

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

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

Geschäftsführung
Achim Blinne
Hans-Hermann Ueffing

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

Web 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/mm² 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.

4. Einwirkungen:

4.1 Ständige Einwirkungen:

Überschüttung mit 30 bis 50 m Abfall mit einer mittleren Wichte von 15 kN/m^3 und zusätzlich maximal 2,00 m Bodenmaterial mit einer mittleren Wichte von 20 kN/m^3

Maximale Auflast: $50 * 15 + 2 * 20 = 790 \text{ kN/m}^2$

4.2 Veränderliche Einwirkungen:

Eine Kurzzeitberechnung für Überfahren mit SLW 60 als Ersatzlast für den Kompaktor erfolgt für die Nachrechnung nicht, da Vor- und Einbauschäden nicht mehr nachvollziehbar sind.

4.3 Grundwasser wird nicht angenommen.

4.4 Die maximale Dauertemperatur wird mit 45 °C angesetzt. Der Nachweise werden für 21 Jahre geführt. Hierfür werden Materialkennwerten, die aus bekannten 50-Jahres-Werten abgeleitet werden, angenommen. Ein Medienfaktor für permanente Sickerwassereinflüsse wird bei den Berechnungen mit 0,9 berücksichtigt.

10.3 Kriechmodul Diagramme

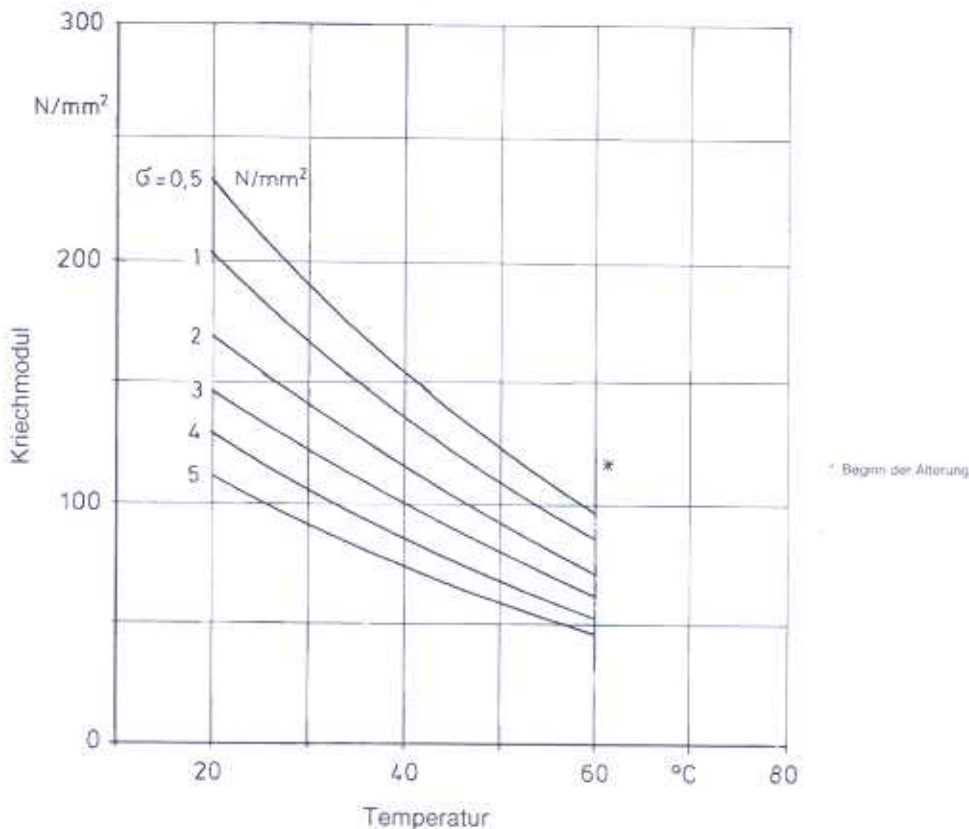


Bild 15. Kriechmodul von Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) für 25 Jahre.

Bild 1 Kriechmoduldiagramm aus DVS 2205

5. Baustoffe und Einbau:

Der Langzeitkriechmodul ohne Abminderungen wird zu 150 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 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 kN/m^2 :

Für Elastizitäts-(Kriech-)modul Rohr = 150 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/mm²

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/mm² auf.

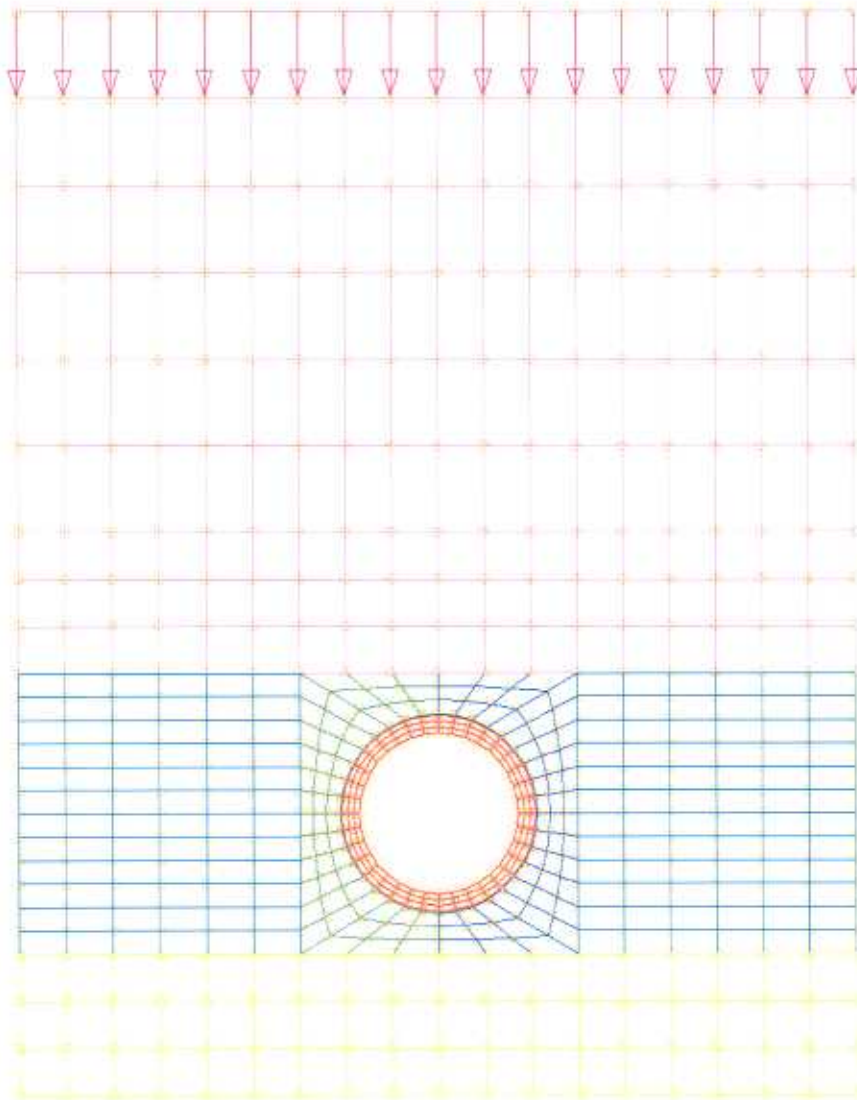


Bild 2 FEM Model

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 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/mm² 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



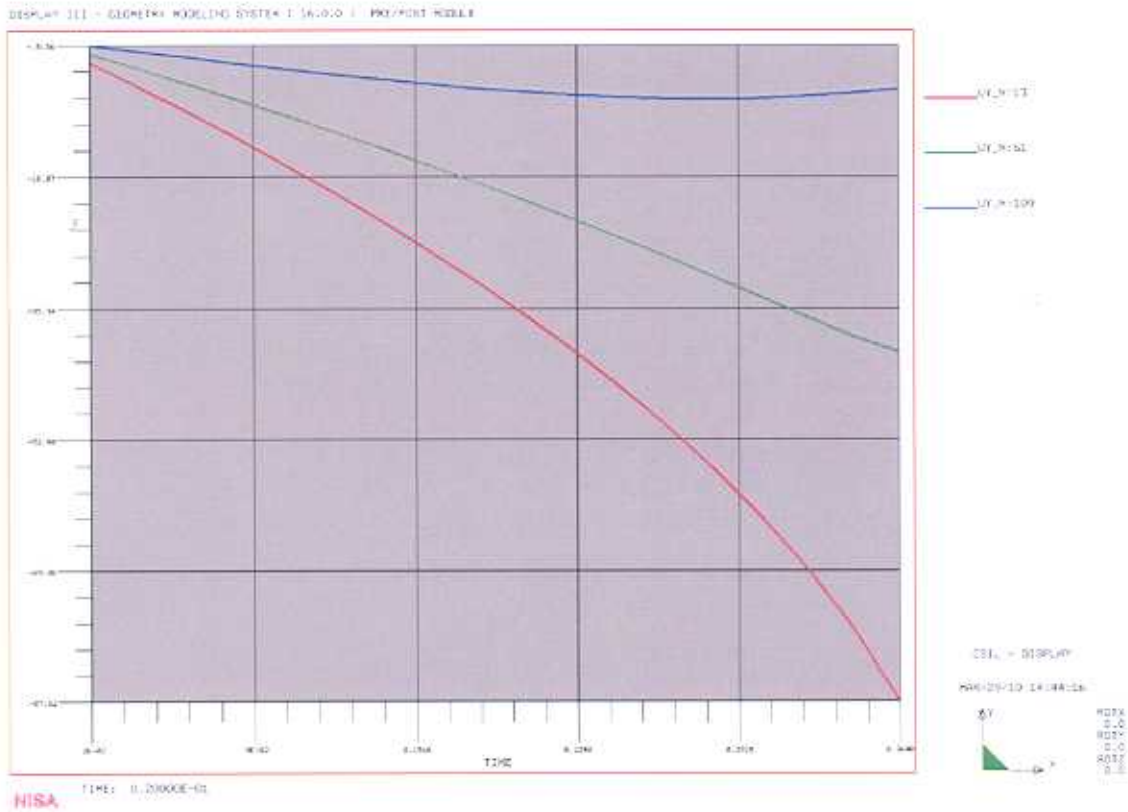

Armin Stegner
Dipl.-Ing.

Verteiler:
ICP

Bericht 3-fach Unterlagen 1-fach

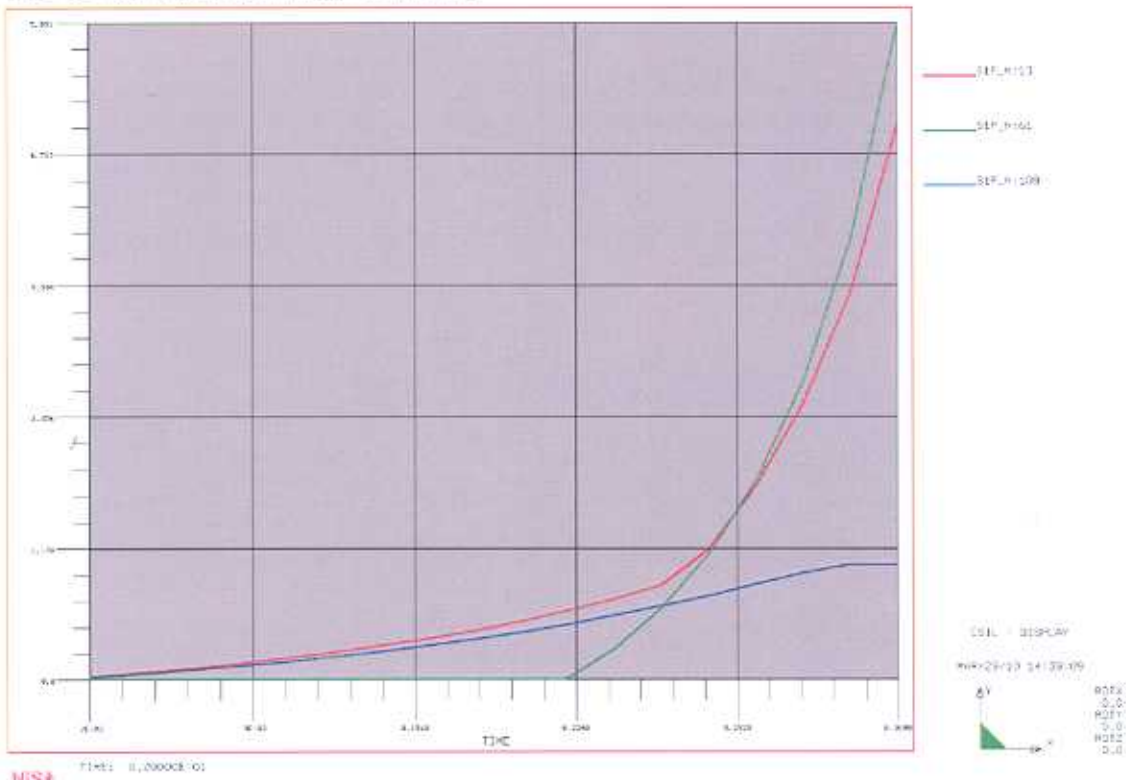
Bilder A 1 – A 3

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/m²



A1 Vertikale Verformung

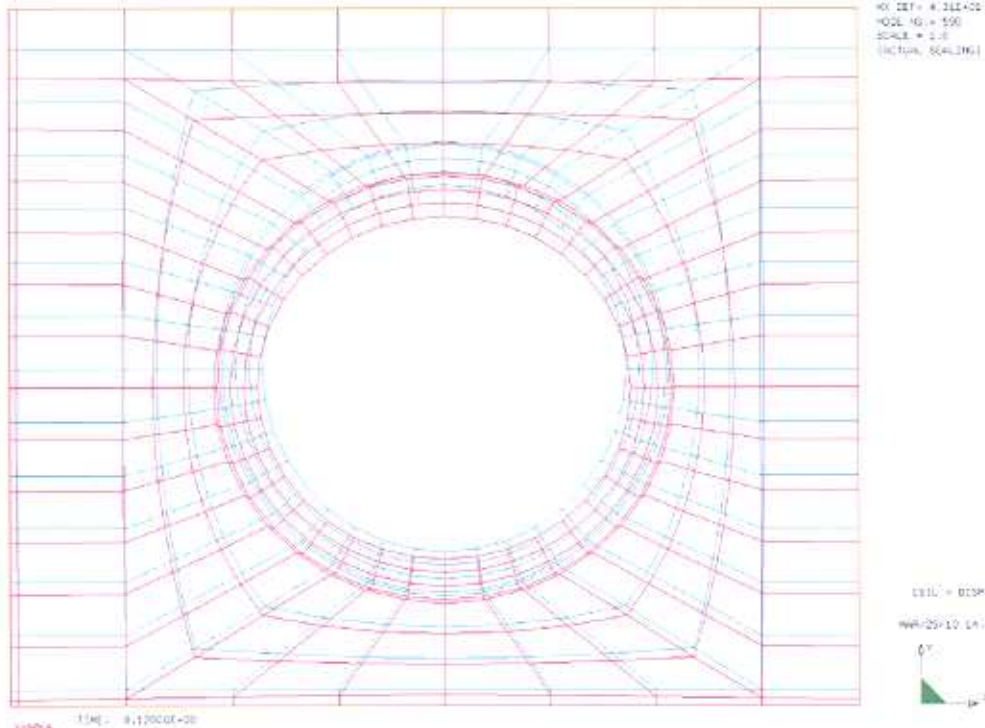
DISPLAY 111 - GEOMETRY MODELING SYSTEM | 25.0.0.0 | PRE-POST MODULE



NISA

A2 Zugspannungen

DISPLAY 111 - GEOMETRY MODELING SYSTEM | 25.0.0.0 | PRE-POST MODULE

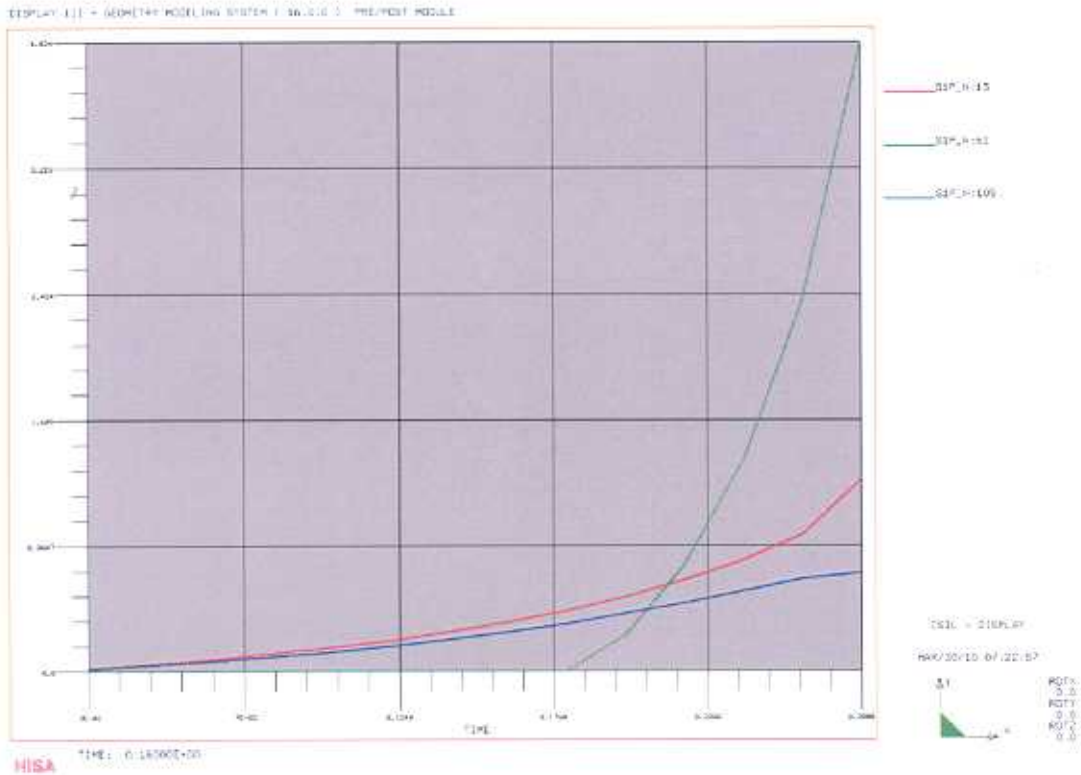


NISA

A3 Verformte Struktur

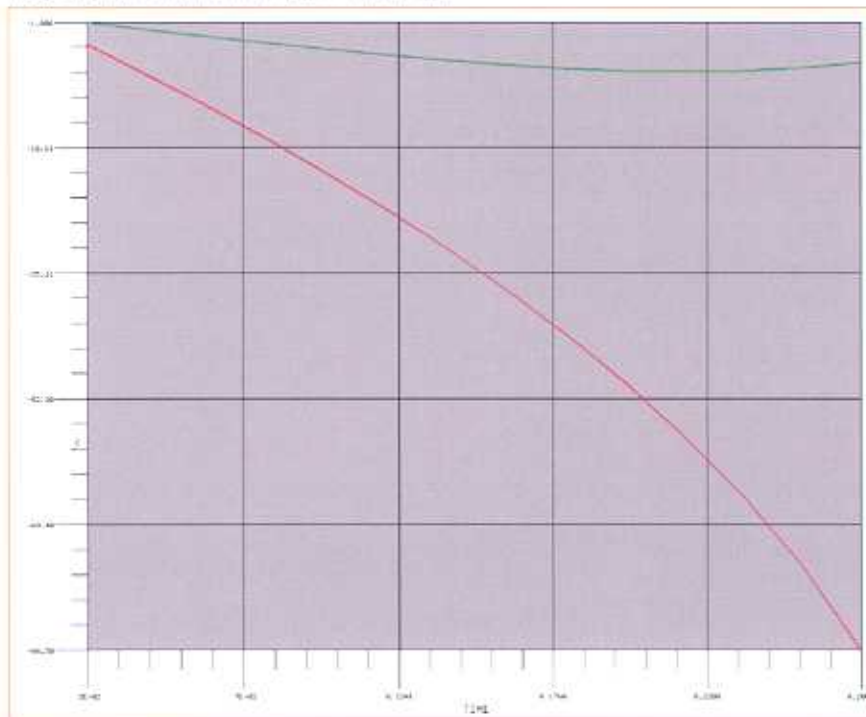
Bilder B 1 - B 3

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/m²
 $E_{\text{Rohr}} 100 \text{ N/mm}^2$



B1 Zugspannungen

DISPLAY 111 - GEOMETRY MODELING SYSTEM 1.16.0.0.0 - PRE-POST MODULE



U1, 9.187
 U2, 9.119

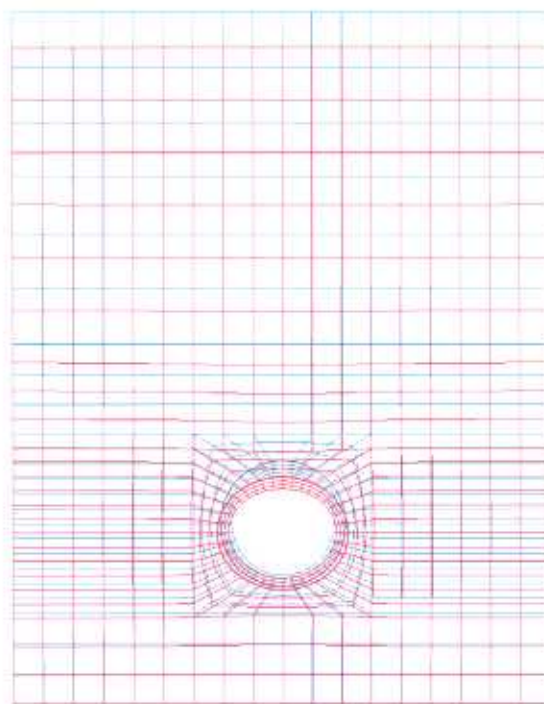
OSL = DISPLAY
 04/20/10 07:22:19



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 = 7.04E-01
 NODE NO. = 199
 SCALE = 1.0
 (ACTUAL SCALING)

OSL = DISPLAY
 04/20/10 07:26:31

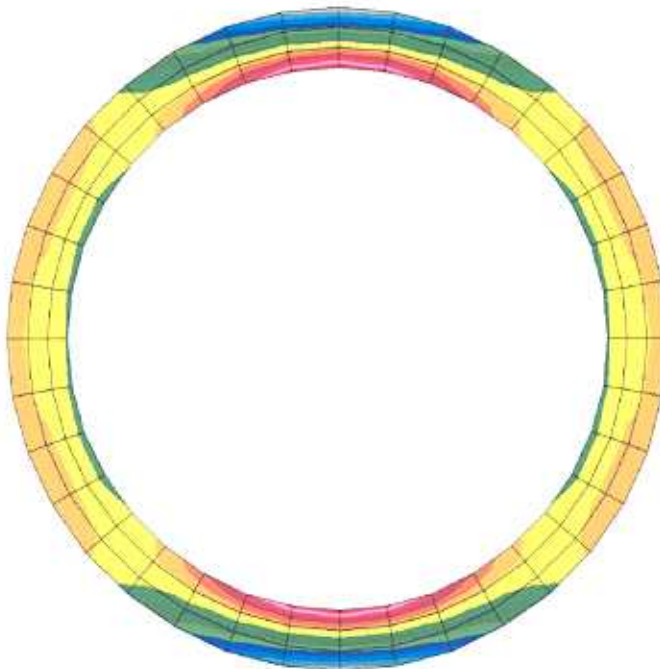


HISA TIME: 0.16000E+00

B3 Verformte Struktur

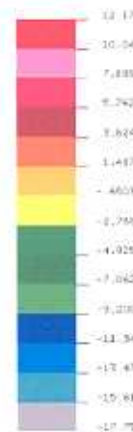
Bilder C 1 - C 2 für versprödetes PE-Material
 Zugspannungen für $E_{\text{Boden}} 12 \text{ N/mm}^2$
 $E_{\text{Rohr}} 1000 \text{ N/mm}^2$

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



00K - STRESS08

VIEW: 1 - 07.7667
 WAVE: 12.17249



CELL = DISPLAY

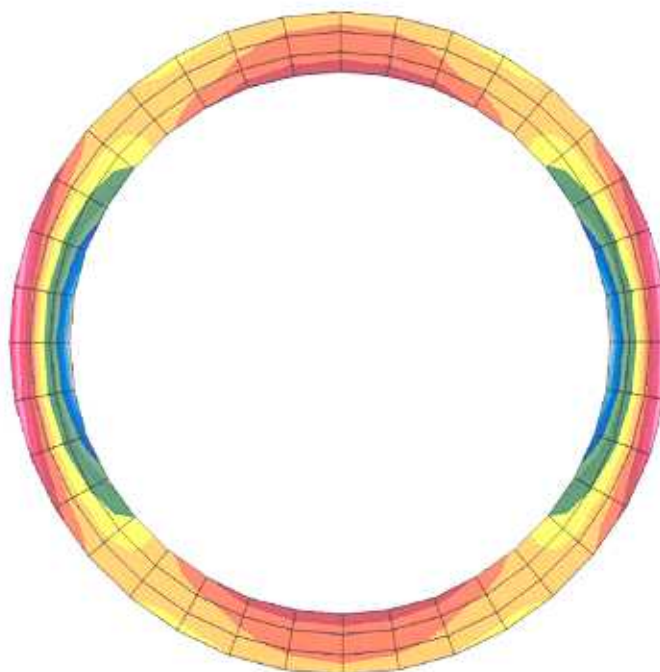
MAP: 30/10 07:37:03



HISA TIME: 8.16000E+00

C1 Horizontalspannungen

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



00Y - STRESS09

VIEW: 1 - 20.09904
 WAVE: 9.12017



CELL = DISPLAY

MAP: 30/10 07:38:06



HISA TIME: 8.16000E+00

C2 Vertikalspannungen