



BERICHT

Nr. 94642202/01

Datum: 08.01.2018

Auftraggeber: Landratsamt Schweinfurt
Schrammstraße 1
97421 Schweinfurt

Auftrag vom: 22.11.2017

Inhalt des Auftrages: Statische Berechnung von PE-Rohren

Bauort: Deponie Rothmühle

Bauvorhaben: PE Sickerwasserleitungen

Bauherr: Landratsamt Schweinfurt

Planung: AU Consult
Friedberger Straße 155
86163 Augsburg

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

Telefon Nr.: +49 911 655-4843

Telefax Nr.: +49 911 655-4851

E-Mail: armin.stegner@de.tuv.com

Dieser Prüfungsbericht umfasst 14 Textseiten incl. Anlagen.

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.

TÜV Rheinland
LGA Bautechnik GmbH
Statik
Tillystraße 2
90431 Nürnberg

Tel +49 911 655 4843
Fax +49 911 655 4851
Mail bautechnik@de.tuv.com

Geschäftsführung
Dirk Fenske

Nürnberg HRB 20586
Steuer-Nr. 247/115/90733
Ust-IdNr. DE813835574

Web www.tuv.com

1 Unterlagen

- 1.1 Statische Berechnungen der Simona AG, Kirn mit dazugehörigen Prüfungsberichten des IB Rothe vom 02. und 18.06.1986
- 1.2 Statische Berechnungen der Simona AG, Kirn mit dazugehörigem Prüfungsbericht des IB Rothe vom 04.09.1989
- 1.3 Pläne:
 - Einbaudetail der Rohre, Planauszug, Email LRA vom 22.11.17
 - Plan SW08/3-04 Lageplan Deponieoberfläche
 - Plan SW08/3-14 Lageplan Verfüllkonzept
- 1.4 Kamerabefahrungen 2016 der untersuchten Haltungen einschließlich Temperaturprofilen
- 1.5 Angaben zur zeitlichen Entwicklung der Rohrverformungen und der erreichten Einbaudichte des Abfalls , Hr. Orzol LRA Schweinfurt
- 1.6 Sonstige Unterlagen:
 - 1.6.1 Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, November 1995
 - 1.6.2 ATV-Merkblatt M 127 Teil 1, Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien, März 1996
 - 1.6.3 SKZ / TÜV - LGA Güterrichtlinie Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien vom Juni 2017
 - 1.6.4 G. Sonntag: Die Stabilität dünnwandiger Rohre im kohäsionslosen Kontinuum, Felsmechanik und Ingenieurgeologie Vol. 4/3, 1966, Springer Verlag
 - 1.6.5 Einbau von PE-Materialien für Rohre, Schächte und Bauteile in Deponien, Untersuchungen zur Nutzungsdauer von PE im Gutachten 117900/15 im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Augsburg

2 Baubeschreibung / Inhalt

2.1 Baubeschreibung

Auf der Deponie Rothmühle wurden 1986 als Sickerwasserleitungen PE-Teilsickerrohre mit Außendurchmesser Da 355 mm und Wanddicke s 20,1, bzw. Da 225 mm / s 12,8 entsprechend SDR 17,6 über 2/3 des Umfanges gelocht eingebaut. Als Perforation wurden Löcher mit Durchmesser 10 mm im Abstand 60 mm gebohrt. 1989 wurden PE-Teilsickerrohre mit Außendurchmesser Da 355 mm und Wanddicke s 32,3, bzw. Da 250 mm / s 22,8 entsprechend SDR 11 über 2/3 des Umfanges gelocht eingebaut. Als Perforation wurden Löcher mit Durchmesser 15 mm im Abstand 60 mm gebohrt.

Die Unterlagen 1.4 dokumentieren Rohrverformungen und in den Rohren gemessene Temperaturen. Ein kontinuierlicher Vergleich der gemessenen Verformungen und damit der Verformungsentwicklung wird durch das LRA Schweinfurt geführt.

2.2 Inhalt

Für die Rohre liegen mit den Unterlagen 2.1 / 2.2. geprüfte Standsicherheitsberechnungen vor. Es werden Standsicherheitsnachweise nach dem aktuellen Stand der Technik für die Rohre geführt.

3 Einwirkungen

3.1 Ständige Einwirkungen:

Überschüttung der Rohre im Ablagerungsbereich mit maximal 45,00 m mit Abfallmaterialien mit einer maximalen Wichte von $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$.

3.2 Veränderliche Einwirkungen:

Überfahren mit SLW 60 ab einer Mindestüberdeckung von 1,00 m: Dieser Lastfall ist wegen der gegenüber der dauernden Auflast geringeren Einwirkung bei gleichzeitig günstigeren Kurzzeitkennwerten des Rohrmaterials nicht maßgebend.

3.3 Grundwasser steht nicht an bzw. hat wegen der Perforation keinen Einfluss.

3.4 Die Sickerwassertemperatur beträgt gemäß Messungen ca. 20° mit Maximalwerten von 27°. Als maximale Dauertemperatur werden 30 °C angesetzt, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass am Anfang der Verfüllperiode höhere Temperaturen aufgetreten sind. Ein Medienfaktor für permanente Sickerwassereinflüsse wird bei den Berechnungen der Rohre mit 0,9 berücksichtigt.

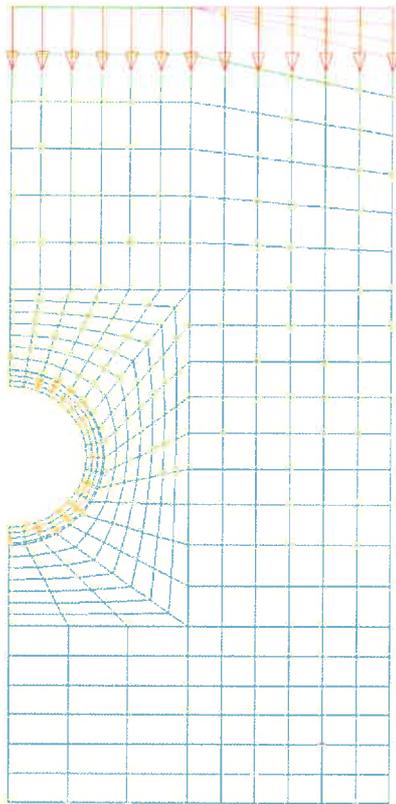


Bild 1 FEM Modell SDR 11 Rohr

4 Baustoffe

Eingesetzt wurde PE HD ohne Angaben zum Werkstoff.

Die angegebenen Werte sind Mindestwerte, die für die Gültigkeit der Berechnungen vorausgesetzt werden:

	kurzzeitig	langzeitig
Kriechmodul E	800	150
Wichte	$\leq 9,5 \text{ kN/m}^3$	
Grenzspannungen		
Druck	21,0	14,0
Biegezug	21,0	14,0

(alle Werte in N/mm^2 ohne Abminderungen)

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,3$

5 Einbau / Baugrund

Die Rohre wurden gemäß Planauszug zum Einbau der Rohre in 120° Rohrauflagern im Material der Basisabdichtung eingebaut. Die Leitungszone besteht aus gebrochenem Basaltschotter mit einer Dicke von $\geq 2 \cdot D$ im Ablagerungsbereich.

Für die Bodenschichten werden die folgenden Elastizitätsmodule E als Mindestwerte und Querdehnzahlen ν unter einer Vertikalspannung von 720 kN/m^2 angesetzt:

Einsatz	E N/mm ²	v
Basaltschotter	≥ 75	0,25
Dichtung	≥ 10	0,40
Abfall	≥ 16 im Bereich der Rigole	0,30

Die Werte werden für eine Auflast von 720 kN/m² auf Grund unserer Erfahrungen abgeschätzt. Hierbei wird für die Rigole mit $E_{\text{Schotter}} \geq 75 \text{ N/mm}^2$ eine hohe Festigkeit und eine gute Verzahnung zur Ausbildung eines Gewölbes über den Rohren angenommen. Im Zweifelsfall sind bodenmechanische Untersuchungen durchzuführen.

6. Berechnungen

6.1 FEM-Modellierung

Im mechanischen Modell erfolgt die Abbildung der Rohre als Ellipsen mit einer Vertikalverformung von 3 %. Der umgebende Boden wird durch Scheibenelemente diskretisiert. Die Verbindung zwischen Rohr und Boden wird mit Hilfe von GAP/Friction-Elementen (reine Druckkraftübertragung) simuliert. Die Auflast wird durch Einzellasten auf den Knoten des oberen Modellrandes angesetzt. Die verwendete Diskretisierung ist in Bild 1 dargestellt, unterschiedliche Materialien sind farblich abgehoben. Es erfolgt eine geometrisch nichtlineare Berechnung, in der die Belastung schrittweise gesteigert wird. Die Lochung der Rohre wird durch eine Abminderung der mittragenden Breite berücksichtigt.

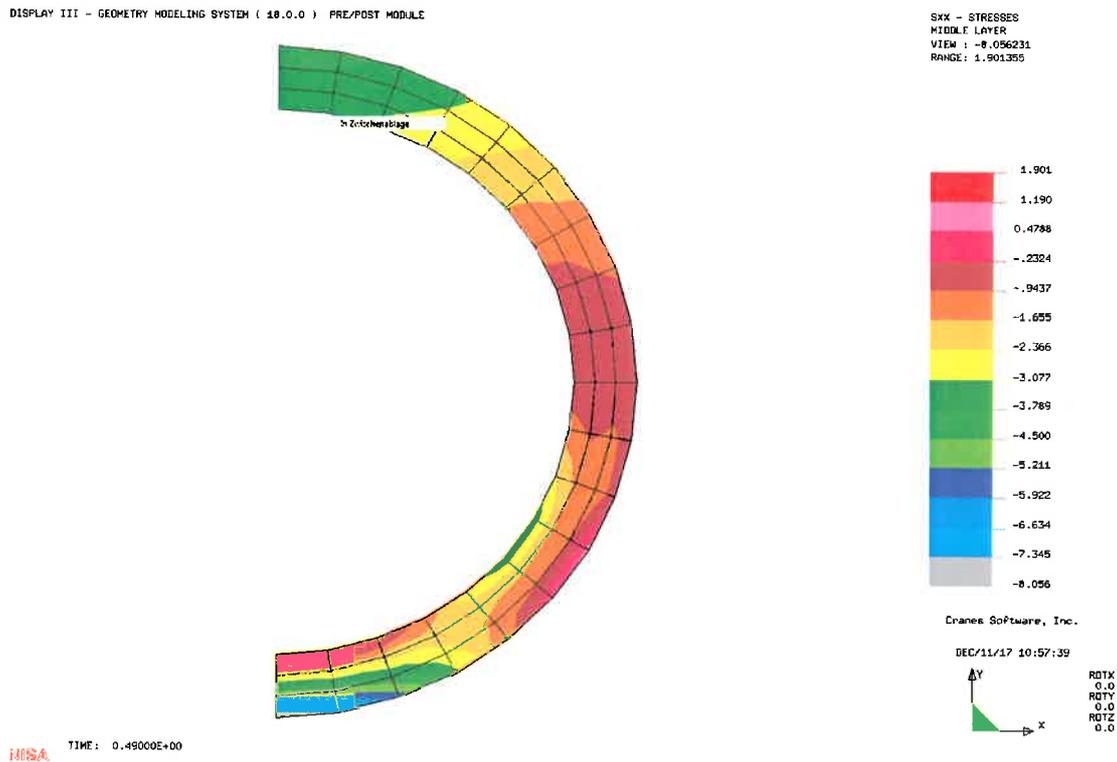


Bild 2 Maximale Spannung (Horizontalspannung) unter 1,35-facher Last, SDR 11

6.2 Spannungen

Die Spannungen in den PE-Rohren werden mit den FEM Modellen ermittelt. Ausdrucke der Ergebnisse sind diesem Bericht beigelegt. Demgemäß treten die folgenden maximalen Spannungen auf (+ entspricht Zugspannungen):

SDR	Einwirkung	Spannungen	
		Horizontalspannungen	Vertikalspannungen
		N/mm ²	
11	1,35-fach	1,9 / -8,1	1,4 / -7,6
17	1,35-fach	0 / 7,7	0,4 / -7,8

Die maximale Spannung tritt unter 1,35-facher Last beträgt 8,1 N/mm² (Druck- / Horizontalspannung / sxx gemäß Bild 2).

Nachweis:

$$\sigma_{zul.} = \sigma_{grenz} \cdot A_{Medium} \cdot A_{Temperatur} / \gamma_M$$

$$\text{Druckspannungen PE: } \sigma_{vorh.} = 8,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{zul.} = 14 \cdot 0,85 \cdot 0,9 / 1,3 = 8,2 \text{ N/mm}^2$$

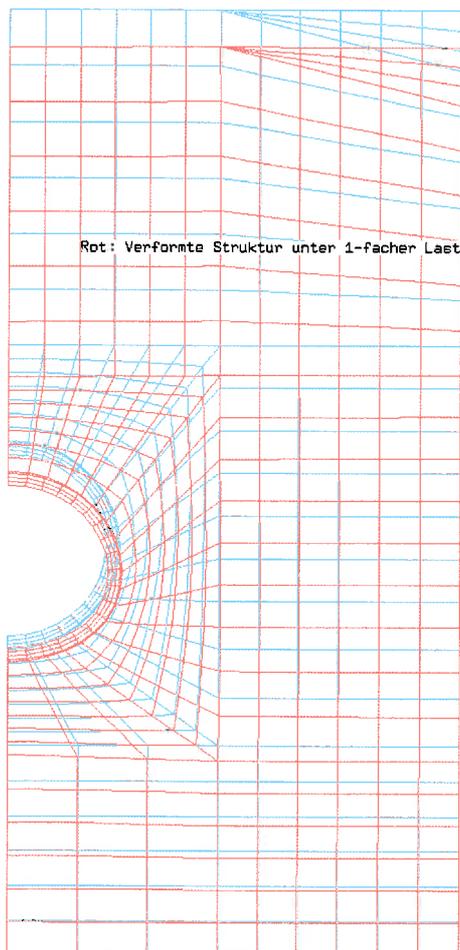


Bild 3 Verformungen unter 1,00-facher Last, SDR 17

6.3 Verformungen

6.3.1 SDR 11

Die maximalen Verformungen betragen $47,2 - 24,0 = 23,2$ mm entsprechend 7,2 %, zulässig sind unter 1-facher Gebrauchslast $\leq 6\%$ bzw. bei nichtlinearer Berechnung - dies trifft für unsere Berechnung zu - $\leq 9,0$ %.

Zur Bewertung des Ist-Zustandes / Einbaus:

Unter 30 m Auflast $30,2 - 15,8 = 14,4$ mm entsprechend 4,46 %

Unter 40 m Auflast $41,4 - 21,4 = 20,0$ mm entsprechend 6,20 %

6.3.2 SDR 17

Die maximalen Verformungen betragen $48,6 - 20,6 = 28$ mm entsprechend 8,4 %, zulässig sind unter 1-facher Gebrauchslast $\leq 6\%$ bzw. bei nichtlinearer Berechnung - dies trifft für unsere Berechnung zu - $\leq 9,0$ %.

Zur Bewertung des Ist-Zustandes / Einbaus:

Unter 30 m Auflast $31,0 - 14,1 = 16,90$ mm entsprechend 5,05 %

Unter 40 m Auflast $42,5 - 18,5 = 24,00$ mm entsprechend 7,17 %

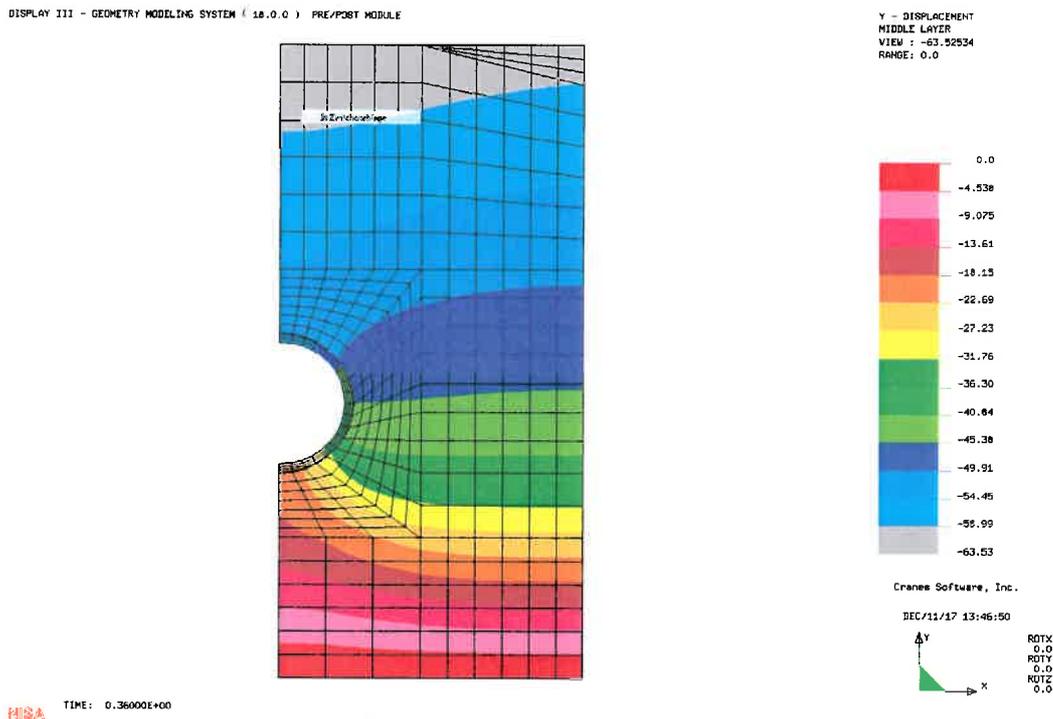


Bild 4 Rechnerische Verformungen unter einfacher Last, SDR 17

6.4 Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis wird nach 1.6.4 analytisch geführt:

6.4.1 SDR 11

Nach 1.6.4 ergibt sich für einen Verformungsmodul von $E_s > 75 \text{ N/mm}^2$ und Abminderung 0,9 für den gesamten Querschnitt $P_k = 1,03 \text{ N/mm}^2 > \text{vorh.} = 0,72 \text{ N/mm}^2$. Der Sicherheitsbeiwert beträgt $1,03 / 0,72 = 1,43 < \text{erforderlich} = 2,00$.

Der Sicherheitsbeiwert ergibt sich $< 2,00$ jedoch $> 1,00$, d.h. kein rechnerisches Stabilitätsversagen jedoch geringere Sicherheit als vorgegeben. Zur Beurteilung wird eine Berechnung der Stabilität in Anlehnung an die Berechnungsvorschrift für Kunststoffbehälter durchgeführt:

Anzusetzender Kriechmodul: $E = E_k \cdot \sqrt{E_L} / \sqrt{E_k} = 303 \text{ N/mm}^2$

Mit diesem Kriechmodul erfolgt eine nichtlineare FEM Berechnung bis zur 3-fachen Auflast. Wird ein Gleichgewichtszustand erreicht und die Verformung verbleibt im linearen Bereich kann von einer ausreichenden Sicherheit gegen Stabilitätsversagen ausgegangen werden. Dies trifft gemäß Bild 5 zu. Im „deponieüblichen“ Nachweis wird mit 1,43 ein geringerer Sicherheitsbeiwert als der erforderliche von 2,00 erreicht. Für einen gemäß Vorgaben der Berechnung von Behältern erhöhten Kriechmodul kann die Stabilität nachgewiesen werden. Eine analytische Berechnung der Rohre nach DWA A/M 127 ergibt ebenfalls keine Hinweise auf Stabilitätsversagen.

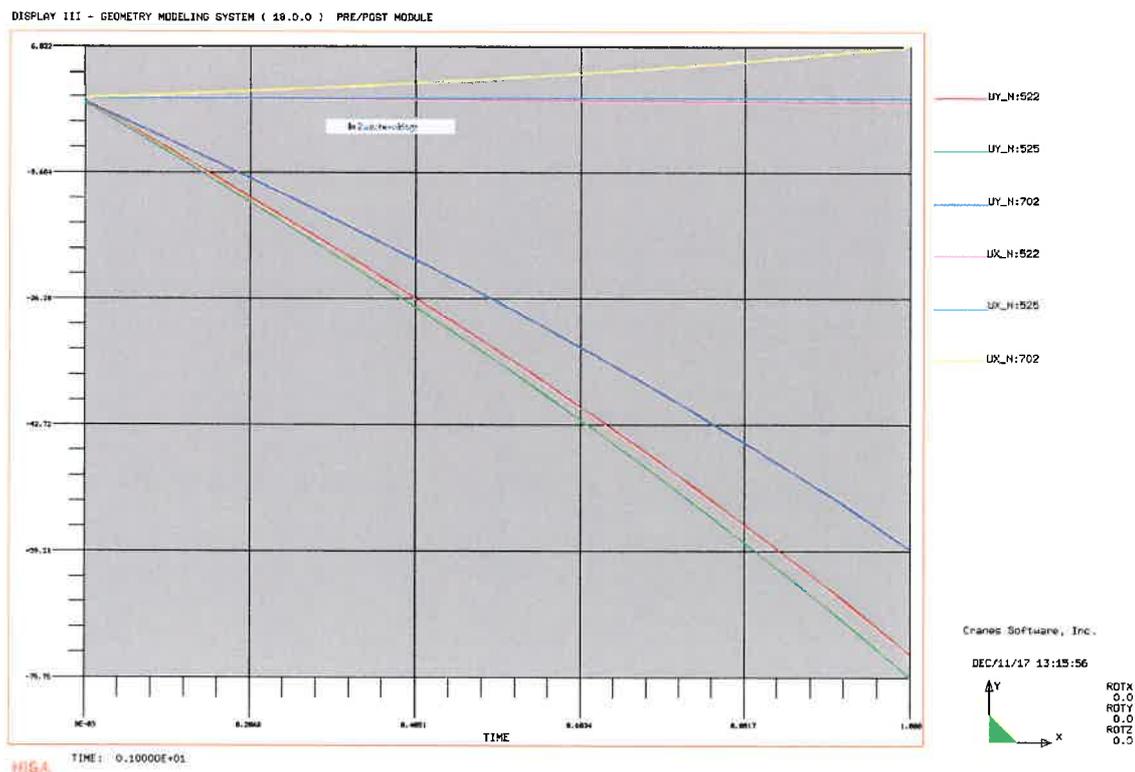


Bild 5 Verformungsverlauf bis zur 3-fachen Last, SDR 11

(Scheitel 525 / Scheitelbereich 522 / Auflagerende 702 jeweils UX Horizontalverformungen und UY Vertikalverformungen)

6.4.2 SDR 17

Nach 1.6.4 ergibt sich für einen Verformungsmodul von $E_s > 75 \text{ N/mm}^2$ und Abminderung 0,9 für den gesamten Querschnitt $P_k = 0,382 \text{ N/mm}^2 < \text{vorh.} = 0,72 \text{ N/mm}^2$.

In einer nichtlinearen Berechnung bis zur 3-fachen Auflast wird ein Gleichgewichtszustand erreicht und die Verformung verbleibt im linearen Bereich. Gemäß Bild 6 tritt kein Stabilitätsversagen auf.

Der „deponieübliche“ Stabilitätsnachweis kann nicht geführt werden: Sicherheitsbeiwert $< 1,00$, d.h. rechnerisches Stabilitätsversagen. Für einen gemäß Vorgaben der Berechnung von Behältern erhöhten Kriechmodul kann die Stabilität nachgewiesen werden.

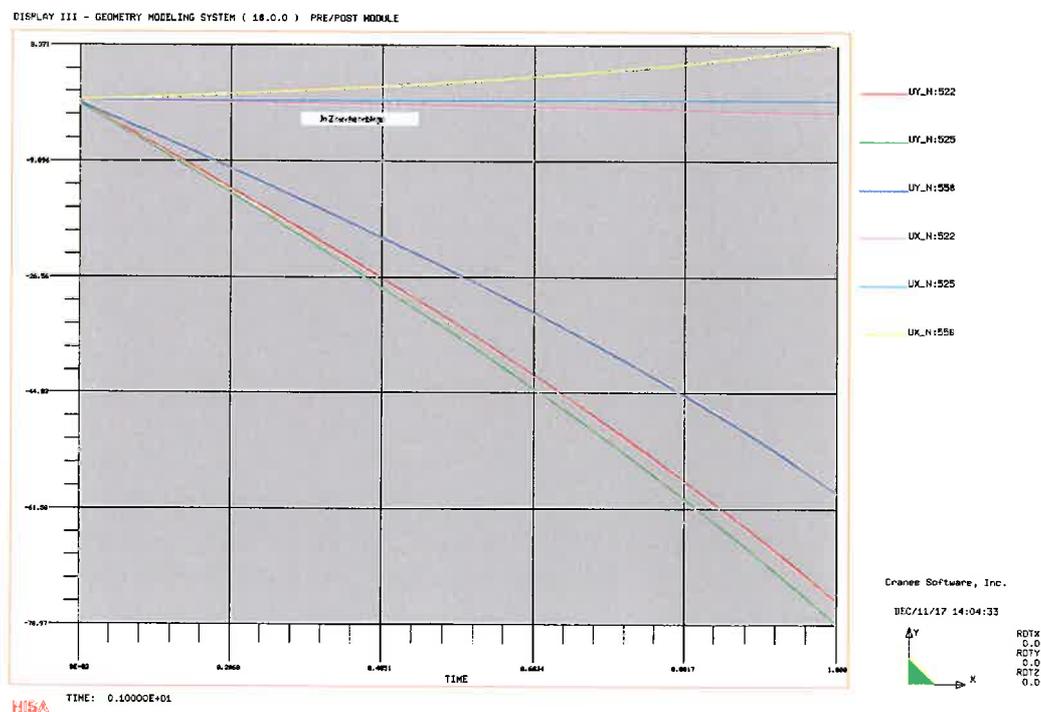


Bild 6 Verformungsverlauf bis zur 3-fachen Last, SDR 17
(Scheitel 525 / Scheitelbereich 522 / Auflagerende 558 jeweils UX Horizontalverformungen und UY Vertikalverformungen)

7. Bemerkungen

- 7.1 Die durchgehende Einhaltung der angesetzten Einbauart und der Bodenmaterialien werden vorausgesetzt. Die wesentlichen dokumentierten Verformungen entsprechen den Rechenergebnissen und bestätigen dadurch den fachgerechten Einbau. Bereichsweise werden in 1.4 höhere Verformungen als rechnerisch zu erwarten dokumentiert. Gemäß 1.5 sind diese Verformungen nach dem Einbau bei geringen Überdeckungshöhen durch unsachgemäßes Überfahren entstanden und die Vergleiche der Ergebnisse der Verformungsmessungen der regelmäßigen Kamerabefahrungen ergaben, dass die Verformungen nicht weiter ansteigen.

Die Überschreitungen der „üblicherweise“ einzuhaltenden Verformung von $< 6\%$ des Rohrdurchmessers und die mit dem Langzeitkriechmodul insbesondere für die Rohre SDR 17 nicht ausreichend nachweisbare Stabilität sollen unseres Erachtens durch regelmäßige Kontrollen der Rohrverformungen berücksichtigt werden. Das Vergleichen der gemessenen Verformungen und die sich daraus ergebende Dokumentation der Verformungsentwicklung halten wir für erforderlich.

Überschreiten die Verformungen die unter 6.3 berechneten Werte bzw. treten in den bereits höher als berechnet verformten Bereichen zusätzliche deutliche Verformungen auf, können Maßnahmen erforderlich werden.

- 7.2 Anschlüsse an Bauwerke sind so auszuführen, dass Relativbewegungen Rohr / Bauwerk schadlos aufgenommen werden können.
- 7.3 Dieser Bericht gilt ausschließlich für gerade Rohre. Formteile sind hier nicht erfasst. Für Rohre derselben SDR Gruppe können die Ergebnisse bei gleichem Einbau sinngemäß übertragen werden.
- 7.4 Gemäß aktueller Deponievorgabe müssen Bauwerke für eine Standzeit von mindestens 100 Jahren (zum Einbauzeitpunkt 50 Jahre) dimensioniert werden.

Die eingebauten Rohre sind aus PE HD Material ohne Angaben zum verwendeten PE Werkstoff hergestellt. Relevant für die Abschätzung einer Nutzungsdauer für den Versagensfall „Spannungsrisversagen“ von PE Rohren sind gemäß den Untersuchungen zur Nutzungsdauer von PE Materialien (Unterlage 1.6.5) die Zugspannungen in den Rohren. In den Rohren beträgt die maximale rechnerische Zugspannung $1,9 \text{ N/mm}^2$ (Hinweis: unter 1,35-facher Last, d.h. die tatsächlichen Spannungen sind für korrekten Einbau geringer). Für Zugspannungen $< 2,00 \text{ N/mm}^2$ gibt Unterlage 1.5.6 in allen Fällen Nutzungsdauern für das Material von mehr als 100 Jahren bei Dauertemperaturen unter 40°C an. Voraussetzungen sind, dass die Materialien den Anforderungen der DIN 8075 entsprechen und die Rohre fachgerecht verlegt sind.

Relevant für die Abschätzung der Nutzungsdauer für thermo-oxidatives Versagen von PE Rohren sind gemäß Unterlage 1.6.5 die verwendeten PE Materialien der Rohre und die Temperaturen der Rohrwände. Das Versagen ist im Wesentlichen spannungsunabhängig. Erfüllen die Rohrmaterialien genau die Mindestanforderungen der DIN 8075 bezüglich der Zeitstandsfestigkeit (Standzeit > 1 Jahr bei 80°C) beträgt die Standzeit bei 30°C 158 Jahre und bei 40°C 50 Jahre (Tabelle 32 in 1.6.5).

Dies entspricht der zum Einbauzeitpunkt „üblichen“ Begrenzung des Einsatzes von PE-Materialien für Deponiesickerwasserrohre in Hausmülldeponien auf maximal 40°C bei einer geforderten Gebrauchsdauer von 50 Jahren.

Hinweis: Viele PE-HD Materialien übertrafen die Mindestanforderungen. Die Standzeit für thermo-oxidatives Versagen liegt dann auch bei Temperaturen bis 40° C über 50 Jahren.

8. Ergebnis

Für die korrekt eingebauten Rohre SDR 11 und SDR 17, deren Verformungen in Abhängigkeit von ihrer aktuellen Überdeckung mit Abfall mit unseren Rechenergebnissen korrelieren, bestehen gegen die geplanten Endausbauhöhen aus statischer und materialtechnischer Sicht mit den unter 7.1 genannten Einschränkungen keine Bedenken.

Den gegenüber der Vorgabe der Verformungsbegrenzung von < 6 % des mittleren Durchmessers höheren rechnerischen Verformungen sollte durch regelmäßige Kontrollen Rechnung getragen werden. Kriterium der Bewertung sind die oben angegebenen rechnerischen Verformungen und / oder die zeitliche Verformungsentwicklung.

TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH
Statik

Bearbeiter:



Dieter Straußberger
Dipl.- Ing. (FH)
Geschäftsfeldleiter



Armin Stegner
Dipl.-Ing.

Verteiler:
LRA Schweinfurt

Bericht
3-fach

Unterlagen

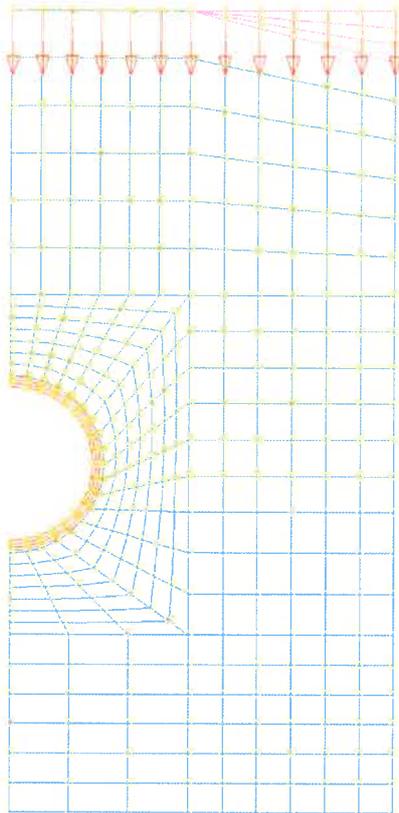


Bild A1 Modell SDR 17

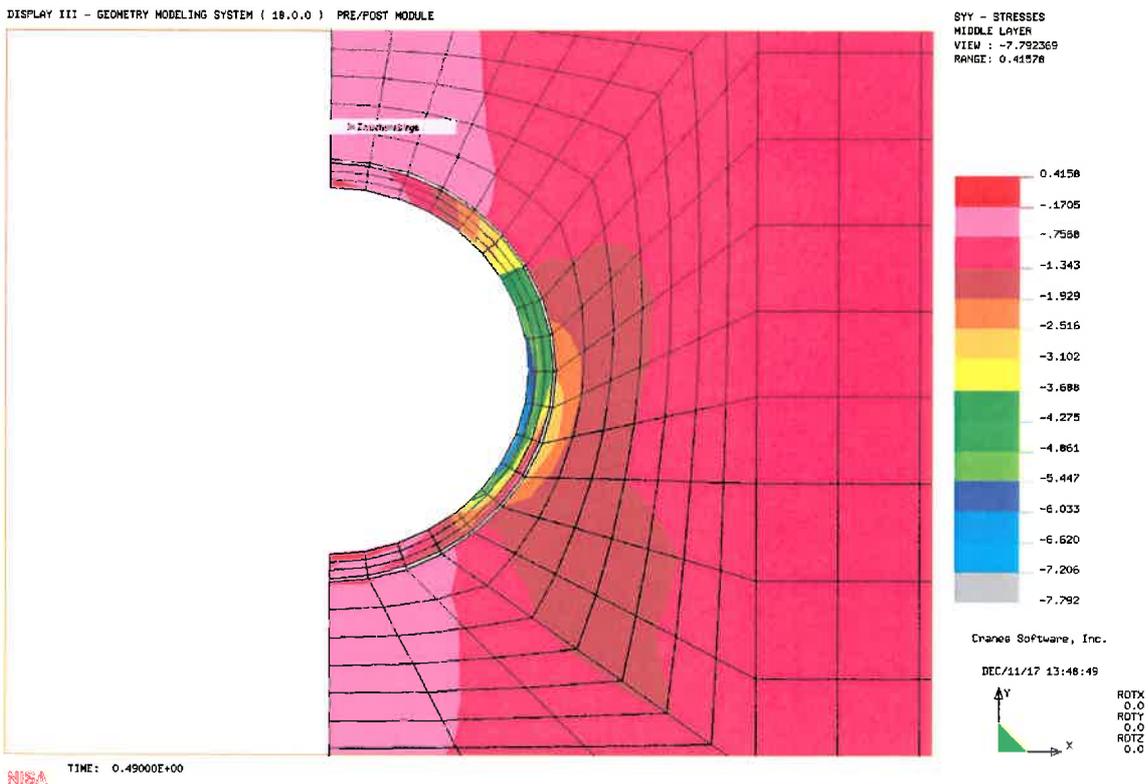
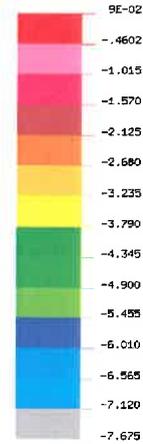
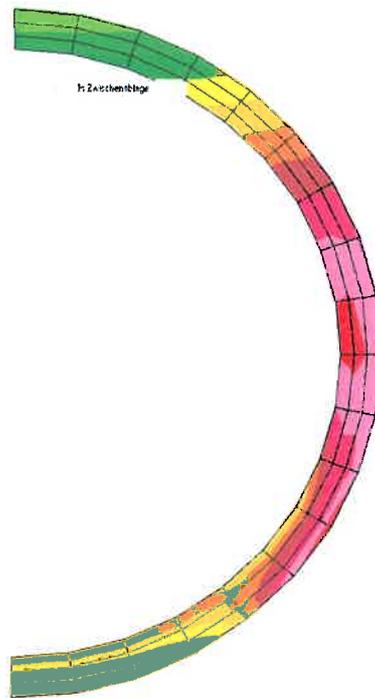


Bild A2 Vertikalspannung unter 1,35-facher Last, SDR 17

DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM (18.0.0) PRE/POST MODULE

SXX - STRESSES
MIDDLE LAYER
VIEW : -7.674881
RANGE : 0.0947643



Cranes Software, Inc.

DEC/11/17 13:49:30



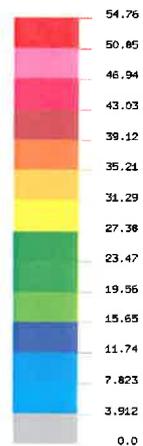
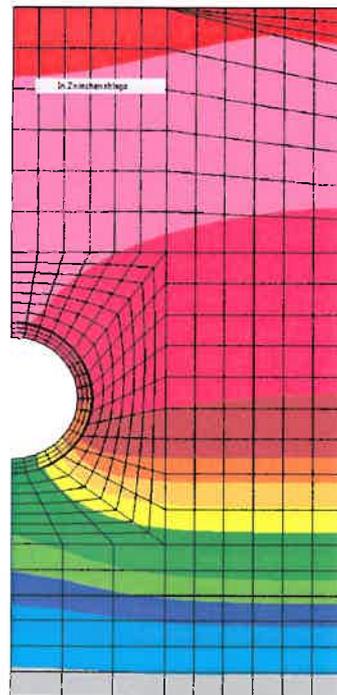
ROTX
0.0
ROTY
0.0
ROTZ
0.0

HISA TIME: 0.49000E+00

Bild A3 Horizontalspannung unter 1,35-facher Last, SDR 17

DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM (18.0.0) PRE/POST MODULE

RESULTANT DISPL.
MIDDLE LAYER
VIEW : 0.0
RANGE : 54.76417



Cranes Software, Inc.

DEC/11/17 10:13:22



ROTX
0.0
ROTY
0.0
ROTZ
0.0

HISA TIME: 0.36000E+00

Bild A4 Verformung unter 1-facher Last, SDR 11

DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM (16.0.0) PRE/POST MODULE

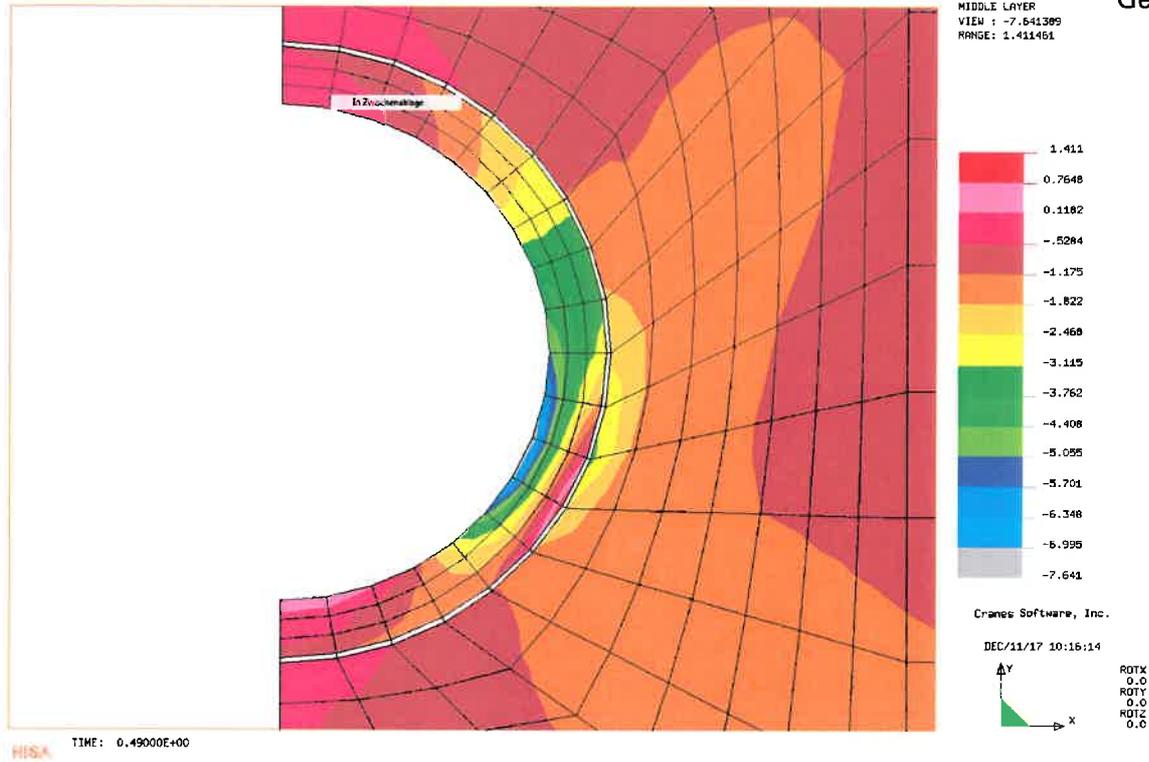


Bild A5 Vertikalspannung unter 1,35-facher Last, SDR 11