

## Qualitätssicherung bei Pipelinerohren

Pipilines werden aus vielen Teilstücken hergestellt, die miteinander verschraubt werden. Dabei wird ein Endstück mit Außengewinde in ein Endstück mit Innengewinde eingeschraubt. Je weiter beide Teile verschraubt werden, desto mehr wird die Dichtungsmasse komprimiert und füllt dann die Zwischenräume vollständig aus.

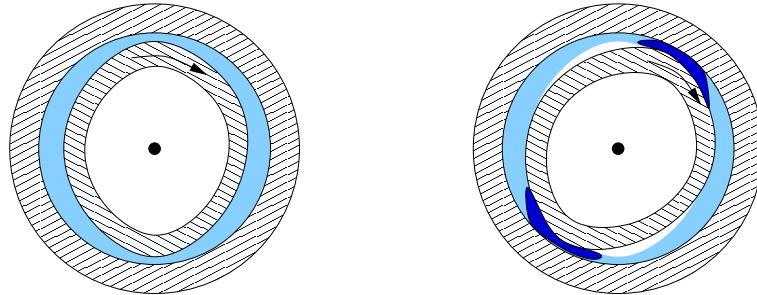


Abbildung 1: Fehlerhaftes Pipelineendstück

Ist das innere Teilstück etwas zu klein, kann dies durch stärkeres Einschrauben ausgeglichen werden. Kritisch ist nur der Fall eines nicht kreisförmigen Endstückes (innerer schraffierter Ring). Wenn die Verbindung fast dicht ist, ist die Dichtungsmasse (helle bzw. hellblaue Schicht im linken Bild) soweit komprimiert, daß sie kaum noch viskos ist, d.h., sie kann kaum in neu entstehende Zwischenräume einfließen, sondern nur noch komprimiert werden. Wird dann im Uhrzeigersinn weiter eingeschraubt, schiebt die Auswölbung die Dichtungsmasse vor sich her und komprimiert sie dabei weiter (dunkle bzw. dunkelblaue Gebiete). Hinter jeder Auswölbung des Innenrohres (im Gegenuhrzeigersinn) entstehen aber Leerräume (weiße Stellen im rechten Bild), weil die vorkomprimierte wenig viskose Dichtungsmasse der wegdrehenden Auswölbung nicht folgen kann. Die Verbindung wird also beim Zuschrauben undicht.

Da sich Pipelinerohre bei der Produktion und insbesondere beim Abkühlen verziehen können, müssen sie vor dem Abtransport auf ihre Tauglichkeit überprüft werden. Dazu werden sie mit einer Fühlsonde an den Enden abgetastet. Die Sonde übermittelt dabei bei jedem Abtastpunkt seine Koordinaten an einen Rechner. Die Rohre verbiegen sich kaum in der Längsachse und werden parallel zur  $x$ -Achse liegend in regelmäßigen Abständen vermessen. Dabei werden die  $y$ - und  $z$ -Koordinate der Sonde gemessen und übermittelt. Aufgrund der Daten, die mit Meßfehlern behaftet sind, soll dann entschieden werden, ob das Rohr verwendet werden kann.

Man entwickle ein Kriterium und einen Algorithmus, der aufgrund der übermittelten Daten entscheidet, wie geeignet ein vermessenes Rohr ist.

Man erzeuge sich selbst geeignete Datensätze um den Algorithmus zu entwickeln und zu testen, und beurteile dann die beiden Rohre mit nachfolgenden Daten!

## Meßdaten Rohr 1:

$x$ in mm	$y$ in cm	$z$ in cm	$x$ in mm	$y$ in cm	$z$ in cm
-1.000000	9.1867440	-2.0204011	11.000000	9.7744016	-0.8132752
-1.000000	9.8742598	1.3452031	11.000000	10.4921622	2.5434760
-1.000000	9.2919691	4.5907249	11.000000	10.5534040	6.0182118
-1.000000	7.9466154	7.6896946	11.000000	8.6131087	8.9527268
-1.000000	5.0237680	9.4452644	11.000000	5.6018706	10.5911775
-1.000000	1.7121098	10.0003881	11.000000	2.3016990	11.4438083
-1.000000	-1.7542975	9.5861192	11.000000	-1.0443873	10.5698372
-1.000000	-3.9031698	6.8474945	11.000000	-3.4666243	8.1778451
-1.000000	-5.3995943	3.9686702	11.000000	-4.7569992	5.1579855
-1.000000	-5.6666974	0.6825845	11.000000	-5.5085997	1.8014152
2.000000	9.1700124	-1.6241385	14.000000	10.0273098	-0.5726893
2.000000	10.0029577	1.6472581	14.000000	11.0614657	2.8030263
2.000000	9.6820756	4.9733046	14.000000	10.6176333	6.2887127
2.000000	8.1221215	8.0138730	14.000000	8.3670700	8.8773021
2.000000	5.0952488	9.5513206	14.000000	5.9113357	11.2850592
2.000000	1.8449012	10.7027522	14.000000	2.4621614	11.4991825
2.000000	-1.4998500	9.6805867	14.000000	-0.9080332	10.8966897
2.000000	-4.3064349	7.5887087	14.000000	-3.6293668	8.7272489
2.000000	-5.6391768	4.3663938	14.000000	-4.7943978	5.5049929
2.000000	-5.7995216	0.9306349	14.000000	-5.0298137	2.1618071
5.000000	8.9704284	-1.1223061	17.000000	9.5724281	0.0765394
5.000000	10.0434401	1.9578231	17.000000	11.0485121	3.1187463
5.000000	10.0978273	5.3647044	17.000000	10.3603804	6.4486465
5.000000	8.4213268	8.4553121	17.000000	8.4984864	9.1596857
5.000000	5.5004761	10.4817370	17.000000	5.9276403	11.2548291
5.000000	2.0107059	10.6332133	17.000000	2.6211572	11.5888478
5.000000	-1.1859076	9.6579799	17.000000	-0.5838382	10.8539078
5.000000	-3.7127399	7.5348737	17.000000	-3.3799470	8.9479643
5.000000	-5.3028512	4.6196555	17.000000	-4.6345739	5.8025287
5.000000	-5.7140748	1.2187777	17.000000	-5.1836886	2.4059909
8.000000	9.6746252	-1.1422718	20.000000	9.7121354	0.3824818
8.000000	10.3423522	2.2434577	20.000000	11.3049269	3.4084806
8.000000	9.7276077	5.4857856	20.000000	10.4561341	6.7299896
8.000000	8.1225345	8.3298796	20.000000	8.8401576	9.6413804
8.000000	5.3729700	10.0962915	20.000000	6.2035241	11.8657645
8.000000	2.1516651	11.1446014	20.000000	2.7421317	12.5675075
8.000000	-1.2080928	10.2968071	20.000000	-0.6009125	11.4826775
8.000000	-3.7318530	7.9697369	20.000000	-2.8600176	8.9529554
8.000000	-5.5208831	5.0119733	20.000000	-4.3100310	6.0587460
8.000000	-5.5957711	1.5129556	20.000000	-4.9823479	2.7154212

## Meßdaten Rohr 2:

$x$ in mm	$y$ in cm	$z$ in cm	$x$ in mm	$y$ in cm	$z$ in cm
-1.000000	8.9937177	-2.0378248	11.000000	8.9963183	-2.0393262
-1.000000	9.9162633	1.2363276	11.000000	9.9794521	1.2302319
-1.000000	9.4895415	4.5758723	11.000000	9.5424006	4.5940521
-1.000000	7.8511950	7.5466383	11.000000	7.8541256	7.5494163
-1.000000	4.9947747	9.3971515	11.000000	4.9859960	9.3754678
-1.000000	1.6556500	10.0514282	11.000000	1.6613733	9.9176097
-1.000000	-1.6380753	9.1590262	11.000000	-1.6087353	9.1012907
-1.000000	-4.3003374	7.0243514	11.000000	-4.2193804	6.9597904
-1.000000	-5.8025380	3.9572032	11.000000	-5.8003283	3.9566489
-1.000000	-5.8846461	0.5517354	11.000000	-5.9162480	0.5459307
2.000000	8.9787592	-2.0291885	14.000000	8.9610133	-2.0189429
2.000000	10.0042721	1.2278375	14.000000	9.9289854	1.2351003
2.000000	9.5003920	4.5796041	14.000000	9.4928143	4.5769979
2.000000	7.8185816	7.5157224	14.000000	7.7900139	7.4886417
2.000000	5.0014598	9.4136637	14.000000	4.9993786	9.4085232
2.000000	1.6553788	10.0577705	14.000000	1.6605416	9.9370550
2.000000	-1.6589753	9.2001533	14.000000	-1.6024072	9.0888383
2.000000	-4.2972417	7.0218827	14.000000	-4.2335979	6.9711284
2.000000	-5.7061344	3.9330212	14.000000	-5.7330654	3.9397766
2.000000	-5.8086996	0.5656854	14.000000	-5.8179071	0.5639941
5.000000	8.9715752	-2.0250408	17.000000	8.8630127	-1.9623622
5.000000	9.8847874	1.2393640	17.000000	9.9651152	1.2316149
5.000000	9.5329954	4.5908174	17.000000	9.5170424	4.5853307
5.000000	7.7628140	7.4628575	17.000000	7.7894973	7.4881520
5.000000	5.0033590	9.4183549	17.000000	5.0137634	9.4440537
5.000000	1.6581347	9.9933320	17.000000	1.6592623	9.9669677
5.000000	-1.6397061	9.1622352	17.000000	-1.6345969	9.1521813
5.000000	-4.3095750	7.0317182	17.000000	-4.1998362	6.9442044
5.000000	-5.7964636	3.9556795	17.000000	-5.7615145	3.9469128
5.000000	-5.9177382	0.5456570	17.000000	-5.9327307	0.5429031
8.000000	8.8704096	-1.9666328	20.000000	8.9041161	-1.9860933
8.000000	10.0230298	1.2260280	20.000000	9.9606631	1.2320444
8.000000	9.6386923	4.6271696	20.000000	9.6072013	4.6163390
8.000000	7.8210677	7.5180791	20.000000	7.7798086	7.4789675
8.000000	4.9902091	9.3858743	20.000000	5.0280597	9.4793660
8.000000	1.6608239	9.9304547	20.000000	1.6613352	9.9185013
8.000000	-1.6175081	9.1185538	20.000000	-1.6454959	9.1736285
8.000000	-4.2975974	7.0221664	20.000000	-4.2970436	7.0217247
8.000000	-5.7880488	3.9535687	20.000000	-5.7381496	3.9410519
8.000000	-5.9103208	0.5470194	20.000000	-5.9470137	0.5402796