	N/mm2
resultier.Reakt.-druck Kurzzeit	qH*	0.0032	N/mm2
	qH*	0.4852	N/mm2

```

*****
*
*   VERFORMUNGSBERECHNUNG
*   =====
*   Delta V      -0.0248 %   Kurzzeit
*   Delta V      -5.2832 %   Langzeit
*
*****
  
```

Stabilitaetsnachweis  
 =====

kritische Beulspannung	Kurzzeit	qV krit	4.8708	N/mm2
infolge Erddruck	Langzeit	qV krit	1.7221	M/mm2
kritische Beulspannung	Kurzzeit	pW krit	0.0000	N/mm2
infolge aeuss. Wasserdr.	Langzeit	pW krit	0.0000	N/mm2
Stabilitaetsnachweis				
Erddruck	Kurzzeit	eta V	717.67	
	Langzeit	eta V	2.10	
Aeusserer Wasserdr.	Kurzzeit	eta W	0.00	
	Langzeit	eta W	0.00	
Wirken von Wasser-	Kurzzeit	eta VuW	0.00	
und Erddruck	Langzeit	eta VuW	0.00	

Unsere anwendungstechnische Beratung erfolgt nach bestem Wissen und basiert auf Ihren Angaben sowie dem uns bekannten Stand der Technik. Die Berechnung stellt keine Zusicherung von bestimmten Eigenschaften dar und begründet kein selbstständiges Rechtsverhältnis. Unsere Angaben entbinden Sie nicht von der Pflicht der eigenen Prüfung, auch ueber das Bestehen eventueller Schutzrechte Dritter. - - - Sollte dennoch eine Haftung in Frage kommen, so ist diese ausgeschlossen, soweit nicht Vorsatz oder grobe Fahrlaessigkeit vorliegen.

## **Anlage 2**

**Zeitstandzugprüfungen an Rohrproben der Haltung S6.1**

**Bericht Nr.** R0 04 1628

**Thema:** Zeitstandzugprüfungen an Proben aus einer  
PE-Deponieentwässerungsleitung zur Bestimmung des  
Widerstandes gegenüber langsamem  
Rissfortschritt im Full Notch Creep Test (FNCT)

**Auftraggeber:** Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner GmbH  
Größenwiesenweg 28  
D-73660 Urbach

Amtlich anerkannte Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungs-Stelle für  
Behälter, Rohre und Abdichtungsbahnen aus Thermoplasten (NRW 37).

**HESSEL Ingenieurtechnik GmbH**

Am Vennstein 1a  
D-52159 Roetgen

Tel.: +49 2471/ 920 220  
Fax: +49 2471/920 2219  
E-Mail: [info@hessel-ingtech.de](mailto:info@hessel-ingtech.de)  
Net: [www.hessel-ingtech.de](http://www.hessel-ingtech.de)



DAP-PL-3760.00

Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die  
DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH  
akkreditiertes Prüflaboratorium.

**Datum:** 13.10.2009

**Zeichnungsberechtigter:** Dr.-Ing. Joachim Hessel

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Joachim Hessel', is written over the printed name.

Die in diesem Bericht enthaltenen Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Dieser Bericht darf ohne schriftliche Genehmigung der HESSEL Ingenieurtechnik nicht auszugsweise  
vervielfältigt werden.

## Vorbemerkung

Ziel der Untersuchungen ist es, den Widerstand von Proben aus der Rohrwand einer PE-Deponieentwässerungsleitung gegenüber langsamem Rissfortschritt im FNCT festzustellen.

Der Full Notch Creep Test (FNCT) dient zur Bestimmung des Spannungsrissverhaltens von Polymeren unter Verwendung von gekerbten Proben. Die Ergebnisse von FNCT-Versuchen korrelieren mit Zeitstandinnendruckversuchen an Rohren.<sup>1</sup>

Die Prüfung erfolgt nach DIN EN 12814-3<sup>2</sup> und Richtlinie DVS 2203 Teil 4; Beiblatt 2 (12/2001).<sup>3</sup> Zur Abkürzung der Prüfzeit werden die Versuche in einer 2%igen wässrigen Netzmittellösung (Arkopal N-100) durchgeführt.<sup>4</sup>

## Prüfmuster

Das Prüfmuster (ovalisierter Rohrabschnitt ca. 200 mm lang; Durchmesser 297 mm bzw. 256 mm; Wanddicke ca. 27 mm) wurde uns vom Auftraggeber zugeschickt (Probeneingang 27.08.2009). Weitere Angaben zu dem Prüfmuster sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

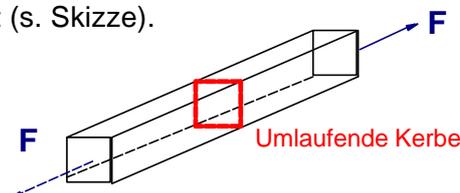
Interne Bezeichnung	Rohstoff	Farbe	Bemerkung
1628	Polyethylen	schwarz	„Rohrprobe Deponie Burghof“

Tabelle 1: Angaben zu dem Prüfmuster

## Probenvorbereitung und Prüfbedingungen beim FNCT

Aus dem Prüfmuster wurden je 3 Probestäbe mit quadratischem Querschnitt (10 x 10 mm) in Längsrichtung bzw. Rohrumfangsrichtung im Abstand von ca. 0,5 mm von der Rohrwandinnenseite herausgearbeitet.

Alle Proben wurden mittig gekerbt (s. Skizze).



<sup>1</sup>Fleißner, M.: Langsames Risswachstum und Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polyethylen. Kunststoffe 77 (1987) 1, S. 45/50.

<sup>2</sup>Prüfen von Schweißverbindungen aus Thermoplasten -Zeitstandzugversuch-

<sup>3</sup>Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.: Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zeitstand-Zugversuch -; Beiblatt 2: Full Notch Creep Test Deutscher Verlag für Schweißtechnik DVS-Verlag GmbH, Postfach 10 19 65, 40010 Düsseldorf

<sup>4</sup>Hessel, J. u. Mauer, E.: Zeitstandprüfung in wässriger Netzmittellösung Zeitschrift "Materialprüfung" 36 (1994) 6, S. 240/243

Je 3 Proben in Rohrumfangsrichtung bzw. Rohrlängsrichtung wurden im Zeitstand-Zugversuch nach Richtlinie DVS 2203 Teil 4, Beiblatt 2, bei der Prüftemperatur  $80\text{ °C} \pm 0,5\text{ K}$  geprüft.

Die Prüfspannung von  $4,0\text{ N/mm}^2$  wurde auf den verbleibenden ungekerbten Restquerschnitt bezogen. Als Prüfmedium wurde eine 2%ige wässrige Lösung aus einem Netzmittel (Arkopal N-100) und deionisiertem Wasser verwendet.

### Durchgeführte Untersuchungen

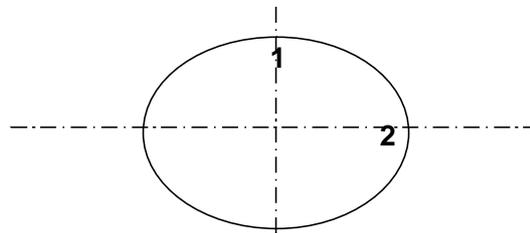
Es wurden nachfolgend genannte Untersuchungen durchgeführt:

1. Berechnung der Randfaserdehnung durch Ovalisierung des Rohres
2. Messung der Oxidations-Induktions-Zeit (OIT) bei  $210\text{ °C}$
3. Prüfung des Widerstandes gegenüber Spannungsrisssbildung im FNCT

### Ergebnisse der Untersuchungen

#### Berechnung der Randfaserdehnung

Die Berechnung der Randfaserdehnung an der Rohrwandinnenseite am Scheitel (Stelle 1) beträgt  $2,2\text{ %}$ , am Kämpfer (Stelle 2) wurde eine Stauchung von  $2,7\text{ %}$  berechnet



Fazit: Die berechnete Randfaserdehnung liegt unterhalb des in DVS 2205-1 genannten Grenzwertes von  $3\text{ %}$ .

#### Oxidations-Induktions-Zeit (OIT)

Es wurde eine Oxidations-Induktionszeit von 22 Minuten gemessen.

Fazit: An dem Untersuchungsmuster sind noch keine Anzeichen von Wärmealterung zu erkennen.

Untersuchungen im FNCT

Die bei den Zeitstanduntersuchungen bei 80 °C und 4,0 N/mm<sup>2</sup> erreichten Standzeiten sind in Tabelle 2 angegeben.

Muster	Nr. - Probe	Standzeit (Stunden)	Geometrischer Mittelwert (Stunden)	Bemerkung
1628-L*	1	25,2	<b>23,9</b>	Sprödbrüche
	2	24,9		
	3	21,8		
1628-Q**	1	24,3	<b>26,2</b>	Sprödbrüche
	2	27,6		
	3	26,8		

\*: Probenentnahme in Rohrlängsrichtung

\*\* : Probenentnahme in Rohrumfangsrichtung

Tabelle 2: Ergebnisse der Zeitstandzugversuche an gekerbten Proben (FNCT) aus der Rohrwand einer PE-Deponieentwässerungsleitung in wässriger Netzmittellösung (2 % Arkopal N-100)

Zur Einordnung der gemessenen Standzeiten sind in Tabelle 3 die vom DIBt<sup>5</sup> geforderten Standzeiten für die bauaufsichtliche Zulassung von Formmassen für Rohre und Behälter aus Polyethylen unter gleichen Prüfbedingungen genannt.

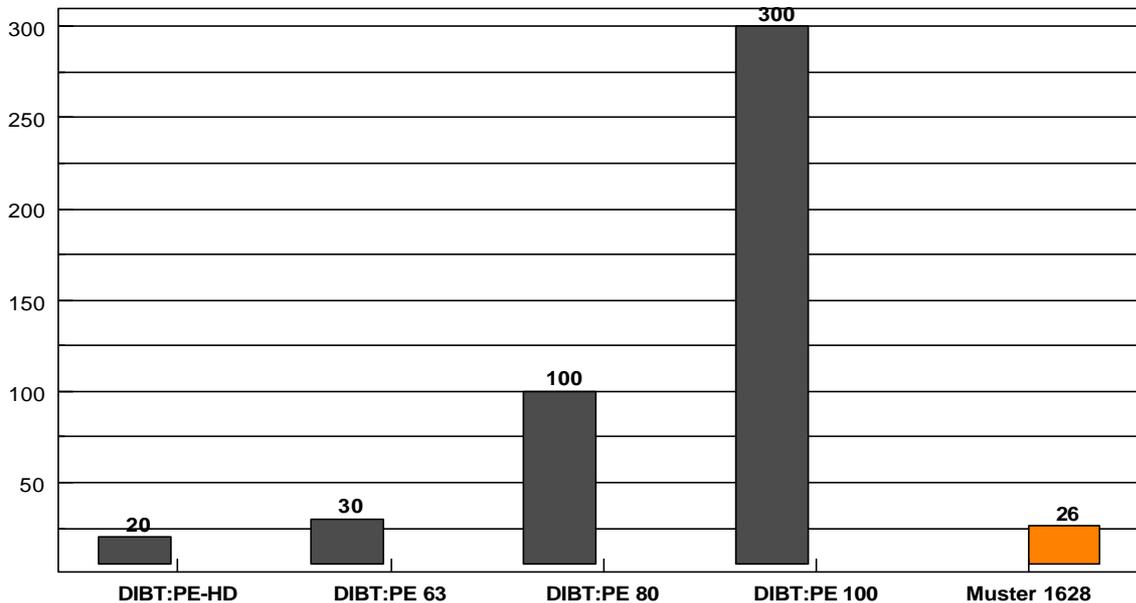
PE-Klassifikation	Mindeststandzeit in Stunden
PE-HD	20
PE 63	30
PE 80	100
PE 100	300

Tabelle 3: Mindeststandzeiten für Formmassen aus Polyethylen im Hinblick auf deren bauaufsichtliche Zulassung

Im Bild 1 sind die Daten aus Tabelle 2 und Tabelle 3 vergleichend dargestellt.

<sup>5</sup> DIBt: Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

Standzeit in Stunden



**Bild 1:** Gegenüberstellung der Standzeiten im FNCT von Muster 1628 und den Anforderungen des DIBt.

### Schlussfolgerungen/ Interpretation

**Die Standzeiten im FNCT an Proben aus der Rohrwand einer PE-Deponieentwässerungsleitung liegen auf einem sehr geringen Niveau.**

**Im Vergleich zu den Anforderungen des DIBt an Formmassen zur Herstellung von Rohren aus Polyethylen betragen die Standzeiten an den Proben aus der Rohrwand einer PE-Deponieentwässerungsleitung ca. 87 % des für PE 63, 26 % des für PE 80 und 8,7 % des für PE 100 geforderten Wertes.**

**Damit handelt es sich bei dem Rohstoff des Rohres für die PE-Deponieentwässerungsleitung um einen vergleichsweise spannungsrissempfindlichen Werkstoff, so dass beim Vorhandensein von Zugspannungen mit vorzeitigen Zeitandrissen gerechnet werden muss.**

**Bei einer Randfaserdehnung von 2,2 % betragen diese Zugspannungen 3 bis 4 N/mm<sup>2</sup> (DVS 2205-1).**

## **Anlage 3**

**Bodenmechanische Untersuchung der Auflagerbedingungen  
der Haltung S6.1**

**Deponie Burghof, Müllbohrung, Basisabdichtung****Ergebniszusammenstellung der bodenmechanischen Laborversuche****Proben: MP 1, Zyl. 1 bis Zyl. 3, Entnahme 07.08.2009 durch Jan Kalsow**

	Mischprobe	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3
Bodenart	U,t,s,g			
Bodengruppe	[TM]			
Feinstkorn (< 0,002 mm) [%]	23,1			
Feinkorn (< 0,063 mm) [%]	57,1			
Kies (> 2 mm) [%]	20,4			
Wassergehalt [%]	19,5	20,1	19,4	19,1
Fließgrenze [%]	38,1			
Ausrollgrenze [%]	19,3			
Plastizitätszahl [%]	19,8			
Konsistenzzahl <sup>(1)</sup>	0,94	0,91	0,94	0,96
Konsistenz <sup>(1)</sup>	steif	steif	steif	steif
Max. Scherwiderstand [kN/m <sup>2</sup> ]		124	134	204
100 % Proctordichte [g/cm <sup>2</sup> ]	1,750			
opt. Wassergehalt [%]	17,8			
Feuchtdichte [g/cm <sup>2</sup> ]		2,106	2,116	2,116
Trockendichte [g/cm <sup>2</sup> ]		1,753	1,772	1,777
Verdichtungsgrad [%]		100,2	101,3	101,5
Kalkgehalt [%]	9,3			
Glühverlust bei 550 °C [%]	3,5			

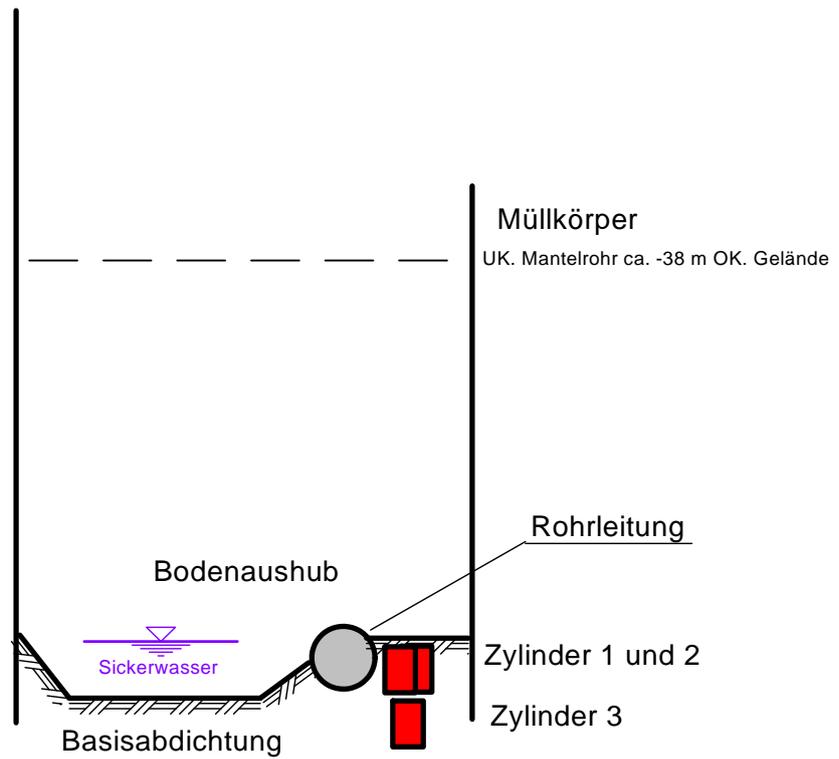
Anmerkung: (1) Bei Vernachlässigung des Überkorn &gt; 0,4 mm

Karlsruhe d. 25.08.2009

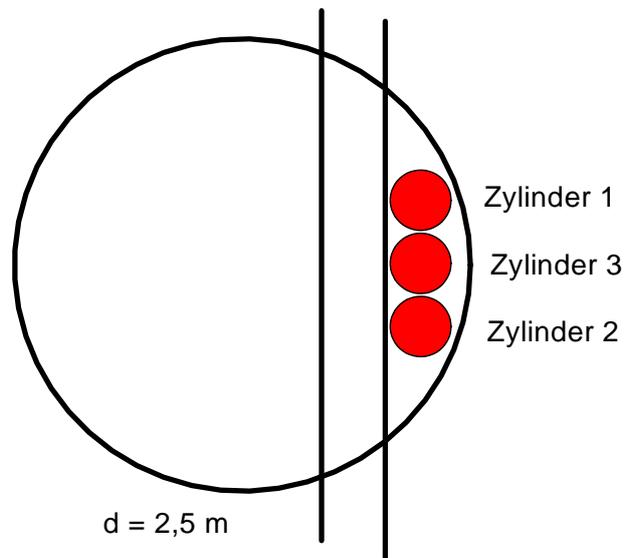


Jan Kalsow  
Laborleiter

# Querschnitt



# Draufsicht



Projekt **Deponie Burghof**  
**Sickerwasserleitungsanierung**

Auftraggeber  
./.

Ausgeführt  **ICP**  
Geologen und Ingenieure für Wasser und Boden  
ICP Ingenieurgesellschaft  
Prof. Czurda und Partner mbH  
Eisenbahnstraße 36  
76229 Karlsruhe  
Tel.: 0721/94477-0  
Fax: 0721/94477-70

Plangrundlage  
./.

	Datum	Name
Bearbeitet	Aug. 2009	Kalsow

Bau-/Anlagenteil  
**Basisabdichtung**

Planbezeichnung  
**Systemskizze Zylinderentnahme**

Maßstab **ohne** Planformat **DIN A4** Anlage: **090807**

Korngrößenverteilung nach DIN 18123 - 7  
 durch kombinierte Sieb-/ Schlämmanalyse

Entnahmeort: Sohle Müllbohrung  
 (Basisabdichtung)

Projekt: Deponie Burghof

Probenname: MP - 01

Material: Basisabdichtung

Dateiname: KV-Burg-MP-01

Ausgeführt am: 21.08.2009 durch: Peifer

Entnahme am: 07.08.2009 durch: Kalsow

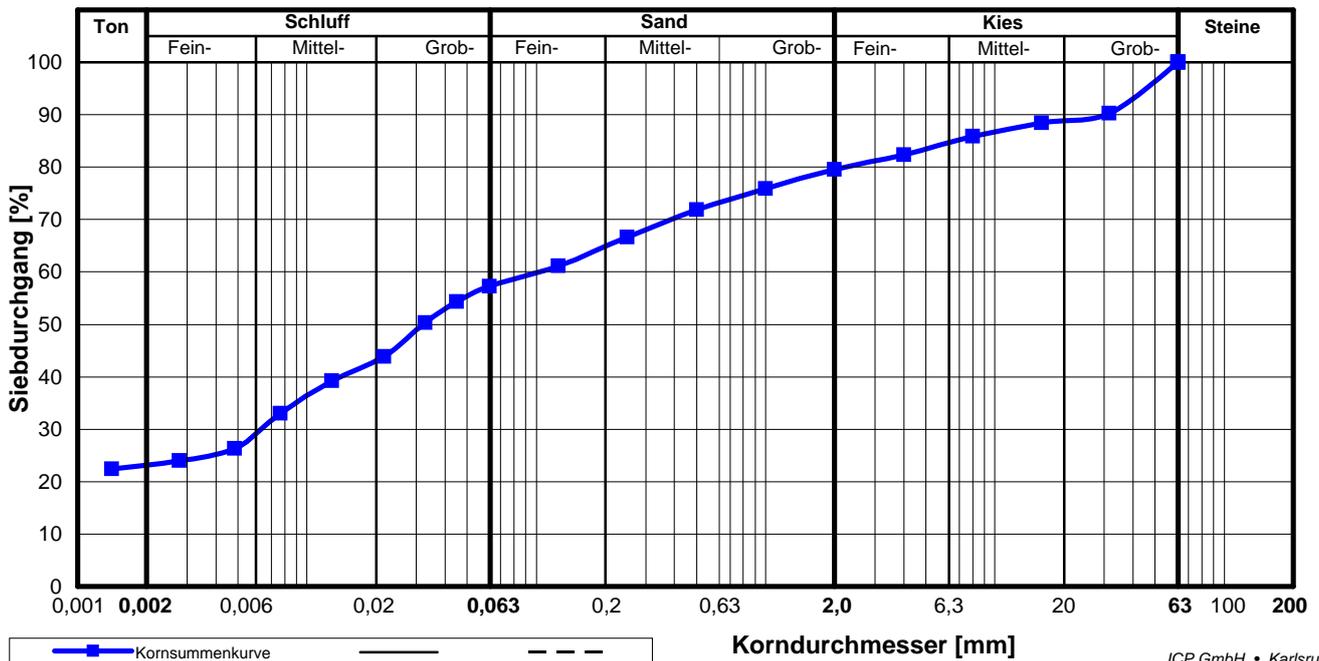
Siebung				Sedimentation										
Siebgröße	Masse Siebrückstand	Siebrückstand prozentual	Siebrückstände kumulativ	Uhrzeit	Ablesezeitpunkt nach Start	Ableseung R'	korrigierte Lesung R=R'+C <sub>m</sub>	Korndurchmesser d	Temperatur T	Temperaturkorrektur C <sub>T</sub>	Verbesserte Lesung R+C <sub>T</sub>	Anteil an Schlämprobe a	Anteil an Gesamtprobe a <sub>ges</sub>	
(mm)	(g)	(%)	(%)		(h:m:s)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(mm)	(°C)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	
				13:28	00:00:30	21,0	22,4	0,0623	24,0	0,80	23,2	93,6	57,2	
				13:29	00:01:00	19,8	21,2	0,0450	24,0	0,80	22,0	88,9	54,3	
63	0,0	0,0	100,0	13:30	00:02:00	18,2	19,6	0,0328	24,0	0,80	20,4	82,3	50,3	
31,5	224,5	9,7	90,3	13:33	00:05:00	15,6	17,0	0,0216	24,0	0,80	17,8	71,8	43,9	
16	41,5	1,8	88,5	13:43	00:15:00	13,7	15,1	0,0128	24,0	0,80	15,9	64,1	39,2	
8	60,9	2,6	85,8	14:13	00:45:00	11,1	12,5	0,0077	24,4	0,88	13,4	54,0	33,0	
4	80,5	3,5	82,3	15:28	02:00:00	8,2	9,6	0,0048	25,2	1,08	10,7	43,1	26,3	
2	64,3	2,8	79,6	19:28	06:00:00	6,8	8,2	0,0028	27,0	1,53	9,7	39,2	24,0	
1	84,8	3,7	75,9	13:28	24:00:00	6,3	7,7	0,0014	26,4	1,37	9,1	36,6	22,4	
0,5	93,3	4,0	71,8	Korndichte (g/cm <sup>3</sup> ): 2,68				Meniskuskorr. C <sub>m</sub> (g/cm <sup>3</sup> ): 1,4						
0,25	118,9	5,2	66,7	Trockenmasse (g): 39,5				Dispergierungsmittel: Na2PO4						
0,125	128,0	5,5	61,1	Arbeitsweise: Nasssiebung und Sedimentationsanalyse										
0,063	-	-	-	Bodenart (DIN 4022): U,t,s,g				Kornkennziffer: 24220						
<0,125	1410,6	61,1	/	Ungleichförmigkeitszahl U: -				Krümmungszahl C <sub>C</sub> : -						
Summe:	2307,4	100,0		Größtkorn (mm): 63				Kornform:						
Verlust:	0,0	0,0		Siebdurchgang:		d <sub>10</sub>	d <sub>15</sub>	d <sub>20</sub>	d <sub>30</sub>	d <sub>50</sub>	d <sub>60</sub>	d <sub>85</sub>	d <sub>90</sub>	
Gesamtrockenmasse:			2307,4	Korngröße (mm):		-	-	-	0,006	0,032	0,102	6,787	28,467	

Verteilung der Kornfraktionen (in %):

Ton	Schluff	Fein-	Mittel-	Grob-	Sand	Fein-	Mittel-	Grob-	Kies	Fein-	Mittel-	Grob-	Steine
<0,002 mm	0,002-0,063 mm	0,002-0,006 mm	0,006-0,02 mm	0,02-0,063 mm	0,063-2,0 mm	0,063-0,2 mm	0,2-0,63 mm	0,63-2,0 mm	2,0-63 mm	2,0-6,3 mm	6,3-20 mm	20-63 mm	>63 mm
<b>23,1</b>	<b>34,0</b>	6,0	13,9	14,0	<b>22,5</b>	7,4	8,4	6,7	<b>20,4</b>	4,8	4,6	11,1	<b>0,0</b>

ICP GmbH • Eisenbahnstraße 36 • 76229 Karlsruhe • Tel 0721-94477-0 • Fax 0721-94477-70

**Kornsummenkurve**



Konsistenzgrenzen nach DIN 18122 Teil 1  
 (Fließ- und Ausrollgrenze)

Entnahmestelle: Sohle Müllbohrung  
 (Basisabdichtung)

Projekt: Deponie Burghof

Probenbezeichnung: MP - 01

Material: Basisabdichtung

Dateiname: ZG-Burg-MP-01

Bearbeitet am: 24.08.2009 von: Walter

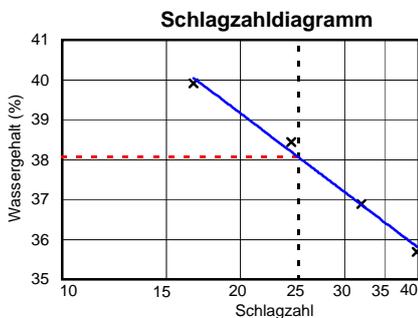
Entnahme am: 07.08.2009 durch: Kalsow

**Fließgrenze**

Versuchsnummer	1	2	3	4
Anzahl der Schläge	40	32	24	17
	40	32	24	17
	39	32	25	16
Feuchte Probe mit Behälter $m + m_B$ [g]	97,14	104,03	110,95	90,14
Trockene Probe mit Behälter $m_d + m_B$ [g]	90,39	96,01	99,58	79,68
Behälter $m_B$ [g]	71,48	74,27	70,00	53,47
Wasser $m - m_d = m_w$ [g]	6,75	8,02	11,37	10,46
Trockene Probe $m_d$ [g]	18,91	21,74	29,58	26,21
Wassergehalt $m_w / m_d = w$ [%]	35,70	36,89	38,44	39,91

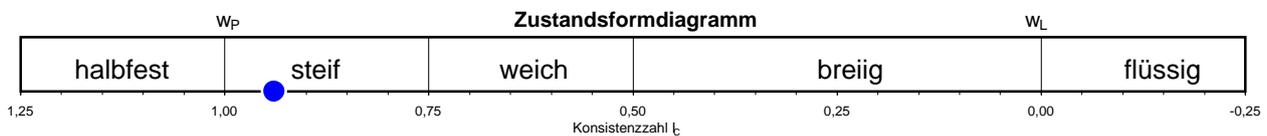
**Ausrollgrenze**

1	2	3	4
70,76	64,09	65,09	
69,68	63,16	64,26	
63,94	58,12	59,55	
1,08	0,93	0,83	
5,74	5,04	4,71	
18,82	18,45	17,62	



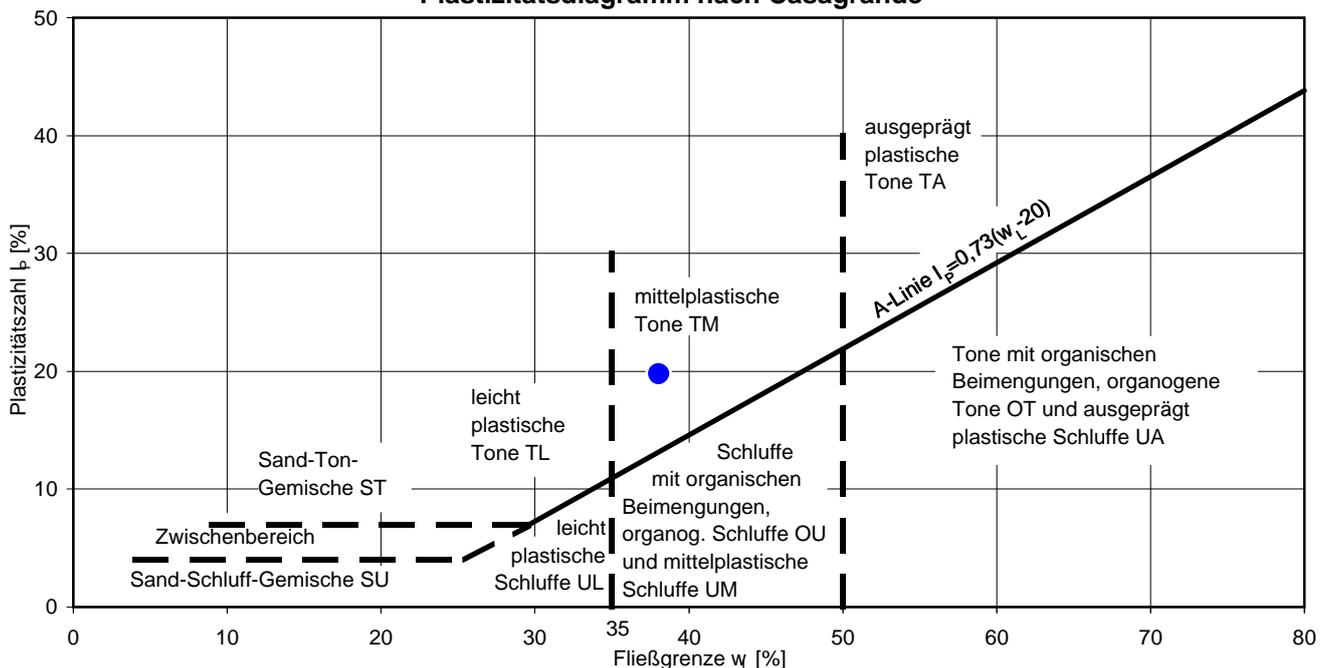
Natürlicher Wassergehalt  $w$  : 19,50 %  
 Überkornanteil  $\ddot{u}$  : 0,00 %  
 Korrigierter Wassergehalt  $w_{<0,4}$  : 19,50 %

**Fließgrenze  $w_L$  :** 38,07 %  
**Ausrollgrenze  $w_P$  :** 18,30 %  
**Plastizitätszahl  $I_P$  :**  $w_L - w_P$  19,77 %  
**Konsistenzzahl  $I_C$  :**  $(w_L - w_{\ddot{u}}) / (w_L - w_P)$  0,94



ICP GmbH • Eisenbahnstraße 36 • 76229 Karlsruhe • Tel 0721-94477-0 • Fax 0721-94477-70

**Plastizitätsdiagramm nach Casagrande**



**Scherwiderstand im Ausstechzylinder**  
 (Flügelsonde)

Entnahmeort: Sohle Müllbohrung

Projekt: **Deponie Burghof**  
 Material: Basisabdichtung  
 Bearbeitet am: 10.08.2009 von: Kalsow

Probenname: MP-01  
 Dateiname: US-Burg-MP-01  
 Entnahme am 07.08.2009 Kalsow

Probe	Position	Ablesung [kPa]	Maximaler Scherwiderstand [kN/m]
1	oberes Drittel	48	96
	unteres Drittel	76	152
			i.M. <b>124</b>
2	oberes Drittel	55	110
	unteres Drittel	79	158
			i.M. <b>134</b>
3	oberes Drittel	106	212
	unteres Drittel	98	196
			i.M. <b>204</b>

**Flügelsonde:** Geonor Nr. 06063  
 Flügel 16 x 32 mm

<b>ICP Ingenieurgesellschaft</b>		Anlage-Nr.:					
<b>Prof. Czurda &amp; Partner mbH</b>		Anlage zu:					
Bestimmung der <b>Dichte</b> mittels Ausstechzylinder nach DIN 18125 - F- A		Entnahmeort:		Sohle Müllbohrung (Basisabdichtung)			
Projekt:	Deponie Burghof	Probenname:		MP - 01			
Material:	Basisabdichtung	Dateiname:		KV-Burg-MP-01			
Ausgeführt am:	10.08.09	von:	Kalsow	Entnahme am:	07.08.09	durch:	Kalsow
Bezeichnung der Probe		Zyl. 1 (seitlich)	Zyl. 2 (seitlich)	Zyl. 3 (unten)			
Feuchte Probe + Zylinder	$m_r+m_z$ [g]	2408,2	2365,8	2422,7			
Masse Zylinder	$m_z$ [g]	578,6	528,1	584,7			
Volumen Zylinder	$V_z$ [cm <sup>3</sup> ]	868,59	868,59	868,59			
Feuchte Probe	$m_f$ [g]	1829,6	1837,7	1838,0			
Feuchtdichte	$\rho_f$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,106	2,116	2,116			
Feuchte Probe + Behälter	$m_r+m_b$ [g]	531,9	485,4	520,8			
Trockene Probe + Behälter	$m_t+m_b$ [g]	475,4	438,5	468,8			
Behälter	$m_b$ [g]	195,0	196,5	196,4			
Wasser	$m_f-m_t=m_w$ [g]	56,5	46,9	52,0			
Trockene Probe	$m_t$ [g]	280,4	242,0	272,4			
Wassergehalt	$m_w/m_t*100=w$ [%]	20,1	19,4	19,1			
Trockendichte	$\rho_t$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,753	1,772	1,777			
100 % Proctordichte	$\rho_{Pr}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,750	1,750	1,750			
<b>Verdichtung</b>	<b><math>D_{Pr}</math> [%]</b>	<b>100,2</b>	<b>101,3</b>	<b>101,5</b>			

Proctorversuch nach DIN 18127- P 150 Y

Entnahmeort: Sohle Müllbohrung  
 (Basisabdichtung)

Projekt: Deponie Burghof

Probenname: MP - 01

Material: Basisabdichtung

Dateiname: KV-Burg-MP-01

Ausgeführt am: 19.08.2009 durch: Peifer

Entnahme am: 07.08.2009 durch: Kalsow

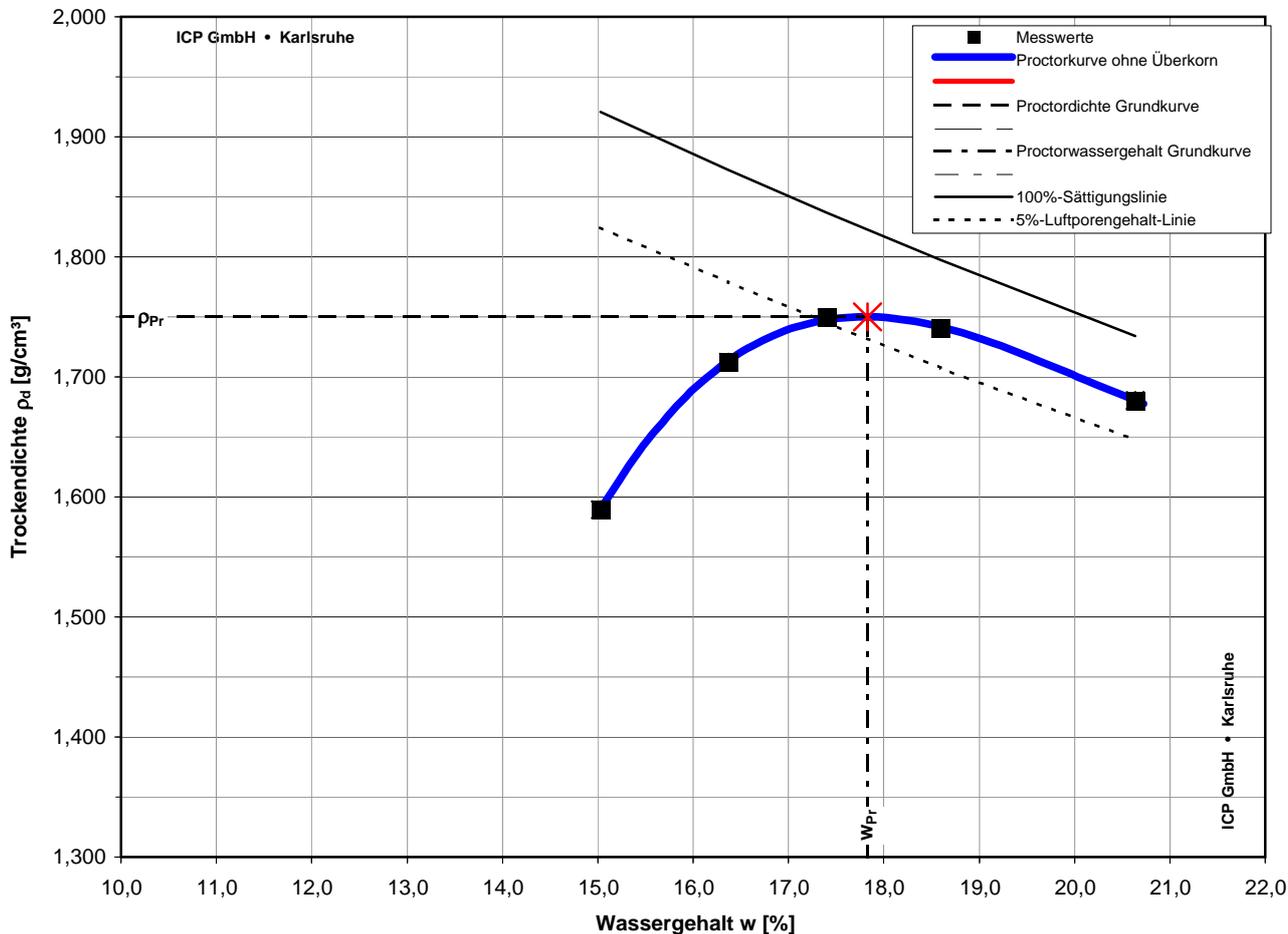
Versuchsnummer		1	2	3	4	5			
Masse feuchte Probe + Zylinder	$m+m_z$ [g]	15808	16172	16307	16330	16248			
Masse Zylinder	$m_z$ [g]	11770	11770	11770	11770	11770			
Masse feuchte Probe	$m$ [g]	4038	4402	4537	4560	4478			
Mittlere Probenhöhe nach Verdichtung	$h_m$ [cm]	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5			
Volumen der Probe	$V$ [cm <sup>3</sup> ]	2209	2209	2209	2209	2209			
Feuchtdichte	$m/V = \rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,828	1,993	2,054	2,064	2,027			
Masse feuchte Probe + Behälter	$m+m_B$ [g]	803,30	976,10	965,80	1009,20	854,20			
Masse trockene Probe + Behälter	$m_d+m_B$ [g]	737,30	881,10	866,90	885,10	741,60			
Masse Behälter	$m_B$ [g]	298,10	300,90	298,70	217,80	196,00			
Masse Porenwasser	$m_w$ [g]	66,00	95,00	98,90	124,10	112,60			
Masse trockene Probe	$m_d$ [g]	439,20	580,20	568,20	667,30	545,60			
Wassergehalt	$m_w/m_d = w$ [%]	15,03	16,37	17,41	18,60	20,64			
Trockendichte	$\rho / (1+w) = \rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,589	1,712	1,749	1,741	1,680			
Korrigierter Wassergehalt	$w(1-\bar{u})+w_{\bar{u}}^* \bar{u} = w'$ [%]								
Korrigierte Trockendichte	$\rho_d(1-\bar{u})+0,9^* \bar{u}^* \rho_{s\bar{u}} = \rho'_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]								

Überkornanteil  $\bar{u}$ :  $w_{\bar{u}}$ :  $\rho_{s\bar{u}}$ : Bodenart:

Proctordichte  $\rho_{Pr}$ : **1,750 g/cm<sup>3</sup>**      Korrigierte Proctordichte  $\rho'_{Pr}$ :  
 Optimaler Wassergehalt  $w_{Pr}$ : **17,8 %**      Korrigierter optimaler Wassergehalt  $w'_{Pr}$ :

ICP GmbH • Eisenbahnstraße 36 • 76229 Karlsruhe • Tel 0721-94477-0 • Fax 0721-94477-70

**Proctorkurve**



<b>ICP Ingenieurgesellschaft</b>		Anlage-Nr.:			
<b>Prof. Czurda &amp; Partner mbH</b>		Anlage zu:			
<b>Bestimmung des Karbonatgehaltes und des Glühverlustes</b>		Entnahmeort: Sohle Müllbohrung (Basisabdichtung)			
Projekt:	Deponie Burghof	Probenname:		MP - 01	
Material:	Basisabdichtung	Dateiname:		KV-Burg-MP-01	
		Entnahme am:		07.08.09 durch: Kalsow	
<b>Bestimmung des Karbonatgehaltes nach DIN 18 129 (Scheibler)</b>					
Ausgeführt am: 23.08.09		Temperatur T: 26,0 °C			
Ausgeführt von: Tian		Luftdruck $p_{abs}$ : 1012 hPa			
		Dichte von $CO_2$ $\rho_a$ : 0,00198 g/cm <sup>3</sup>			
		mol. Verhältnis M: 2,274			
		Probe a			
Einwaage (g)	$m_d$	1,0001			1,0001
Ablesung nach 30 s (ml)	$V_{30}$	9,8			9,8
Ablesung Versuchsende (ml)	$V_G$	22,8			22,8
Volumen Normzustand (ml)	$V_0$	20,71			20,71
Masse Karbonat (g)	$m_{Ca} = V_0 \cdot \rho_a \cdot M$	0,093			0,093
<b>Kalkgehalt (%)</b>	<b><math>V_{Ca} = m_{Ca}/m_d \cdot 100\%</math></b>	9,3			<b>9,3</b>
		davon entfällt auf Ca-Karbonat, "Calcit" (%):			
		4,00			
		davon entfällt auf Ca-Mg-Karbonat, "Dolomit" (%):			
		5,31			
<b>Bestimmung der organischen Bestandteile nach DIN 18 128 durch Glühen bei 400°C und 550°C</b>					
Ausgeführt am: 23.08.09		Probe a		Probe b	
Ausgeführt von: Tian					
Temperatur	[°C]	400	550	400	550
Glühzeit	[h]	3,0	3,0	3,0	3,0
Trockene Pr.+Beh.	$m_t+m_b$ [g]	32,85	32,85	34,69	34,69
geglühte Pr.+Beh.	$m_g+m_b$ [g]	32,69	32,31	34,52	34,27
Behälter	$m_b$ [g]	19,31	19,31	20,43	20,43
organ. Substanz	$m_t-m_g=m_o$ [g]	0,16	0,54	0,17	0,42
Trockene Probe	$m_t$ [g]	13,54	13,54	14,26	14,26
Glühverlust	$(m_o/m_t) \cdot 100 = V_{gl}$ [%]	1,2	4,0	1,2	2,9
<b>Mittel Glühverlust</b>	<b>550 °C [%]</b>	<b>3,5</b>			

## **Anlage 4**

**Sickerwasseranalyse; Gesamtsickerwasser der Deponie  
Burghof**



## **Anlage 5**

**Nachrechnung von deformierten PE-Rohren der Deponie  
Burghof, TÜV Rheinland/LGA Bautechnik GmbH**

## BERICHT

Nr. BBIS 10076/01  
SAP 69616851

Datum: 07.04.2010

**Auftraggeber:** ICP Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH &  
Büro Urbach  
Größenwiesenweg 28  
73660 Urbach

**Auftrag vom:** 25.03.2010

**Inhalt des Auftrages:** Nachrechnung von deformierten PE-Rohren

**Bauort:** Deponie Burghof

**Bauvorhaben:** Deponieentwässerung

**Bauherr:** Abfallverwertungsgesellschaft des  
Landkreises Ludwigsburg mbH  
Hindenburgstraße 30  
71638 Ludwigsburg

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Armin Stegner

**Telefon Nr.:** +49 911 655-4843

**Telefax Nr.:** +49 911 655-4851

**E-Mail:** [armin.stegner@de.tuv.com](mailto:armin.stegner@de.tuv.com)

TÜV Rheinland  
LGA Bautechnik GmbH  
Institut für Statik  
Tillystraße 2  
90431 Nürnberg

Tel +49 1803 252535-1500\*  
Fax +49 1803 252535-1599\*  
Mail [bautechnik@de.tuv.com](mailto:bautechnik@de.tuv.com)

Geschäftsführung  
Achim Blinne  
Hans-Hermann Ueffing

Nürnberg HRB 20586  
Steuer-Nr. 241/115/90733  
Ust-IdNr. DE813835574

Web [www.tuv.com](http://www.tuv.com)

\*9 ct/min aus dem dt. Festnetz  
Seite 1 von 11

Dieser Prüfungsbericht umfasst 11 Seiten und Anhang.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das/ die im Prüfungsbericht genannte(n) Probenmaterial/ Prüfstück.

Dieser Prüfungsbericht darf nur im vollen Wortlaut veröffentlicht werden.  
Jede Veröffentlichung in Kürzung oder Auszug bedarf der vorherigen Genehmigung durch die  
TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH.

Für die Auftragsabwicklung haben wir wesentliche Daten und Ihre Anschrift gespeichert.  
Der Datenschutz ist gewährleistet.

## **2. Unterlagen:**

- 2.1 Bericht Nr. RO 04 1628 der Hessel Ingenieurtechnik GmbH vom 13.10.2009
- 2.2 Laborergebnisse der Untersuchungen von Bodenproben, die neben den Rohren in einer bestehenden Baugrube genommen wurden
- 2.3 Sonstige Unterlagen:
  - 2.3.1 Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, November 1995
  - 2.3.2 ATV-Merkblatt M 127 Teil 1, Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien, März 1996
  - 2.3.3 DIN 19667, Dränung von Deponien, Mai 1991
  - 2.3.4 G. Sonntag: Die Stabilität dünnwandiger Rohre im kohäsionslosen Kontinuum, Felsmechanik und Ingenieurgeologie Vol. 4/3, 1966, Springer Verlag

## **3. Baubeschreibung / Inhalt:**

### **3.1 Baubeschreibung:**

In der Dichtung und der daraufliegenden Schutzschicht aus Mergel wurden in den Jahren 1988/1989 PE-Rohre zur Sickerwasserableitung verlegt. Diese Rohre wiesen deutliche Verformungen und Risse auf. Eingebaut wurden Rohre mit einem Außendurchmesser von 280 mm und einer Wanddicke von 25,4 mm. Unterlagen zu den Rohren und eine Rohrstatik liegen nicht vor.

Mit Unterlage 2.1 wurden Proben, die bei der Sanierung aus den Rohren entnommen wurden, untersucht. Die Untersuchungen ergaben keine Hinweise auf Wärmealterung. Sie ergaben jedoch einen gegenüber modernen PE-Materialien niedrigen FNCT-Wert, das heißt, einen geringen Widerstand gegen Rissfortpflanzung. Die Rohrwand wird demgemäß als empfindlich gegenüber Zugspannungen bezeichnet.

In Unterlage 2.2 werden Bodenproben aus der Leitungszone untersucht. Sie ergaben gut verdichtet eingebautes steifes bis halbfestes Tonmaterial. Der Steifemodul kann damit gemäß den Erfahrungen der TR LGA Bautechnik GmbH mit ca. 10 - 20 N/mm<sup>2</sup> angenommen werden.

### **3.2 Inhalt der Unterlagen:**

Es werden Standsicherheitsnachweise für die Rohre nach der Methode der Finiten Elemente geführt. Hierbei werden die Bettungsbedingungen und mechanische Eigenschaften des Rohrmaterials variiert um die aufgetretenen Verformungen und Risse rechnerisch nachzuvollziehen.



## 5. Baustoffe und Einbau:

Der Langzeitkriechmodul ohne Abminderungen wird zu  $150 \text{ N/mm}^2$  angenommen. Dieser Wert war im Zeitraum vor genaueren Untersuchungen und der Entwicklung bimodaler PE-Typen der Standardwert der Bemessung.

Abminderungsfaktoren für Medium und Temperatur werden in Anlehnung an DIN 4266 angesetzt. Für die Abminderung aus der Gebrauchsdauer wird das DVS Diagramm in Bild 1 herangezogen.

## 6. Einbau / Baugrund:

Die Rohre werden vollständig in Dichtungs-/Mergelmaterial gebettet angenommen. Die Nachweise werden mit einem Elastizitätsmodul von  $12 \text{ N/mm}^2$  geführt.

## 7. Berechnungen:

### 7.1 Allgemeines:

Die Berechnungen werden mit dem Finite-Elemente-Programmsystem NISA II (Vers. 16.0) von EMRC (Engineering Mechanics Research Corporation, Troy, Michigan USA) durchgeführt. Die Berechnungen erfolgen unter Zugrundelegung linear elastischer Materialgesetze. Für alle Einheiten werden Newton und Millimeter als Basiseinheiten eingesetzt.

Die Abbildung der angenommenen Einbausituation erfolgt als finites Elementnetz. Hierbei werden Boden, KDB und Rohr als viereckige Scheibenelemente diskretisiert. Für die Berechnung werden die Parameter Elastizitätsmodul und Querdehnzahl zur Beschreibung dieser Elemente benötigt. Der nicht im Modell abgebildete Müll wird als schlaife Auflast auf den oberen Modellrand angesetzt.

### 7.2 Spannungen und Verformungen:

Die maximalen Verformungen betragen unter 1-facher Last von  $790 \text{ kN/m}^2$ :

Für Elastizitäts-(Kriech-)modul Rohr =  $150 \text{ N/mm}^2$

$35,2 - 7,6 = 27,6 \text{ mm}$  entsprechend  $10,8 \%$  und überschreiten damit die unter 1-facher Gebrauchslast zulässigen Verformungen ( $= 6 \%$ ).

Die maximalen Druckspannungen betragen  $-7,8 \text{ N/mm}^2$ , Zugspannungen treten mit  $0,5 \text{ N/mm}^2$  nur gering auf.

Für Elastizitäts-(Kriech-) modul Rohr =  $100 \text{ N/mm}^2 / 70 \text{ N/mm}^2$

$37,4 - 6,85 = 30,55 \text{ mm}$  entsprechend  $12,0 \%$  und überschreiten damit die unter 1-facher Gebrauchslast zulässigen Verformungen ( $= 6 \%$ ).

Für  $E = 70 \text{ N/mm}^2$  ergibt sich:  $39,2 - 6,4 = 32,8 \text{ mm}$  entsprechend  $12,9 \%$  und überschreiten damit die unter 1-facher Gebrauchslast zulässigen Verformungen ( $= 6 \%$ ).

Die maximalen Druckspannungen betragen  $-6,2 \text{ N/mm}^2$ , Zugspannungen treten nicht auf.

Für Elastizitäts-(Kriech-) modul Rohr = 1000 N/mm<sup>2</sup>

Die maximalen Verformungen betragen 26,4 - 12,6 = 13,8 mm entsprechend 5,4 %. In diesem Fall treten Zugspannungen von bis zu 12,2 N/mm<sup>2</sup> auf.

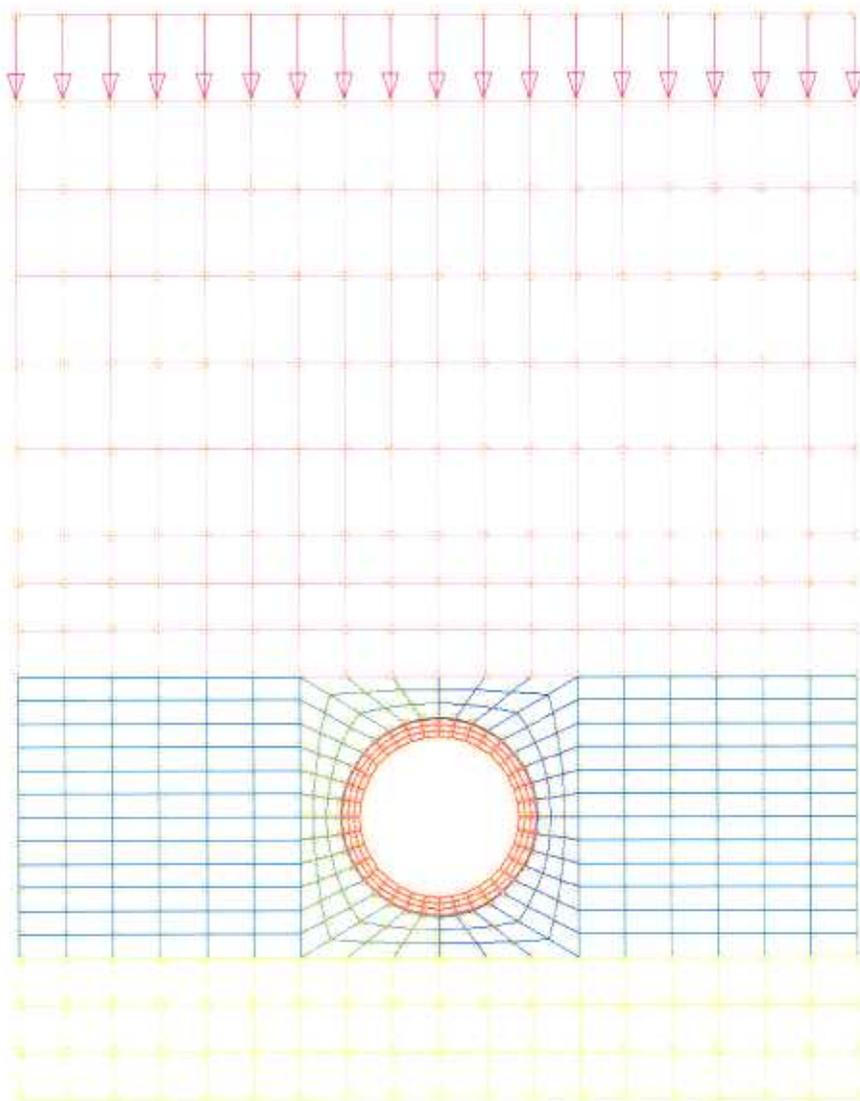


Bild 2 FEM Model

### 7.3 Stabilität:

Stabilitätsnachweise nach Unterlage 2.3.4 ergeben in keinem Fall ausreichende Sicherheiten. Für optimalen Einbau mit  $E_s = 20 \text{ N/mm}^2$  ergibt sich eine kritische Beullast in Höhe der tatsächlichen Auflast, wenn ein Kriechmodul von  $100 \text{ N/mm}^2$  für das PE-Material angenommen wird. Für einen geringeren Kriechmodul oder für geringere Steifemodule des Bodens sind die kritischen Beullasten geringer als die vorhandene Auflast.

## 8. Ergebnis:

Die Rohre sind für die maximale Überdeckungshöhe bedingt durch den Einbau im (gegenüber einer Kiesbettung) relativ weichen Dichtungsmaterial nicht ausreichend dimensioniert. Zusätzlich reduziert sich durch dauerhaft hohe Temperatureinwirkungen der Kriechmodul des PE-Materials. Die rechnerischen Verformungen überschreiten den üblichen Bemessungswert von 6 % um mehr als das Zweifache. Aus den Verformungen, die wegen der weichen Bettung auch langfristig keinen endgültigen Abschluss finden, sind in dem wegen seines geringen FNCT-Wertes rissempfindlichen Material, die Risse entstanden. Das 1988/89 eingesetzte PE-Material war zudem kein bimodales Material.

Wegen der Angaben zur Zugspannungsempfindlichkeit des Materials in Unterlage 2.1 wurde rechnerisch eine zweite mögliche Ursache für die Risse untersucht. Durch dauerhaft hohe Temperatureinwirkungen kann das PE-Material verspröden. Für einen Elastizitätsmodul von 1000 N/mm<sup>2</sup> ergeben sich tatsächlich hohe Zugspannungen im Rohr, die in dem wegen seines geringen FNCT-Wertes zugempfindlichen Material langfristig nicht aufnehmbar sind. Gemäß dieses Ergebnisses können nach dem Einbau die Verformungen in den falsch dimensionierten Rohren aufgetreten und danach in dem durch Temperatureinwirkungen versprödenen Material Risse hervorgerufen worden sein.

Nicht beurteilbar sind aus unserer Sicht Auswirkungen aus Vorschädigungen oder Ovalisierungen beim Einbau oder während Zwischenbauzuständen, da hierzu keine Unterlagen vorliegen.

TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH  
Institut für Statik

Bearbeiter:

  
Albert Hoch  
Dr.-Ing., BD  
Institusleiter



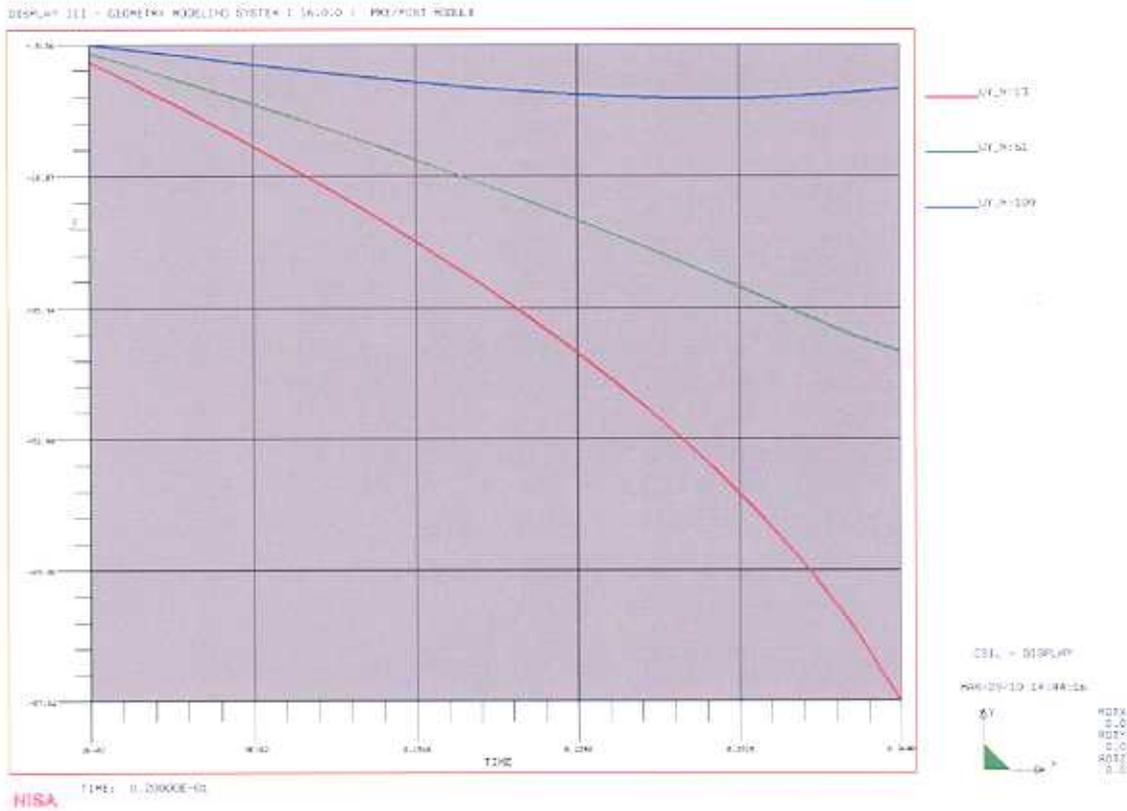
  
Armin Stegner  
Dipl.-Ing.

Verteiler:  
ICP

Bericht 3-fach    Unterlagen 1-fach

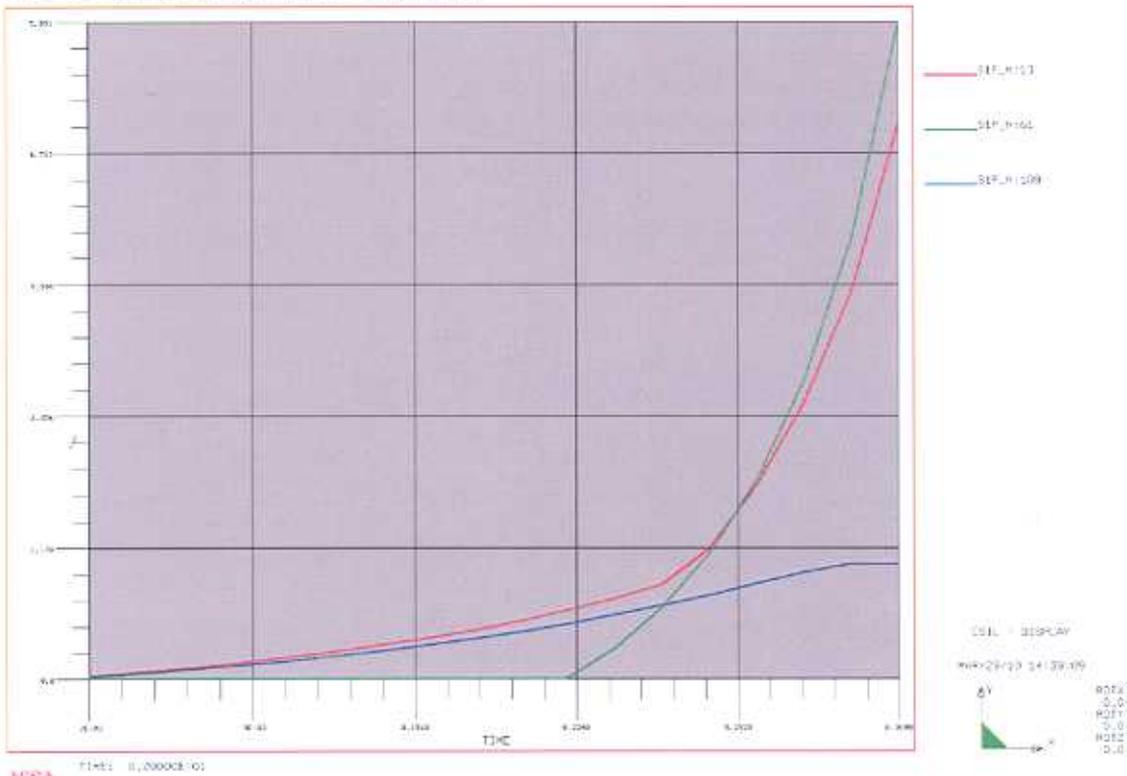
**Bilder A 1 – A 3**

für „übliches PE-Material ohne Berücksichtigung von Temperatureinflüssen  
 Verformungen und Zugspannungen für  $E_{\text{Boden}} = 12 \text{ N/mm}^2$  und  $E_{\text{Rohr}} = 150 \text{ N/mm}^2$   
 Knoten 13 Scheitel 109 Sohle 61 Kämpfer Auflast 0 - 1800 kN/m<sup>2</sup>



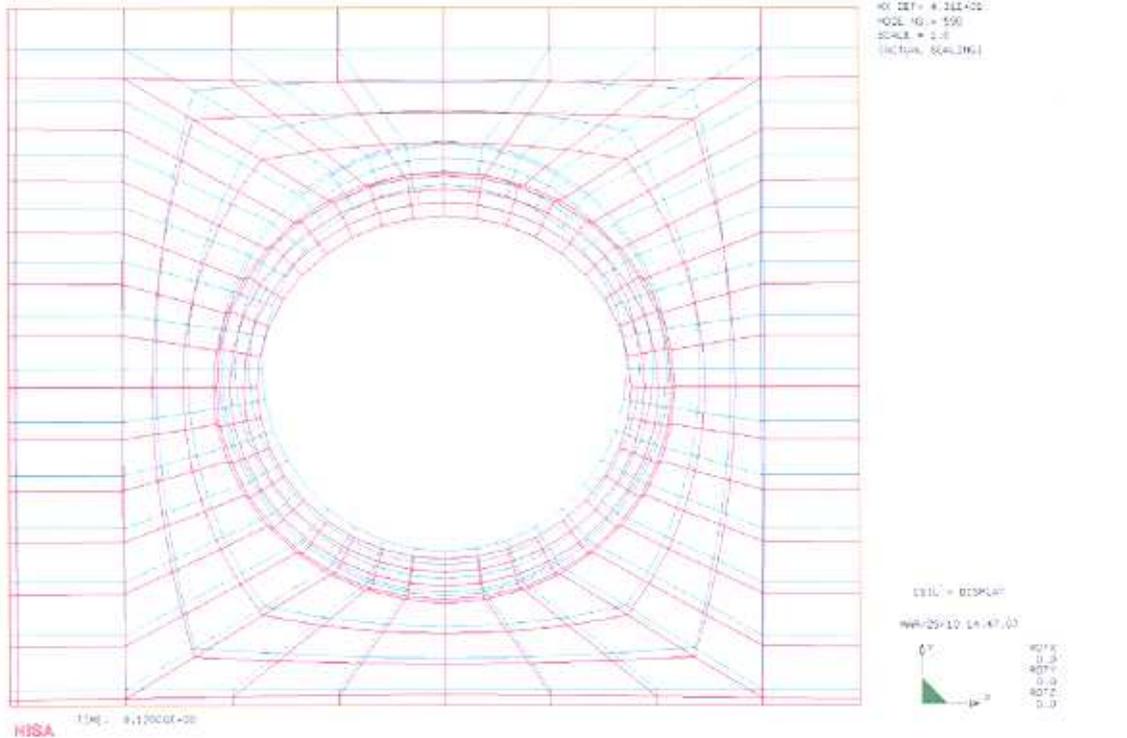
**A1 Vertikale Verformung**

DISPLAY 111 - GEOMETRY MODELING SYSTEM ( 25.0.0.0 ) PRE-POST MODULE



## A2 Zugspannungen

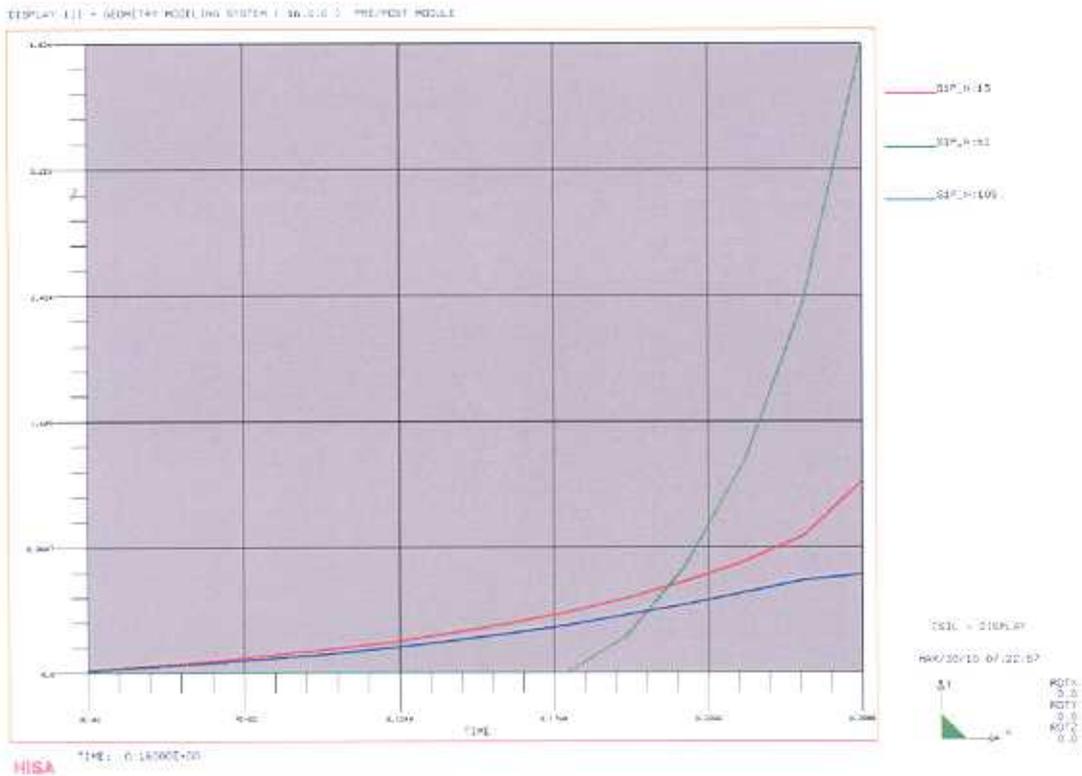
DISPLAY 111 - GEOMETRY MODELING SYSTEM ( 25.0.0.0 ) PRE-POST MODULE



## A3 Verformte Struktur

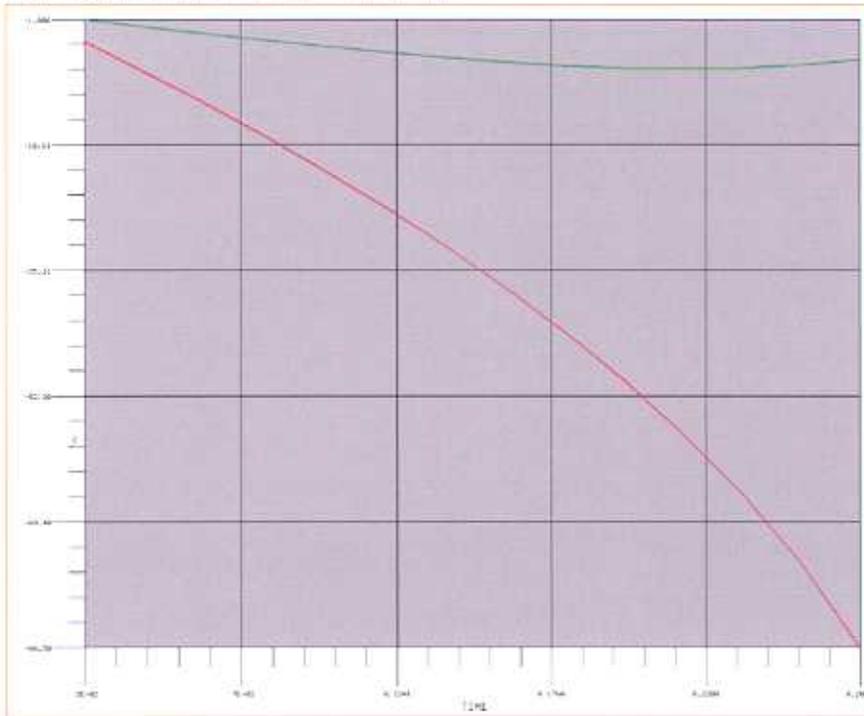
**Bilder B 1 - B 3**

für PE-Material mit Berücksichtigung von Temperatureinflüssen  
 Verformungen und Zugspannungen für  $E_{\text{Boden}} 12 \text{ N/mm}^2$   
 Knoten 13 Scheitel 109 Sohle 61 Kämpfer Auflast 0 - 1800 kN/m<sup>2</sup>  
 $E_{\text{Rohr}} 100 \text{ N/mm}^2$



**B1 Zugspannungen**

DISPLAY 111 - GEOMETRY MODELING SYSTEM 1 16.0.0.0 PRE-POST MODULE



U1, 9.187  
 U2, 9.119

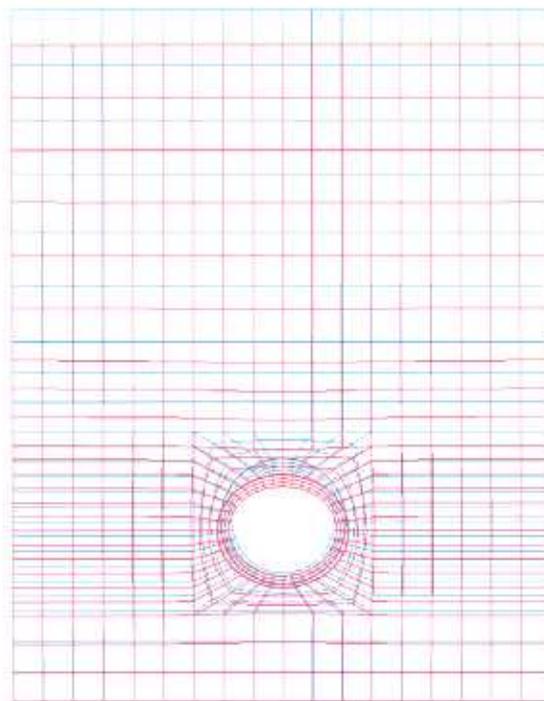
CSL = DISPLAY  
 HW: 09/10 07:22:19  

 ROT: 0.0  
 ROTX: 0.0  
 ROTY: 0.0  
 ROTZ: 0.0

HISA TIME: 0.16000E+00

## B2 Vertikale Verformung

DISPLAY 112 - GEOMETRY MODELING SYSTEM 1 16.0.0.0 PRE-POST MODULE



DISPLACED SHAPE  
 MAX DEF = 7.54E-03  
 NODE NO. = 199  
 SCALE = 1.0  
 (ACTUAL SCALING)

HISA TIME: 0.16000E+00

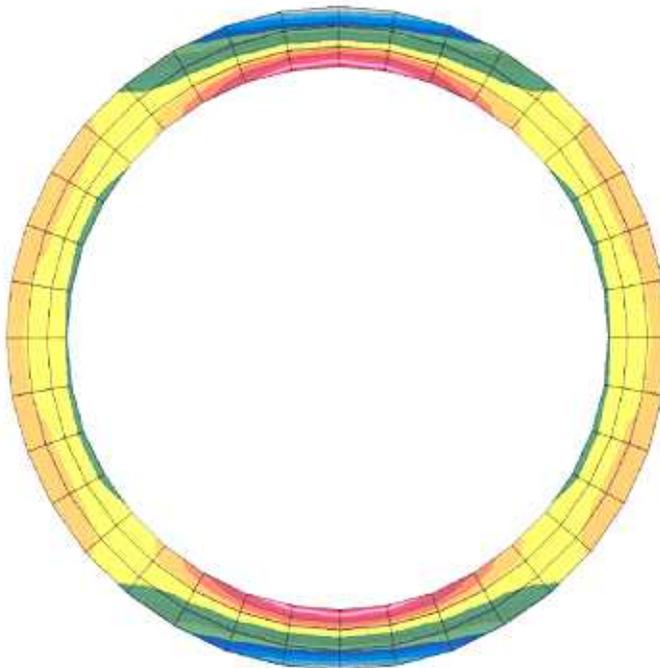
CSL = DISPLAY  
 HW: 09/10 07:26:31  

 ROT: 0.0  
 ROTX: 0.0  
 ROTY: 0.0  
 ROTZ: 0.0

## B3 Verformte Struktur

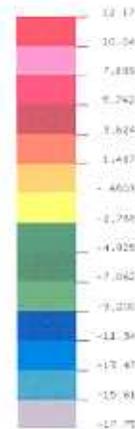
**Bilder C 1 - C 2 für versprödetes PE-Material**  
 Zugspannungen für  $E_{\text{Boden}} 12 \text{ N/mm}^2$   
 $E_{\text{Rohr}} 1000 \text{ N/mm}^2$

DISPLAY 010 - GEOMETRY MODELING SYSTEM 1.26.0.0.0 - PRE-POST MODULE



00K - STRESS08

VIEW: 1 - 27.7667  
 WARD: 12.17249



CELL = DISPLAY

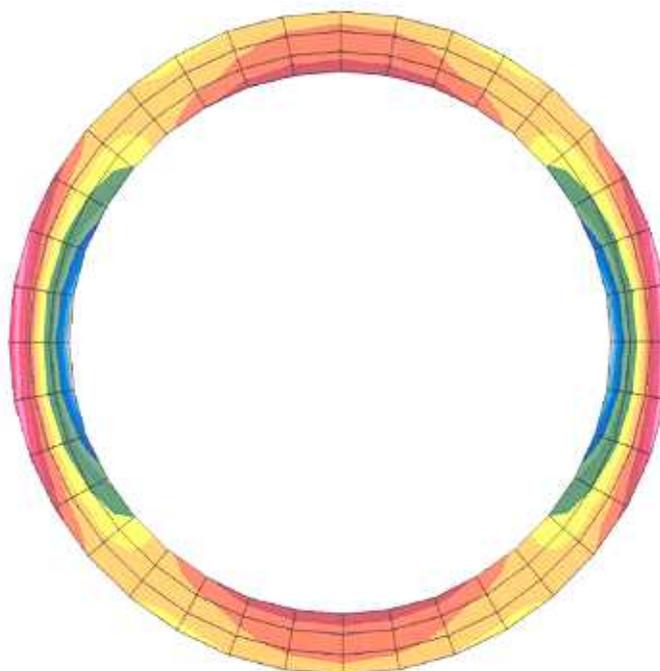
MAP: 30/10 07:37:03



HISA TIME: 8.16000E+00

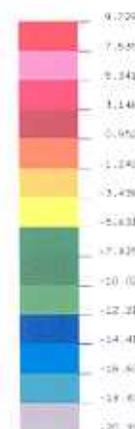
**C1 Horizontalspannungen**

DISPLAY 010 - GEOMETRY MODELING SYSTEM 1.26.0.0.0 - PRE-POST MODULE



00Y - STRESS09

VIEW: 1 - 28.09904  
 WARD: 9.12017



CELL = DISPLAY

MAP: 30/10 07:38:06



HISA TIME: 8.16000E+00

**C2 Vertikalspannungen**

## **Anlage 6**

**Checkliste zur Standzeitbeurteilung von PE-Leitungen**

# Checkliste

## zur betriebsinternen Bewertung des Rohrzustandes

### 1. Anforderungen an PE-Leitungen

Rissbildungen in PE-Leitungen können mehrere Ursachen haben. Demzufolge sind die Möglichkeiten, diese schon vor der Entstehung zu prognostizieren, auch relativ gering. Die nachfolgenden Ausführungen müssen in jedem Fall anhand der Randbedingungen der jeweiligen Deponien betrachtet werden. Grundsätzlich können die Angaben jedoch zu einer ersten Einordnung herangezogen werden.

Zunächst werden die definierten Maßgaben für den Einsatz von PE-Leitungen im Neubau aufgelistet. Aufbauend auf diese Forderungen werden Hinweise gegeben, wie bereits eingebaute PE-Leitungen hinsichtlich des Rohrzustandes und einer möglichen Rissentstehung eingestuft werden können.

#### 1.1 Materialanforderungen für neu zu verlegende Rohre

Grundsätzlich sollten für einzubauende PE-Rohre folgende Maßgaben gelten:

##### Normale Beanspruchung

- PE 100
- Beachtung der SKZ/TÜV - LGA Richtlinie „Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien“ vom Juni 2010
- Werkstoff nach DIN EN ISO 12162
- Hoher Widerstand gegen Rissfortpflanzung, FNCT Wert  $\geq 300$  h
- Langzeitstabilisierung gegen thermisch-oxidativen Abbau: OIT Wert  $\geq 30$  min. bei 200°C
- Einhaltung der Mindestfestigkeit: MRS  $\geq 1.000$  h bei 80°C

Alternativ kann als Eignungsnachweis für die eingesetzte Formmasse der Nachweis einer gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des DIBt unter Berücksichtigung der vorgenannten Anforderungen zugrunde gelegt werden.

##### Extreme Beanspruchung

Bei der Sanierung beschädigter Rohre wird in Deponien oftmals das Berstverfahren eingesetzt. Die bei der Zertrümmerung des Altrohres durch die Berststrakete entstehenden Scherben verursachen an der Aussenseite des einzuziehenden Neurohres Kerbbelastungen. Aus diesem Grund muss eine besonders hohe Kerbunempfindlichkeit vorhanden sein. An Rohre im Berstverfahren sollten folgende zusätzliche Anforderungen gestellt werden:

- Für jede Formmassencharge: FNCT  $\geq 1.600$  h bei 80°C und einer Prüfspannung von 4 N/mm<sup>2</sup>, Netzmittel 2 % Arkopal N-100
- Verwendung von Rohren mit Verschleißschicht

Grundsätzlich sind Drainageleitungen mit runden Löchern auszuführen. Sind geschlitzte Rohre unbedingt erforderlich, so müssen die Schlitze in jedem Fall an den Enden ausgerundet werden.

## 1.2 Rechnerische Anforderungen

Für die durch Auflast beanspruchten Rohre muss eine adäquate Rohrstatik gerechnet werden. **Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen bereits eingebauten und neu zu verlegenden bzw. einzuziehenden Rohren.** Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die in den 80er und zu Beginn der 90er Jahre gerechneten Rohrstatiken sind anhand der heutigen Vorgaben prognosewirksam zu überrechnen.
- Die Berechnung sollte gem. ATV A/M127 erfolgen.
- Beachtung von Bemessungsrichtlinien z.B. „Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien – Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme“ des Deutschen Instituts für Bautechnik.
- Für die Berechnung ist eine genaue Definition der Einbauverhältnisse erforderlich, bei bestehenden Leitungen sollten die Einbauverhältnisse an Hand der Bauakten ermittelt werden.
- Abminderungsfaktoren für Medium- und Temperatureinflüsse müssen in Anlehnung an die DIN 4266 berücksichtigt werden. Sollten nachweislich höhere Temperaturen im Deponiekörper vorherrschen als die in der DIN verankerten 45°C, ist der Temperaturwert anzupassen. Zur Abminderung für die Gebrauchsdauer ist das Kriechmoduldiagramm gem. DVS 2205 heranzuziehen.
- Berücksichtigung von Perforationen bei der Berechnung durch Abminderungsfaktoren gem. ATV-M 127 Teil 1.
- Erhöhte Vertikalspannungen im Rohr in schachtnahen Bereichen sind konstruktiv zu vermindern und rechnerisch zu berücksichtigen.

### Besonderheiten bei Sanierungen von Rohren im Berstverfahren

- Bestandsaufnahme vor der Durchführung der Sanierungsmaßnahme, zur Optimierung der Bersteinheit.
- Berücksichtigung von Geometrie und Material des Altrohres und der Leitungszone, zur Festlegung des Neurohrdurchmessers und Ermittlung der Zugkräfte die auf das Neurohr beim Einziehen wirken.
- Neigung des Altrohres und Radien in der Rohrtrasse. Beachtung der zulässigen Biegeradien des Neurohres (>25 x Rohraussendurchmesser).
- Berechnung der endgültigen Statik mittels FEM (finite Elemente Methode). Ermittlung und Angabe von erforderlichen Lagerungs- bzw. Bettungsbedingungen (Linienlagerung oder verdämmter Vollwandquerschnitt).

### 1.3 Bautechnische Maßnahmen

Schäden und demzufolge auch Rissbilder in PE-Leitungen können mitunter auch bautechnische Ursachen haben. Fehler beim Handling der Rohre auf der Baustelle und unsachgemäß ausgebaute Leitungszonen (Rohraufleger, seitliche Bettung und Überdeckung) können zu Verformungen, Senken und letztendlich auch zu Rissbildungen führen.

Folgendes ist beim Einbau von PE-Leitungen grundsätzlich zu beachten:

- Vermeidung von zu langer (starker) Bestrahlung der Rohre durch UV-Licht (Sonne) auf der Baustelle bei der Bereitstellung und beim Einbau.
- Ziehen von Rohren über rauen Untergrund und Schotter ist zu vermeiden (Riefen!!).
- Einhaltung der zulässigen Biegeradien, z.B. beim Transport vorgeschweißter Stränge.
- Bei Neuverlegung in offener Bauweise Ausbildung eines adäquaten Rohrauflegers gem. DIN 19667: 2009-09 als 120° Auflager.
- Leitungszone und Rohrüberdeckung sind fachgerecht gem. DIN 19667: 2009-09 auszubilden.
- Rohreinbindungen in Schächte fachgerecht gestalten (schachtnahe Setzungen). Einbau eines Mantelrohres als Schutzrohr im schachtnahen Bereich. Durchführung der Rohre in die Schächte mit elastischen Ringraumdichtungen.
- Bei eingebauten Rohren Vermeidung von „Beschädigungen“ der Rohrwand bei der Reinigung und der Beseitigung von Ablagerungen mittels Kanalfräsen.
- Konzeption von Rohrleitungen mit Verschleißschicht (innen, außen bei Berstliningsanierungsverfahren).

## **2. Einordnung bereits eingebauter PE-Leitungen hinsichtlich möglicher Rissbildungen**

Die nachfolgend gelisteten Kriterien erhalten im Gesamtbewertungssystem eine Gewichtung. Diese Gewichtung beruht auf derzeitigen Erfahrungswerten. Die Aussagen und Werte müssen in den nächsten Jahren fortgeschrieben und den aktuellen Schadensentwicklungen und Erkenntnissen bezüglich der Ursachen von Rissbildungen angepasst werden.

Langfristige Zielsetzung ist ein Bewertungsschema, das durch weitere Untersuchungen und der sich hieraus ergebenden Erkenntnisse eine einfache und aussagekräftige Beurteilung eingebauter Entwässerungsleitung hinsichtlich der Standsicherheit und der Rissbildung zulässt.

Werden in PE-Leitungen bereits Risse festgestellt, sind im Prinzip nur noch die Kriterien zu berücksichtigen, die ein Fortschreiten von Rissen und Verformungen begünstigen. Die Geschwindigkeit der Ausbreitung von Rissen ist nachweislich von der Qualität des verwendeten PE-Materials abhängig. Die entsprechenden Leitungsabschnitte sind intensiv zu überwachen. Änderungen von Rissbreite, -länge oder -anzahl zeigen, dass sich noch kein stabiler Zustand eingestellt hat. Ist der entsprechende Abschnitt noch nicht verfüllt (weiter Auflasten sind zu erwarten), ist frühzeitig über Sanierungsmaßnahmen zu befinden.

Das nachfolgende Bewertungsschema ist auch unter dem Aspekt zu betrachten, dass sich einzelne Kriterien gegenseitig beeinflussen bzw. sogar verstärken.

## 2.1 Bewertungsschlüssel einzelner Kategorien

Grundsätzliches Kriterium für die Rissentstehung und -fortpflanzung ist die Qualität des verwendeten Rohrmaterials (FNCT-Wert). Dieses Grund- bzw. Ausschlusskriterium kann Ausschlag gebend dafür sein, ob weiterführende Betrachtungen notwendig sind.

### Grundkriterium FNCT-Wert (Rohrqualität)

<b>FNCT-Wert</b>	<b>Prognose: Wahrscheinlichkeit der Rissbildung</b>
mind. 20 (PE-HD)	hoch
mind. 30 (PE63)	mittel
mind. 100 (PE80)	gering
mind. 300 (PE100)	keine

Die nachfolgend aufgestellten Kriterien begünstigen eine Rissbildung mehr oder weniger.

Kriterien:

- Alter der Leitung/ Herstellungs- bzw. Einbaujahr,
- Rohrwandung (Drainageschlitze, -löcher),
- Temperatur im Bereich der Leitung,
- Verformung des Rohrquerschnitts,
- Lage der Leitung,
- Auflagerbedingungen,
- Einbaubedingungen, Kiesschüttung,
- Senken,
- Statische Beanspruchung und
- Vorschädigungen.

Die Prognose soll zeigen, wie sich das Kriterium auf die Rissbeständigkeit darstellt. Für die Gesamtbewertung wird eine zusätzliche Gewichtung festgelegt.

Prognose und Gewichtung lassen sich folgendermaßen interpretieren:

- Schlecht: Kriterium begünstigt in hohem Maße, auch ohne die Betrachtung weiterer Kriterien, die Rissbildung.
- ungünstig: Kriterium begünstigt die Rissbildung. Im Zusammenhang mit weiteren Kriterien kann sich die Neigung zur Rissbildung verstärken.
- günstig: geringe Wahrscheinlichkeit der Rissbildung als Einzelkriterium. Erhöhung der Wahrscheinlichkeit durch weitere beeinflussende Kriterien.
- gut: Rissbildung unwahrscheinlich.

- Gewichtung 1: Die Auswirkungen des Kriteriums nehmen in der Gesamtbetrachtung einen geringen Stellenwert ein.
- Gewichtung 2: Die Auswirkungen des Kriteriums nehmen in der Gesamtbetrachtung einen hohen Stellenwert ein.

**Checkliste**

Deponie ..... Leitung.....

Material ..... Baujahr.....

Nenndurchmesser ..... kalkulierte Auflast.....

Letzte Befahrung ..... vorhandene Auflast.....

		<b>Prognose</b> Wert [W] = Gewichtung (1 oder 2) in entsprechender Spalte einzutragen							
Kriterium	Gewichtung	schlecht	W	ungünstig	W	günstig	W	gut	W
Herstellungsjahr	2	1985 bis 1995				1995 bis 2000		ab 2000	
Verformung des Rohrquerschnittes	2	über 15 %		10 bis 15 %		6 bis 10 %		unter 6 %	
Senken im Leitungsverlauf (auf einer Länge von 40 *RD)	1	bis 50 % RD				bis 20 % RD		< 20% RD	
Ausbildung der Rohrwandung	2	geschlitzt		geloht		massiv			
langzeitige Temperaturbelastung der Leitung	2	bis 60°C		bis 50°C		bis 40°C		< 40°C	
Einbaulage der Leitung	2	auf Zwischenabdichtung		auf Basisabdichtung		unter Basisabdichtung		außerhalb Deponiekörper	
Auflagerbedingungen der Leitung	1	kein Auflager				90° Auflager		120° Auflager	
Einbaubedingungen/ Kiesüberschüttung	1	fehlt		alternatives Material		< 2 RD		vorhanden	
Vorschädigungen	1	massive Kratzer durch Kanalfräsen, Riefen vom Einbau		Riefen vom Einbau		gering		keine	
statische Belastung	1	nicht vorhanden		Auflast höher als angenommen		"Einfache" Berechnung für Auflast		Berechnung nach heutigem Standard	
<b>Summe je Spalte (Prognose)</b>	15								

Das voranstehende Bewertungsschema soll einen ersten Anhalt darüber geben, inwieweit in den vorhandenen Entwässerungsleitungen Tendenzen zur Rissbildung bestehen. Grundsätzlich sollten zunächst alle Bewertungskriterien einzeln betrachtet werden. Eine Summenbildung der jeweils ermittelten Bewertungspunkte ist im derzeitigen Kenntnisstadium nicht zielführend kann aber als eine erste Prognose angesehen werden.

Grundsätzlich kann man jedoch davon ausgehen, dass bei einer Bewertung mehrerer Kriterien mit *schlecht* oder *ungünstig* und gleichzeitig hoher Gewichtung die Wahrscheinlichkeit einer Rissbildung auch entsprechend höher ist.

Diese wechselseitigen Beziehungen können wie folgt dargestellt werden:

<b>Kriterium</b>	<b>Neigung zur Rissbildung wird in besonderem Maße verstärkt durch das Kriterium</b>
Alter der Leitung, Herstellungs- bzw. Einbaujahr	Alle
Rohrwandung	Temperatur, Verformung, statische Beanspruchung, Einbaubedingungen
Temperatur	Rohrwandung, Einbaubedingungen, statische Beanspruchung
Verformung	Rohrwandung, Einbaubedingungen, Vorschädigungen
Lage der Leitung	Alle
Einbaubedingungen, Kiesschüttung	Temperatur, Verformung, statische Beanspruchung, Rohrwandung
Auflagerbedingungen	Statische Beanspruchung, Senken
Senken	Vorschädigungen, Auflagerbedingungen
Statische Beanspruchung	Rohrwandung, Auflagerbedingungen, Temperatur, Einbaubedingungen, Vorschädigungen
Vorschädigungen	Verformungen, statische Beanspruchung, Senken

Zusammenfassend ist festzustellen, dass allgemeingültige Aussagen bezüglich einer Wahrscheinlichkeit zur Rissbildung und zum Verlust der Standsicherheit nur in begrenztem Umfang gemacht werden können, da auch die Wechselbeziehungen einzelner Kriterien untereinander eine Rolle spielen.