
Satelliten-Funk

Mit der eigenen Station QRV auf QO100

- Vorstellung der individuellen Lösung mit technischen Tipps
- ©2025 DO2VO – Dipl.-Ing. Volker Goerick
- Vortrag im L03 am 31.01.2025

Inhalt

- Grundsätzliches zum QO100 Betrieb
- Empfang
- Sendebetrieb
- Vorstellung der Komponenten
- Gesamtaufbau
- Software
- Inbetriebnahme
- Hilfsmittel
- Fazit
- Anhang

Dauer: ca. 60 – 90 Minuten

Wer bin ich?

Volker Goerick (59, verheiratet) Rufzeichen DO2VO DOK L03 JO31LN; Mitglied des AMSAT-e.V.

Ausbildung:

- Nachrichtengerätemechaniker und anschließend Informationselektroniker bei der Nixdorf Computer AG Paderborn
- Studium der Nachrichtentechnik

Hobbies

- Elektronik (allg. und IOT), sowie Amateurfunk (digital u. Sat)
- Astronomie
- Natur (Fischereischein / Jagdschein)
- Und seit einem Jahr: unser Hund Sam 😊



Quelle: DO2VO eigen

AMSAT-DL

Wer ist die AMSAT-DL?

Vereinigung von über 6000 Ingenieuren, Wissenschaftlern, Amateurfunkern und Interessierten mit dem Ziel: in der Freizeit Satellitentechnik zu planen, zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Alleine in Deutschland gibt es mehr als 1200 Mitglieder. Der Sitz des AMSAT-DL e.V. ist die Sternwarte in Bochum.

Was hat die AMSAT-DL mit dem QO100 zutun?

AMSAT-DL ist für den Amateurfunkteil des QO100 verantwortlich. Die Technik und Steuerung wurde in Bochum entworfen und aktuell auch von dort betrieben. Ohne die AMSAT-DL ist kein QO100 Betrieb möglich.

Die AMSAT-DL wacht über den Amateurfunkbereich, die Einhaltung der Regeln und stellt Tools wie z.B. LEILA zur Verfügung, die den Einsatz und Betrieb des Amateurfunkkanals auf dem QO100 Satelliten sicherstellen.

Neben dem QO100 Projekt gab und gibt es eine Menge weiterer Projekte, die alle im Umfeld von Satelliten und deren Unterstützung bei der Beratung, Entwicklung und dem Betrieb von Satelliten und Bodenstellen angesiedelt sind.

Die ESA und AMSAT-DL stehen im regen Daten- und Informationsaustausch.

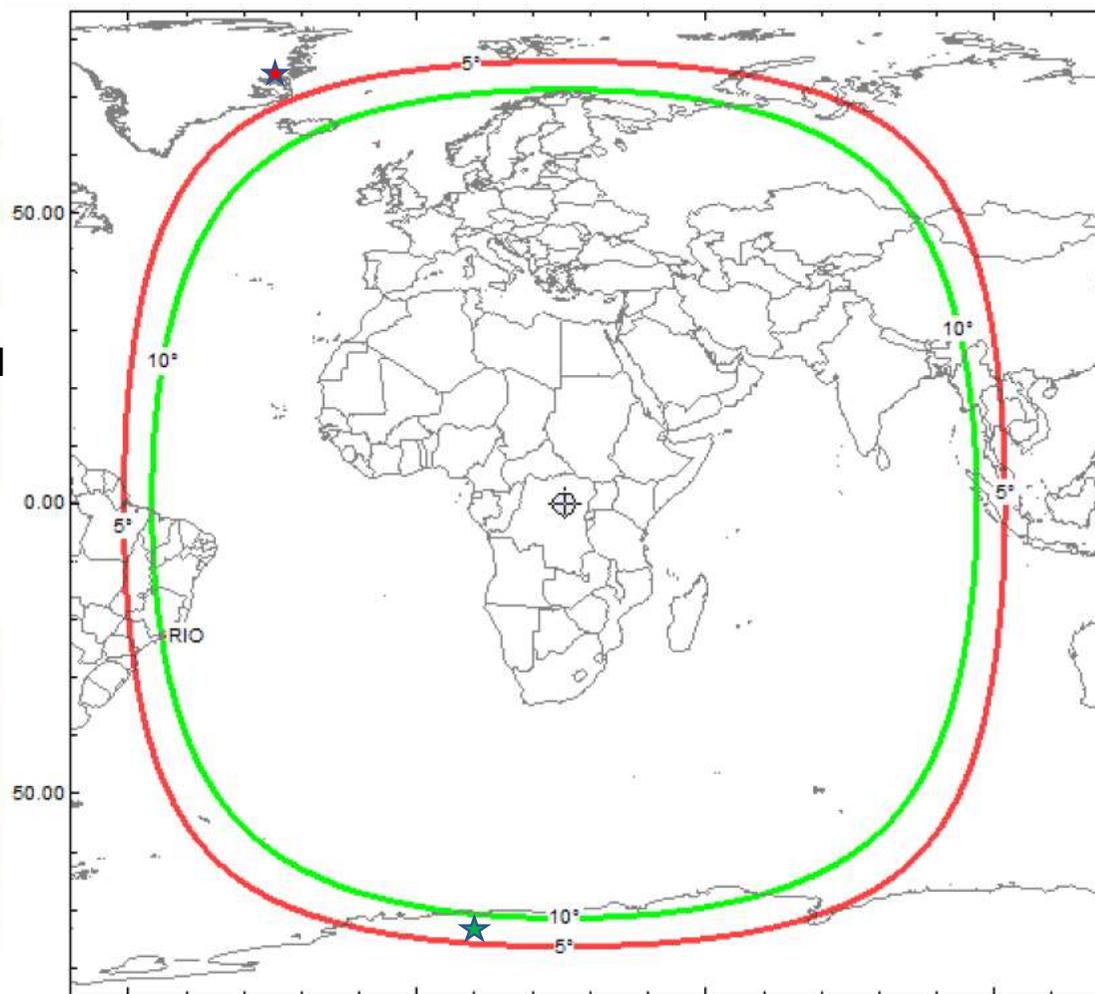
Kontakt:

<https://amsat-dl.org/>

Abdeckung des Satelliten QO100

★ **Neufundland**: erfolgreiche Kommunikation mit einem Winkel von -1° bis 0° . Spiegel mit 1m Durchmesser.

★ Neumayer Station Antarktis



Quelle: <https://amsat-dl.org/p4-a-nb-transponder-bandplan-und-betriebsrichtlinien/>

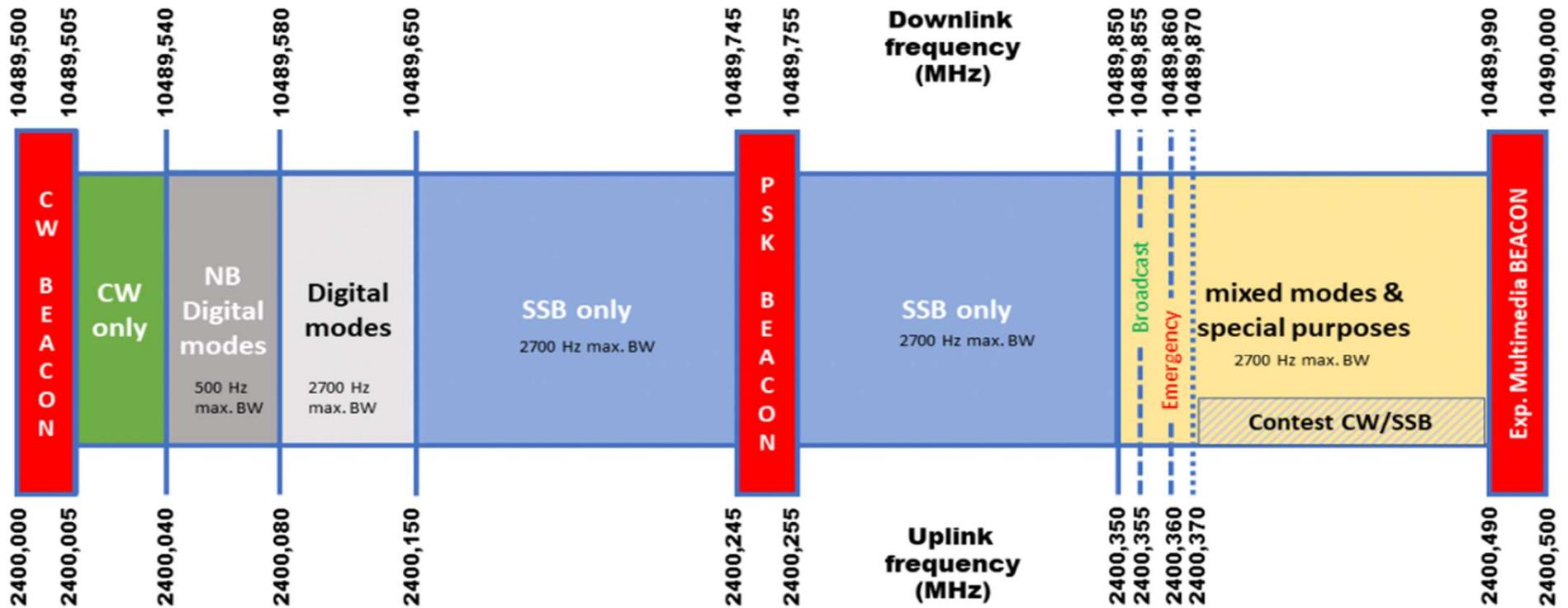
Bevor die eingesetzte Technik vorgestellt wird, soll zuerst der Band Plan des Satelliten vorgestellt werden:

AMSAT QO-100 / P4A NB Transponder Bandplan



Uplink		Downlink		Available [MHz]	Comment
Start [MHz]	End [MHz]	Start [MHz]	End [MHz]		
		10489,500	10489,505	0,005	Lower Beacon 10489,500 MHz, CW F1A, + guard band
2400,005	2400,040	10489,505	10489,540	0,035	CW only
2400,040	2400,080	10489,540	10489,580	0,040	digimodes (500 Hz max. BW)
2400,080	2400,150	10489,580	10489,650	0,070	digimodes (2700 Hz max. BW)
2400,150	2400,245	10489,650	10489,745	0,095	SSB only (2700 Hz max. BW)
		10489,745	10489,755	0,010	Middle Beacon 10489,750 MHz, 400 Bit/s BPSK + guard band
2400,255	2400,350	10489,755	10489,850	0,095	SSB only (2700 Hz max. BW)
2400,350	2400,495	10489,850	10489,995	0,145	mixed modes (2700 Hz max. BW) & special purpose
		10489,995	10490,000	0,005	Experimental Beacon 10490,000 MHz, CW and other modulations + guard Band

AMSAT QO-100 / P4A NB Transponder Bandplan



Oct 8th 2022

Quelle: <https://amsat-dl.org/wp-content/uploads/2020/02/AMSAT-QO-100-NB-Transponder-Bandplan-Graph-1140x641.png>

Bandplan:

Uplink Start [MHz]	Uplink Ende [MHz]	Downlink Start [MHz]	Downlink Ende [MHz]	Gesamt-BW [kHz]	Beschreibung
-	-	10489,500	10489,505	5	Untere Bake 10489,500 MHz, CW F1A 400Hz Verschiebung, + Schutzband
2400,005	2400,040	10489,505	10489,540	35	Nur CW
2400,040	2400,080	10489,540	10489,580	40	Digimodes (500 Hz max. BW)
2400,080	2400,150	10489,580	10489,650	70	Digimodes (2700 Hz max. BW)
2400,150	2400,245	10489,650	10489,745	95	Nur SSB (2700 Hz max. BW)
-	-	10489,745	10489,755	10	Mittlere Bake 10489,750 MHz, 400 Bit/sec BPSK, + Schutzbänder
2400,255	2400,350	10489,755	10489,850	95	Nur SSB (2700 Hz max. BW)
2400,350	2400,3575	10489,850	10489,858	7,5	Rundspruchfrequenz 10489,855 MHz + Schutzbänder
2400,3575	2400,365	10489,858	10489,865	7,5	Notfrequenz 10489,860 MHz + Schutzbänder
2400,365	2400,490	10489,865	10489,990	125	gemischte Betriebsarten (2700 Hz max. BW) & Sonderzwecke (inkl. Wettbewerb)
-	-	10489,990	10489,997	7	Multimedia Bake, 10489,9935 MHz, 8APSK, 7200 Bit/ sec, + Schutzbänder
-	-	10489,997	10490,000	3	Obere Bake 10490,000 MHz, CW F1A 400Hz Verschiebung, + Schutzband

Quelle: <https://amsat-dl.org/p4-a-nb-transponder-bandplan-und-betriebsrichtlinien/>

Regeln

Für die Nutzung des QO100 Satelliten im Amateurfunk-Bereich gelten folgende Regeln:

- Nicht stärker als die Bake senden, eigener Pegel **muss** niedriger sein
- **Kein FM-Betrieb**
- **Max. 2700 Hz Bandbreite**
- Keine digitalen FM-Modi (C4FM, DSTAR, DMR...)
- **Keine Übertragung unterhalb der CW Bake**
- **Keine Übertragung oberhalb der oberen Bake**
- Guardband um CW & PSK Baken frei halten
- **Voll-Duplex ist Pflicht**
- Uplink Polarisation RHCP
- Downlink Polarisation V
- Kein AGC daher LEILA beachten und nicht auslösen!!
- Gateway und Relaying sind verboten!

Grundsätzliches zum QO100 (Qatar Oscar 100)

Die Geschichte rund um den Satelliten aus Qatar ist im Internet inzwischen auf genügend vielen Seiten dokumentiert worden. Selbst beim DARC gibt es eigene Berichte darüber. An dieser Stelle verzichte ich daher auf eine Beschreibung der Historie.

Viel mehr interessiert, welche Voraussetzungen vorhanden sein müssen und welche Technik zur Kommunikation über den Satelliten notwendig ist. In dieser Abhandlung wird der Sprechfunk (SSB Bereich) behandelt. Die anderen Bereiche des Bandplans können analog genutzt werden. Es sind jedoch spezifische Anpassungen zu machen, insbesondere die Converter-Frequenzen müssen angepasst werden. (WB Bandplan siehe Anhang)

Voraussetzung

Der Satellit befindet sich direkt über Afrika und ist einfach wie folgt zu finden:

1) GPS Daten „meines“ Standortes ermitteln (z.B. über Google-Maps):

- Latitude: 51.5740°
- Longitude: 7.0285°
- Locator: JO31MN

2) Koordinaten auf <https://eshail.batc.org.uk/point/> eingeben und man erhält einen Stadtplanausschnitt in dem eine rote Linie die Richtung zum Satelliten kennzeichnet.

Grundsätzliches / Voraussetzungen Antennen-Ausrichtung

Es'hail-2 (QO-100) Dish Pointing

Click on the map or drag the marker to your station location.

Ready (loaded TLE: 2025.29)

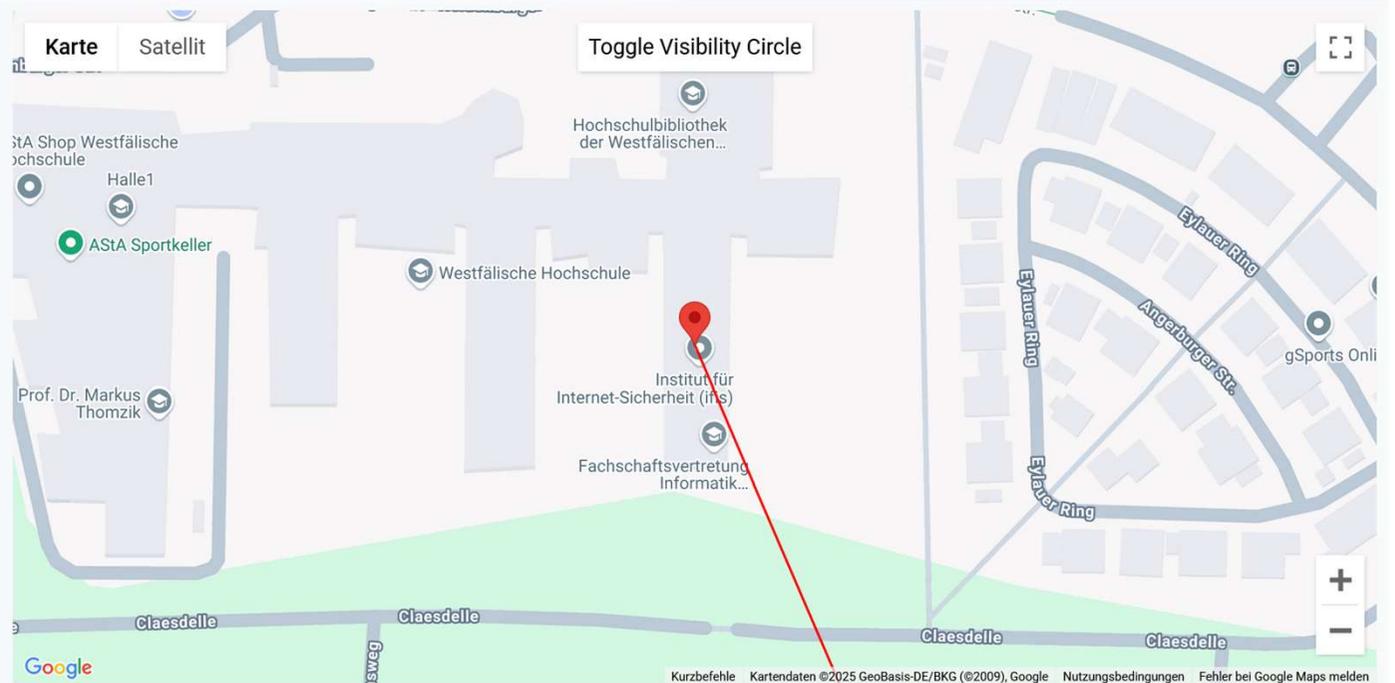
Ground Station Location

- Latitude: 51.5740°
- Longitude: 7.0285°
- Locator: JO31MN
- Use my device location

Pointing

- Azimuth: 156.6° (153.5° magnetic)
- Elevation: 28.4°
- LNB Skew: -14.3°
- Current Sun-Earth-Satellite Angle: 19°

Ergebnisdaten



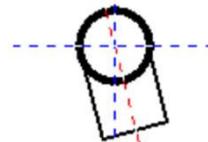
© 2022 Oscar-100 Web Receiver Project, provided by BATC and AMSAT-UK, hosted by Goonhilly Earth Station.

Alternativ, zur manuellen Eingabe, kann auch der über das Internet ermittelte Standort ausgewählt werden.

In der obigen Abbildung sind alle notwendigen Angaben aufgelistet, um die „Schüssel“ ausrichten zu können. Kontrollieren und Feinjustieren kann man die Ausrichtung an Hand der SSB Mittelbake auf 10489,750MHz. (Siehe Beschreibung der Software). Es genügen i.A. nur sehr kleine Korrekturen, um den Satelliten optimal anzupeilen.

Selbstredend muss die Position des Satelliten frei sichtbar sein. Gelegentliche Bäume oder Hausdächer können evtl. den Betrieb erschweren wobei gerade die Senderichtung am empfindlichsten ist. Der Empfang ist i.d.R. immer noch möglich, selbst wenn vereinzelt Hindernisse in der Verbindungslinie vorhanden sind.

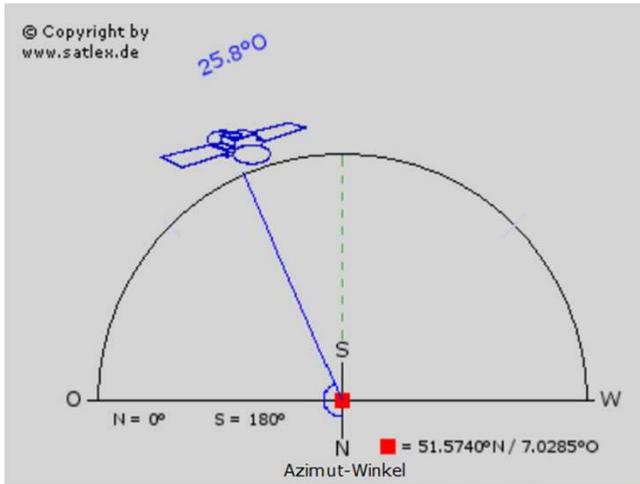
Immer wieder gerne wird der LNB Skew vergessen. Dieser muss nicht unbedingt auf 1° Grad genau eingestellt sein. Für Europa reicht i.d.R. ein Wert von ~ 10° bis 15° Grad aus.



LNB-Kippwinkel (Skew)

Quelle: satlex.de

Ansicht auf den LNB Empfangstrichter aus Spiegelsicht!



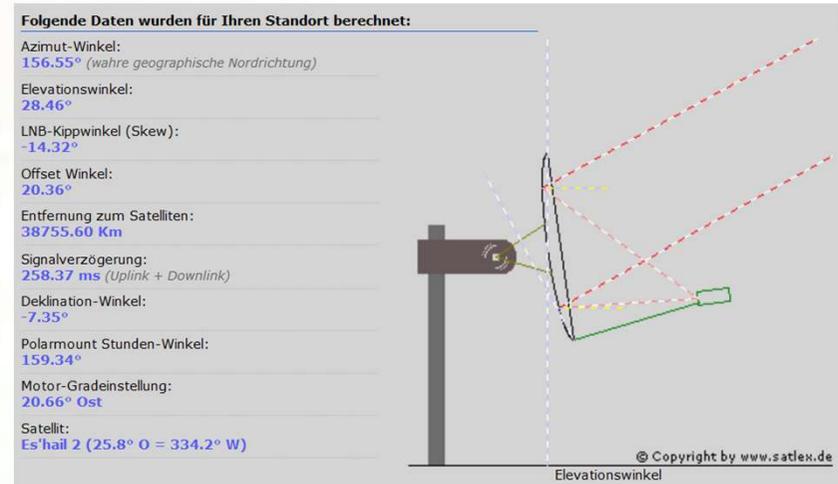
Quelle: satlex.de

Azimut $156,6^\circ$ = absoluter Winkel gegenüber Süden

$153,5^\circ$ magnetischer Winkel (Kompass)

ACHTUNG: die Winkelangabe muss bei Kompassangaben den Winkel der Deklination (Missweisung) und ein Bezugsdatum enthalten, da der magnetische Nordpol vom geografischen Nordpol verschoben ist und sich jedes Jahr ändert!
(Darum sind z.B. See-Karten nur begrenzt gültig.)

TIPP für Schatzsucher: das Jahr bei den Kompassangaben berücksichtigen 😊



Quelle: satlex.de

Elevation $28,4^\circ$ = Winkel des Satelliten über dem Horizont (vertikaler Schwenk)

ACHTUNG: dieser Wert hängt stark vom Typ der Antenne ab. Bei Offset-Spiegeln (die meisten Astra Spiegel) muss dieser mit dem Offset-Wert der Antenne verrechnet werden.

Grundsätzliches / Voraussetzungen Antennen-Ausrichtung

Offset Antenne	
Qualität	PROFESSIONAL
Antennenart	Reflektor
Reflektor (Breite)	745 mm
Reflektor (Höhe)	845 mm
Frequenzbereich	10.7 - 12.75 GHz
Feedaufnahme	40 mm
Material Reflektor	Aluminium pulverbeschichtet
Material Rückenteil	Kunststoff
Material Masthalter	Stahl galvanisiert
Material LNB Halterung	Aluminium Druckguss
Material LNB Tragarm	Aluminium 4-Kant
Antennengewinn (max.)	38,5 dB
Einstellbereich Elevation	5 - 48 °
Offsetwinkel	25 °
Spannbereich Mastschelle	32 - 76 mm
Halbwertsbreite	< 2.2 °
Anzahl Mastschelle/-bügel	2
Kabelführung	48 x 22 mm



Quelle: Schwaiger.de

Technische Daten des verw. Spiegels von schwaiger.de.

Ohne diese Angabe muss man lange suchen. Daher besser einen Qualitätsspiegel mit Datenblatt einsetzen.

Der Elevationswinkel wird i.d.R. für einfach parabolische Antennen angegeben. Diese werden selten bei kleinen Antennen eingesetzt, da der LNB einen Teil der Empfangsfläche abschattet.

Bei den kleinen Antennen haben sich die Offset Antennen durchgesetzt, wobei der LNB keine Abschattung auf der Spiegelfläche erzeugt.



Quelle: chinabrave.com

Bei Offset Antennen wird der Offset-Winkel im Datenblatt angegeben. Dabei handelt es sich um den Winkel, um den der Spiegel zurück in die Senkrechte gestellt werden muss, um den Elevationswinkel zu erreichen.

Dies ist der Grund, warum der Spiegel von der Seite so aussieht, als ob er fast senkrecht steht. Bedingt durch den Offset-Winkel schießt er aber nach oben. Bei der hier verwendeten Antenne ergibt sich ein Winkel von: $\text{Elevation}^\circ - \text{Offset}^\circ = 28,4^\circ - 25^\circ = 3,4^\circ$ gegenüber dem Horizont.



In der nebenstehende Abbildung sieht man die Ausrichtung der Antennen in Abhängigkeit der Art des Spiegels sehr deutlich. Beide Antennen sind auf den QO100 Satelliten ausgerichtet. Die obige Antenne (kupferfarben) ist eine einfache parabolische Antenne und dient in dieser Anordnung zum Senden.

Die untere Antenne ist ein Offset-Spiegel mit einer Helix-Antenne und kann sowohl zum Senden, als auch zum Empfang des Satelliten genutzt werden. Der Spiegel ist um seinen Offsetwinkel in die Senkrechte gedreht, die recht große Helix-Antenne verschattet damit nicht das Empfangssignal. Der Einfallswinkel der QO100 Signale ist identisch mit dem Winkel, nach dem die einfach-parabolische Antenne ausgerichtet ist.

Quelle: <https://www.qrz.com/db/DL6YCL#zwei>

Empfang des Satelliten

Für den Empfang des Satelliten ist vereinfacht gesagt, nur das „Frequenz-Problem“ zu lösen.

Der Satellit sendet die SSB Signale mit einer Bandbreite von max. 2,7kHz im Frequenzbereich von 10,489.650 – 10,489.850 GHz. In der Mitte des Frequenzbereiches befindet sich bei 10,489.745 bis 10,489.755 GHz ein Baken Signal, welches für die Auffindung des Satelliten und zu Synchronisationszwecken sehr nützlich ist. Eigentlich muss nur der HF-Bereich in den Audio-Bereich verschoben werden 😊 Dazu sind verschiedene Voraussetzungen und Möglichkeiten gegeben.

Voraussetzung Nr. 1:

Eine Satellitenschüssel für „normalen“, europäischen Astra-Fernsehempfang mit mindestens 60cm Durchmesser für den Raum Deutschland. Der QO100 Downlink ist im Bereich von 10,489 GHz und damit nicht weit von den Fernsehfrequenzen entfernt. Jede Astra Antenne kann genutzt werden. Als Quelle empfiehlt sich das Internet, jeder Flohmarkt oder manchmal auch der eigene Dachboden. Ein Durchmesser von 85cm ist optimal, größer ist i.d.R. ohne besondere, bauliche Gegebenheiten nicht notwendig.

Voraussetzung Nr. 2

Zu der Antenne benötigt man einen LNB (Low Noise Block). An dieser Stelle kann man versuchen, einen LNB für den TV-Empfang für erste Empfangsexperimente zu nutzen. Der LNB sollte ein möglichst geringes Rauschmass haben (was die heutige Massenware aber in der Regel sowieso hat). Das einzige Problem ist die Frequenzstabilität. Leider sind die meisten TV LNBs sehr „variabel“ was die Frequenzstabilität angeht. In der TV-Technik wird dies durch den Sat-Receiver ausgeglichen. Dies führt dazu, dass die Empfangsfrequenz wandert und man durchaus in geringen, zeitlichen Abständen manuell nachregeln muss. Der Taktgenerator im LNB besteht i.d.R. aus einem einfachen Quarz und einer PLL. Um die Ausgabefrequenz zu stabilisieren bieten sich mehrere Möglichkeiten an:

- Austausch des LNB Quarzes durch einen TCXO. Nachteil: sehr schwer zu bekommen und dann muss der TCXO in die LNB Schaltung passen.
- Den LNB mit einer stabilisierten Frequenz von außerhalb versorgen. In diesem Fall wird der Quarz im LNB entfernt und ein (meist GPSDO synchronisierter) 25MHz Takt zum LNB gesendet. Die GPSDO Stabilisierung bietet sich an dieser Stelle an, da für den späteren Sendebetrieb ein exakter Referenztakt sowieso vorhanden sein muss. Das Internet bietet bereits fertig umgebaute LNBs an. Ebenso gibt es jede Menge Anleitungen einen LNB selber umzurüsten. Da für die Energieversorgung des LNBs ein BIAS benötigt wird, findet man fertige Sets bestehend aus einem umgebauten LNB und einem BIAS mit Takteinspeisung bei den bekannten Amateurfunk Anbietern. Im TV Umfeld versorgt der Sat-Receiver den LNB mit der benötigten Spannung für die LNB Elektronik. Aber auch der BIAS kann selbst gebaut werden. Er besteht eigentlich nur aus einer Spule und einem Kondensator.



LNB und BIAS, Takterzeugung sowie Impedanzanpassung 75 Ohm auf 50 Ohm

Quelle: DX-Patrol

Der Vorteil einer fertigen Lösung ist auch, dass die Impedanz der Systeme gleichzeitig angepasst wird. In der TV-Welt wird mit 75 Ohm gearbeitet, alle anderen Systeme (SDR, Empfänger usw.) sind auf 50 Ohm ausgelegt. Baut man eine eigene Versorgung auf, kann man die Sat-ZF so verbiegen, dass man die Empfangs-Frequenzen im LNB gleich auf die passenden Empfängerfrequenzen (z.B. 430 MHz) einstellen kann. Eine Möglichkeit dies zu erreichen ist ein programmierbarer GPSDO.

Dies kann wie folgt geschehen:

In den meisten LNB ist ein Frequenzvervielfacher mit dem Faktor **390** verbaut. Bei 25MHz Quarzfrequenz gibt das eine LNB ZF von 9750 MHz. Die QO100-SSB Mittenfrequenz von 10.489,750 MHz wird damit auf eine LNB ZF von:

$$ZF = QO100_{SSBMitte} - LNB_{ZF} = 10.489.750 - 9.750.000 = \underline{\underline{739,750 \text{ MHz}}}$$

runtergemischt. Nach obiger Formel muss der LNB mit 25,779487 MHz versorgt werden, um eine ZF von 435,750MHz zu erhalten. Dies ist mit einer PLL einfach zu realisieren.

Die Energieversorgung des LNBs (normaler Weise durch den Sat-Receiver) wird durch Einkopplung von 12V DC auf eine Leitung zum LNB vorgenommen. Dieser Koppler wird als Bias-T bezeichnet. Der Bias-T ist ein Standardbauteil der TV-Technik, und auf dem Markt preisgünstig und einfach zu erhalten. Er kann aber auch sehr einfach selber erstellt werden:

Der LNB

Meist wird ein LNB mit 2 F-Anschlüssen genutzt. Der zweite Anschluss wird intern aufgetrennt und für die Spannungsversorgung und den Referenz-Takt genutzt. Es gibt jedoch auch „Einkabellösungen“. Dabei wird der Referenztakt und die Spannungsversorgung gemeinsam auf die LNB Out-Leitung gekoppelt. Da der Umbau abhängig vom verwendeten LNB ist, kann keine allg. gültige Umbauanleitung vorgestellt werden.

Daher hier in paar Links zu verschiedenen Umbauten:

Umbau eines LNB vom 25MHz Quarz auf einen SMD-TCXO

<http://www.carry-blue.de/fb-lnb-umbau.pdf>

Umbau eines weit verbreiteten LNB (Octagon Twin) auf externen Takt:

<https://www.oe2rol.com/octagon-lnb-umbau-fuer-qo-100.html>

GPSDO Stabilisierung

<https://www.oevsv.at/export/oevsv/technik-folder/J2019/bin/QO100-LNB-und-Pluto-Synchronisation.pdf>

Umbau für SSB und WB Transponder

https://www.dj0abr.de/german/technik/sat/lnb_diavolo.htm

Voraussetzung Nr. 3

In unserer Kette fehlt jetzt noch der Empfänger. Der Sprechfunk wird in SSB abgehalten, daher muss der Empfänger die vom LNB gelieferten Signale mit einer ZF (739,5 MHz) in SSB umsetzen können. Für den einfachsten Fall kann dies ein SDR mit entsprechender Software. Als Beispiel kann hier der bekannte **Nooelec RTL-SDR v5** genommen werden. Ist bereits ein SSB fähiger Empfänger vorhanden, gibt es im Handel jede Menge Umsetzer (Downconverter), die 739MHz auf z.B. 2m oder 70cm umsetzen und somit den bereits vorhandenen Transceiver nutzen können.

Wenn später auch der Sendebetrieb gewünscht ist, empfiehlt sich ein größerer SDR wie z.B. ein Adalm Pluto von Analog Devices. Dieser SDR ist voll-duplex fähig (wird vom Amsat-DL gefordert) und kann im Bereich von 300MHz bis 6GHz gleichzeitig senden und empfangen. Außerdem kann der Pluto über das IP-Netzwerk genutzt werden. Man spart damit einen Transceiver und jede Menge Strippen

Alternativ kann auch ein Down-Converter eingesetzt werden, der die ZF von 739,5 MHz auf z.B. 10m, 2m, 70cm oder 23cm umsetzt und so ein vorhandenes Funkgeräte genutzt werden kann.

Mit dieser Grundausstattung (Sat-Antenne, LNB, BIAS-T und SDR/Down-Converter) kann man bereits auf den QO100 Satellitenbändern empfangen und jede Menge Erfahrungen im internationalen Verkehr über Satellit sammeln.

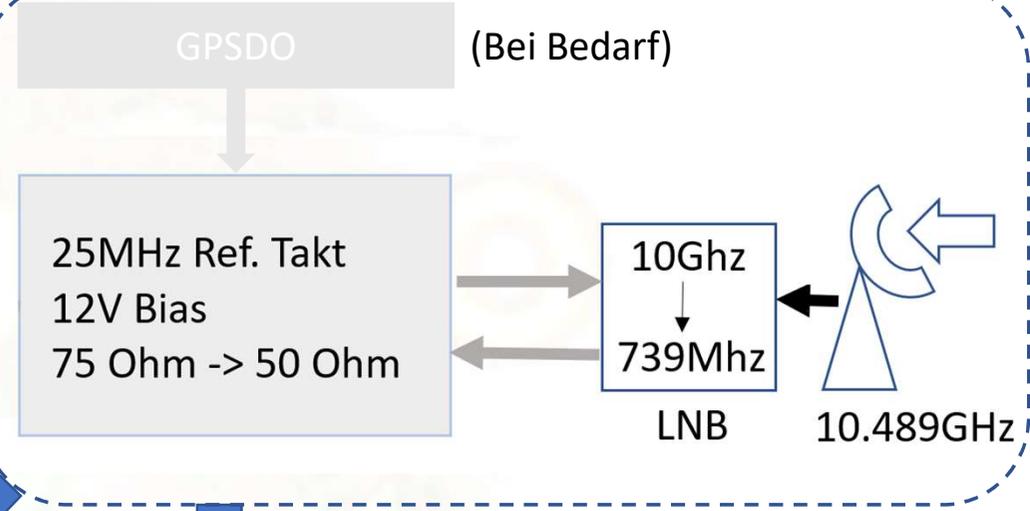
Empfehlung

Zuerst den Empfangsweg ausprobieren. Gibt es dort bereits Probleme, wird der Sendebereich i.d.R. nicht funktionieren.

PC mit SDR und entspr. Software



Quelle: amazon.de



Quelle: <https://www.neowin.net/news/the-ibm-pc-xt-launched-40-years-ago-today-but-it-got-competition-from-the-compaq-portable/>

SSB fähiger
Weltempfänger



Quelle: <https://www.mwf-service.com/shop/tecsun-s-2000-pll-weltempfaenger-mit-ssb.html>



Quelle: DX-Patrol

Down-Converter mit Transceiver



Quelle: icomeurope.com

QO100 Sendebetrieb

Die Aufgabe, einen Sendebetrieb zum QO100 zu ermöglichen, umfasst die Umsetzung der Sprache in SSB auf 2,4 GHz. Um den Sendebetrieb zu ermöglichen, muss ein zweiter Kommunikationsweg eingerichtet werden.

Der Empfangsweg (Downlink) wird auf 10,489.750 GHz abgewickelt. Gesendet wird auf einem völlig anderen Frequenzband bei **2,400150** GHz. Der Sendeweg (Uplink) ist damit sehr nahe am WLAN Frequenzbereich angesiedelt. Da die Bandbreite nur 500 kHz sowohl im Down- als auch im Up-Link beträgt, ist man weit genug von den stark genutzten WLAN Frequenzen entfernt. (Kanäle 1 (**2,412 GHz**) bis 13 (**2,472 GHz**)) Trotzdem können WLAN Komponenten zum Senden genutzt werden. Dies betrifft insbesondere die Antennen und Verstärker. Im WLAN Bereich sind nur 100mW zulässig, für den Uplink zum Satelliten sind 1 – 5 Watt notwendig (Dies ist vom Gewinn der Antenne abhängig).

Auf Grund des anderen Frequenzbereichs beim Senden, bietet sich folgende Faustformel als Berechnungsbasis für unseren Satellitenspiegel an:

1. Die Frequenz von 2.4 GHz ist um den Faktor 4,37 geringer als die Empfangsfrequenz, für die die Antenne entworfen wurde.
2. Der max. Gewinn einer parabolischen Antenne ergibt sich zu:

$$\text{Gewinn in dBi} = 10 * \log((\text{PI} * \text{Reflektordurchmesser} / \text{Wellenlänge})^2 * \text{Wirkungsgrad})$$

3. Der Wirkungsgrad ist von den baulichen Gegebenheiten der Antenne und des Erregersystems abhängig und beträgt in der Praxis zwischen 50% und 70%.

=> Der Gewinn des Spiegels bei 2,4 GHz ist daher um ca. 12,8 dB geringer als bei 10 GHz. Daher ist der Wert des Antennengewinns bei 10 GHz um 13 dB (Faktor 20) zu reduzieren. (siehe auch <https://www.qrz.com/db/DL6YCL#zwei>)

Multipliziert mit dem Antennengewinn für 2.4 GHz von 38 dB – 13 dB = **25 dB** ergibt sich damit eine Sendeleistung von ~316 mal PA-Ausgangsleistung.

Bei einer PA Ausgangsleistung von 5W (37 dBm) „sieht“ der Satellit die selbe Signalstärke, als würde man bei einer direkten Sendeantenne mit 0 dB Gewinn mit 1,58 kW Sendeleistung senden.

Experimente zeigen, dass eine PA Ausgangsleistung, je nach Antenne und Komponenten, von 1 – 5 Watt ausreichend sind. (Zur Erinnerung: der Sat hat kein AGC und wird per Software von LEILA überwacht!)

Verwendet man einen Adalm Pluto, so kann dieser direkt ein Ausgangssignal mit einer Frequenz von 2.4 GHz erzeugen. Jedoch ist die Ausgangsleistung nicht ausreichend.

Der Pluto hat eine max. Ausgangsleistung mit 0 dBm bis 4 dBm, wobei man mit -3 dBm rechnet, da die Verzerrungen und Nebenaussendungen bei maximaler Ausgangsleistung stark ansteigen.



Quelle: aliexpress.com

Standard: IEEE 802.11 b/g/n	Transmit Gain: 17dB typical
Frequency: 2.4GHz	Working Voltage: 6-18VDC
RF Output Power: 39dBm(8W)	Receiver Gain: 11dB typical

Es gibt jedoch keine WLAN Verstärker um die Ausgangsleistung z.B. eines Adalm Pluto von -3dBm auf 37 dBm (= 40 dB) anzuheben. Bei Aliexpress werden WLAN Verstärker mit einer Ausgangsleistung von 8 Watt angeboten. Allerdings hat kein getestetes Exemplar mehr als 4 Watt (36dBm) bei einer Eingangsleistung von 100mW (20dBm) geleistet. Benötigt werden für den Pluto demnach 40dB Verstärkung für 5W. Eine Möglichkeit sind spezielle Verstärker für den Pluto. Andere Sender müssen evtl. mit Hilfe eines Up-Converters erst die Frequenz von z.B. 2m oder 70cm auf 2,4GHz anheben und dann verstärken. Auch dafür gibt es fertige Lösungen. Wichtig ist, dass die PA aus einer seriösen Quelle stammen und sicherzustellen das Nebenaussendungen möglichst unterdrückt werden. In der Praxis hat sich gezeigt, das je nach verwendeter Erregerart (Poty, Helix, Yagi, „Grillrost“...) eine Leistung von 1W bis 4W Erregerleistung (Ausgangsleistung des PA) ausreicht, um den Satelliten zu erreichen und gerade nicht LEILA auszulösen.

Hinweis zur Sende-/Empfangsumschaltung

Der technische QO100 Betreiber (vertreten durch die Amsat-Deutschland) fordert eine voll duplexfähige Lösung. Wird ein Transceiver mit einem Konverter genutzt, ist das Problem der Umschaltung zu lösen. Auf Grund der völlig getrennten Sende- und Empfangswege zum/vom Satelliten ist dies Problem in der hier vorgestellten Lösung nicht gegeben. Der eingesetzte Pluto hat 2 getrennte SMA Ein-/Ausgänge so dass der Uplink als auch der Downlink zu keinem Zeitpunkt eine gemeinsame Leitung nutzen. Beim Pluto ist lediglich der Leistungsteil der nachgeschalteten Sendestufe zu aktivieren. Der hier eingesetzte Localino hat eine autom. Vox Funktion. Problem elegant gelöst 😊 Alternativ kann z.B. ein IC-705 als SSB Sender auf 430 MHz genutzt und gleichzeitig auf 739,5 MHz mit Hilfe der Software SDR-Radio der Empfang gemonitort werden.

Wird ein PTT Signal benötigt, muss evtl. der Pluto um einen PTT Ausgang erweitert werden. Dazu gibt es fertige Einbausätze (Reed Relais mit Ansteuerung) mit einer angepassten Firmware für den Pluto. Leider ist die Verzögerung dieser Lösung rel. hoch (bis zu 800ms). Eine Alternative ist die „Auskopplung“ des PTT Signals aus der SDR-Radio Software. Durch den Einsatz eines USB-Relais kann auf diese Weise eine potential freie PTT Taste simuliert werden.

Entsprechende Hinweise gibt es z.B. im AMSAT-DL-Forum:

<https://forum.amsat-dl.org/index.php?thread/3410-sdr-console-ptt-out-signal/&postID=16637#post16637>

Voraussetzungen für den Sendebetrieb

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten besprochen, die exemplarisch für einen Sendebetrieb über den QO100 Satelliten notwendig sind.

Voraussetzung Nr. 1

Der SSB Sender. Prinzipiell eigenen alle Sender, die die Modulationsart SSB mit einer Bandbreite von 2,7 kHz ermöglichen. Gefordert wird eine Ausgangsleistung von ca. 1 – 10 W, abhängig von der gewählten Antenne, bei einer Frequenz von 2,400150 GHz. Ist dieser mit den geforderten Daten verfügbar, geht es weiter mit der Antenne. Meist liegt jedoch kein geeigneter Sender mit den Leistungsdaten vor. Dafür gibt es mehrere Lösungen:

- Bei zu geringer Ausgangsleistung muss ein PA genutzt werden -> PA
- Bei abweichender Frequenz muss i.d.R. ein Up-Converter genutzt werden, der die Ausgangsfrequenz des SSB Senders auf 2,400150 GHz anhebt. Für 10m, 6m, 2m, 70cm, 13cm gibt es fertige Up-Converter auf dem Markt.
- Bei anderen Abweichungen müssen entsprechend Kombinationen aus Frequenzumsetzer, Filter und Leistungsstufen aufgebaut werden.

Beispiel 1:

ICOM 705 mit einer Ausgangsfrequenz von 430 MHz und einer Sendeleistung von 1 W. Hier wird eine Kombination von 70cm Up-Converter und einer PA mit 10-20dB Verstärkung benötigt.

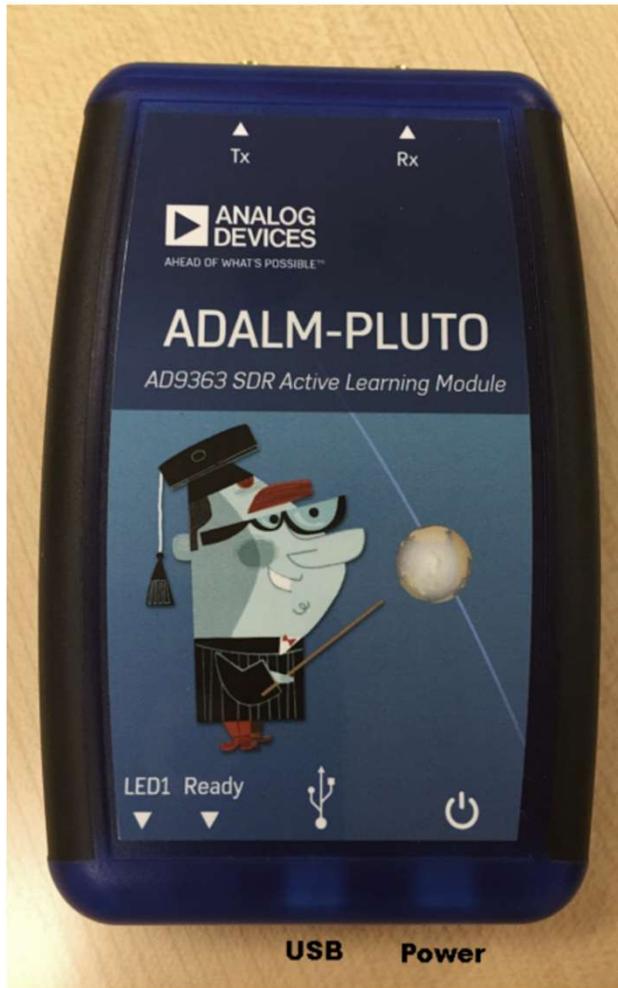
Beispiel 2:

Adalm Pluto mit einer Ausgangsfrequenz von 2,400150 GHz und 0dBm Ausgangsleistung. In diesem Fall wird ein PA mit 40-50dB Verstärkung benötigt. Alternativ kann auch ein Vorverstärker (z.B. Analog Devices CN0417 / 20dB) mit 20dB Vorverstärkung und ein weitere Power PA mit 20dB eingesetzt werden.

Beispiel 3 (hier realisiert):

Adalm Pluto mit einer Ausgangsfrequenz von 430 MHz und 0dBm Ausgangsleistung. Hier wird sowohl ein Vorverstärker sowie ein Power-PA und ggf. ein UP-Converter benötigt.

Anmerkung: Das Beispiel Nr. 3 wurde von mir realisiert, weil es die meisten Möglichkeiten zum experimentieren ermöglicht. Außerdem lag ein Exemplar bereits in der Schublade und wurde für andere Projekte bereits eingesetzt. Sowohl ein IC705 als auch ein Adalm-Pluto sind einsetzbar und die Verstärkung individuell anpassbar. An allen relevanten Stellen und Komponenten können ohne Aufwand Messungen durchgeführt werden. Für den Anlagenteil oberhalb 430 MHz und für die Einhaltung der Vorschriften bzgl. Nebenaussendungen wurde ein fertiger Baustein der Firma Heuel & Löher GmbH & Co. KG , Lennestadt mit dem Namen Localino genutzt.



- ADI AD9363, RF Agile Transceiver:
 - 1 Transmit, 1 Receive channel (with separate tuning frequencies)
 - Tuning range: 325 MHz - 3.8 GHz (70 MHz – 6 GHz möglich)
 - 2.4 Hz LO step size
 - Tunable channel bandwidth: 200 kHz - 20 MHz
 - Integrated 12-bit DACs (Tx) and ADCs (Rx)
 - Variable output data rates: 61.44 MSPS - 65.1 kSPS
 - Modulation Accuracy (EVM): ≤ -40 dB (typical, not measured on every unit)
 - Internal I/Q correction and calibration
 - Tx to Rx Isolation
 -
 - (siehe Quelle)

Vorverstärker mit 30dB Verstärkung bei 5V Spannungsversorgung über USB.



Quelle: amazon.de

Quelle: <https://wiki.analog.com/university/tools/pluto/devs/specs>

Funktionsschaubild Adalm Pluto

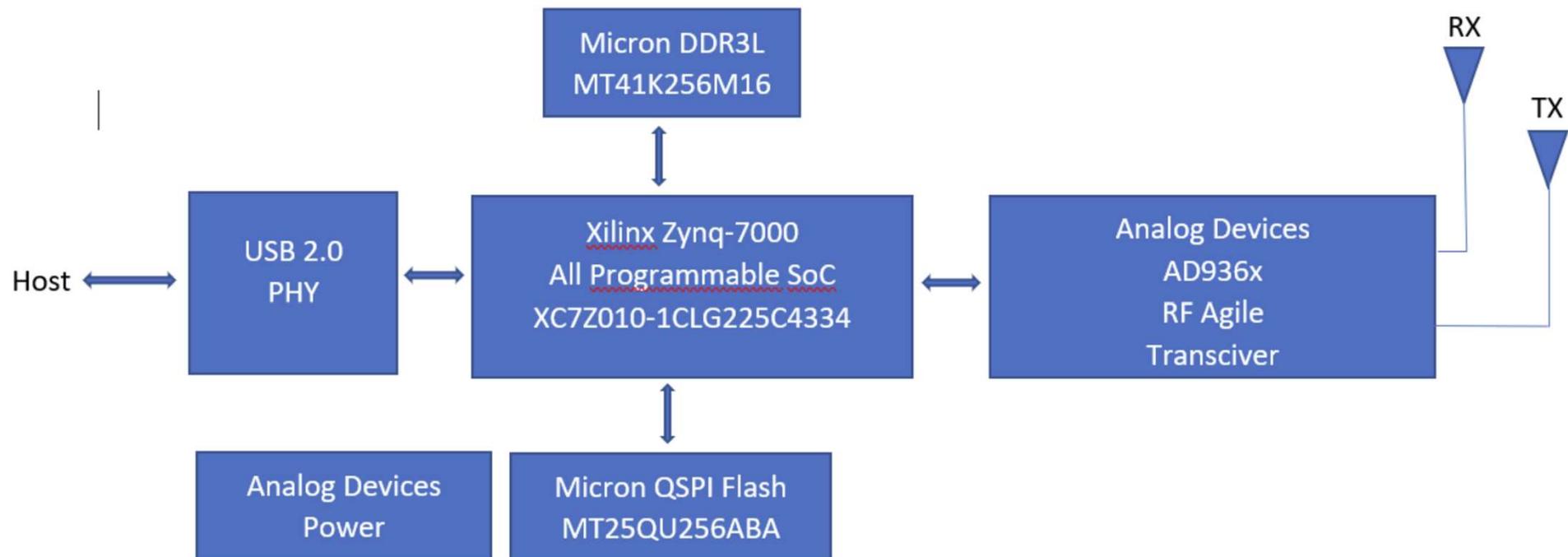


Abb.: Vereinfachtes Blockschaubild des PlutoSDR

Quelle: <https://www.mikroelektronik.w-hs.de/index.php/qo-100?view=article&layout=edit&id=179>

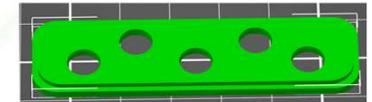
Anmerkungen zum Adalm Pluto von Analog Devices

Der Adalm Pluto (i.F. Pluto) ist ein Experimental-Kit für das Themenfeld SDR. Er ist voll-duplex fähig, hat 2 getrennte Sende- und Empfangskanäle und im Frequenzbereich von 325 MHz bis 3,8 GHz (6 GHz) einsetzbar. Die Bandbreite reicht von 200 kHz bis 20 MHz bei 12 Bit ADC/DAC Auflösung. Der Pluto wird von vielen Softwarepaketen nativ unterstützt: MatLab, GNU Radio, SDR-Radio... Die Ausgangsleistung beträgt (frequenzabhängig) bei 2,4 GHz ca. 4,4 mW (6,4 dBm). Allerdings sollte man maximal 50% davon nutzen, denn sonst steigen die Verzerrungen und Nebenaussendungen stark an. In den meisten Fällen ist man mit 0dBm gut bedient. Die Standardverstärkung der meisten 2,4 GHz PAs liegt bei 20dB. Daher sollte der Ausgang des Pluto um 10 bis 20 dB „angehoben werden. Dazu eignet sich z.B. das CN0417 Modul von Analog Devices. Dieses ist jedoch zeitweise schlecht zu erhalten. Alternativ kann bei Aliexpress ein universelles Verstärkermodul mit 20dB oder 30dB eingesetzt werden. Das 30dB Modul hat genügend Reserve und liefert bei nicht Vollaussteuerung ein gutes Ausgangssignal mit wenig Nebenaussendung. Diese können durch einen entsprechenden Filter noch reduziert werden. Der Pluto wurde umgebaut. Die Anschlüsse für den externen Takt, sowie TX/RX vom Channel 2 liegen intern auf U.fl Steckern. Dazu wurde eine neue Frontplatte gedruckt und die Anschlüsse per Kabel auf SMA Buchsen nach außen geführt.

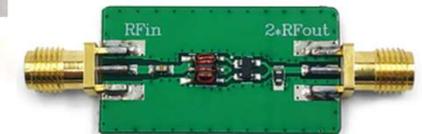
Die Taktfrequenz sollte von einem GPSDO stabilisiert werden. Dazu kann ein externer Takt den Pluto versorgen. Dieser muss jedoch stabil anliegen, wenn der Pluto bootet. Daher wird der Pluto mit einer Einschaltverzögerung von ca. 1 Minute gestartet. Je nach Modell kann der Takt zwischen 10 und 40 MHz liegen. Eigene Messungen ergaben jedoch, dass der Pluto erst ab 15 MHz stabil lief. Daher wird ein passiver Frequenzverdoppler für das 10 MHz GPSDO Signal eingesetzt.



Quelle: w-hs.de



Quelle: DO2VO eigen



Quelle: https://www.box73.de/product_info.php?products_id=4403

Anmerkungen zum Adalm Pluto von Analog Devices

Neben den bisher genannten Eigenschaften bzw. Besonderheiten gibt es noch einen wichtigen weiteren Punkt: Der Pluto kalibriert beim Booten seine Ein- und Ausgangsstufen. Das führt dazu, dass direkt nach dem Einschalten auf den TX Leitungen ein Impuls mit maximaler Leistung ausgegeben wird. Je nach Schaltungsaufbau wird dieser durch die nachfolgenden Sendestufen verstärkt und letztlich über den PA auf die Antenne gegeben. Als Ergebnis wird in unkontrollierter HF Impuls gesendet. Dies ist zu unterdrücken, um Störungen zu vermeiden. Wird die Senderkette durch einen PTT freigegeben, ist darauf zu achten, dass dieses nicht vor Ende der Kalibrierung aktiv werden kann. Bei einem HF VOX werden die Sendestufen jedoch unmittelbar freigegeben und kann im schlimmsten Fall zur Zerstörung der Ausgangsstufe führen.

Daher wurde in diesem Aufbau eine weitere Verzögerung von ca. 30 Sekunden integriert, die erst startet, wenn der Pluto mit Spannung versorgt wird. Erst nach Ablauf der 2ten Verzögerung wird der Leistungsteil des Senders mit Spannung versorgt.

Zum Einsatz kommen für beide Verzögerungen (Pluto Einschaltverzögerung und PA-Energieversorgung) je eine autonome Verzögerungsschaltung in Kaskadenanordnung.

Das Zeitrelais kann im Bereich 0,1s bis 120s per Poti eingestellt werden und kann in verschiedenen Modi das zeitgesteuerte Ein- und Ausschalten von Baugruppen über ein Relais vornehmen.



Quelle: amazon.de Modul TRM01

Alle für den Sendebetrieb notwendigen Komponenten (Vorverstärker, Frequenzumsetzung, Leistungsverstärker, Filter und VOX) in einem Bauteil.

Technische Daten

Article name QO-100 Upconverter-H

Brand Localino

Supply voltage 10V – 24V

Current consumption (standby,typ.) 60 mA @ 20V

Current consumption (PA standby,typ.)120 -130 mA @ 20V

Current consumption (TX, typ.) up to approx. 900 mA at 20V

Dimensions W x H x D W x H x D 100 x 80 mm

Output power (typ.) up to 10W on 13cm (2.4 GHz)

13 cm input (optional) Yes (can be used as a standalone PA)

VOX digital

Frequency inputs **10m**, **6m**, **2m**, **70cm**, 13cm

HF connector types SMA

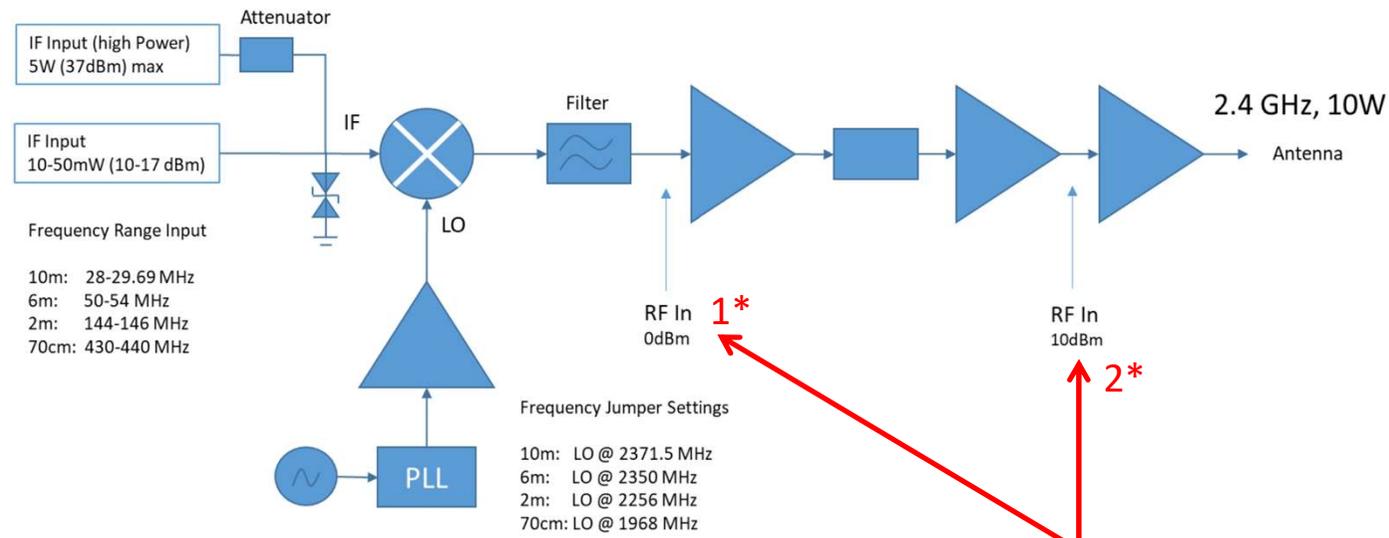
Low Power Input SMA, 10-17dBm

High Power Input SMA, 30-37dBm

10MHz reference Input SMA, 0-5 dBm



Quelle: Wimo GmbH



Quelle: Heuel & Löher GmbH & Co. KG, Lennestadt; Datenblatt Localino

Interne Übersicht des Localino Aufbaus.

1* Möglichkeiten durch einfachen Umbau einen Pluto ohne Vorverstärker anzubinden. Dabei muss der Pluto dann allerdings auf 2.4 GHz direkt senden.

Es muss lediglich ein SMD Widerstand um 90 Grad versetzt werden.

2* Direkter Zugang auf 2.4 GHz zur Leistungsstufe. Auch hier muss zuvor ein SMD Widerstand um 90 Grad versetzt werden.

Generelle Anforderungen an den Sendebetrieb sind die nach dem Gesetz geforderten 60dB Dämpfung der Nebenaussendungen und die durch die Lizenz vorgegebenen Leistungsbegrenzungen. Nach meinen Erfahrungen empfiehlt sich speziell für die Leistungsverstärkung eine professionelle Lösung, die die Einhaltung der Rahmenbedingungen sicherstellt. Das ansonsten notwendige Messequipment übersteigt den Hobby-Bereich um Größenordnungen, da selbst ein 3 GHz Spektrum Analysator nicht ausreicht, um Messungen zur Einhaltung der Rahmenbedingungen durchzuführen.

TIPP

Da die Ausgangstransistoren der PA sehr empfindlich auf eine Fehlanpassung der Antenne reagieren und schnell mal ihr Ableben mit Indianermorsecode mitteilen, empfiehlt sich der Einsatz eines Zirkulators in Verbindung mit einer Dummy-Load um die Reflektionen der Fehlanpassung in der Dummy-Load in Wärme umzuwandeln. Entsprechende Zirkulatoren sind preisgünstig und leicht in Asien zu erhalten.

Technische-Daten

Einfügeverlust typ. 0,25dB
Isolation besser als 23dB
Leistung < 100W
VSWR 1,15



Quelle: Aliexpress

Zirkulator 2,4 GHz / 100W über Aliexpress geordert für ca. 23€, Lieferzeit 8 Tage (1Q 2024).

Voraussetzung Nr. 2:

Die Antenne. Prinzipiell kann der Sendezweig über eine andere Antenne, als der Empfangszweig realisiert werden. Beachtet werden muss in diesem Fall die Polarisation. In Senderichtung ist eine rechtsdrehende Polarisation notwendig. Bei Antennen ohne Polarisation ist mit einem Verlust von ca. 3dB zu rechnen. Yagi Antenne und WLAN Gitter Antenne eignen sich ebenso, wie spezielle WLAN-Antennen z.B. von der Firma Mikrotik. Meist wird jedoch die schon vorhandene Empfangsantenne ebenfalls zum Senden genutzt.

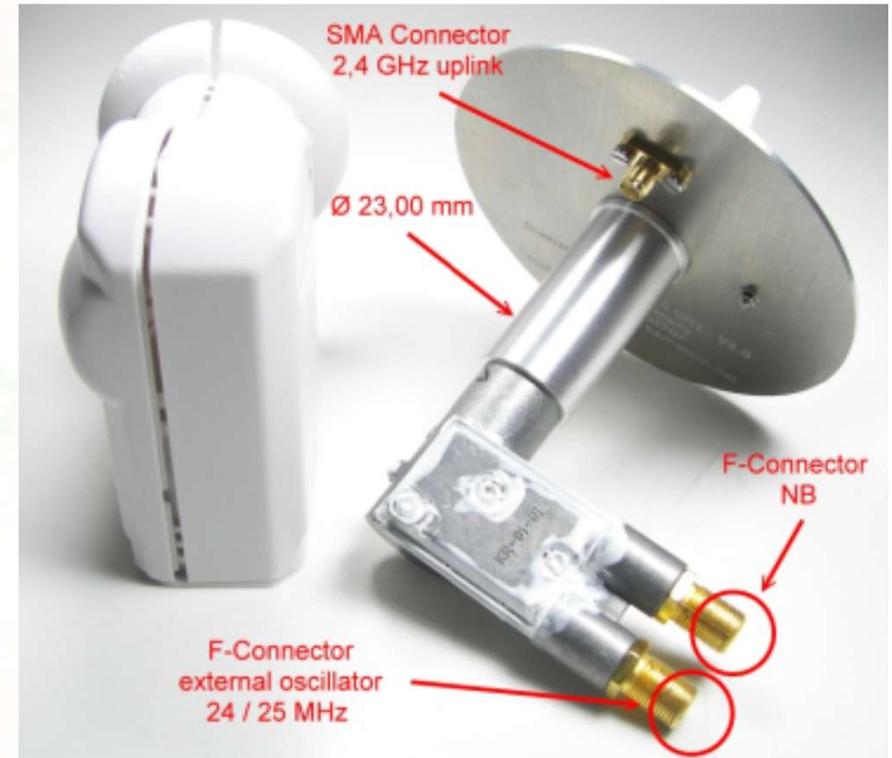
In diesem Fall muss der LNB mit zusätzlichen Sendekomponenten erweitert werden. Es haben sich 2 Bauformen herauskristallisiert, die im Hobby Bereich gut zu realisieren, bzw. preisgünstig zu erwerben sind.

Antenne Typ 1 Poty (Patch of the year)

Bei der Poty Antenne handelt es sich um eine flache Scheibenantenne (Patch-Antenne). Sie ist in der Mitte mit einem Loch versehen, durch das die Empfangssignale zum LNB gelangen können. Die Poty Antenne ist linksdrehend polarisiert. Durch die Spiegelung an der Sat-Antenne wird daraus die geforderte rechtsdrehende Polarisation. Die Poty-Antenne kann selbst erstellt werden, wenn das notwendige Werkzeug zur Erstellung von Drehteilen vorliegt.

<https://oe7wpa.com/index.php/projekte/antennen/patchantennen/patchantenne-fuer-qo-100>

Ansonsten kann die fertige Antenne z.B. bei Bamatech erworben werden.



Quelle: BaMaTech, Bad Dübén WEB-Seite

Poty-Antenne der Firma Bamatech, Bad Dübén in Edelstahl mit fertig angeflanschten und umgebauten LNB.

ACHTUNG: Im Handel werden HF-Linsen aus Nylon angeboten. Diese Dämpfen um 2dB gegenüber einem LNB ohne Linse! Die Linse muss eine geringe Materialkonstante ϵ_r haben (PTFE, PE, PP). Die Bamatech Poty hat PTFE als Linse.



Quelle: DO2VO eigen

Poty-Antenne fertig montiert. Da der LNB kein Gehäuse mehr hat, muss für die Befestigung ein Reduzierring von 40mm auf 23mm um den LNB-Hals gelegt werden.



Quelle: BaMaTech, Bad Dübener WEB-Seite

Für die Montage außerhalb des Hauses gibt es einen Wetterschutz aus PETG, welcher selber mit einem 3D Drucker erstellt werden kann. Andere Materialien zum Wetterschutz sollten vorher auf Durchlässigkeit im 2.4 GHz und 10 GHz Band getestet werden.

Antenne Typ 2 Helix I

Die zweite Bauform einer Sendeantenne mit integrierter LNB Aufnahme zur Nutzung der Empfangsantenne ist die sog. Helix-Antenne. Teilweise wird diese auch als Ice-Cone-Feed Antenne bezeichnet, da sie mit Schutzkappe wie ein Eishörnchen aussieht. Auch diese Antenne kann selber nachgebaut werden.

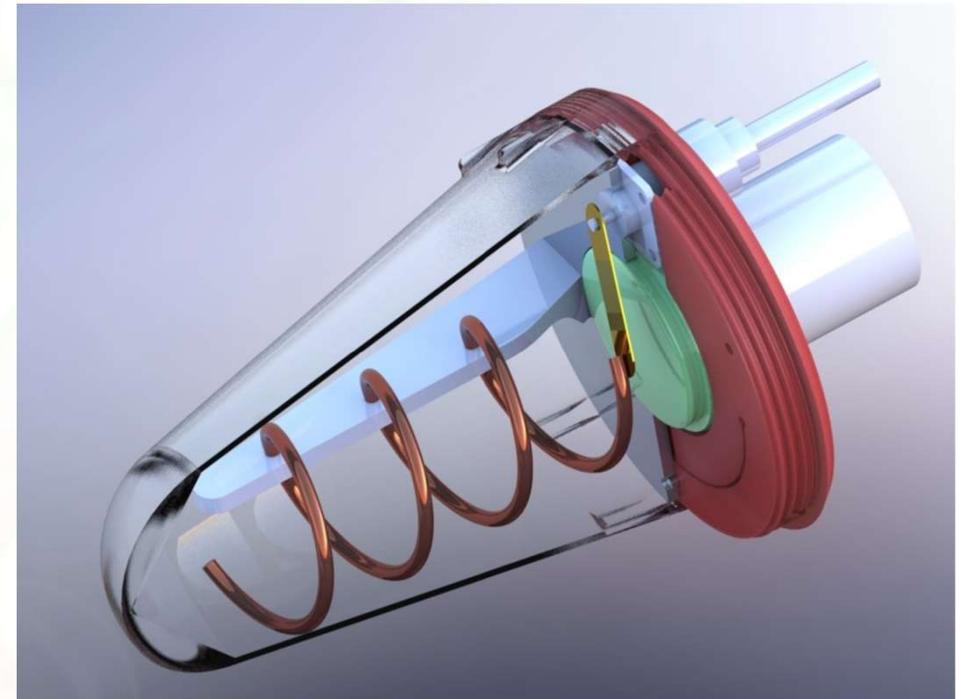
<https://nolle.engineering/ice-cone-feed/>

<https://www.oe2rol.com/helix-fuer-go-100-uplink.html>

Kunststoffteile für den 3D-Druck:

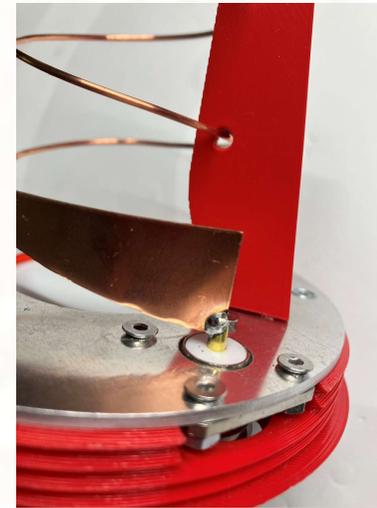
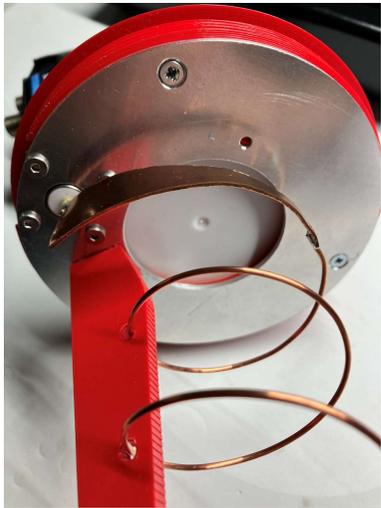
<https://www.thingiverse.com/thing:3899461>

Druckmaterial: PETG



Quelle: <https://nolle.engineering/ice-cone-feed/>

In den folgenden Abbildungen ist der Aufbau eines ICE-CONE-Feeds erläutert. Die Kunststoffteile sind auf einem 3D-Drucker erstellt worden. Die Vorlagen dafür sind aus dem Internet. Mechanische Bauteile wie z.B. der Reflektor oder die Helix und das Anpasselement aus 1mm Kupferblech wurden aus vorhandenen Materialien erstellt. Der Reflektor wurde aus einer 2mm ALU-Platte mit Hilfe einer Portalfräse erstellt. Die Helix ist aus Kupferdraht zwischen 1,5²mm bis 10²mm mit Hilfe einer Wickelschablone erstellt worden. Der N-Connector und diverse Schrauben gibt es quasi überall, z.B. bei Deinem Lieblingschinesen (Aliexpress). (ACHTUNG: Isolationsmaterial des N-Connector muss bei 2,4GHz Teflon sein!) Direkt nach der Montage hatte die Helix bereits ein SWR von 1,6 und wäre damit direkt einsetzbar. Der Abgleich ist aufwendig und es gibt mehrere Möglichkeiten. Effektiv ist der Abstand zwischen dem Anpassblech und dem Reflektor zu variieren (1 bis 2mm). Nach dem Abgleich wurde das SWR mit dem Wert 1,1 gemessen.



SWR Abgleich durch
Abstandsvariationen
Kupferblech \leftrightarrow N-
Buchse.

Quelle:DO2VO eigen

Die benötigten 3D-Druckvorlagen können von <https://www.thingiverse.com/thing:3899461> kostenlos herunter geladen werden. Das Archiv beinhaltet eine Wickelhilfe, Grundplatten für versch. LNB Durchmesser, einen Haltearm, einen Wetterschutz sowie eine Hilfe um den Reflektor auf einer Drehbank anzufertigen. Die Druckzeit betrug insgesamt ca. 5 Stunden für Wickelhilfe, Haltearm und Basisplatte für 59mm LNBs.

Der Reflektor wurde aus 2mm Alu gefräst und nicht gedreht. Das ging a) einfacher und schneller und b) habe ich Zugriff auf eine große Portalfräse 😊.

Alternativ kann der Reflektor auch wie folgt erstellt werden:

- Überziehen der Basisplatte mit Alufolie
- Den Reflektor aus Platinenmaterial aussägen und ätzen

Beide Verfahren wurden erfolgreich realisiert.

Optimal ist natürlich ein Reflektor aus Kupfermaterial. Darauf kann die N-Buchse gelötet werden, was einen optimalen HF-Kontakt ermöglicht. Bei meiner Lösung wurde die N-Buchse aufgeschraubt, wobei die Bohrlöcher in der Alu-Platte nicht entgratet wurden, um zusätzlichen Kontakt durch scharfkantige Aluränder zu ermöglichen. (Vorsicht: Verletzungsgefahr!!)

In das Loch wurde der LNB geklemmt. Dafür gibt es bereits eine Klemmvorrichtung in der Basisplatte aus Kunststoff, wobei zwei Kunststoff-Backen mit einer M4 Schrauben zusammen gezogen werden. Der LNB Durchmesser wurde mit einem 1mm Adapterring (ebenfalls 3D-Druck aus PETG) angepasst.

Antenne Typ 2 Helix II

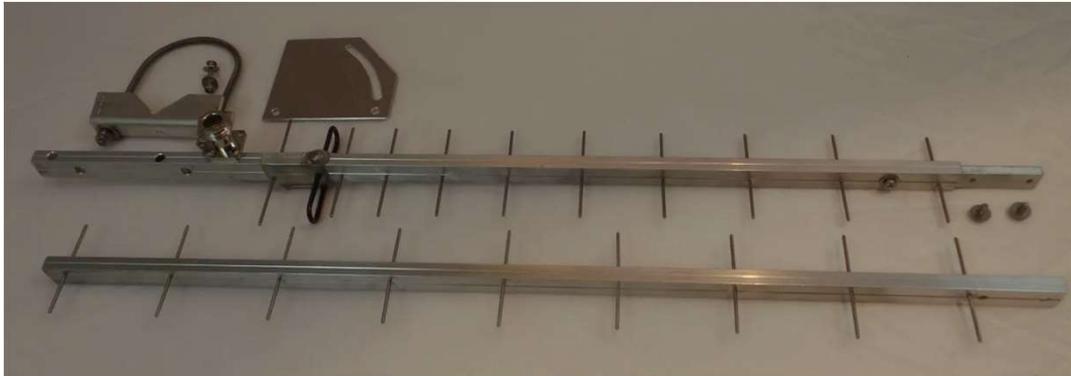
Die Helix Bauform gibt es ebenfalls in verschiedenen Ausprägungen und auch als Bauanleitung. Die folgende Helix Antenne stammt von DX-Patrol. Die Helix ist als Kupferband aufgebaut und durch einen Kappe vor Witterung geschützt. Messungen mit dem SV4401A NVA ergaben ein minimales SWR von 1,6. Der Abgleich der Antenne ist sehr empfindlich. Der LNB kann in seinem Gehäuse bleiben und wird einfach aufgesteckt. Die Befestigung des gesamten Sende- und Empfangs-Kopfs erfolgt über den LNB-Hals.



Quelle: DO2VO eigen

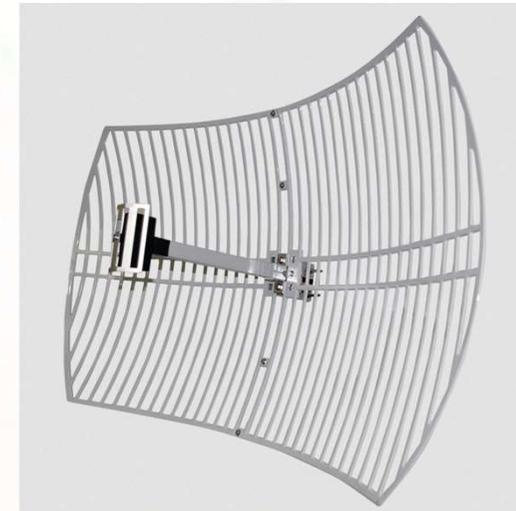
Welche Antennen-Bauform (Typ 1 o. Typ 2) die bessere Lösung darstellt, wird im Internet heftig diskutiert. Auf Grund der größeren Abmaße und des empfindlicheren Aufbaus habe ich mich trotz der besseren Werte gegen die Helix-Antenne für die Typ 1 Bauform Poty entschieden.

Weiterhin können auch andere WLAN Antennen eingesetzt werden. Meist fehlt es diesen jedoch an der notwendigen Polarisation was automatisch eine Verschlechterung von mindestens 3dB beim Senden bedeutet.



Quelle: <https://www.ebay.de/itm/144207528584>

Yagi Antenne für 2.4 GHz, 19,2dBi Gewinn, ohne Polarisation.



Quelle: http://www.logilink.info/media/images/produkt/_800/WL0097.png

WLAN „Grill-Antenne“ von LogiLink mit 24dBi Gewinn, ohne Polarisation.

Voraussetzung Nr. 3

Stabiler Referenztakt. Die Gesamt-Bandbreite der Sende-/Empfangsrichtung beträgt für den SSB-Bereich lediglich 200kHz. Die Bandbreite einer Aussendung ist auf 2,6 kHz begrenzt. Bei einer Frequenzabweichung von nur 10 Hz des Quarzes bei einer Empfangsfrequenz von 10 GHz driftet der Empfangsbereich bereits um 3,9 kHz.

Drift = $\Delta f \cdot \text{Faktor PLL} = 10 \text{ Hz} \cdot 390 = 3900 \text{ Hz} \Rightarrow$ **alle Störungen werden um den Faktor 390 vergrößert!!**

10 Hz Abweichung bei einem 25.000.000 Hz Quarz entspricht einer Genauigkeit von 10^{-7} . Dies ist mit „normalen“ Quarzen nicht zu erreichen. Ein TCXO kommt gerade mal in den Bereich von 10^{-8} was einer Abweichung von 390Hz entspricht. Bei SSB nicht zu tolerieren. Gefordert ist daher eine möglichst stabile Quelle für einen Referenztakt. Es bietet sich an, einen GPS synchronisierten TCXO einzusetzen. Damit kann eine Genauigkeit von besser als 10^{-9} erreicht werden.

GPS disziplinierte TCXO sind im Internet erhältlich und haben meist zusätzlich Features wie wählbare Ausgangsfrequenzen und Pegel. Einheitlich hat sich in der Messtechnik jedoch die Frequenz von 10 MHz als Referenzfrequenz durchgesetzt.

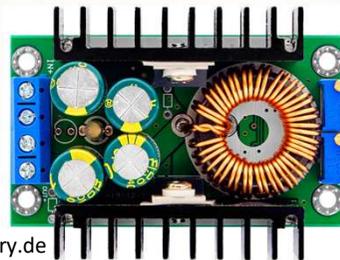
In diesem Aufbau wurde ein GPSDO von DX-Patrol eingesetzt, da dieser 4 Ausgänge besitzt.



Quelle: DX-Patrol WEB-Seite

Aufbauhinweise

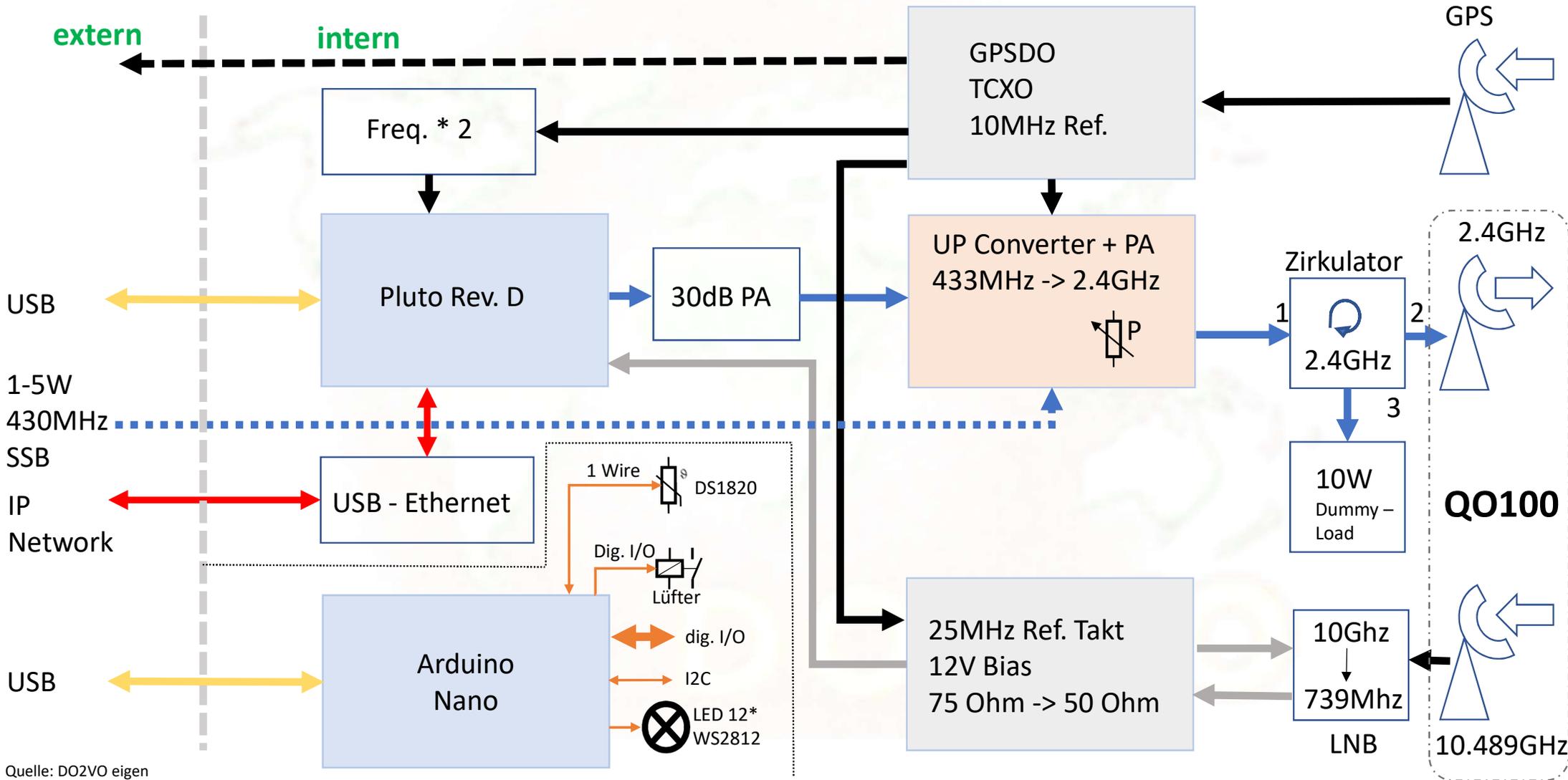
Die Signalleitungen sind alle vom Typ RG316 / RG179. Dabei wurde darauf geachtet, im Frequenzbereich oberhalb 1 GHz so kurz wie möglich zu verdrahten, da die RG316 Leitung nicht ideal für so hohe Frequenzen ist. Die Leitungen vom und zum LNB sind hochwertige Sat-Coaxkabel mit 75 Ohm und 130dB Schirmdämpfung. Für alle Komponenten wurden Montagerahmen mit einem 3D-Drucker erstellt. Der gesamte Aufbau ist auf einer einzigen Stahlplatte erfolgt, die als ganze Einheit in das Gehäuse gesetzt wird. Es findet eine autonome Temperaturkontrolle mit einem Arduino Nano statt. Ein Lüfter saugt bei Bedarf die warme Luft im oberen Bereich ab. Selbstverständlich sind VDE Vorschriften einzuhalten und die 230V Seite gegenüber der Kleinspannungsseite gut zu isolieren. Als Netzteil wurde ein **MEAN WELL RT-65D 65W 5V 4A +24V 1.5A +12V 1A** Netzteil eingesetzt. Die Gesamtleistung beträgt 65W. Beim Betrieb aller Komponenten, wurden zu keinem Zeitpunkt mehr als 40W benötigt, d.h. es gibt noch Luft nach oben 😊 Viele Bauvorschläge im Internet nutzen ein Einspannungsnetzteil und mehrere Up-/Down Konverter um die benötigten Spannungen zu erhalten. Da diese potentielle „EMV Verschmutzer“ sind, wurde hier von Anfang an nur mit einem Netzteil und einem Konverter gearbeitet. Die PA Stufe der 2.4 GHz Sendestufe benötigt eine Spannung zwischen 10V und 20V. Mit Hilfe der Spannung wird die Ausgangsleistung der Stufe festgelegt. Daher wird der 24V Spannungszweig des Netzteils nicht direkt zur Versorgung der PA genutzt, sondern mit Hilfe eines Down Konverters auf 9V bis 23V runtergeregelt. Der Konverter kann Ströme bis 6A liefern, die PA benötigt maximal 1A.



Quelle: <https://www.az-delivery.de>

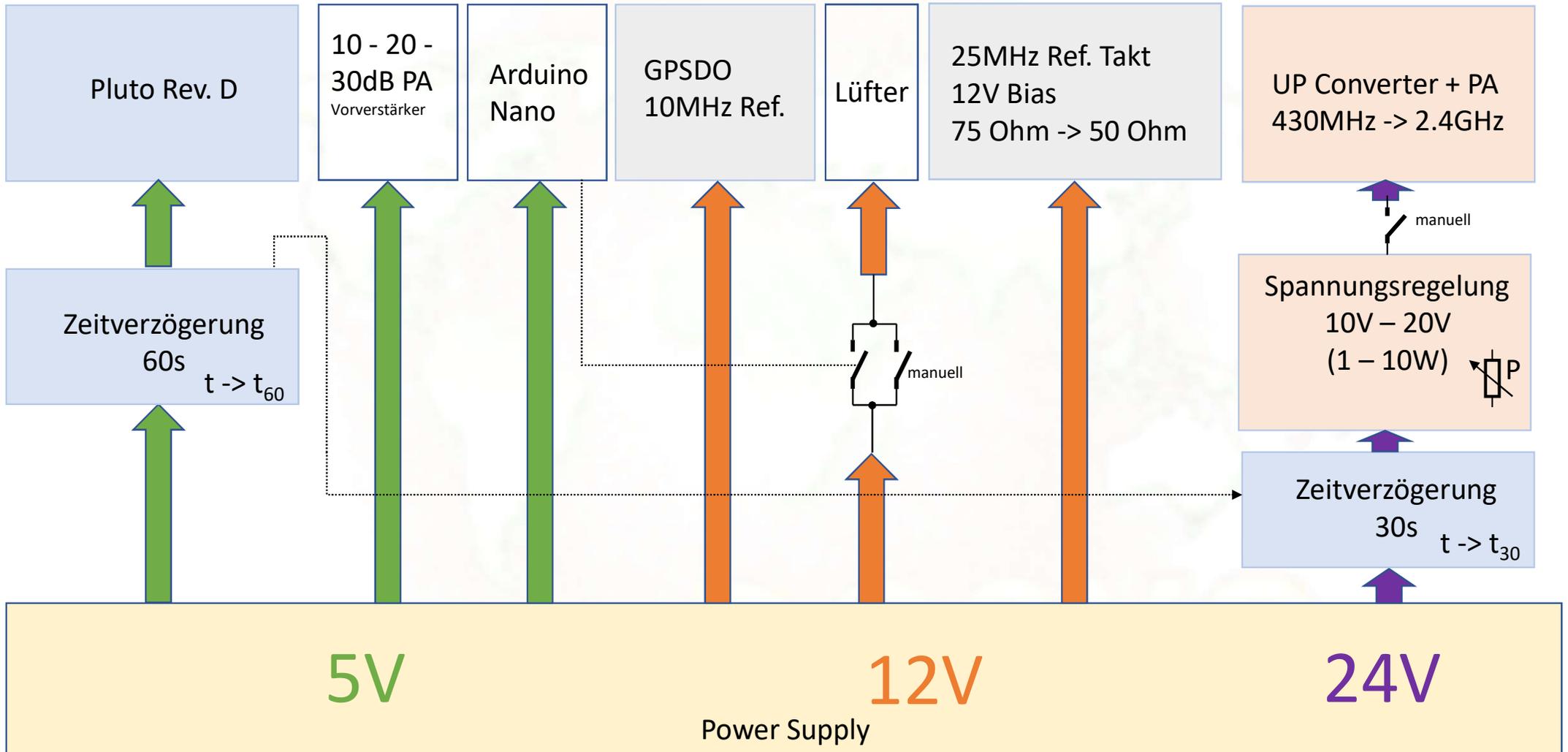
Der Trimmer P1 wurde entfernt und durch ein Poti in der Frontplatte ersetzt. Dadurch kann die Spannung (und damit die PA Leistung) von außen geregelt werden.

Aufbau der Anlage Eingesetzte Komponenten - Signalwege

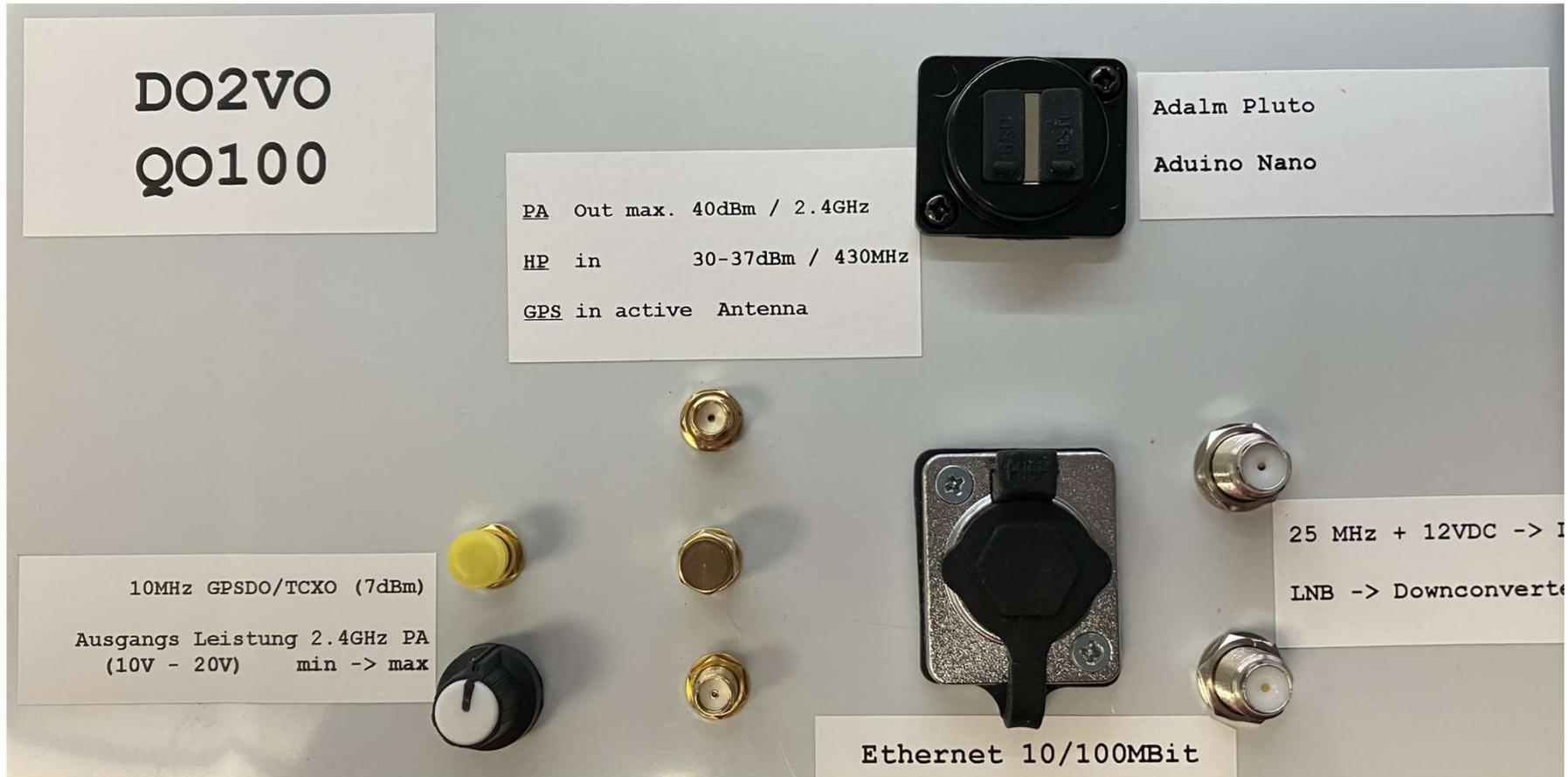


Quelle: DO2VO eigen

Eingesetzte Komponenten - Energieversorgung



Quelle: DO2VO eigen



Quelle: DO2VO eigen

Die Schnittstellen nach außen ermöglichen es, weitere Experimente durchzuführen. Neben dem Referenztakt sind die PA Eingänge und die USB Schnittstellen der Prozessorbaugruppen von außen zugänglich.

Alle Komponenten in einem Gehäuse verbaut und untereinander verkabelt.

Die technischen Daten des Gehäuses sind:

Schaltschrank IP65

Sichttür

Industriehäuse 250 x 350 x 150 mm

verzinkte Montageplatte

Anmerkung

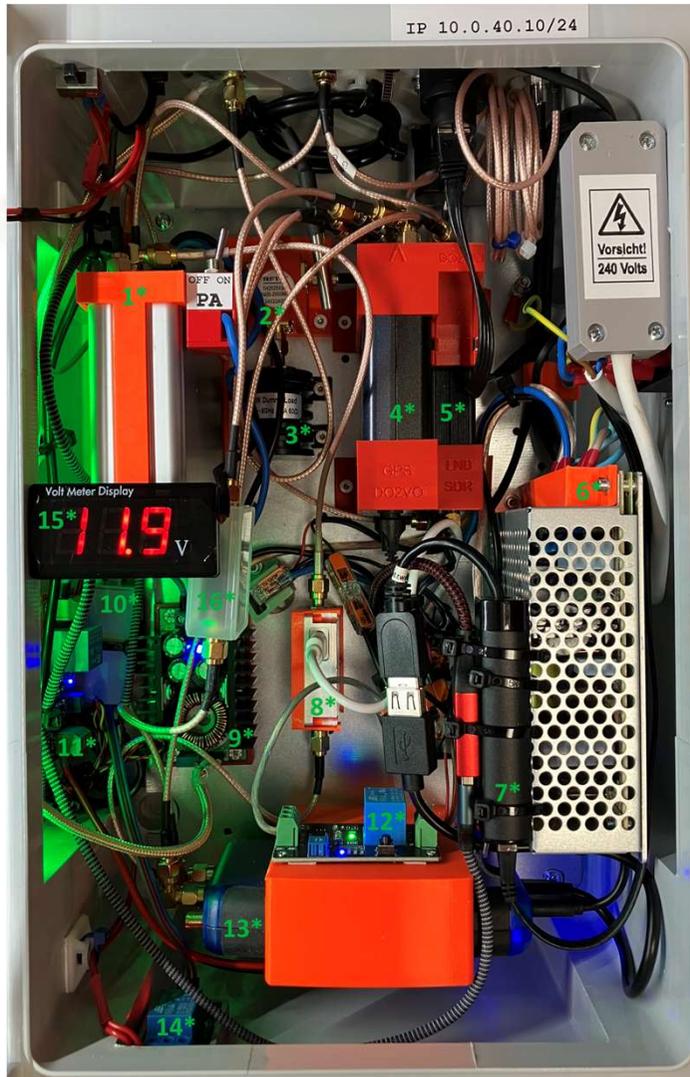
Die Lüftung wurde bewusst extern und auf der Tür montiert. Durch Austauschen der Tür kann die gesamte Anlage wasserdicht gemacht werden.



Quelle: DO2VO eigen

Bildlegende

- 1* Lüfter
- 2* Thermo- / Hygrometer
- 3* Lüftungsgitter



Bildlegende

- 1* Up-Converter / PA
- 2* Zirkulator 2.4 GHz
- 3* Dummy Antenne (Load 10W)
- 4* GPSDO
- 5* BIAS/25 MHz LNB Versorgung; 75 \leftrightarrow 50 Ohm Anpassung
- 6* Netzteil 5V/12V/24V
- 7* USB Ethernet Adapter
- 8* Vorverstärker 30 dB
- 9* Down-Converter 24V \rightarrow 8V bis 23V
- 10* Arduino Nano (über Schalter deaktivierbar)
- 11* Zeitrelais 30s PA
- 12* Zeitrelais 60s Pluto
- 13* Adalm Pluto Rev. D
- 14* Lüfterrelais (angesteuert vom Arduino Nano)
- 15* Spannungsanzeige PA ~ Leistungsanzeige
- 16* 10 MHz \rightarrow 20 MHz Taktverdoppler passiv

Quelle: DO2VO eigen

Aus welchen Komponenten besteht die Anlage?

- Schwaiger 85cm Sat-“Schüssel“
 - Bama-Tech **DuoBand-Feed 2,4 / 10 GHz - TWIN LNB ext Oszi**
 - Reduzierring 40mm auf 23mm für LNB Sat-Aufnahme
 - Hochwertige Sat-Coaxleitung mit 130dB Geflechtdämpfung
 - RG316 / RG179 SMA Kabel
 - DX-Patrol LNB 25 MHz Ref.-Takterzeugung und Bias
 - DX-Patrol GPSDO mit aktiver GPS-Antenne
 - Localino UP-Converter mit 10W PA
 - 30dB Vorverstärker
 - Adalm Pluto Rev. D
 - Taktverdoppler 10MHz auf 20MHz
 - 2 * einstellbare Einschaltverzögerung für den Pluto, für die PA
 - Regelbarer Down-Converter für die Spannungsversorgung des Localino 24V -> 10V bis 23V
 - Schaltnetzteil mit 24V, 12V und 5V Ausgang 65Watt (Mean Well RT-65D)
 - USB Netzwerkadapter
 - 2,4GHz Zirkulator für bis zu 100W
 - 10W SMA Dummy-Load (Antennen Ersatz)
- (weiter auf der nächsten Seite)

Aus welchen Komponenten besteht die Anlage? (Teil 2)

- LTE Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von 790 MHz
- 430 MHz Bandpass um Nebenaussendungen des Pluto / Vorverstärkers zu unterdrücken
- Arduino Nano mit DS1860 Temperaturfühler, LED-Streifen Anzeige (12 * WS2812 LEDs), Lüftersteuerung über Relais
- 12V Lüfter
- 6dB SMA Dämpfer (Anpassung GPSDO an Localino)
- Jede Menge „Hühnerfutter“ in Form von WAGO Klemmen, 0,75² Litze, Schrauben usw.
- 230V Kaltgerätebuchse mit Schalter und Sicherung
- Wasserdichter Schaltkasten mit Stahlmontageplatte
- Autonomes Thermometer mit Hygrometer
- 3D gedruckte Halterungen für alle Komponenten (rot und orange)



Quelle: DO2VO eigen

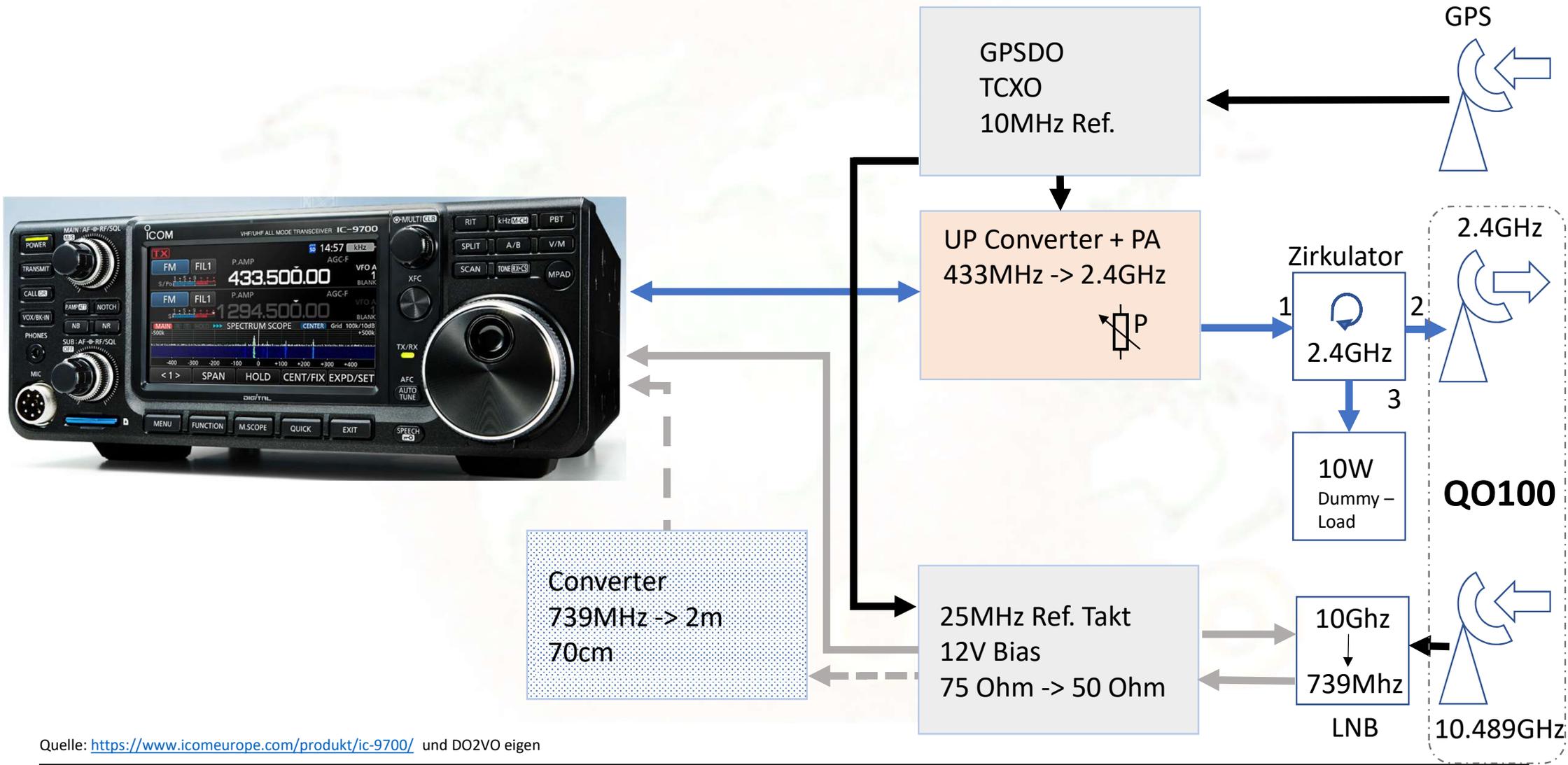
Je nach baulichen Gegebenheiten kann es notwendig sein, in die LNB Leitung einen Tiefpass einzuschleifen, um die Frequenzen oberhalb von 750 MHz zu blocken. Diese können den Signaleingang des Pluto „vollstopfen“, so dass die Eingangsempfindlichkeit bei 739,5 MHz stark abnimmt. Als besonders geeignete (und auch günstige Lösung) hat sich der Einsatz von LTE Filtern herausgestellt. Diese sind z.B. bei Amazon für ca. 7€ erhältlich. Der Sendezweig besteht aus dem Pluto, dem Vorverstärker und dem Localino. Die Frequenz in dem Bereich beträgt 430 MHz. Der Localino hat integrierte Filter um Nebenaussendungen und Störungen zu beseitigen. Daher ist in diesem Zweig kein Filter notwendig. Es gibt 430 MHz Bandpassfilter die im Störfall eingesetzt werden können.



Quelle: amazon.de

Software

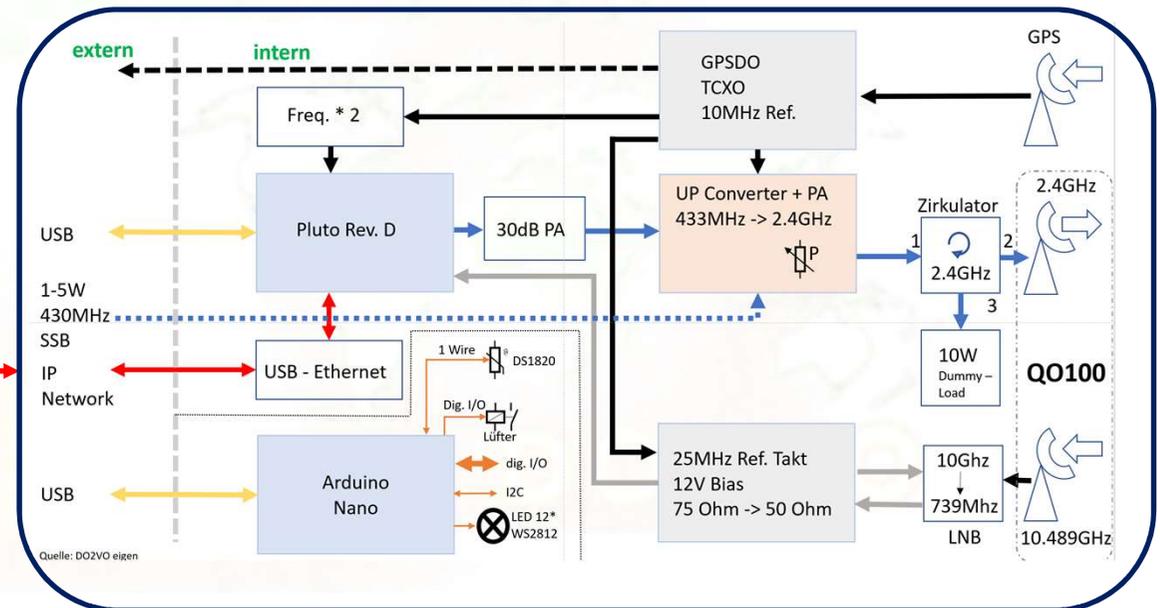
Je nach Ausbaustufe kann die gesamte Station entweder direkt über ein SSB fähiges Funkgerät (voll duplex fähig, 430 MHz SSB Tx und 739 MHz SSB Rx) genutzt werden, oder einzelne Komponenten werden durch Softwarerealisierungen auf einem PC / Laptop genutzt. Beim Einsatz eines Funkgerätes muss evtl. die Down-Frequenz von 739 MHz auf ein anderes Frequenzband (2m, 70cm) umgesetzt werden. Dies kann entweder durch einen entsprechenden Converter, oder durch Anpassung der LNB Frequenz erfolgen (s.o.). In diesem Fall ist der Adalm Pluto mit dem USB-Ethernet Interface nicht notwendig.



Quelle: <https://www.icomeurope.com/produkt/ic-9700/> und DO2VO eigen

Software

Die hier vorgestellte Lösung basiert jedoch auf einem PC / Laptop, der über eine Standard IP-Netzwerkverbindung an den Adalm Pluto angeschloßen ist. Vorteil ist die kompakte Leitungsführung, Remote-Fähigkeit und die m.E. erheblich einfachere Bedieneroberfläche. Die QO100 Box kann nahe an der Antenne aufgestellt werden. Dadurch werden die HF-Verluste auf den Übertragungsleitungen minimisiert. Die Verbindungen zwischen der Box und der Antenne sind kurz und übersichtlich. Für den Betrieb in Feld und Flur kann die Spannungsversorgung umgestellt werden, so dass eine Versorgung der Box mit einer Autobatterie nach entsprechendem Umbau möglich ist (wurde hier nicht realisiert). Auf dem PC / Laptop wird eine SDR Software genutzt, die die Umwandlung der Audiosignale in / von der SSB Modulation vornimmt. Ebenso sind ein Wasserfalldiagramm und ein Feintuning der Frequenzen einfach vom Laptop aus möglich. Im Hintergrund kann parallel eine Logbuchsoftware betrieben werden.



Quelle: <https://www.lenovocampus.de/produkt/thinkpad-p14s-21mfs00200/>

Einstellungen SDR-Radio

Für den Betrieb der Software SDR-Radio kann jedes Head-Set, jedes angeschlossene Mikrofon und die Systemlautsprecher eingesetzt werden, solange diese in der Systemsteuerung des PCs aufgelistet werden. In dieser Besprechung wird der Pluto über ein IP-Ethernet Netzwerk angesprochen. Die passenden Einstellungen sind bereits in der SDR-Radio Software vorhanden.

Die Konfiguration sieht wie folgt aus:

Receive 739,5 MHz, send 2,40150 GHz. Beide Frequenzen sollen gemeinsam auf die untere Bandgrenze SSB von 10.489,650 MHz abgebildet werden. Dazu muss ein Eintrag mit folgenden Werten als Converter Definition in der Konfiguration der Software abgelegt werden:

Converter Definitions

Add Copy Edit Delete ▲ ▼ + VHF/UHF/SHF + QO-100

Title	Up/Dn	RX/TX	RX Offset	TX Offset
PlutoQO100	Down	RX	309.000.000	
QO-100: Save	Down	RX/TX	9.750.000.000	10.057.400.000
QO-100: Test	Down	RX/TX	9.750.000.000	10.057.500.000

Type: Down-converter Up-converter [Text view](#)

RX/TX: RX RX/TX

Title:

RX: ▼

TX: ▲

Apply Cancel

Die angegebenen Offsets von RX 9750.000.000 und TX 10.057.500.000 geben die jeweiligen Differenzen zur Anzeigefrequenz an:

$$f_{\text{Anzeige}} = \text{RX}_{\text{Offset}} + f_{\text{Receiver}} = \text{TX}_{\text{Offset}} + f_{\text{Send}}$$

Beispiel:

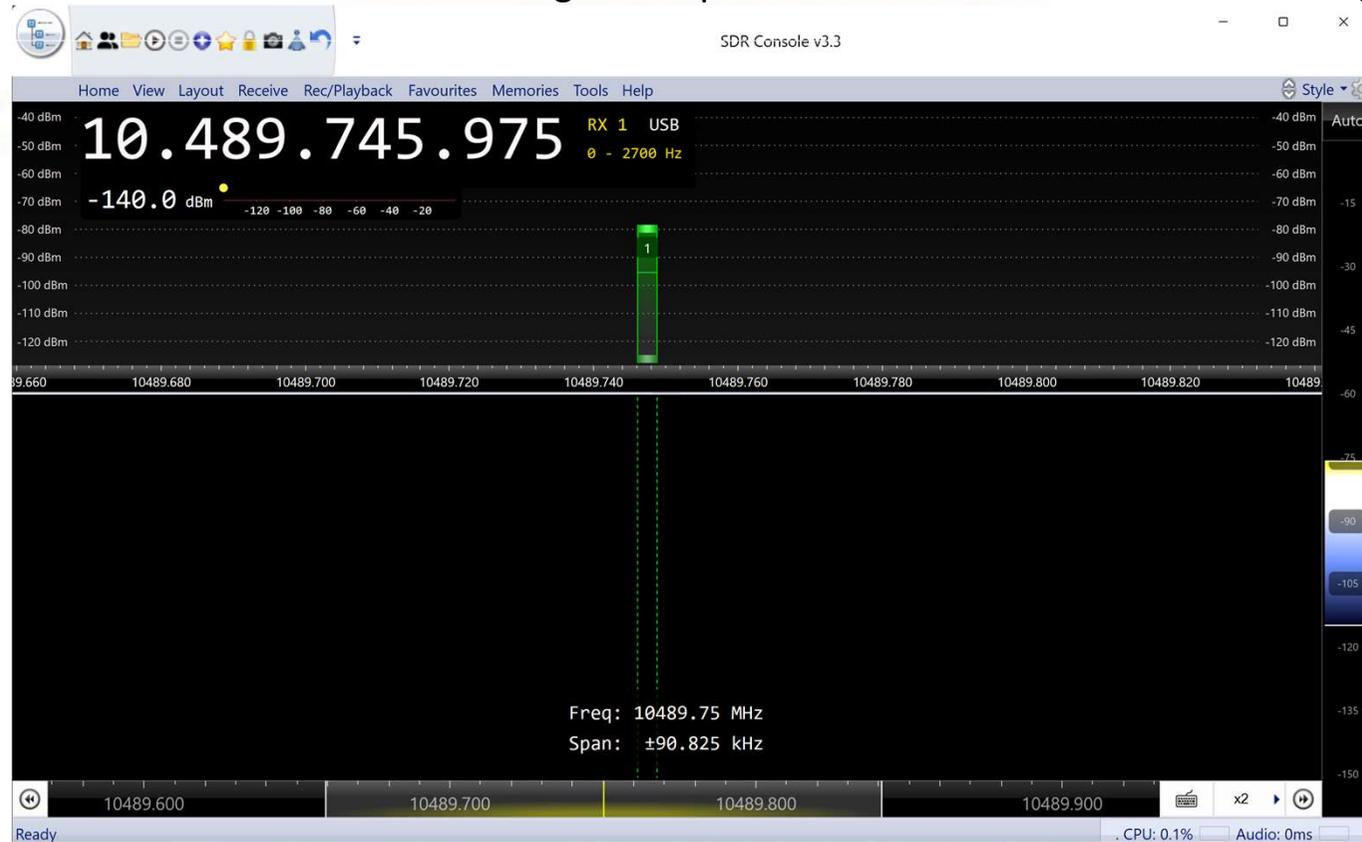
$$10.489.650.000 \text{ MHz} = \mathbf{9.750.000.000} + 739.650.000 = \mathbf{10.057.500.000} + 430.000.000$$

Eine Feinabstimmung in Form von RIT / XRIT ist innerhalb der Software SDR-Radio möglich.

Wer mitgerechnet hat: der TX Zweig ergibt rechnerisch 10.487.500.000 Hz 😊 An dieser Stelle wurde der Faktor 10.057.500.000 etwas angepasst, um Sende- und Empfangsfrequenz deckungsgleich zu halten. Dieses Vorgehen ändert aber nichts an der grundsätzlichen Berechnung der Offsets.

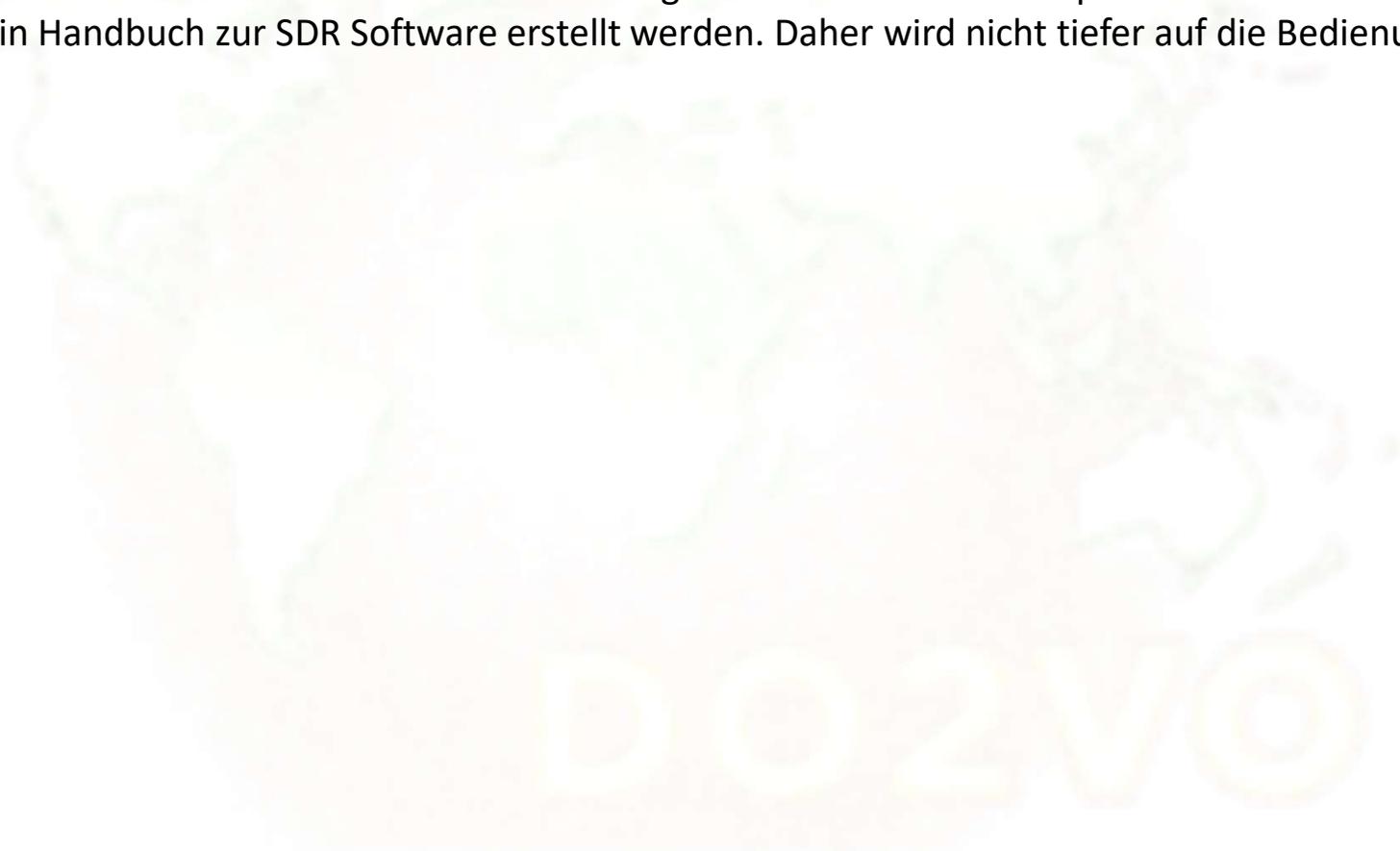
Auf der WEB-Seite <https://www.sdr-radio.com/> gibt es jede Menge Beispiele für die Konfiguration und Nutzung der SDR Software.

Nach der Konfiguration der Software und der Erstellung eines spezifischen Profils kann in den Betrieb gewechselt werden:



Das Hauptfenster teilt sich in den oberen Bereich, mit der Anzeige der aktuellen Leistungen über den Frequenz-Spann, und dem unteren Teil mit dem Wasserfalldiagramm auf.

Mit Hilfe der Maus kann einfach eine Frequenz angeklickt und der Inhalt einer Aussendung verfolgt werden. Spezifische Einstellungen werden in weiteren Overlay-Fenster getrennt nach Funktionen (Senden/Empfangen) vorgenommen. Die Software ist intuitiv und auf der WEB Seite gibt es ausreichende Beispiele für die Nutzung. An dieser Stelle soll kein Handbuch zur SDR Software erstellt werden. Daher wird nicht tiefer auf die Bedienung eingegangen.



Inbetriebnahme

Nachdem die Komponenten verdrahtet und mehrfach geprüft wurden, steht dem ersten Kontakt zum Satelliten nichts mehr im Weg.

Steps

- Die Antenne ausrichten (siehe vorige Seiten)
- Empfänger starten und die SSB Bake suchen
- Spiegel so ausrichten, dass die Bake mit maximaler Empfangsstärke angezeigt wird.
- Eine Aussendung suchen und den Empfänger darauf einpegeln. Als Hilfsmittel hat sich hier ein WEB-SDR erwiesen, der sowohl die Frequenz als auch die Empfangsleistung anzeigt. <https://eshail.batc.org.uk/nb/>
- Evtl. Abweichungen der Empfangs-Frequenz mit RIT nachregeln
- Freien SSB Bereich zum Senden suchen
- Test Aussendung starten und gleichzeitig im Monitor den Empfang überprüfen. Auch hier hilft der WEB-SDR. Weiterhin gibt es einen Leistungswächter (Leistungs-Limit Anzeige -> LEILA) der mit einem Warnton anschlägt, wenn die Sendeleistung zu stark ist. Schlägt LEILA an, ist sofort die Aussendung zu stoppen und die Sendeleistung zu reduzieren. (Hörbeispiel für LEILA: <http://www.dd1us.de/sounds/ao40%20test%20of%20leila%20in%20ssb.mp3>)
- QSOs „fahren“

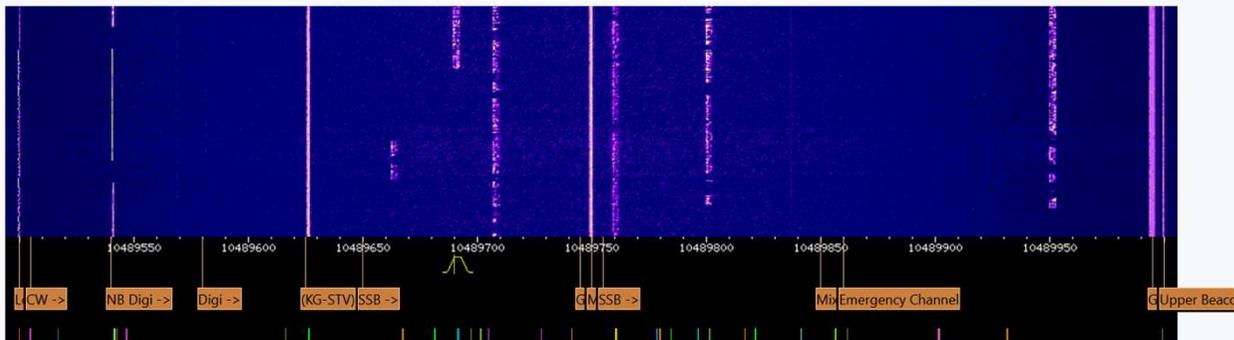
Qatar-OSCAR 100 Narrowband WebSDR

This WebSDR, hosted at Goonhilly Earth Station in Cornwall, enables you to listen to the Qatar-OSCAR 100 Narrow band transponder onboard the Es'hail-2 satellite.

You can read more about this WebSDR & Spectrum Viewer station at [wiki.batc.org.uk/Es'hail-2 Ground Station](http://wiki.batc.org.uk/Es'hail-2_Ground_Station)

- For more information about Qatar-OSCAR 100 see amsat-dl.org/en/eshail-2-amsat-phase-4-a
- The QO-100 wideband spectrum monitor can be found here eshail.batc.org.uk/wb/
- Dish Pointing Calculator & Map: eshail.batc.org.uk/point/
- **QO-100 Narrowband Bandplan & Operating Guidelines**
- GPS Frequency Reference Status: PLL: **Locked**, GPS: **Locked**

View: waterfall blind Allow keyboard: Waterfall: **HTML5** Sound: **HTML5** [Click to start sound!](#) Narrowband listeners: 84



10489690.00 kHz labels

Filter: 2.70 kHz - +

squelch autot notch

Audio recording start

Volume: mute

Signal strength plot: none

Waterfall zoom: - + << >>

Speed: slow

Size: large

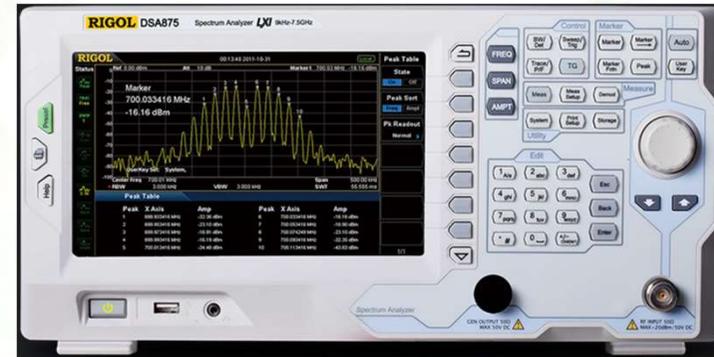
View: waterfall

Quelle: <https://eshail.batc.org.uk/nb/> 9.9.2024 12:12MEZ

Folgende Hilfsmittel wurden verwendet, um die Anlage aufzubauen und abzugleichen:
(teilweise freundliche Leihstellungen bzw. Laborequipment an der Hochschule)

Rigol DSA815-TG Spectrumanalyzer

Kontrolle der Modulation, Nebenaussendungen und ausmessen diverser Filter bei 430 MHz und 739 MHz



Quelle: <https://eu.rigol.com/eu/products/products/spectrum-analyzers>

Siglent SDS1202X-E digital Oscilloscope

Modulation, Einschaltverhalten, Qualität der Stromversorgung, Zeitenkontrolle



Quelle: <https://www.siglenteu.com/digital-oscilloscopes/sds1000x-e-series-super-phosphor-oscilloscopes/>

Rigol DG1022Z arbitrary waveform generator

Sendersatz und exakte dBm Signalquelle



Quelle: https://eu.rigol.com/eu/products/DG_detail/DG1000Z

Rigol DP832 Labornetzteil mit 3 Kanälen

Basis-Energieversorgung und Ermittlung des Energiebedarfs



Quelle: <https://www.batronix.com/versand/labornetzeile/DP832.html>

SV4401A NVA

Abstimmung der Antennen, des Zirkulators, Messen der Filter und von Signalwegen



Quelle: <https://www.amazon.de/50KHz-4-4GHz-Vektor-Netz-Ansalyator-100DB-dynamische-Wellenverh%C3%A4ltnis-Verz%C3%B6gerung/dp/B0CQ51SJQ5>

PeakTech P2705 Milliohmmeter

Messung von Übergangswiderständen an Steckern und allg. Spannungs- und Widerstand-Messungen



Quelle: <https://www.peaktech.de/PeakTech-P-2705-Digital-Milliohmmeter-4.000-Counts-400-mO-4-40-O/P-2705>

Level Box (digitale Wasserwaage und Gradmesser)

Extrem hilfreich beim Ausrichten der Antenne. Die Anzeige ist auf 2 Nachkommastellen genau.



Quelle: eigen

Prusa MK4S 3D-Drucker

Erstellen von Halterungen, Gehäuseteilen, Befestigungen, Poty-Wetterschutz, Komponenten einer HELIX Antenne und diversen Hilfsmitteln zur mechanischen Montage.

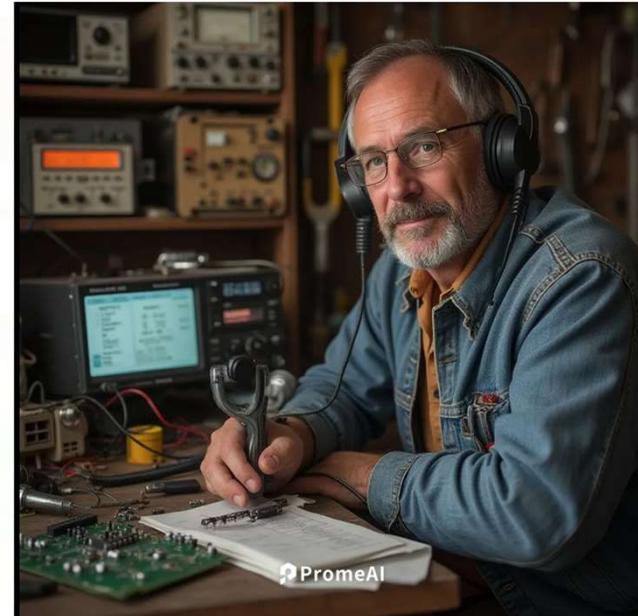
Dazu mechanische Werkzeuge wie Portalfräse, Bohrmaschinen, Sägen, Lötkolben, Kaffeemaschine usw..



Quelle: <https://www.prusa3d.com/de/produkt/original-prusa-mk4s-3d-drucker-5>

Das Internet 😊

Jede Menge fachliche Diskussionen mit Arbeitskollegen, anderen Amateurfunkern (DC70G) und diversen Artikeln in Zeitschriften, Foren (besonders das AMSAT-DL Forum) und jeder Menge WEB-Seiten.



Quelle: <https://www.promeai.pro/>

Ein KI generiertes Bild

Der Prompt dazu war:

amateurfunker mit messgeräten und elektronikplatine auf der werkbank, im hintergrund elektronische und mechanische werkzeuge

Details

Da eine Vorstellung aller Details an dieser Stelle den Rahmen sprengen würde, bin ich gerne bereit, Details und weitere Fragen zum Aufbau, der Konfiguration der Komponenten und der verwendeten Software individuell zu erläutern.

Mein Kontakt:

info@do2vo.de

Fazit und Ausblick

Der Betrieb über einen Satelliten stellt hohe Anforderungen an Ausrüstung, Messmittel und an das Technikverständnis. Bedingt durch die Abstimmung der einzelnen Anforderungen an die Hard- und Software ist der Aufbau und die Inbetriebnahme zeitaufwendig und komplex. Durch die Nutzung einzelner Komponenten für spezifische Funktionen besteht die Möglichkeit, an jeder Stelle der Anlage Eingriffe, Änderungen und Optimierungen vornehmen zu können. Dadurch ergibt sich ein weites Feld für Experimente und genau das ist ja unser gemeinsames Hobby. Bestehendes Equipment kann nahtlos integriert werden und die Kosten für neu zu beschaffende Ausrüstungsteile halten sich in Grenzen, da meist Komponenten aus dem Massenmarkt der Unterhaltungselektronik genutzt und spezifisch angepasst werden können. China stellt weiterhin eine günstige Quelle für Bauteile dar, die ansonsten in Europa nur schwer zu beschaffen sind.

Die Möglichkeit, mehr als 40% der Landmasse der Erde erreichen zu können, ohne das Antennen neu ausgerichtet werden müssen, stellt eine komfortable Kontaktmöglichkeit zu anderen Kulturen dar. Die Größe der verwendeten Geräte macht einen mobilen Einsatz möglich und solange freie Sicht nach Süden besteht, ist auch ein Balkon ein geeigneter Standort um ohne große Antennenanlagen QSOs führen zu können.

Leider ist aktuell der QO100 der einzige, geostationäre Satellit, der für uns Amateurfunker nutzbar ist. Zum heutigen Tag (Jan. 2025) wird jedoch in der AMSAT-DL Gruppe der Aufbau eines weiteren geostationären Satelliten geplant. Da die AMSAT-DL Gruppe der technische Betreiber des QO100 ist, können wir hoffen, dass die Wünsche der europäischen Amateurfunker Beachtung finden.

In diesem Sinne

Vy 73 Volker DO2VO

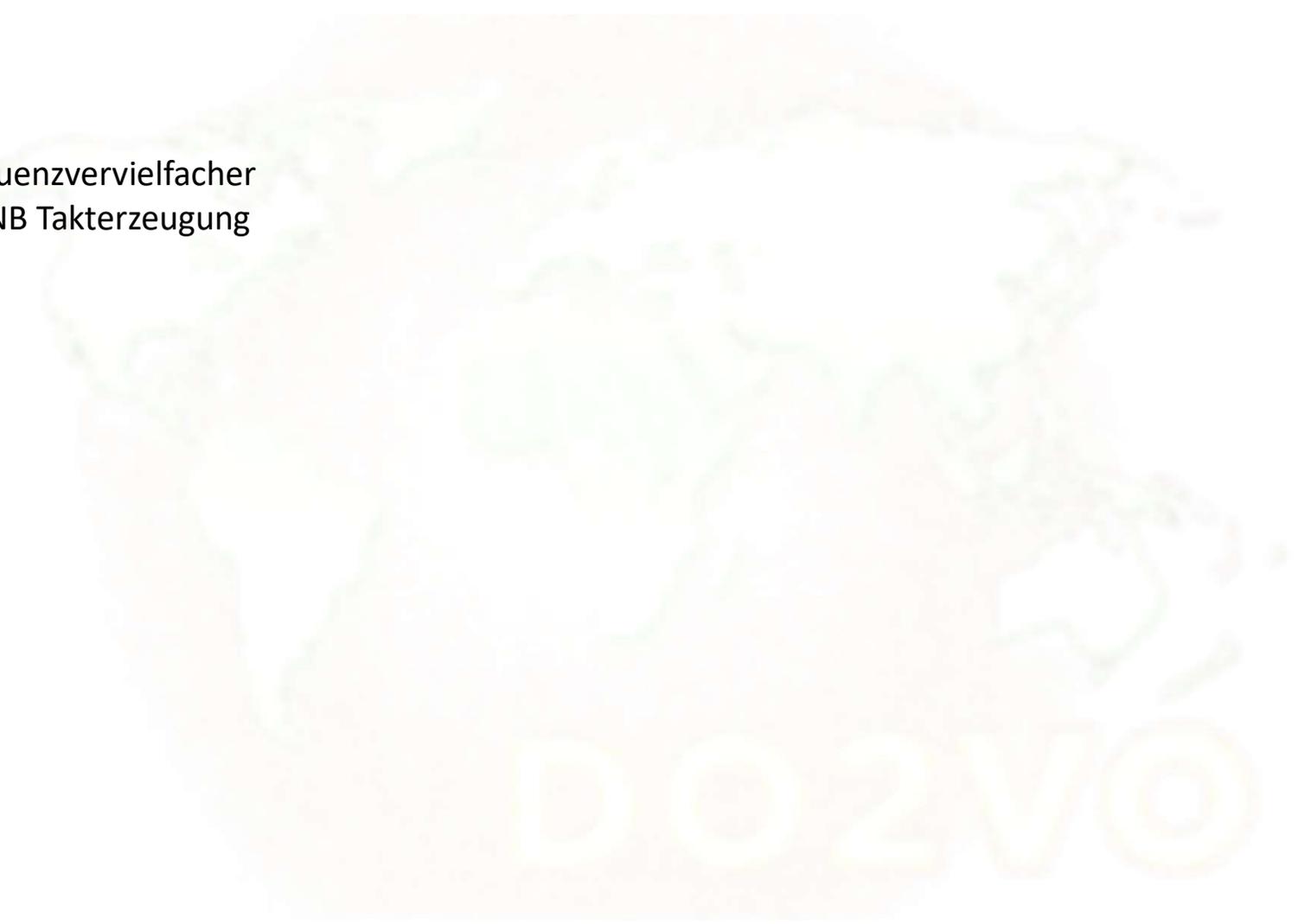
Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit und Euer Interesse. Ich freue mich, dass Ihr euch die Zeit genommen habt, meiner Präsentation zu folgen!
Fragen?



Hinweis: Verweise auf Quellen befinden sich im Text bzw. unter den Abbildungen.

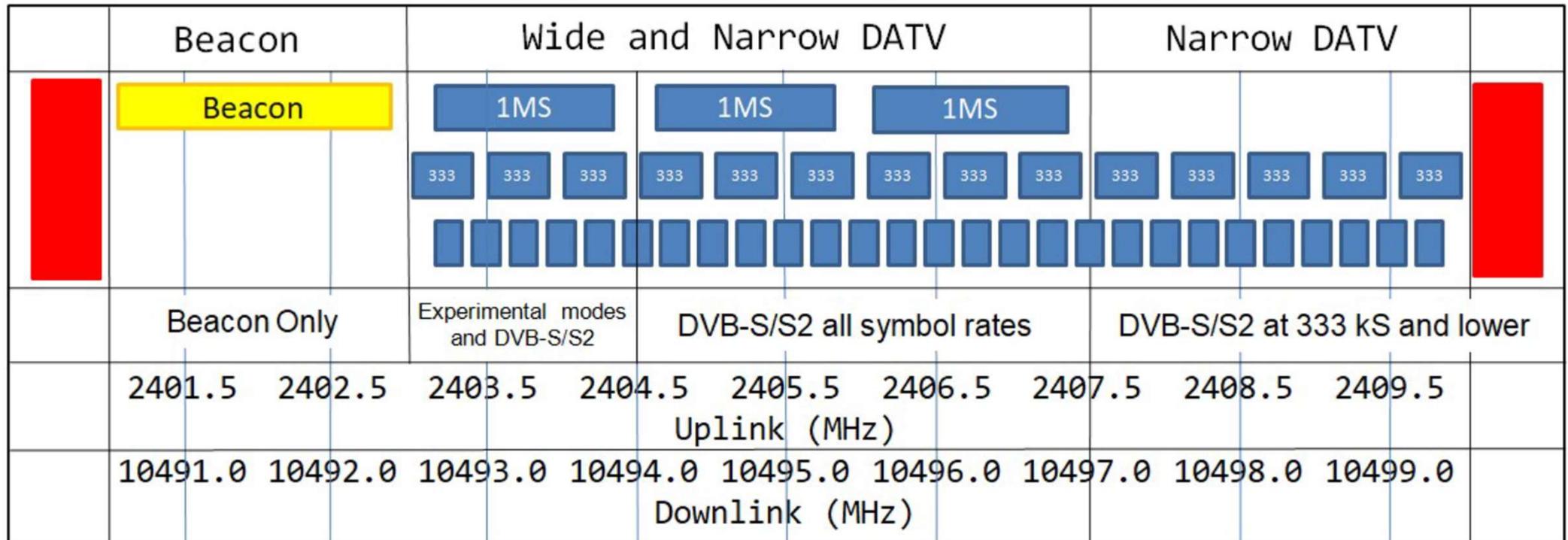
Anhang

- Bandplan WD
- Alternativer Frequenzvervielfacher
- GPSDO PLL zur LNB Takterzeugung



WB Bandplan

Der Wideband Transponder (Umschaltung via 18V LNB) wird für Video-Übertragungen genutzt. Selbstverständlich kann unter Beachtung der AMSAT Regeln auch der Up-Link genutzt werden.



Quelle: <https://amsat-dl.org/wp-content/uploads/2021/02/QO-100-WB-Bandplan-V3.pdf>

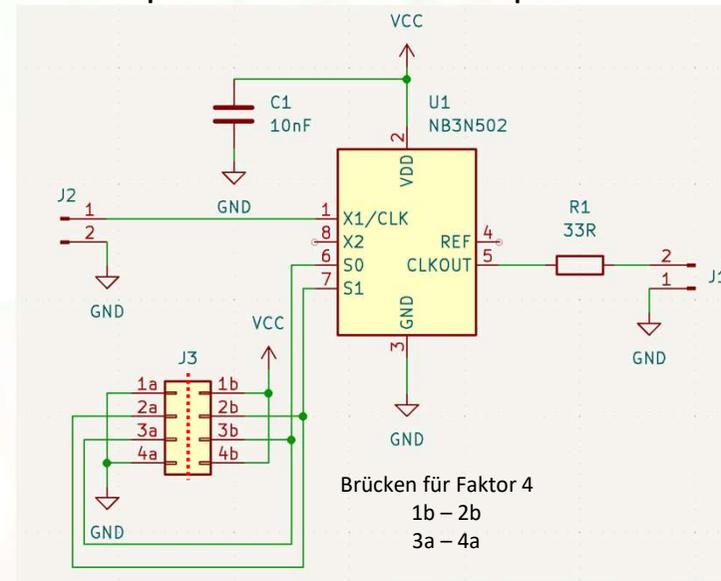
WB Bandplan

Mode	Symbol Rate	Uplink Freq MHz	Downlink Freq MHz	Notes
Beacon	1500 kS	2402.0	10491.5	Beacon DVB-S2 FEC 4/5
Wide	1 MS	2403.75	10493.25	Experimental transmissions & DVB-S/S2 1.5 MS transmissions should use this part of the band
Wide	1 MS	2405.25	10494.75	
Wide	1 MS	2406.75	10496.25	
Narrow	333 kS	2403.25	10492.75	Use these 14 frequencies for 333 kS and 250 kS. The lower 9 frequencies may be used for 500 kS. Use frequencies above 10497.0 first for 333 kS and below.
Then every 500 kHz until				
Narrow	333 kS	2409.75	10499.25	
Very Narrow	125 kS	2403.25	10492.75	Use these 27 frequencies for 125 kS, 66 kS and 33 kS
Then every 250 kHz until				
Very Narrow	125 kS	2409.75	10499.25	Use frequencies above 10497.0 first

Quelle: <https://amsat-dl.org/wp-content/uploads/2021/02/QO-100-WB-Bandplan-V3.pdf>

Alternativer Frequenzvervielfacher mit dem NB3N502

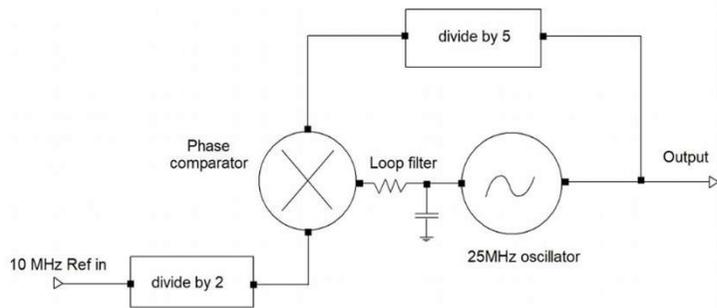
Um den Pluto mit einem externen Takt zu versorgen, der aus der 10 MHz Referenz des GPSDO abgeleitet wird, bietet sich der Einsatz eines fertigen Chips vom Typ NB3N502 an. Dieser beinhaltet einen Frequenzmultiplikator mit den Faktoren: 2, 2.5, 3, 3.33, 4 und 5 an. Das Ausgangssignal hat einen max. Jitter von 15ps und liefert eine CMOS/TTL Signal. Der Baustein benötigt keine weitere Außenbeschaltung, außer einem keramischen Kondensator von 10nF zur Entkopplung der Versorgungsspannung. Nachteilig ist die Bauform SOIC-8 NB. Entweder entwirft man eine passende Platinen mit den Komponenten zum Ein- und Auskoppeln der Signale, oder lötet den Chip auf einen DIL-8 Adapter auf. Der Baustein selber kann für ca. 10€ bei Aliexpress als 5er Pack geordert werden.



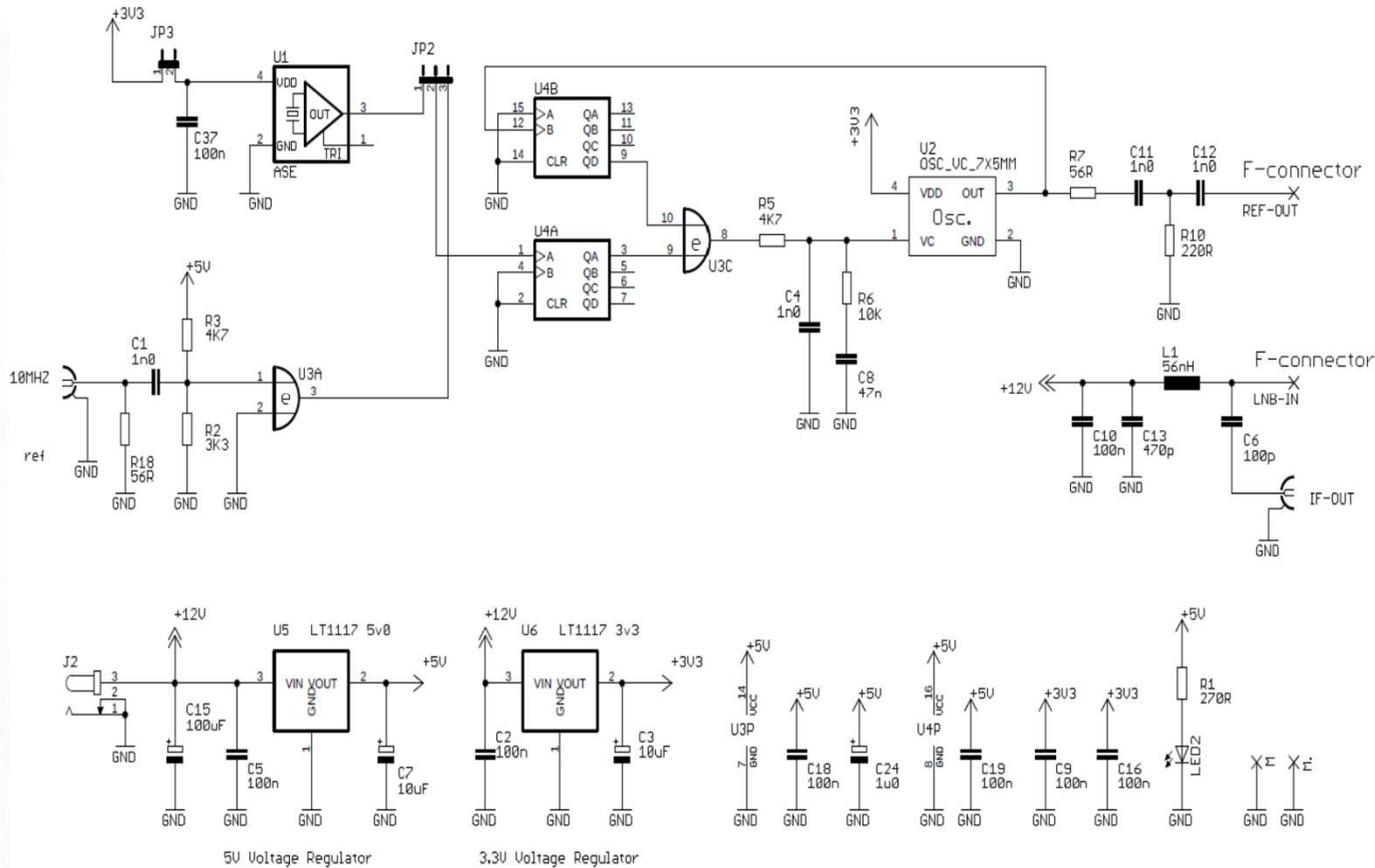
Quelle: DO2VO eigen nach Applikationsvorschlag des Chip-Herstellers

GPSDO PLL zur LNB Takterzeugung

Die untere Abbildung zeigt das Schema der PLL zur Takterzeugung für den LNB. Rechts die Realisierung in Hardware. Das Beispiel entstammt der Doku von DX-Patrol.



PLL 25 Design by CT1FFU

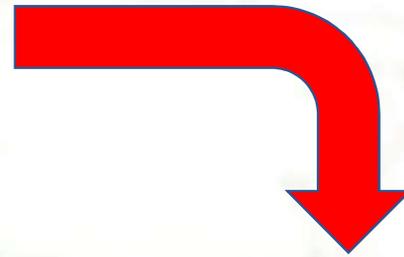


Quelle: https://dxpatrol.pt/wp-content/uploads/2022/06/PLL25-LNB_-net.pdf

So, an dieser Stelle ist jetzt wirklich Schluss (mit dem Vortrag) und weiter geht's auf dem QO100 NB Transponder!!



Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FuBK_testcard_vectorized.svg



Quelle: WAZ Lokalteil Gladbeck, 7.9.2024