

Messungen zur Kalibrierung des optischen Rulers

Kay Wittenburg

Internal Note DESY MDI-98-04

29. Oktober 1998

Bei TTF ist mit dem Wire Scanner eine absolute Positionsmessung des Strahl-Schwerpunktes mit einer Genauigkeit von ca. 10 μm vorgesehen. Die genaue Messung verläßt sich auf die Positionsbestimmung durch ein optisches Lineal (Ruler) von der Firma Haidenhain und durch exaktes Vermessen der Mechanik. Leider wurde die Erfahrung gemacht, daß dieser Ruler strahlungsempfindlich ist, was zum Ausfall der optischen Auslese führt. Bei einem Wechsel des Auslese-Kopfes muß der Ruler neu kalibriert werden. Da für eine komplette Neueinmessung einen komplizierten Ausbau des Scanners aus dem Vacuumsystem vom TTF nötig wäre, sind andere Maßnahmen zur Kalibrierung wünschenswert. Im folgenden wird untersucht, mit welcher Reproduzierbarkeit und Genauigkeit ein neuer Ruler eingestellt werden kann, mit Zuhilfenahme anderer Kalibriermethoden.

- 1) Potentiometer
- 2) Meßschablone
- 3) Positionsmonitore

Alle folgenden Messungen wurden an einem vorhandenen Prototyp des Wire Scanners durchgeführt.

1) Potentiometer

Bei allen folgenden Messungen wurden die Werte ausschließlich von einer Seite angefahren (Hysterese).

Kennlinie

Das Potentiometer Datenblatt verspricht eine Linearität über die volle Meßlänge von 300 μm . Da dies größer ist, als die benötigte Kalibriergenauigkeit, muß die Kennlinie des Potis aufgenommen werden. Dazu wurde der Scanner in Schritten von genau 1 mm verfahren und die Position mit dem Ruler und dem Poti gemessen. Auf die Daten des Potis (siehe Anhang 1) wurde eine lineare Regression angewendet (Tab. 1):

SUMMARY OUTPUT						
<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0.99999884					
R Square	0.99999768					
Adjusted R Square	0.99999767					
Standard Error	0.05799712					
Observations	131					
ANOVA						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	1	187329.5661	187329.6	5569209	0	
Residual	129	0.433912839	0.003364	3		
Total	130	187330				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	923.089753	0.011244421	82093.13	0	923.0675061	923.112
X Variable 1	30.4021495	0.004073873	7462.713	0	30.39408925	30.41021

Tab. 1

Mit diesen gefitteten Parametern (Steigung und Nulldurchgang) und den gemessenen Werten wurde die Rulerposition errechnet und die Differenz zu den gemessenen Rulerpositionen gebildet (Residuals). Die

Residuals sind in Abb. 1 gegen die Rulerposition aufgetragen. Sie zeigt, daß eine Nichtlinearität von ca. $\pm 100 \mu\text{m}$ bei diesen Poti vorhanden ist.

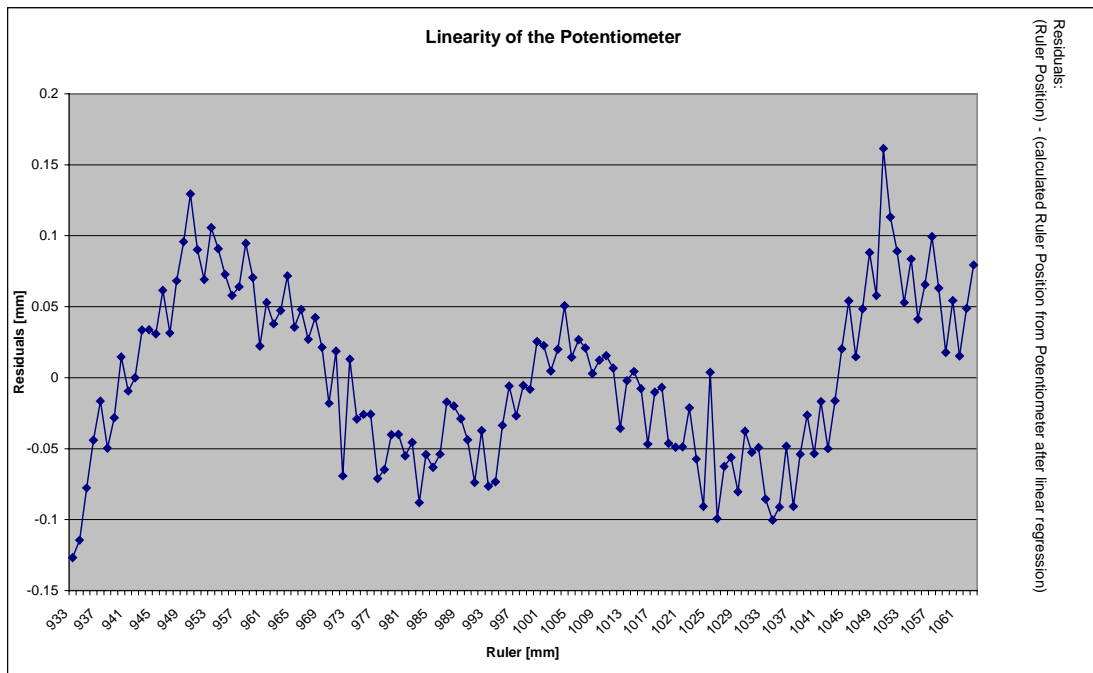


Abb. 1.

Der Ripple auf der Kurve von Spitze-Spitze ca. $50 \mu\text{m}$ ist begründet in einer feineren Nichtlinearitätsstruktur. Abb. 2 zeigt einen Zoom auf den Bereich 955.0 – 955.140 mm des Rulers. Bei 2 Messungen wurden für die angefahrenen Rulerpositionen die Potentiometerwerte aufgenommen (siehe Anhang 2). Die Abbildung zeigt einen funktionalen Verlauf, so daß sich dieser Effekt wohl ebenfalls auf die Eigenheiten des Potentiometers zurückführen läßt. Der verbleibende Ripple ist vermutlich der Meßgenauigkeit der Meßapparatur zuzuschreiben.

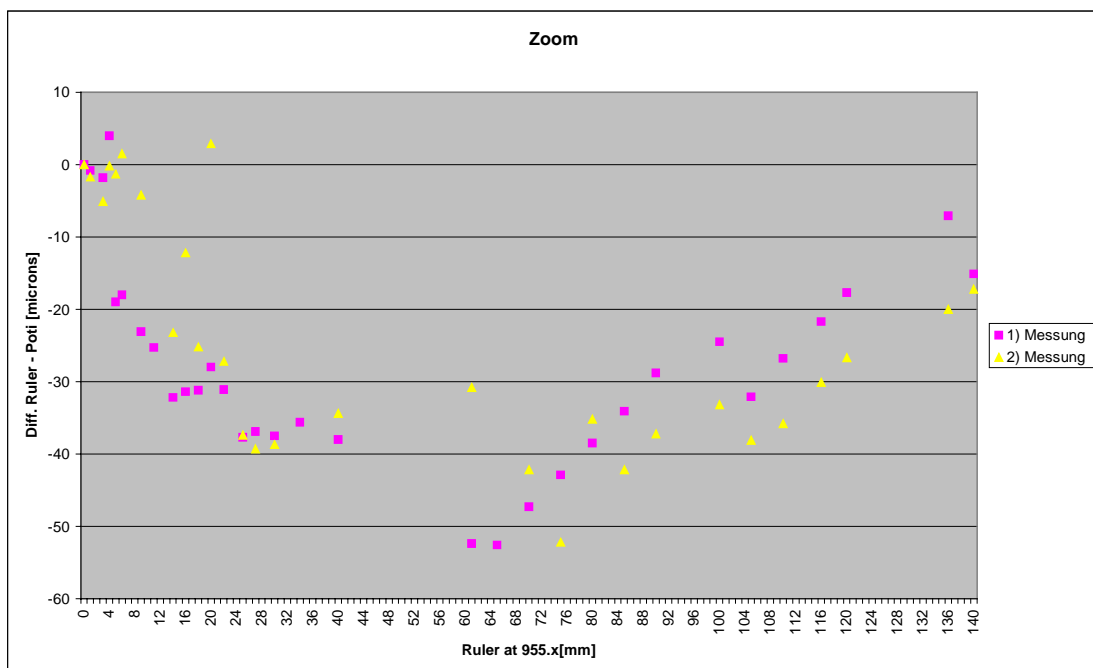


Abb. 2

Reproduzierbarkeit:

Tabelle 1 zeigt die Meßwerte des Potentiometers nach dem Anfahren einer definierten Position gemessen mit dem Ruler:

Poti Spannung bei 955.000 mm			Statistic results for Diff.		
[V] LSB=0.3µm	[mm]	Diff. [mm] Value-Mean			
(1.05) 233	0.0699	-0.01523	Mean	0	mm
245	0.0735	-0.01163	Standard Error	0.00588	mm
256	0.0768	-0.00833	Median	-0.00998	
232	0.0696	-0.01553	Mode	#N/A	
281	0.0843	-0.00083	Standard Deviation sigma	0.02037	mm
377	0.1131	0.027975	Sample Variance	0.000415	
367	0.1101	0.024975	Kurtosis	-0.84309	
325	0.0975	0.012375	Skewness	0.888412	
410	0.123	0.037875	Range	0.0561	mm
223	0.0669	-0.01823	Minimum	-0.01823	mm
226	0.0678	-0.01733	Maximum	0.037875	mm
230	0.069	-0.01613	Sum	0	
Mean =	0.085125		Count	12	
			Confidence Level(95.0%)	0.012942	mm

Tab. 1

Tabelle 2 zeigt für wenige Messungen den umgekehrten Fall, daß das Poti auf einen gegebenen Wert eingestellt wurde und dann der Ruler ausgelesen wurde.

Poti [V]	Ruler [mm]
1.05000	954.910
	954.906
	954.907
1.05233	954.977
	954.772
	954.980

Tab. 2

Für diese Messung liegt die Reproduzierbarkeit unter 10 µm, bei allerdings zu wenigen Messungen.

Aus Tabelle 1 ergibt sich eine Reproduzierbarkeit von Maximum-Minimum = 56 µm

Die statistischen Berechnungen aus Tab. 1 liefern ein Sigma von ca. 20 µm.

Zusammenfassung Potentiometer

Diese Messungen zeigen insgesamt, daß bei einer neuen Justierung des Rulers, unter Zuhilfenahme des Potis, bestenfalls eine Genauigkeit von ± 2 Sigma = 95% Wahrscheinlichkeit dafür, innerhalb der statistischen Abweichung zu liegen ≈ 80 µm erreicht werden kann. Dazu muß die entsprechende genaue Kennlinie (im Mikrometerbereich) des Potis und ggf. auch seine Temperaturabhängigkeit genau bekannt sein. Allerdings bleibt die damit erreichbare Genauigkeit nicht ausreichend für die Erfordernisse am TTF.

2) Meßschablone

3) Positionsmonitor

Dank

Dank an Matthias Werner und Igor Krouptschenkow für die Datennahme

Anhang 1

Meßwerte: Poti-Kennlinien

Ruler, counts	Potentiometer, V	$Y=aX+b$	Residuals
933	0.3218	932.8732	-0.12683
934	0.3551	933.8856	-0.11444
935	0.3892	934.9223	-0.07773
936	0.4232	935.9559	-0.04406
937	0.457	936.9835	-0.01646
938	0.4888	937.9503	-0.04968
939	0.5224	938.9718	-0.02816
940	0.5567	940.0146	0.01463
941	0.5888	940.9905	-0.00946
942	0.622	941.9999	-0.00011
943	0.656	943.0336	0.033564
944	0.6889	944.0338	0.033794
945	0.7217	945.031	0.030985
946	0.7556	946.0616	0.061618
947	0.7875	947.0314	0.031446
948	0.8216	948.0682	0.068159
949	0.8554	949.0958	0.095752
950	0.8894	950.1294	0.129425
951	0.921	951.0901	0.090133
952	0.9532	952.0691	0.069082
953	0.9873	953.1058	0.105796
954	1.0197	954.0908	0.090825
955	1.052	955.0728	0.072815
956	1.0844	956.0578	0.057844
957	1.1175	957.0642	0.064156
958	1.1514	958.0948	0.094788
959	1.1835	959.0707	0.070697
960	1.2148	960.0223	0.022285
961	1.2487	961.0529	0.052918
962	1.2811	962.0379	0.037947
963	1.3143	963.0473	0.047299
964	1.348	964.0719	0.071851
965	1.3797	965.0356	0.035599
966	1.413	966.048	0.047991

967	1.4452	967.0269	0.02694
968	1.4786	968.0424	0.042372
969	1.5108	969.0213	0.021321
970	1.5424	969.982	-0.01797
971	1.5765	971.0187	0.018742
972	1.6065	971.9308	-0.06919
973	1.6421	973.0131	0.013123
974	1.6736	973.9708	-0.02921
975	1.7066	974.9741	-0.02594
976	1.7395	975.9743	-0.02571
977	1.7709	976.9289	-0.07108
978	1.804	977.9352	-0.06477
979	1.8377	978.9598	-0.04022
980	1.8706	979.96	-0.03999
981	1.903	980.945	-0.05496
982	1.9362	981.9544	-0.0456
983	1.9677	982.9121	-0.08794
984	2.0017	983.9457	-0.05426
985	2.0343	984.9368	-0.06315
986	2.0675	985.9462	-0.0538
987	2.1016	986.9829	-0.01709
988	2.1344	987.9801	-0.0199
989	2.167	988.9712	-0.02879
990	2.1994	989.9562	-0.04376
991	2.2313	990.9261	-0.07393
992	2.2654	991.9628	-0.03722
993	2.297	992.9235	-0.07651
994	2.33	993.9268	-0.07324
995	2.3642	994.9665	-0.03348
996	2.398	995.9941	-0.00589
997	2.4302	996.9731	-0.02694
998	2.4638	997.9946	-0.00543
999	2.4966	998.9918	-0.00824
1000	2.5306	1000.025	0.025433
1001	2.5634	1001.023	0.022623
1002	2.5957	1002.005	0.004613
1003	2.6291	1003.02	0.020045
1004	2.663	1004.051	0.050678
1005	2.6947	1005.014	0.014426
1006	2.728	1006.027	0.026817
1007	2.7607	1007.021	0.020968
1008	2.793	1008.003	0.002957
1009	2.8262	1009.012	0.012308
1010	2.8592	1010.016	0.015579
1011	2.8918	1011.007	0.006689
1012	2.9233	1011.964	-0.03564
1013	2.9573	1012.998	-0.00197
1014	2.9904	1014.004	0.004341
1015	3.0229	1014.992	-0.00759

1016	3.0545	1015.953	-0.04688
1017	3.0886	1016.99	-0.01017
1018	3.1216	1017.993	-0.0069
1019	3.1532	1018.954	-0.04619
1020	3.186	1019.951	-0.049
1021	3.2189	1020.951	-0.04877
1022	3.2527	1021.979	-0.02117
1023	3.2844	1022.943	-0.05743
1024	3.3162	1023.909	-0.09064
1025	3.3522	1025.004	0.003839
1026	3.3817	1025.901	-0.0993
1027	3.4158	1026.937	-0.06258
1028	3.4489	1027.944	-0.05627
1029	3.481	1028.92	-0.08036
1030	3.5153	1029.962	-0.03757
1031	3.5477	1030.947	-0.05254
1032	3.5807	1031.951	-0.04927
1033	3.6124	1032.914	-0.08552
1034	3.6448	1033.9	-0.10049
1035	3.678	1034.909	-0.09114
1036	3.7123	1035.952	-0.04835
1037	3.7438	1036.909	-0.09068
1038	3.7779	1037.946	-0.05397
1039	3.8117	1038.974	-0.02637
1040	3.8437	1039.946	-0.0535
1041	3.8778	1040.983	-0.01679
1042	3.9096	1041.95	-0.05
1043	3.9436	1042.984	-0.01633
1044	3.9777	1044.02	0.020384
1045	4.0117	1045.054	0.054057
1046	4.0433	1046.015	0.014765
1047	4.0773	1047.048	0.048438
1048	4.1115	1048.088	0.088191
1049	4.1434	1049.058	0.05802
1050	4.1797	1050.162	0.161618
1051	4.211	1051.113	0.113205
1052	4.2431	1052.089	0.089114
1053	4.2748	1053.053	0.052862
1054	4.3087	1054.083	0.083495
1055	4.3402	1055.041	0.041163
1056	4.3739	1056.066	0.065715
1057	4.4079	1057.099	0.099388
1058	4.4396	1058.063	0.063136
1059	4.471	1059.018	0.017764
1060	4.5051	1060.054	0.054477
1061	4.5367	1061.015	0.015185
1062	4.5707	1062.049	0.048858
1063	4.6046	1063.079	0.079491

Zoom:Ruler = 955mm + x μ m

x Ruler [μ m]	Poti [V] LSB=0.3 μ m	Poti [μ m]	1) Messung Ruler - Poti	Poti [V] LSB=0.3 μ m	Poti [μ m]	2) Messung Ruler - Poti
0	(1.05)288	0	0	(1.05)256	0	0
1	294	1.8	-0.8	265	2.7	-1.7
2						
3	304	4.8	-1.8	283	8.1	-5.1
4			4	270	4.2	-0.2
5	368	24	-19	277	6.3	-1.3
6	368	24	-18	271	4.5	1.5
7						
8						
9	395	32.1	-23.1	300	13.2	-4.2
10						
11	409	36.3	-25.3			
12						
13						
14	442	46.2	-32.2	380	37.2	-23.2
15						
16	446	47.4	-31.4	350	28.2	-12.2
17						
18	452	49.2	-31.2	400	43.2	-25.2
19						
20	448	48	-28	313	17.1	2.9
21						
22	465	53.1	-31.1	420	49.2	-27.2
23						
24						
25	497	62.7	-37.7	464	62.4	-37.4
26						
27	501	63.9	-36.9	477	66.3	-39.3
28						
29						
30	513	67.5	-37.5	485	68.7	-38.7
31						
32						
33						
34	520	69.6	-35.6			
35						
36						
37						
38						
39						
40	548	78	-38	504	74.4	-34.4
41						
42						
43						
44						

45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61	666	113.4	-52.4	562	91.8	-30.8
62						
63						
64						
65	680	117.6	-52.6			
66						
67						
68						
69						
70	679	117.3	-47.3	630	112.2	-42.2
71						
72						
73						
74						
75	681	117.9	-42.9	680	127.2	-52.2
76						
77						
78						
79						
80	683	118.5	-38.5	640	115.2	-35.2
81						
82						
83						
84						
85	685	119.1	-34.1	680	127.2	-42.2
86						
87						
88						
89						
90	684	118.8	-28.8	680	127.2	-37.2
91						
92						
93						

94						
95						
96						
97						
98						
99						
100	703	124.5	-24.5	700	133.2	-33.2
101						
102						
103						
104						
105	745	137.1	-32.1	733	143.1	-38.1
106						
107						
108						
109						
110	744	136.8	-26.8	742	145.8	-35.8
111						
112						
113						
114						
115						
116	747	137.7	-21.7	743	146.1	-30.1
117						
118						
119						
120	747	137.7	-17.7	745	146.7	-26.7
121						
122						
123						
124						
125						
126						
127						
128						
129						
130						
131						
132						
133						
134						
135						
136	765	143.1	-7.1	776	156	-20
137						
138						
139						
140	805	155.1	-15.1	780	157.2	-17.2

