

## Rapport über MDrill 5.1

Model: Horizontalbohrung  
Entwickelt durch Deltares



Betrieb: Bohlen & Doyen  
Bauunternehmung GmbH

Datum von rapport: 23.04.2014  
Zeit von rapport: 08:39:44

Filename: S:\.\Großbohrtechnik\Projekte\2014\Eider Düker\Eider Düker option1

Projektbezeichnung: Bauvorhaben Nr. 060/14  
380-kV Westküstenleitung Heide - Husum  
Eiderdüker im Raum Karolinenkoog

## 1 Eingabedaten

### 1.1 Konfiguration der Rohrleitung

X-Koordinate linker Punkt	-2.67	[m]
Y-Koordinate linker Punkt	0.00	[m]
Z-Koordinate linker Punkt	2.35	[m]
X-Koordinate rechter Punkt	1236.87	[m]
Y-Koordinate rechter Punkt	0.00	[m]
Z-Koordinate rechter Punkt	0.67	[m]
Winkel links	10.00	[Grad]
Winkel rechts	12.00	[Grad]
Tiefster Punkt der Rohrleitung (Bohrlinie)	-21.50	[m]
Krümmungsradius Rohr auf Oberbogen	400.00	[m]
Krümmungsradius links, vertikal herein/heraus	900.00	[m]
Krümmungsradius rechts, vertikal herein/heraus	900.00	[m]
Zahl horizontal Krümmungen	0	[-]

Die Einzugrichtung der Rohrleitung verläuft von links nach rechts

### 1.2 Berechnungsdurchschnitten

Durchschnitte	L-coord [m]	Z-coord [m]	Additionaler Setzung [mm]	Lange [-]
1	50.00	-6.94	0.00	Long
2	75.00	-11.11	0.00	Long
3	100.00	-14.59	0.00	Long
4	125.00	-17.35	0.00	Long
5	150.00	-19.41	0.00	Long
6	175.00	-20.77	0.00	Long
7	200.00	-21.43	0.00	Long
8	225.00	-21.50	0.00	Long
9	250.00	-21.50	0.00	Long
10	275.00	-21.50	0.00	Long
11	300.00	-21.50	0.00	Long
12	325.00	-21.50	0.00	Long
13	350.00	-21.50	0.00	Long
14	375.00	-21.50	0.00	Long
15	400.00	-21.50	0.00	Long
16	425.00	-21.50	0.00	Long
17	450.00	-21.50	0.00	Long
18	475.00	-21.50	0.00	Long
19	500.00	-21.50	0.00	Long
20	525.00	-21.50	0.00	Long
21	550.00	-21.50	0.00	Long
22	575.00	-21.50	0.00	Long
23	600.00	-21.50	0.00	Long
24	625.00	-21.50	0.00	Long
25	650.00	-21.50	0.00	Long
26	675.00	-21.50	0.00	Long
27	700.00	-21.50	0.00	Long
28	725.00	-21.50	0.00	Long
29	750.00	-21.50	0.00	Long
30	775.00	-21.50	0.00	Long
31	800.00	-21.50	0.00	Long
32	825.00	-21.50	0.00	Long
33	850.00	-21.50	0.00	Long
34	875.00	-21.50	0.00	Long
35	900.00	-21.50	0.00	Long
36	925.00	-21.50	0.00	Long
37	950.00	-21.50	0.00	Long
38	975.00	-21.50	0.00	Long
39	1000.00	-21.50	0.00	Long

Durchschnitte	L-coord [m]	Z-coord [m]	Additionaler Setzung [mm]	Lange [-]
40	1025.00	-21.50	0.00	Long
41	1050.00	-21.42	0.00	Long
42	1075.00	-20.74	0.00	Long
43	1100.00	-19.36	0.00	Long
44	1125.00	-17.28	0.00	Long
45	1150.00	-14.50	0.00	Long
46	1175.00	-11.01	0.00	Long
47	1200.00	-6.80	0.00	Long

Berechnete Verticalen, L ist die Rohrleitung entlang

### 1.3 Materialtypen

Name	Gamma ungesät. [kN/m <sup>3</sup> ]	Gamma gesät. [kN/m <sup>3</sup> ]	Kohäsion [kN/m <sup>2</sup> ]	Phi [Grad]	Cu top [kN/m <sup>2</sup> ]	Cu Bottom [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod top [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod bottom [kN/m <sup>2</sup> ]
Klei	16.00	16.00	3.00	12.50	15.00	15.00	2000	2000
Sand, dicht	19.00	19.00	0.00	36.00	3.00	3.00	80000	80000
Wattsand	18.00	18.00	0.00	30.00	3.00	3.00	15000	15000

Name	Adhesion A [kN/m <sup>2</sup> ]	Delta D [kN/m <sup>2</sup> ]	Nu [-]
Klei	-	-	0.01
Sand, dicht	-	-	0.30
Wattsand	-	-	0.30

### 1.4 Rohrleitungsdaten

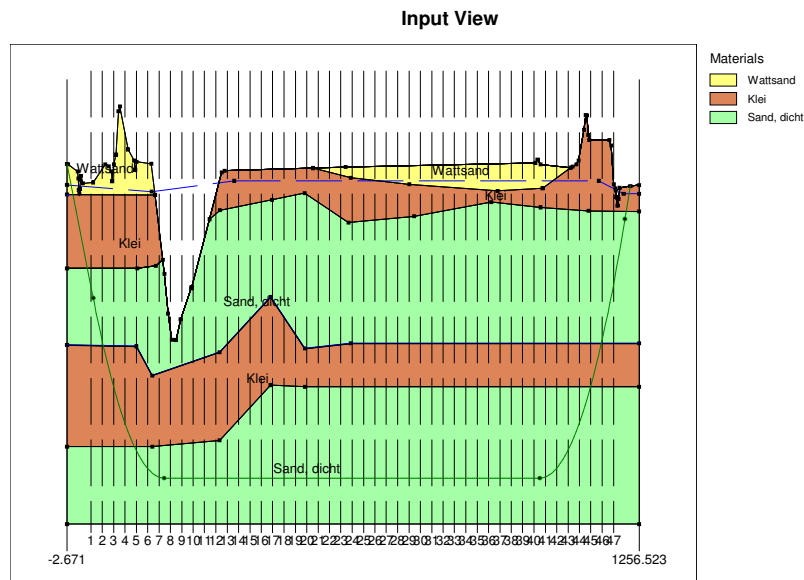
Material	Polyethylen
Werkstoff	PE100
E-Modulus (kurzzeitig)	1200 [N/mm <sup>2</sup> ]
E-Modulus (langzeitig)	300 [N/mm <sup>2</sup> ]
Zulässige Spannung (kurz)	10.0 [N/mm <sup>2</sup> ]
Zulässige Spannung (lang)	8.0 [N/mm <sup>2</sup> ]
Zugfestigkeit Faktor (alfa)	0.65 [-]
Außendurchmesser Rohrleitung	450.00 [mm]
Wanddicke (Nominal)	50.00 [mm]
Wichte Rohrleitungsmaterial	9.54 [kN/m <sup>3</sup> ]
Entwurfinnendruck	1000.00 [kPa]
Prüfinnendruck	1300.00 [kPa]

### 1.5 Technische Rohr Daten

Rohr gefuhlt mit Wasser auf Oberbogen	Ja
Anteil des mit Wasser gefüllten Querschnitts	100 [%]
Relative Verformung	10.00 [mm]
Zusammendrückbarkeitsbeiwert	6.00 [-]
Bettungszahl der Bohrspülung (Kv)	500.00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Phi Bohrspülung	15.00 [Grad]
Kohäsion Bohrspülung	5.00 [kN/m <sup>2</sup> ]
Auflagewinkel	120 [Grad]
Lastwinkel	180 [Grad]
Reibung Rohrleitung-Oberbogen (f1)	0.10 [-]
Reibung Rohrleitung-Bohrspülung (f2)	0.000050 [N/mm <sup>2</sup> ]
Reibung Rohrleitung-Boden (f3)	0.20 [-]

### 1.6 Geometrie

## 1.6.1 Geometrie Durchschnitt, Detail



## 1.7 Bohrspülungsdruckdaten

Durchmesser Pilotbohrloch	0.311	[m]
Außendurchmesser Pilotrohr	0.168	[m]
Durchmesser Vorreibloch	0.600	[m]
Außendurchmesser Bohrröhr	0.168	[m]
Durchmesser Röhrleitung-Bohrloch	0.600	[m]
Außendurchmesser Röhrleitung	0.450	[m]
Volumenstrom Pilotbohrung	600	[liter/minute]
Volumenstrom Aufweitbohrung	1800	[liter/minute]
Volumenstrom Reiben und Einziehvorgang	500	[liter/minute]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Pilotbohrung	0.30	[-]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Aufweitbohrung	0.20	[-]
Spühlungskreislaufverlustfaktor Reiben und Einziehvorgang	0.20	[-]
Wichte Bohrspühlung (Gamma)	11.1	[kN/m <sup>3</sup> ]
Fließgrenze Bohrspühlung (Tau)	0.014	[kN/m <sup>2</sup> ]
Plastische Viskosität Bohrspühlung (Mu)	0.000040	[kN.s/m <sup>2</sup> ]

## 2 Bohrspülungsdrücken

### 2.1 Bohrspülungsdrücke Daten

Durchschnitte	Spülungsdrücken Pilotbohrung [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	138	138	127	623
2	208	208	185	658
3	296	349	235	685
4	373	444	277	705
5	399	478	311	716
6	516	676	338	720
7	495	659	357	716
8	405	516	369	705
9	421	541	380	694
10	456	596	391	683
11	500	664	403	671
12	535	719	414	660
13	583	806	425	649
14	608	863	437	637
15	631	916	448	626
16	651	963	459	615
17	671	1010	471	603
18	704	1087	482	592
19	744	1184	493	581
20	784	1286	505	569
21	778	1271	516	558
22	773	1258	527	547
23	767	1245	539	535
24	763	1236	550	524
25	765	1238	561	513
26	766	1241	573	501
27	767	1244	584	490
28	769	1246	595	479
29	770	1249	607	467
30	772	1252	618	456
31	774	1255	629	445
32	775	1258	641	433
33	777	1261	652	422
34	779	1265	663	411
35	780	1268	675	399
36	782	1271	686	388
37	783	1272	697	377
38	783	1272	709	365
39	782	1272	720	354
40	782	1272	731	343
41	773	1254	742	331
42	737	1184	745	312
43	667	1044	742	285
44	574	850	730	251
45	328	391	710	208
46	234	234	683	158
47	137	137	648	100

Durchschnitte	Spülungsdruck Aufweitbohrung [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	134	134	111	127
2	208	208	160	185
3	296	349	202	235
4	373	444	237	277
5	399	478	263	311
6	516	676	281	338

Durchschnitte	Spühlungsdruck Aufweitbohrung [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
7	495	644	292	357
8	405	491	297	369
9	421	520	300	380
10	456	583	304	380
11	500	661	307	376
12	535	719	310	373
13	583	806	314	369
14	608	863	317	366
15	631	916	321	362
16	651	963	324	359
17	671	1010	328	355
18	704	1087	331	352
19	744	1177	335	348
20	784	1249	338	345
21	778	1237	342	342
22	773	1227	345	338
23	767	1217	349	335
24	763	1210	352	331
25	765	1213	356	328
26	766	1216	359	324
27	767	1219	362	321
28	769	1222	366	317
29	770	1225	369	314
30	772	1228	373	310
31	774	1232	376	307
32	775	1235	380	303
33	777	1239	383	300
34	779	1243	387	296
35	780	1246	390	293
36	782	1250	388	290
37	783	1251	377	286
38	783	1251	365	283
39	782	1251	354	279
40	782	1251	343	276
41	773	1230	331	271
42	737	1146	312	260
43	667	980	285	242
44	574	768	251	215
45	328	391	208	181
46	234	234	158	138
47	135	135	100	88

Durchschnitte	Spühlungsdrucken Einziehvorgang [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
1	134	134	125	111
2	208	208	182	160
3	296	349	231	202
4	373	444	272	237
5	399	478	305	263
6	516	676	330	281
7	495	644	348	292
8	405	491	359	297
9	421	520	369	300
10	456	583	379	304
11	500	661	376	307
12	535	719	373	310
13	583	806	369	314
14	608	863	366	317
15	631	916	362	321
16	651	963	359	324
17	671	1010	355	328
18	704	1087	352	331
19	744	1177	348	335

Durchschnitte	Spühlungsdrücken Einziehvorgang [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, Deformation	Max, Bodenlast	Min, links	Min, rechts
20	784	1249	345	338
21	778	1237	342	342
22	773	1227	338	345
23	767	1217	335	349
24	763	1210	331	352
25	765	1213	328	356
26	766	1216	324	359
27	767	1219	321	362
28	769	1222	317	366
29	770	1225	314	369
30	772	1228	310	373
31	774	1232	307	376
32	775	1235	303	380
33	777	1239	300	383
34	779	1243	296	387
35	780	1246	293	385
36	782	1250	290	374
37	783	1251	286	364
38	783	1251	283	354
39	782	1251	279	344
40	782	1251	276	333
41	773	1230	271	322
42	737	1146	260	305
43	667	980	242	279
44	574	768	215	246
45	328	391	181	204
46	234	234	138	155
47	135	135	88	98

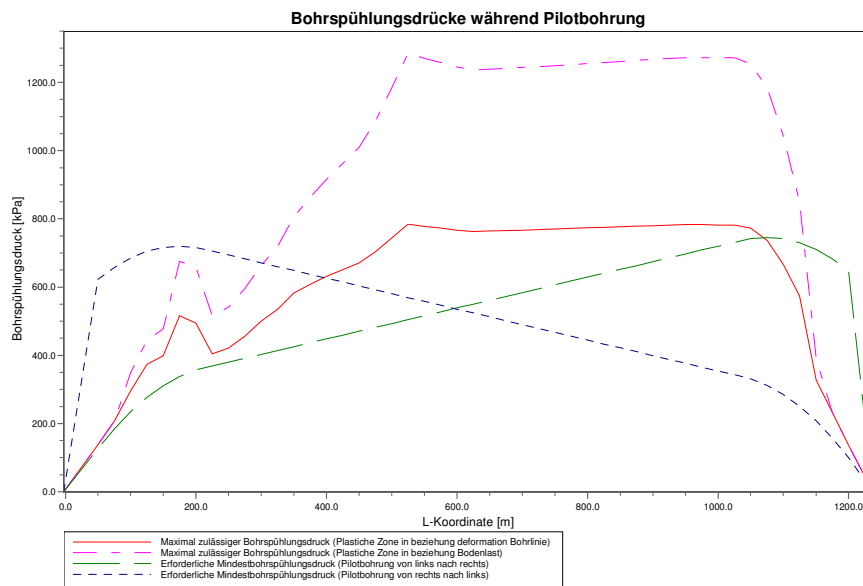
## 2.2 Gleichgewicht zwischen Bohrspühlungsdrücke und Wasserdrücke

Durchschnitte	Hydrostatischer Kolom Drücke			
	Bohrspülung [kN/m <sup>2</sup> ]	Wasser [kN/m <sup>2</sup> ]	Sicherheit	Ergebnis
1	103	75	1.37	ausreichend
2	149	117	1.28	ausreichend
3	188	151	1.25	ausreichend
4	219	178	1.23	ausreichend
5	242	197	1.22	ausreichend
6	257	210	1.22	ausreichend
7	264	217	1.21	ausreichend
8	265	219	1.21	ausreichend
9	265	220	1.20	ausreichend
10	265	222	1.19	ausreichend
11	265	223	1.19	ausreichend
12	265	224	1.18	ausreichend
13	265	225	1.18	ausreichend
14	265	226	1.17	ausreichend
15	265	226	1.17	ausreichend
16	265	226	1.17	ausreichend
17	265	226	1.17	ausreichend
18	265	226	1.17	ausreichend
19	265	226	1.17	ausreichend
20	265	226	1.17	ausreichend
21	265	226	1.17	ausreichend
22	265	226	1.17	ausreichend
23	265	226	1.17	ausreichend
24	265	226	1.17	ausreichend
25	265	226	1.17	ausreichend
26	265	226	1.17	ausreichend
27	265	226	1.17	ausreichend
28	265	226	1.17	ausreichend
29	265	226	1.17	ausreichend
30	265	226	1.17	ausreichend

Durchschnitte	Hydrostatischer Kolom Drücke			
	Bohrspülung [kN/m <sup>2</sup> ]	Wasser [kN/m <sup>2</sup> ]	Sicherheit	Ergebnis
31	265	226	1.17	ausreichend
32	265	226	1.17	ausreichend
33	265	226	1.17	ausreichend
34	265	226	1.17	ausreichend
35	265	226	1.17	ausreichend
36	265	226	1.17	ausreichend
37	265	226	1.17	ausreichend
38	265	226	1.17	ausreichend
39	265	226	1.17	ausreichend
40	265	226	1.17	ausreichend
41	264	225	1.17	ausreichend
42	256	218	1.18	ausreichend
43	241	204	1.18	ausreichend
44	218	184	1.19	ausreichend
45	187	156	1.20	ausreichend
46	148	119	1.24	ausreichend
47	102	73	1.39	ausreichend

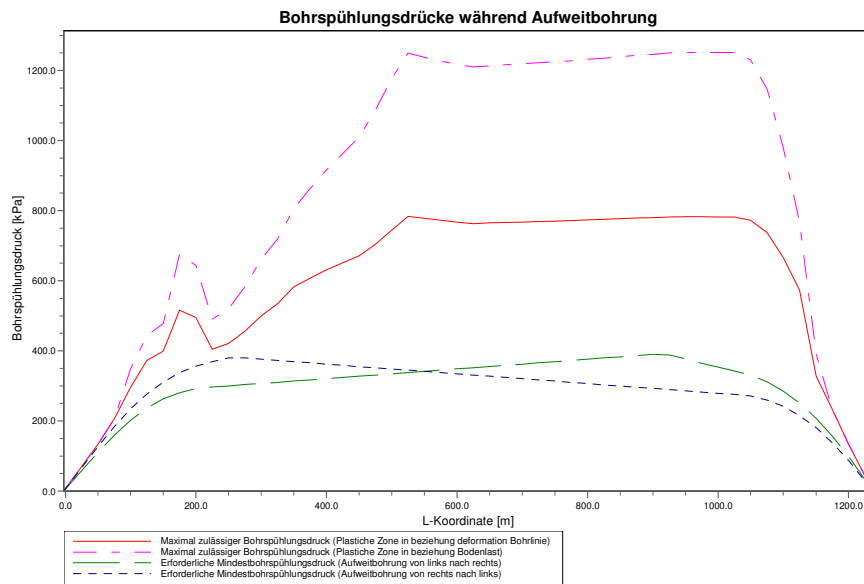
### 2.3 Bohrspülungsdruck Graphieken

#### 2.3.1 Bohrspülungsdrücke während Pilotbohrung

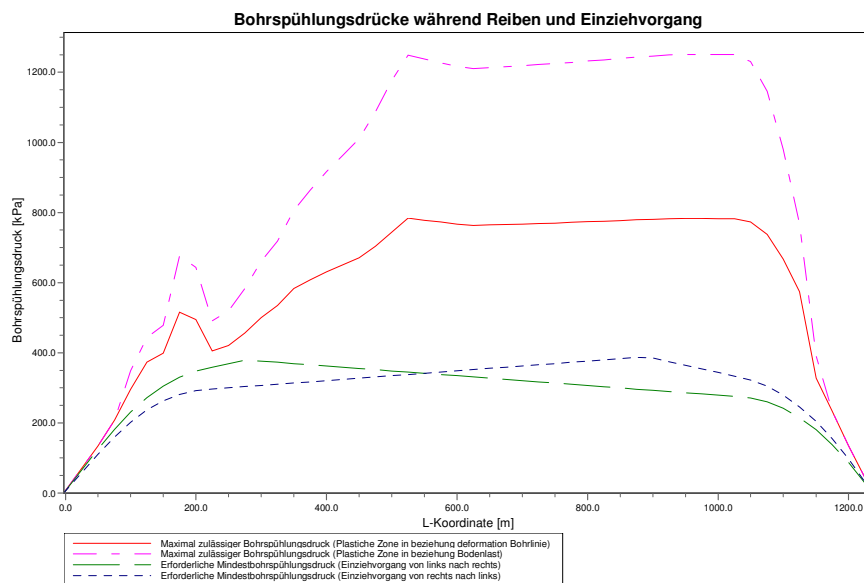




### 2.3.2 Bohrspülungsdrücke während Aufweitbohrung



### 2.3.3 Bohrspülungsdrücke während Reiben und Einziehvorgang



### 3 Parameter Bodenmechanik

#### 3.1 Parameter Bodenmechanik (Rohr: New)

Im folgenden wird die Liste der Daten und Größen angegeben:

Achtung: Ohne Sicherheitsfaktor

Pv;p	Passive Erddruck	[kN/m <sup>2</sup> ]
Pv;n	Neutraler Erddruck	[kN/m <sup>2</sup> ]
Pv,r;n	Reduziert neutraler Erddruck	[kN/m <sup>2</sup> ]
dv	Vertikal verdrängung	[mm]
kv,top	Bettungsziffer auf	[kN/m <sup>3</sup> ]
kv	Bettungsziffer unten	[kN/m <sup>3</sup> ]
Pv;e	Vertikal tragfähigkeit	[kN/m <sup>2</sup> ]
kh	Horizontal Bettungsziffer	[kN/m <sup>3</sup> ]
Ph;e	Horizontal tragfähigkeit	[kN/m <sup>2</sup> ]
tmax	Maximum Reibungskraft Rohr-Bohrspülung (f2)	[kN/m <sup>2</sup> ]
dmax	Verdrängung bei maximum Reibungskraft	[mm]

Durchschnitte	Pv;p kN/m <sup>2</sup>	Pv;n kN/m <sup>2</sup>	Pv,r;n kN/m <sup>2</sup>	kv,top kN/m <sup>3</sup>
1	330	55	34	58276
2	1066	112	50	131205
3	299	139	64	2111
4	400	201	48	2111
5	1812	173	20	5063
6	1933	191	17	75984
7	1595	144	15	123140
8	674	82	13	131205
9	821	91	14	131205
10	1220	114	14	131205
11	1588	143	14	131205
12	1774	168	14	131205
13	1912	188	14	131205
14	1914	188	13	131205
15	1920	189	13	131205
16	1926	190	13	131205
17	1937	192	13	131205
18	1967	197	13	131205
19	1997	201	13	131205
20	2019	205	13	131205
21	2011	203	13	131205
22	2004	202	13	131205
23	1997	201	13	131205
24	1993	201	13	131205
25	1998	201	13	131205
26	2003	202	13	131205
27	2008	203	13	131205
28	2013	204	13	131205
29	2018	205	13	131205
30	2023	205	13	131205
31	2029	206	13	131205
32	2035	207	13	131205
33	2041	208	13	131205
34	2047	209	13	131205
35	2053	210	13	131205
36	2059	211	13	131205
37	2061	211	13	131205
38	2061	211	13	131205
39	2061	211	13	131205
40	2060	211	13	131205
41	2035	207	13	131205
42	1974	198	13	131205
43	1870	182	14	131205
44	1833	177	18	131205

Durchschnitte	Pv;p kN/m <sup>2</sup>	Pv;n kN/m <sup>2</sup>	Pv,r;n kN/m <sup>2</sup>	kv,top kN/m <sup>3</sup>
45	354	172	70	2111
46	1627	151	61	131205
47	418	69	43	131205

Durchschnitte	dv mm	kv kN/m <sup>3</sup>	Pv,e kN/m <sup>2</sup>	kh kN/m <sup>3</sup>	Ph,e kN/m <sup>2</sup>	tmax kN/m <sup>2</sup>	dmax mm
1	n.a.	131205	3004	91843	686	0.05	8
2	n.a.	6830	819	4781	1312	0.05	8
3	n.a.	2111	646	1478	299	0.05	8
4	n.a.	35736	915	25015	400	0.05	8
5	n.a.	131205	9265	91843	1812	0.05	8
6	n.a.	131205	10206	91843	1933	0.05	8
7	n.a.	131205	7694	91843	1595	0.05	8
8	n.a.	131205	4430	91843	1029	0.05	8
9	n.a.	131205	4931	91843	1131	0.05	8
10	n.a.	131205	6119	91843	1346	0.05	8
11	n.a.	131205	7660	91843	1588	0.05	8
12	n.a.	131205	8974	91843	1774	0.05	8
13	n.a.	131205	10038	91843	1912	0.05	8
14	n.a.	131205	10049	91843	1914	0.05	8
15	n.a.	131205	10098	91843	1920	0.05	8
16	n.a.	131205	10146	91843	1926	0.05	8
17	n.a.	131205	10235	91843	1937	0.05	8
18	n.a.	131205	10481	91843	1967	0.05	8
19	n.a.	131205	10728	91843	1997	0.05	8
20	n.a.	131205	10918	91843	2019	0.05	8
21	n.a.	131205	10845	91843	2011	0.05	8
22	n.a.	131205	10786	91843	2004	0.05	8
23	n.a.	131205	10727	91843	1997	0.05	8
24	n.a.	131205	10700	91843	1993	0.05	8
25	n.a.	131205	10740	91843	1998	0.05	8
26	n.a.	131205	10781	91843	2003	0.05	8
27	n.a.	131205	10822	91843	2008	0.05	8
28	n.a.	131205	10863	91843	2013	0.05	8
29	n.a.	131205	10903	91843	2018	0.05	8
30	n.a.	131205	10948	91843	2023	0.05	8
31	n.a.	131205	10998	91843	2029	0.05	8
32	n.a.	131205	11047	91843	2035	0.05	8
33	n.a.	131205	11097	91843	2041	0.05	8
34	n.a.	131205	11147	91843	2047	0.05	8
35	n.a.	131205	11197	91843	2053	0.05	8
36	n.a.	131205	11247	91843	2059	0.05	8
37	n.a.	131205	11264	91843	2061	0.05	8
38	n.a.	131205	11261	91843	2061	0.05	8
39	n.a.	131205	11259	91843	2061	0.05	8
40	n.a.	131205	11256	91843	2060	0.05	8
41	n.a.	131205	11043	91843	2035	0.05	8
42	n.a.	131205	10554	91843	1974	0.05	8
43	n.a.	131205	9735	91843	1870	0.05	8
44	n.a.	131205	9463	91843	1833	0.05	8
45	n.a.	131205	9157	91843	354	0.05	8
46	n.a.	3520	812	2464	1627	0.05	8
47	n.a.	131205	3746	91843	826	0.05	8

Maximale Bodenlast : Pv;n, max = 211 kN/m<sup>2</sup>  
 Maximale reduzierte Bodenlast : Pv,r;n, max = 70 kN/m<sup>2</sup>  
 Maximaler vertikaler Bettungszahl (ohne Sicherheitsfaktor) : kv, max = 131205 kN/m<sup>3</sup>  
 Maximaler vertikaler Bettungszahl (mitt Sicherheitsfaktor) : kv, max = 268820 kN/m<sup>3</sup>

## 4 Daten Stärkeberechnung

### 4.1 Allgemeine Materialdaten

Wichte Bohrspülung bei Einziehvorgang	:	Gamma_b = 11.10 kN/m <sup>3</sup>
Ungewißheitsfaktor qn	:	sf = 1.1
Ungewißheitsfaktor kv	:	sf = 1.6
Minimum Krümmungsradius	:	R = 900 m
Auflagewinkel	:	Beta = 120 Grad
Lastwinkel	:	Alpha = 180 Grad
Moment-Koeffizient oben (indirekt)	:	kt' = 0.061
Moment-Koeffizient unten (indirekt)	:	kb' = 0.083
Moment-Koeffizient oben (direkt)	:	kt = 0.131
Moment-Koeffizient Boden unten (direkt)	:	kb = 0.138
Verformungskoeffizient (indirekt)	:	ky' = 0.048
Verformungskoeffizient (direkt)	:	ky = 0.089
Reibungskoeffizient Rohrleitung/Oberbogen	:	f1 = 0.10
Reibung zwischen Rohrleitung und Bohrspülung	:	f2 = 0.000050 [N/mm <sup>2</sup> ]
Reibungskoeffizient Rohrleitung/Boden	:	f3 = 0.20

### 4.2 Auftriebssteuerung

Die Reibung zwischen Boden und Rohrleitung wird teilweise durch den Auftrieb der Rohrleitung in der Bohrspülung verursacht. Auftriebskräfte an der Rohrleitung erfordern eine interne Ballastleitung zum Einleiten von Wasser in den Zugbereich. Die Menge des in das Rohr einzuleitenden Wassers muss so gesteuert werden, dass sich eine möglichst günstige Verteilung der Auftriebskräfte ergibt.

Auftrieb der Rohrleitung bei einer Füllung mit Wasser von 100%

Auftriebskraft	:	176	kg/m
Gewicht der Rohrleitung (inkl. Füllung)	:	156	kg/m
		-----	
Ergebnis	:	20	kg/m (Rohrleitung bewegt sich nach oben)

### 4.3 Berechnung der Zugkraft

Während des Einziehvorgangs treten an der Rohrleitung Reibungskräfte auf Grund der folgenden Faktoren auf:

- Reibung zwischen Rohr und Oberbogen (f1 = 0.10 )
- Reibung zwischen Rohr und Bohrspülung (f2 = 0.000050 N/mm<sup>2</sup> )
- Reibung zwischen Rohr und Boden (f3 = 0.20 )

Auf Grund der Reibung entsteht an der Rohrleitung eine Zugkraft.

Die Berechnung berücksichtigt, dass die Länge des Rohrs auf den Oberbogen beim Zurückziehen der Rohrleitung abnimmt. Es wird vorausgesetzt, dass sich das Bohrloch während dieses Zurückziehen in einem stabilen Zustand befindet.

Berücksichtigte Punkte	Länge des Rohrs im Bohrloch (m)	Zugkraft (kN)
T1	0	194
T2	59	191
T3	216	193
T4	1042	156
T5	1231	155
T6	1243	154

Die berechnete Zugkraft ist ein Mittelwert. Es wird empfohlen, einen Ungewißheitsfaktor von mindestens 1.4 für die Stärkeberechnung zu hantieren. In der nachfolgende Stärkeberechnung ist ein Ungewißheitsfaktor von 1.40 verwendet.

## 5 Rohr Starcke Berechnungen (Rohr: New)

### 5.1 Materialdaten (Rohr: New)

Im folgenden wird die Liste der Daten und Größen angegeben:

Berechnungsfaktor Reibung	:	sf = 1.00
Berechnungsfaktor qn	:	sf = 1.00
Material Rohrleitung	:	Polyethylen PE100
Außendurchmesser	:	Do = 450 mm
Wanddicke	:	s = 50.0 mm
Entwurfinnendruck	:	pd = 1.00 N/mm <sup>2</sup>
Berechnungsfaktor Entwurfinnendruck	:	sf = 1.00
Prüfdruck	:	pt = 1.30 N/mm <sup>2</sup>
Berechnungsfaktor Prüfdruck	:	sf = 1.00
Rohrleitungslänge	:	L = 1243 m
E-Modulus (kurz)	:	E = 1200 N/mm <sup>2</sup>
E-Modulus (lang)	:	E = 300 N/mm <sup>2</sup>
Zulässige Spannung (kurz)	:	S = 10 N/mm <sup>2</sup>
Zulässige Spannung (lang)	:	S = 8 N/mm <sup>2</sup>
Schadenfaktor	:	S = 1
Querdehnungszahl	:	nu = 0.4
Wichte Rohrleitungsmaterial	:	Gamma_s = 9.54 kN/m <sup>3</sup>

### 5.2 Ergebnisse Spannungsermittlung (Rohr: New)

Die Berechnung verläuft in 5 Spannung Kombinationen:

- Spannung Kombination 1A: Einziehbeginn
- Spannung Kombination 1B: Einziehende
- Spannung Kombination 2: aufbau druck
- Spannung Kombination 3: Rohrleitung in Betriebszustand, ohne druck
- Spannung Kombination 4: Rohrleitung in Betriebszustand, mit druck

Die Wanddicke beträgt 50.0 mm beträgt. Die folgende Berechnung zeigt, daß die Wanddicke der Rohrleitung ausreichend Die Berechnungen erfolgen gemäß den Normen NEN 3650 Serien.

#### 5.2.1 Spannungen Kombi 1A: Einziehbeginn

Axialspannung:

$$\text{Sigma}_b = Mb/Wb = (E \cdot Ib) / (0.9 \cdot Rrol \cdot Wb) = 0.8 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_t = T1/A = 4.3 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Maximale Axialspannung Sigma}_{a,max} = 4.8 \quad \text{N/mm}^2$$

Bei dieser Kombinationen ist die Tangentialspannung vernachlässigbar.

#### 5.2.2 Einwirkenden Spannung Kombi 1B: Einziehende

Axialspannung:

$$\text{Sigma}_b = Mb/Wb = (E \cdot Ib) / (0.9 \cdot Rmin \cdot Wb) = 0.3 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_t = Tmax/A = 3.4 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Maximale Axialspannung Sigma}_{a,max} = 3.7 \quad \text{N/mm}^2$$

Tangentialspannung:

Druck qr auf Rohrleitung entsprechend den Bodenreaktionen bei Kurven (gemäß Norm NEN 3650-1, Anh. 5 D3.3):

$$qr = kv \cdot Y = (0.322 \cdot \text{Lambda}^2 \cdot E \cdot I) / (0.9 \cdot Do \cdot R)$$

$\Lambda = (k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	2.4E-3	mm-1
qr	=	0.007614	N/mm <sup>2</sup>
$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0.1	N/mm <sup>2</sup>
Maximale Tangentialspannung $\Sigma_{t,max}$	=	0.1	N/mm <sup>2</sup>

### 5.2.3 Einwirkenden Spannung Kombi 2: Aufbau Druck

Auf Grund des internen Drucks:

$\Sigma_{py} = p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	4.1	N/mm <sup>2</sup>
$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	2.0	N/mm <sup>2</sup>
$\Sigma_{ptest} = p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	5.3	N/mm <sup>2</sup>

### 5.2.4 Einwirkenden Spannung Kombi 3: In Betriebszustand (Situation ohne Druck)

Axialspannung:

$\Sigma_b = M_b / W_b = (E \cdot I_b) / (0.9 \cdot R_{min} \cdot W_b)$	=	0.1	N/mm <sup>2</sup>
Maximale Axialspannung $\Sigma_{a,max}$	=	0.1	N/mm <sup>2</sup>

Tangentialspannung:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0.1	N/mm <sup>2</sup>
$\Sigma_{qn} = k' \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	2.3	N/mm <sup>2</sup>
Maximale Tangentialspannung $\Sigma_{t,max}$	=	1.5	N/mm <sup>2</sup>

### 5.3 Überprüfung der Errechneten Spannungen (Rohr: New)

Einwirkenden Spannung Bedingung 1

- $\Sigma_{AxMax} < ShortStrength \cdot DamageFactor$
- $\Sigma_{TanMax} < ShortStrength \cdot DamageFactor$

Einwirkenden Spannungen Bedingung 2

- $\Sigma_{ptest} < ShortStrength \cdot DamageFactor$
- $\Sigma_{py} < LongStrength \cdot DamageFactor$

Einwirkenden Spannung Bedingung 3

- $\Sigma_{AxMax} < LongStrength \cdot DamageFactor$
- $\Sigma_{TanMax} < LongStrength \cdot DamageFactor$

Einwirkenden Spannung Bedingung 4

- $\Sigma_{AxMax} < LongStrength \cdot DamageFactor$
- $\Sigma_{TanMax} < LongStrength \cdot DamageFactor$

Alle Spannungen sind unter allen Bedingungen zulässig.

	Max zulässige Spannung [N/mm <sup>2</sup> ]	Spannung Kombination 1A	Spannung Kombination 1E	Spannung Kombination 2	Spannung Kombination 3	Spannung Kombination 4
$\Sigma_{ptest}$	10.00 (kurz)	-	-	5.3	-	-
$\Sigma_{py}$	8.00 (lang)	-	-	4.1	-	-
$\Sigma_{axial}$	10.00 (kurz)	4.8	3.7	-	-	-
$\Sigma_{axial}$	8.00 (lang)	-	-	-	0.1	2.1
$\Sigma_{tang...}$	10.00 (kurz)	-	0.1	-	-	-
$\Sigma_{tang...}$	8.00 (lang)	-	-	-	1.5	5.1

Spannungen in Rohrleitung [N/mm<sup>2</sup>]

Die Verformung der Rohrleitung beträgt 3.1 mm (0.7% x Do). Die maximal zulässige Verformung der Rohrleitung beträgt 36.0 mm (8.0% x S x Do). Die Verformung der Rohrleitung ist zulässig.

Die Maximal zulässiger Verformung der Rohrleitung für Molchfähigkeit beträgt 22.5 mm (5.0% x Do). Die Verformung der Rohrleitung ist zulässig.

#### **5.4 Berechnung Implosion (Rohr: New)**

Während des Einziehvorgangs verursacht die Bohrspülung einen externen Druck. Der höchste während des Einziehvorgangs erforderliche Mindestbohrspülungsdruck beträgt 379 kN/m<sup>2</sup>, das ist weniger als der maximal zulässige externe Druck von 3720 kN/m<sup>2</sup>.

Während des Betriebszustands verursacht der Wasserdruck am tiefsten Bohrpunkt einen externen Druck. Der maximale Wasserdruck entspricht 226 kN/m<sup>2</sup>, das ist weniger als der maximal zulässige externe Druck von 465 kN/m<sup>2</sup>.

### **Ende des Rapports**