

GPS disziplinierter Normaloszillator (GPSDO)

10MHz OCXO mit analoger Regelung an GPS
angebunden



Jörg Logemann, DL2NI, April 2017

Messtechnik für den Funkamateurl

Spannung

Strom

HF-Leistung

Anpassung (SWR)

Spektrum

Frequenz

.....



Historie der Frequenzmessung

...und Historie der Frequenzgenauigkeit:

Früher (bis in die 80er) VFO und Einpfeifen auf Referenzoszillator (meist 100kHz oder 1MHz)

Auch Einpfeifen auf WWV und andere Sender (teils wöchentliche „Eichsendungen“ von Amateuren!)

Einpfeifen heißt: akustische Beobachtung auf „Schwebungs-Null“. Genauigkeit $\pm 10 \dots 300 \text{ Hz}$ (je nach unterer NF-Grenzfrequenz des RX!)

Historie der Frequenzmessung

In den 70er Jahren kamen Frequenzzähler auf den Markt, einfacher Quarzoszillator, Nixie-Anzeige, Genauigkeit $\pm 2 \cdot 10^{-5} \dots \pm 5 \cdot 10^{-6}$ oder $\pm 200 \dots \pm 50 \text{ Hz}$ bei 10 MHz



Historie der Frequenzmessung

Dann wurde DCF77 aktuell (ab ca. 1975...)

In den 2000er Jahren kam GPS-Regelung

Mit beiden können Referenzoszillatoren gebaut werden mit $df = \pm 1 \cdot 10^{-9} \dots \pm 5 \cdot 10^{-13}$ (siehe unten)

Historie der Frequenzgenauigkeit

1. VFO auf Kurzwelle, ältere TRX $\pm 2 \cdot 10^{-4} \dots \pm 5 \cdot 10^{-5}$ oder $\sim \pm 800 \dots 200 \text{ Hz}$ auf 80m
2. gute mech. Armbanduhr $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ oder $\sim \pm 1 \text{ sec/d}$
3. Quarzosz., Synthesizer $\pm 5 \cdot 10^{-5} \dots \pm 1 \cdot 10^{-5}$ oder $\sim \pm 200 \dots 40 \text{ Hz}$ auf 80m
4. TCXO, Synthesizer $\pm 1 \cdot 10^{-5} \dots \pm 2 \cdot 10^{-6}$ oder $\sim \pm 40 \dots 8 \text{ Hz}$ auf 80m
5. OCXO, Synthesizer $\pm 2 \cdot 10^{-7} \dots \pm 1 \cdot 10^{-8}$ oder $\sim \pm 0,8 \dots 0,04 \text{ Hz}$ a. 80M
oder $\pm 2000 \dots 100 \text{ Hz}$ auf 10GHz
6. Riefler Pendeluhr Typ E, 1962 $\pm 4,6 \cdot 10^{-8} \dots \pm 1,2 \cdot 10^{-9}$ oder ca. $\pm 4 \text{ ms/d} \dots \pm 100 \mu\text{s/d}$
7. OCXO an DCF77 $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ in 200s oder $\pm 10 \text{ Hz}$ auf 10GHz
($\sim \pm 86 \mu\text{s/Tag}$ oder 1s in 32 Jahren)
8. OCXO an GPS $\pm 1 \cdot 10^{-11}$ in 200s oder $\pm 0,1 \text{ Hz}$ auf 10GHz
($\sim \pm 860 \text{ ns/Tag}$ oder 1s in 3200 Jahren)

Das dürfte reichen...

Schlussfolgerung

auf Kurzwelle ist ein XO ausreichend, für Digimodes ein TCXO sinnvoll

auf den VHF/UHF-Bändern ist für SSB und Digimodes der Einsatz eines TCXO sinnvoll, 13cm und höher: OCXO

zum Nachkalibrieren wird ein genauere Oszillator benötigt: ein „angebundener“ OCXO

auf 10GHz und höher sollte es schon ein „angebundener“ TCXO oder OCXO sein.

Überlegungen zum Design des geregelten OCXO

Möglichst guter OCXO (Stabilität, Jitter, Phasenrauschen)

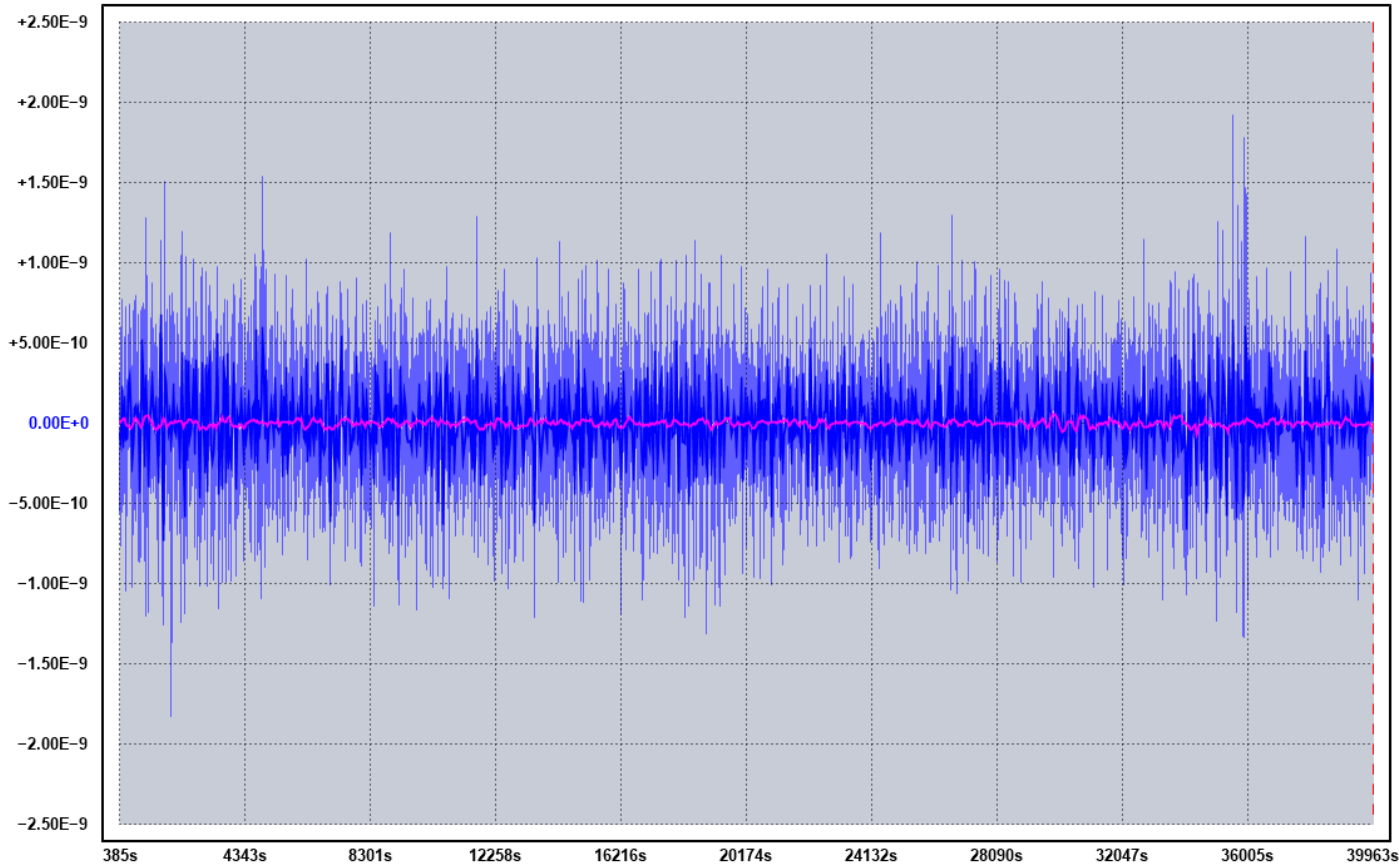
schon für 30€ bei Ebay: MV89A von Morion

Ein schlechter Oszillator wird mit der Regelung nicht besser, nur die Alterung wird verringert!

Preiswerter TCXO gegen MV89A

Frequency Difference (Linear residual)

Averaging window: Per-pixel

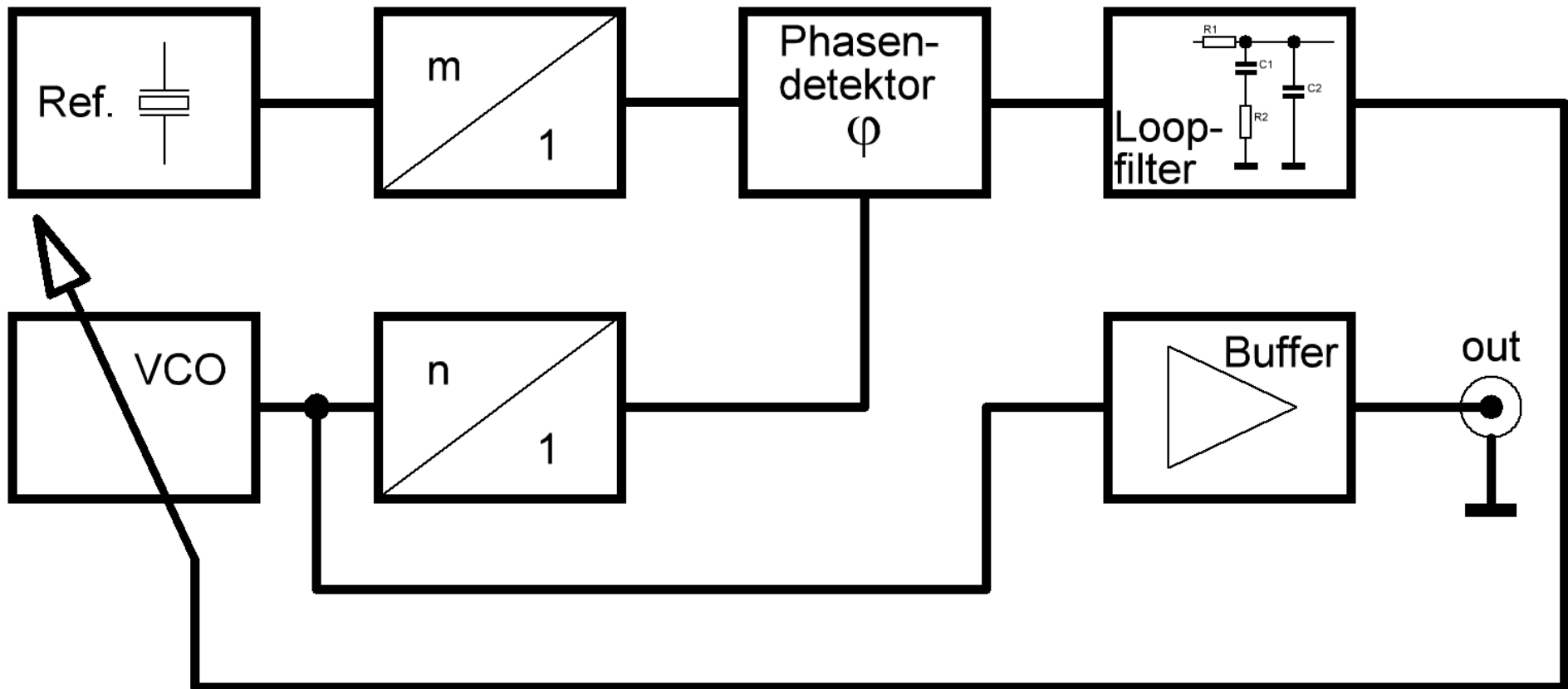


Origin	Drift (Hz/sec)	Drift (Hz/hr)
+6.18E-10	-1.35E-8	-4.85E-5
+1.95E-12	-3.62E-10	-1.30E-6

Avg Time (s)	Freq (Hz) at 39964s	Error
1.550	9 999 999 .999 900 000	-1.00E-11
3	9 999 999 .999 900 000	-1.00E-11
10	9 999 999 .999 816 667	-1.83E-11
30	9 999 999 .999 784 211	-2.16E-11
100	9 999 999 .999 801 539	-1.98E-11
300	9 999 999 .999 920 618	-7.94E-12
1 000	9 999 999 .999 992 559	-7.44E-13
3 000	9 999 999 .999 986 356	-1.36E-12
10 000	9 999 999 .999 979 619	-2.04E-12

Trace	Notes	Filename	Input Freq	Freq at 39963s	Duration	Elapsed	Time/Date
VCTCXO VT7-705S	Ref.: Z3805A	VCTCXO_mod.tim	9.9999999942 MHz	6.90E-10	11h 22m 11s	11h 22m 11s	27.01.2016 00:10:49
GPSDO_1F, 1k8, 47R, 1000u ODER 1mF, 100k, 2k7	Ref.: Z3805A	GPSDO_neu_39.tim	10 MHz	-1.00E-11	21h 49m 33s	21h 49m 33s	18.01.2016 18:29:53

PLL Grundschialtung



Überlegungen zum Design des geregelten OCXO

Ist DCF77 oder GPS besser?

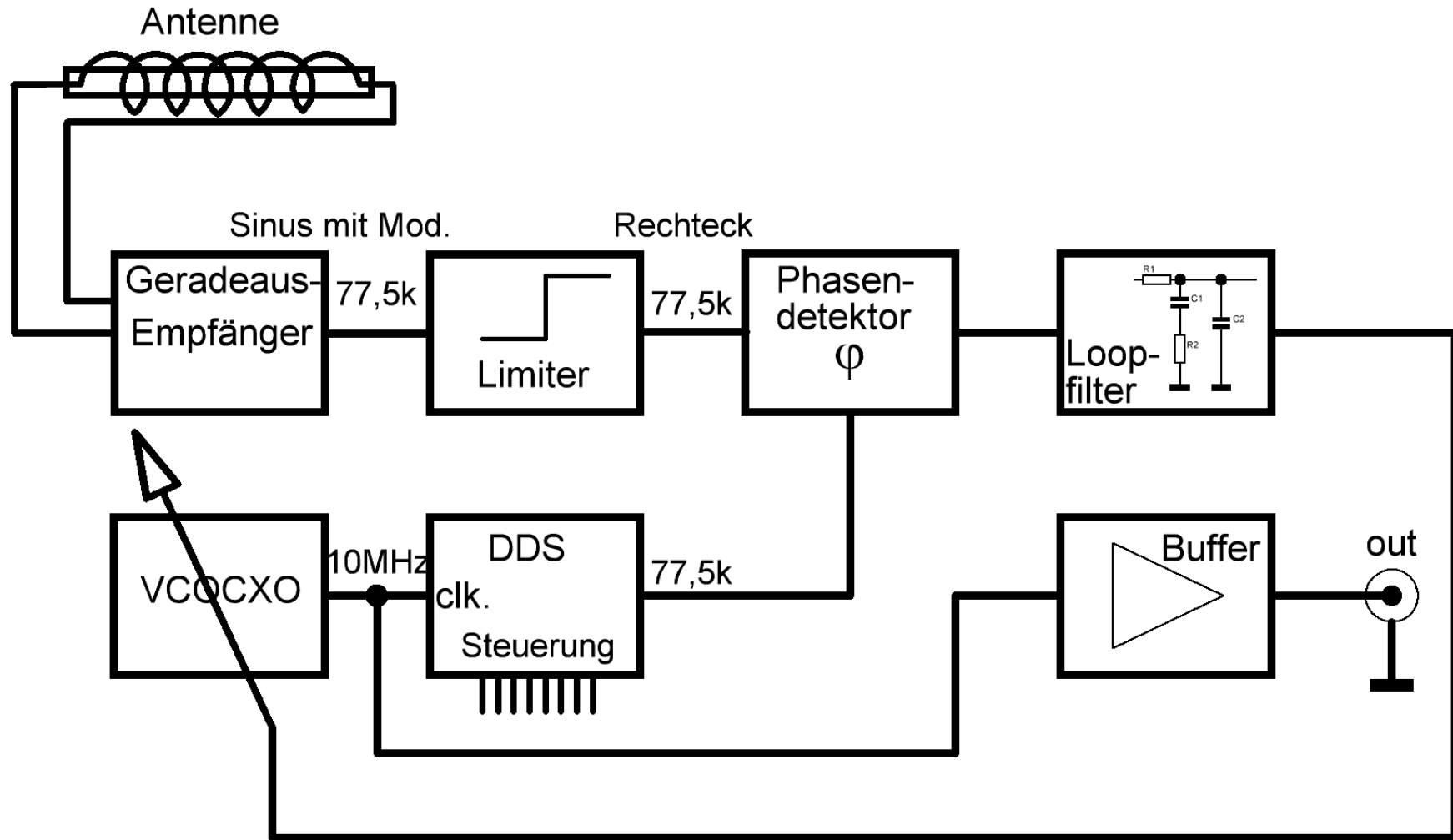
DCF77-Trägerfrequenz (77,5kHz) und Sek.-Pulse haben hohe Genauigkeit, (bei Pulsauswertung: 59. Sekunde muss ergänzt werden)

Nachteile DCF77: HF-Signal muss für Trägersauswertung begrenzt werden, Empfänger aufwändig und nicht „von der Stange“ kaufbar, VLF-Ausbreitung geht stark in Genauigkeit ein

Vorteile DCF77: Funksignal überall mit Innenantenne verfügbar, auch im Keller

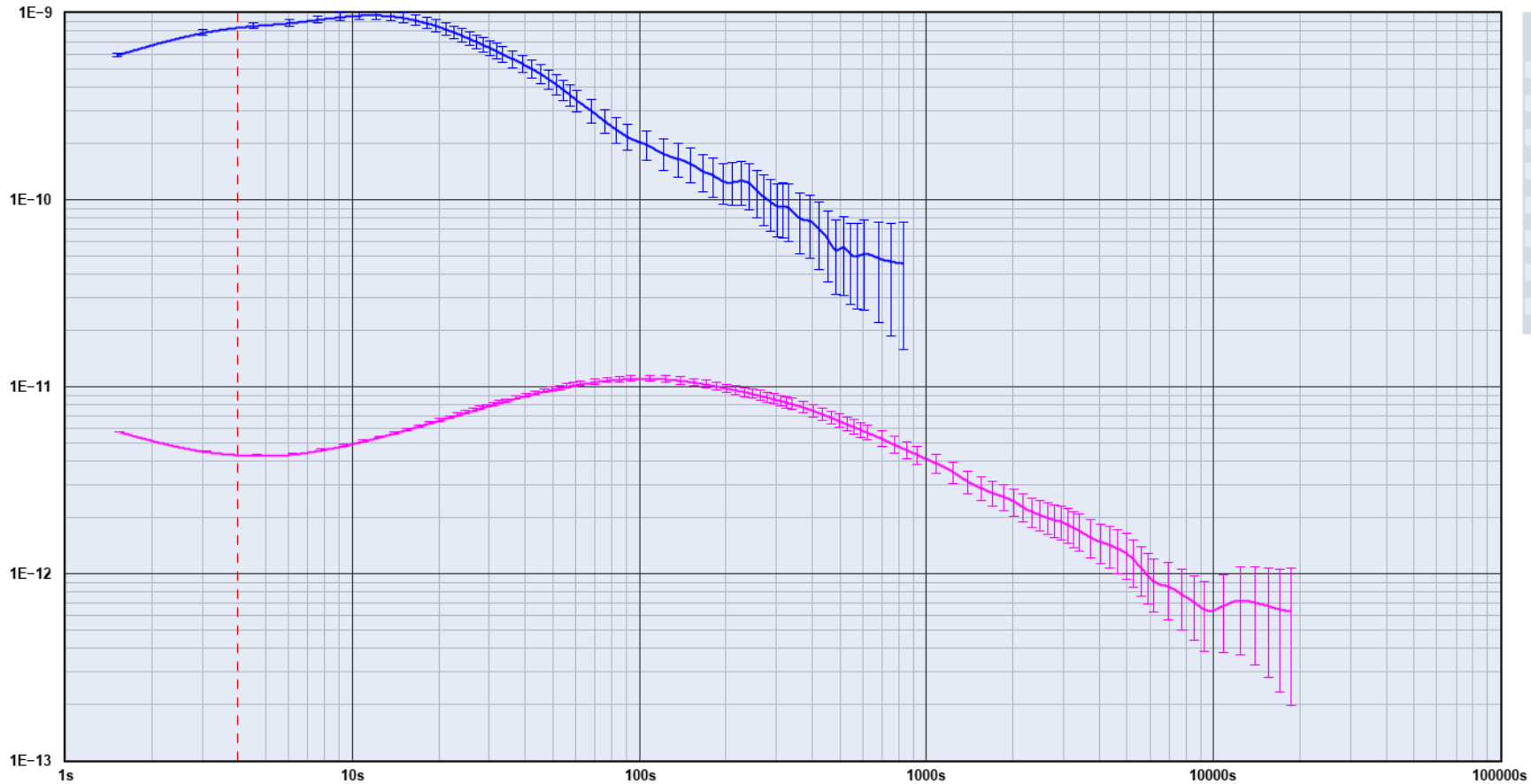


OCXO an DCF77 angebunden



DCF77-Normal gegen GPSDO

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$



Tau	Sigma(Tau)
2s	5.25E-12
4s	4.38E-12
8s	4.64E-12
10s	4.98E-12
20s	6.63E-12
40s	8.99E-12
80s	1.09E-11
100s	1.11E-11
200s	9.86E-12
400s	7.50E-12
800s	4.81E-12
1000s	4.12E-12
2000s	2.45E-12
4000s	1.50E-12
8000s	7.53E-13
10000s	6.62E-13

Trace	Notes	Filename	Input Freq	ADEV at 4s	Duration	Elapsed	Time/Date
DCF77_CEPE	DCF77 nachgef hrter OCXO Ref.: Z3805A	DCF_kurz.tim	10.000000115 MHz	8.33E-10	1h 0m 0s	1h 0m 0s	21.10.2015 10:23:45
GPSDO_1F, 1k8, 47R, 1000u ODER 1mF, 100k, 2k7		GPSDO_neu_40.tim	10.0000000002 MHz	4.38E-12	21h 7m 45s	21h 7m 45s	23.01.2016 19:26:29

Überlegungen zum Design des geregelten OCXO

Entscheidung für GPS:

**GPS-Empfänger mit 1PPS mit geringem Jitter,
Timing-Empfänger, z.B. U-Blox NEO-M8T**

**Richtig dimensionierter PI-Regler, Zeitkonstante ca.
2000 sec!**

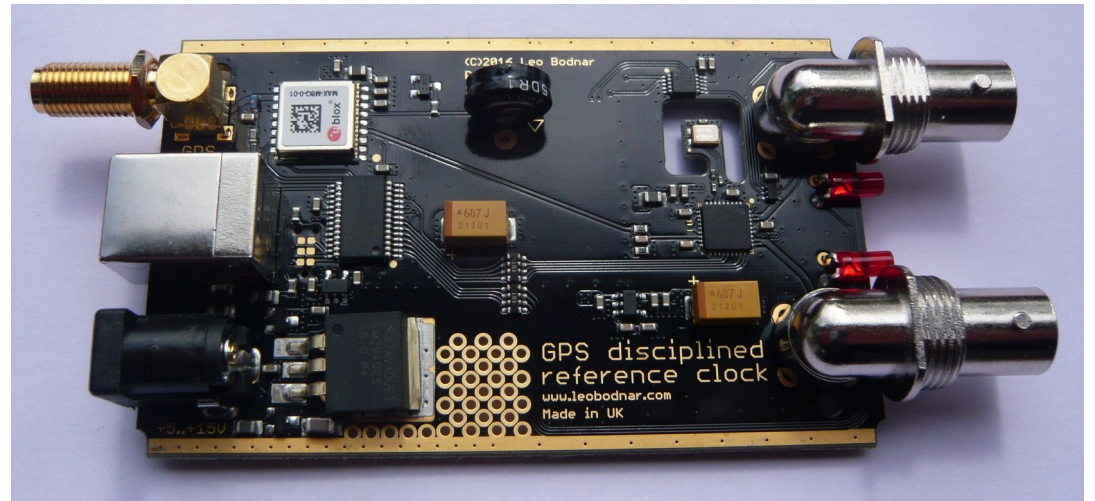
**Keine Behelfsantenne „irgendwo hingeklatscht“,
sondern Antenne mit Rundumsicht**

Übersicht über handelsübliche GPSDO

Zunächst: was kann man kaufen?

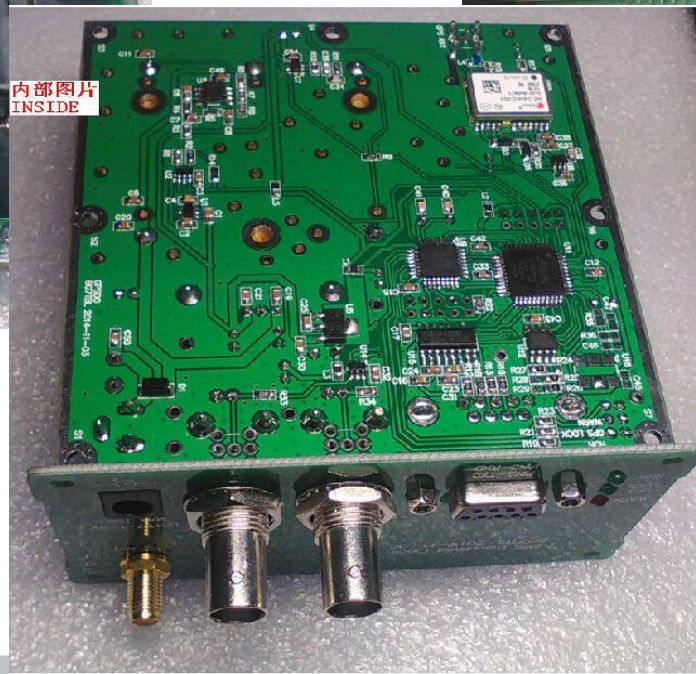
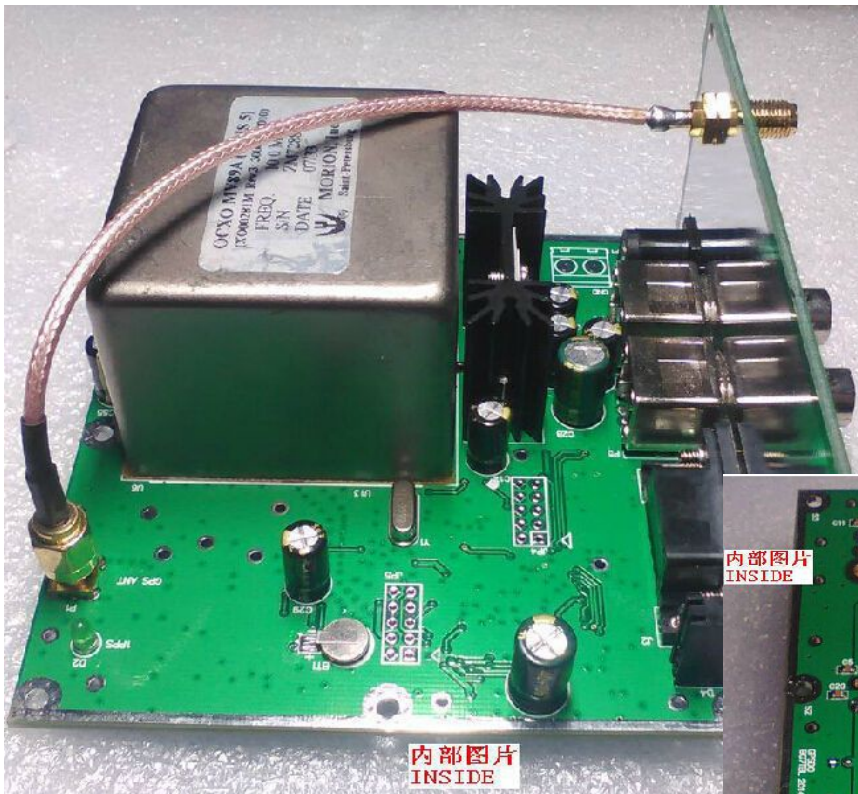
Im Handel, besonders bei ebay, sind viele verschiedene GPSDO für Preise zwischen 140...1000€ erhältlich. Z.T. sind günstige Surplusgeräte zu bekommen, z.B. aus „ausgeschlachteten“ GSM-Basisstationen.

GPSDO von SDR-kits



Mit kleinem TCXO,
Preis ca. 180€

Chinesisches GPS-Normal von BG7TBL

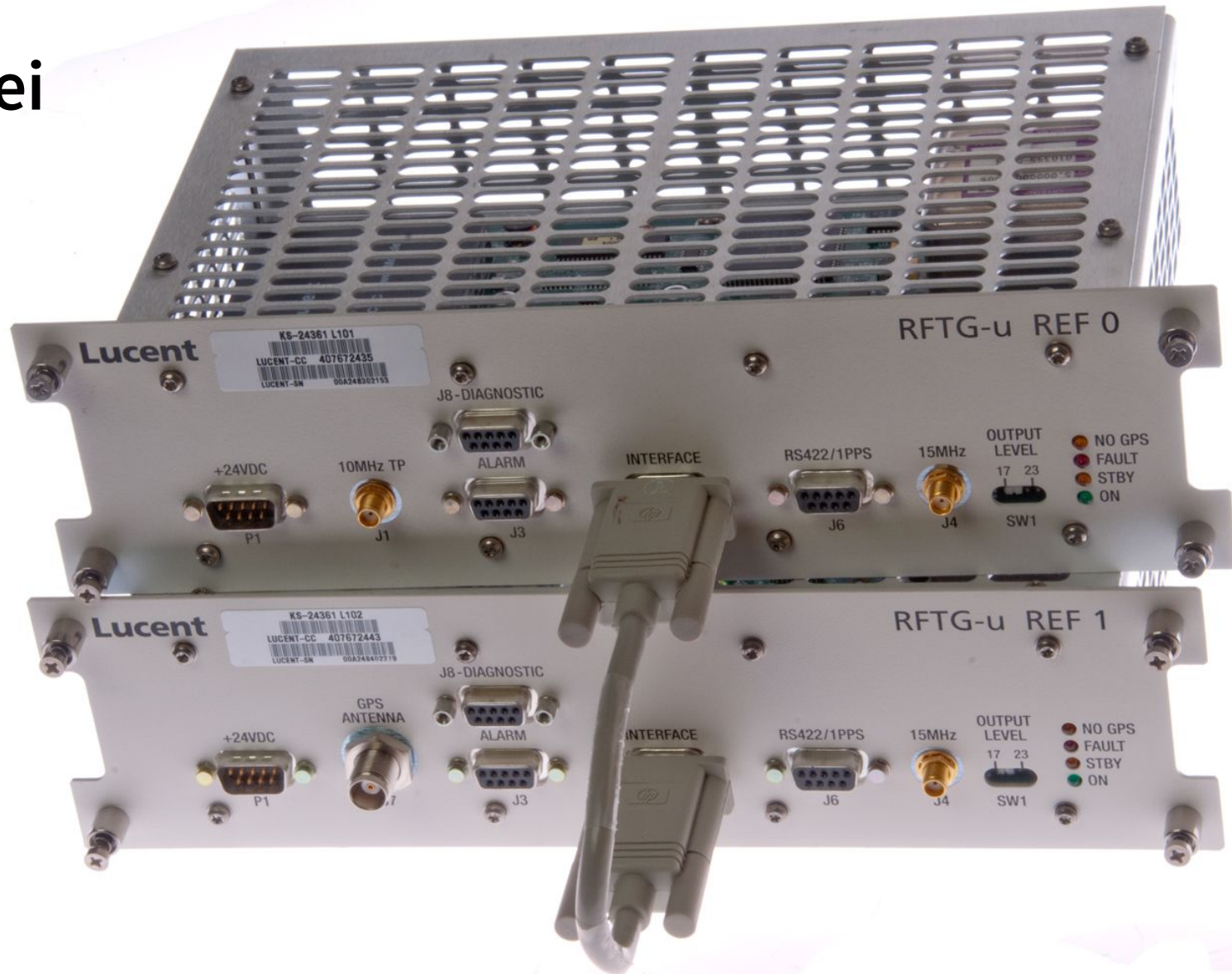


Mit gutem
OCXO MV89A
von Morion

ca. 130€ bei ebay

Lucent RFTG (Ref0 und Ref1)

ca. 300\$ bei
ebay USA

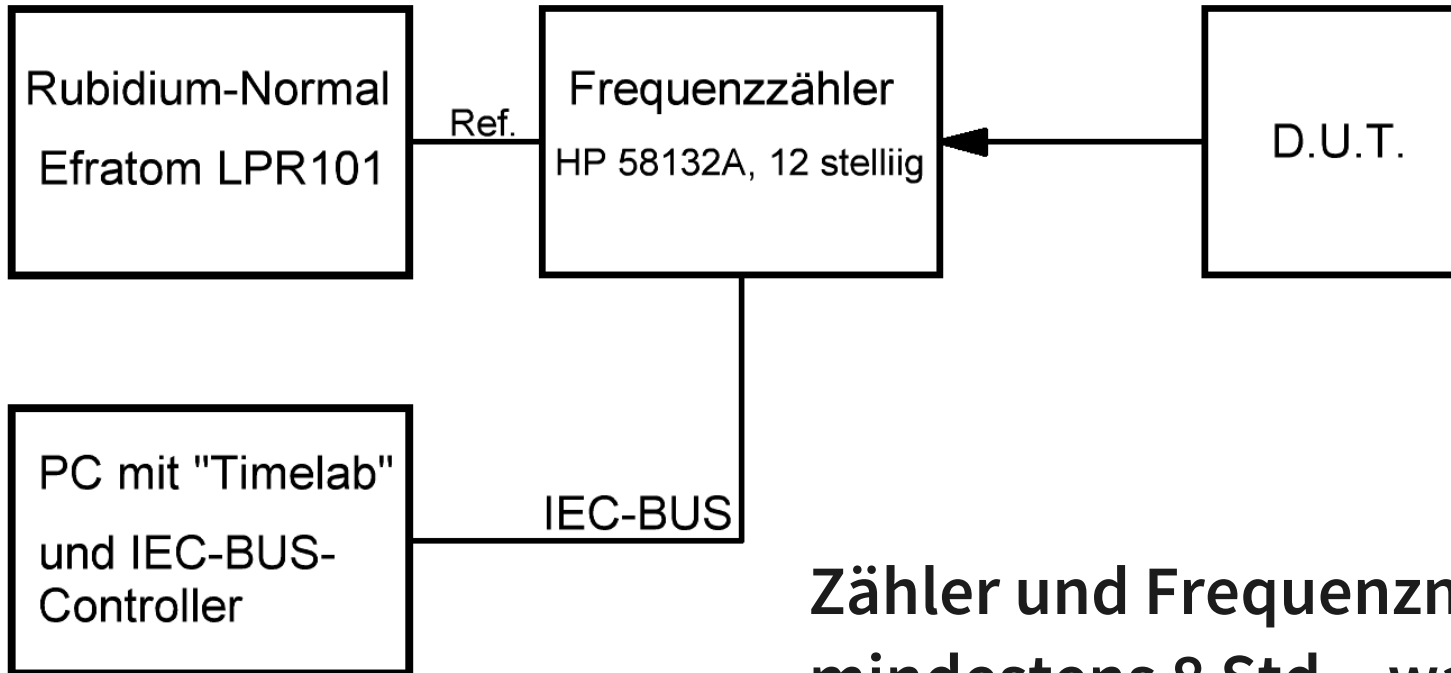


HP (Agilent): Z-3805 mit Zähler 53132A (Profigerät)



GPSDO: 300...500\$ bei ebay USA, Zähler 1000...1500\$/€

Messaufbau zur Messung genauer Oszillatoren



Zähler und Frequenznormal müssen mindestens 8 Std. „warmlaufen“, am besten Dauerbetrieb!

PLL Grundschialtung für GPS

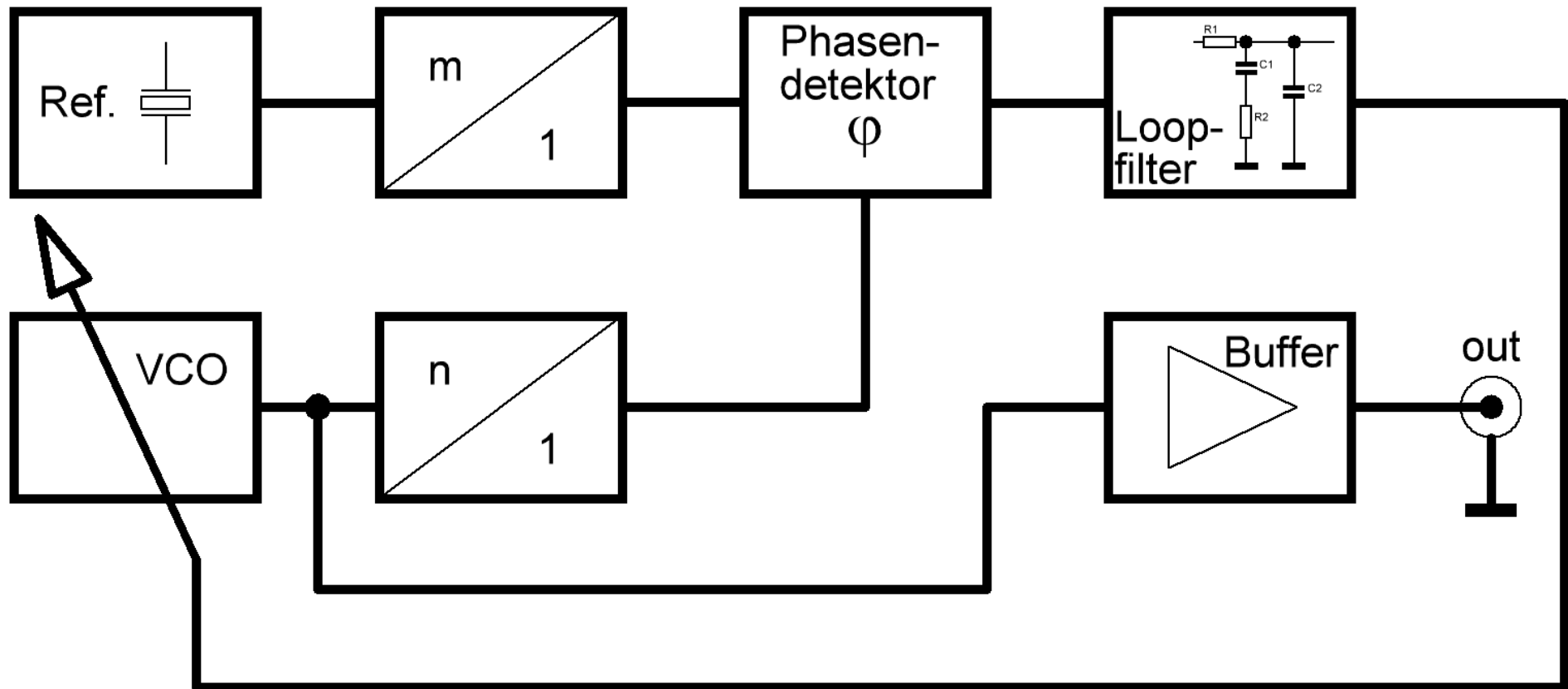
Eigenbau: was muss man tun?

OCXO-Frequenz (10MHz) muss auf 1Hz geteilt werden und mit 1Hz (1PPS) vom GPS verglichen werden

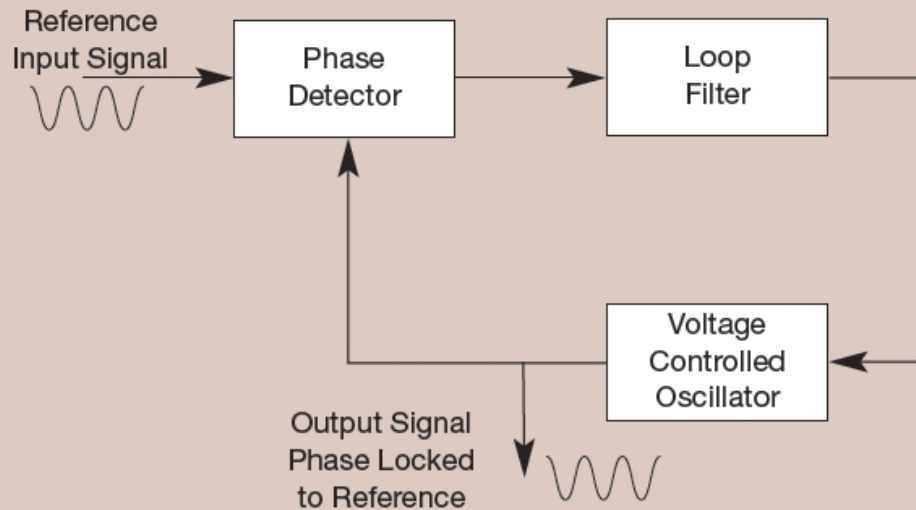
Phasendetektor für 1Hz nötig, z.B. EXOR-Gatter

Loopfilter mit $T=2000$ sec.

PLL Grundschialtung

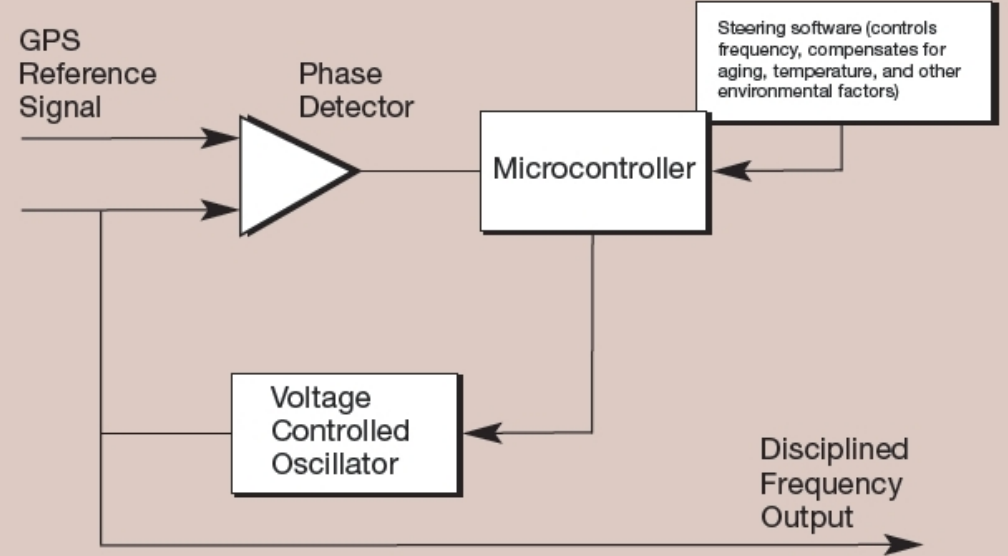


Digitale und analoge PLL



„digitale“ PLL ist nicht besser, kann aber mit „Gedächtnis“ und „Anpassung“ an den OCXO schneller reagieren. Mikrocontroller Programmierung nötig!

Herkömmliche PLL und PLL mit Microcontroller, meist mit Kalman-Filter

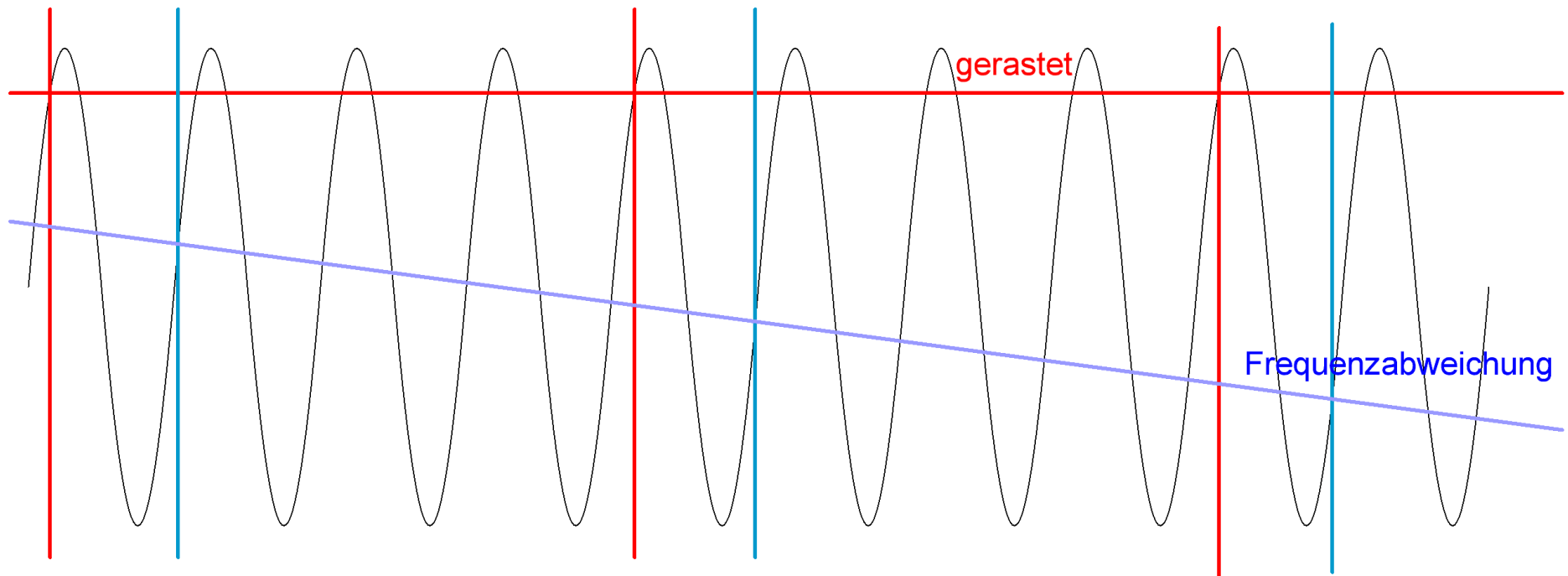


PLL Grundschtaltung

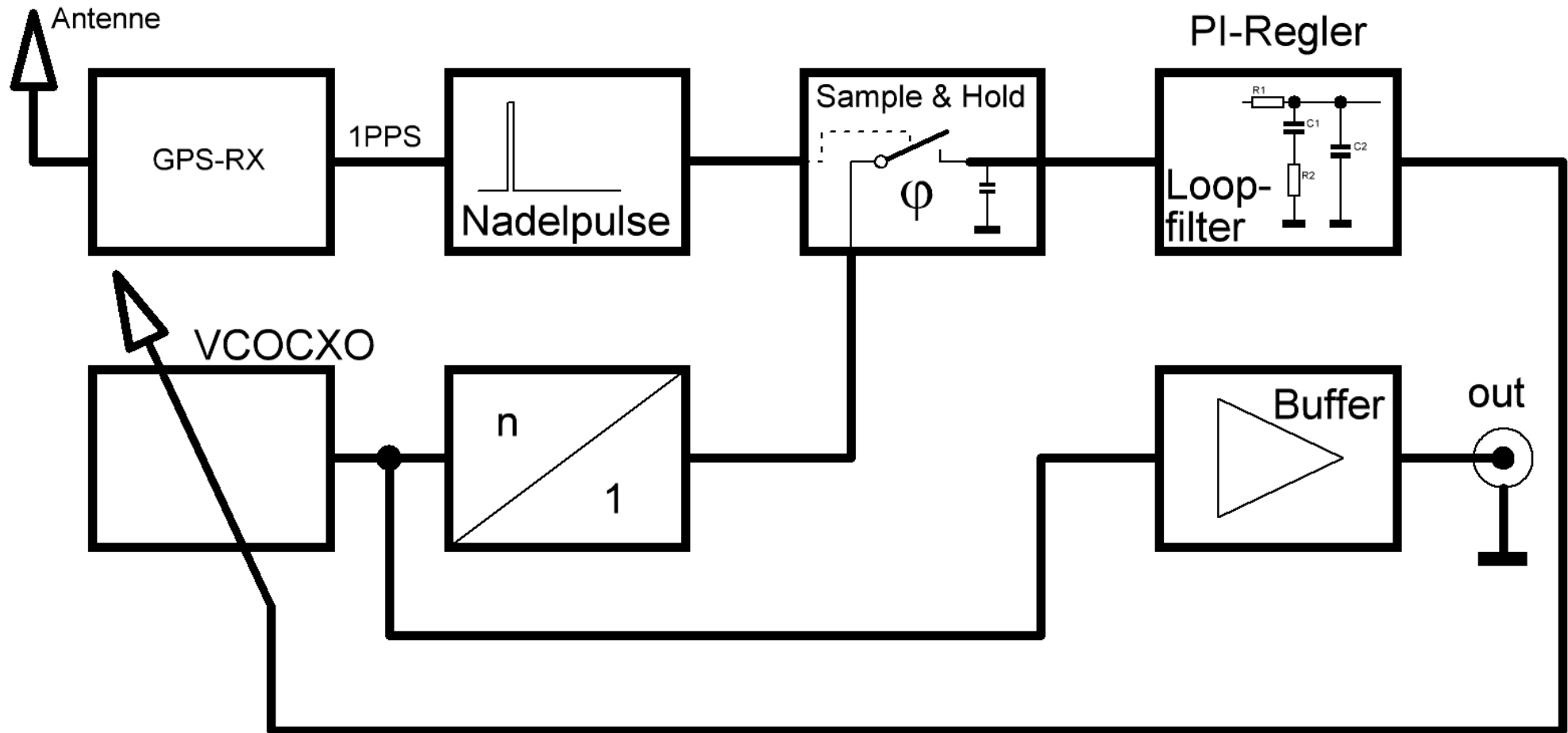
Alternative: Sample & Hold. Mit sehr kurzen Pulsen wird mit 1PPS eine „Probe“ (Sample) vom OCXO genommen und aufintegriert

Loopfilter mit $T=2000$ sec.

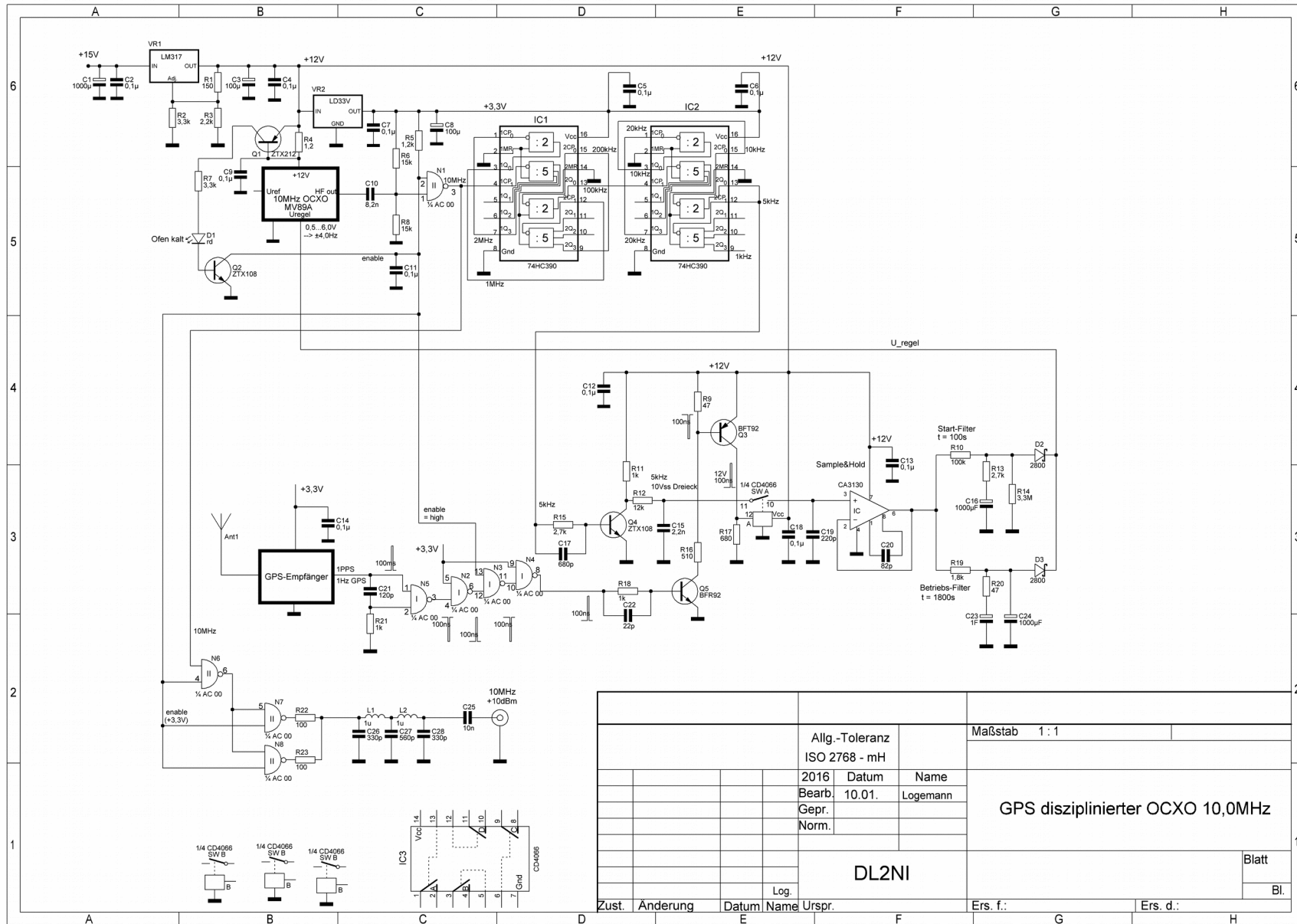
Regelung (PI-Regler)



Sample & Hold PLL

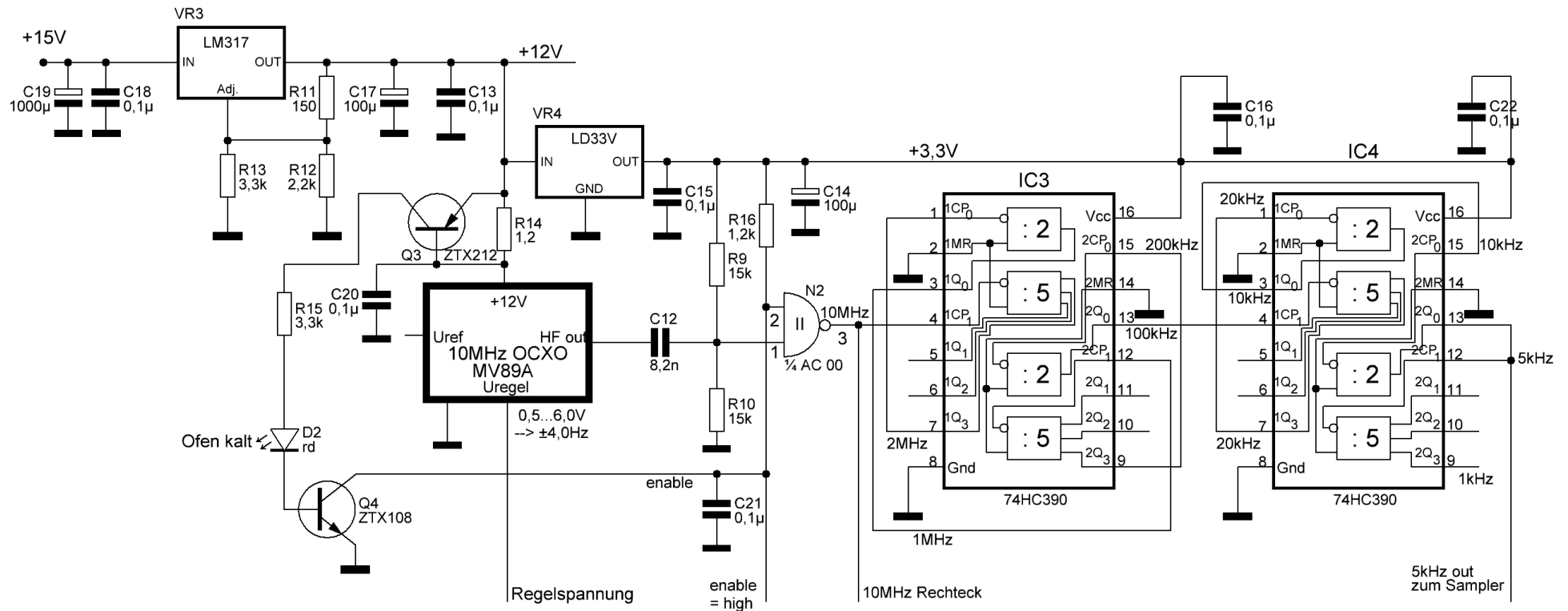


GPSDO-Schaltbild komplett



Allg.-Toleranz ISO 2768 - mH			Maßstab 1 : 1		
Bearb.	Datum	Name	GPS disziplinierter OCXO 10,0MHz		
Gepr.	10.01.	Logemann			
Norm.					
DL2NI			Blatt		
Log.			Bl.		
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr.	Ers. f.:
					Ers. d.:

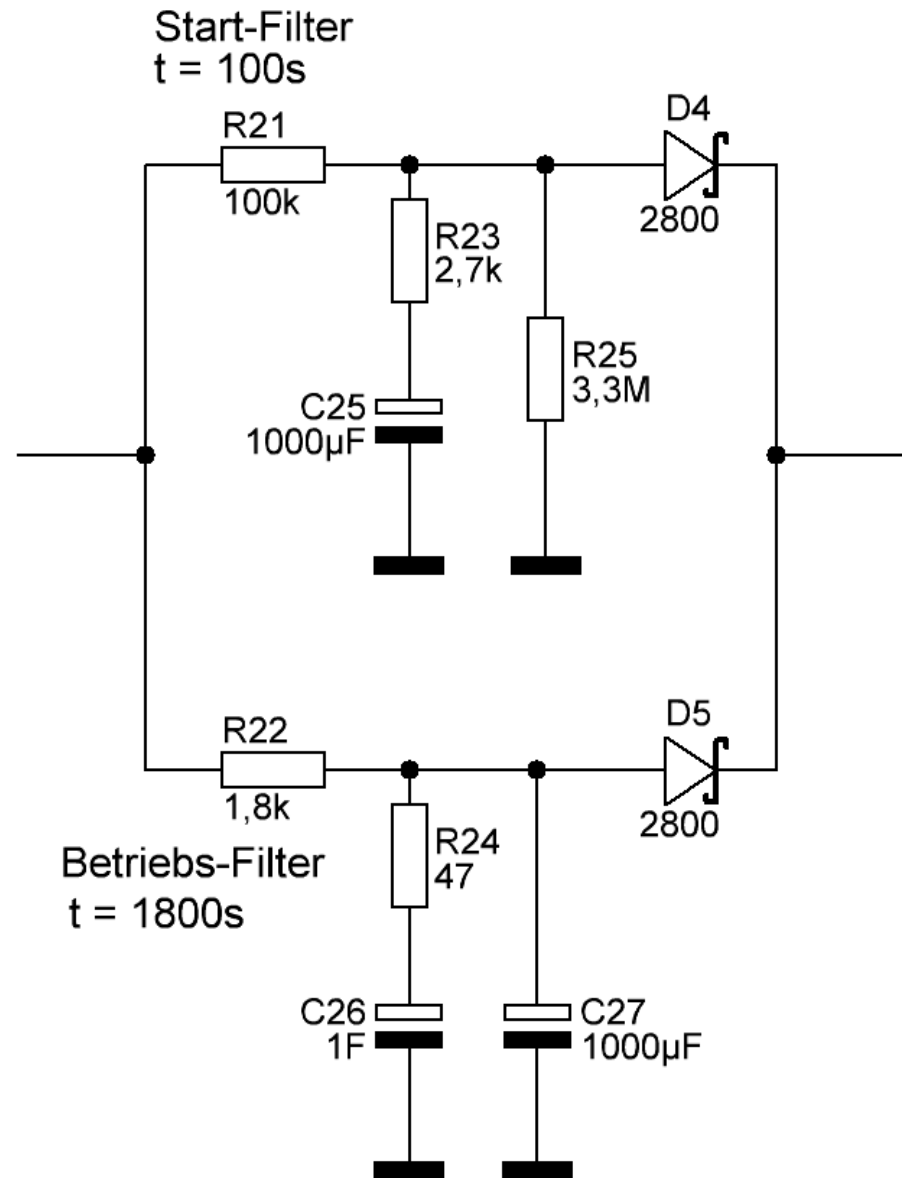
OCXO mit Frequenzteiler



Loopfilter, 2 Zeitkonstanten

Schnelle Zeitkonstante zum schnellen Einrasten

Langsame Zeitkonstante für eingerasteten Zustand



Frequenzgang Loopfilter

TopView - LEADLAG.OUT

File Edit Plot Traces Axis Format View Transform Cursors Tools Help



Loopfilter GPSDO

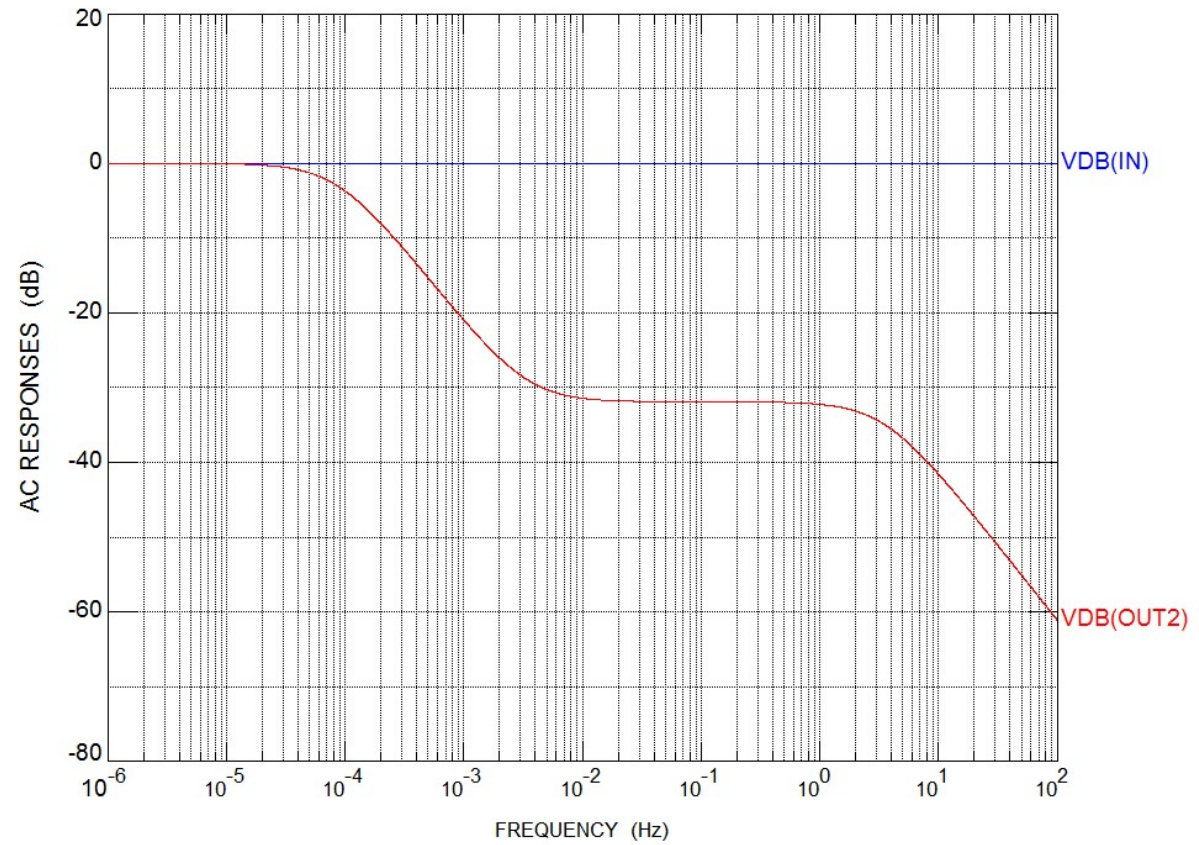
TopSpice 8.50b

26-APR-2017

12:13:40

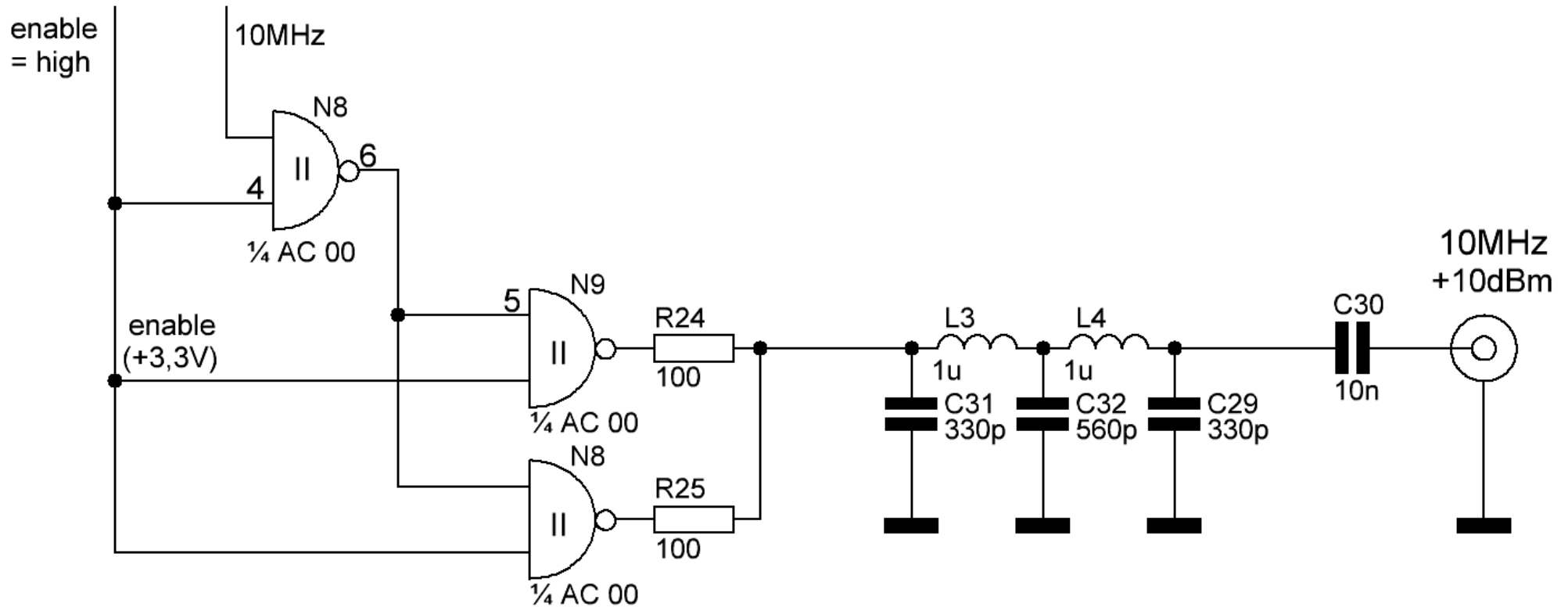
— VDB(IN)

— VDB(OUT2)

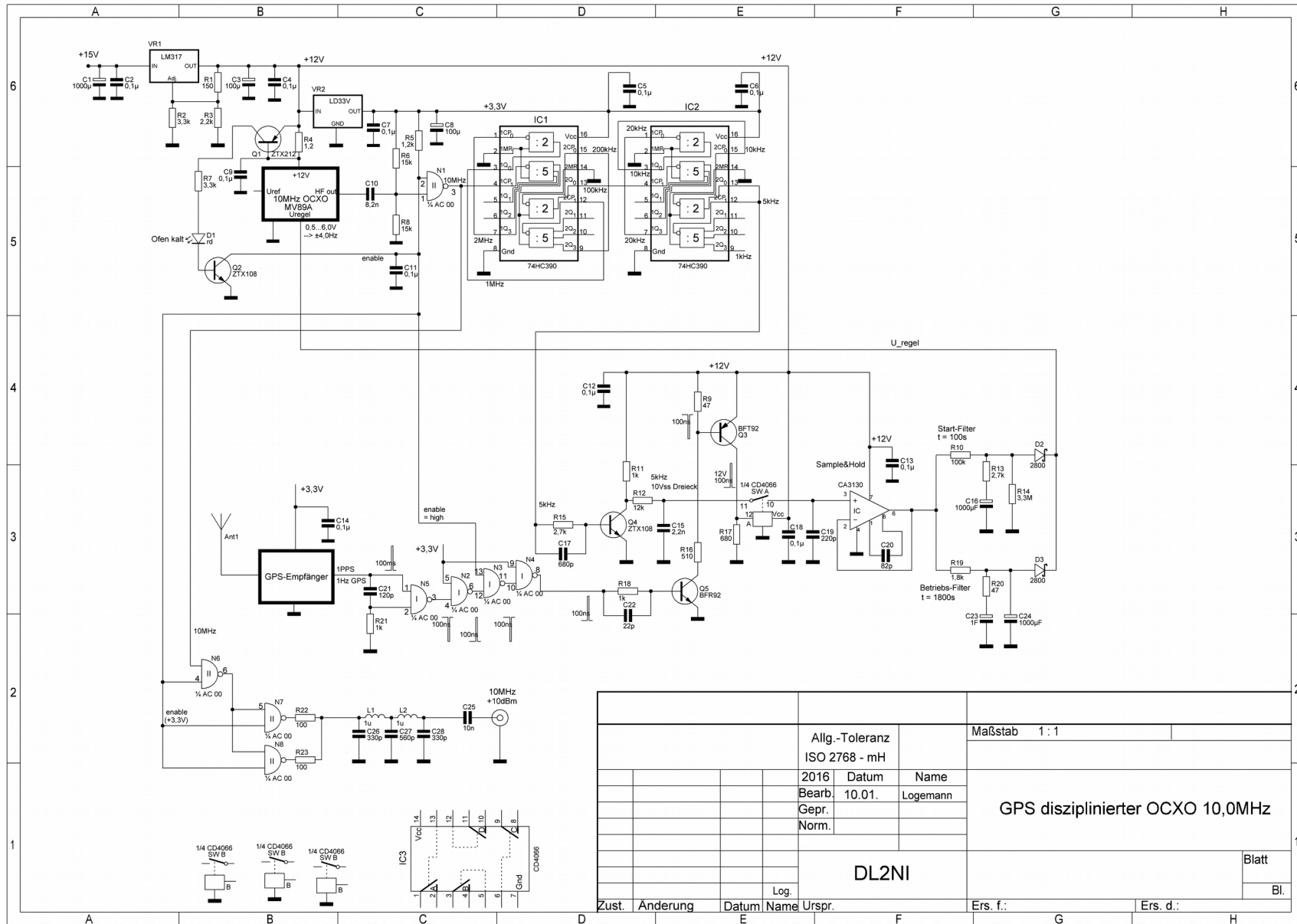


All File: C:\Users\logejo\TopSpice\Circuits\Versuche\LEADLAG.OUT Rev: 157

Ausgangsverstärker

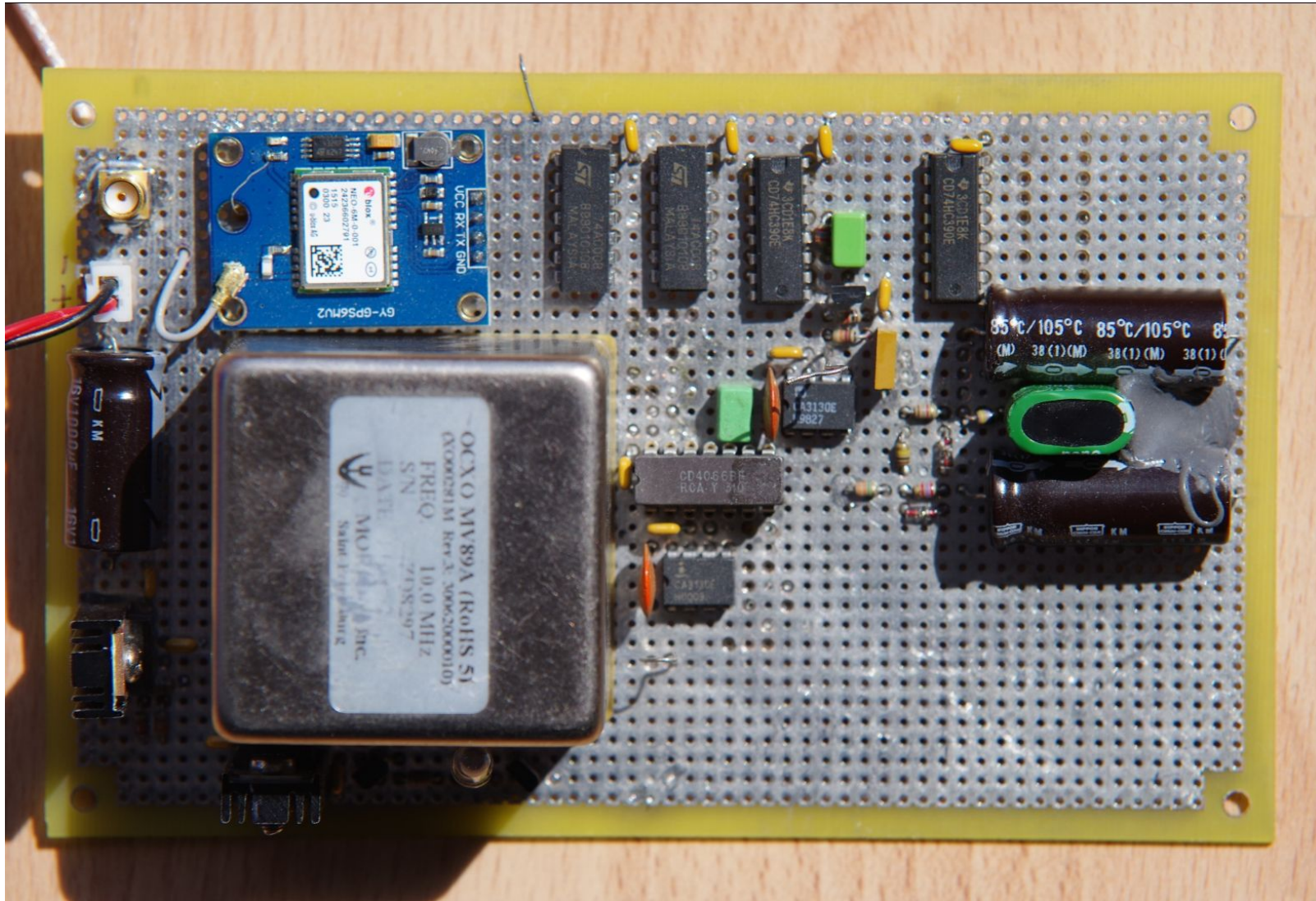


GPSDO-Schaltbild komplett

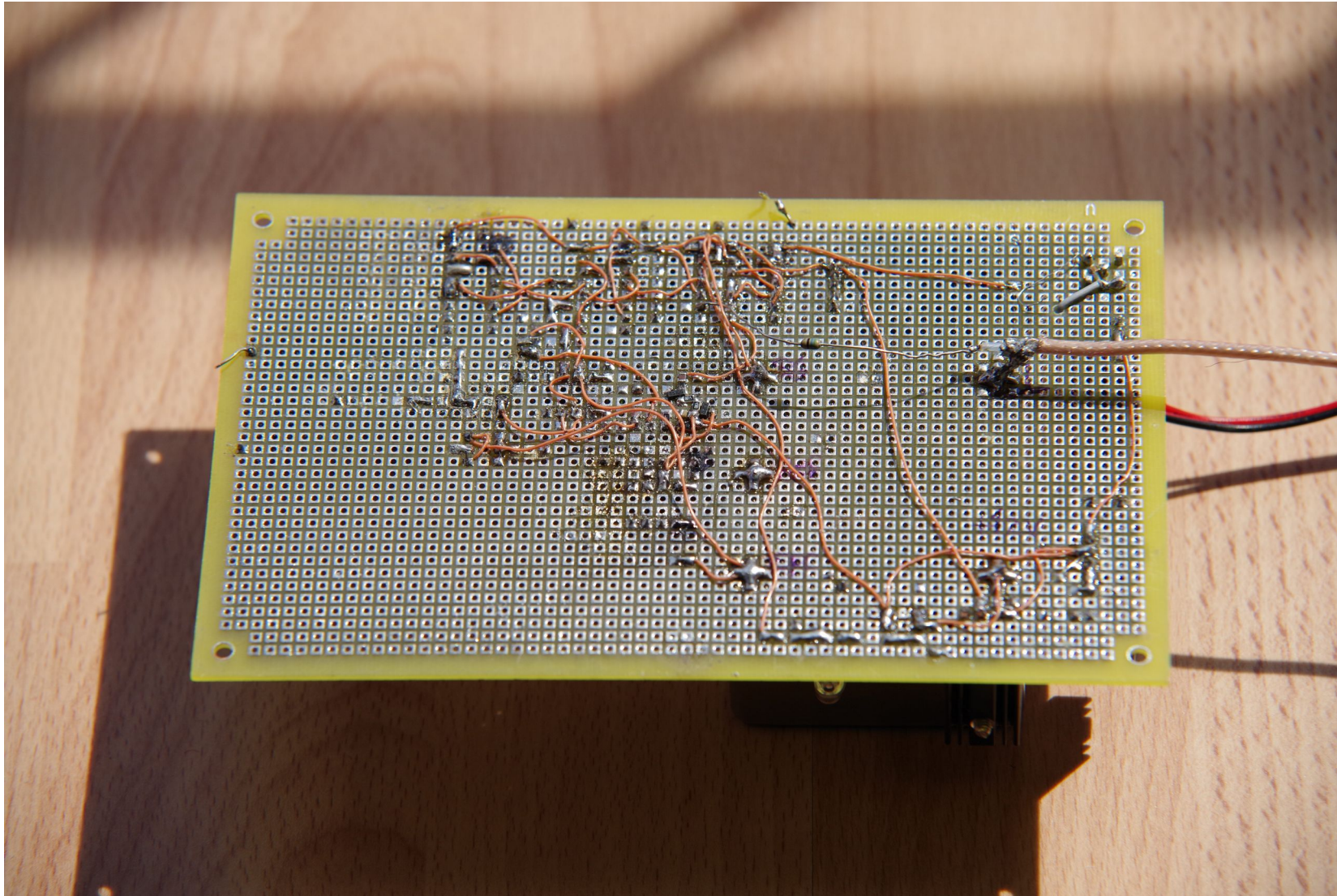


Allg.-Toleranz ISO 2768 - mH			Maßstab 1 : 1		
Bearb.	Datum	Name	GPS disziplinierter OCXO 10,0MHz		
Gepr.	10.01.	Logemann			
Norm.					
DL2NI			Blatt		
Log.			Bl.		
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr.	Ers. f.:
					Ers. d.:

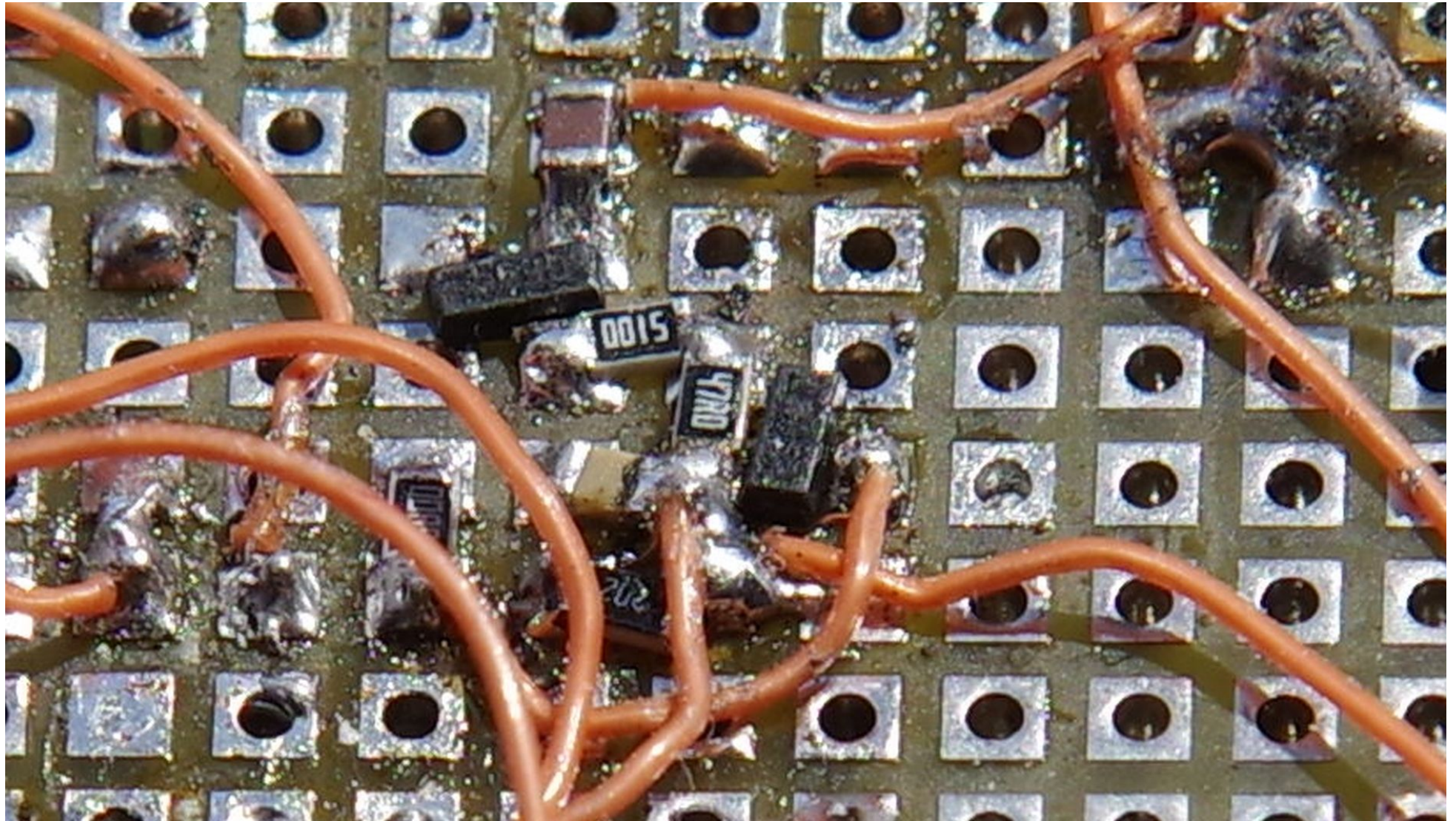
Aufbau auf Lochrasterkarte



Rückseite



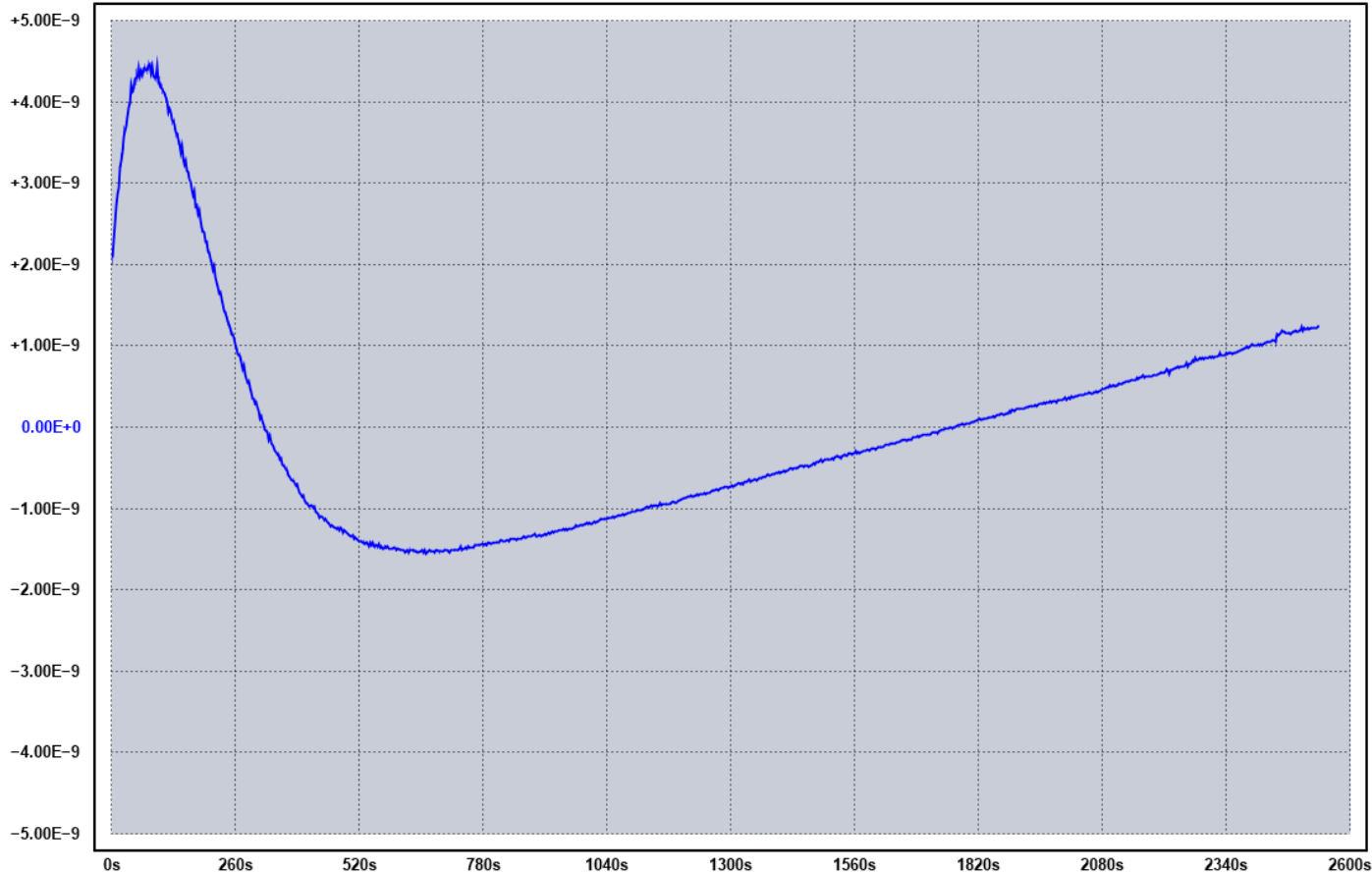
...auch mit SMD-Bauteilen bestückt



Einschwingverhalten

Frequency Difference (Linear residual)

Averaging window: Per-pixel



Origin	Drift (Hz/sec)	Drift (Hz/hr)
-1.93E-9	-1.56E-5	-5.61E-2

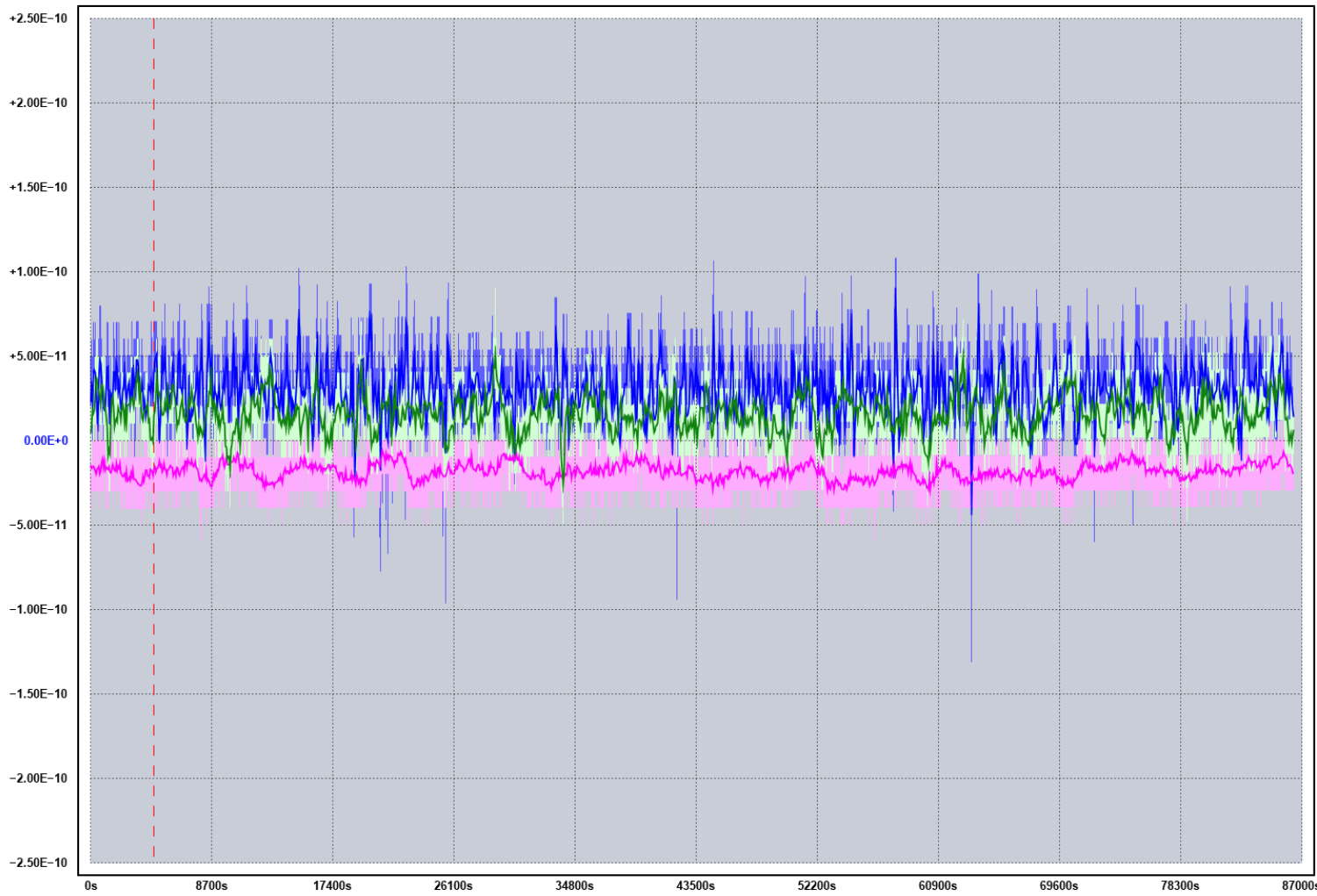
Avg Time (s)	Freq (Hz) at 2534s	Error
1 . 550	10 000 000 . 000 800 001	-4.62E-9
3	10 000 000 . 000 750 002	-4.62E-9
10	10 000 000 . 000 633 333	-4.64E-9
30	10 000 000 . 000 673 685	-4.63E-9
100	10 000 000 . 000 760 000	-4.62E-9
300	10 000 000 . 000 472 166	-4.65E-9
1 000	10 000 000 . 000 233 022	-4.68E-9

Trace	Notes	Filename	Input Freq	Freq at 39963s	Duration	Elapsed	Time/Date
GPSDO_LEA-5T_2	Ref.: Rubidium	GPSDO_Trimble2_Einlaufen.tim	10.000000047 MHz		24 h	1d 0h 0m 0s	18.01.2017 19:13:06

Vergleich GPSDO-DL2NI mit professionellen GPSDO

Frequency Difference (Linear residual, zero-based)

Averaging window: Per-pixel



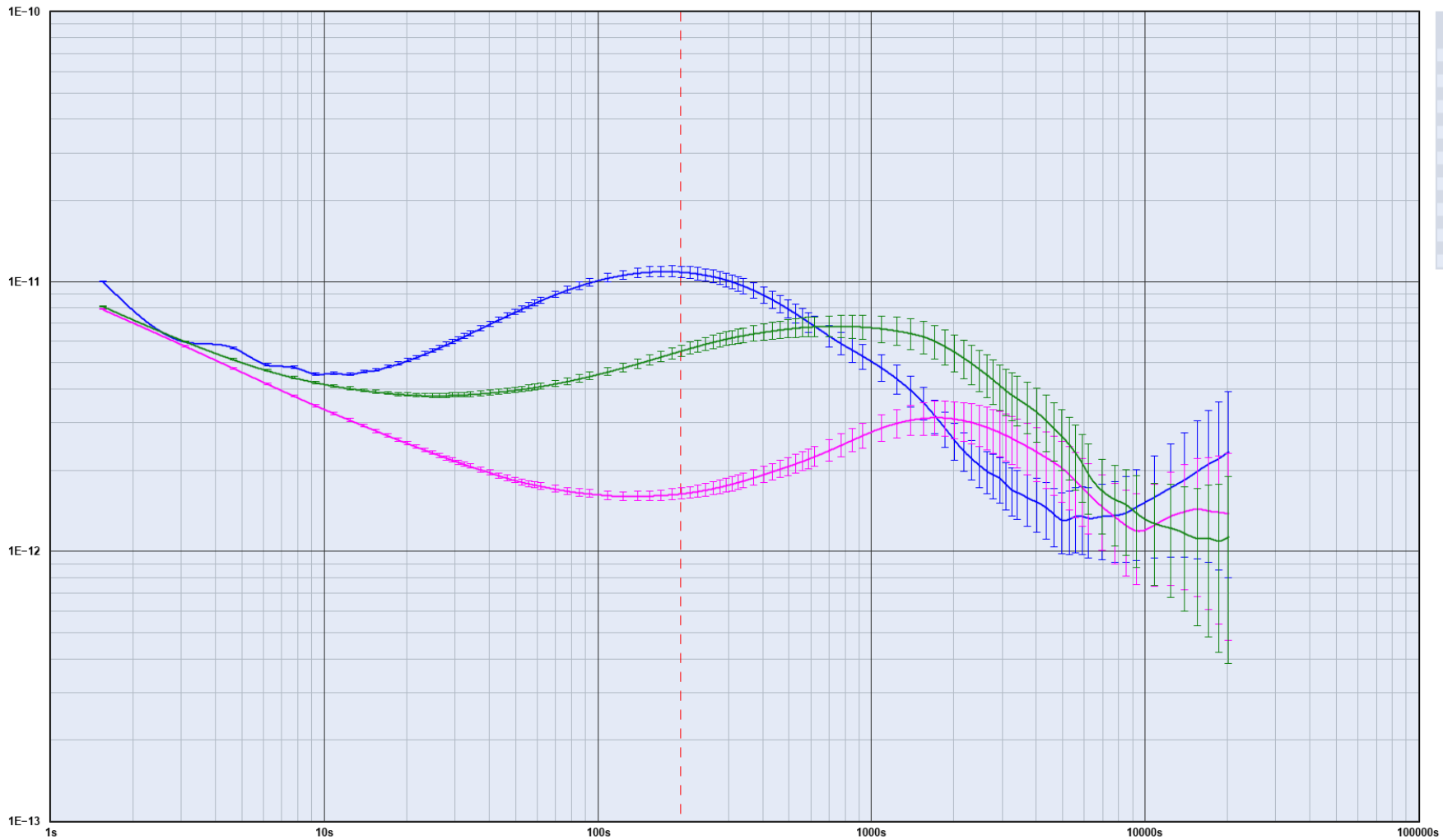
Origin	Drift (Hz/sec)	Drift (Hz/day)
+4.98E-11	-1.41E-9	-1.22E-4
-1.61E-11	-9.33E-11	-8.06E-6
+2.23E-11	-2.62E-10	-2.26E-5

Avg Time (s)	Freq (Hz) at 86399s	Error
1 . 550	9 999 999 . 999 900 000	-1.00E-11
3	9 999 999 . 999 900 000	-1.00E-11
10	9 999 999 . 999 933 334	-6.67E-12
30	9 999 999 . 999 931 580	-6.84E-12
100	9 999 999 . 999 903 077	-9.69E-12
300	9 999 999 . 999 897 938	-1.02E-11
1 000	10 000 000 . 000 032 557	+3.26E-12
3 000	10 000 000 . 000 079 017	+7.90E-12
10 000	10 000 000 . 000 040 995	+4.10E-12

Trace	Notes	Filename	Input Freq	Freq at 4523s	Duration	Acquired	Elapsed	Time/Date
GPSDO_DL2NI	Ref.: Rubidium	GPSDO_DL2NI.tim	10.0000000001 MHz	2.00E-11	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	20.07.2016 14:03:20
Z3805_neueAnt	Ref. = Rubidium	HP_Z3805A.tim	10 MHz	0.00E+0	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	13.01.2016 16:25:47
Lucent RFTG mod. 10MHz	Ref. = Rubidium cal.	Lucent_RFTG_mod10MHz.tim	10 MHz	0.00E+0	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	27.11.2015 19:16:45

Vergleich GPSDO-DL2NI mit professionellen GPSDO

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$



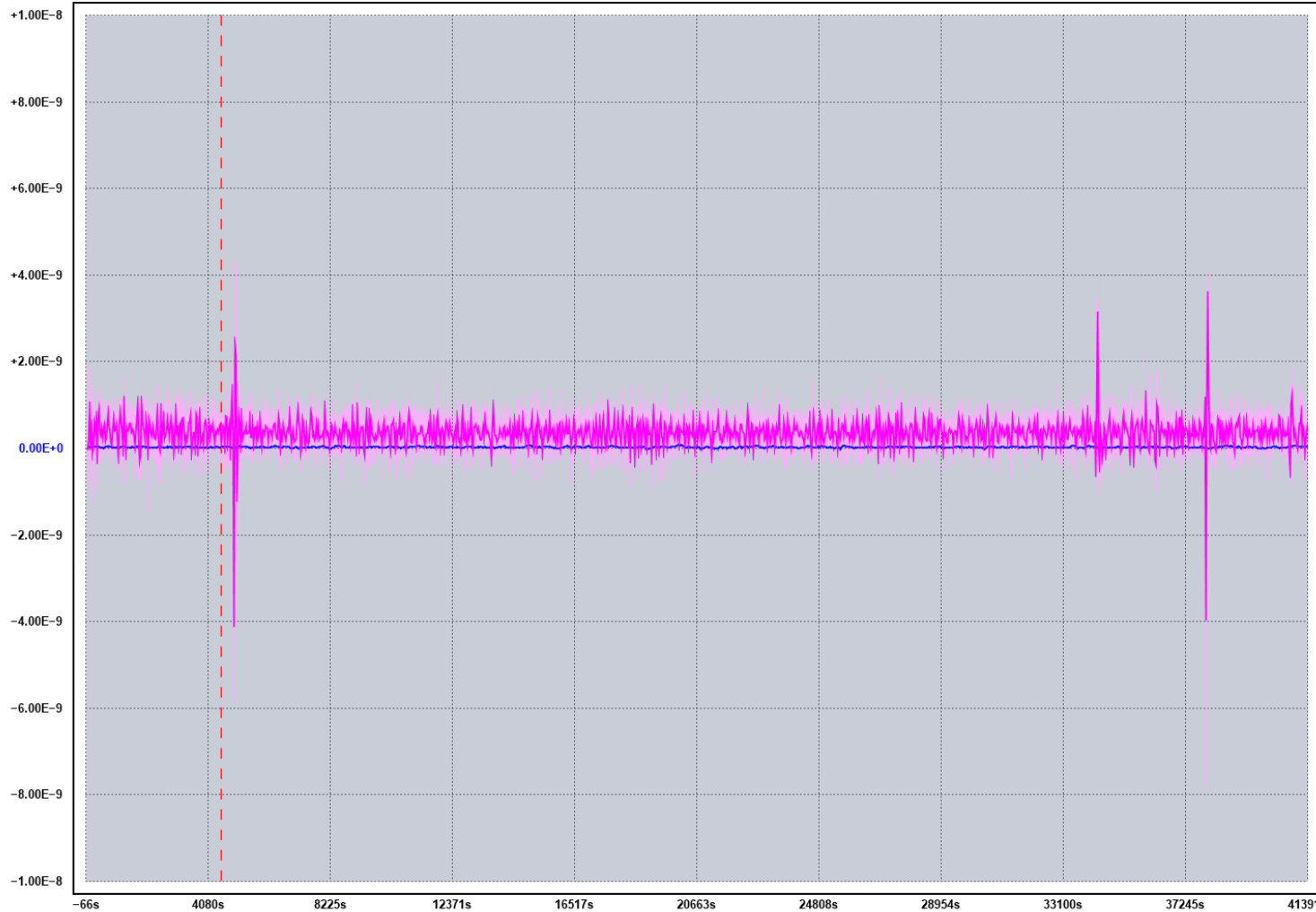
Tau	Sigma(Tau)
2s	7.26E-12
4s	5.45E-12
8s	4.38E-12
10s	4.18E-12
20s	3.82E-12
40s	3.88E-12
80s	4.31E-12
100s	4.55E-12
200s	5.54E-12
400s	6.50E-12
800s	6.85E-12
1000s	6.76E-12
2000s	5.51E-12
4000s	3.30E-12
8000s	1.54E-12
10000s	1.33E-12
20000s	1.13E-12

Trace	Notes	Filename	Input Freq	ADEV at 200s	Duration	Acquired	Elapsed	Time/Date
GPSDO_DL2NI	Ref.: Rubidium	GPSDO_DL2NI.tim	10.000000001 MHz	1.09E-11	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	20.07.2016 14:03:20
Z3805_neueAnt	Ref. = Rubidium	HP_Z3805A.tim	10 MHz	1.64E-12	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	13.01.2016 16:25:47
Lucent RFTG mod. 10MHz	Ref. = Rubidium cal.	Lucent_RFTG_mod10MHz.tim	10 MHz	5.54E-12	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	27.11.2015 19:16:45

MV89A und preiswerter TCXO an der GPS-Regelung

Frequency Difference (Linear residual, zero-based)

Averaging window: Per-pixel



Origin	Drift (Hz/sec)	Drift (Hz/hr)
+4.98E-11	-1.41E-9	-5.08E-6
+9.74E-10	-6.88E-9	-2.48E-5

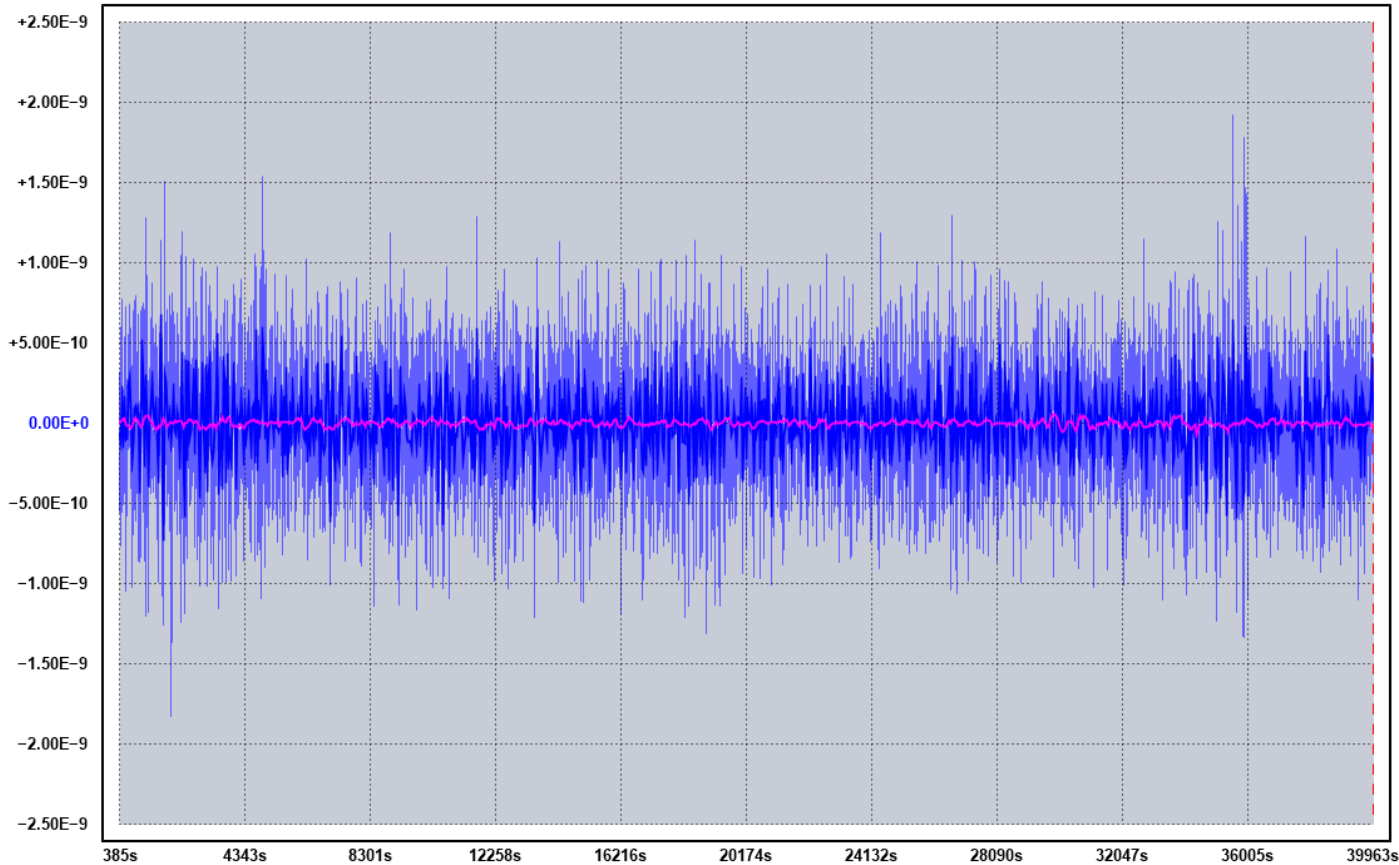
Avg Time (s)	Freq (Hz) at 41391s	Error
1 . 550	10 000 000 . 002 200 000	+8.00E-10
3	10 000 000 . 002 400 000	+8.20E-10
10	10 000 000 . 002 633 333	+8.43E-10
30	10 000 000 . 000 647 368	+6.45E-10
100	9 999 999 . 999 255 385	+5.06E-10
300	10 000 000 . 000 397 423	+6.20E-10
1 000	10 000 000 . 000 137 210	+5.94E-10
3 000	10 000 000 . 000 008 889	+5.81E-10
10 000	10 000 000 . 000 046 249	+5.85E-10

Trace	Notes	Filename	Input Freq	Freq at 4523s	Duration	Acquired	Elapsed	Time/Date
GPSDO_DL2NI	Ref.: Rubidium	GPSDO_DL2NI.tim	10.0000000001 MHz	2.00E-11	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	20.07.2016 14:03:20
VCTCXO VT7-705S	Ref.: Z3805A	VCTCXO.tim	9.9999999942 MHz	5.90E-10	12 h	27413 pts	12h 0m 0s	27.01.2016 00:10:49

Preiswerter TCXO gegen MV89A

Frequency Difference (Linear residual)

Averaging window: Per-pixel



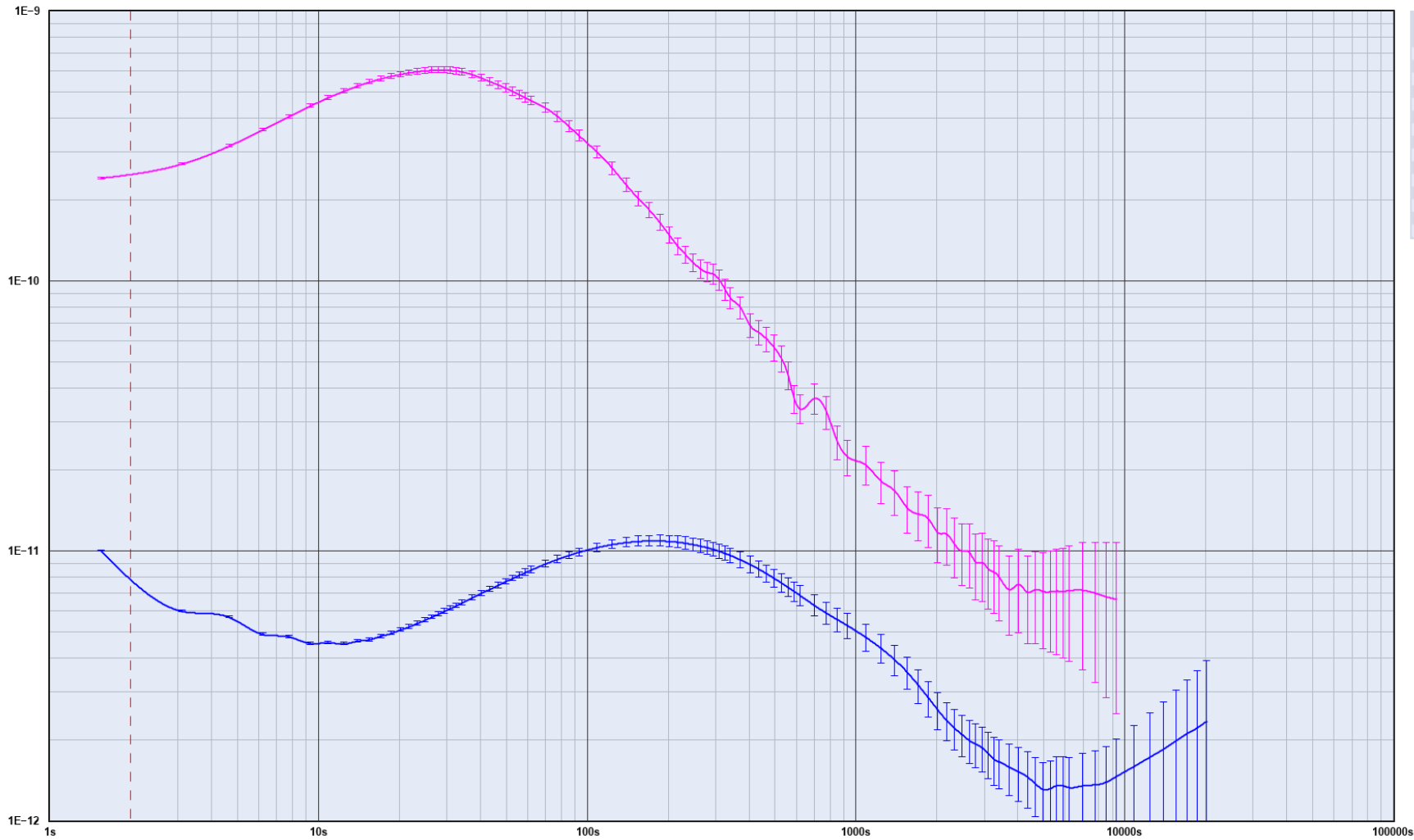
Origin	Drift (Hz/sec)	Drift (Hz/hr)
+6.18E-10	-1.35E-8	-4.85E-5
+1.95E-12	-3.62E-10	-1.30E-6

Avg Time (s)	Freq (Hz) at 39964s	Error
1.550	9 999 999 . 999 900 000	-1.00E-11
3	9 999 999 . 999 900 000	-1.00E-11
10	9 999 999 . 999 816 667	-1.83E-11
30	9 999 999 . 999 784 211	-2.16E-11
100	9 999 999 . 999 801 539	-1.98E-11
300	9 999 999 . 999 920 618	-7.94E-12
1 000	9 999 999 . 999 992 559	-7.44E-13
3 000	9 999 999 . 999 986 356	-1.36E-12
10 000	9 999 999 . 999 979 619	-2.04E-12

Trace	Notes	Filename	Input Freq	Freq at 39963s	Duration	Elapsed	Time/Date
VCTCXO VT7-705S	Ref.: Z3805A	VCTCXO_mod.tim	9.9999999942 MHz	6.90E-10	11h 22m 11s	11h 22m 11s	27.01.2016 00:10:49
GPSDO_1F, 1k8, 47R, 1000u ODER 1mF, 100k, 2k7	Ref.: Z3805A	GPSDO_neu_39.tim	10 MHz	-1.00E-11	21h 49m 33s	21h 49m 33s	18.01.2016 18:29:53

GPSDO mit MV89A gegen preiswerten TCXO

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$

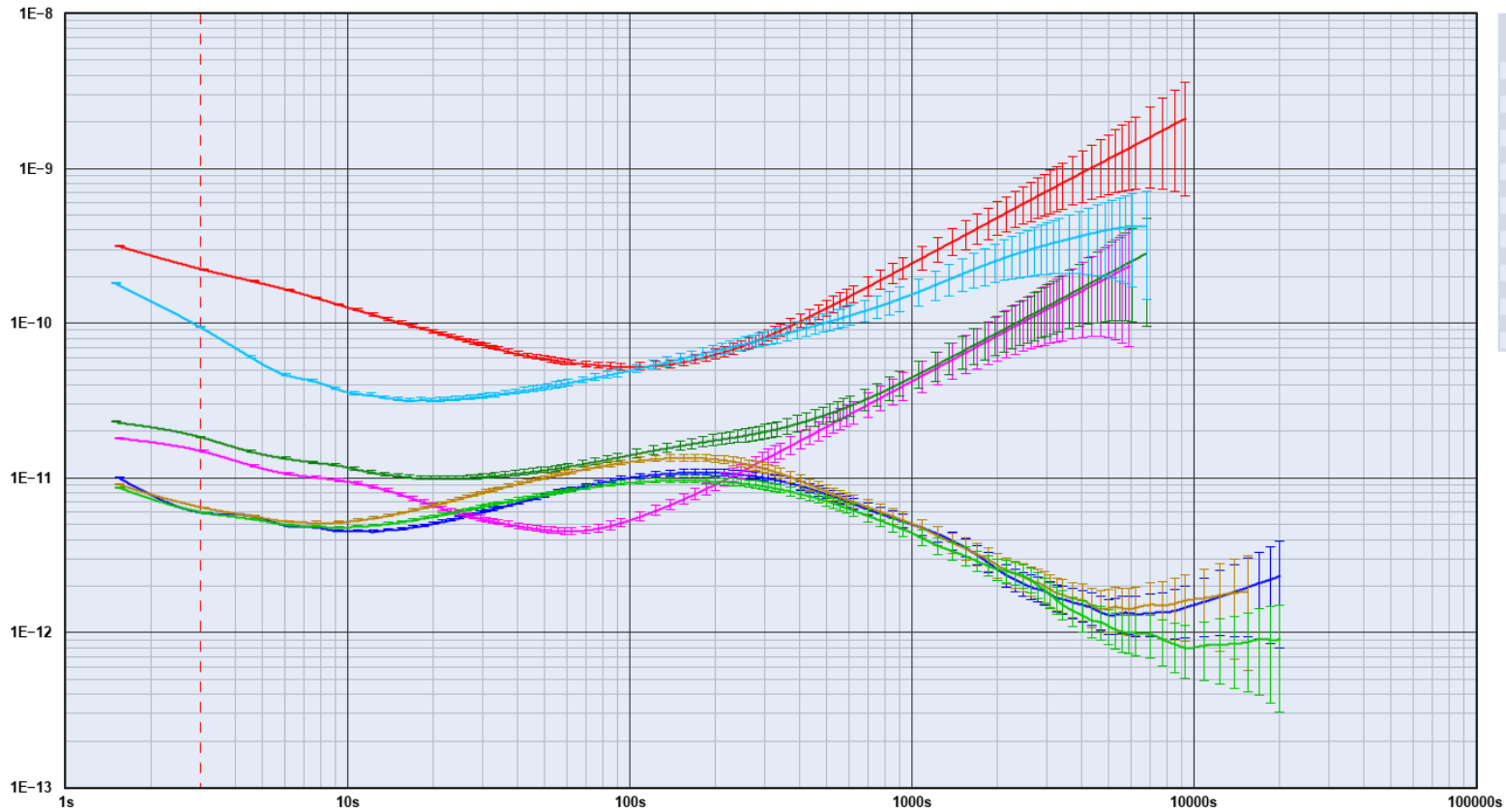


Tau	Sigma(Tau)
2s	2.52E-10
4s	3.00E-10
8s	4.14E-10
10s	4.61E-10
20s	5.84E-10
40s	5.68E-10
60s	3.97E-10
100s	3.24E-10
200s	1.50E-10
400s	6.96E-11
800s	3.01E-11
1000s	2.17E-11
2000s	1.19E-11
4000s	7.51E-12
8000s	6.93E-12

Trace	Notes	Filename	Input Freq	ADEV at 2s	Duration	Acquired	Elapsed	Time/Date
GPSDO_DL2NI	Ref.: Rubidium	GPSDO_DL2NI.tim	10.000000001 MHz	8.30E-12	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	20.07.2016 14:03:20
VCTCXO V17-705S	Ref.: Z3805A	VCTCXO.tim	9.9999999942 MHz	2.52E-10	12 h	27413 pts	12h 0m 0s	27.01.2016 00:10:49

Versch. Ungeregelte OCXO vs. Versch. GPSDO

Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$



Tau	Sigma(Tau)
2s	7.58E-12
4s	5.65E-12
8s	4.88E-12
10s	4.85E-12
20s	5.65E-12
40s	7.28E-12
80s	9.00E-12
100s	9.40E-12
200s	9.59E-12
400s	7.97E-12
800s	5.22E-12
1000s	4.42E-12
2000s	2.60E-12
4000s	1.31E-12
8000s	8.89E-13
10000s	8.20E-13
20000s	9.12E-13

Trace	Notes	Filename	Input Freq	ADEV at 3s	Duration	Acquired	Elapsed	Time/Date
GPSDO_DL2NI	Ref.: Rubidium	GPSDO_DL2NI.tim	10.0000000001 MHz	6.14E-12	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	20.07.2016 14:03:20
MV89A_5NZC2179	Ref. = Rubidium cal.	MV89A_5NZC2179.tim	10.0000000002 MHz	1.50E-11	6h 35m 24s	15306 pts	6h 35m 24s	10.12.2015 17:03:59
Quarzkeramik OCXO	frei ohne Regelung	QK_freih.tim	10.0000000008 MHz	1.85E-11	8h 0m 0s	19073 pts	8h 0m 0s	26.10.2015 00:32:26
ERC_ER7503_SN065	Ref. = Rubidium cal.	ERC_ER7503_SN065.tim	10.0000000004 MHz	2.27E-10	10h 35m 1s	24581 pts	10h 35m 1s	08.11.2015 13:17:35
ERC_Reg.open loop	Ref. = Rubidium cal.	ERC_openLoop.tim	10.0000000011 MHz	9.49E-11	8h 0m 0s	19073 pts	8h 0m 0s	05.11.2015 00:28:24
1F, 2k2, P:47R, oder 100k, 1000uF, P: 2k7,neueAnt	Ref. = Rubidium	GPSDO_neueAnt_mod01.tim	10.0000000002 MHz	6.56E-12	17h 31m 19s	40696 pts	17h 31m 19s	12.01.2016 23:10:29
GPSDO_Trimble	Ref.: Rubidium	GPSDO_Trimble.tim	10.0000000001 MHz	6.12E-12	1d 0h 0m 0s	55742 pts	1d 0h 0m 0s	15.01.2017 23:57:13

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Noch Fragen?

Dann noch einen schönen Tag...

