

Solartron 7150

SEPTEMBER 2018

PHILIPP C.

Inhalt

Charakterisierung	2
Aufwärmzeit	2
Linearität	2
Rauschen	4
Eingangsstrom	5
Eigenerwärmung des Shunts bei der Strommessung	6
Kalibrierung	9
Vor Justage	10
AC Spannung	10
DC Strom	10
AC Strom	10
Widerstand	11
Diodentest	11
DC Spannung	12
Nach Justage	15
AC Spannung	15
DC Strom	15
Widerstand	15
DC Spannung	16

Charakterisierung

Aufwärmzeit

Zur Bestimmung der notwendigen Aufwärmzeit des Solartron 7150 wurde das Gerät direkt nach dem Einschalten an den bereits eingelaufenen Fluke 5440B Kalibrator angeschlossen. Der Kalibrator wurde zuvor auf 19V eingestellt. Dieser Bereich wurde gewählt, weil er zum einen häufig Verwendung findet und zum anderen der Abstand zu evtl. Thermospannungen und dergleichen, welche sich beim Einschalten zusätzlich verändern können, groß genug ist.

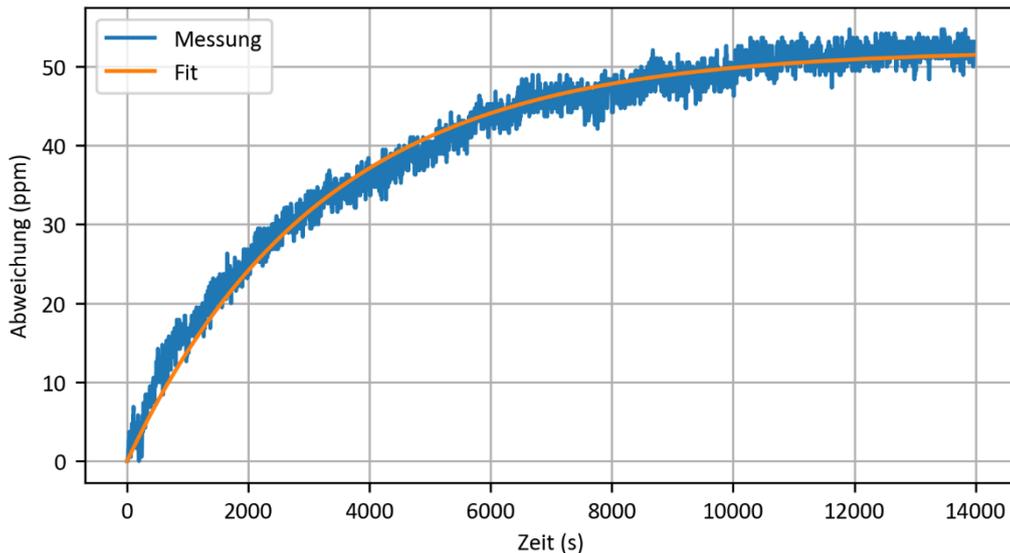


Abbildung 1: Aufwärmverhalten des Solartron 7150

An die so gewonnen Messdaten (siehe Abbildung 1) wurde eine Exponentialfunktion angefitet.

$$drift = A \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Hierbei ergaben sich $A=52\text{ppm}$ für die absolute Einschalt drift sowie eine Zeitkonstante τ von 3215s. Das Gerät benötigt somit zwar sehr viel Zeit um sich vollständig zu stabilisieren, eine ausreichend Stabilität für die 24h Spezifikation von 45ppm bei 20V ist jedoch in den angegeben 2h sicher zu erreichen.

Linearität

Um die Linearität des Solartron 7150 zu bestimmen wurden 100 Messpunkte im direkten Messbereich vermessen. Dies ist beim Solartron 7150 der 2V Bereich. Aufgrund der Tatsache, dass die bestmögliche Linearität (besser 0,1ppm FS, mit 2x HP3458A verifiziert) mit dem Fluke 5440B im 11V Bereich zu erreichen ist, wurde ein ESI SR1010-1k Transferstandard verwendet. Hierbei wurde mittels Vierleiteranschluss die Ausgangsspannung des Fluke 5440B an 10 in Reihe geschaltete 1k Widerstände angeschlossen. Der Abgriff des Solartron 7150 erfolgte über den untersten beiden Widerständen. Somit ergibt sich bei 10V Eingangsspannung eine Ausgangsspannung von 2V für das Solartron 7150.

Im Anschluss an diese Messung wird mit den Wertepaaren (Fluke 5440B und Solartron 7150 Messwerte) eine lineare Regression gerechnet. Dies dient dazu Offset und Gainfehler zu eliminieren. Die verbleibende Abweichung zu dieser Geradengleichung ist in den folgenden Abbildungen aufgetragen. Die Abweichung bezieht sich hierbei auf den Messbereichsendwert von 2V. Dies bedeutet, dass für einen 1:10 Transfer innerhalb eines Messbereichs ein Fehler von 40ppm anzunehmen ist.

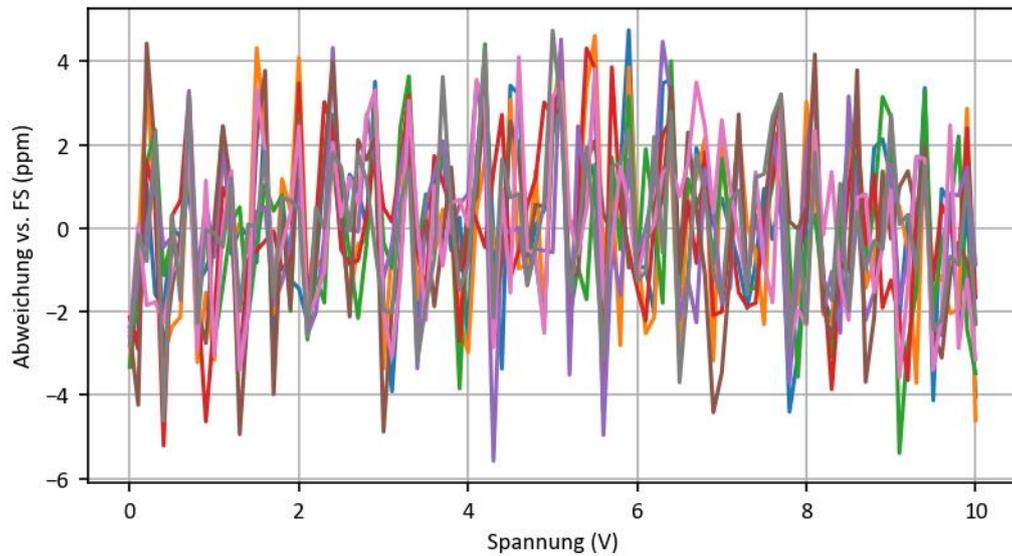


Abbildung 2: Linearitätstest im 2V Messbereich mit 35 Mittellungen pro Messpunkt

Die ersten Messungen erfolgten mit 35 Messwerten pro Messpunkt. Aufgrund des relativ großen Rauschens des Solartron 7150 wurde die Anzahl der gemittelten Messwerte pro Messpunkt auf 300 erhöht. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Abbildung 3 dargestellt.

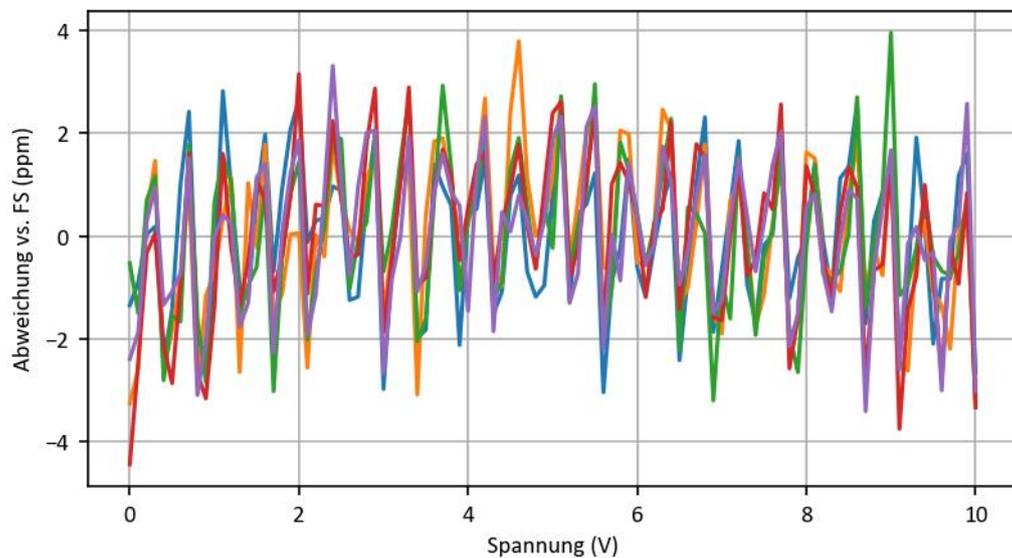


Abbildung 3: Linearitätstest im 2V Messbereich mit 300 Mittellungen pro Messpunkt

Rauschen

Um das Rauschen des Solartron 7150 zu untersuchen wurde das Gerät bei konstanten Bedingungen an den Fluke 5440B Kalibrator angeschlossen. Als möglichst günstige Konfiguration für diese Messung wurden 19V DC gewählt.

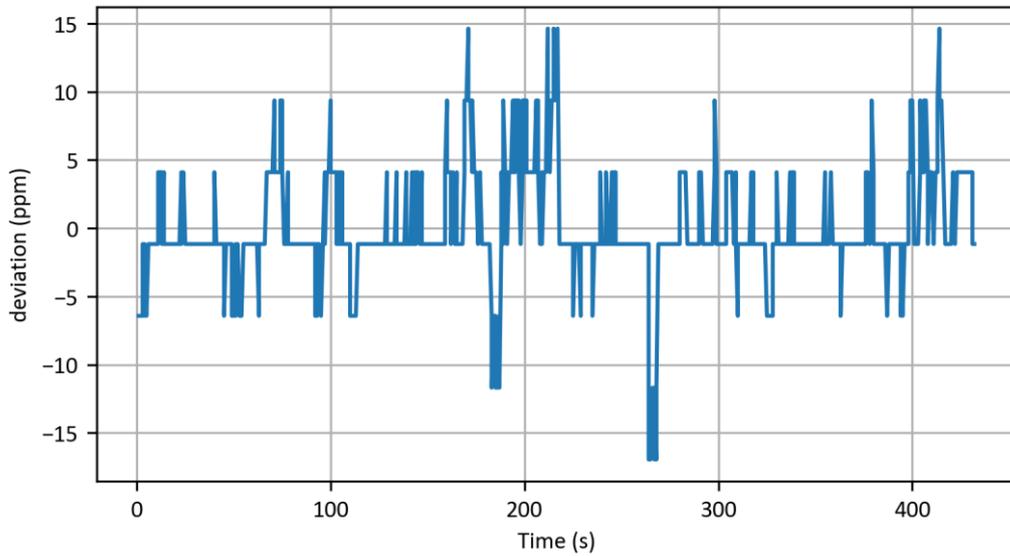


Abbildung 4: Gemessene Spannung des Solartron 7150 im 5,5 Stellen Betrieb. Die gezeigte Abweichung bezieht sich auf den Mittelwert alle Messpunkte.

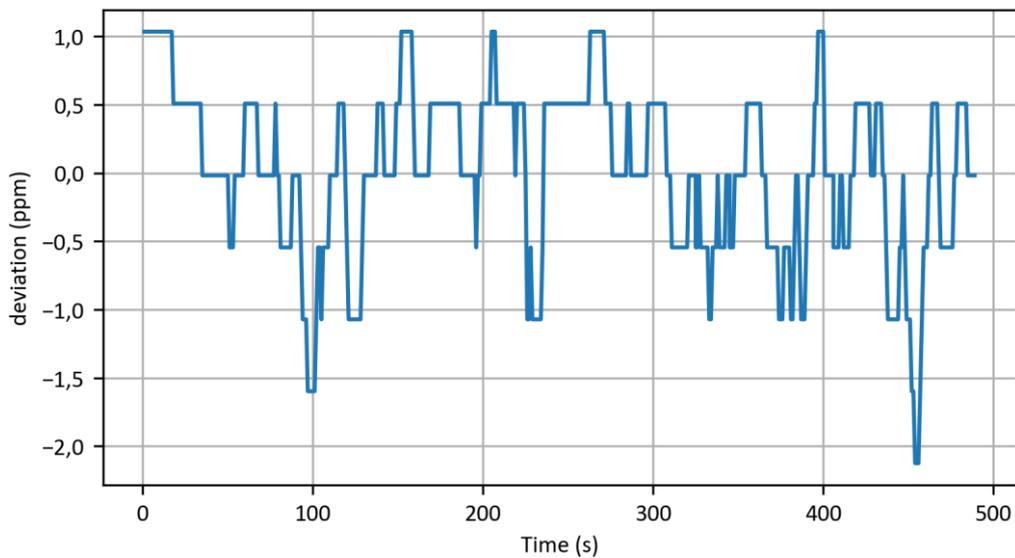


Abbildung 5: Gemessene Spannung des Solartron 7150 im 6,5 Stellen Betrieb (Filter). Die gezeigte Abweichung bezieht sich auf den Mittelwert alle Messpunkte.

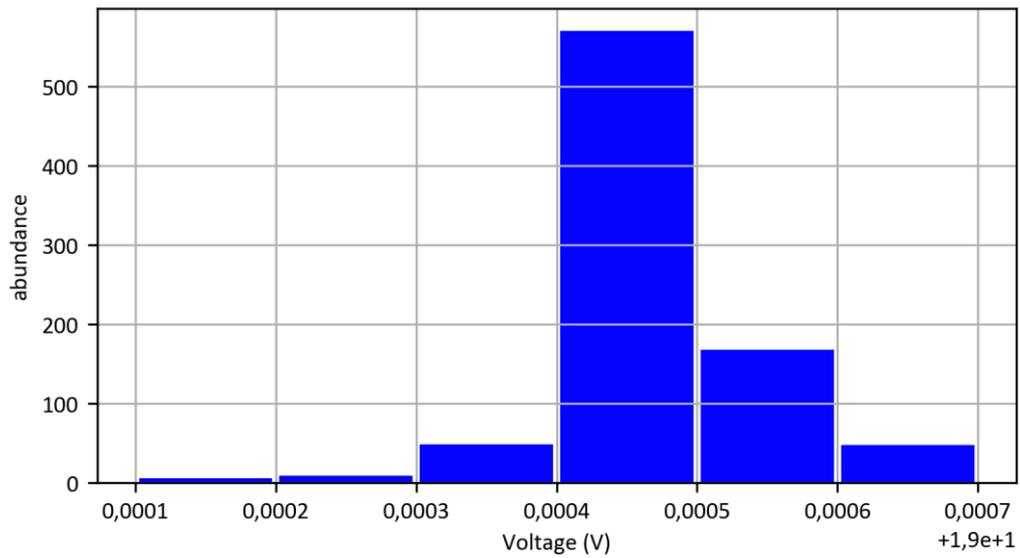


Abbildung 6: Die ungefilterten Messpunkte können in erste Näherung als Normalverteilt angenommen werden.

Eingangsstrom

Nicht gemessen, da in allen Ranges ein Eingangswiderstand von $10\text{M}\Omega$ angegeben ist. Dies wurde auch mittels einer kurzen Messung bestätigt.

Eigenerwärmung des Shunts bei der Strommessung

Durch die im Shunt umgesetzte Leistung während der Strommessung ändert sich die Temperatur des Shunts in Abhängigkeit vom zu messenden Strom. Zusammen mit dem Temperaturkoeffizienten des Shunts führt dies zu einer nicht-Linearität im Strommessbetrieb.

Zur Untersuchung dieses Verhaltens wurde dem Solartron 7150 zunächst ausreichend Zeit gegeben um einen stabilen Betriebszustand zu erreichen. Anschließend wurde die bereits stabilisierte Stromquelle mit dem ebenfalls bereits stabilisiertem Referenzshunt (Burster 1240-1) an das 7150 geschaltet. Der Referenzshunt dient in dieser Messung lediglich zur Überwachung der Stromstabilität.

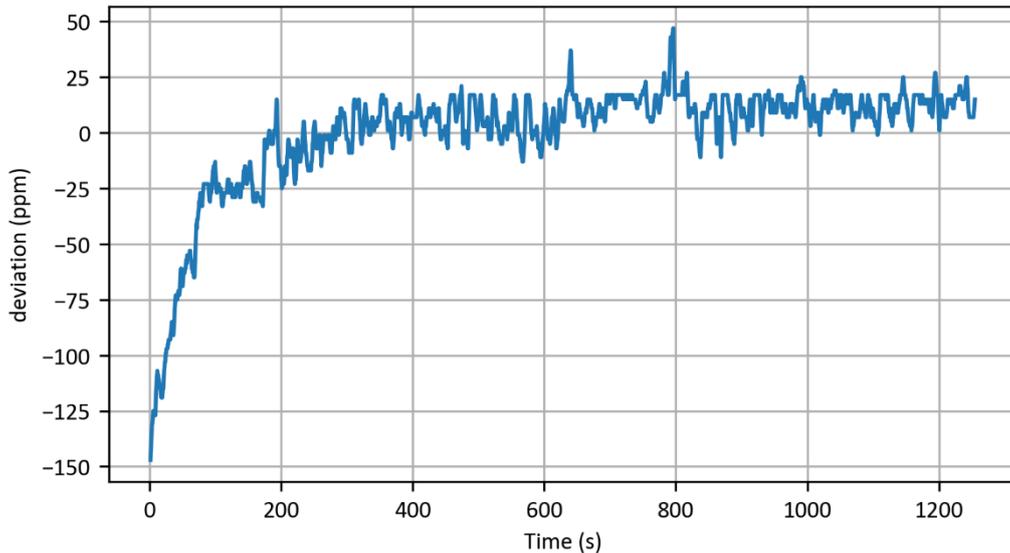


Abbildung 7: Antwort des Solartron 7150 im 2A DC Strombereich auf einen Eingangssprung von 0A auf 1A

Wie in Abbildung 7 zu sehen führt ein Strom von 1 A dazu, dass sich der Widerstand des Shunts um ca. 150 ppm ändert. Die Änderung des Widerstandes hängt hierbei quadratisch mit dem Messstrom zusammen.

Temperaturabhängigkeit der DCV Bereiche

Zur Ermittlung der Temperaturabhängigkeit der DCV Messwerte des Solartron 7150 wurde fortwährend eine Kalibrierung sämtlicher Bereichsendwerte durchgeführt. Bei jeder Kalibrierung wurde jeder Messpunkt 600-fach gemittelt. Somit benötigt ein vollständiger Kalibrationslauf etwa 30 min. Mit Ausnahme des 1000 V Bereichs wurden alle Bereiche am Skalenendwert kalibriert. Um eine Aufwärmung des Eingangsteilers und somit den Einfluss auf die anderen Messbereiche zu reduzieren wurde der 1000 V Bereich bei lediglich 500 V kalibriert.

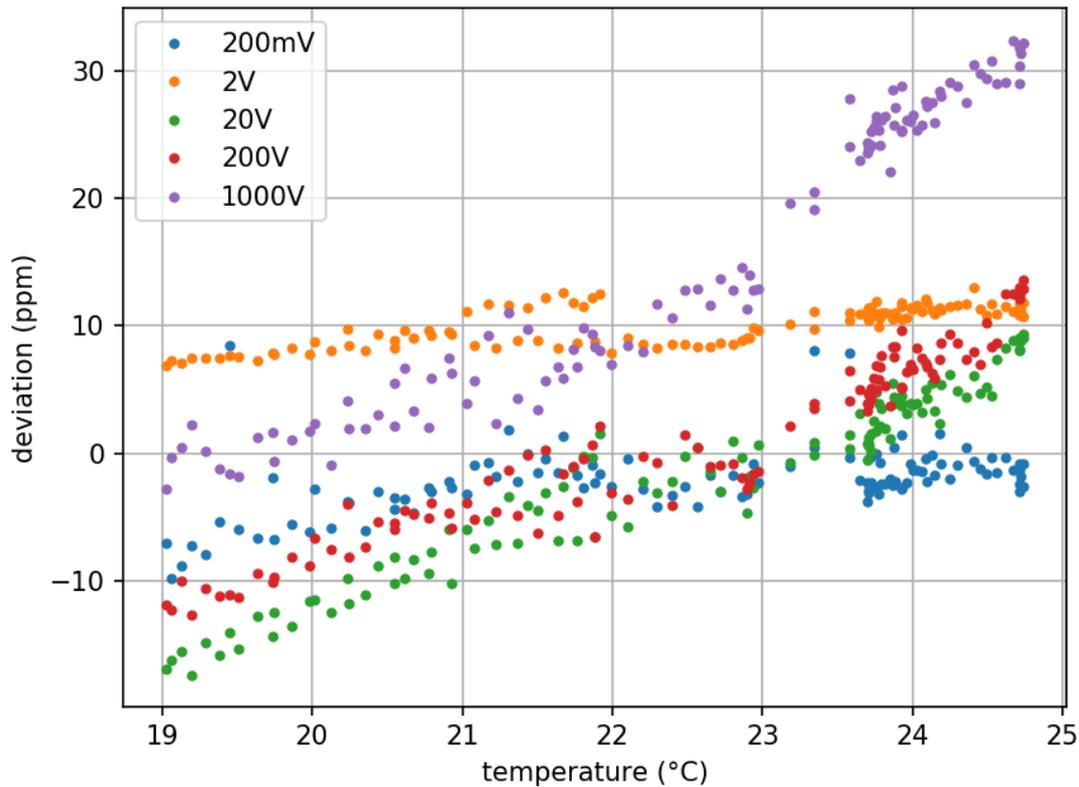


Abbildung 8: Abweichung der Spannungsmessung über der Temperatur

Durch die Berechnung einer linearen Regression der Messabweichung gegenüber der Temperatur konnten für die DCV Bereiche folgende Temperaturkoeffizienten ermittelt werden:

Tabelle 1: Temperaturkoeffizienten der DCV Bereiche

Messbereich	Temperaturkoeffizient (ppm/K)
200 mV	0.7
2 V	0.7
20 V	4.0
200 V	4.0
1000 V	3.9

Temperaturabhängigkeit der Widerstands Bereiche

Analog zur Bestimmung der DCV Temperaturkoeffizienten wurden das Temperaturverhalten des Widerstandsbereichs untersucht.

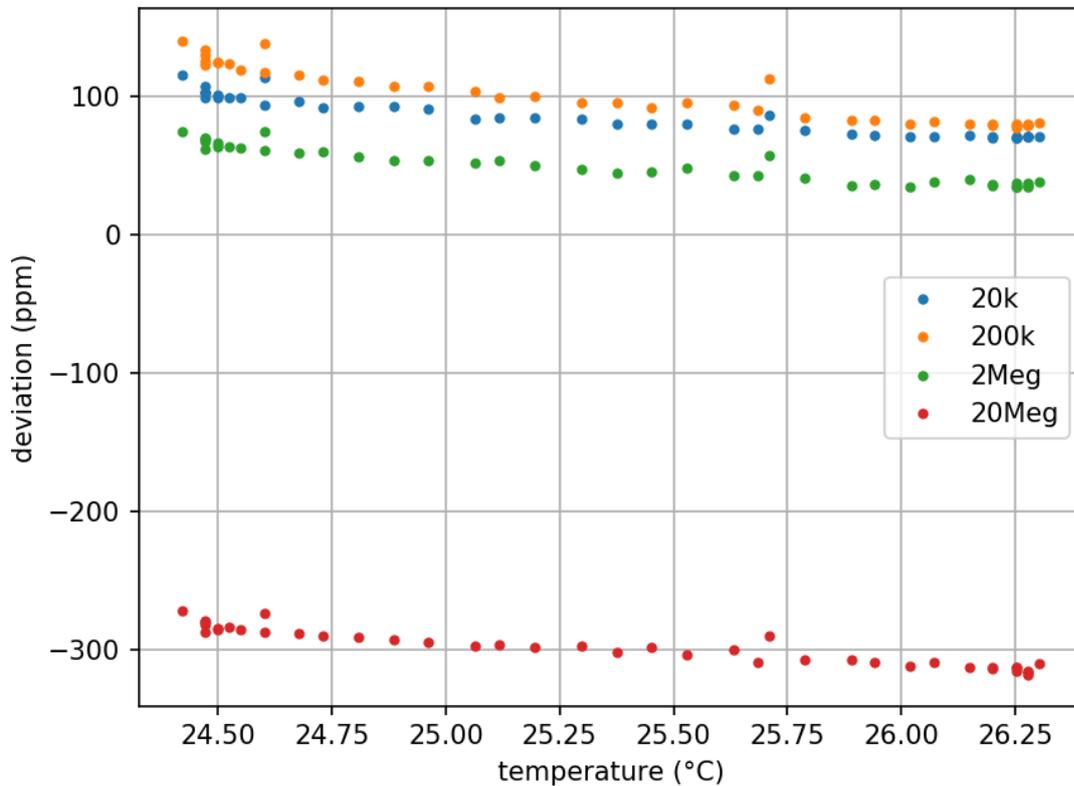


Abbildung 9: Abweichung der Widerstandsmessung über der Temperatur

Die über eine lineare Regression ermittelten Koeffizienten ergeben sich hierbei zu:

Tabelle 2: Temperaturkoeffizienten der Widerstandsbereiche

Messbereich	Temperaturkoeffizient (ppm/K)
20 k	-18.4
200 k	-26.6
2 Meg	-17.3
20 Meg	-17.7

Kalibrierung

Zur Kalibrierung wurden folgende Geräte genutzt:

- Fluke 5440B DCV Kalibrator
- Fluke 5450A Widerstandskalibrator
- Valhalla 2500 Transkonduktanzverstärker
- Valhalla 2703 ACV Kalibrator
- Burster 1240-1 Referenzshunt
- Burster 1240-0.1 Referenzshunt
- Agilent 34401A

Die Kalibrierung wurde bei ca. 24°C durchgeführt.

Für jeden Kalibrierpunkt wurden 100 Messwerte aufgenommen. Aus diesen wurde der Mittelwert sowie die Standardabweichung bestimmt und in den Tabellen entsprechend eingetragen. Die bestimmten Standardabweichungen sind in ppm bezogen auf den gemittelten Messwert angegeben. Die in der Spalte „stored“ dargestellten Werte sind die Messwerte der verwendeten Referenz.

Vor Justage

AC Spannung

Verwendet wurde ein Valhalla 2703 AC Kalibrator.

Tabelle 3: ACV vor Justage

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
2	2,000195	2,001418	14	611	1350	1999
20	19,98175	19,90392	19	-3895	1352	2005
200	199,3657	198,8206	24	-2734	1352	2006

DC Strom

Der Strom wurde mittels Valhalla 2500 und Fluke 5440B gegeben und mittels Agilent 34401A und Burster 1240-0.1 gemessen.

Tabelle 4: DCI Messung vor Justage

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
2	1,999282	1,999448	7	831	200	500

AC Strom

Der Strom wurde mittels Valhalla 2500 und Valhalla 2703 gegeben und mittels Agilent 34401A und Burster 1240-0.1 gemessen.

Tabelle 5: AC Strommessung vor Justage

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
1	998,838	999,105	23	266	2000	3000

Der AC Strombereich scheint deutlich unterhalb der 24h Spezifikation zu liegen. Eine Justage ist in diesem Bereich somit nicht notwendig.

Widerstand

Die Widerstandsmessung erfolgte mit einem Fluke 5450A Widerstandskalibrator.

Tabelle 6: Widerstandsmessung vor Justage

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
0	0	0,093	748915,3			
1	0,99911	1,009	44532,49	9899	495580	495840
1,9	1,89938	1,985	17988,48	45078	251929	252189
10	10,00045	9,992	5234,867	-845	50080	50340
19	19,00094	19,005	1146,777	214	26349	26609
100	100,0066	100,032	563,3798	254	5038	5298
190	190,013	190,037	312,6876	126	2671	2931
1000	1000,083	999,83	59,17086	-253	540	800
1900	1900,167	1899,695	38,95006	-248	303	563
10000	10000,57	9997,74	6,482206	-283	90	350
19000	19000,96	18995,55	2,929197	-285	66	326
100000	100008,1	99980,28	5,672097	-278	100	450
190000	190013,9	189963,7	3,333925	-264	76	426
1000000	1000088	999823,3	4,702958	-265	90	350
1900000	1900159	1899668	3,005139	-258	66	326
10000000	10000630	9999266	16,86659	-136	700	1000
19000000	19000990	18997708	35,74484	-173	605	905

Diodentest

Prüfung erfolgte mit einer Widerstandsdekade sowie zwei Agilent 34401A mit denen simultan die Spannung gemessen und der Strom überwacht wurde. Der Prüfstrom ist stabil bei ca. 100 μ A bis zu einer maximalen Spannung von ca. 2,1 V.

DC Spannung

Die DC Spannungsmessung erfolgte mit einem Fluke 5440B Kalibrator. Hierbei wurde für Spannungen kleiner gleich 2V der DIV Ausgang verwendet.

Tabelle 7: DCV bis 2V am DIV Ausgang

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec	1y spec
0	0	0,00000216	613211,9			
0,1	0,1	0,09999995	10,1	0	70	150
0,2	0,2	0,19999545	3,0	-23	45	125
-0,2	-0,2	-0,1999899	3,7	-50	45	125
0,3	0,3	0,2999942	24,1	-19	187	267
0,4	0,4	0,3999829	11,3	-43	145	225
0,5	0,5	0,499983	12,5	-34	120	200
0,6	0,6	0,5999733	10,0	-45	103	183
0,7	0,7	0,6999727	7,2	-39	91	171
0,8	0,8	0,7999693	3,2	-38	83	163
0,9	0,9	0,8999622	6,6	-42	76	156
1	1	0,999952	4,2	-48	70	150
1,1	1,1	1,099948	3,6	-47	65	145
1,2	1,2	1,1999456	4,9	-45	62	142
1,3	1,3	1,299935	3,8	-50	58	138
1,4	1,4	1,3999321	4,9	-49	56	136
1,5	1,5	1,4999239	3,9	-51	53	133
1,6	1,6	1,5999239	4,1	-48	51	131
1,7	1,7	1,699917	4,1	-49	49	129
1,8	1,8	1,7999066	2,7	-52	48	128
1,9	1,9	1,8999018	3,8	-52	46	126
2	2	1,9998949	3,0	-53	45	125
-2	-2	-1,9998974	3,6	-51	45	125

Tabelle 8: DCV am regulären Ausgang des Fluke 5440B

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
0	0	0,00000449	217066,4			
0,1	0,1	0,10000915	9	91	70	150
0,2	0,2	0,20001033	4	52	45	125
-0,2	-0,2	-0,2000005	4	3	45	125
0,5	0,5	0,5000086	12	17	120	200
1	1	1,0000087	6	9	70	150
2	2	1,9999974	3	-1	45	125
-2	-2	-2,0000158	3	8	45	125
3	3	3,000063	32	21	187	267
4	4	4,000038	18	9	145	225
5	5	5,00005	15	10	120	200
6	6	6,000027	13	5	103	183
7	7	6,999978	9	-3	91	171
8	8	8,000066	12	8	82	162
9	9	9,000052	7	6	76	156
10	10	10,000076	12	8	70	150
-10	-10	-10,000251	5	25	70	150
11	11	11,000121	7	11	65	145
12	12	12,000126	7	10	62	142
13	13	13,000117	5	9	58	138
14	14	14,000044	8	3	56	136
15	15	15,000133	7	9	53	133
16	16	16,000147	6	9	51	131
17	17	17,000202	5	12	49	129
18	18	18,000204	7	11	48	128
19	19	19,000171	6	9	46	126
20	20	20,000156	4	8	45	125
-20	-20	-20,000544	5	27	45	125
30	30	29,99999	20	0	187	267
40	40	39,99978	16	-5	145	225
50	50	50,00006	11	1	120	200
60	60	59,99995	5	-1	103	183
70	70	69,99935	8	-9	91	171
80	80	79,99983	6	-2	83	163
90	90	89,99951	7	-5	76	156
100	100	99,99934	7	-7	70	150
150	150	149,99908	4	-6	53	133
200	200	199,99772	3	-11	45	125
-200	-200	-200,00082	2	4	45	125
500	500	499,9972	13	-6	120	200
1000	1000	1000,0061	5	6	70	150
-1000	-1000	-1000,0115	6	12	70	150

Den Tabellen ist zu entnehmen, dass das Gerät bis auf wenige Ausnahmen im Bereich bis 2 V noch immer innerhalb der 24h Spezifikationen misst.

Auffällig ist darüber hinaus die Abweichung der Messergebnisse zwischen dem DIV Ausgang und dem regulären Ausgang des Fluke 5440B. Dies ist durch den Innenwiderstand des DIV Ausgangs und den nicht-hochohmigen Eingang des Solartron 7150 zu erklären. Aufgrund der niedrigen Eingangsimpedanz, auch in den unteren Spannungsbereichen, ist eine Kalibrierung über den DIV Ausgang nicht möglich. Bei den Spezifikationen des Solartron 7150 ist dies jedoch auch nicht notwendig.

Nach Justage

AC Spannung

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
2	1,9931426	1,994434	10	648	1351	2003
20	19,980134	19,98021	8	4	1350	2001
200	199,59434	199,5883	19	-30	1351	2002

DC Strom

Tabelle 9: DCI Messung

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
2	1,993089	1,993023	7,4	-33	200	500

Widerstand

Tabelle 10: Widerstand nach Justage

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
0	0	0,136	504306,7			
1	0,99911	1,07	65421	70953	467330	467590
1,9	1,89938	1,995	17898	50343	250667	250927
10	10,00045	10,033	4687	3255	49876	50136
19	19,00094	19,093	1528	4845	26228	26488
100	100,0066	99,989	581	-176	5041	5301
190	190,013	190,104	103	479	2670	2930
1000	1000,083	1000,11	48	27	540	800
1900	1900,167	1900,172	25	3	303	563
10000	10000,57	10000,62	6	5	90	350
19000	19000,96	19000,87	3	-5	66	326
100000	100008,1	100007,7	4	-4	100	450
190000	190013,9	190013,3	3	-3	76	426
1000000	1000088	1000062	6	-26	90	350
1900000	1900159	1900107	4	-27	66	326
10000000	10000630	9997338	13	-329	700	1000
19000000	19000990	18994473	55	-343	605	905

DC Spannung

Tabelle 11:DCV nach Justage

nominal	stored	measured	std. Dev. (ppm)	deviation (ppm)	24h spec (ppm)	1y spec (ppm)
0	0	7,8E-07	1066186			
0,1	0,1	0,100001	6	13	70	150
0,2	0,2	0,200001	4	3	45	125
-0,2	-0,2	-0,2	6	13	45	125
0,5	0,5	0,500006	10	12	120	200
1	1	1,000012	4	12	70	150
2	2	2,000011	3	6	45	125
-2	-2	-2,00002	4	11	45	125
3	3	3,000093	31	31	187	267
4	4	4,000025	25	6	145	225
5	5	5,000057	16	11	120	200
6	6	6,000099	16	17	103	183
7	7	7,000024	10	3	91	171
8	8	8,000015	11	2	82	162
9	9	9,000027	9	3	76	156
10	10	9,999958	11	-4	70	150
-10	-10	-9,99997	10	-3	70	150
11	11	10,99997	8	-3	65	145
12	12	11,99996	6	-4	62	142
13	13	12,99997	6	-3	58	138
14	14	13,99997	6	-2	56	136
15	15	14,99999	5	-1	53	133
16	16	15,99996	6	-3	51	131
17	17	16,99991	6	-5	49	129
18	18	17,99993	5	-4	48	128
19	19	18,9999	4	-5	46	126
20	20	19,99995	4	-3	45	125
-20	-20	-20	5	2	45	125
30	30	30,00033	21	11	187	267
40	40	39,99965	16	-9	145	225
50	50	49,99996	15	-1	120	200
60	60	60,00035	8	6	103	183
70	70	70,00014	6	2	91	171
80	80	79,99977	5	-3	83	163
90	90	89,99976	5	-3	76	156
100	100	100,0006	5	6	70	150
150	150	150,0005	4	3	53	133
200	200	199,9999	2	-1	45	125
-200	-200	-200,001	3	7	45	125
500	500	500,0011	15	2	120	200
1000	1000	1000,009	6	9	70	150
-1000	-1000	-999,999	6	-1	70	150