

QS 05/08

Kalibrierung der Temperatursensoren von FM3 und CE3

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Labor für Vakuumphysik – 7.34

14.02.2008

| | |
|-------------------------|---|
| Gegenstand: | Temperatúrauslesegerät mit 10 Pt100 Sensoren |
| Hersteller: | Eigenbau PTB/BS |
| Typ: | PP2 |
| Seriennummer: | 19144 |
| Prüfmittelnummer: | 7.3-4024 |
| Datum der Kalibrierung: | 08.02.2008 bis 11.02.2008 |

Im Rahmen der Überprüfung der Rechnungen zu p_{cal} an CE3 fielen Unstimmigkeiten bei der Temperaturmessung auf; die Kalibrierung der Temperatursensoren wurde deshalb vorgezogen. Folgende Änderungen wurden nötig:

- Erneuerung des Messplatzrechners und des Betriebssystems, dadurch:¹
- Umstellung (bzw. Modernisierung) des Konzepts zum Ansprechen der GPIB- Geräte
- Abgleich der Faktoren A_, B_ und C_ zur Berechnung des effektiven Verdrängerquerschnitts mit dem QM-System

¹Die home-verzeichnisse aller Benutzer (Rohdaten der Kalibrierungen(!)) wurden gesichert (/home/vakuum73/vakuum/Archiv/ plus CD im Raum FOE012). Alle Kalibrierungen an CE3 werden zukünftig mit dem zu diesem Zweck angelegten Nutzer vakuum73 durchgeführt.

- Erneuerung der Beschriftung der Sensoren (z.B. alt: A002 Sensor an Kanal 1; neu: ch1/v-box)²

Die ersten drei Punkte führten zu einer neuen Version des CE3-Messprogramms flora dessen Quelltext seit Februar 2008 unter /home/vakuum73/vakuum/Archiv/flora zugänglich ist.

Die letzte Kalibrierung der Pt100-Sensoren und des Gerätes PP2 zur Messung der Temperaturen an FM3 und CE3 fand im Juli 2006 statt. Für die Kalibrierfrist wurde Anfang des Jahres 2006 24 Monate vereinbart.

Das Temperaturnormal des Labors wurde kurz vor der hier beschriebenen Kalibrierung (7.2.08) mit Hilfe der Fixpunkte von H₂O und GaAs überprüft. Das FS250 zeigt Abweichungen in der Größenordnung 10 mK welche hier lediglich bei der Unsicherheitsbetrachtung berücksichtigt werden.

Ablauf

Die Kalibrierung fand vom 8. bis 12. Februar 2008 im klimatisierten Raum FOE024 (Standort von CE3 und FM3) statt.

Zusammen mit dem Messfühler des Temperaturnormals (Typ: FS250, SN:1249027214, letzte Kalibrierung: 03/06) waren die zu kalibrierenden Temperaturfühler an einem Aluminium-Block angebracht und von einem Kunststoffgehäuse umgeben.

Am Temperaturnormal waren die bei der letzten Kalibrierung ermittelten Parameter eingegeben, so dass hier die "wahre" Temperatur angezeigt wurde. Der Kanal A des FS250 wurde mit Hilfe eines LabVIEW- Programms ausgelesen.

Die Erfassung der Anzeige der einzelnen PP2 Kanäle erfolgte wie 2006 mit Hilfe des Programms PP2_read zusammen mit labview.

In den Rohdaten auf dem Rechner e72322 unter /home/vakuum73/data/PP2-kalib-Feb08.dat sind die Anzeigen der Kanäle 1, 2, 4, ..., 11 (nachfolgend abgekürzt mit $T_{1,2,4,...,11}$ bzw. T_i) erfasst. Die letzte Spalte gibt den vom Temperaturnormal angezeigten Wert T_{PTB} wieder.

Die Messung begann nach einer Einlaufzeit von ca. 50 h. Über ca. 20 h wurden im Abstand von 30 s die oben genannten Anzeigen erfasst. Der Temperaturbereich der Kalibrierung umfasst Werte zwischen 24,08 °C und 24,18 °C.

Auswertung

Zur Auswertung bzw. zur Ermittlung der Sensorkorrekturen k_i wurde der arithmetische Mittelwert der Differenzen $T_{PTB} - T_i$ gebildet, da im CE3-Messprogramm flora die Korrekturen addiert werden. Die korrigierte Temperatur:

$$T_{korrr,i} = T_i + k_i \rightarrow T_i + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_{PTB} - T_i)_j \rightarrow T_{PTB} \quad (1)$$

²Diese Änderung muss noch in die AA einfließen

Tabelle 1: Korrekturen der PP2 Kanäle

| Kanal | Korrektur in K | Standard- abweichung in K | bisherige Korrektur in K | Differenz zur vorherg. Kalibrierung | Messort bzw. Beschriftung |
|-------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------|
| 1 | 0,10 | 0,009 | -0,04 | 0,13 | ch1/v-box |
| 2 | 0,04 | 0,009 | 0,005 | 0,035 | ch2/p-box-pelt |
| 4 | -0,06 | 0,009 | -0,02 | -0,05 | ch4/p-box |
| 5 | 0,38 | 0,008 | -0,05 | 0,43 | ch5/u hv1 |
| 6 | -0,16 | 0,009 | -0,04 | -- | ch6/u hv2 |
| 7 | 0,02 | 0,009 | -0,04 | 0,05 | ch7/u hv3 |
| 8 | -0,03 | 0,008 | -0,02 | -0,01 | ch8/x hv1 |
| 9 | 0,16 | 0,009 | -0,14 | 0,30 | ch9/cdga |
| 10 | 0,07 | 0,008 | -0,12 | 0,19 | ch10/raum |
| 11 | 1,10 | 0,009 | -0,04 | -- | ch11/x hv2 |

bezieht sich so direkt auf die Temperatur des Normals, wobei $j = 1 \dots N$, und N die Anzahl der bei der Kalibrierung gewonnenen Messpunkte pro Kanal sein soll. Dieses Verfahren scheint gerechtfertigt, da die am Al-Block auftretenden Gradienten und Unterschiede in der Wärmeableitung (die Sensoren von CE3 waren angeschraubt, die von FM3 wie das Temperaturnormal in Bohrungen eingelassen) im Rahmen der experimentellen Streuung vernachlässigbar sind.

Abbildung 1 zeigt den zeitlichen Verlauf von $T_{PTB} - T_i$. Tabelle 1 fasst die Korrekturen, die Standardabweichung der Einzelwerte und die bisherigen Korrekturen zusammen. Es ist zu beachten, dass aufgrund der starken Drift der Korrektur der Sensor 6 mit dem Sensor an Kanal 11 vor der Kalibrierung getauscht wurde. Bei der Vorbereitung der Kalibrierung brach der Sensor an Kanal 10. Dieser Kanal wird jetzt zur Erfassung der Raumtemperatur benutzt; es kommt ein Pt-100 Sensor mit 40 cm Länge zum Einsatz.

Die Korrekturen aus Tabelle 1 wurden am 14. Februar 2008 in die PP2.ini Datei auf dem Messplatzrechner der CE3 unter /usr/local/etc eingetragen (s. Listing 1).

Unsicherheit der Kalibrierung

Folgende Unsicherheiten sind beim vorliegenden Kalibrierverfahren zu berücksichtigen:

- u_1 Unsicherheit des Temperaturnormals von 0,005 K (nach KS 40PTB 06) zusammen mit der in der Einleitung erwähnten Abweichung ergeben $u_1 = 0,015$ K
- u_2 Digitalisierung $u_2 = 2,9 \times 10^{-3}$ K
- u_3 Unsicherheit durch Temperaturgradienten über dem Al-Block; abgeschätzt aus den oben beschriebenen Messungen unter der Annahme, dass statische (zeitlich unverän-

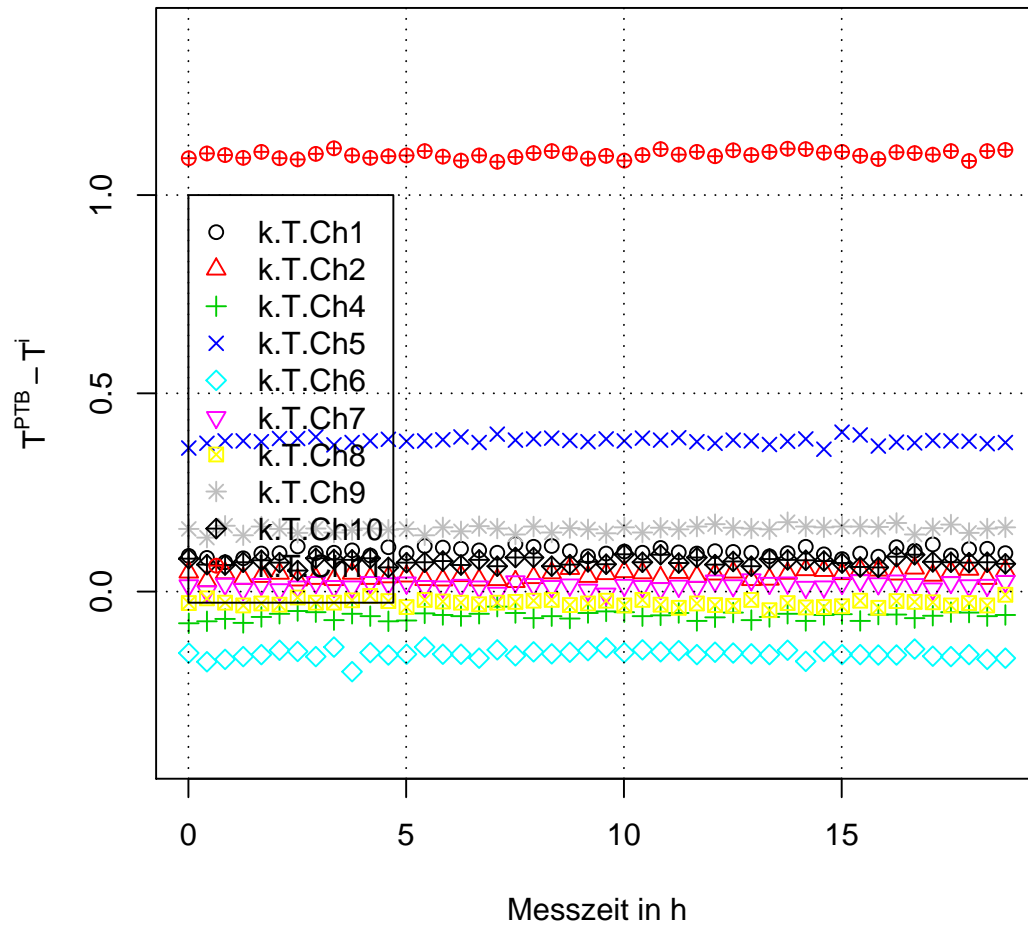


Abbildung 1: Zeitlichen Verlauf von $T_{PTB} - T_i$ wobei $i = 1, 2, 4 \dots 11$. Zur Verbesserung der Anschaulichkeit wurde nur jeder 50ste Punkt dargestellt.

derte) Gradienten vernachlässigbar sind: $\max(k_j) - \min(k_j) \leq 0,06 \text{ K}$ (Rechteck);
 $u_3 = 0,035 \text{ K}^3$

u_4 Temperaturabhängigkeit der Korrektur wie als in u_3 enthalten angesehen: $u_4 = 0$

u_5 Langzeitstabilität; auf Grundlage der in Tabelle 1 angegebenen Differenzen wird $u_5 = 0,2 \text{ K}$ pro Jahr abgeschätzt.

u_6 experimentelle Streuung abgeschätzt aus obiger Messung mit $u_6 = 0,009 \text{ K}$

Die Gesamtunsicherheit der Kalibrierung der Sensoren ergibt sich durch quadratische Addition der Einzelbeiträge zu

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0,2 \text{ K} \quad (2)$$

Rekalibrierung

Aufgrund der relativ starken Drift einzelner Sensoren und der damit verbundenen Dominanz der Langzeitstabilität im Unsicherheitsbudget sollte das Messsystem bis spätestens Februar 2009 rekalibriert werden.

Thomas Bock
Labor für Vakuumphysik
 AG: 7.34

Listing 1: Einarbeitung der Korrekturwerte.

```

1 [PP2_1]
2 InstrumentName = PP2_1
3 BoardAddress = 0
4 InstrumentAddress = 6
5 R15 = 105.845
6 R16 = 111.657
7 A = 3367.85046
8 B = 11342416.7
9 C = 17235.584
10 CORR_1 = 0.10
11 CORR_2 = 0.04
12 CORR_3 = 100.00
13 CORR_4 = -0.06
    
```

³Die Daten zu Kanal 6 enthalten einen "Ausreißer" der also mehr als 4σ abweicht; nach dem entfernen dieses Punktes ist die obige Abschätzung auch für Kanal 6 zutreffend.

```

14 CORR_5 = 0.38
15 CORR_6 = -0.16
16 CORR_7 = 0.02
17 CORR_8 = -0.03
18 CORR_9 = 0.16
19 CORR_10 = 0.07
20 CORR_11 = 1.10
21 CORR_12 = 100.00
22 CORR_13 = 100.00
23 CORR_14 = 100.00
24 CORR_15 = 0.0
25 CORR_16 = 0.0
26 ; R15, R16 = Referenzwiderstände (z.B. für 15 und 30 Grad)
27 ; A, B, C = Konstanten fuer "DIN"-Formel
28 ; CORR_xx = Additive Korrekturen für jeden Meßfehler
29 ; (CORR_15 und CORR_16 immer 0.0) !
30
31 [PP2_2]
32 InstrumentName = PP2_2
33 BoardAddress = 0
34 InstrumentAddress = 7
35 R15 = 105.849
36 R16 = 111.672
37 A = 3367.85046
38 B = 11342416.7
39 C = 17235.584
40 CORR_1 = 0.0
41 CORR_2 = 0.0
42 CORR_3 = 0.0
43 CORR_4 = 0.0
44 CORR_5 = 0.0
45 CORR_6 = 0.0
46 CORR_7 = 0.0
47 CORR_8 = 0.0
48 CORR_9 = 0.0
49 CORR_10 = 0.0
50 CORR_11 = 0.0
51 CORR_12 = 0.0
52 CORR_13 = 0.0
53 CORR_14 = 0.0
54 CORR_15 = 0.0
55 CORR_16 = 0.0

```