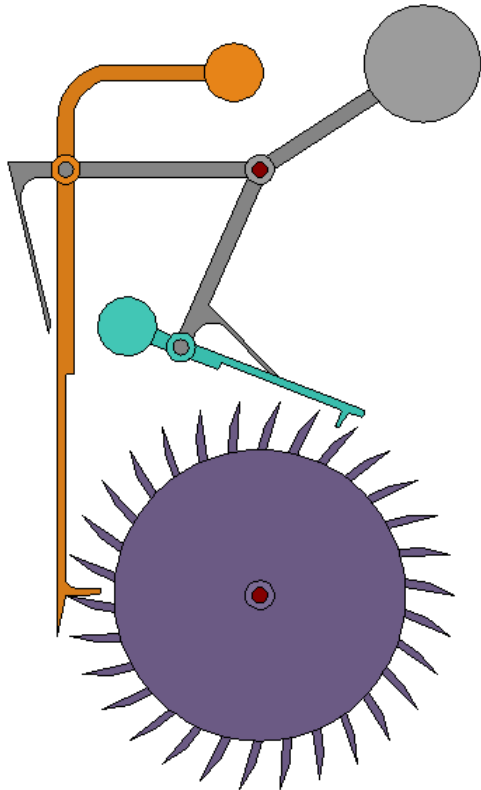


Selbstbauprojekt bauen & lernen



Frequenzmessung = Zeitmessung

Simple - GPSDO

**Ein einfacher GPS-stablisierter
10 MHz Normalfrequenz-
Oszillator fürs Shack**

UKW-Tagung 2020 – Cloud-Edition

- Beschreibung des Konzepts
- praktische Erfahrungen

Günter Fred Mandel, DL4ZAO
Michael Knietzsch, DL7UKM

Wozu braucht man so was?

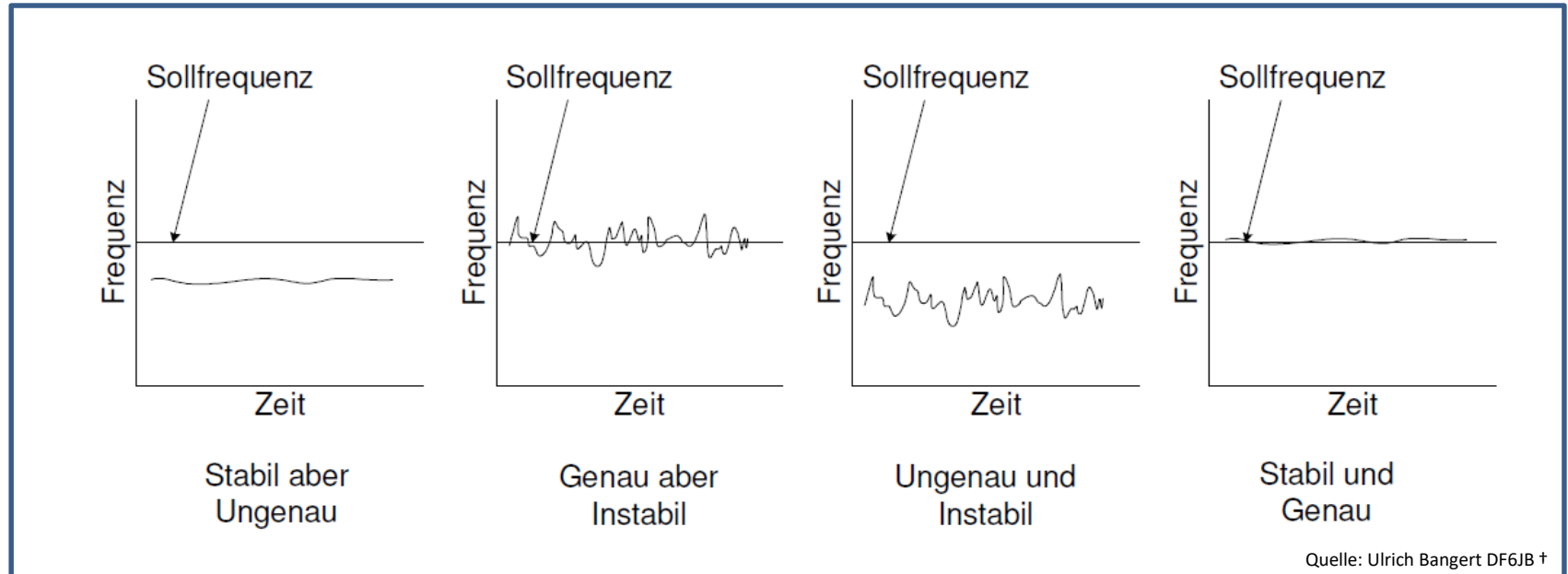
- Präzise Zeitquelle im Shack 😊 (Abweichung von UTC von maximal einer Mikrosekunde)
- Messtechnik: Normalfrequenz zur frequenzgenauen Synchronisierung von Frequenzmessern, Zeitmessern, HF-Analyzer, Signal-Generatoren.
- Frequenznormal zur Synchronisierung von Sendern, Empfängern, SDR
- Frequenznormal zur genauen Signalaufbereitung für SAT Transverter und LNB.
 - Frequenzaufbereitung für QO100 Sendung und Empfang
- Taktgeber für zeitkritische Digimodes, Zeitmessung in der Radioastronomie
- Testquelle zur Überprüfung und Kalibrierung von Frequenzzählern und Zeitmessern.

Simple-GPSDO - Zielsetzung

- Eine genaue und stabile 10 MHz OCXO Referenzfrequenz-Quelle fürs Shack
- „old school“ – GPS-Nachführung über eine analoge Phasenregelschleife – keine Software-PLL
- Auch für weniger Geübte nachzubauen – mit bedrahteten Bauteilen
- Verwendung gut erhältlicher Module und handelsüblicher Bauteile
- Auf doppelseitig durchkontaktierter Leiterplatte in Industriequalität
- Baumappe als Doku und Nachbau-Anleitung

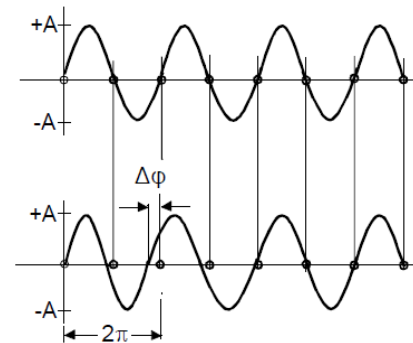
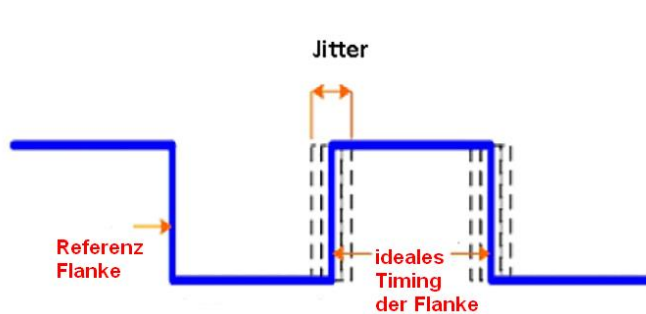
„Zeit ist Geld“ – Bauteil-Kosten ca. 50 €

Genauigkeit und Stabilität sind nicht das Gleiche

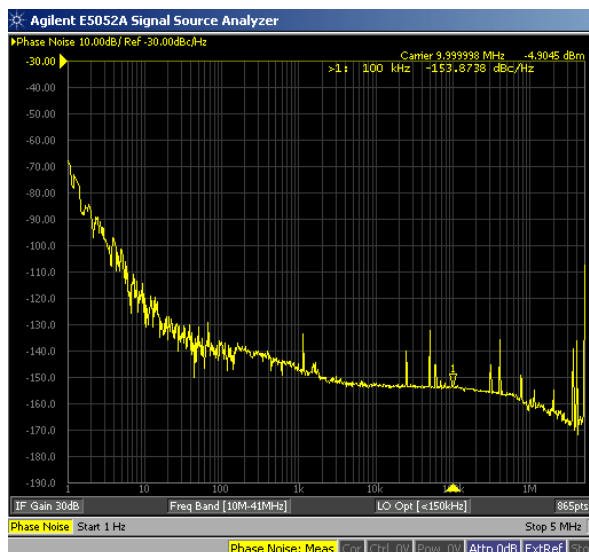


- Genauigkeit: Abweichung vom Soll-Wert der Frequenz
- Stabilität: Statistische Verteilung der Werte und Abweichungen über einen bestimmten Zeitraum. Die Angabe der Stabilität ohne die Beobachtungszeit ist wertlos.

Jitter – Phasenrauschen - Kurzzeitstabilität



Jitter bei einem Oszillator bedeutet, dass die Nulldurchgänge des Oszillatorsignals kleinen statistischen Schwankungen unterliegen. Jitter äußert sich als Phasenrauschen. Phasenrauschen bedeutet, dass ein Oszillator neben der beabsichtigten einzelnen Frequenz weitere, benachbarte Spektralanteile aufweist.



- Als Kurzzeitfrequenzstabilität werden die kurzzeitigen, im Bereich von Sekundenbruchteilen bis in Minutenintervallen stattfindenden statistischen Frequenzabweichungen bezeichnet.
- Jitter und Phasenrauschen bilden die Kurzzeitstabilität eines Oszillators.

Bild links. Phasenrauschen (Seitenbandrauschen) eines OCO mit GPS-Anbindung
Quelle: www.loetlabor-jena.de

GPS und Quarzoszillator – das ideale Paar

- Der Timepuls-Takt aus einem GPS-Modul ist zwar im zeitlichen Mittel sehr genau, die Einzelimpulse sind aber durch Schwankungen der Ausbreitungswege und wegen des Sawtooth Effekts mit Jitter behaftet.
- Die über die Zeit gemittelte Genauigkeit des GPS-Timepulses ist zwar sehr hoch, die Kurzzeitstabilität aber ungenügend.
- Ein TCXO oder OCXO hingegen hat eine gute Kurzzeitstabilität, läuft aber durch Alterung oder andere Einflüsse im Laufe der Zeit von der Sollfrequenz weg.
- Bei einem GPSDO verbindet sich das Beste aus den zwei Welten. Ein Quarzoszillator wird mit dem GPS-Timepuls synchronisiert. Ein PLL-Schleifenfilter mit langer Zeitkonstante mittelt den GPS-Jitter aus.
- Die PLL übernimmt quasi die Funktion eines Schwungrades, die den Jitter des GPS Signals eliminiert und zieht den Quarzoszillator auf die exakte Frequenz.

GPSDO – die qualitätsbestimmenden Faktoren

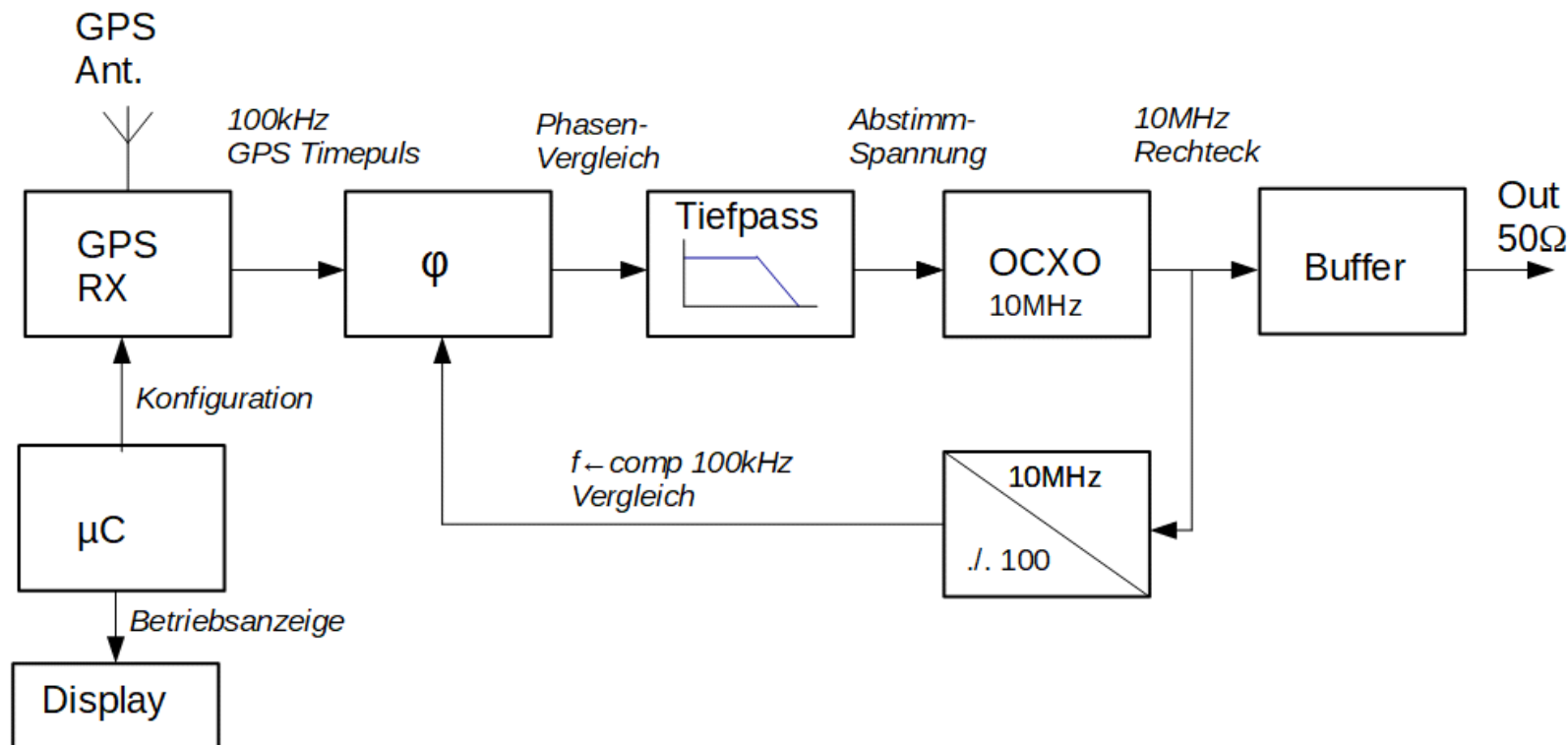
- Der OCXO bestimmt die Kurzzeitstabilität (Phasenrauschen, Jitter)
- Die GPS-Anbindung sorgt für Frequenz-Genauigkeit und Langzeitstabilität (Stunden, Tage, Monate)
- Timepulse aus einem empfindlichen GPS-Empfänger mit guter Jitterkorrektur
- PLL: Richtig dimensionierter PI-Regler, Regel-Zeitkonstante >> Sekunden
- GPS-Antenne mit freier Sicht → min. 4, besser mehr Satelliten gleichzeitig

Ein schlechter OXCO wird mit der GPS-Anbindung nicht besser, nur die Langzeit Drift wird ausgeregelt!

Simple-GPSDO - das Konzept

- Der GPSDO beruht auf einem bewährten Konzept von J.R. Miller, G3RUH. Noch mit „Jupiter“ GPS Modul mit 10kHz Timepulse als PLL-Vergleichsfrequenz
- Alain, F1CJN hat das Jupiter Modul durch ein günstiges NEO-7M GPS Modul ersetzt und über einen Arduino so konfiguriert, dass es statt des „default“ 1pps (1Sek. Puls) einen 10KHz Timepulse abgibt.
- Michael, DL7UKM hat das Konzept aufgegriffen und auf die günstigen ublox NEO-6M GPS Module auf 1kHz Vergleichsfrequenz adaptiert. Dabei wurde festgestellt, dass das NEO-6M und auch das NEO-7M Modul auch andere Frequenzen konfigurierbar ist (max 48MHz). Eine Vergleichsfrequenz von 100kHz erscheint als guter Kompromiss.
- Der Arduino Nano Mikrocontroller dient nur beim Einschalten zur Konfiguration des NEO GPS Moduls. Er kann danach die Anzeige von Betriebsparametern übernehmen.
- Die Anbindung des OCXO an den genauen GPS Zeitpuls erfolgt über eine analoge Phasenregelschleife mit XOR Phasenvergleich und einen Schleifentiefpass mit tiefer Grenzfrequenz.

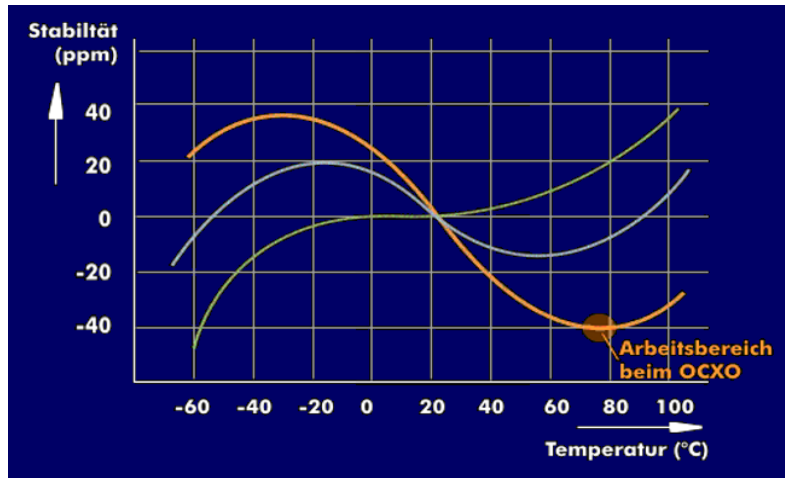
Blockschaltbild



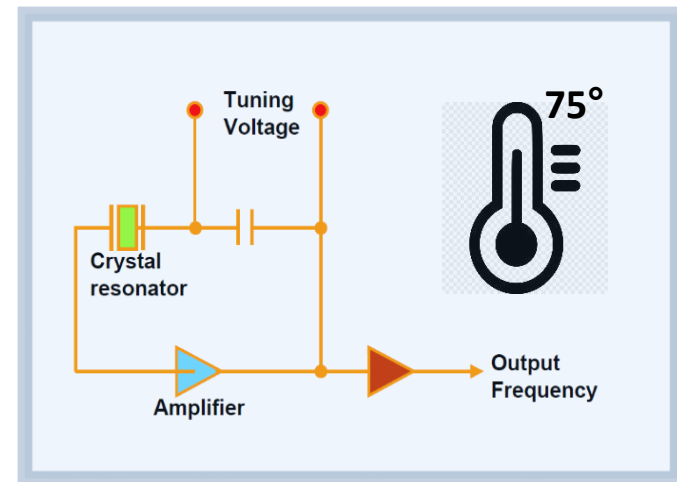
OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator)



Um eine hohe Frequenzstabilität zu gewährleisten befinden sich bei einem OCXO der Quarz und die Oszillatorschaltung in einem geschlossenen, geheizten Gehäuse (Ofen), in dem eine Betriebs-Temperatur über der Umgebungstemperatur mit einem Thermostat hochkonstant gehalten wird.



Die in einem OCXO verwendeten Quarze haben eine Temperaturabhängigkeit, die sich nahe der Ofentemperatur umkehrt. (SC-Schnitt). Diese Umkehrtemperatur liegt zwischen 70°C und 80°C.



OCXO haben einen Steuereingang, über den mit Hilfe einer Abstimm-Spannung die Frequenz in einem Bereich von einigen ppm nachgezogen werden kann.

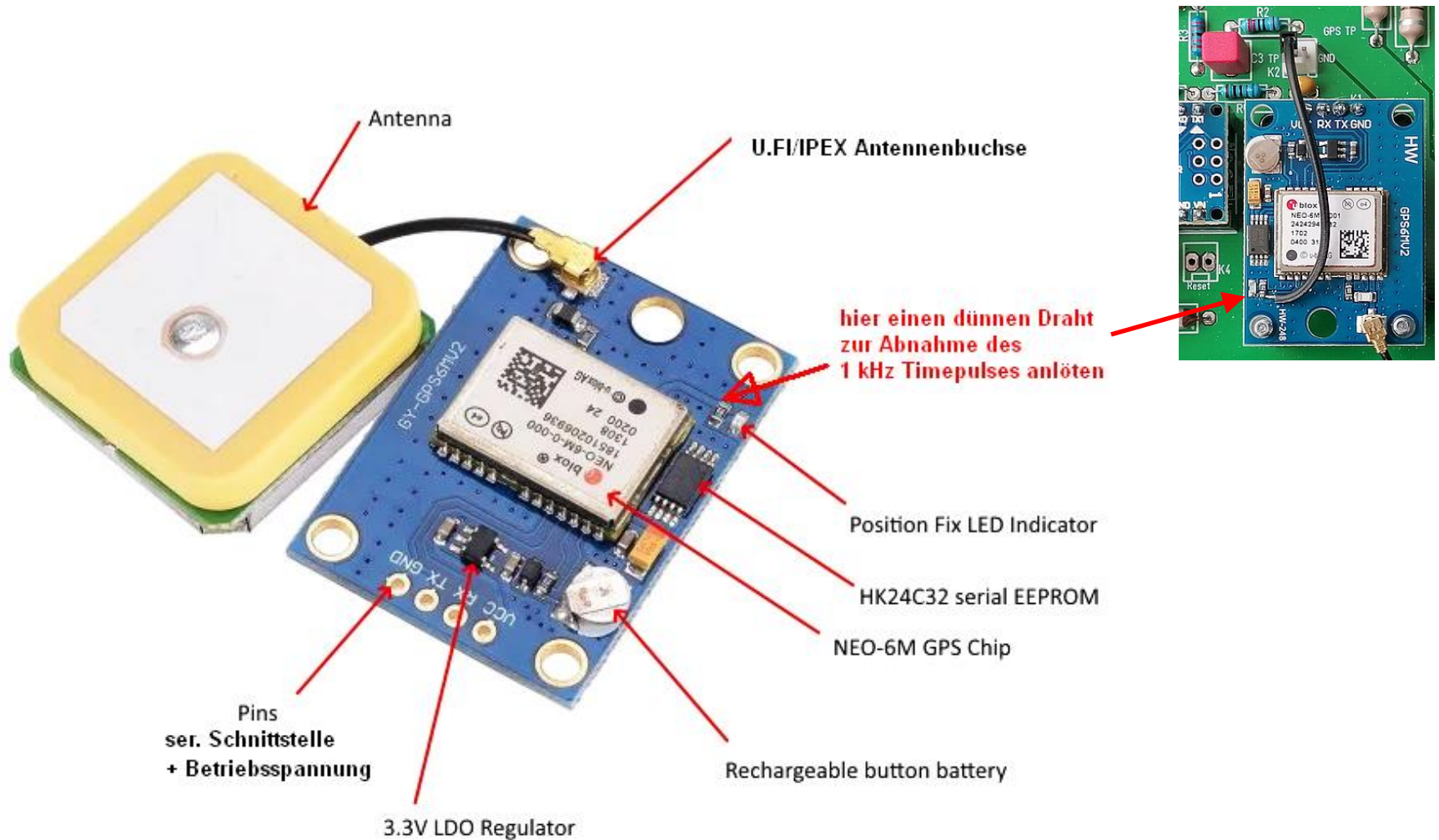
verschiedene OCXO Typen sind verwendbar



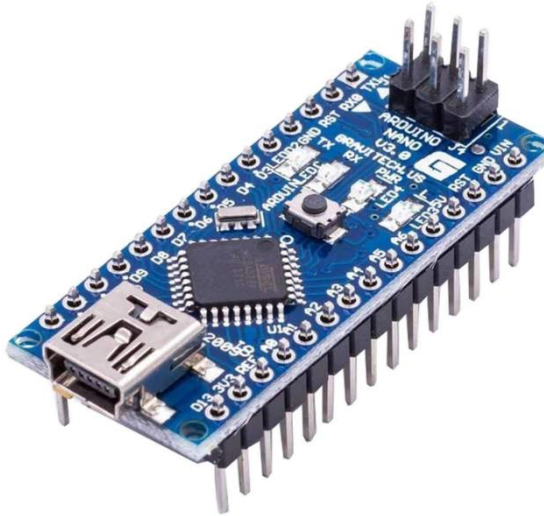
Im Internet werden gebrauchte 10MHz OCXO aus ausgemusterten GSM-Basisstationen günstig angeboten. Viele sind verwendbar und passen im Pin-Out auf die Leiterplatte.



Ublox NEO-6M/7M GPS-Empfängermodul



Arduino Nano kompatibler μ -Controller

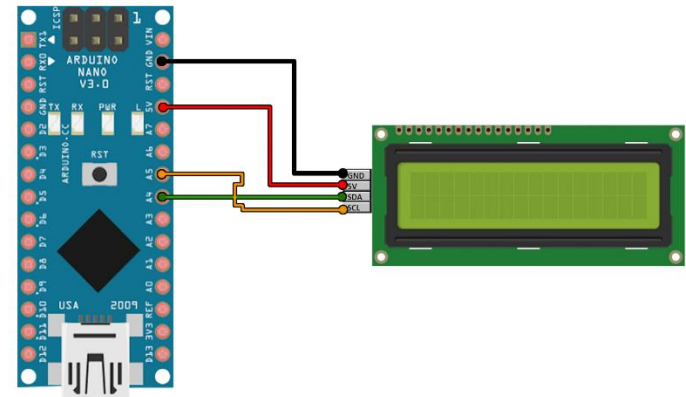


Ein Mikrocontroller-Board mit dem ATmega328 aus der Atmel-AVR-Familie auf einer Fläche von nur 1,85 x 4,3 cm². Ideal zum Aufstecken.

Großer Funktionsumfang bei leichter Programmierbarkeit über die freie Arduino-Entwicklungsumgebung, die auch weniger Versierten den Zugang zur Programmierung und zu Mikrocontrollern erleichtern soll.

Der Arduino übernimmt beim Simple-GPSDO beim Einschalten lediglich die Konfiguration des NEO GPS-Moduls auf die Ausgabe eines 1kHz Timepulses.

Über ein LCD-Display kann der Arduino im Betrieb weitere Aufgaben, z.B. die Anzeige von Betriebszuständen übernehmen.



Rev. 2 mit sinnvollen Erweiterungen

Nachdem sich die „Nullserie“ als nachbausicher und stabil bewährt hat, gab es bald Bedarf für eine zweite Bauserie mit sinnvollen H/W und S/W Erweiterungen:

- Vergleichs-Frequenz / Zeitpuls wählbar: 1 kHz – 10 kHz – 100 kHz - 1MHz
- Anzeige von Abstimmungsspannung, OCXO-Temperatur, Lock-Zustand
- „Holdover Funktion“ manuell und automatisch. Ohne GPS Anbindung wird die OCXO Abstimmungsspannung auf den letztgültigen Wert mit GPS Sync. eingestellt.
- Zusätzliche I/O Anschlüsse, I2C und One-Wire für individuelle Erweiterungen.
- Erweiterungsplatine: Quad-Fanout Buffer mit 4 gefilterten Sinusausgängen
- Adapterplatine für die Nutzung von günstigen SMD-VC-TCXO an Stelle eines OCXO. Andere Ausgangsfrequenzen, wie z.B. Für 25MHz oder 40MHz TCXO

Schaltbild Rev. 2 mit 100kHz Phasenvergleich

Teiler durch N

Buffer 50 Ohm

**10 MHz Out
5V Rechteck**

Passives Schleifenfilter

OCXO

**> Erweiterung zum
Fan-Out Buffer mit 4
Sinus Ausgängen**

Spannungsregler 5V

Arduino μ -Controller mit Schnittstellen zu GPS – Display – A/D – I2C -SPI

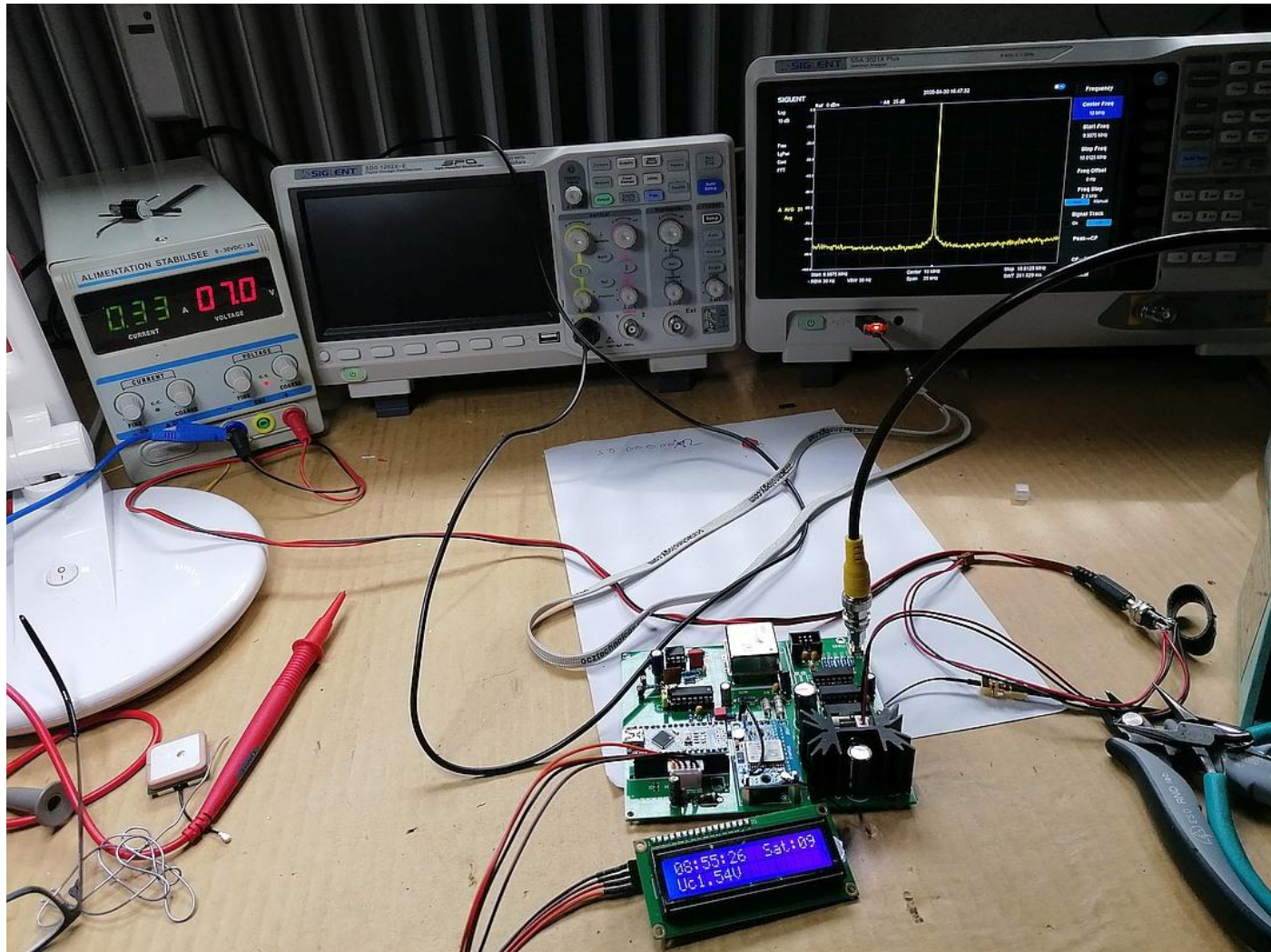
**100 kHz
OCXO ./. N**

**100 kHz
Timepuls**

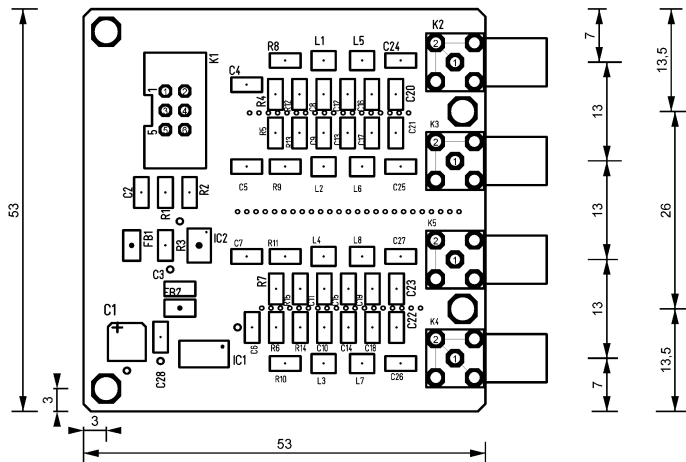
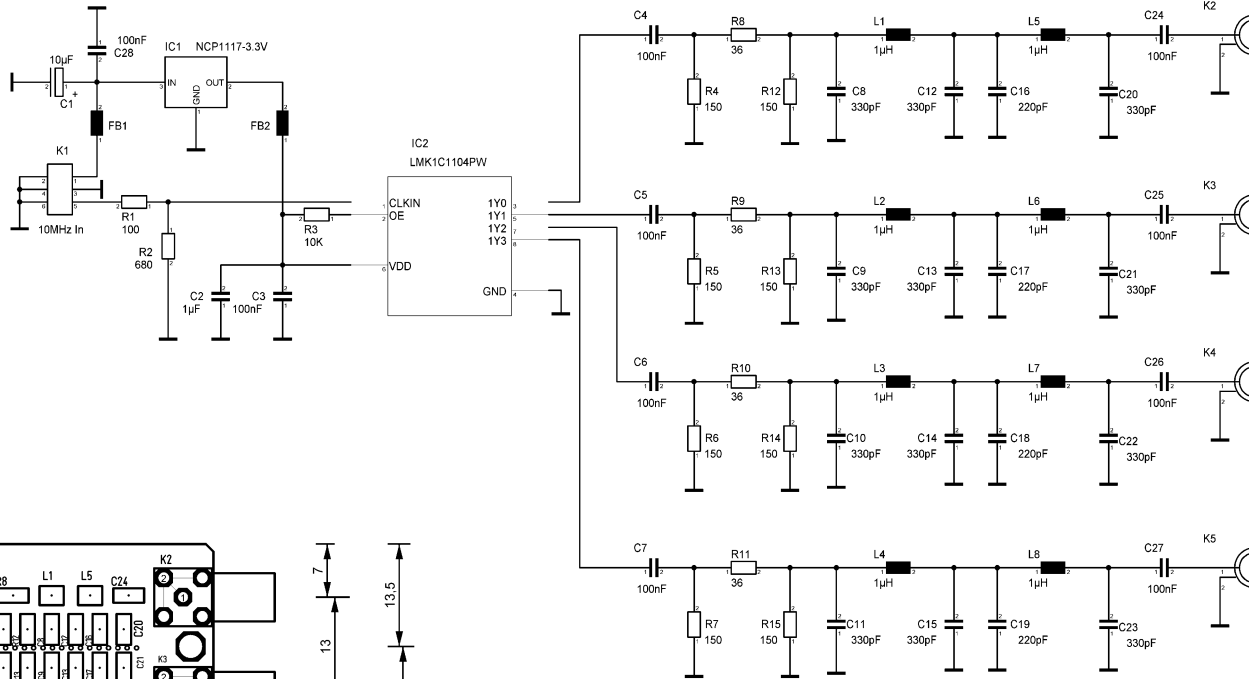
**XOR Phasen-
vergleich**

**Schnittstelle
GPS-Modul
Timepuls in**

Leiterplatte Rev. 2 beim Testen



Quad Fan-Out-Buffer mit 4 Sinusausgängen



Diesmal doch mit SMD Bauelementen

Zusammengefasst

- Ein genauer und stabiler 10 MHz Referenzoszillator zum Selbstbau
- Ofenstabilisierter-Quarzoszillator (OCXO) über analoge Regelung an den hochgenauen GPS Zeitpuls angebunden
- Ausgang 10 MHz Rechteck 4,8V an 50 Ohm Last
- Erweiterbar um weitere 4 Ausgänge Sinus, +12dBm (Option)
- Versorgung: stabilisierte und gesiebte Gleichspannung, 7 bis 9V
- Stromaufnahme bis zu 1A in der Aufheizphase, typ. 400mA im Dauerbetrieb
- Leicht nachzubauen – überwiegend bedrahtete Bauelemente

Mehr Info - Links

www.dl4zao.de

www.dl7ukm.de

[Baumappte \(pdf\)](#)

Teil 2 praktische Erfahrungen

Michael Knietzsch DL7UKM