

QS 2/18

Kalibrierung der Temperatursensoren von SE3

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Labor für Vakuummetrologie – AG 7.54

29.06.2018

Gegenstand:	90 Pt100 Sensoren Temperatúrauslesegerät
Hersteller:	LKM/ Keithley
Typ:	Pt100/ 3706A System Switch/ Multimeter
Seriennummer:	4078358, Card1: 4078358, Card2: 4077018, Card3: 4076032
Prüfmittelnummer:	7.5-4041
Datum der Kalibrierungen:	28.-29.6.18

Dokumentiert wird die 3. Rekalibrierung der SE3-Temperatursensoren. Das 2016 beschaffte Temperaturnormal (PN 7.5-4039, Typ: MTK50, KS: 74235PTB18) wurde kurz zuvor (5/18) mit Hilfe der Fixpunkte von H₂O und GaAs kalibriert.

Ablauf

Zusammen mit dem Messfühler des Temperaturnormals waren die zu kalibrierenden Temperaturfühler in einen Cu-Zylinder (s. Abbildung 1) eingelassen und von einem Kunststoffgehäuse umgeben.

Der Kanal 1 des MKT50 wurde mit Hilfe, eines auf [ssmp](http://a75436.berlin.ptb.de/vaclab/ssmp)¹ basierenden Messprogramms ausgelesen. Die Erfassung der Anzeige der Keithley Kanäle erfolgte ebenfalls mit diesem System.

Die Rohdaten sind über die Labordatenbank zugänglich; die ID des Dokuments lautet cal-2018-mkt50-ik-4040_0001

Die Anzeigen der Kanäle 1001, 1002, 1004,...,1030, 2001, 2002..., 2030 ..., 3030 (nachfolgend abgekürzt mit $T_{1,2,4,...90}$ bzw. T_i) tragen das Prefix ch_. Ein Messpunkt im Kalibrierdokument stellt den Mittelwert aus 10 Einzelmessungen² und der daraus gebildeten Standardabweichung der Einzelwerte dar. mkt50 gibt den vom Temperaturnormal angezeigten Wert (zitiert als T_{PTB}) wieder.

¹a75436.berlin.ptb.de/vaclab/ssmp

²<http://a75436.berlin.ptb.de/vaclab/se3-temperature-keithley>

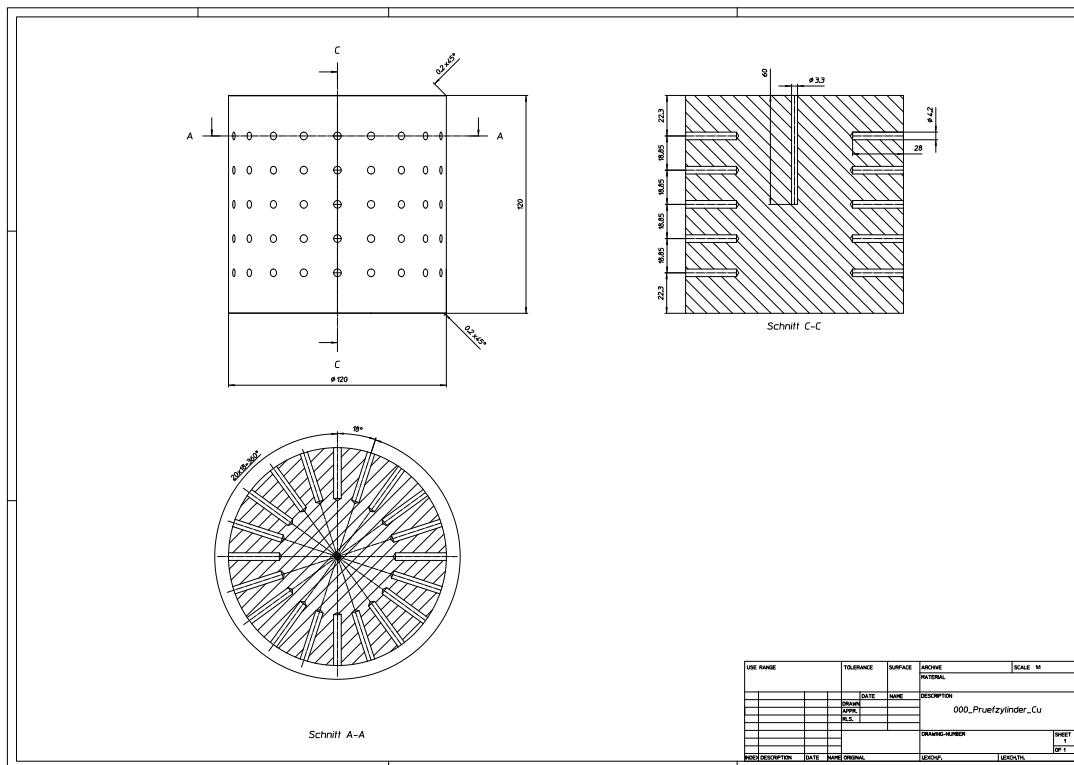


Abb. 1: Cu-Zylinder

Auswertung

Zur Auswertung bzw. zur Ermittlung der Sensorkorrekturen k_i wurde der arithmetische Mittelwert der Differenzen $T_{PTB} - T_i$ gebildet. k_i muss zur Korrektur eines Anzeigewertes addiert werden.

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

In nachfolgender Rechnung werden beide Messreihen (cal-2015-mkt50-ik-4040_0004 und cal-2017-mkt50-ik-4040_0001) ausgewertet und die Ergebnisse in den Result-Abschnitt der jeweiligen Dokumente geschrieben.

```
library(R4CouchDB)
library(vacLabTools)
cdb      <- cdbIni()
cdb$DBName <- "vl_db"
cdb$id    <- "cal-2018-mkt50-ik-4040_0001"
doc      <- cdbGetDoc(cdb)$res
```

```

a          <- abbrevList(doc)
doc        <- refreshResult(doc)
t.ms.b     <- getConstVal(a$cmv$Time, "begin")
t.ms.e     <- getConstVal(a$cmv$Time, "end")
t.h        <- (t.ms.b - t.ms.b[1])/1000/3600
t.ptb      <- getConstVal(a$cmv$Temperature, "mkt50")

par(mfrow=c(1,1))

k=1
ch <- c(1001:1030
        , 2001:2030
        , 3001:3030)
ch.N <- length(ch)
corr.sd <- rep(NA, ch.N)
corr.mean <- rep(NA, ch.N)

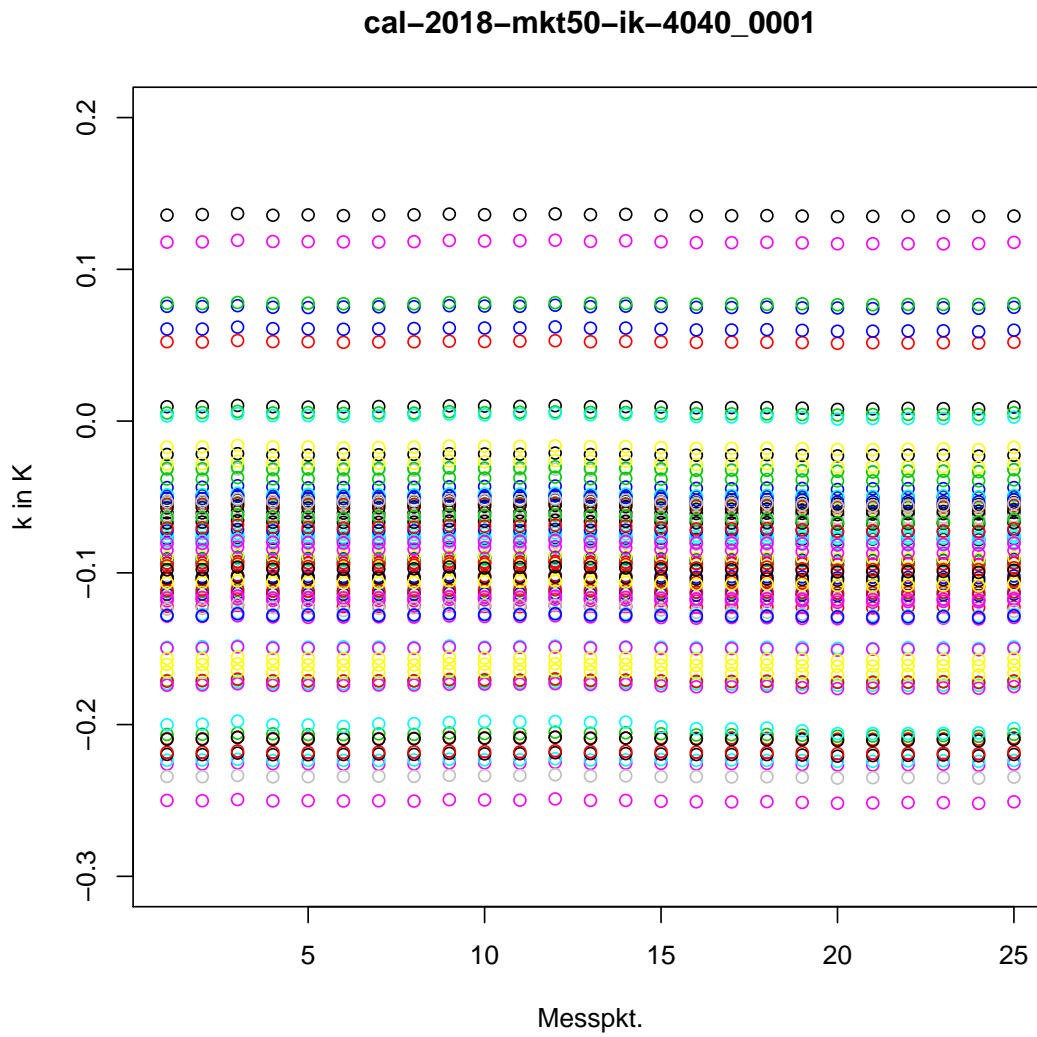
for( i in 1:ch.N){
  ch.name <- paste0("ch_",ch[i])
  t.ch    <- getConstVal(a$cmv$Temperature, ch.name)
  corr    <- t.ptb - t.ch

  corr.sd[i] <- sd(corr)
  corr.mean[i] <- mean(corr)

  doc$Calibration$Result$Values$Temperature <-
    setCcl(doc$Calibration$Result$Values$Temperature,
            paste0("corr_", ch.name),
            "K",
            corr.mean[i])

  if(k==1){
    plot(corr
         , ylim=c(-0.3,0.2)
         , main=cdb$id
         , xlab = "Messpkt."
         , ylab="k in K"
         )
  }else{
    points(corr, col = k)
  }
  k = k+1
}

```



```

if(!FALSE){
  cdb$dataList <- doc
  cdbUpdateDoc(cdb)$res
}

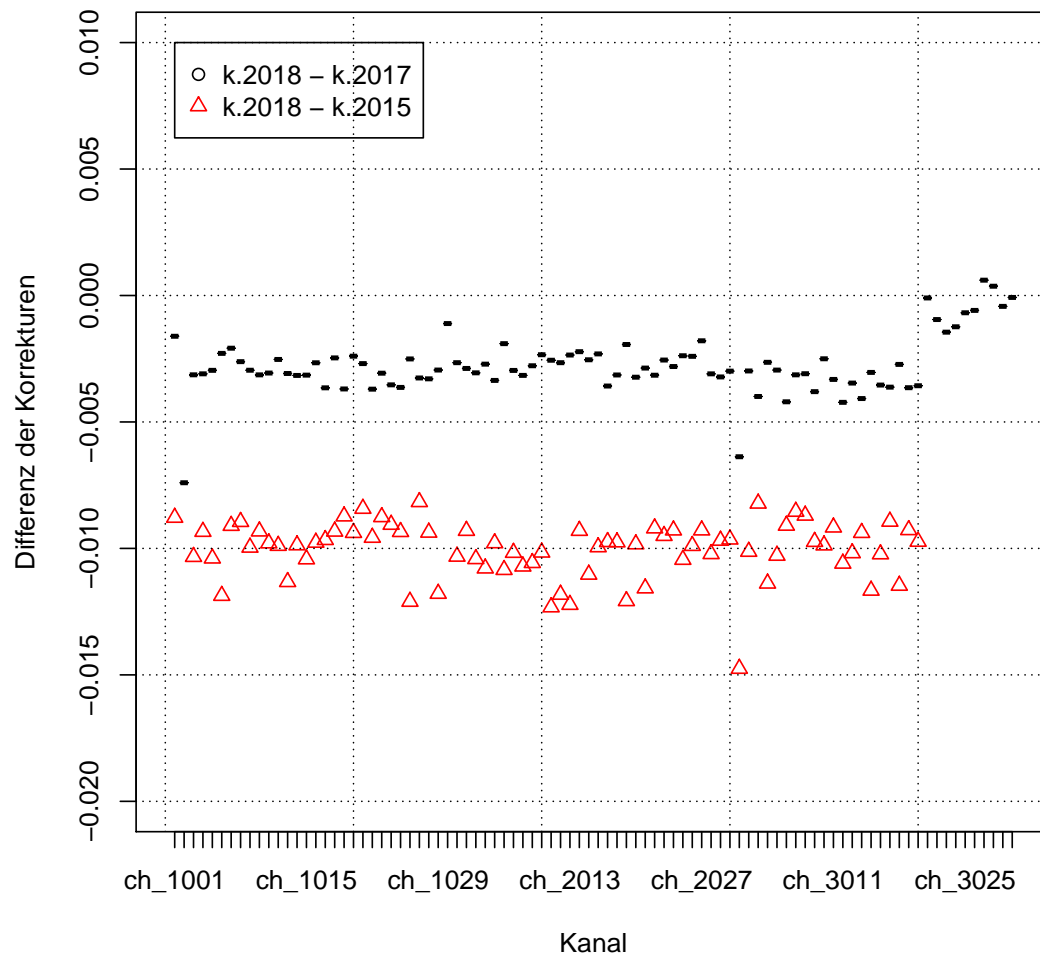
## $ok
## [1] TRUE
##
## $id
## [1] "cal-2018-mkt50-ik-4040_0001"
##
## $rev

```

```
## [1] "147-ba39188bcd24a6fb2f81195b8a1e6749"
```

Vom Zeitpunkt der Berechnung der Korrekturen und der damit verbundenen Erzeugung des Results-Abschnittes im oben genannten Kalibrierdokument werden die Änderungen wirksam.

```
x <- factor(paste0("ch_",ch))
plot(x, corr.mean - corr.17,
     xlab="Kanal",
     ylab="Differenz der Korrekturen",
     ylim=c(-0.02, 0.01),
     pch=1)
points(x, corr.mean - corr.15, col=2, pch=2)
grid(col=1)
legend(x[1], 0.01, c("k.2018 - k.2017", "k.2018 - k.2015"),
      col=c(1,2), pch=c(1,2))
```



Unsicherheit der Kalibrierung

Folgende Unsicherheiten sind beim vorliegenden Kalibrierverfahren zu berücksichtigen:

```
# Unsicherheit des Temperaturnormals (KS-Angabe ist 5mK)
# hizu kommt Langzeitstabilität Abschätzung aus
# Veränderung des Widerstandswertes
# (2016:0hm, 2018: 100.0210hm):
R.2016 <- 100.019
R.2018 <- 100.021
u.lt <- (R.2016 / R.2018 - 1) * 23.0
u1 <- 0.0025 + u.lt # K
```

```

u1

## [1] 0.00204009657972

# Digitalisierung
u2 <- 2.9e-5 # K
# Unsicherheit durch Temperaturgradienten über dem Cu-Zylinder
# abgeschätzt aus der Standardabweichung der Korrekturen
u3 <- mean(corr.sd) # K
u3

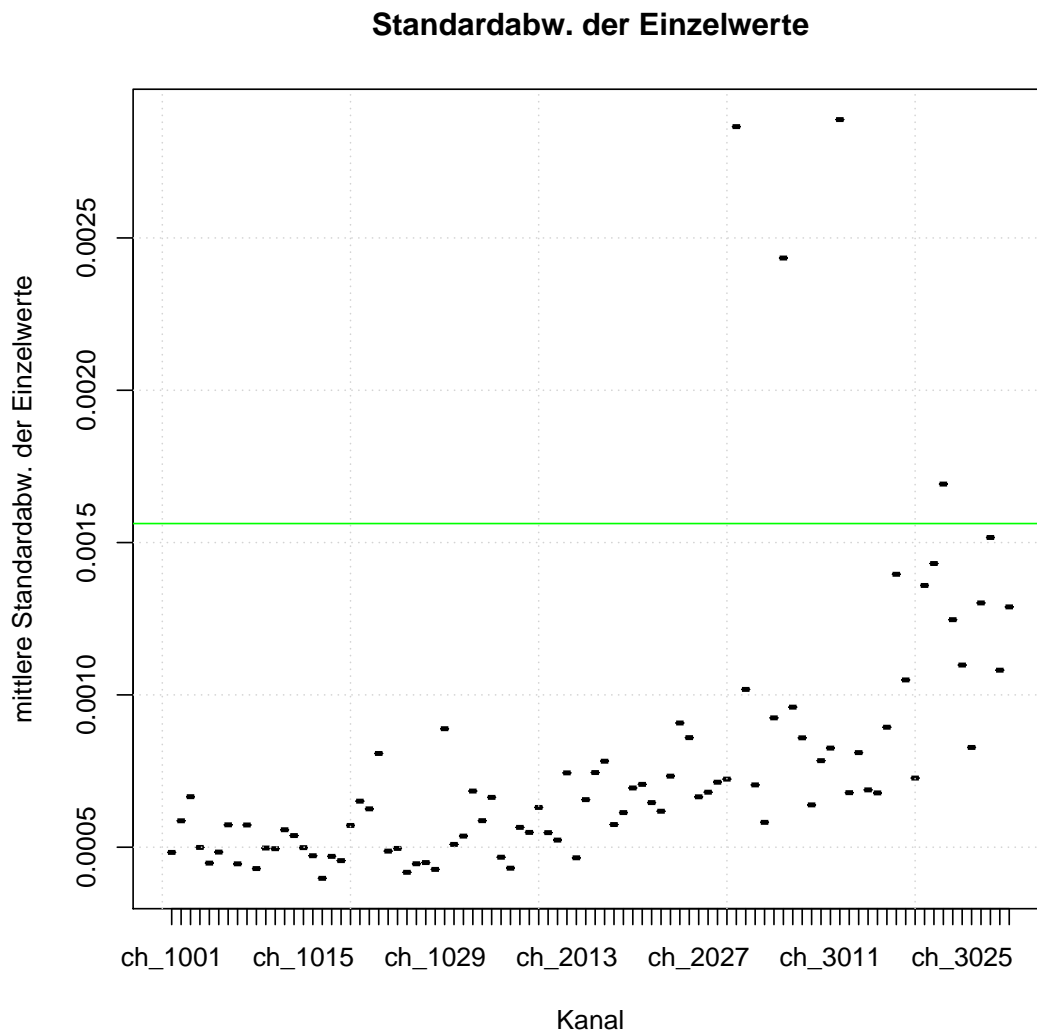
## [1] 0.00078123101339

# Temperaturabhängigkeit der Korrektur (vernachlässigbar)
u4 <- 0 # K
# Langzeitstabilität auf
# Grundlage der oben berechneten Differenz
# Abschätzung: doppelte mittlere Abweichung
u5 <- abs(mean(corr.mean - corr.17)) * 2 # K
u5 # K

## [1] 0.00551052508889

# experimentelle Streuung wird aus der Standardabw.
# der Einzelwerte eines Messpunktes abgeschätzt
# (doppelter Mittelwert)
u6 <- mean(corr.sd) * 2 # K
plot(x, corr.sd,
ylab="mittlere Standardabw. der Einzelwerte",
xlab="Kanal",
main="Standardabw. der Einzelwerte")
grid()
abline(h=u6, col="green")

```

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

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

Man erhält eine erweiterte Gesamtunsicherheit von:

```
k <- 2
k * sqrt(u1^2 + u2^2 + u3^2 + u4^2 + u5^2 + u6^2)
## [1] 0.0122605597411
```

Rekalibrierung

Das Messsystem sollte nach 24 Monaten recalibriert werden.

Thomas Bock
Labor für Vakuummetrologie
AG: 7.54