

Dipl.-Ing. Andreas Wellmann

Beratender Ingenieur / Deponietechnik / Rohrleitungsbau

---

## Nachweis der inneren Standsicherheit von PE-HD- Rohren in Deponien

---

Bauvorhaben:

**BSD Deetz**

**DK I - Erweiterung**

Bauherr:

MEAB

Märkische Entsorgungsanlagen  
Betriebsgesellschaft mbH  
14476 Potsdam

Planung:

BN Umwelt GmbH

Petridamm 26

18146 Rostock

Bauteil:

**Sickerrohre DN 300, Profil Si 510**

2/3 gelocht, System Hawle

Material PE-HD / PE100

Hier:

Erweiterung DK I

Sickerwasserdrän 6

Sickerwasserdrän 7

Nachweise mit der FE-Methode

und nach ATV-A127/-M127

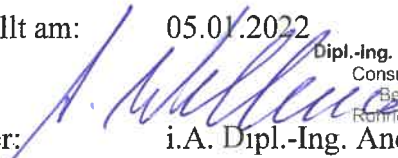
DIN 4266

Einbau nach DIN 19667

Aufgestellt am:

05.01.2022

Aufsteller:

  
Dipl.-Ing. Andreas Wellmann  
Consulting, Statische  
Berechnungen  
Rohrleitungssysteme

i.A. Dipl.-Ing. Andreas Wellmann

## INHALTSVERZEICHNIS

### Deponie Deetz

### Sickerrohre DN300 / Si 510

### Sickerwasserdrän 6 und 7

	Seite
Inhaltsverzeichnis	1
<b>Randbedingungen, Eingangswerte</b>	
Allgemeines	2
Lastfälle	3
Materialkennwerte PE100	4
Bodenkennwerte	5 – 7
Profilkennwerte	8 – 9
<b>1. Lastfall : max. <math>\ddot{U} = 50 \text{ m}</math>, <math>\gamma = 18 \text{ kN/m}^3</math></b>	
Sickerrohre DN 300 / Si 510	
<u>Nachweis nach der FE-Methode</u>	
Ergebnisse	10
FE-Modell, Regelquerschnitt, Auflager	11 – 13
Materialliste, Belastungsliste	14 – 15
1.1 Verformungsnachweis, FEM	16 – 19
1.2 Spannungsnachweis, FEM	20 – 24
1.3 Stabilitätsnachweis, FEM	25 – 30
<b>2. Lastfall : min <math>\ddot{U} = 0,50 \text{ m}</math></b>	
<b>Einbauzustand nach ATV-A127</b>	31 – 46
Literaturhinweise	47
Anlagen:	
A1:	Datenblatt Materialkennwerte PE 100
A2:	Auszug aus DIN 4266, Teil 1
A3:	Auszug ATV-A127, Beulen erdebetteter Rohre
A4:	Diagramm Bodenkennwerte / LGA-Nürnberg
A5:	Berechnungsgrundlagen, Stabilität ATV-A127

## Deponie Deetz

### **Sickerwasserdrän 6 und 7**

#### **Allgemeines**

Die nachfolgende statische Berechnung behandelt die Standsicherheit von PE-HD-Sickerrohren **DN300**, Rohrprofil „Si510“, System Hawle-Kunststoff GmbH, 2/3gelocht, die als Sickerwasserdrainage für das Bauvorhaben „Deponie Deetz -Sickerwasserdrän 6 und 7“ vorgesehen sind.

Die Auslegung der PE-Sickerrohre erfolgt gemäß vorliegender Statik für eine vorgegebene Höhe/Belastung (s.unten).

#### **Aufgabenstellung**

Die Sickerwasserrohre werden in Anlehnung an DIN 19 667 eingebaut, das Deponiegut wird stufenweise aufgeschüttet. Hierfür wird kein bestimmter Zeitraum vorgegeben, es wird nach Beendigung des Schüttvorganges (volle Endlast) ein Bemessungszeitraum nach BQS 8-1 von  $t = 100$  Jahren, als statische Randbedingung, angenommen.

Deponieendhöhe  $H_{\text{soll}} = 50 \text{ m}$

Im Folgenden wird die maximal gewünschte Einbautiefe von  $Ü_{\text{max}} = 50 \text{ m}$  sowie der Eibauzustand nachgewiesen.

In der FEM-Analyse soll untersucht werden, ob die vorgegebene Zustandsveränderung der Rohre, infolge der vorgesehenen hohen Auflast, noch im Bereich der Gebrauchstauglichkeit des Entwässerungssystems liegt.

#### **Eingangswerte**

##### **1. Belastung**

Für die Wichte des Deponiegutes wurde ein Wert von  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  vorgegeben (Kundenangabe). Damit ergibt sich eine Belastung von  $p_0 = 50 * 18 = 900 \text{ kN/m}^2$

Für die Dammschüttung aus Kies 16/32 gilt  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Die Gesamthöhe kann um den Betrag /Auflast des modellierten Systems reduziert bzw. als Reserve angesehen werden, da die im FEM- Modell dargestellten Materialschichten mit Eigengewicht versehen sind.

##### **2. Materialkennwerte**

Es wird ein Material der Qualität PE100 eingesetzt (s.u.).

Deponie Deetz  
**Sickerwasserdrän 6 und 7**  
**Lastfälle, Berechnungsmethoden**

Der Nachweis der Sickerwasserrohre erfolgt nach der Finite-Elemente-Methode (FEM). Für die Netzwerkanalyse wird die Software mit der Bezeichnung Cosmos / M , Vers. 2.6 - 2.9 der Fa. SolidTeam 27367 Sottrum verwendet.

Der maßgebende Lastfall ist der

1. Langzeitnachweis  $t = 100$  Jahre  
 $T = 30$  °C  
 $p_o = 50 * 18 = 900$  kN/m<sup>2</sup> = 0,90 N/mm<sup>2</sup>

Nachweis nach der FE-Methode.

Es werden folgende Nachweise geführt:

- 1.1 Verformungsnachweis
  - 1.2 Spannungsnachweis
  - 1.3 Stabilitätsnachweis
2. Einbauzustand,  $\min \ddot{U} = 0,50$  m (n.ATV-A127) und SLW 60  
Einzelnachweise wie unter 1.  
Nachweis in Anlehnung an ATV-A127 und -M127

Bemerkung:

Die Verwendung der FE - Berechnungsmethode wird damit begründet, dass die spezielle Geometrie des Einbaus der Sickerwasserrohre eine Spannungsverteilung erzeugt, die mit der ATV- Berechnung nicht nachvollzogen werden kann, da diese nur ausgewählte Stellen untersucht (Scheitel, Kämpfer und Sohle).

Das Maximum der Spannungsverteilung liegt aber nachweislich im Bereich des Schichtenwechsels Kies- Sand und ist nur mit der verwendeten FE- Methode nachzuvollziehen.

Ebenso kann die Last mindernde und Last verteilende Wirkung des „schubsteifen Balkens“ ( Dr. Leonhadt ) mit dem ATV- Modell nicht berechnet werden.

Diese Vorgehensweise ist Stand der Technik und durch die Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / DIBt – Berlin, sowie durch die Konzeptstudie Ing.-Büro Wölfel / geprüft durch LGA-Nürnberg abgesichert.

Das Beiblatt ATV- M 127 und die vorhandene Fachliteratur wird jedoch weitestgehend berücksichtigt.

## 2. Rohrmaterialkennwerte PE-HD/ PE100

Die Sickerrohre DN300, System Hawle werden aus einem PE-HD- Material hergestellt, Qualität PE100. Hierfür werden die E-Modul-Werte und das Spannungsniveau nach Datenblatt Basell (s. Anlage) verwendet.

Für den Temperatur- und Medieneinfluss gelten die Bestimmungen der DIN 4266 (Abminderungsfaktoren).

### E-Modul des Werkstoffes PE100

E-Modul:  $E = 200 \text{ N/mm}^2$  für  $T = 20 \text{ °C}$  und 50 Jahre (s. Anlage)  
 $E = 200 * 0,9 = 180 \text{ N/mm}^2$  für  $T = 20 \text{ °C}$  und 100 Jahre

Für  $T = 30 \text{ °C}$  (Projektvorgabe) gilt

$$E = 180 * 0,85 * 0,9 = \mathbf{138 \text{ N/mm}^2}.$$

mit  $f_{a,m} = 0,9$  für Medieneinfluss nach DIN 4266

### Zulässige Spannungen

Die kritischen Spannungen nach Datenblatt Basell / CRP100 betragen:

$$\sigma_{\text{krit}} = 28,9 \text{ N/mm}^2 \text{ für PE100, Druck, } t = 100 \text{ Jahre und } T = 20 \text{ °C (s. Anlage)}$$

$$\sigma_{\text{krit}} = 28,9 * 0,85 * 0,9 = \mathbf{22,1 \text{ N/mm}^2} \text{ mit Medieneinfluss, Langzeit 100 Jahre und } T = 30 \text{ °C}$$

Spannungsniveau nach / 1 /

Biegezug  $\gamma = 2,5$

Biegedruck  $\gamma = 2,5$  nach ATV – A127

Daraus folgen die zulässigen Spannungen zu

$$\sigma_{\text{zul}} = 22,1 / 2,5 = 8,8 \text{ N/mm}^2 \text{ ; PE 100 für Druck}$$

Maßgebend sind die Druckspannungen, da keine Zugspannungen auftreten, s.u.

Deponie Deetz

Sickerrohre DN300 / Profil Si510

Lastfall: Einbau nach DIN 19667

Lastfall / Auflast:  $p_0 = 50 \text{ m} * 18 = 900 \text{ kN/m}^2 = 0,90 \text{ N/mm}^2$

Tabellarische Zusammenfassung der Bodenkennwerte

Material	$E_{v\sigma} / E_B$	$\nu$	$1 - \nu^2$	Bodengruppe
Kies 16/32	52	0,25	0,94	G1
Kies-Sand 2/8	42	0,25-0,30	0,94-0,91	G1/G2
min.Abd.	11	0,40	0,84	G4
Deponiegut	21	0,35	0,877	G3
Untergrund	100	0,25	---	tragfähig

Bodengruppe nach DIN18196

$\nu$  = Querkontraktionszahl

$(1 - \nu^2)$ : Hilfsgröße zur Umwandlung der Bodenkennwerte in FEM-gerechten E-modul (s. oben)

Einbettung: Kies 16 / 32 / G1

$E_{v\sigma} = E_B (P_E/100)^{0,4} = 23 * 9,0^{0,4} = 23 * 2,41 = 55,4 \text{ N/mm}^2$  nach ATV-A127

$$E_{v\sigma} = 40/G * e^{-0,188(100-97)} * P_E/100^{0,4} = 40 * 0,569 * (900/100)$$

$$= 40 * 0,569 * 2,41 = 55,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (ATV-A127, Gleichung 3.01 und 3.02)}$$

$$E = E_{v\sigma} * 0,94 = 55,4 * 0,94 = 52 \text{ N/mm}^2$$

Rohrauflager (Kies-Sand) / G1/G2

$$E_{v\sigma} = E_B * (P_E/100)^{z_1} = 23 * 9,0^{0,45} * 1 = (23+11) / 2 * 2,69 = 45,4 \text{ N/mm}^2$$

$$E = E_{v\sigma} * 0,94 = 45,4 * (0,94+0,91)/2 = 42 \text{ N/mm}^2$$

Da die genauen Feinkornanteile des Gemisches 2/8 mm nicht bekannt sind, wird die Bodengruppe zur sicheren Seite auf den Mittelwert G1- G2 eingestuft und auf  $E = 42 \text{ N/mm}^2$  herabgesetzt.

Deponiegut / G3

$$E_{v\sigma} = E_B * (P_E/100)^{z_1} = 8 * 9,0^{0,6} = 8 * 3,74 = 29,9 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{v\sigma} = 29,9 * 0,8 = 23,9 \text{ N/mm}^2 \text{ mit } f_1 = 0,8 \text{ Abminderungsfaktor f\u00fcr G3}$$

$$E = E_{v\sigma} * 0,877 = 23,9 * 0,877 = 21 \text{ N/mm}^2$$

Mineralische Abdichtung (TL, TU) / G4

$$E_{v\sigma} = E_B * (P_E/100)^{z_1} = 6 * 9,0^{0,7} = 6 * 4,66 = 27,9 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{v\sigma} = 27,9 * 0,5 = 14 \text{ N/mm}^2 \text{ mit } f_1 = 0,50 \text{ Abminderungsfaktor f\u00fcr G4}$$

$$E = E_{v\sigma} * 0,84 = 14 * 0,84 = 11,7 \text{ N/mm}^2$$

Untergrund:

Als tragf\u00e4hig vorausgesetzt.

**Bodenmechanische Zusammenhänge**

Nach ATV-DVGW- A127 und - M127 gemäß Gleichung (3.01) gilt:

Grundwerte des Verformungsmoduls

$$E_B = 40 / G * e^{-0,188 (100 - D_{pr})}$$

Darin ist G die Ziffer der Bodengruppe (für Bodengruppe 1 gilt G = 1 usw.)

Für höhere Spannungen steigen die Verformungsmoduln an, dies geschieht in Abhängigkeit von der Auflastspannung  $P_E$  und wird wie folgt berechnet:

$$E_{B\sigma} = E_B * (P_E / 100)^z \quad /ATV-A127 Gleichung (3.02) /$$

Exponent „z“, und Reduktionsfaktor „f1“ für das Kriechen

Bodengruppe	G	G1	G2	G3	G4
Exponent	z	0,40	0,50	0,60	0,70
Reduktionsfaktor	f1	1,0	1,0	0,8	0,5

Zusätzlicher Hinweis für die Bemessung der Sickerrohre :

Für Nachweise nach der FE-Methode wird nicht der Verformungsmodul sondern der Elastizitätsmodul benötigt. Die Umformung geschieht über die Querkontraktionszahl

z.B. nach „Grundbau Taschenbuch“ /6/

$$E = E_v * (1 - \nu^2)$$

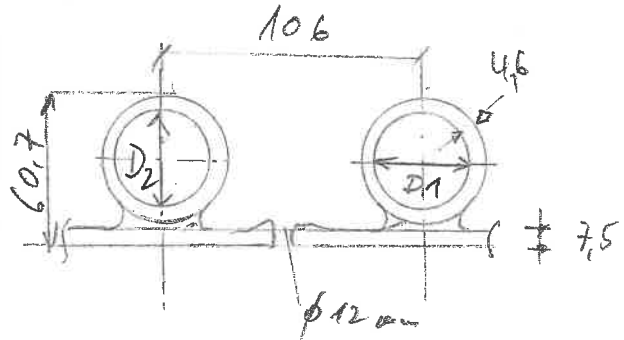
Bodengruppe	Querkontraktion $\nu$	$(1 - \nu^2)$	E-Modul
G1	0,25	0,9375	$0,94 * E_{B\sigma}$
G2	0,30	0,91	$0,91 * E_{B\sigma}$
G3	0,35	0,877	$0,877 * E_{B\sigma}$
G4	0,40	0,84	$0,84 * E_{B\sigma}$



Si 510

Eingabemaske [cm]	
D1	5,00
D2	4,40
Sg	0,75
S3	0,46
A	10,60

Zwischenwerte [cm]	
H	6,07
B	5,92
h	5,32



Einzelfläche	
A1	7,950
A2	7,457
An	15,407

Einzelaabstände	
a1	0,375
a2	3,410

Trägheitsabstand, global	
es	1,844

Teilabstände	
e1	1,469
e2	-1,566

Steiner - Anteil	
Is1	17,154
Is2	18,289

Grundanteil	
Io1	0,373
Io2	22,848

Trägheitsmoment [cm4]	
I1	17,5268
I2	41,1361
Iges	58,663

Ergebnisse		
Io	cm4/cm	5,534
Sä	cm	4,050
Aeff	cm2/cm	1,453
H	cm	6,07
es	cm	1,844

$$\max W = \frac{I}{e} = \frac{5530}{18,44} = 300 \frac{\text{cm}^4}{\text{cm}}$$

$$\min W = \frac{I}{(60,7 - 18,44)} = 130,9 \frac{\text{cm}^4}{\text{cm}}$$



*Handwritten signature*

Real Constant Sets

Real Constant Set : 1  
 Associated Element Group : 1 ( BEAM2D ) PE100 S:510

Rc1	: Cross-sectional area . . . . .	$A_{eff}$	=	1.450000e+001	$mm^2/mm$
Rc2	: Moment of inertia (Iz) . . . . .	$J$	=	5.500000e+003	$mm^4/mm$
Rc3	: Depth . . . . .	$h_e$	=	7.400000e+001	$mm$
Rc4	: End-release code (node 1) . . . . .		=	0	
Rc5	: End-release code (node 2) . . . . .		=	0	
Rc6	: Shear factor in elem. y-axis . . . . .		=	0.000000e+000	
Rc7	: Temp. diff. in elem. y-axis . . . . .		=	0.000000e+000	
Rc8	: Perimeter (HSTAR only) . . . . .		=	0.000000e+000	

Real Constant Set : 2  
 Associated Element Group : 2 ( GAP ) Kontakt

Rc1	: Relative displ. between 2 nodes . . . . .		=	0.000000e+000
Rc2	: Coefficient of friction . . . . .		=	0.000000e+000
Rc3	: Gap stiffness 0=No Spring k=Stiffness . . . . .		=	0.000000e+000
Rc4	: Spring pre-load . . . . .		=	0.000000e+000
Rc5	: Maximum spring deflection . . . . .		=	1.000000e+008

Real Constant Set : 3  
 Associated Element Group : 3 ( TRUSS2D ) Kontakt

Rc1	: Cross-sectional area . . . . .		=	1.000000e+000
Rc2	: Perimeter (HSTAR only) . . . . .		=	1.000000e+000
Rc3	: Initial axial force . . . . .		=	0.000000e+000
Rc4	: Initial axial strain . . . . .		=	0.000000e+000
Rc5	: Unused real constant . . . . .		=	0.000000e+000
Rc6	: Unused real constant . . . . .		=	0.000000e+000
Rc7	: Unused real constant . . . . .		=	0.000000e+000
Rc8	: Unused real constant . . . . .		=	0.000000e+000

Real Constant Set : 4  
 Associated Element Group : 4 ( PLANE2D ) Boden

Rc1	: Thickness . . . . .		=	1.000000e+000
Rc2	: Material angle (Beta) . . . . .		=	0.000000e+000

$A_{eff}$  = effektive Querschnittsfläche (s. Profilkennwerte)  
 $J$  = Trägheitsmoment [ $mm^4/mm$ ]  
 $h_e$  = Ersatzhöhe FEM  $(H - e_{min}) \times 2$

## Deponie Deetz

### Sickerwasserrohre DN300 / Sickerwasserdrän 6 und 7

### Profil Si 510, System Hawle

## Nachweis mit der FE-Methode

Material PE-HD / PE100

- Überdeckung:  $H = 50 \text{ m}$
- Wichte des Deponiegutes:  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- Bemessungstemperatur:  $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  (mittlere Temp.)
- Bemessungszeitraum:  $t = 100 \text{ Jahre}$

## Ergebnisse

$p_0 = 900 \text{ kN/m}^2 = 0,90 \text{ N/mm}^2$ , Belastung des FEM-Systems

Nachweis		FEM	Zulässige Werte
Verformung	$\delta$ (%)	5,9	< 6 %
Spannungen Sicherheit	$\sigma$ (-)	3,6	>2,5 für Druck
Stabilität Sicherheit	$\gamma$ (-)Spannung	3,6	> 2,5
	$\gamma$ ATV-A127	4,1	> 2,0

- 11 -

D. Deetz

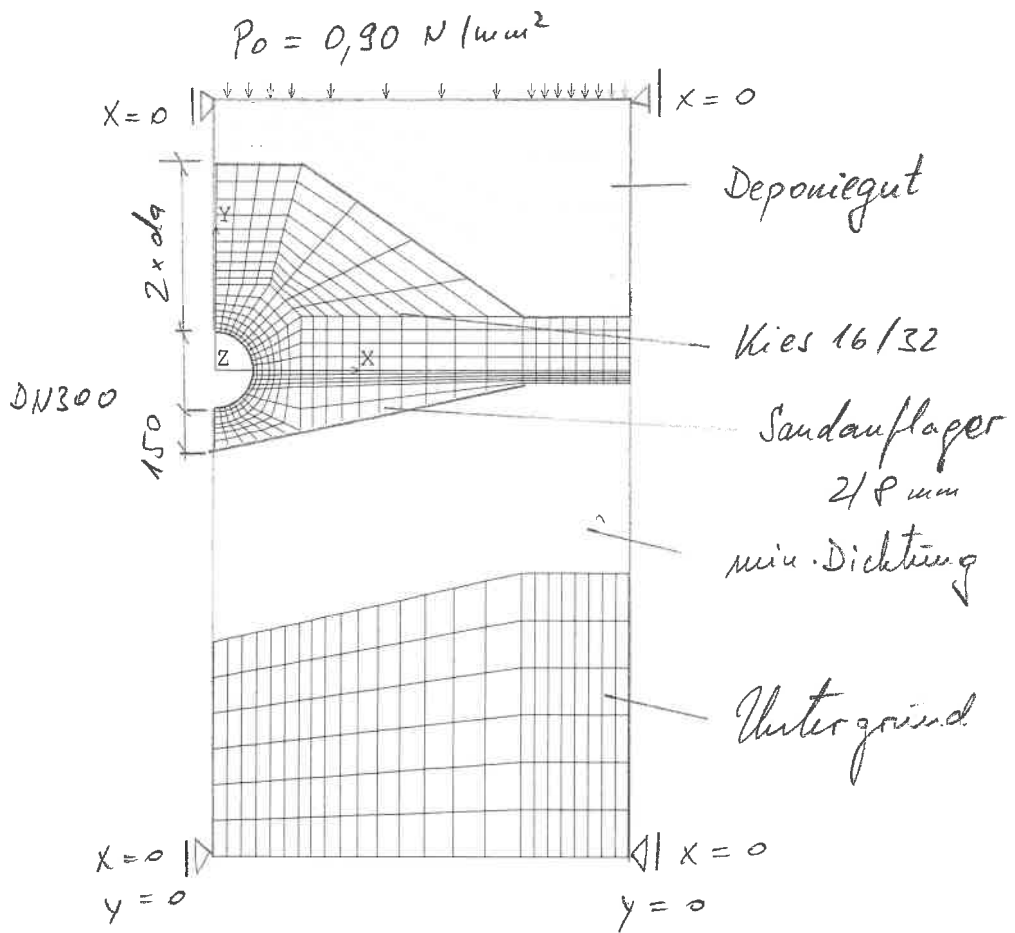
Sickerwasserdrän 6 ü. 7

$U_{max}^4 = 50 m$

DN300, Si: 510

MP CLR

1	■
2	■
3	■
4	■
5	■
6	■
7	■
8	■



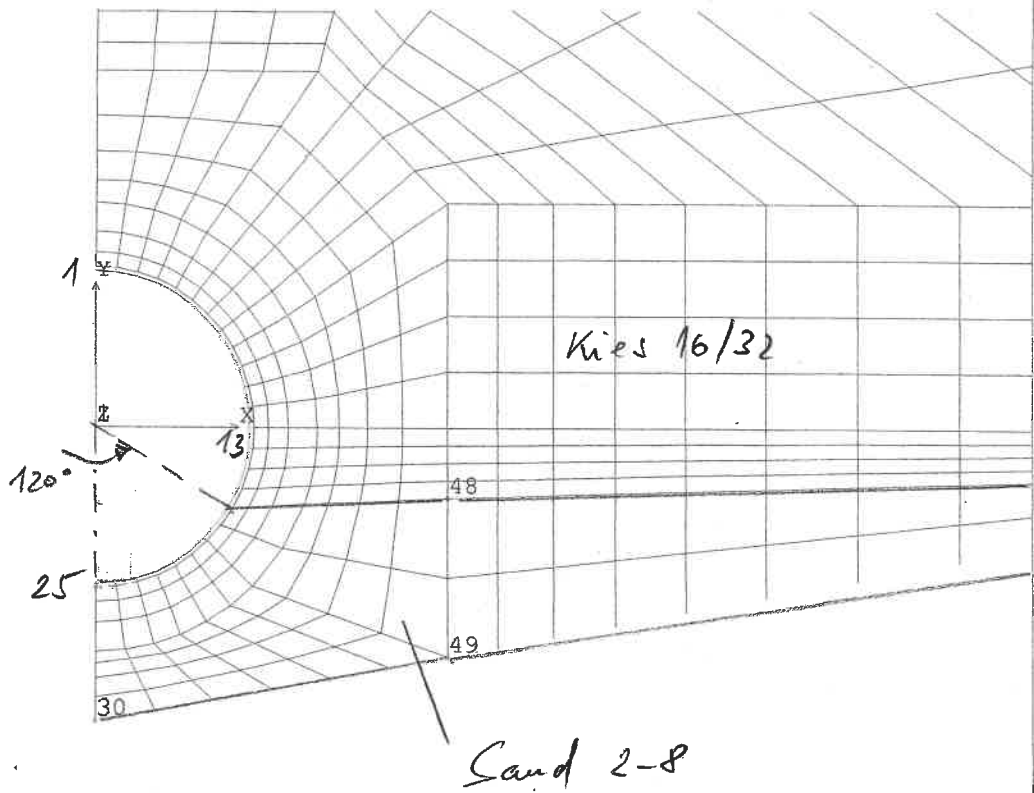
D. Deetz Sickerwasserdrän 6 ü. 7

Detail

Rohraufleger ü. Rettung

DU 300, S;510

MP CLR



Rohraufleger 4 120°

Pressure

Load case 1

Element Face6	Face1 Tc/Cs/Dir	Face2 Tc/Cs/Dir	Face3 Tc/Cs/Dir	Face4 Tc/Cs/Dir	Face5 Tc/Cs/Dir
795			9.0000e-001 1		
796			9.0000e-001 1		
803			9.0000e-001 1		
804			9.0000e-001 1		
811			9.0000e-001 1		
812			9.0000e-001 1		
819			9.0000e-001 1		
820			9.0000e-001 1		
821				9.0000e-001 1	
825				9.0000e-001 1	
829				9.0000e-001 1	
833				9.0000e-001 1	
837				9.0000e-001 1	
841				9.0000e-001 1	
845				9.0000e-001 1	
849				9.0000e-001 1	

0,90  $\frac{N}{mm^2}$

↓  
belastete Element OK-System

Material Constant Sets

Materialliste

Label	Name	Temp/BH_Cr	Value	
1	EX	0	1.360000e+002	<i>PE 100</i>
1	NUXY	0	3.000000e-001	
1	DENS	0	9.500000e-007	
1	MPERM_R	0	1.000000e+000	
1	RK	0	8.500000e-001	
2	NUXY	0	3.000000e-001	<i>Kontakt</i>
2	MPERM_R	0	1.000000e+000	
2	RK	0	8.500000e-001	
3	EX	0	1.000000e+000	<i>Kontakt</i>
3	NUXY	0	3.000000e-001	
3	MPERM_R	0	1.000000e+000	
3	RK	0	8.500000e-001	
4	EX	0	5.200000e+001	<i>Kies 16/32</i>
4	NUXY	0	2.500000e-001	
4	DENS	0	2.000000e-006	
4	MPERM_R	0	1.000000e+000	
4	RK	0	8.500000e-001	
5	EX	0	4.200000e+001	<i>Auflager 2/8</i>
5	NUXY	0	3.000000e-001	
5	DENS	0	2.000000e-006	
5	MPERM_R	0	1.000000e+000	
5	RK	0	8.500000e-001	
6	EX	0	1.100000e+001	<i>univ. Dichtung</i>
6	NUXY	0	4.000000e-001	
6	DENS	0	2.000000e-006	
6	MPERM_R	0	1.000000e+000	
6	RK	0	8.500000e-001	
7	EX	0	1.000000e+002	<i>Untergrund</i>
7	NUXY	0	2.500000e-001	
7	DENS	0	2.000000e-006	
7	MPERM_R	0	1.000000e+000	
7	RK	0	8.500000e-001	
8	EX	0	2.100000e+001	<i>Deponieput</i>
8	NUXY	0	3.500000e-001	
8	DENS	0	1.500000e-006	
8	MPERM_R	0	1.000000e+000	
8	RK	0	8.500000e-001	

Elementgruppen

Element Groups

Element Group : 1 ( BEAM2D ) *Rohrelemente*

Op1: Unused option . . . . . = 0  
 Op2: Unused option . . . . . = 0  
 Op3: Unused option . . . . . = 0  
 Op4: Integration Type:0=Gauss;1=N-Cotes . . . . . = 0  
 Op5: Material Type:0=LE;1=VMI;2=VMK;4=NLE;8=VEM . . . . . = 0  
 Op6: Displ. Formulation:0=Small;1=Large . . . . . = 0  
 Op7: Unused option . . . . . = 0  
 Op8: Unused option . . . . . = 0

Element Group : 2 ( GAP ) *Kontaktlemente (\*)*

Op1: Surface coord. update:0=No;1=Yes . . . . . = 0  
 Op2: Friction:0=No;1=Yes;2=Yes & Slide . . . . . = 0  
 Op3: Frict. outside X-Y plane:0=No;1=Yes . . . . . = 0  
 Op4: Gap Type:0=N-N;1=N-L;2=N-S . . . . . = 0  
 Op5: Unused option . . . . . = 0  
 Op6: Compressive gap measurement:0=User 1=Auto . . . . . = 0  
 Op7: Unused option . . . . . = 0  
 Op8: Unused option . . . . . = 0

Element Group : 3 ( TRUSS2D ) *Kontaktlemente*

Op1: Unused option . . . . . = 0  
 Op2: Unused option . . . . . = 0  
 Op3: Unused option . . . . . = 0  
 Op4: Unused option . . . . . = 0  
 Op5: Material Type:0=LE;1=VM-I;2=VM-K;4=NLE;8=VEM;11=CT . . . . . = 0  
 Op6: Disp. Formulation:0=Small;1=Large . . . . . = 0  
 Op7: Material Creep:-n=User;0=No;1=Creep . . . . . = 0  
 Op8: Unused option . . . . . = 0

Element Group : 4 ( PLANE2D ) *Bodenlemente*

Op1: S/F flag:0=Solid;1=4-Node Fluid . . . . . = 0  
 Op2: Integr Type:0=Red;1=QM6;2=Full;3=U/P . . . . . = 1  
 Op3: Type:0=P\_Strs;1=Axi;2=P\_Strn;3=Asym . . . . . = 0  
 Op4: Stress Direction:0=Global;1=Local;2=Material . . . . . = 0  
 Op5: Mat:0=LE;1=VMI;2=VMK;3=MR;4=NLE;5=DP;6=OH;  
       8=VEM;9=B-K;10=WM;11=CT;12=TRI;13=TRK . . . . . = 0  
 Op6: Disp. Formulation:0=Small;1=UL;2=TL . . . . . = 0  
 Op7: Material Creep:-n=User;0=No;1=Creep;2=ABVQ;3=ABVL . . . . . = 0  
 Op8: Small/Large Strain plasticity: 0=Small;1=Large . . . . . = 0

\* GAP-Elemente übertragen keine Zugkräfte

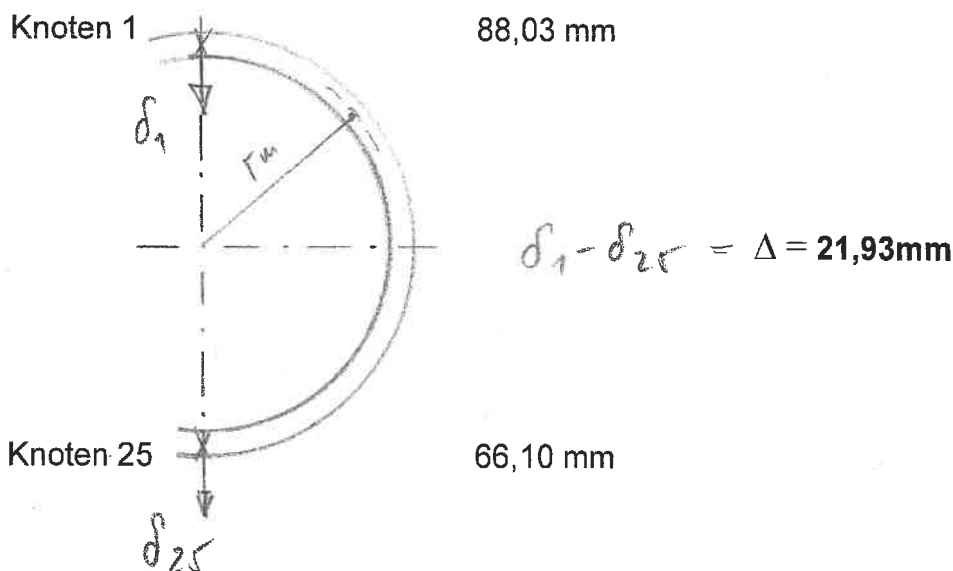


Deponie DeetzVerformungsnachweisLastfall:  $\max p_0 = 0,90 \text{ N/mm}^2$ 

Im FEM- Modell wird die Verformung des Rohres nicht durch die Scheitelabsenkung definiert, sondern durch die relative Verschiebung der Knoten im Rohrscheitel gegenüber der Rohrsohle, bezogen auf das globale Koordinatensystem.

Lastfall:  $p_0 = 0,900 \text{ N/mm}^2$  ----- DN300 / Si510

Knoten- und Systemverschiebung in y-Richtung als Scheitelabsenkung:  
nach "Displacement"-Liste:



Die auf den mittleren Durchmesser bezogene Verformung beträgt:

$$\delta = \frac{\Delta v}{D_m} * 100 = \frac{21,93}{374} * 100 = 5,9 \% < 6 \%$$

mit  $D_m = 300 + 74 = 374 \text{ mm}$ , DN300 / Si510

Die zulässigen Verformungswerte von max. 6 % nach ATV – A127 und Literatur werden eingehalten.

## Displacement

		Step 10					
Node	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	
1	0.000e+000	-8.803e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.136e-002	
2	-4.672e-001	-8.742e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.233e-002	
3	-8.492e-001	-8.611e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.565e-002	
4	-1.112e+000	-8.505e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.088e-002	
5	-1.220e+000	-8.417e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.634e-002	
6	-1.153e+000	-8.318e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	4.061e-002	
7	-9.121e-001	-8.215e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	4.280e-002	
8	-5.273e-001	-8.114e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	4.245e-002	
9	-4.898e-002	-8.021e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.943e-002	
10	4.582e-001	-7.939e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.386e-002	
11	9.253e-001	-7.868e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.602e-002	
12	1.288e+000	-7.807e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.634e-002	
13	1.495e+000	-7.753e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	5.278e-003	
14	1.516e+000	-7.700e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-6.605e-003	
15	1.344e+000	-7.643e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.864e-002	
16	9.997e-001	-7.576e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.994e-002	
17	5.362e-001	-7.494e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.935e-002	
18	2.987e-002	-7.398e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.601e-002	
19	-4.368e-001	-7.290e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.951e-002	
20	-7.899e-001	-7.173e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.968e-002	
21	-9.764e-001	-7.056e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.681e-002	
22	-9.727e-001	-6.975e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.183e-002	
23	-7.876e-001	-6.827e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.651e-002	
24	-4.521e-001	-6.722e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.306e-002	
25	0.000e+000	-6.610e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.207e-002	

↓  
belastete Knoten

$$\delta_y = \delta_1 - \delta_{25} = 88,03 - 66,10$$

$$\delta_y = 21,93 \text{ mm}$$

- 18 -

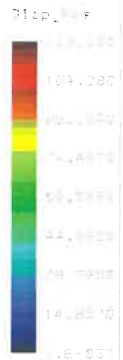
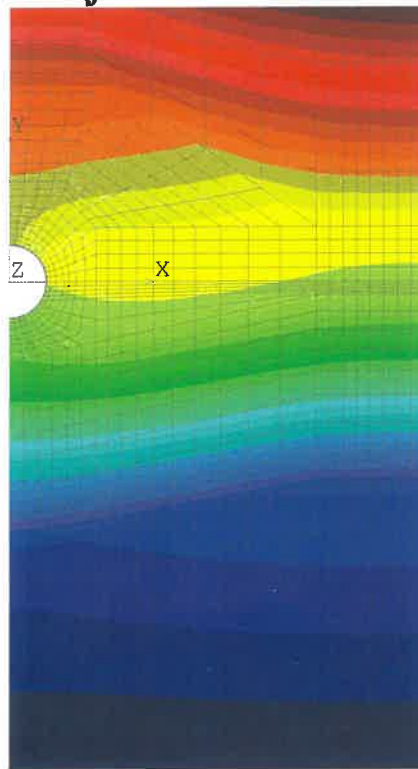
D. Deetz  
 $\ddot{U} = 50 \text{ mm}$

Systemverformung  
Gesamt system

$\downarrow p_0 = 0,90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

ALSO DISP. REPORT 110

DN300  $\delta_1$   
Si510  $\delta_{25}$



$\delta_1 - \delta_{25} = 21,93 \text{ mm}$

D. Deetz  
S: 510

Rohrelemente

$$p_0 = 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

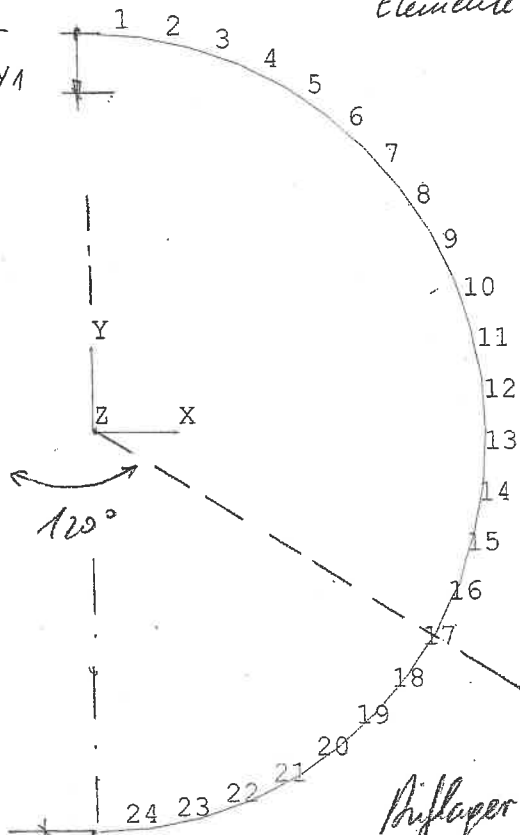
MP  
CLR

CLR

88,03 mm

$\delta_{y1}$

Elemente am Rohr



Kies 16/32

Auflager 2/8 mm

$\delta_{y25}$   
→ 66,10 mm

$$d_1 - d_{25} = 21,93 \text{ mm}$$

Deponie DeetzSickerrohre DN300 / Si 510Spannungsnachweis

Infolge symmetrischer Belastung ist der Rohrquerschnitt leicht überdrückt, d.h. es treten im Wesentlichen nur Druckspannungen auf. Dies erklärt sich durch die, im Vergleich zur Vollwand geringere Querschnittsfläche profilierter Rohre.

Lastfall : max  $\ddot{U} = 50 \text{ m}$  ----  $p_0 = 0,90 \text{ N/mm}^2$  / Profil Si 510

$$\sigma_{\max} = S_{\max} = - 5,99 \text{ N/mm}^2 \text{ (Druck) Element 14}$$

Herleitung :

$$P/A = \text{Normalkraftanteil} = - 3,237 \text{ N/mm}^2$$

$$M_t / S_t = - 2,749 \text{ N/mm}^2 \text{ mit } S_t = W \text{ (s.u.)}$$

$$\begin{aligned} \text{Spannungen : } \sigma &= P / A + M / W \\ &= -3,237 - 2,749 = - 5,99 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Profilkennwerte Si 510 : } \min W &= 130,8 \text{ mm}^3/\text{mm} \\ A_{\text{eff}} &= 14,5 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{Druckseite : } \sigma_d = - 5,99 \text{ N/mm}^2 \text{ am Element 15}$$

Zugseite :  $-0,49 \text{ N/mm}^2$  --- Querschnitt wird überdrückt, keine Zugkräfte im maßgebenden Bereich

Die kritischen Spannungen betragen gemäß Datenblatt (s.Seite 4)

$$\sigma_d = \sigma_z = 28,9 \text{ N/mm}^2 \text{ Druck für } T = 20 \text{ °C} \text{ und } t = 100 \text{ Jahre}$$

$$T = 30 \text{ °C} : 28,9 * 0,85 * 0,9 = 22,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{nach DIN 4266}$$

Temperatur und Medieneinfluss

Sicherheit im Spannungsnachweis nach ATV-M 127

$$\gamma_s = 22,1 / 5,99 = 3,6 > 2,50 \quad \text{für } T = 30 \text{ °C} \text{ und}$$

Biegedruck nach ATV- A127 und - M127

## Beamresult List

Time step 10

*Lastaufbringung in 10 Schritten*

NODE	AXIAL	SHEAR_S	SHEAR_T	TORQUE	MOMENT_S	MOMENT_T
	P/A	Ms/Ss	Mt/St	SMIN	SMAX	
ELEMENT : 1						
1	4.433e+001	2.944e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.453e-010
	-3.057e+000	0.000e+000	9.774e-013	-3.057e+000	-3.057e+000	
2	-4.433e+001	-2.944e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	6.548e+001
	-3.057e+000	0.000e+000	4.405e-001	-2.617e+000	-3.497e+000	
ELEMENT : 2						
2	4.386e+001	4.160e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-6.548e+001
	-3.025e+000	0.000e+000	4.405e-001	-2.584e+000	-3.465e+000	
3	-4.386e+001	-4.160e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.580e+002
	-3.025e+000	0.000e+000	1.063e+000	-1.962e+000	-4.088e+000	
ELEMENT : 3						
3	4.348e+001	1.608e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.580e+002
	-2.999e+000	0.000e+000	1.063e+000	-1.936e+000	-4.062e+000	
4	-4.348e+001	-1.608e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.938e+002
	-2.999e+000	0.000e+000	1.303e+000	-1.695e+000	-4.302e+000	
ELEMENT : 4						
4	4.344e+001	-9.210e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.938e+002
	-2.996e+000	0.000e+000	1.303e+000	-1.692e+000	-4.299e+000	
5	-4.344e+001	9.210e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.733e+002
	-2.996e+000	0.000e+000	1.166e+000	-1.830e+000	-4.162e+000	
ELEMENT : 5						
5	4.368e+001	-2.653e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.733e+002
	-3.012e+000	0.000e+000	1.166e+000	-1.846e+000	-4.178e+000	
6	-4.368e+001	2.653e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.143e+002
	-3.012e+000	0.000e+000	7.688e-001	-2.243e+000	-3.781e+000	
ELEMENT : 6						
6	4.409e+001	-3.650e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.143e+002
	-3.041e+000	0.000e+000	7.688e-001	-2.272e+000	-3.810e+000	
7	-4.409e+001	3.650e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.312e+001
	-3.041e+000	0.000e+000	2.228e-001	-2.818e+000	-3.264e+000	
ELEMENT : 7						
7	4.460e+001	-4.050e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.312e+001
	-3.076e+000	0.000e+000	2.228e-001	-2.853e+000	-3.299e+000	
8	-4.460e+001	4.050e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-5.693e+001
	-3.076e+000	0.000e+000	-3.830e-001	-2.693e+000	-3.459e+000	
ELEMENT : 8						
8	4.513e+001	-4.024e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	5.693e+001
	-3.112e+000	0.000e+000	-3.830e-001	-2.729e+000	-3.495e+000	
9	-4.513e+001	4.024e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.464e+002
	-3.112e+000	0.000e+000	-9.849e-001	-2.127e+000	-4.097e+000	
ELEMENT : 9						
9	4.564e+001	-3.689e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.464e+002
	-3.147e+000	0.000e+000	-9.849e-001	-2.162e+000	-4.132e+000	
10	-4.564e+001	3.689e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.285e+002
	-3.147e+000	0.000e+000	-1.537e+000	-1.611e+000	-4.684e+000	

	P/A		M <sub>x</sub> /S <sub>t</sub>		$\sigma_{max}$	
ELEMENT : 10						
10	4.609e+001	-3.148e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.285e+002
	-3.179e+000	0.000e+000	-1.537e+000	-1.642e+000	-4.715e+000	
11	-4.609e+001	3.148e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.985e+002
	-3.179e+000	0.000e+000	-2.008e+000	-1.171e+000	-5.186e+000	
ELEMENT : 11						
11	4.646e+001	-2.462e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.985e+002
	-3.204e+000	0.000e+000	-2.008e+000	-1.196e+000	-5.212e+000	
12	-4.646e+001	2.462e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.532e+002
	-3.204e+000	0.000e+000	-2.376e+000	-8.280e-001	-5.580e+000	
ELEMENT : 12						
12	4.673e+001	-1.692e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.532e+002
	-3.223e+000	0.000e+000	-2.376e+000	-8.470e-001	-5.599e+000	
13	-4.673e+001	1.692e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.908e+002
	-3.223e+000	0.000e+000	-2.629e+000	-5.939e-001	-5.852e+000	
ELEMENT : 13						
13	4.690e+001	-7.995e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.908e+002
	-3.235e+000	0.000e+000	-2.629e+000	-6.054e-001	-5.864e+000	
14	-4.690e+001	7.995e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.086e+002
	-3.235e+000	0.000e+000	-2.749e+000	-4.858e-001	-5.983e+000	
ELEMENT : 14						
14	4.693e+001	3.370e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	4.086e+002
	-3.237e+000	0.000e+000	-2.749e+000	-4.881e-001	-5.986e+000	$\sigma_{max} = -5,99$
15	-4.693e+001	-3.370e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.011e+002
	-3.237e+000	0.000e+000	-2.698e+000	-5.385e-001	-5.935e+000	
ELEMENT : 15						
15	4.679e+001	1.907e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	4.011e+002
	-3.227e+000	0.000e+000	-2.698e+000	-5.285e-001	-5.925e+000	
16	-4.679e+001	-1.907e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.587e+002
	-3.227e+000	0.000e+000	-2.413e+000	-8.138e-001	-5.640e+000	
ELEMENT : 16						
16	4.642e+001	3.788e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.587e+002
	-3.201e+000	0.000e+000	-2.413e+000	-7.883e-001	-5.614e+000	
17	-4.642e+001	-3.788e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.745e+002
	-3.201e+000	0.000e+000	-1.846e+000	-1.355e+000	-5.048e+000	
ELEMENT : 17						
17	4.588e+001	4.529e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.745e+002
	-3.164e+000	0.000e+000	-1.846e+000	-1.318e+000	-5.010e+000	
18	-4.588e+001	-4.529e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.737e+002
	-3.164e+000	0.000e+000	-1.169e+000	-1.995e+000	-4.333e+000	
ELEMENT : 18						
18	4.525e+001	5.038e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.737e+002
	-3.121e+000	0.000e+000	-1.169e+000	-1.952e+000	-4.290e+000	
19	-4.525e+001	-5.038e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-6.171e+001
	-3.121e+000	0.000e+000	-4.151e-001	-2.706e+000	-3.536e+000	
ELEMENT : 19						
19	4.460e+001	5.017e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	6.171e+001
	-3.076e+000	0.000e+000	-4.151e-001	-2.660e+000	-3.491e+000	
20	-4.460e+001	-5.017e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	4.985e+001
	-3.076e+000	0.000e+000	3.354e-001	-2.740e+000	-3.411e+000	

## ELEMENT : 20

20	4.399e+001	4.214e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.985e+001
	-3.034e+000	0.000e+000	-3.354e-001	-2.699e+000	-3.369e+000	
21	-4.399e+001	-4.214e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.436e+002
	-3.034e+000	0.000e+000	9.657e-001	-2.068e+000	-4.000e+000	

## ELEMENT : 21

21	4.358e+001	2.164e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.436e+002
	-3.005e+000	0.000e+000	9.657e-001	-2.039e+000	-3.971e+000	
22	-4.358e+001	-2.164e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.917e+002
	-3.005e+000	0.000e+000	1.290e+000	-1.716e+000	-4.295e+000	

## ELEMENT : 22

22	4.351e+001	-1.152e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.917e+002
	-3.001e+000	0.000e+000	1.290e+000	-1.711e+000	-4.290e+000	
23	-4.351e+001	1.152e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.661e+002
	-3.001e+000	0.000e+000	1.117e+000	-1.884e+000	-4.118e+000	

## ELEMENT : 23

23	4.388e+001	-4.488e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.661e+002
	-3.026e+000	0.000e+000	1.117e+000	-1.909e+000	-4.143e+000	
24	-4.388e+001	4.488e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	6.627e+001
	-3.026e+000	0.000e+000	4.458e-001	-2.580e+000	-3.472e+000	

## ELEMENT : 24

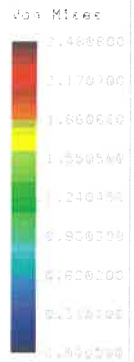
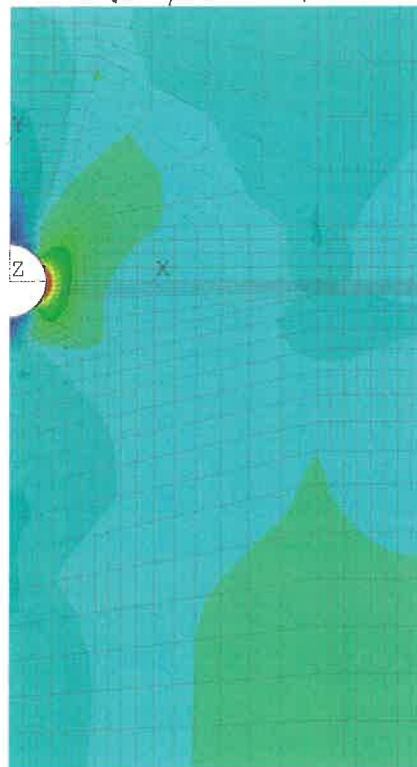
24	4.437e+001	-2.980e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-6.627e+001
	-3.060e+000	0.000e+000	4.458e-001	-2.614e+000	-3.506e+000	
25	-4.437e+001	2.980e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.510e-010
	-3.060e+000	0.000e+000	-1.016e-012	-3.060e+000	-3.060e+000	



D. Deetz

Systemverformung  
Gesamtssystem

↓  $p_0 = 0,90 \frac{N}{mm^2} \left( 900 \frac{kg}{m^2} \right)$



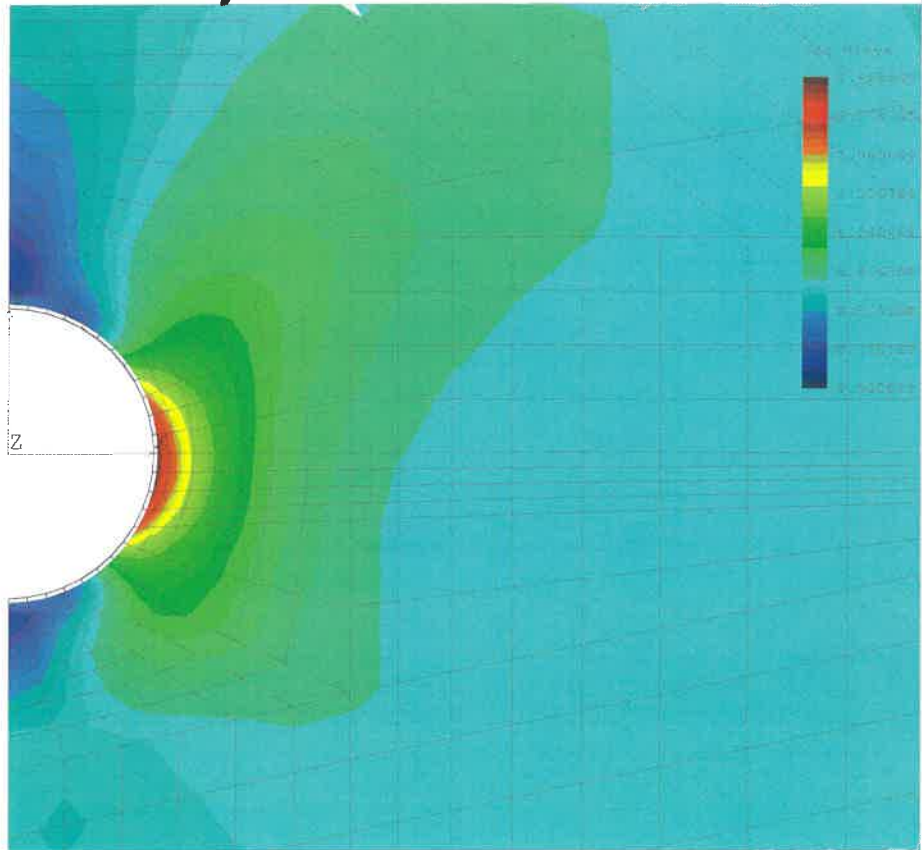
D. Deetz  
 $\dot{u} = 50 \text{ mm}$

- 25 -

Spannungsverteilung  
Detail

$\downarrow p_0 = 300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

STRESS Break



## Deponie Deetz

### Stabilitätsnachweis

LF:  $\ddot{U} = 50 \text{ m} / p_0 = 0,90 \text{ N/mm}^2$

1. Der Stabilitätsnachweis kann mittels einer nichtlinearen Berechnung gemäß Theorie II Ordnung durchgeführt werden. Hierbei wird die Belastung schrittweise, bis zum zweifachen Betrag erhöht, um so den Einfluss der steigenden Verformungen zu berücksichtigen. Die Spannungen bei 2-facher Lasterhöhung betragen (Element 15):

$$\sigma_{\max} = -12,0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{bei 2-facher Druckbelastung}$$

$$k_{\text{rit}}\sigma = 28,9 \text{ N/mm}^2 \quad \text{für } T = 20^\circ\text{C, Langzeit 100 Jahre}$$

$$k_{\text{rit}}\sigma = 22,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{für } T = 30^\circ\text{C, Langzeit 100 Jahre}$$

d.h. die Sicherheit liegt für die doppelte Lasterhöhung, nichtlinear, bei

$$\gamma_s = 22,1 / 12,0 * 2 = 3,6 > 2,5 \quad \text{Druckspannungen } T = 30^\circ\text{C}$$

d.h. ohne Anzeichen einer systemischen Instabilität (nichtlinearer Abfall der Sicherheit).

2. Stabilitätsnachweis nach ATV-DVWK-A127, August 2000

Gemäß Rohrsteifigkeit Si510 und Diagramm ( s.Anlage)

Kritische Beulspannung:

$k_{\text{rit}} q_v = 2 * \kappa_{v2} * / 8 * S_o * S_{Bh}$	Gl. (9.06a) / ATV-A127
---	------------------------

$$\text{mit } S_o = E_R * I / d_m^3 = 138 * 5530 / 337^3$$

$$S_o = 0,0199 \text{ N/mm}^2$$

und  $t = s = 40,5 \text{ mm}$  , äquivalente Vollwand.

$$d_m = 300 + 2 * 18,4 = 336,9 \text{ mm}$$

Horizontale Bettungssteifigkeit :

$$S_{Bh} = 0,6 * \xi * E_2$$

$$S_{Bh} = 0,6 * 1 * 55 = 33$$

mit  $E_2 = E_{BS} = 55 \text{ N/mm}^2$   $E_B$ -Modul der seitlichen Bettung Kies 16/32

und  $\xi$  aus Diagramm D8 / ATV-A127 mit  $E_2 / E_3 = 1$  Dammbedingungen

weiterhin aus Diagramm D11/ ATV-A127 mit

$$V_{RB} = 8 * S_0 / S_{Bh} = 8 * 0,0199 / 33 = 4,8 * 10^{-3} \text{ Systemsteifigkeit}$$

$$\text{und } r_{m/s} = 4,2$$

folgt  $\kappa_{v2} = 0,82$  Abminderungsfaktor für erdbettete Rohre.

$$\text{krit } q_v = 2 * \kappa_{v2} * / 8 * S_0 * S_{Bh}$$

$$\text{krit } q_v = 2 * 0,82 * / 8 * 0,0199 * 33$$

$$= 1,64 * / 5,25 = 1,66 * 2,29 = 3,7 \text{ N/mm}^2$$

Sicherheit gegen Beulen infolge Erddruck:

$$\gamma_s = 3,7 / 0,90 = 4,1 > 2,0$$

## Beamresult List

		Time step 20					
NODE	AXIAL	SHEAR_S	SHEAR_T	TORQUE	MOMENT_S	MOMENT_T	
	P/A	Ms/Ss	Mt/St	SMIN	SMAX		
ELEMENT : 1							
1	8.865e+001	5.889e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.906e-010	
	-6.114e+000	0.000e+000	1.955e-012	-6.114e+000	-6.114e+000		
2	-8.865e+001	-5.889e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.310e+002	
	-6.114e+000	0.000e+000	8.809e-001	-5.233e+000	-6.995e+000		
ELEMENT : 2							
2	8.772e+001	8.320e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.310e+002	
	-6.050e+000	0.000e+000	8.809e-001	-5.169e+000	-6.931e+000		
3	-8.772e+001	-8.320e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.160e+002	
	-6.050e+000	0.000e+000	2.126e+000	-3.924e+000	-8.176e+000		
ELEMENT : 3							
3	8.697e+001	3.217e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.160e+002	
	-5.998e+000	0.000e+000	2.126e+000	-3.872e+000	-8.123e+000		
4	-8.697e+001	-3.217e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.875e+002	
	-5.998e+000	0.000e+000	2.607e+000	-3.391e+000	-8.605e+000		
ELEMENT : 4							
4	8.688e+001	-1.842e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.875e+002	
	-5.992e+000	0.000e+000	2.607e+000	-3.385e+000	-8.599e+000		
5	-8.688e+001	1.842e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.465e+002	
	-5.992e+000	0.000e+000	2.331e+000	-3.660e+000	-8.323e+000		
ELEMENT : 5							
5	8.735e+001	-5.305e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.465e+002	
	-6.024e+000	0.000e+000	2.331e+000	-3.693e+000	-8.356e+000		
6	-8.735e+001	5.305e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.286e+002	
	-6.024e+000	0.000e+000	1.538e+000	-4.487e+000	-7.562e+000		
ELEMENT : 6							
6	8.818e+001	-7.300e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.286e+002	
	-6.082e+000	0.000e+000	1.538e+000	-4.544e+000	-7.619e+000		
7	-8.818e+001	7.300e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	6.624e+001	
	-6.082e+000	0.000e+000	4.456e-001	-5.636e+000	-6.527e+000		
ELEMENT : 7							
7	8.920e+001	-8.099e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-6.624e+001	
	-6.151e+000	0.000e+000	4.456e-001	-5.706e+000	-6.597e+000		
8	-8.920e+001	8.099e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.139e+002	
	-6.151e+000	0.000e+000	-7.660e-001	-5.385e+000	-6.917e+000		
ELEMENT : 8							
8	9.026e+001	-8.048e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.139e+002	
	-6.225e+000	0.000e+000	-7.660e-001	-5.459e+000	-6.991e+000		
9	-9.026e+001	8.048e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.928e+002	
	-6.225e+000	0.000e+000	-1.970e+000	-4.255e+000	-8.195e+000		
ELEMENT : 9							
9	9.128e+001	-7.379e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.928e+002	
	-6.295e+000	0.000e+000	-1.970e+000	-4.325e+000	-8.265e+000		
10	-9.128e+001	7.379e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-4.569e+002	
	-6.295e+000	0.000e+000	-3.074e+000	-3.221e+000	-9.369e+000		

$\tau_{max}$

ELEMENT : 10						
10	9.218e+001	-6.296e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	4.569e+002
	-6.357e+000	0.000e+000	-3.074e+000	-3.283e+000	-9.431e+000	
11	-9.218e+001	6.296e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-5.969e+002
	-6.357e+000	0.000e+000	-4.016e+000	-2.341e+000	-1.037e+001	
ELEMENT : 11						
11	9.292e+001	-4.924e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	5.969e+002
	-6.408e+000	0.000e+000	-4.016e+000	-2.393e+000	-1.042e+001	
12	-9.292e+001	4.924e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-7.064e+002
	-6.408e+000	0.000e+000	-4.752e+000	-1.656e+000	-1.116e+001	
ELEMENT : 12						
12	9.347e+001	-3.384e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	7.064e+002
	-6.446e+000	0.000e+000	-4.752e+000	-1.694e+000	-1.120e+001	
13	-9.347e+001	3.384e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-7.816e+002
	-6.446e+000	0.000e+000	-5.258e+000	-1.188e+000	-1.170e+001	
ELEMENT : 13						
13	9.380e+001	-1.599e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	7.816e+002
	-6.469e+000	0.000e+000	-5.258e+000	-1.211e+000	-1.173e+001	
14	-9.380e+001	1.599e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-8.172e+002
	-6.469e+000	0.000e+000	-5.498e+000	-9.715e-001	-1.197e+001	
ELEMENT : 14						
14	9.387e+001	6.741e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	8.172e+002
	-6.474e+000	0.000e+000	-5.498e+000	-9.761e-001	-1.197e+001	
15	-9.387e+001	-6.741e-001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-8.022e+002
	-6.474e+000	0.000e+000	-5.397e+000	-1.077e+000	-1.187e+001	
ELEMENT : 15						
15	9.358e+001	3.814e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	8.022e+002
	-6.454e+000	0.000e+000	-5.397e+000	-1.057e+000	-1.185e+001	
16	-9.358e+001	-3.814e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-7.174e+002
	-6.454e+000	0.000e+000	-4.826e+000	-1.628e+000	-1.128e+001	
ELEMENT : 16						
16	9.284e+001	7.577e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	7.174e+002
	-6.403e+000	0.000e+000	-4.826e+000	-1.577e+000	-1.123e+001	
17	-9.284e+001	-7.577e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-5.489e+002
	-6.403e+000	0.000e+000	-3.693e+000	-2.710e+000	-1.010e+001	
ELEMENT : 17						
17	9.175e+001	9.059e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	5.489e+002
	-6.328e+000	0.000e+000	-3.693e+000	-2.635e+000	-1.002e+001	
18	-9.175e+001	-9.059e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.475e+002
	-6.328e+000	0.000e+000	-2.337e+000	-3.990e+000	-8.665e+000	
ELEMENT : 18						
18	9.050e+001	1.008e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.475e+002
	-6.242e+000	0.000e+000	-2.337e+000	-3.904e+000	-8.579e+000	
19	-9.050e+001	-1.008e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.234e+002
	-6.242e+000	0.000e+000	-8.302e-001	-5.411e+000	-7.072e+000	
ELEMENT : 19						
19	8.919e+001	1.003e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.234e+002
	-6.151e+000	0.000e+000	-8.302e-001	-5.321e+000	-6.981e+000	
20	-8.919e+001	-1.003e+001	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	9.970e+001
	-6.151e+000	0.000e+000	6.707e-001	-5.480e+000	-6.822e+000	

$\tau_{max} = -11,97 \frac{N}{mm^2}$

## ELEMENT : 20

20	8.798e+001	8.428e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-9.970e+001
	-6.068e+000	0.000e+000	6.707e-001	-5.397e+000	-6.739e+000	
21	-8.798e+001	-8.428e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	2.871e+002
	-6.068e+000	0.000e+000	1.931e+000	-4.136e+000	-7.999e+000	

## ELEMENT : 21

21	8.715e+001	4.329e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-2.871e+002
	-6.010e+000	0.000e+000	1.931e+000	-4.079e+000	-7.942e+000	
22	-8.715e+001	-4.329e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.834e+002
	-6.010e+000	0.000e+000	2.579e+000	-3.431e+000	-8.589e+000	

## ELEMENT : 22

22	8.702e+001	-2.304e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.834e+002
	-6.001e+000	0.000e+000	2.579e+000	-3.422e+000	-8.580e+000	
23	-8.702e+001	2.304e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.321e+002
	-6.001e+000	0.000e+000	2.234e+000	-3.767e+000	-8.236e+000	

## ELEMENT : 23

23	8.776e+001	-8.976e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.321e+002
	-6.053e+000	0.000e+000	2.234e+000	-3.818e+000	-8.287e+000	
24	-8.776e+001	8.976e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	1.325e+002
	-6.053e+000	0.000e+000	8.916e-001	-5.161e+000	-6.944e+000	

## ELEMENT : 24

24	8.874e+001	-5.960e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-1.325e+002
	-6.120e+000	0.000e+000	8.916e-001	-5.228e+000	-7.012e+000	
25	-8.874e+001	5.960e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-3.020e-010
	-6.120e+000	0.000e+000	-2.031e-012	-6.120e+000	-6.120e+000	





## Deponie Deetz

### Sickerrohre DN300, Profil „Si510“

#### Lastfall: Einbauzustand

#### Nachweis nach ATV-A127 und –M127

Material PE-HD	PE 100
Überdeckung:	minÜ = <b>0,50 m</b>
Belastung:	SLW60 (ohne Strassenoberbau)
Wichte des Deponiegutes:	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ (Kiesdamm)
Bemessungstemperatur:	T = 30 °C (mittlere Temp.)

#### Ergebnisse

Nachweis		Lastfall 2	Zulässige Werte
Verformung	$\delta$ (%)	1,75	< 6
Spannungen	$\sigma$ (-)	11,7	1,5 für Druck Sohle
Spannungen	$\sigma_z$ (-)	6,8	2,5 für Zug / Kämpfer
Stabilität	$\gamma$ (-)	42	> 2,0

#### Bemerkung

Die Mindestüberdeckung nach ATV-A127 beträgt 0,50 m. Da im Einbauzustand im Deponiebereich kein befestigter Oberbau vorhanden ist, wird empfohlen die Sickerrohre erst nach 0,70 – 0,80 m (2x Da nach DIN 19667) mit Schwerlastverkehr zu überfahren. Dabei sollten die Seitenbereiche soweit verfüllt sein, dass keine Verschiebung des Dammmaterials möglich ist.

## Statische Berechnung

Bauvorhaben: Deponie Deetz  
Beschreibung: Sickerrohre DN300  
Auftraggeber: BN Umwelt GmbH  
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Andreas Wellmann  
Statik-Nr.: Deetz\_Ü=0,50m  
Datum: 05.01.2022

## Inhaltsangabe

<b>1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage</b>	<b>3</b>
1.1 Eingaben	3
1.1.1 Sicherheiten	3
1.1.2 Boden	3
1.1.3 Belastung	3
1.1.4 Einbau	3
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	3
1.1.5.1 Thermoplast	4
1.2 Ergebnisse	5
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	5
1.2.1.1 Materialeigenschaften	5
1.2.1.2 Sicherheiten	5
1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	5
1.2.2 Zwischenergebnisse	6
1.2.2.1 Belastung	6
1.2.2.2 Boden-Verformungsmoduln EB	6
1.2.2.3 Bodensteifigkeiten	6
1.2.2.4 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	7
1.2.2.5 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	7
1.2.2.6 Steifigkeitsverhältnisse	7
1.2.2.7 Beiwerte	7
1.2.2.8 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	8
1.2.2.9 Druckverteilung am Rohrumfang	9
1.2.3 Schnittkräfte	9
1.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	9
1.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	10
1.2.4 Nachweise Kurzzeit	12
1.2.4.1 Spannungsnachweis	12
1.2.4.2 Verformungsnachweis	13
1.2.5 Nachweise Langzeit	13
1.2.5.1 Spannungsnachweis	13
1.2.5.2 Verformungsnachweis	14
1.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear	15
1.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	15

## 1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage

Berechnungsart:  
 Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Vollwand-/Profilrohr  
 Ja

### 1.1 Eingaben

#### 1.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:  
 Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:  
 Zulässige Verformung:  
 Behandlung von Innendruck:  
 Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:  
 Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:  
 Berücksichtigung von dyn pvh\*:  
 Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:

A (Regelfall)  
 Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)  
 6% (Regelfall)  
 Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127  
 Nein (ATV-DVWK-A 127)  
 Nicht erforderlich  
 Nach Norm  
 Ja

#### 1.1.2 Boden

Bodengruppe Einbettung:  
 Berechnung E20:  
 $E4 = 10 \cdot E1$ :  
 Bodengruppe unter Rohr:  
 Berechnung E4:  
 Verdichtungsgrad E4:  
 Anwendung von Silotheorie:  
 Manuelle Angabe  $\kappa$  und  $\kappa0$ :

G1  
 Tabelle 8 (A127)  
 Nein  
 G4  
 Verdichtungsgrad  
 $D_{Pr,E4}$  97,0 %  
 Ja  
 Nein

#### 1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:  
 Minimaler Grundwasserstand über Sohle:  
 Maximaler Grundwasserstand über Sohle:  
 Wichte des Bodens:  
 Zusätzliche Flächenlast:  
 Innendruck, kurzzeitig wirkend:  
 Innendruck, langfristig:  
 Wasserfüllung (z.B. Staukanal):  
 Verkehrslast:  
 Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

$h$  0,50 m  
 $h_{w,min}$  0,00 m  
 $h_{w,max}$  0,00 m  
 $\gamma$  20,0 kN/m<sup>3</sup>  
 $p_0$  0,0 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_{I,\kappa}$  0,00 bar  
 $P_{I,L}$  0,00 bar  
 Nein  
 SLW 60  
 $\alpha_{qH,dyn}$  0,00 %

#### 1.1.4 Einbau

Einbauweise:  
 Bodenverhalten:  
 Einbettungsbedingung:  
 Auflagerart:  
 Auflagerwinkel:  
 Relative Ausladung automatisch ermitteln:  
 Untere Sockelhöhe vorgeben:  
 Gesamt-Sockelhöhe:

Damm  
 $E1 = E20 = E3$   
 B1  
 Lose  
 120° ✓  
 Ja  
 Nein  
 $h_s$  0,00 m

#### 1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:

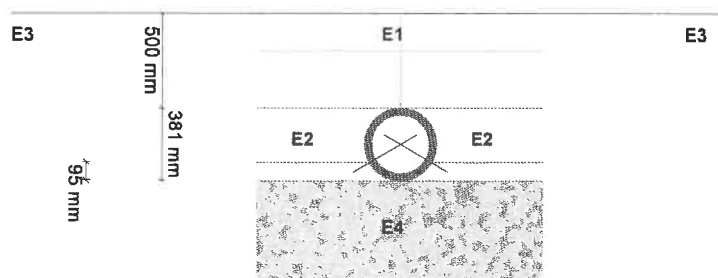
Vollwand

Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	$\delta_{v,TypA}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,lokal}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	$D_i$ und $s$		
Innendurchmesser:	$d_i$	300,0	mm
Wandstärke:	$s$	40,5	mm
Perforation:	2/3 (Scheitel, Kämpfer)		
Perforationsgeometrie:	Gelocht		
Anzahl Löcher Pro 1 Meter:	nw	10	1/m
Lochabstand:	$l_1$	100,00	mm
Lochdurchmesser:	bw	12,00	mm

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Manuell		
Elastizitätsmodul, Kurzzeit:	$E_K$	1.200	N/mm <sup>2</sup>
Elastizitätsmodul, Langzeit:	$E_L$	200	N/mm <sup>2</sup>
Wichte:	$\gamma$	9,5	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl:	$\nu$	0,38	[-]
Biegezugfestigkeit, Kurzzeit:		23,0	N/mm <sup>2</sup>
Biegezugfestigkeit, Langzeit:		17,0	N/mm <sup>2</sup>
Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:		38,0	N/mm <sup>2</sup>
Biegedruckfestigkeit, Langzeit:		28,0	N/mm <sup>2</sup>
Angabe der Grenzspannungen Ringzug:	Ja		
Ringzugfestigkeit, Kurzzeit:		23,00	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit, Langzeit:		17,00	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen ist bekannt:	Nein		
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen ist bekannt:	Nein		
Grund der Abminderung:	Temperatur		
Temperatureinfluss:	Freie Eingabe		
Rohrwandtemperatur:	$T$	30,00	°
Abminderungsfaktor Temp.:	$A_{Temp}$	0,85	[-]

Verkehrslast: SLW 60



## 1.2 Ergebnisse

### 1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	300,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	381,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	170,25	mm
Wanddicke:	$s$	40,50	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	4,204	[-]

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{s}{3 \cdot r_m} \quad \text{A 127 (8.14a)}$$

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,079	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

$$\alpha_{ka} = 1 - \frac{s}{3 \cdot r_m} \quad \text{A 127 (8.14b)}$$

Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,921	[-]
Örtliche Vorverformung:	$\delta_{vl}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{vg}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	40,50	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	20,25	mm
Trägheitsmoment:	$I$	5.535,84	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	273,38	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	273,38	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$\kappa_Q$	1,2	[-]

$$K_W = \frac{A_{netto}}{A_{brutto}} = \frac{I_{netto}}{I_{brutto}} = \frac{I_1 + b_W}{I_1} \quad \text{ATV M127-1 M7}$$

$$K_{SR} = \left( 1 - \frac{n_W \cdot b_W^2}{8000 \cdot r_m} \right) \quad \text{ATV M127-1 M8b}$$

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Verschwächungsbeiwert Ringsteifigkeit	$K_{SR}$	1,00	1,00	1,00	[-]
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	$K_W$	0,88	0,88	1,00	[-]

#### 1.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	$\gamma_R$	9,5	9,5	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl	$\nu$	0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	$E_R$	1.020,0	170,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	19,6	14,5	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	32,3	23,8	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit	$\sigma_{RZ}$	19,6	14,5	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:	$2\sigma_{a,2E6}$	n. def.	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:	$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:	$2\sigma_{a,1E8}$	n. def.	n. def.	N/mm <sup>2</sup>

#### 1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf $\gamma_{RBZ}$	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf $\gamma_{RBD}$	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf $\gamma_{stsb}$	2,50	2,50	[-]

1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 / DWA-A 139 wird nicht überprüft.

**1.2.2 Zwischenergebnisse**

1.2.2.1 Belastung

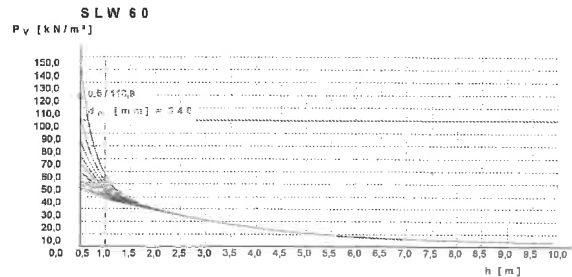
Grundwasserstand über Scheitel:  $h_{W,Scheitel} = 0,00 \text{ m}$

$$P_{Erd} = h \cdot \gamma \tag{5.01}$$

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:  $P_{Erd} = 10,00 \text{ kN/m}^2$

$$P_E = P_{Erd} + p_0 \tag{5.03}$$

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:  $P_E = 10,00 \text{ kN/m}^2$



Spannung aufgrund Verkehrslast:  $P_V = 118,85 \text{ kN/m}^2$

Enthaltener Stoßfaktor:  $\phi = 1,20 \text{ [-]}$

1.2.2.2 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Einbettung unter Last:  $E_{20,\sigma} = 16,00 \text{ N/mm}^2$

Reduktionsfaktor für das Kriechen:  $f_1 = 1,000 \text{ [-]}$

Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):  $f_2 = 1,000 \text{ [-]}$

Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):  $\alpha_B = 1,000 \text{ [-]}$

Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser)  $\geq 4$ , ergibt die Formel 6.03 immer den Wert 1,0.

$$E_{2,\sigma} = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{20,\sigma} \tag{6.02}$$

E-Modul Einbettung (abgemindert):  $E_{2,\sigma} = 16,00 \text{ N/mm}^2$

$$E_{1,\sigma} = E_{20,\sigma}$$

E-Modul Verfüllung unter Last:  $E_{1,\sigma} = 16,00 \text{ N/mm}^2$

$$E_{3,\sigma} = E_{20,\sigma}$$

E-Modul anstehender Boden:  $E_{3,\sigma} = 16,00 \text{ N/mm}^2$

$$E_{4,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})} \tag{3.01}$$

E-Modul Boden unter dem Rohr:  $E_{4,\sigma} = 5,69 \text{ N/mm}^2$

1.2.2.3 Bodensteifigkeiten

$$\zeta = \frac{1,667}{\Delta_f + \frac{1,667 - \Delta_f}{E_{3,\sigma}} \cdot E_{2,\sigma}} \tag{6.17}$$

Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:  $\zeta$  1,000 [-]

Der Korrekturfaktor  $\zeta$  nach 6.17 ist bei Dammbedingungen immer 1,0, da das Verhältniss (Breite in Kämpferhöhe/Außendurchmesser) mit > 4 angenommen wird.

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma} \quad (6.16)$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:  $S_{Bh}$  9,600 N/mm<sup>2</sup>

$$S_{Bv} = \frac{E_{2,\sigma}}{a} \quad (6.12)$$

Vertikale Bettungssteifigkeit:  $S_{Bv}$  16,000 N/mm<sup>2</sup>

#### 1.2.2.4 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:  $2\alpha$  120 °

$$t_r = r_a \cdot \cos(2\alpha/2) \cdot r_a$$

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:  $t_r$  0,095 m  
 Berechnete Ausladung:  $a$  1,00 [-]

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2} \geq 0,26 \quad (6.05)$$

Wirksame Ausladung:  $a'$  1,000 [-]  
 Innerer Reibungswinkel:  $\varphi'$  35,000 °

Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten
-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

#### 1.2.2.5 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Umfangsrichtung	ER	1.020,0	954,0	170,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	σRBZ	19,6	19,2	14,5	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	σRBD	32,3	31,6	23,8	N/mm <sup>2</sup>
Rohrsteifigkeit	SR	1.143	1.069	190.507	kN/m <sup>2</sup>
Verschwächungsbeiwert Ringsteifigkeit	KSR	1,00	1,00	1,00	[-]

$$S_R = K_{SR} \cdot \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \quad (6.10a)$$

#### 1.2.2.6 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet  $V_{RB,w}$  0,1191 0,1114 0,0198 [-]

$$V_{RB,w} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \quad (6.15)$$

Steifigkeitsverhältnis  $V_S$  1,0869 1,0380 --- [-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \quad (6.08a)$$

Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck  $c_v^*$  -0,066 -0,064 --- [-]

#### 1.2.2.7 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung)	K <sub>2</sub>	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K*	0,486	0,507	---	[-]



$$K^* = \frac{c'_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}} \quad (6.14)$$

Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0930	0,0930	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qh^*}$	-0,0721	-0,0721	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	$c_v^*$	-0,066	-0,064	---	[-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \quad (6.13)$$

1.2.2.8 Konzentrationsfaktoren  $\lambda_R$  und  $\lambda_B$

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} + \left[ \frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} \right] \frac{h}{d_a}} \quad (6.04)$$

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,064	1,064	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	$K'$	0,812	0,808	---	[-]

$$K' = \frac{c_{v,qh} + \frac{c_{h,qh}}{c_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \quad (6.06b)$$

Verhältnis:	$I/(A \cdot r_m^2)$	0,00472 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa \sim Q'$ :	$I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00566 [-]

		$q_v$		$q_h$		$q_{h^*}$	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	$c_v$	-0,0893		0,0833		0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	$c_v^N$	-0,6830		-0,6810		-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	$c_v^Q$	-0,3590		0,3350		0,2430	[-]

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + \nu) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q] \quad (6.20)$$

Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_v$	-0,0981		0,0853		0,0666	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0930		-0,0918		-0,0721	[-]

$$\lambda_R = \frac{\max \lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K' \cdot \max \lambda - 1}{3 \cdot (a' - 0,25)}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K' \cdot \max \lambda - 1}{3 \cdot (a' - 0,25)}} \quad (6.06a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	$\lambda_R$	1,010	1,008	---	[-]
---	-------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_{RG} = \lambda_R \quad (6.21b)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	$\lambda_{RG}$	1,010	1,008	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_{fo} = 4^{-0,15 \cdot h} \quad (6.23a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	$\lambda_{fo}$	3,925	3,925	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	$\lambda_{fu}$	0,654	0,654	---	[-]

$\lambda_{RG} = \lambda_{RG}$					
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	$\lambda_{RG}$	1,010	1,008	---	[-]
$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3}$					(6.07)
Konzentrationsfaktor Boden	$\lambda_B$	0,997	0,997	---	[-]

1.2.2.9 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
$q_v = \lambda_{RG} \cdot P_E + P_V$					(6.24)
Vertikale Gesamtlast	$q_v$	128,95	128,93	---	kN/m <sup>2</sup>
$q_h = K_2 \cdot \left( \lambda_B \cdot P_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right)$					(7.01)
Seitendruck	$q_h$	5,51	5,51	---	kN/m <sup>2</sup>
$q_{*h} = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c_{h,qh}^*}$					(7.02a)
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	$q_{*h}$	60,06	62,56	---	kN/m <sup>2</sup>
$q_{*hw} = \frac{c_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - c_{h,qh}^*}$					(7.02b)
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	$q_{*hw}$	0,00	0,00	---	kN/m <sup>2</sup>

1.2.3 Schnittkräfte

1.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
	$m_{qv}$	0,252	-0,254	0,312	[-]
	$m_{qh}$	-0,239	0,239	-0,282	[-]
	$m_{qh}^*$	-0,173	0,200	-0,207	[-]
	$m_g$	0,381	-0,440	0,520	[-]
	$m_w$	0,190	-0,220	0,260	[-]
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	0,942	-0,949	1,166	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-0,038	0,038	-0,045	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	$M_{*qh}$	-0,301	0,348	-0,360	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	$M_{*qw}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	0,004	-0,005	0,006	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{*qh} + M_{*qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Summe der Momente	$\Sigma M$	0,607	-0,568	0,767	kNm/m

$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh}$					
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,603	-0,563	0,761	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Summe der Momente anderer Lasten	$\Sigma M_{sonst}$	0,004	-0,005	0,006	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Summe ohne Wasserfüllung und Druck	$\Sigma M'$	0,607	-0,568	0,767	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
	$n_{pv}$	0,000	-1,000	0,000	[-]
	$n_{qh}$	-0,969	0,000	-1,013	[-]
	$n_{qh^*}$	-0,560	0,000	-0,595	[-]
	$n_{qh^*}$	-0,560	0,000	-0,595	[-]
	$n_g$	0,250	-1,571	-0,250	[-]
	$n_w$	0,625	0,215	1,375	[-]
	$n_{pa}$	-0,625	-0,215	-1,375	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	0,000	-21,954	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-0,909	0,000	-0,950	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	$N^*_{qh}$	-5,726	0,000	-6,084	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	$N^*_{qw}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,016	-0,103	-0,016	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pv}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pv}$					

Summe der Normalkräfte  $\Sigma N$  -6,618 -22,057 -7,050 kN/m

$$\Sigma N_{qv,qh,qh^*} = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh}$$

Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrsl.  $\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$  -6,635 -21,954 -7,034 kN/m

$$\Sigma N_{sonst} = N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pw}$$

Summe der Normalkräfte anderer Lasten  $\Sigma N_{sonst}$  0,016 -0,103 -0,016 kN/m

$$\Sigma N' = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N_g$$

Summe ohne Wasserfüllung und Druck  $\Sigma N'$  -6,618 -22,057 -7,050 kN/m

### 1.2.3.2 Schnittkräfte - Langzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
	$m_{qv}$	0,252	-0,254	0,312	[-]
	$m_{qh}$	-0,239	0,239	-0,282	[-]
	$m_{qh^*}$	-0,173	0,200	-0,207	[-]
	$m_g$	0,381	-0,440	0,520	[-]
	$m_w$	0,190	-0,220	0,260	[-]
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	0,942	-0,949	1,166	kNm/m

Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-0,038	0,038	-0,045	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	$M^*_{qh}$	-0,314	0,363	-0,375	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	$M^*_{qw}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	0,004	-0,005	0,006	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Summe der Momente	$\Sigma M$	0,594	-0,553	0,751	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh}$					
Summe der Momente aufgrund Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,590	-0,548	0,746	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Summe der Momente anderer Lasten	$\Sigma M_{sonst}$	0,004	-0,005	0,006	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Summe ohne Wasserfüllung und Druck	$\Sigma M'$	0,594	-0,553	0,751	kNm/m
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
	$n_{pv}$	0,000	-1,000	0,000	[-]
	$n_{qh}$	-0,969	0,000	-1,013	[-]
	$n_{qh^*}$	-0,560	0,000	-0,595	[-]
	$n_{qh^*}$	-0,560	0,000	-0,595	[-]
	$n_g$	0,250	-1,571	-0,250	[-]
	$n_w$	0,625	0,215	1,375	[-]
	$n_{pa}$	-0,625	-0,215	-1,375	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	0,000	-21,950	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-0,910	0,000	-0,951	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	$N^*_{qh}$	-5,965	0,000	-6,337	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	$N^*_{qw}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,016	-0,103	-0,016	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	0,000	0,000	0,000	kN/m
$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh} + N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pw}$					
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-6,858	-22,053	-7,305	kN/m
$\Sigma N_{qv,qh,qh^*} = N_{qv} + N_{qh} + N^*_{qh}$					
Summe der Normalkräfte aufgrund Erd- und Verkehrslasten	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-6,874	-21,950	-7,288	kN/m
$\Sigma N_{sonst} = N^*_{qw} + N_g + N_w + N_{pw}$					
Summe der Normalkräfte anderer Lasten	$\Sigma N_{sonst}$	0,016	-0,103	-0,016	kN/m

*Scheitel Kämpfer Sohle*

$$\Sigma N' = N_{qv} + N_{qh} + N'_{qh} + N_g$$

Summe ohne Wasserfüllung und Druck	$\Sigma N'$	-6,858	-22,053	-7,305	kN/m
------------------------------------	-------------	--------	---------	--------	------

**1.2.4 Nachweise Kurzzeit**

1.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf YRBZ	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf YRBD	2,50	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	19,55	19,55	19,55	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	32,30	32,30	32,30	N/mm <sup>2</sup>

**innen**

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$		1,079	[-]
---------------------------------	---------------	--	-------	-----

Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	$K_W$	Scheitel 0,88	Kämpfer 0,88	Sohle 1,00	[-]
--	-------	------------------	-----------------	---------------	-----

$$\sigma_{qv,qh,qh^*} = \frac{\Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{A_{rad} \cdot K_W} + \alpha_{ki} \frac{\Sigma M_{qv,qh,qh^*}}{W_i \cdot K_W} \quad (8.13)$$

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh^*}$	2,517	-3,142	2,830	N/mm <sup>2</sup>
--	-----------------------	-------	--------	-------	-------------------

$$\sigma_{sonst} = \frac{\Sigma N_{sonst}}{A_{rad} \cdot K_W} + \alpha_{ki} \frac{\Sigma M_{sonst}}{W_i \cdot K_W} \quad (8.13)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,020	-0,025	0,022	N/mm <sup>2</sup>
----------------------------------	------------------	-------	--------	-------	-------------------

$$\sigma = \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}$$

Spannung gesamt	$\sigma$	2,537	-3,167	2,852	N/mm <sup>2</sup>
-----------------	----------	-------	--------	-------	-------------------

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	7,707	---	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">6,854</span>	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	10,199	---	[-]

**außen**

Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$		0,921	[-]
---------------------------------	---------------	--	-------	-----

Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	$K_W$	Scheitel 0,88	Kämpfer 0,88	Sohle 1,00	[-]
--	-------	------------------	-----------------	---------------	-----

$$\sigma_{qv,qh,qh^*} = \frac{\Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{A_{rad} \cdot K_W} - \alpha_{ka} \frac{\Sigma M_{qv,qh,qh^*}}{W_a \cdot K_W} \quad (8.13)$$

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh^*}$	-2,492	1,539	-2,736	N/mm <sup>2</sup>
--	-----------------------	--------	-------	--------	-------------------

$$\sigma_{sonst} = \frac{\Sigma N_{sonst}}{A_{rad} \cdot K_W} - \alpha_{ka} \frac{\Sigma M_{sonst}}{W_a \cdot K_W} \quad (8.13)$$

Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,016	0,016	-0,020	N/mm <sup>2</sup>
----------------------------------	------------------	--------	-------	--------	-------------------

$$\sigma = \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}$$

Spannung gesamt	$\sigma$	-2,508	1,555	-2,756	N/mm <sup>2</sup>
-----------------	----------	--------	-------	--------	-------------------

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	12,574	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	12,878	---	11,720	[-]

1.2.4.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:	linear
Verhältnis:	$I/(A \cdot r_m^2)$ 0,00472 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa \sim Q'$ :	$I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa_Q$ 0,00566 [-]

	$c_v$	$q_v$	$q_h$	$q_h^*$	
Verformungsbeiwert für Biegemomente		-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	$c_v^N$	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	$c_v^Q$	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + \nu) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q] \quad (8.20)$$

Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_v$	-0,0981	0,0853	0,0666	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0930	-0,0918	-0,0721	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16a)$$

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16b)$$

Vertikale Durchmesseränderung:	$\Delta d_v$	2,44	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	$\Delta d_h$	2,13	mm

$$\delta_{v,B} = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in \%} \quad (8.17)$$

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,72	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%

$$\delta_{v,Ges} = \delta_{v,A} + \delta_{v,B}$$

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	1,72	%
Zulässige Verformung:	zul $\delta_v$	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5 Nachweise Langzeit

1.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf $\gamma_{RBZ}$	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf $\gamma_{RBD}$	2,50	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	19,12	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	31,59	N/mm <sup>2</sup>

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,079	[-]
	Scheitel	Kämpfer	Sohle

Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	KW	0,88	0,88	1,00	[-]
$\sigma_{qv,qh,qh^*} = \frac{\sum N_{qv,qh,qh^*}}{A_{rad} \cdot K_W} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\sum M_{qv,qh,qh^*}}{W_i \cdot K_W} \quad (8.13)$					
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh^*}$	2,453	-3,076	2,763	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{sonst} = \frac{\sum N_{sonst}}{A_{rad} \cdot K_W} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\sum M_{sonst}}{W_i \cdot K_W} \quad (8.13)$					
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,020	-0,025	0,022	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma = \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}$					
Spannung gesamt	$\sigma$	2,473	-3,101	2,786	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	7,731	---	6,862	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	10,184	---	[-]
<b>außen</b>					
Korrekturfaktor Krümmung außen:			$\alpha_{ka}$	0,921	[-]
Verschwächungsbeiwert Fläche und Widerstandsmoment	KW	Scheitel 0,88	Kämpfer 0,88	Sohle 1,00	[-]
$\sigma_{qv,qh,qh^*} = \frac{\sum N_{qv,qh,qh^*}}{A_{rad} \cdot K_W} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\sum M_{qv,qh,qh^*}}{W_a \cdot K_W} \quad (8.13)$					
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh^*}$	-2,450	1,483	-2,691	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{sonst} = \frac{\sum N_{sonst}}{A_{rad} \cdot K_W} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\sum M_{sonst}}{W_a \cdot K_W} \quad (8.13)$					
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,016	0,016	-0,020	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma = \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}$					
Spannung gesamt	$\sigma$	-2,466	1,499	-2,711	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	12,748	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	12,810	---	11,651	[-]

Alle nachweislichen Sicherheitsbeiwerte des Spannungsdruckes sind > 6, sicher!

### 1.2.5.2 Verformungsnachweis

Rechenmodus:

Verhältnis:

Verhältnis  $I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa \sim Q'$ :

linear

$I/(A \cdot r_m^2)$

0,00472 [-]

$I/(A \cdot r_m^2) \cdot \kappa_Q$

0,00566 [-]

		qv	qh	qh*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	$c_v$	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	$c_v^N$	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	$c_v^Q$	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + \nu) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q] \quad (6.20)$$

Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_v$	-0,0981	0,0853	0,0666	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qv}$	0,0930	-0,0918	-0,0721	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16a)$$

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*) \quad (8.16b)$$

Vertikale Durchmesseränderung:	$\Delta d_v$	2,55	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	$\Delta d_h$	2,22	mm

$$\delta_{v,B} = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in } \% \quad (8.17)$$

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,75	%
Lokale Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%

$$\delta_{v,Ges} = \delta_{v,A} + \delta_{v,B}$$

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	1,75	%
Zulässige Verformung:	zul $\delta_v$	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung

### 1.2.5.3 Nachweis Stabilität radial, linear

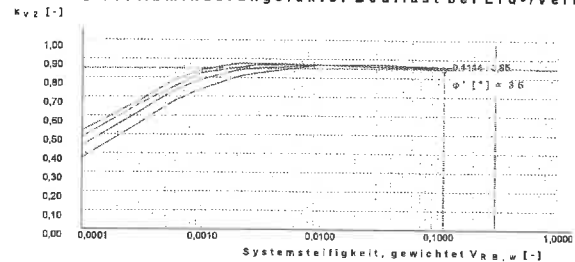
#### Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	$\bar{S}_R$	1,069	kN/m <sup>2</sup>
------------------	-------------	-------	-------------------

$$S_{Bh} = 0,60 \cdot \zeta \cdot E_{2,\sigma} \quad (6.16)$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:	$S_{Bh}$	9,600	N/mm <sup>2</sup>
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,1114	[-]

D 11: Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verke



$K_{v2}$	0,85	[-]
$\phi'$	35,000	°

Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:  
 Innerer Reibungswinkel:

$$k_{rit\ q_v} = K_{v2} \cdot \left( 3 + \frac{1}{3 \cdot V_{RB,w}} \right) \cdot \bar{S}_R \quad (9.06b)$$

Kritische vertikale Gesamtlast:	$k_{rit\ q_v}$	5.446,3	kN/m <sup>2</sup>
Vertikale Gesamtlast:	$q_v$	128,93	kN/m <sup>2</sup>

$$Y_{Stab,rad} = \frac{k_{rit\ q_v}}{q_v} \quad (9.07)$$

Sicherheit Stabilität, radial:	$Y_{Stab,rad}$	42,24	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf $Y_{stab}$	2,50	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

### 1.2.5.4 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da  $V_{RB} > 1.0$  (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung  $< 6\%$ .



## Literatur / Normen und Richtlinien

- /1/ ATV-DVWK-Regelwerk
- /1.1/ Arbeitsblatt A127  
Statische Berechnungen von Abwasserkanälen und Leitungen 3.Auflage 2000
- /1.2/ Arbeitsblatt M127-T1  
Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser in Deponien, 1996
- /2/ DIBt: Vorläufige Grundsätze für Bauteile in Deponien  
-Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme-  
Nov. 1995
- /3/ DIN 4266-1: Sickerrohre für Deponien
- /4/ DIN 19667: Dränung von Deponien; Planung, Bauausführung und Betrieb
- /5/ DIN 8074: Rohre aus Polyethylen PE-HD – Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen.
- /6/ Anforderungen an PE-HD-Formmassen im Hinblick auf das Trag- und Langzeitverhalten von Rohren und Bauteilen in Deponien  
SKZ-Vortrag „Die sichere Deponie“ Febr.2006
- /7/ „Statische Berechnung von Rohren, Schächten und Bauwerken aus PE-HD“  
Tagung „Die sichere Deponie“; SKZ-Würzburg /  
Dr.Ing A. Hoch, LGA-Nürnberg
- /8/ „Das mechanische Verhalten thermoplastischer Kunststoffe unter Druckbeanspruchung“ Dissertation / IKV-Berichte, Band168
- /9/ Messungen von Langzeitverformungen von erdverlegten PE-HD-Rohren  
Hoecht-AG, Abteilung F+E, E.Gaube+W.Müller

Zu berücksichtigen

DepV: Deponieverordnung

BQS 8-1: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard „Rohre, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien“

DIN 18200: Güteüberwachung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten

SKZ / TÜV-LGA Güterrichtlinie : Rohre, Schächte und Bauteile in Deponien



Basell Polyolefine GmbH  
 Industriepark Höchst | 65926 Frankfurt | Germany

 bauku  
 Troisdorfer Bau- und Kunststoff Gesellschaft mbH  
 Herr Wellmann  
 Industriestr. 7  
 51674 Wiehl

 Werner Rothhöft  
 BU Blow Moulding, Pipe & Sheet  
 Tel.: +49 (0) 69 305-35 87  
 Fax: +49 (0) 69 305-84 662  
 E-Mail: werner.rothhoeft@basell.com

Date: 24. Januar 2003

Our ref:

Your ref:

Subject: Diverse technische Unterlagen

Sehr geehrter Herr Wellmann,

 wie mit unserem Herrn Schulte besprochen übersenden wir Ihnen gerne einige technische Unterlagen über unsere Materialien *Hostalen* GM5010T3 black, *Hostalen* GM 5010 T3 natur und *Hostalen* CRP100 black.

Die folgenden typischen Kennwerte können für Hostalen-Rohrwerkstoffe zum Kurz- und Langzeitverhalten angenommen werden:

Eigenschaft	Prüfnorm <sup>1)</sup>	Zeit	Einheit	Hostalen			
				GM 5010 T3 Black	GM 5010 T3 A Black	GM 5010 T3 Natur	CRP 100 Black
Farbe				schwarz	schwarz	natur	schwarz
Dichte	ISO 1183		g/cm <sup>3</sup>	0,956	0,956	0,947	0,959
Biege-E-Modul	ISO 178 <sup>2)</sup>		N/mm <sup>2</sup>	900	900	900	950
Biege-E-Modul	DIN 53457 <sup>3)</sup>	1 min	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1200
		50 Jahre	N/mm <sup>2</sup>	170	170	170	200
Grenzbiege- spannung bei 3,5 %	ISO 178 <sup>2)</sup>		MPa	18,0	18,0	18,0	19,5
Biegezug- festigkeit	ISO 178 <sup>2)</sup>	ca. 5,5 min	MPa	22,0	22,0	21,5	22,5
		<sup>4)</sup> 1 min	MPa	22,5	22,5	22,0	23,0
		<sup>4)</sup> 50 Jahre	MPa	17,0	17,0	16,5	17,5
		<sup>4)</sup> 100 Jahre	MPa	16,8	16,8	16,3	17,3
Biegedruck- festigkeit	<sup>5)</sup>	1 min	MPa	37,5	37,5	37,0	38,5
		50 Jahre	MPa	28,4	28,4	27,6	29,2
		100 Jahre	MPa	28,1	28,1	27,3	28,9

1) Alle Probekörper gepreßt nach DIN 16776, Teil 2, zur Dichtemessung zusätzlich getempert

2) 3-Punkt-Biegeversuch bei 23°C, Prüfkörper 4x10 mm, Verformungsgeschwindigkeit 2,0 mm/min

 Tel +49 (0) 69-305-1 51 00  
 Fax +49 (0) 69-305-1 51 67  
 E-Mail: info@basell.com  
 Internet: www.basell.com

 Aufsichtsratsvorsitzender:  
 Rolf Richter  
 Geschäftsführung:  
 Manfred Dressel  
 Thomas Fichter

 Sitz der Gesellschaft:  
 Brühler Straße 60  
 50389 Wesseling  
 Registergericht:  
 Brühl HRB 3400

 Bankverbindung:  
 Deutsche Bank AG,  
 Ludwigshafen  
 BLZ 545 700 94  
 Konto 0115 733 00  
 Swift Code: DEUTDE33545

Tabelle 3 — Nachweisverfahren für Rechenwerte

Prüfung an	Kurzzeitwerte	Langzeitwerte
Probekörpern	Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul für Probekörper nach DIN EN ISO 178	Kriechverhalten nach DIN EN ISO 899-2, Prüfspannung 2 MPa, Prüfzeit 10 000 h mit Extrapolation auf 100 Jahre (Extrapolationsverfahren nach DIN EN ISO 9967) und Langzeitbiegefestigkeit unter Verwendung der Lang-/Kurzzeitverhältnisse aus Zeitstandfestigkeits-Diagrammen nach DVS 2205-1
Rohren	Ringsteifigkeit nach DIN EN ISO 9969	Kriechverhalten nach DIN EN ISO 9967, Prüfzeit 10 000 h mit Extrapolation auf 100 Jahre

Für aggressives Sickerwasser ist bei der statischen Berechnung für Sickerrohre ein Abminderungsfaktor  $A_2$  (Medieneinfluss) von 0,9 anzusetzen.

Temperatureinflüsse sind durch die Abminderungsfaktoren  $A_3$  nach Tabelle 4 zu berücksichtigen.

Tabelle 4 — Abminderungsfaktoren

Werkstoff	Abminderungsfaktoren $A_3$ bei Betriebstemperatur bis				
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
PE	0,85	0,70	0,55	0,40	—
PP-B oder PP-R	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50

ANMERKUNG Für die Ermittlung der Abminderungsfaktoren in Tabelle 4 wurde die DVS 2205-1 bei Spannung  $\sigma = 2$  MPa zugrunde gelegt.

Die biologische Beständigkeit gegen Mikroorganismen für die Werkstoffe PE und PP ist gegeben.

## 5.2 Geometrische Eigenschaften

### 5.2.1 Allgemeines

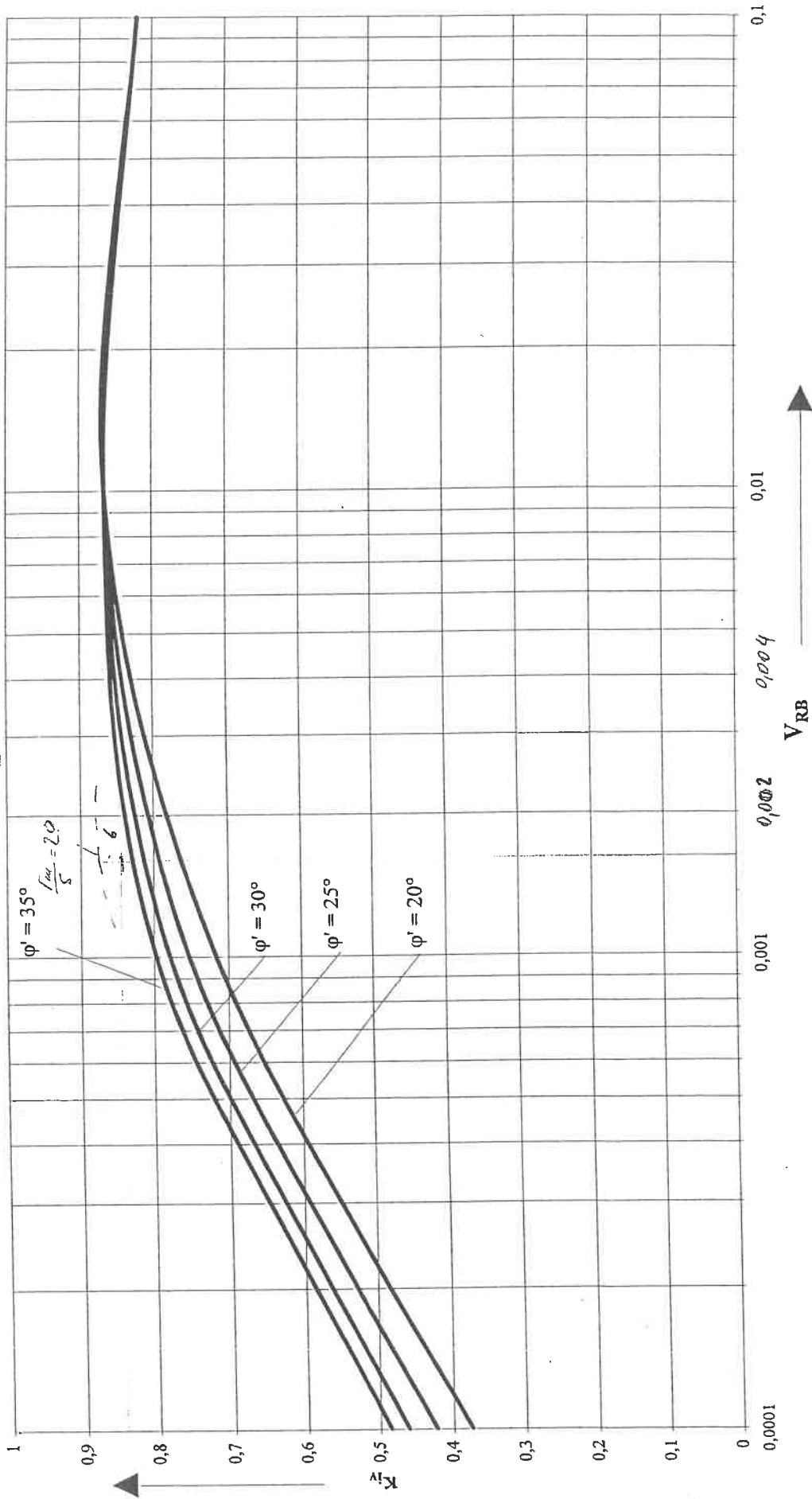
Die Maße von Sickerrohren nach dieser Norm müssen entweder

- DIN 8074 für runde Vollwandrohre aus PE oder
- DIN 8077 für runde Vollwandrohre aus PP oder
- DIN 16961-1 für Rohre mit profilierter Wandung und glatter Innenfläche aus PE oder PP entsprechen.

Die Rohre sind in Baulängen von 5 m, 6 m oder 12 m zu liefern. Andere Baulängen und zugehörige Grenzabmaße können vereinbart werden.

Falter, 13.10.94

Beulen erdgetteter Rohre  
Abminderungsfaktor  $\kappa_{IV}$  für krit  $q_v$   
 $r_m/s = 5$



A4

Aus [3]

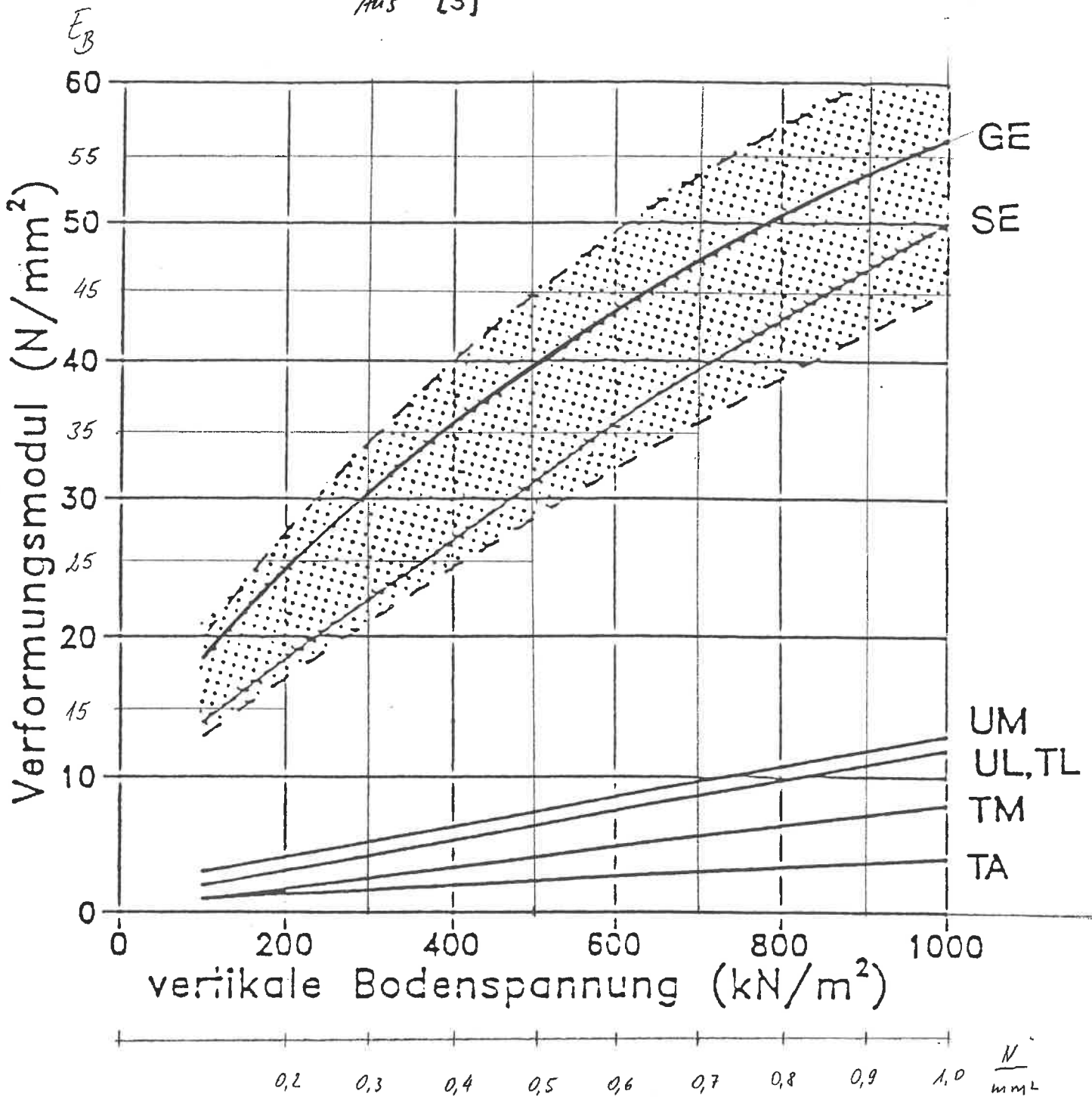


Bild 1: Mittlere Verformungsmoduln (Anhaltswerte für Vor-dimensionierungen) für die maßgebenden Bodenarten in Abhängigkeit von der vertikalen Bodenspannung

## BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

- Literatur : „ Standsicherheit von Rohren und Schächten „  
 Prof. Dr.-Ing. B. Falter, FH - Münster  
 / 1 / Vortrag zur 13. Fachtagung des Süddeutschen Kunststoff-Zentrums  
 - Die sichere Deponie- vom 13-14 Febr. 1997 in Würzburg  
 / 2 / ATV - A127  
 ATV - M 127, Ergänzung v. März 1996

Stabilitätsnachweis für vertikale Gesamtlast ( Bodenspannungen )

$$\text{Kritische Beullast : } \mathbf{krit\ qv = 2 \sqrt{S_R * S_{bh}} * k_{iv}} \quad S_R = \rho * \zeta_0$$

oder in anderer Schreibweise :

$$\mathbf{krit\ qv = \alpha_E * S_R * k_{iv}}$$

$$\text{Beullast : } \alpha_E = 2 * \sqrt{V_{RB} - 1}$$

Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Vorverformung :

$$\mathbf{k_{iv} = 0.50 + 0.269 ( \log V_{RB} + 4 )} \quad \text{oder Diagramm}$$

$$\text{Systemsteifigkeit: } \mathbf{V_{RB} = S_R / S_{bh}}$$

Horizontale Bettungssteifigkeit:

$$\mathbf{S_{bh} = 0.6 * \xi * E_2}$$

$$\text{Korrekturfaktor: } \xi = \frac{1.44}{\Delta f + (1.44 - \Delta f) * E_2 / E_3} \quad \text{oder Diagramm D8}$$

E2 : Verformungsmodul der Bettungszone

E3 : anstehender Boden

für E2 = E3 wird  $\xi = 1$