

## **PRÜFUNGSBERICHT** Nr. 94635370/01

**Datum: 18.11.2016**

**Auftraggeber:** Landratsamt Alb-Donau-Kreis  
Fachdienst Abfallwirtschaft  
89077 Ulm

**Auftrag vom:** 22.09.2016

**Inhalt des Auftrages:** Statische Berechnung von PE Rohren

**Bauort:** Deponie Unter Kaltenbuch

**Bauvorhaben:** Ausbau der Deponie

**Bauherr:** Landratsamt Alb-Donau-Kreis  
Fachdienst Abfallwirtschaft  
89077 Ulm

**Planung:** AU Consult GmbH  
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](mailto:armin.stegner@de.tuv.com)

Dieser Prüfungsbericht umfasst 15 Textseiten und 1 Anlage.

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](mailto:bautechnik@de.tuv.com)

Geschäftsführung  
Stephan Frense

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

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

## 1. Unterlagen

- 1.1 ATV-M 127 Teil 1: Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwässer aus Deponien März 1996
- 1.2 ATV A127: Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen; 3. Auflage 2000
- 1.3 Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, November 1995
- 1.4 SKZ / TÜV - LGA Güterrichtlinie Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien vom September 2013
- 1.5 Zeichnungen 160818 „Querschnitt Haltung S/V“, AU  
Detail Rohraufleger, Mauthe Ingenieure Balingen-Ostdorf vom 08.05.2001  
Deponiesohle Randdamm, Mauthe Ingenieure Balingen-Ostdorf vom 11.12.1989
- 1.6 Ergebnisse der Kamerabefahrungen der Rohre, Haas GmbH und Co. KG, Chemnitz vom Mai 2015

### Detail Rohraufleger

1:25

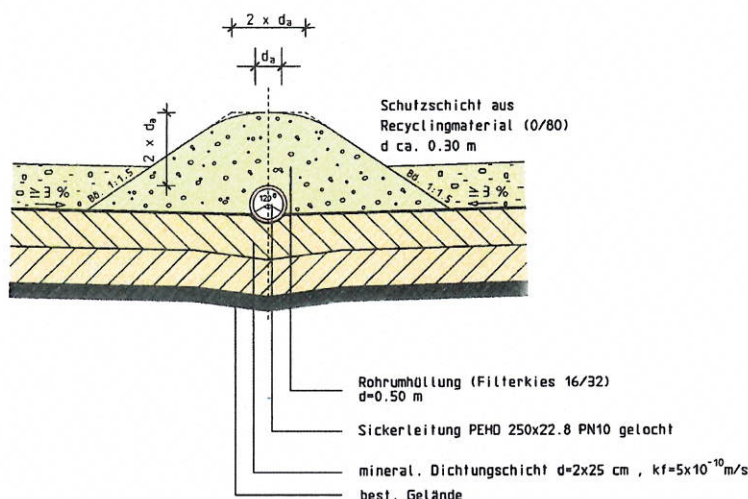


Bild 1 Einbau Da 250 Rohre gemäß 1.5

## **2. Beschreibung / Inhalt**

### **2.1 Baubeschreibung**

Auf der Deponie Unter Kaltenbuch sind im Abfallablagerungsbereich auf der Sohle gelochte PE-Rohre mit Außendurchmesser  $D_a = 250$  mm und Wanddicke  $s = 22,8$  mm (zum Einbauzeitpunkt PN 10 / aktuell SDR 11) und  $D_a = 180$  mm und  $s = 10,8$  mm (zum Einbauzeitpunkt PN 6 / aktuell SDR 17) eingebaut. Die Rohre weisen bereichsweise Verformungen auf.

Es ist vorgesehen die Überdeckung der Rohre mit Abfall zu erhöhen.

### **2.2 Inhalt**

Es werden Standsicherheitsnachweise nach der Methode der Finiten Elemente für die beiden Rohrtypen zur Ermittlung der aus statischer Sicht maximalen Überdeckungshöhe geführt.

## **3. Einwirkungen**

### **3.1 Ständige Einwirkungen**

Die Überdeckung wird als schlaffe Auflast in  $\text{kN/m}^2$  ermittelt. Die mögliche Überschüttung berechnet sich unter Berücksichtigung der Wichten des Ablagerungsmaterials einschließlich der Oberflächenabdeckung:

### **3.2 Veränderliche Einwirkungen**

Kurzzeitiges Befahren der Deponieoberfläche hat wegen der hohen Überdeckung und der für Kurzeiteinwirkungen deutlich günstigeren Materialkennwerte des Rohrmaterials keinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse.



#### 4. Baustoffe

Die Rohre sind aus PEHD hergestellt. Der eingesetzte Werkstoff ist nicht bekannt. Angesetzt werden als Materialkennwerte daher die zum Zeitpunkt des Einbaus üblicherweise eingesetzten Werte.

	kurzzeitig	langzeitig (ohne Abminderungen)
Kriechmodul	800	160
Grenzspannungen	21	14

alle Werte in N/mm<sup>2</sup>

Die Lochung der Rohre wird durch eine Abminderung der mittragenden Breite mit dem Faktor 0,9 berücksichtigt. Abminderungen für Medieneinflüsse und Temperatur werden für die Altdeponie bzw. den vorgesehenen Einbau von Inertmaterial nicht berücksichtigt.

#### 5. Einbau

Die Materialkennwerte für den E-Modul, die Wichte und die Querdehnzahl der Bodenmaterialien wurden nach Erfahrungen der TR LGA Bautechnik GmbH, Statik abgeschätzt:

	E	v	γ
	N/mm <sup>2</sup>	-	kN/m <sup>3</sup>
Kies	≥ 35	0,25	18
Dichtung	≥ 8	0,40	22

Die Rohre liegen auf der Dichtung auf und sind vollständig in Kies gebettet. Die Kiesüberdeckung beträgt ca. 700 mm bei den Rohren Da 180 und 2 Da entsprechend 500 mm bei den Rohren Da 250.

Die Bodenkennwerte müssen im Zweifelsfall durch einen Baugrundspezialisten bestätigt werden. Eine vollständige Einbettung und eine flächige Auflagerung der Rohre werden vorausgesetzt. In Rohrlängsrichtung wird eine gleichbleibende Ausführung der Leitungszone angenommen.

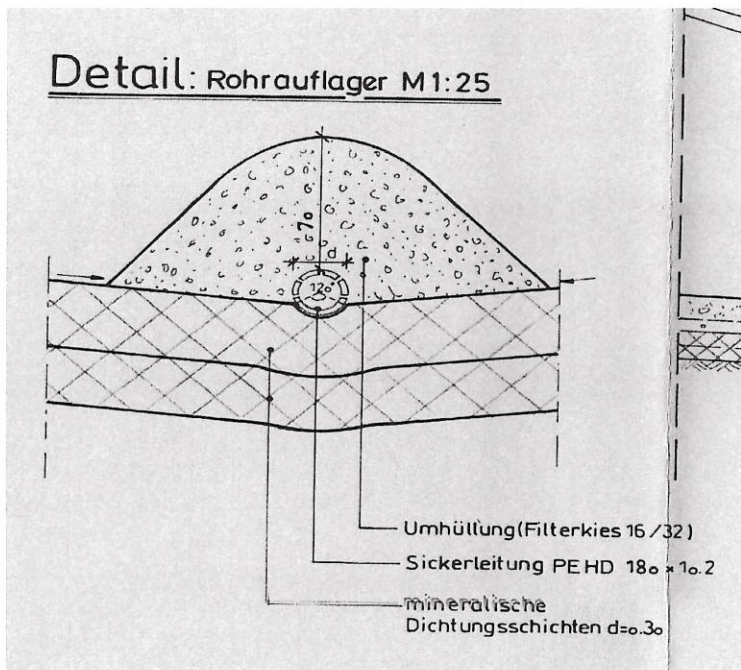


Bild 2 Einbau Da 180 Rohre gemäß 1.5

## 6. FEM-Berechnung

### 6.1 Modellierung

Im mechanischen Modell erfolgt die Abbildung der beiden Altrohre als Ellipse mit einer Verformung von 3 %, der umgebende Boden wird durch Scheibenelemente diskretisiert. Die Verbindung zwischen Rohr und Boden wird mit Hilfe von GAP/Friction-Elementen (reine Druckkraftübertragung) hergestellt. Die Auflast wird durch Anordnung einer Linienlast auf dem oberen Modellrand angesetzt. Die verwendete Diskretisierung ist in Bild 3 für das Deponierohr Da 180 und im Anhang für das Rohr Da 250 dargestellt. Es erfolgen geometrisch nichtlineare Berechnungen, in denen die Belastung schrittweise gesteigert wird. Die Lochung der Deponierohre wird durch eine Abminderung der mittragenden Breite berücksichtigt.

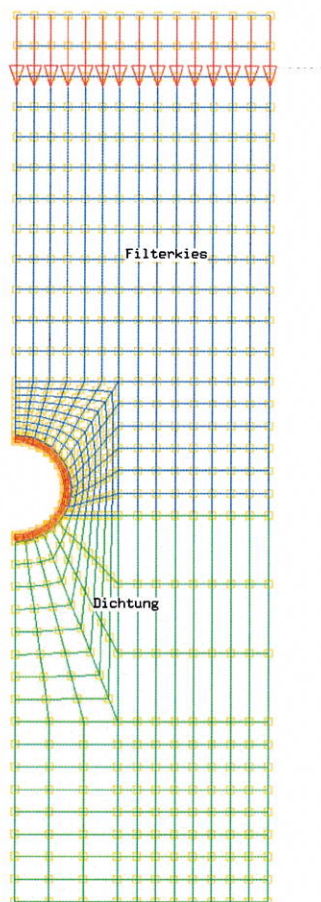


Bild 3 Modell Da 180

## 6.2 Verformungen

### 6.2.1 Rohr Da 180

Die maximale Rohrverformung beträgt bei einer Auflast von  $400 \text{ kN/m}^2$   $32,65 \text{ mm} - 23,2 \text{ mm} = 9,5 \text{ mm}$  entsprechend  $5,6 \%$  des mittleren Durchmessers.

Nachweis:  $\text{vorh. } \Delta v = 5,6 \% < \text{zul. } \Delta v = 6 \%$

### 6.2.2 Rohr Da 250

Die maximale Rohrverformung beträgt  $22,8 \text{ mm} - 10,4 \text{ mm} = 12,44 \text{ mm}$  entsprechend  $5,5 \%$  des mittleren Durchmessers.

Nachweis:  $\text{vorh. } \Delta v = 5,5 \% < \text{zul. } \Delta v = 6 \%$

## 6.3 Spannungen



### 6.3.1 Rohr Da 180

Die Spannungen unter einfacher Last bei Auflast 400 kN/m<sup>2</sup> betragen:

Vertikalspannung 0,2/-3,7 N/mm<sup>2</sup>

Horizontalspannung 0,4/-4,0 N/mm<sup>2</sup> (Bild 1.1)

Nachweis:  $\sigma_{\text{vorh.}} = 0,4 < \sigma_{\text{zul.}} = 14 / 2,5 = 5,6 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{\text{vorh.}} = 4,0 < \sigma_{\text{zul.}} = 14 / 1,5 = 9,3 \text{ N/mm}^2$

### 6.3.2 Rohr Da 250

Die Spannungen unter einfacher Last betragen:

Vertikalspannung 0,5/-5,0 N/mm<sup>2</sup>

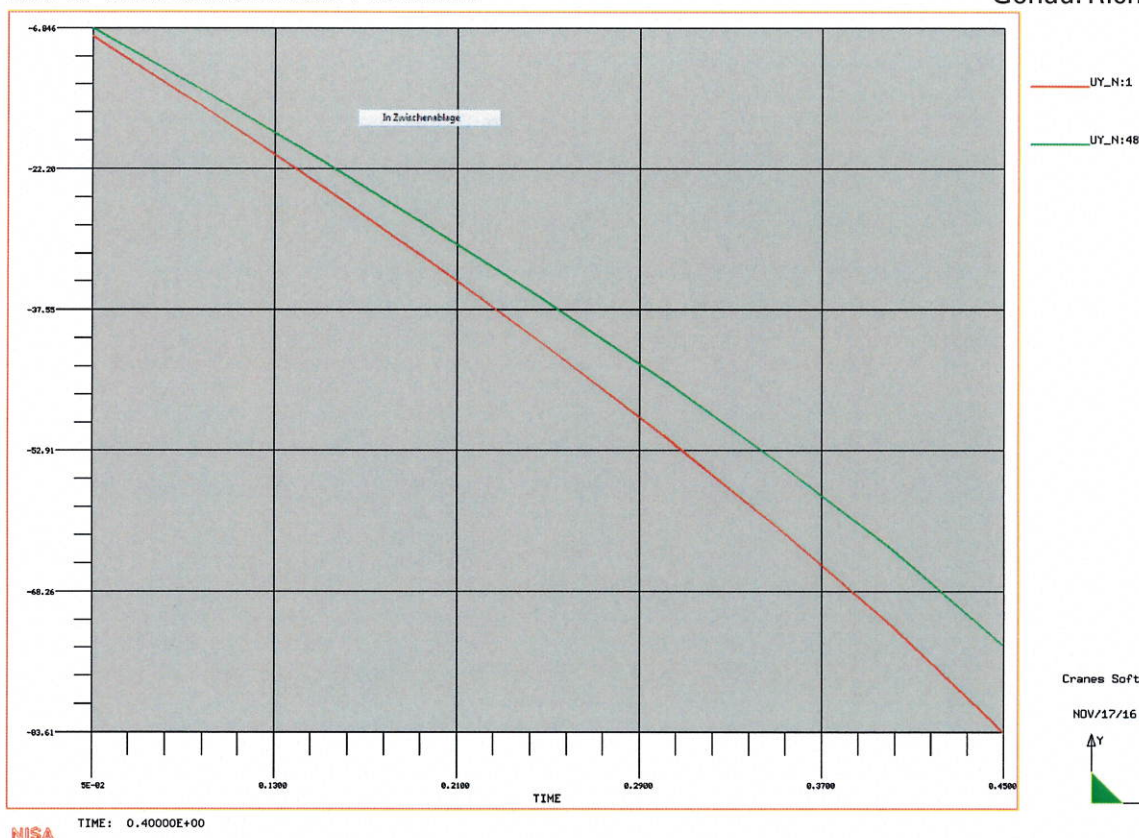
Horizontalspannung 0,8/-5,4 N/mm<sup>2</sup> (Bild 2.2)

Nachweis:  $\sigma_{\text{vorh.}} = 0,8 < \sigma_{\text{zul.}} = 14 / 2,5 = 5,6 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{\text{vorh.}} = 5,4 < \sigma_{\text{zul.}} = 14 / 1,5 = 9,3 \text{ N/mm}^2$



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



**Bild 4** Verformungsverlauf in den Rohren Da 180

## 6.4 Stabilitätsnachweis

Der Stabilitätsnachweis wird nach 1.3 mittels FEM Berechnung als nichtlinearer Spannungs- und Verformungsnachweis unter 2,0-facher Last geführt.

### 6.4.1 Rohr Da 180

Die maximale Rohrverformung beträgt 71,9 mm - 47,3 mm = 24,6 mm entsprechend 14,5 % des mittleren Durchmesser (Bild 1.4).

Die maximale Vergleichsspannung unter zweifacher Last beträgt 10,6 N/mm<sup>2</sup> (Bild 1.3).

Nachweis:

$$\sigma_{\text{vorh.}} = 10,6 < \sigma_{\text{zul.}} = 14 \text{ N/mm}^2$$

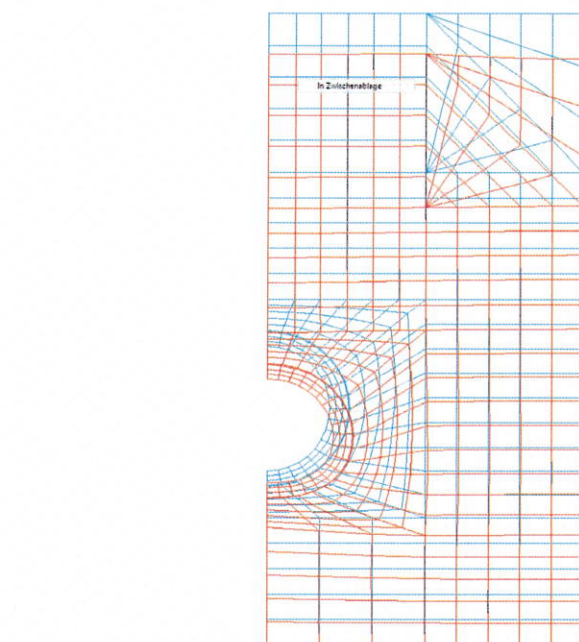
$$\text{vorh. } \Delta v = 14,5 \% < \text{zul. } \Delta v = 12 \%$$

Die Verformung liegt über dem zulässigen Wert von 12 %. Bild 4 zeigt den Verformungsverlauf. Die Knoten liegen in Scheitel (Nummer 1) und Kämpfer (Nummer 48). Ein Stabilitätsversagen tritt bis zur zweifachen Last bei gleichmäßiger, vollflächiger Einbettung und bei Zutreffen der angesetzten Mindestbodenkennwerte nicht auf.



DISPLAY III - GEOMETRY MODELING SYSTEM ( 10.0.0 ) PRE/POST MODULE

DISPLACED-SHAPE  
 HK DEF= 7.09E+01  
 NODE NO.= 541  
 SCALE = 1.0  
 (ACTUAL SCALING)



HISA TIME: 0.60000E+00

Cranes Software, Inc.

NOV/17/16 13:51:23

ROT X  
 0.0  
 ROT Y  
 0.0  
 ROT Z  
 0.0

**Bild 5** Verformung der Rohre Da 250 bei zweifacher Last

## 6.4.2 Rohr Da 250

Die maximale Rohrverformung beträgt  $52,24 \text{ mm} - 19,00 \text{ mm} = 33,24 \text{ mm}$  entsprechend  $14,6 \%$  des mittleren Durchmessers (Bild 2.4).

Die maximale Vergleichsspannung unter zweifacher Last beträgt  $14,6 \text{ N/mm}^2$  (Bild 2.3).

Nachweis:

$$\sigma_{\text{vorh.}} = 14,6 \text{ ca.} = \sigma_{\text{zul.}} = 14 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{vorh. } \Delta v = 14,6 \% < \text{zul. } \Delta v = 12 \%$$

Die Verformung liegt über dem zulässigen Wert von  $12 \%$ . Bild 5 zeigt die verformte Struktur unter der zweifachen Last. Ein Stabilitätsversagen tritt bis zur zweifachen Last bei gleichmäßiger, vollflächiger Einbettung und bei Zutreffen der angesetzten Mindestbodenkennwerte nicht auf.


## 7. Zusammenfassung

- 7.1 Die durchgeführten Berechnungen ergeben für die PEHD-Rohre Da 250 mm mit einer Wanddicke von  $24,6 \text{ mm}$  ausreichende Sicherheiten für eine Auflast von  $600 \text{ kN/m}^2$ . Die Überschreitung der zulässigen Werte im Stabilitätsnachweis wird dann als tolerierbar angenommen, wenn die vorhandene Bettung mindestens den rechnerischen Annahmen entspricht.

- 7.2 Die durchgeführten Berechnungen ergeben für die PEHD-Rohre Da 180 mit Wanddicke 10,8 mm ausreichende Sicherheiten für eine Auflast von 400 kN/m<sup>2</sup>.
- 7.3 Die Ergebnisse gelten für maximal 3 % verformte Rohre. Für stärker verformte Rohre liegt die aus statischer Sicht mögliche Überdeckungshöhe bei gleichem Einbau tiefer. Die Gründe für die aufgetretenen Verformungen der Rohre (Unterlage 1.6) sind nicht bekannt. Sie können in einer Bauschuttdeponie – wahrscheinlich, soweit ohne nähere Untersuchung anzunehmen - aus der Bettungssituation und/oder durch punktuell / bereichsweise höhere Auflasten hervorgerufen werden. Es wird darauf hingewiesen, dass sich solche Probleme durch das Aufbringen weiterer Auflasten auf anschließende oder neue Bereiche ausdehnen können.
- 7.4 Die dauerhafte Beständigkeit und der altersentsprechende Zustand des PE-Materials aller Rohre wird für die Gültigkeit der Berechnungen vorausgesetzt. Es wird zudem angenommen, dass keine dauerhaften Temperaturen über 20°C in den Rohren auftreten.

TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH  
Statik

Bearbeiter:

  
Dieter Straußberger  
Dipl.-Ing. (FH)

  
Armin Stegner  
Dipl.-Ing.

Verteiler:

Bericht

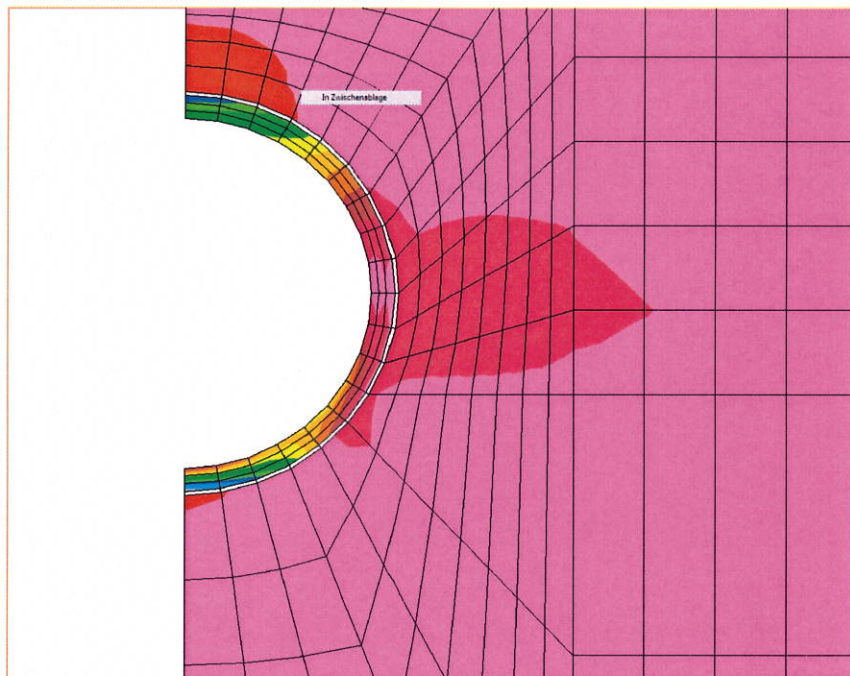
Unterlagen

LRA  
Au

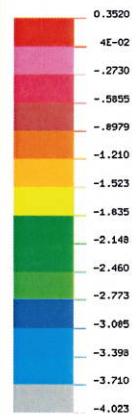
2-fach  
1-fach

Anhang Ergebnisausdrucke  
A1 Rohr Da 180

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



SXX - STRESSES  
MIDDLE LAYER  
VIEW : -4.022666  
RANGE: 0.3519545



Cranes Software, Inc.

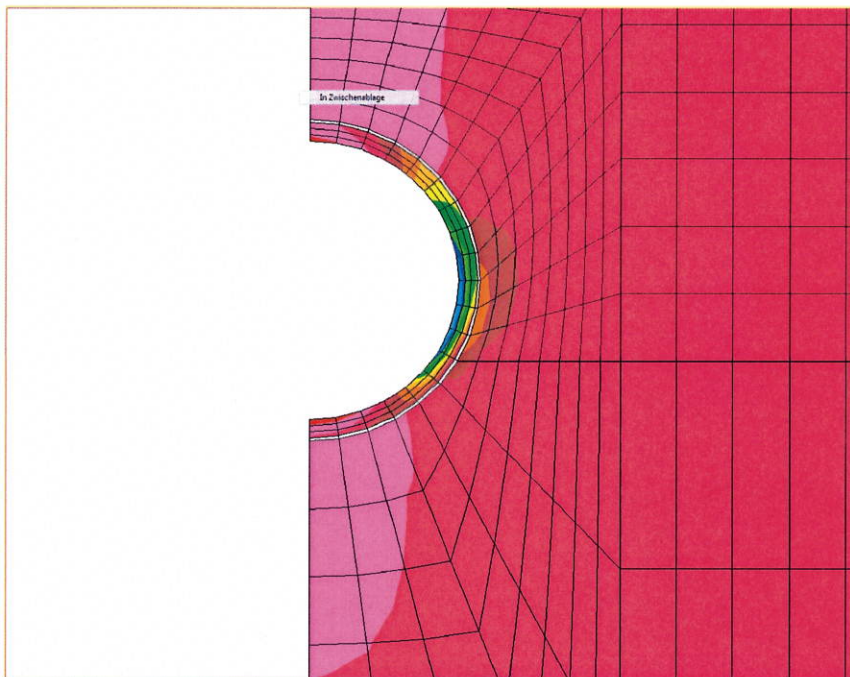
NOV/17/16 13:23:18



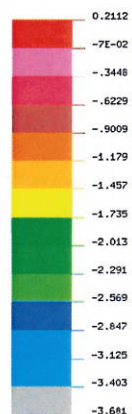
HISA TIME: 0.20000E+00

Bild A1.1 Horizontalspannungen unter einfacher Last

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

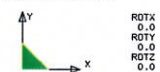


SY - STRESSES  
MIDDLE LAYER  
VIEW : -3.681405  
RANGE: 0.2111928



Cranes Software, Inc.

NOV/17/16 13:26:31

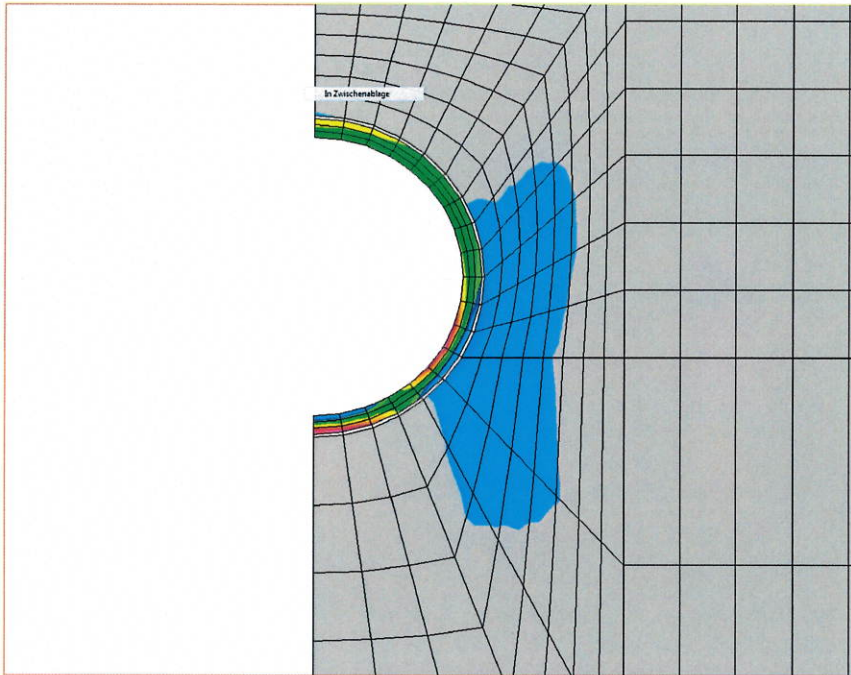


HISA TIME: 0.20000E+00

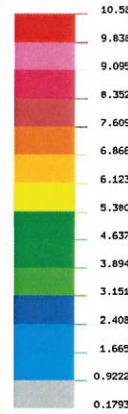
Bild A1.2 Vertikalspannungen unter einfacher Last



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

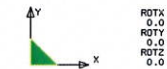


VON-MISES STRESS  
MIDDLE LAYER  
VIEW : 0.1792918  
RANGE: 10.58057



Cranes Software, Inc.

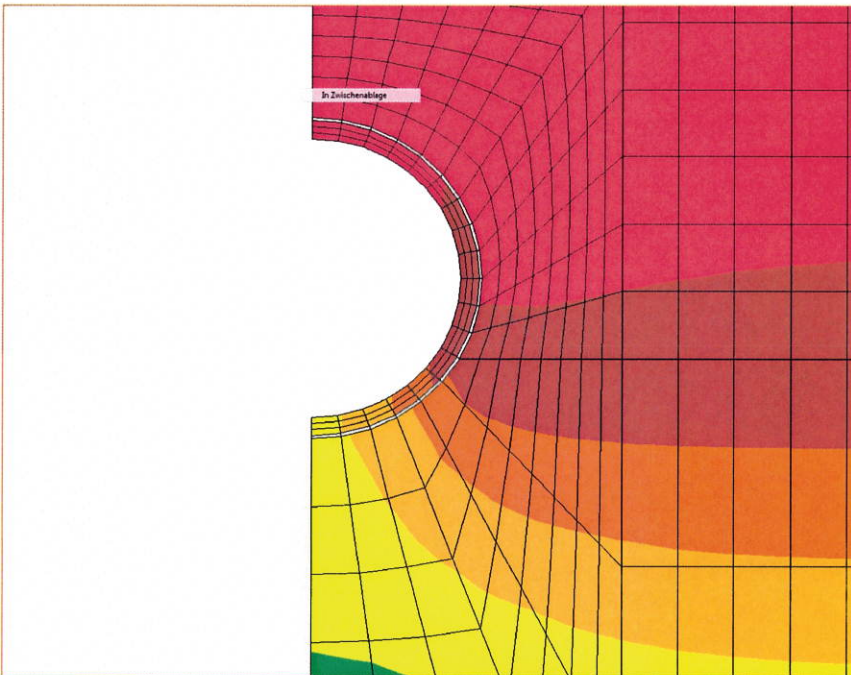
NOV/17/16 13:25:24



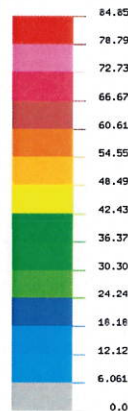
HISA TIME: 0.40000E+00

**Bild A1.3 Vergleichsspannungen unter zweifacher Last**

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

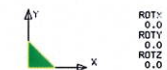


RESULTANT DISPL.  
MIDDLE LAYER  
VIEW : 36.26954  
RANGE: 72.5132



Cranes Software, Inc.

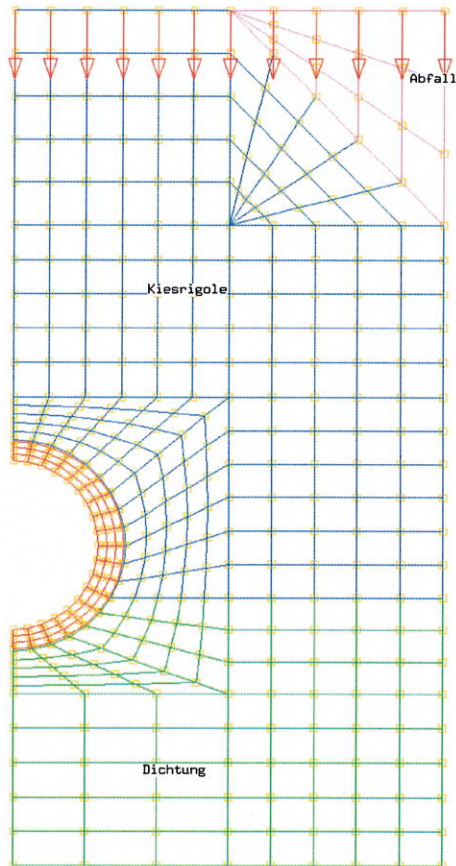
NOV/17/16 13:26:00



HISA TIME: 0.40000E+00

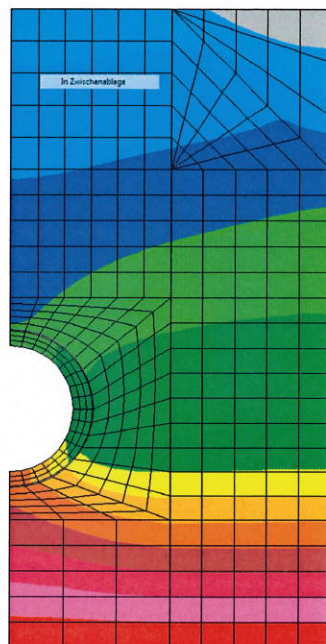
**Bild A1.4 Verformungen unter zweifacher Last**

**A2 Rohr Da 250**



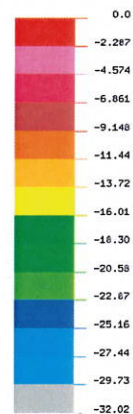
**Bild A2.0 Modell für das Rohr Da 250**

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



HISA TIME: 0.30000E+00

Y - DISPLACEMENT  
MIDDLE LAYER  
VIEW : -32.01891  
RANGE: 0.0



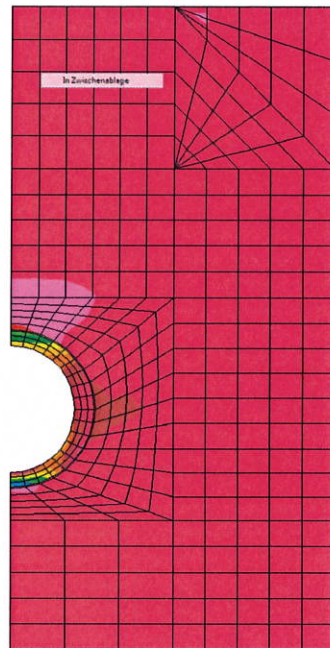
Cranes Software, Inc.

NOV/17/16 13:42:02

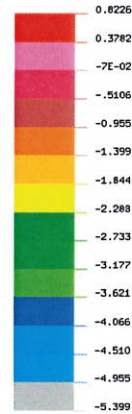


**Bild A2.1 Verformungen unter einfacher Last**

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

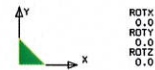


SXX - STRESSES  
MIDDLE LAYER  
VIEW : -5.399083  
RANGE: 0.6225952



Cranes Software, Inc.

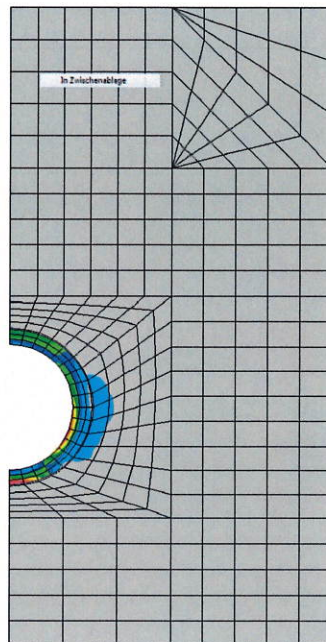
NOV/17/16 13:43:34



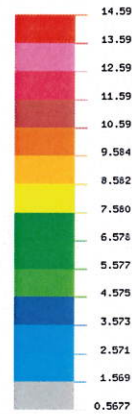
HISA TIME: 0.30000E+00

**Bild A2.2 Horizontalspannungen unter einfacher Last**

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

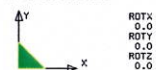


VON-MISES STRESS  
MIDDLE LAYER  
VIEW : 0.5676994  
RANGE: 14.59265



Cranes Software, Inc.

NOV/17/16 13:49:03

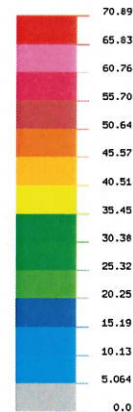
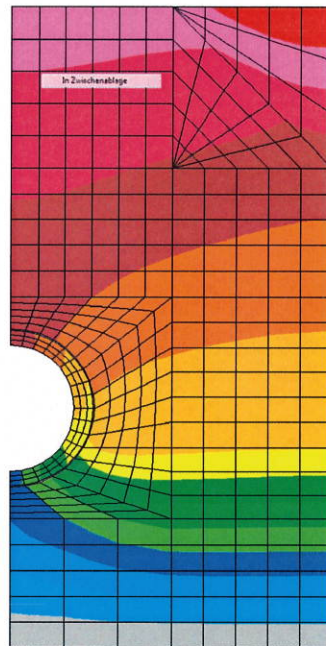


HISA TIME: 0.60000E+00

**Bild A2.3 Vergleichsspannungen unter zweifacher Last**



RESULTANT DISPL.  
MIDDLE LAYER  
VIEW : 0.0  
RANGE: 70.89168



Cranes Software, Inc.

NOV/17/16 13:48:34

RTX  
0.0  
RTY  
0.0  
RTZ  
0.0

NISA TIME: 0.60000E+00

**Bild A2.4** Verformung unter zweifacher Last