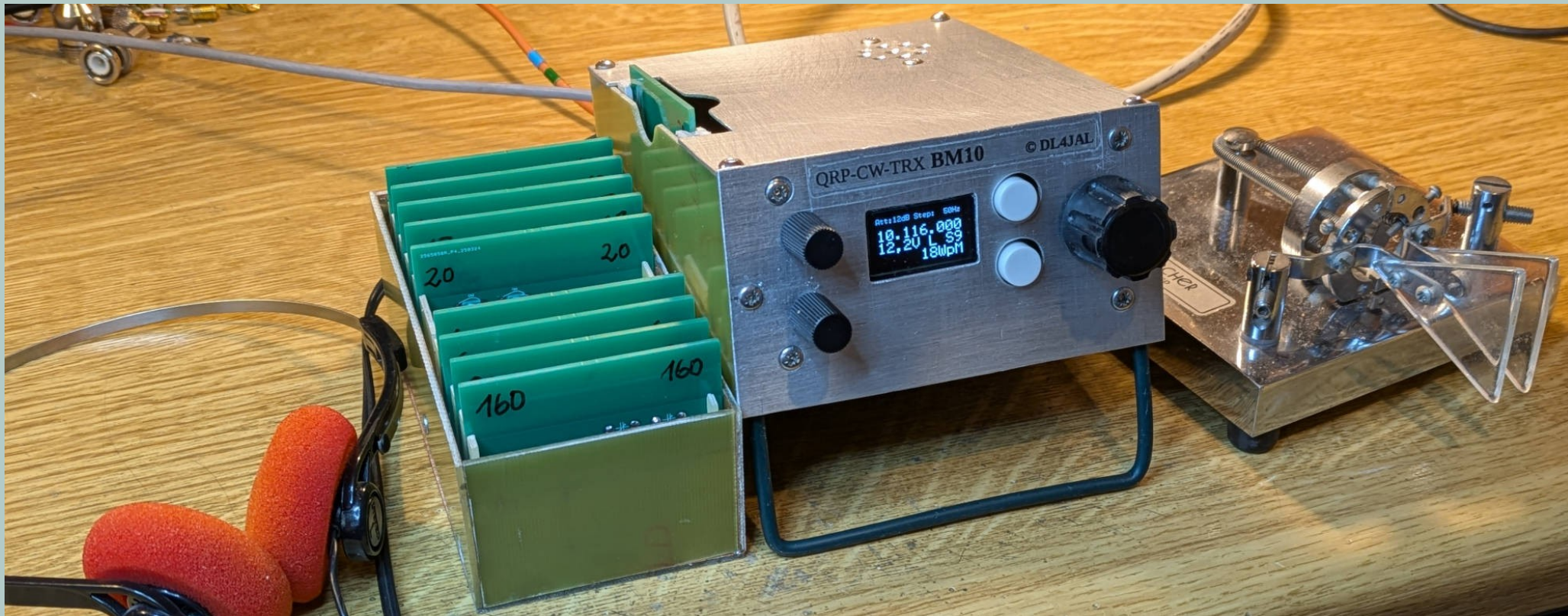


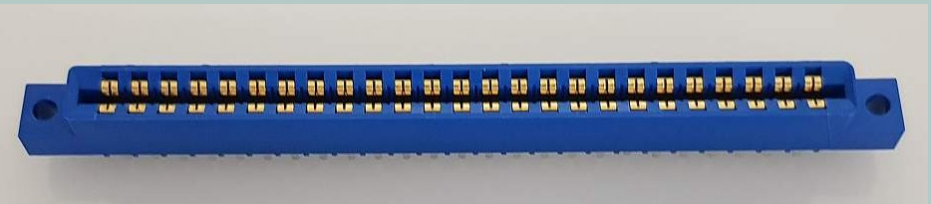
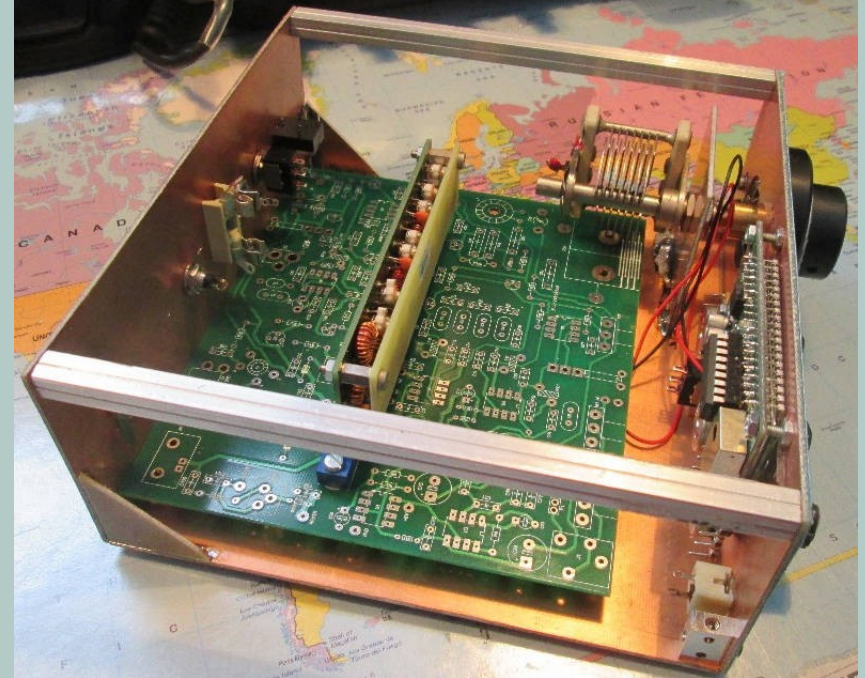
QRP CW TRX BM10

ein QRP-CW-Transceiver mit Band-Steckmodulen 160m bis 10m



Mein Vorbild

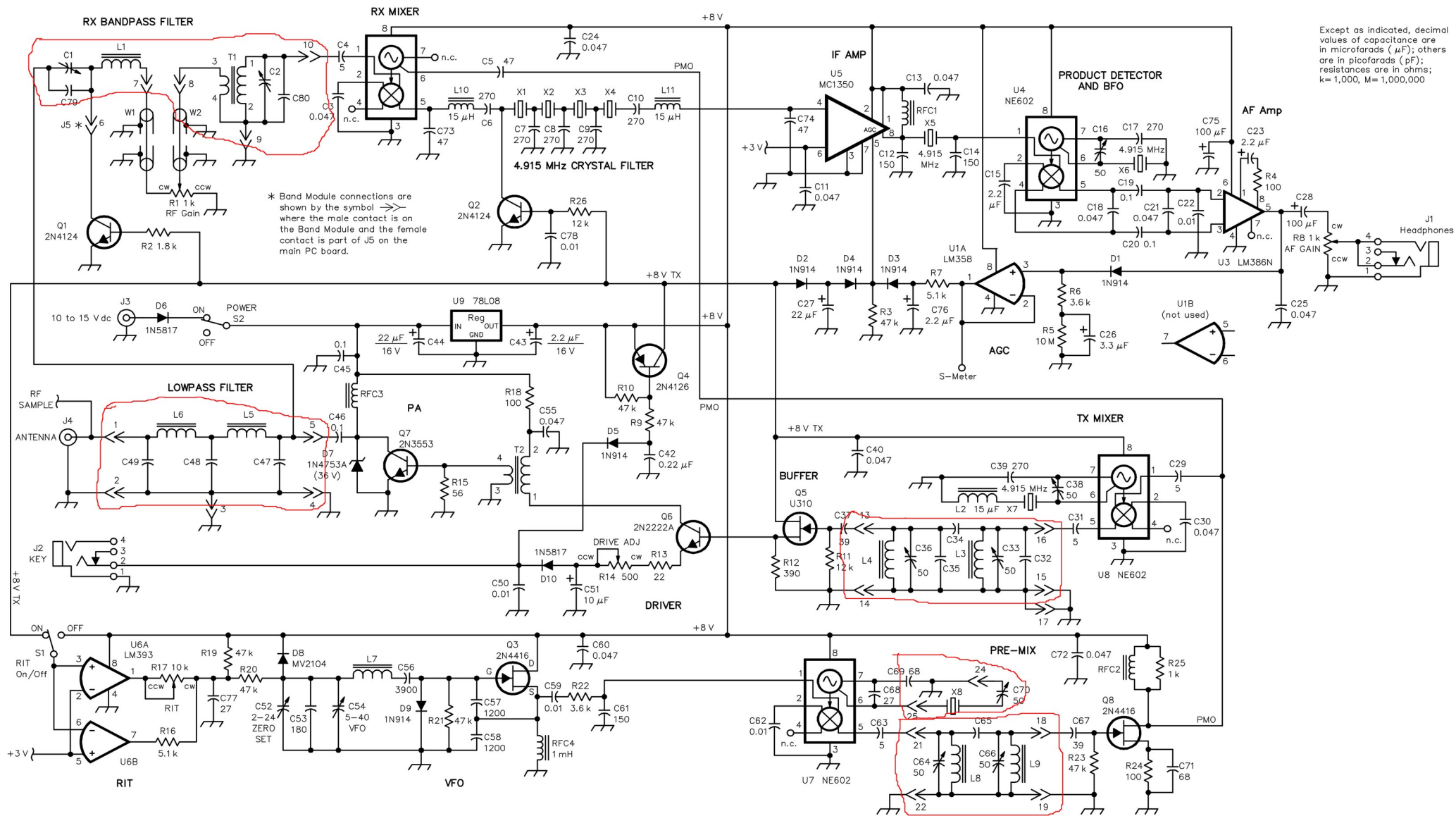
NorCal Wilderness **SIERRA**



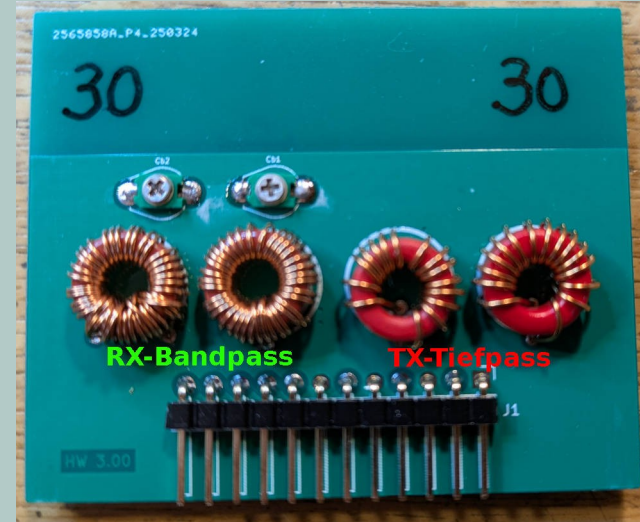
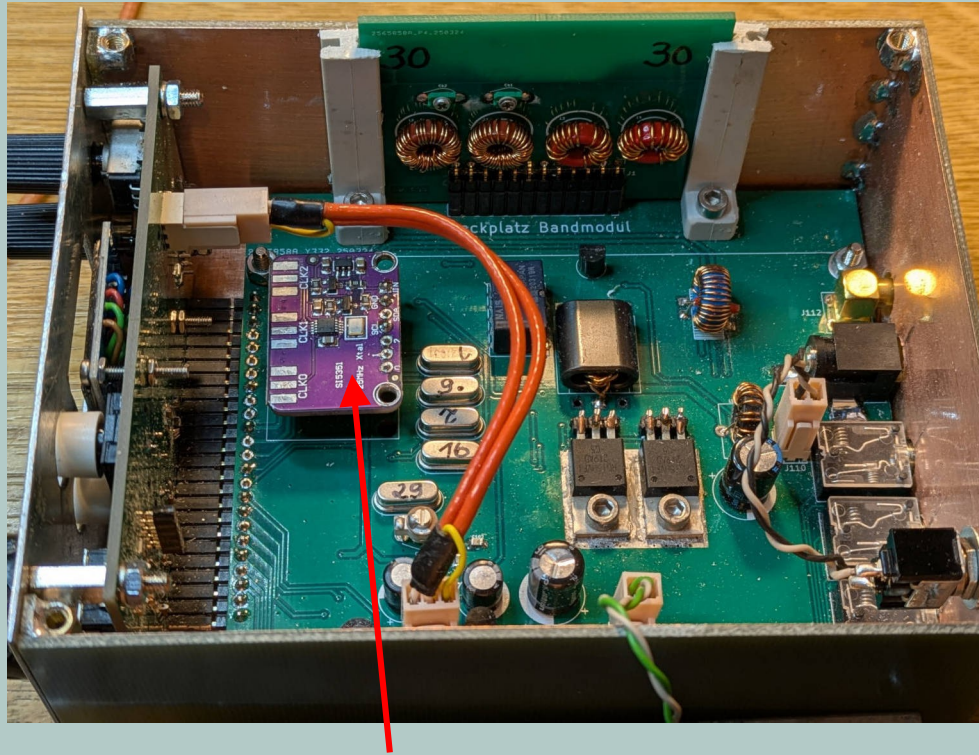


- Frequenzaufbereitung** erfolgt durch
- **PRE-Mixer mit Quarz** für den Empfänger
 - Der gleiche **PRE-Mixer mit Quarz + TX-Mixer** für den Sender

Das Quarz und die Bandfilter für beide Mixer sind in den Band-Steckmodulen enthalten.
Dadurch sind die Band-Steckmodule etwas größer und viel aufwendiger.



CW TRX BM10



Im **BM10** vereinfacht sich das Bandmodul.
Es ist nur ein **RX-Bandpass** und ein
TX-Tiefpass notwendig.

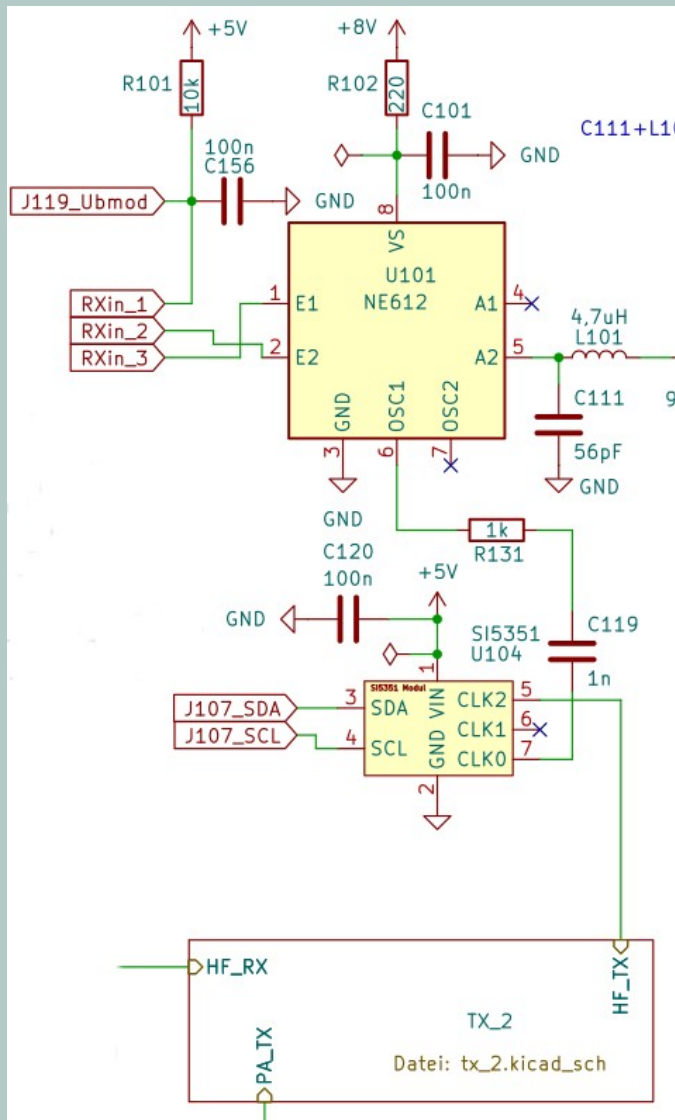
Die Frequenzen für den Empfangs-Mixer und den Sender erzeugt ein kleines Steckmodul mit einem IC **SI5351** von „**Silicon Labs**“. Die Frequenzstabilität wird mit einem Taktquarz 25/27MHz garantiert.

Steckmodul mit SI5351

Das fertige Steckmodul ist ideal für Eigenbauprojekte. Die Ausgangssignale haben keine Sinusform sondern sind Rechteckschwingungen. Das ist ein kleiner Nachteil durch die vielen Oberwellen.

Das Ausgangssignal ist aber sehr rauscharm!





Eine enorme Vereinfachung der Frequenzaufbereitung durch den Einsatz des **SI5351-Modules**.

Die VFO-Frequenz errechnet sich einfach

VFO = Empfangsfrequenz + ZF-Frequenz

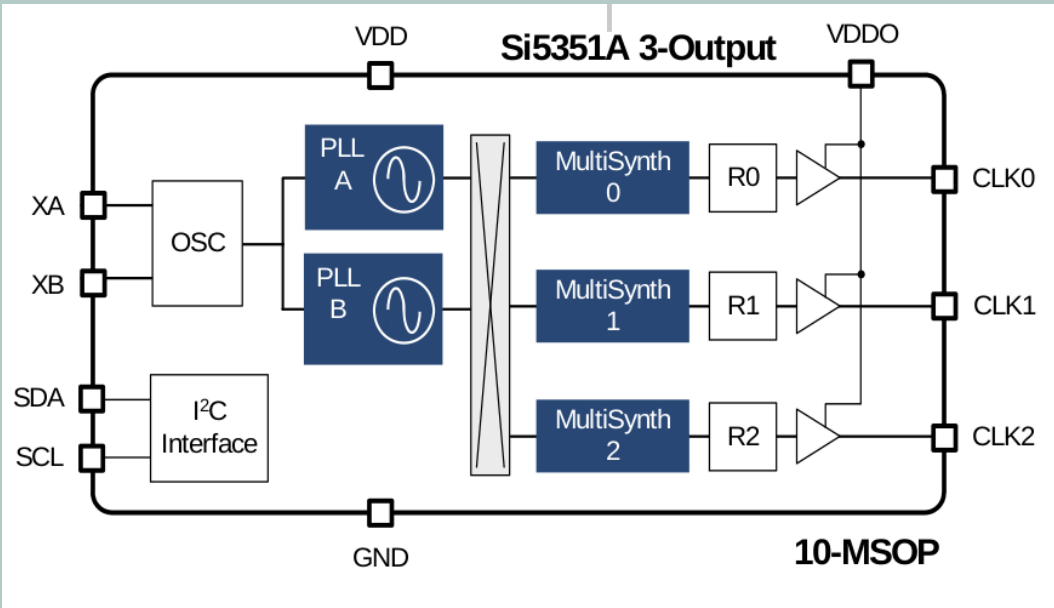
Die VFO Frequenz liegt also immer oberhalb der Empfangs-Frequenz. Der **Sender-Tiefpass** ist beim Empfang mit eingeschleift. Die Spiegelempfangsfrequenz wird dadurch schon gut unterdrückt.

Zusätzlich sorgen zwei **Empfänger-Bandpässe** für eine gute Vorselektion am Eingang des NE612 Mischer-ICs.

Beides, der **Sender-Tiefpass** und die **Empfänger-Bandpässe**, befindet sich auf dem Band-Steckmodul.

Die Frequenz für den Sender wird direkt erzeugt und muss nur noch entsprechend verstärkt werden.

TRX BM10, Übersicht des VFO-ICs SI5351



Der SI5351 hat **187 Register**. Die Beschreibung der Funktionen ist etwas dürftig um die Abläufe im SI5351 zu verstehen. Ich verwende für die Programmierung des SI5351 nur 12 Register.

Links an **XA** und **XB** wird der Quarz für die Takterzeugung angeschlossen (25MHz). Über die **I²C-Schnittstelle, SDA** und **SCL** bekommt der SI5351 seine Befehle (Programmierung der Register). **CLK0** ist die der Ausgang für den ersten Mixer NE612. **CLK2** ist der Frequenzausgang für den Sender. **CLK1** bleibt frei oder kann als BFO genutzt werden (SETUP-Option)

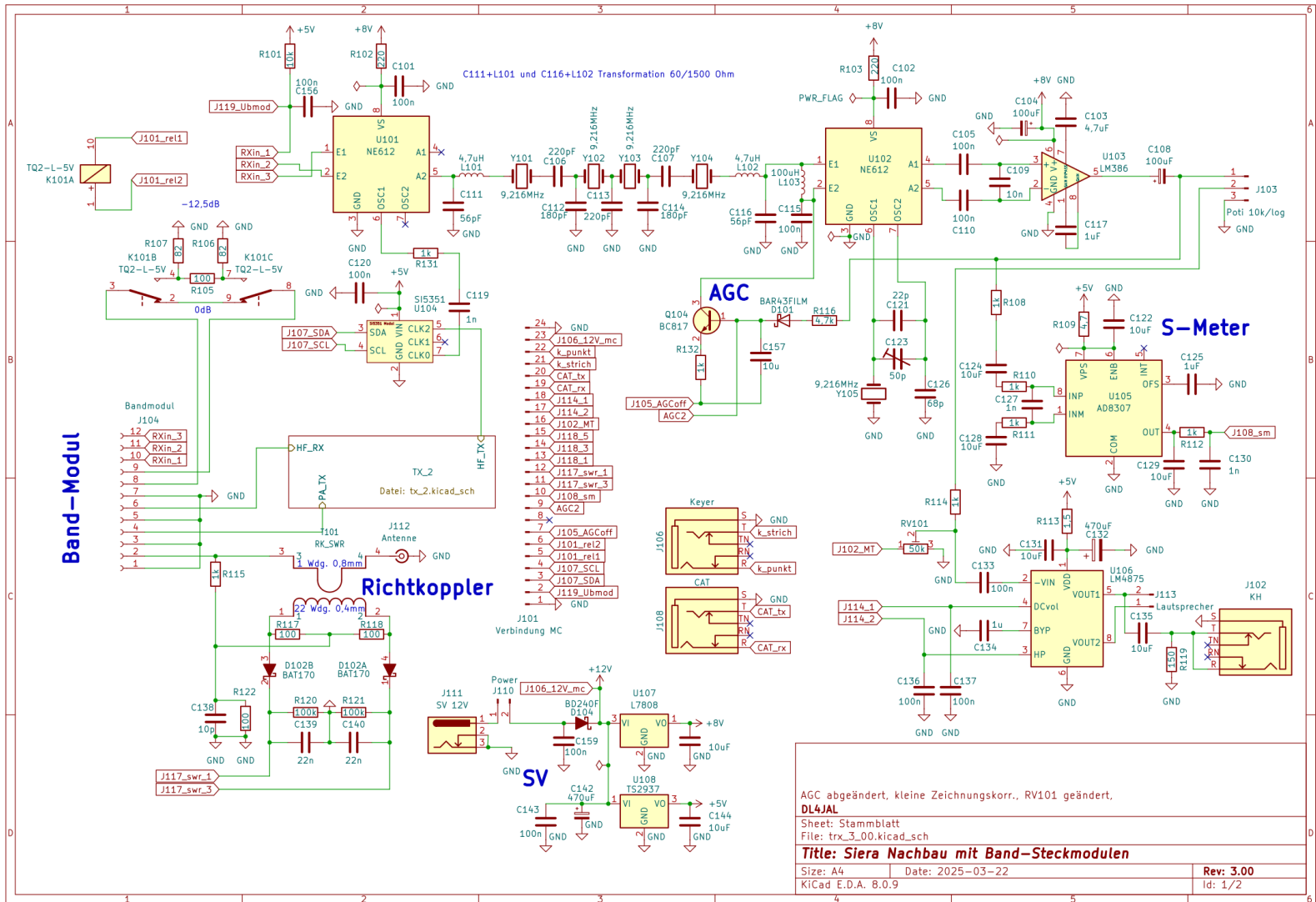
Ganz grob erläutert:

$$\underline{\text{Frq}_{\text{output}} = \text{PLL}_{\text{frq}} / \text{MultiSynth}_{\text{teiler}}}$$

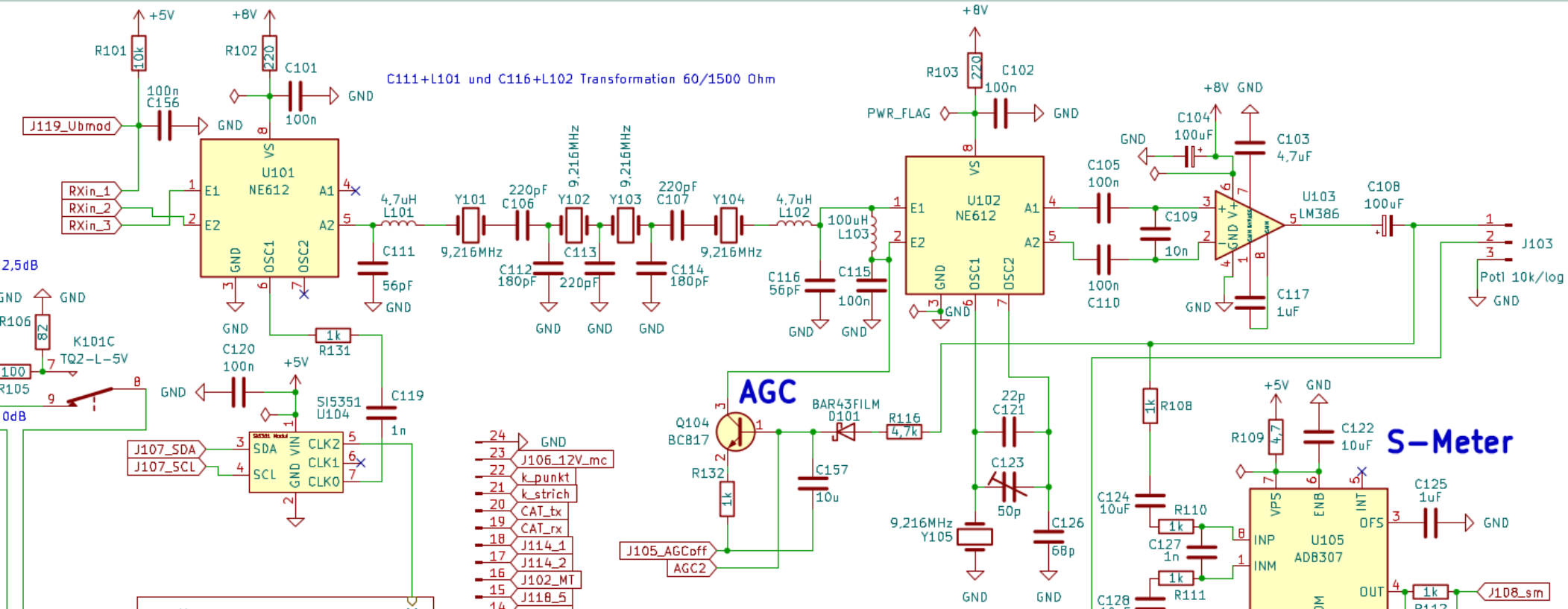
Wobei die PLL im Frequenzbereich 600MHz bis 800MHz arbeiten sollte.

Durch geschickte mathematische Kombination von PLL und MultiSynth kann Frq-Output von 8 kHz bis 30 MHz in 1 Hz Schritten programmiert werden.

Band – Modul



TRX BM10 Empfänger



ZF-Verstärker wollte ich keinen einsetzen. Der **MC1350** ist schon längere Zeit nicht mehr erhältlich. Also muss die interne Verstärkung der **Mixer-ICs NE612** ausreichen. Für eine **gute Empfänger-Empfindlichkeit** muß also die **Impedanz-Anpassung** an den **Mixer-ICs NE612** optimiert werden.

TRX BM10 Empfänger, Daten des Mixer-IC NE602

AC/DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = +6V$, $T_A = 25^{\circ}C$; unless otherwise stated.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS
			SA602A			
			MIN	TYP	MAX	
V _{CC}	Power supply voltage range		4.5		8.0	V
	DC current drain			2.4	2.8	mA
f _{IN}	Input signal frequency			500		MHz
f _{OSC}	Oscillator frequency			200		MHz
	Noise figure at 45MHz			5.0	5.5	dB
	Third-order intercept point	RF _{IN} = -45dBm: f ₁ = 45.0MHz f ₂ = 45.06MHz		-13	-15	dBm
	Conversion gain at 45MHz		14	17		dB
R _{IN}	RF input resistance		1.5			kΩ
C _{IN}	RF input capacitance			3	3.5	pF
	Mixer output resistance	(Pin 4 or 5)		1.5		kΩ

Die interne **Mixer-Verstärkung beträgt 17dB** und im KW-Bereich sogar noch etwas mehr. Die **Impedanz am Eingang Pin 1 und 2 ist symmetrisch und beträgt 1,5 kOhm**. Am **Ausgang, Pin 4 und 5, ist die Impedanz auch 1,5 kOhm**. Der Ausgang ist auch symmetrisch, wird aber im BM10 nicht ausgenutzt.

TRX BM10 Empfänger, Anpassung Pin 1 + Pin 2

R1

160m 0 Ohm

80m 1k

60m 2,2k

40m 3,9k

30m 5,6k

20m 8,2k

17m 12k

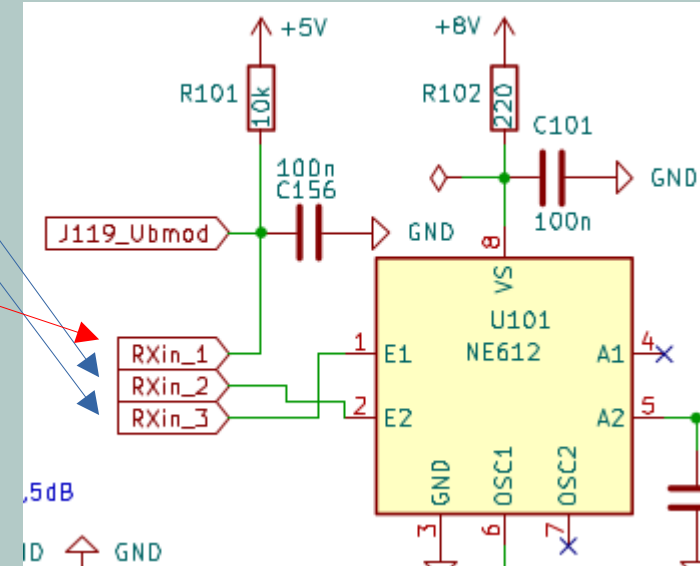
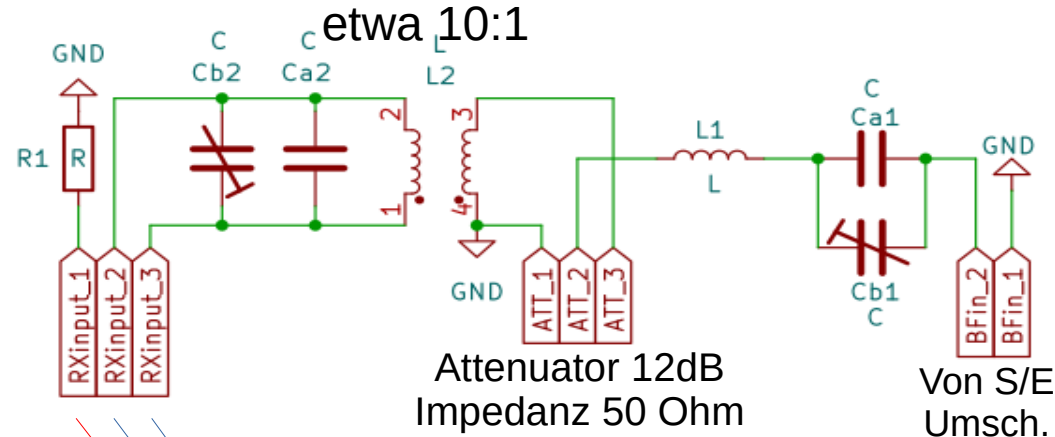
15m 18k

12m 27k

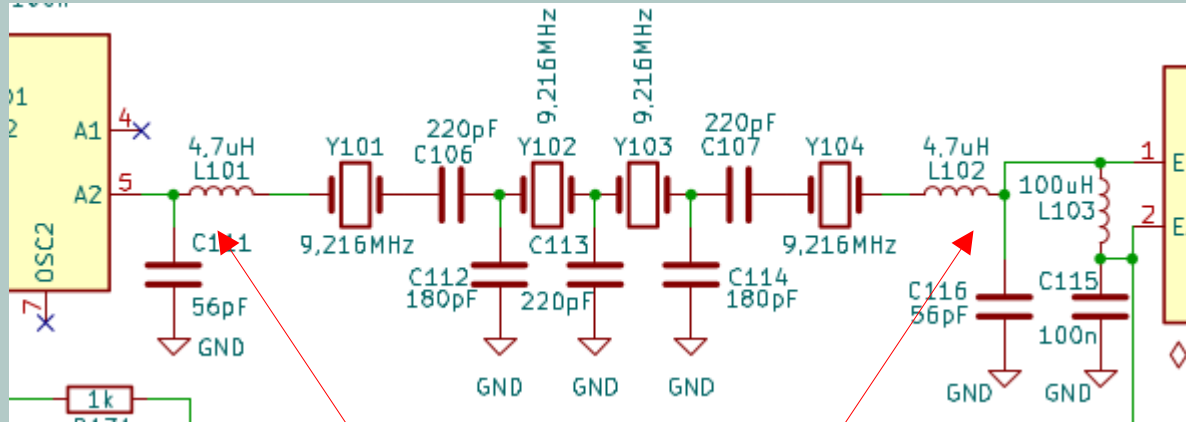
10m 47k

Das RX-Signal kommt vom S/E Umschalter (Z= 50 Ohm) über den zuschaltbaren ATT 12 dB zu L2 wird hoch transformiert für den Eingang an U101 (NE612).

R1 bildet mit **R101** einen Spannungsteiler (0 bis 5V). Mit der Größe von **R1** wird das Empfangs-Band ausgewählt. Es wird immer zuerst die **QRP-CW-Frequenz** eingestellt.

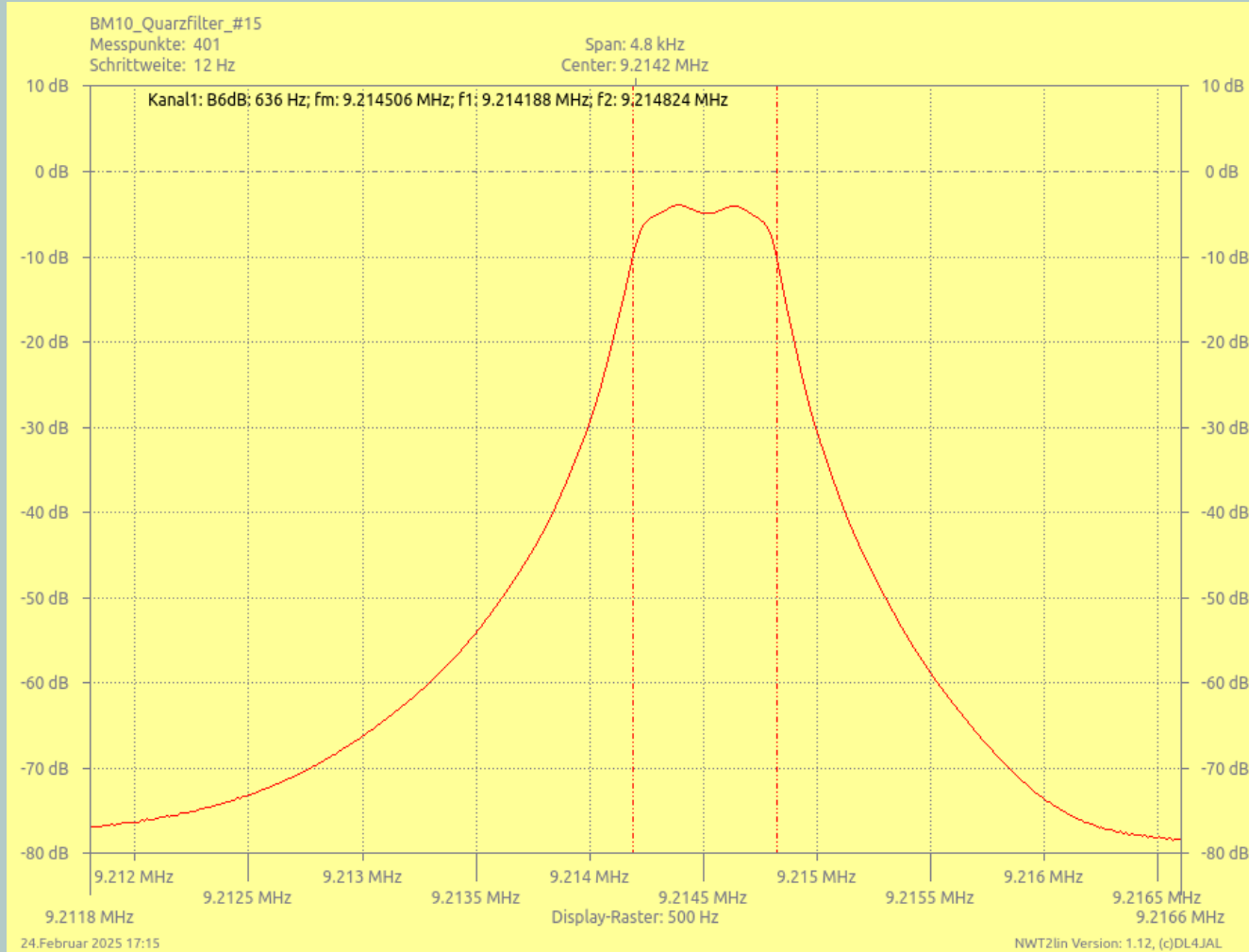


TRX BM10 Empfänger, das Quarz Abzweigfilter



Impedanz-Anpassung
1,5 kOhm/60 Ohm
Für die Frequenz 9,214 MHz

TRX BM10 Empfänger, das Quarz Abzweigfilter



Messung des Abzweigfilters mit dem NWT2.0.
Die Filterkurve sieht doch nicht schlecht aus.

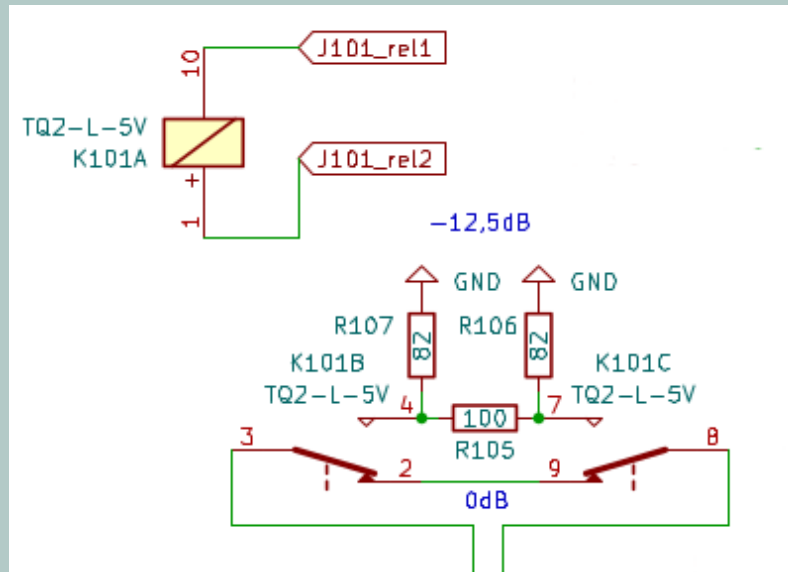
Ich habe zum Wobbeln das Filter ohne die beiden Impedanzwandler direkt angeschlossen, da das Filter laut **Dishal 3.0** auf beiden Seiten 60 Ohm Impedanz hat. Mit $Z=50\Omega$ an Eingang und Ausgang des NWT2.0 ergibt sich nur eine geringe Fehlanpassung.

TRX BM10 Empfänger MDS Signal/Rauschverhältnis 3 dB

Der Aufwand, den Empfangszug genauer zu betrachten hat sich gelohnt.

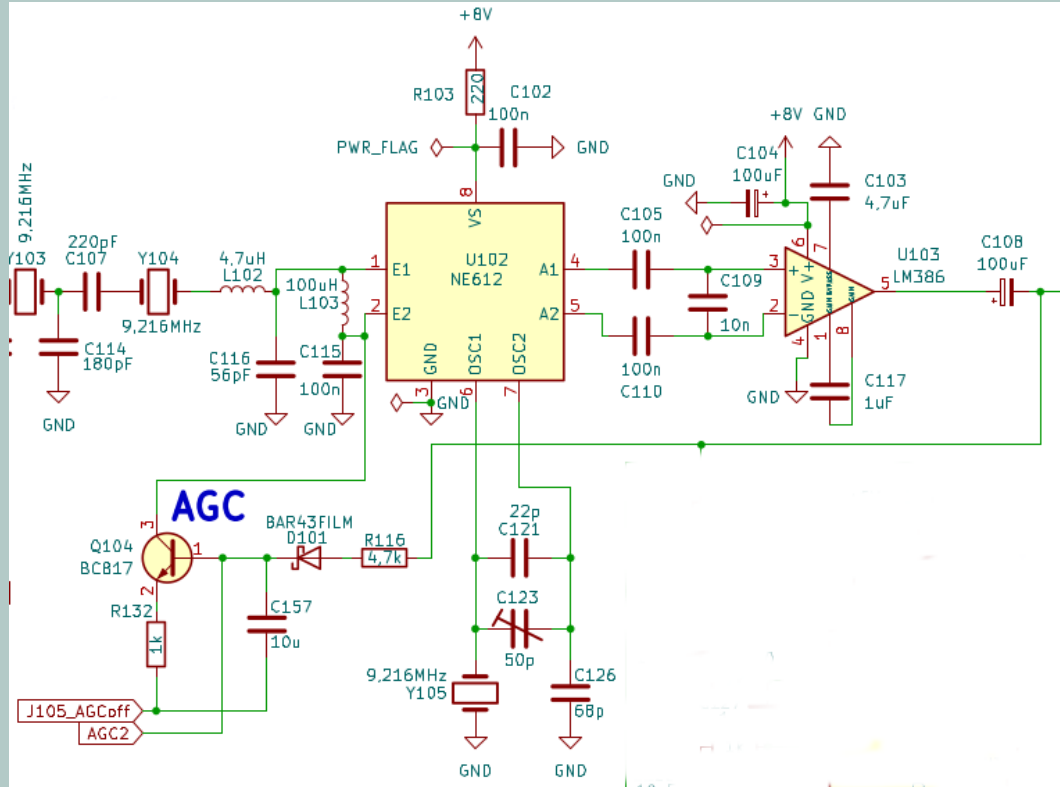
Auf fast allen Bändern habe ich **MDS kleiner -130 dBm** gemessen. Im 10m-Band ist es etwas weniger, etwa **MDS -125 dBm**.

BM10 Empfänger, das Intermodulationsverhalten



Das Intermodulationsverhalten der NE602 ist nicht besonders gut. Ich habe deshalb zwischen den beiden RX-Bandpässen ein schaltbares Dämpfungsglied vorgesehen. Als Relais habe ich ein bistabiles Relais verwendet. Der Stromverbrauch des RX soll ja möglichst klein bleiben. **Das Relais wird direkt vom PIC18F46K22 angesteuert.**

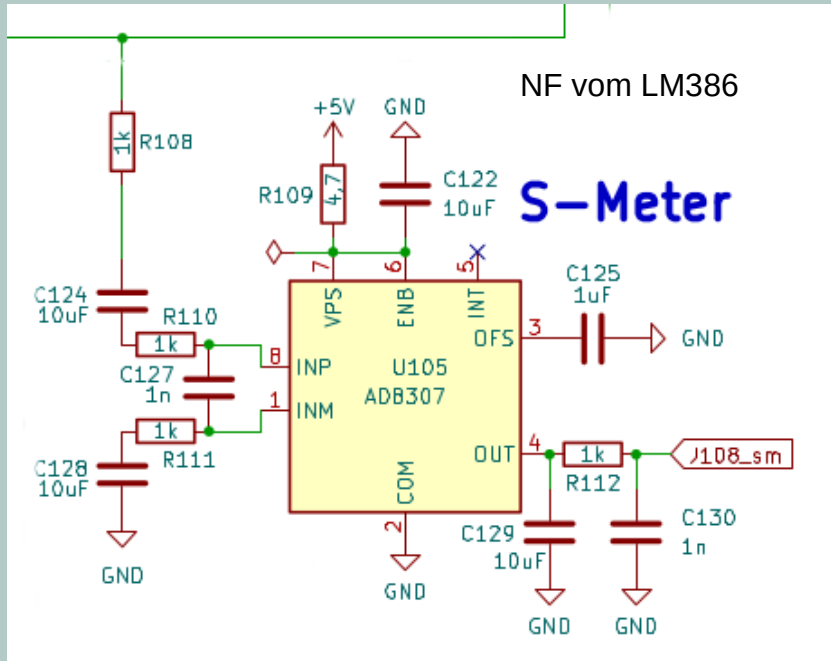
TRX BM10 Empfänger, eine AGC am NE602



Findige Bastler haben herausgefunden, dass ein Absenken der Gleichspannung an U102, Pin1,2 die interne Verstärkung reduziert. Am Produktdetektor U102 (NE602) wird an Pin 4 und Pin 5 symmetrisch die NF ausgekoppelt und mit U103 (LM386) verstärkt. Über C108, R115 wird die NF zur AGC geführt. Ab etwa -83 dBm wird im U102 die Verstärkung reduziert. Ist C157, 10uF genügend aufgeladen steuert der Q104, BC817 durch und zieht beide Pins 1,2 in Richtung 0 Volt. Durch L103, 100uH haben beide Pins 1,2 das gleiche Gleichspannungspotenzial. Die interne Verstärkung von U102, NE602 sinkt.

Die AGC kann ON/OFF geschaltet werden.

TRX BM10 Empfänger, das S-Meter



Das S-Meter darf im **TRX-BM10** nicht fehlen. Ich habe wieder den AD8307 eingesetzt. Der AD8307 ist so beschaltet das er Sinusfrequenzen bis in den NF-Bereich logarithmisch erfassen kann. Der lineare Anstieg der Messspannung an Pin 4 entspricht dem logarithmischen Anstieg des NF-Pegels. Ein A/D-Wandler im PIC18F46K22 erfasst die Messspannung und der PIC18F46K22 rechnet den A/D-Wandler-Wert in dBm um. Der Pegel in dBm wiederum wird umgerechnet in die S-Stufen. **Jede S-Stufe ist eine Pegeländerung um 6 dB.**
S9 entspricht -73dBm

Durch die Wirkung der AGC wird leider die S-Meter Anzeige ab **-85dBm (S7)** nicht mehr korrekt angezeigt. Ich habe mir Gedanken darüber gemacht und ab HW 3.00 noch ein zusätzlichen A/DWandler und Messpunkt eingerichtet.

Ich messe jetzt noch zusätzlich **an der AGC die Spannung an C157, 10uF**. Jetzt werden auch wieder die höheren S-Meter-Werte wieder zur Anzeige gebracht.

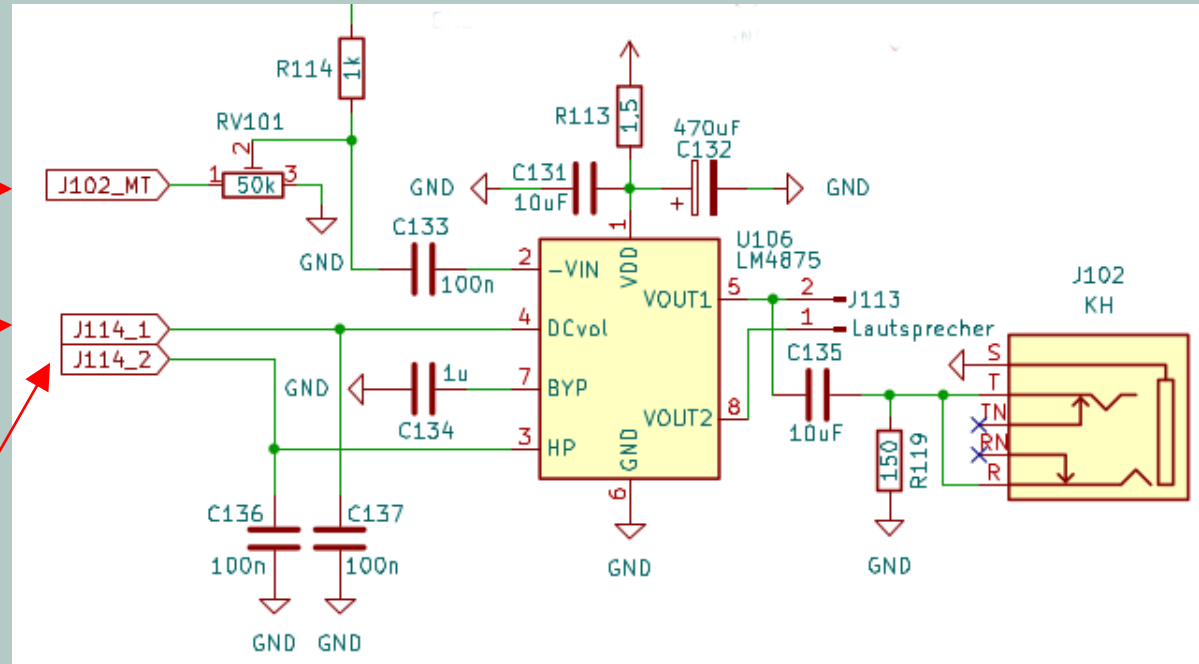
TRX BM10 Empfänger, der NF-Verstärker

Mithörton vom **PIC18F46K22**
D/A-Wandler

Einstellung der Grundlautstärke
des BM10 mit Gleichspannung
(**PWM im PIC18F46K22**). Die
normale Lautstärke wird analog
mit einem Poti gemacht.

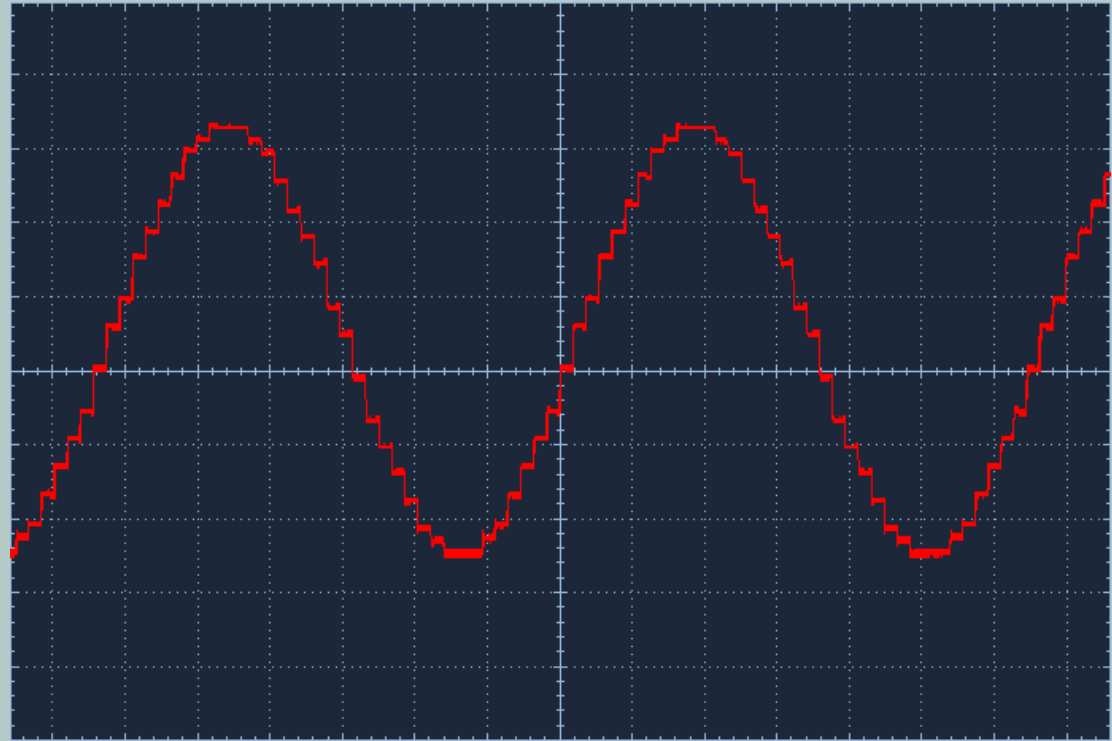
Der **IC LM4875** hat einen
Brückenverstärker. Der Lautsprecher ist
über einen Stecker fest angeschlossen.

Mit dem **Pin HP** kann ich einen
Brücken-Verstärker ein/aus-schalten.
Damit ist der **Lautsprecher EIN/AUS**.
Ist der LSP aus, funktioniert nur noch
der Kopfhörer über C135/10uF.



TRX BM10 Empfänger, Mithörton

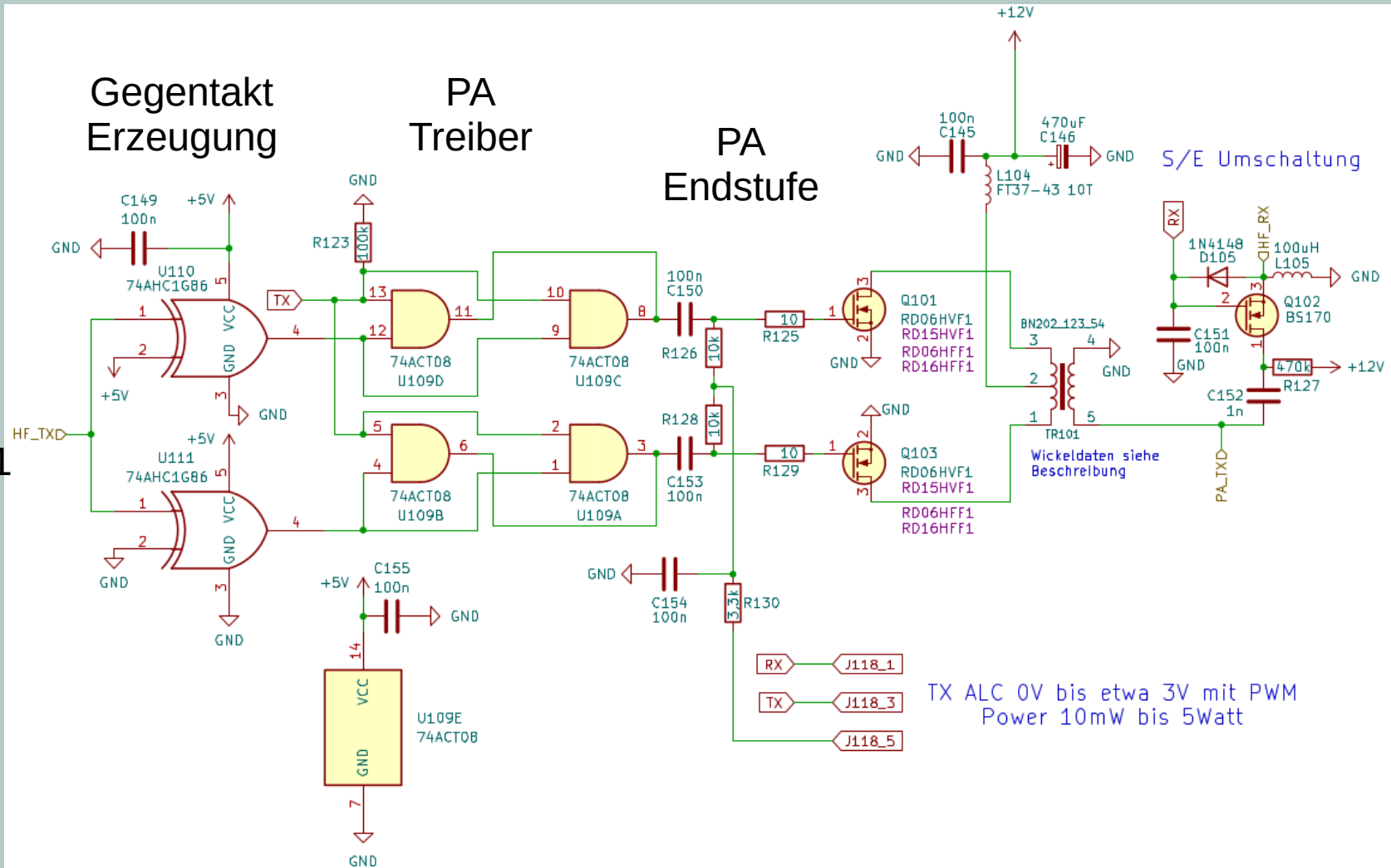
Ich habe gern einen Sinuston als Mithörton und Quittungston. Deshalb habe ich den **5 Bit D/A-Wandler im PIC18F46K22** aktiviert. Die Werte der Sinuskurve werden beim Programmstart in einem RAM-Bereich abgelegt. Bei **5 Bit Wandlerbreite sind das 32 Werte** für eine Sinusschwingung. Ein Timer gibt den Ausgabetakt vor und bei jedem Interrupt wird ein neuer Wert vom RAM in den D/A-Wandler geladen. So ergibt sich eine Sinusschwingung, die ständig wiederholt wird. **Die Zacken in der Kurve sind der Ausgabetakt und nicht mehr hörbar.**



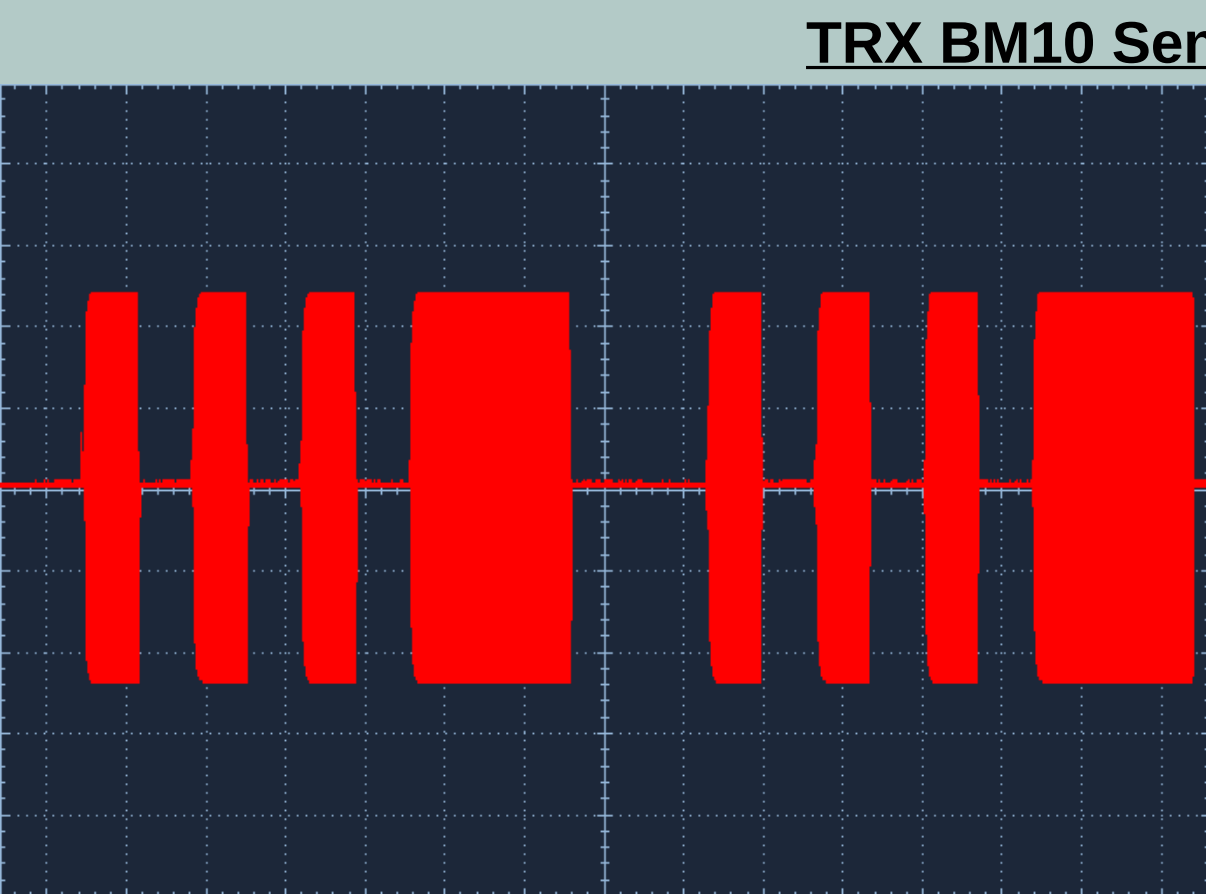
Die Sinusausgabe am PIC18F46K22 ist sehr hochohmig. Als Puffer habe ich einen kleinen **OPV MAX44250** vorgesehen. Der OPV befindet sich auf der MC-Platine mit den Bedienelementen.

TRX BM10 Sender

Sendefrequenz
direkt vom SI5351



TRX BM10 Sender

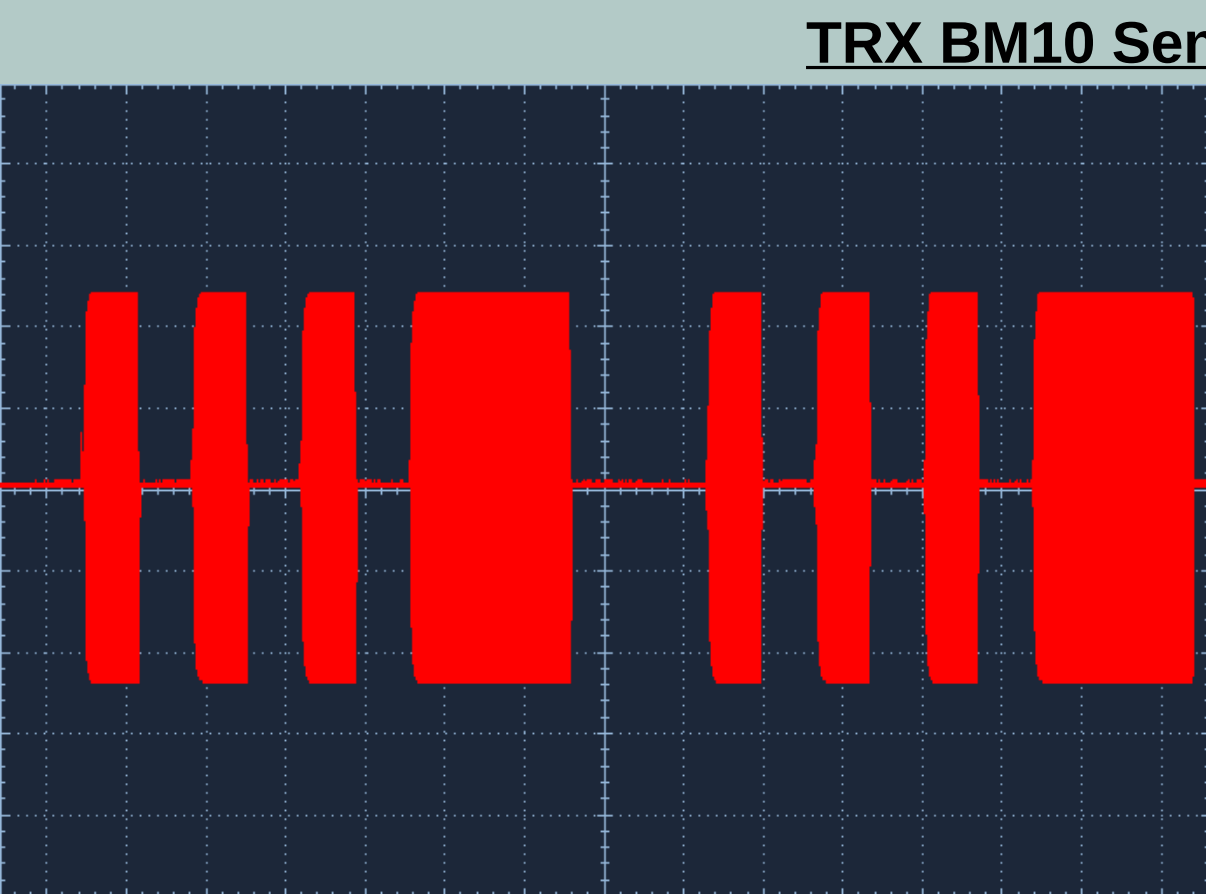


Die CW-Tastung wird mit der PWM im PIC18F46K22 gemacht.

PWM:0 = kein Signal
PWM:(der eingestellten PA-Leistung) = Sendesignal

Das R/C Glied **R130/3,3k** und **C154/100nF** verhindern Tastenklicks. Die Hüllkurve des Sendesignals wird etwas abgerundet.

TRX BM10 Sender

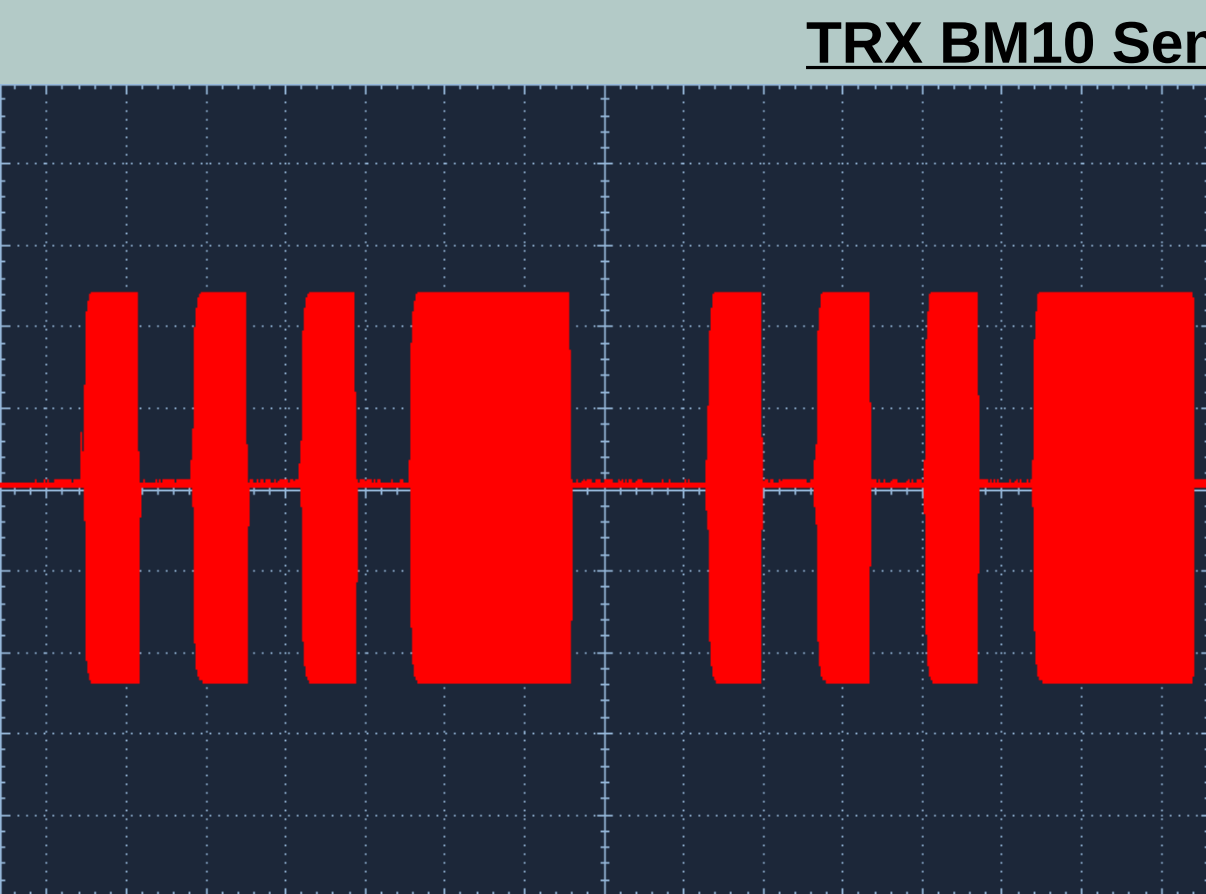


Die CW-Tastung wird mit der PWM im PIC18F46K22 gemacht.

PWM:0 = kein Signal
PWM:(der eingestellten PA-Leistung) = Sendesignal

Das R/C Glied **R130/3,3k** und **C154/100nF** verhindern Tastenklicks. Die Hüllkurve des Sendesignals wird etwas abgerundet.

TRX BM10 Sender

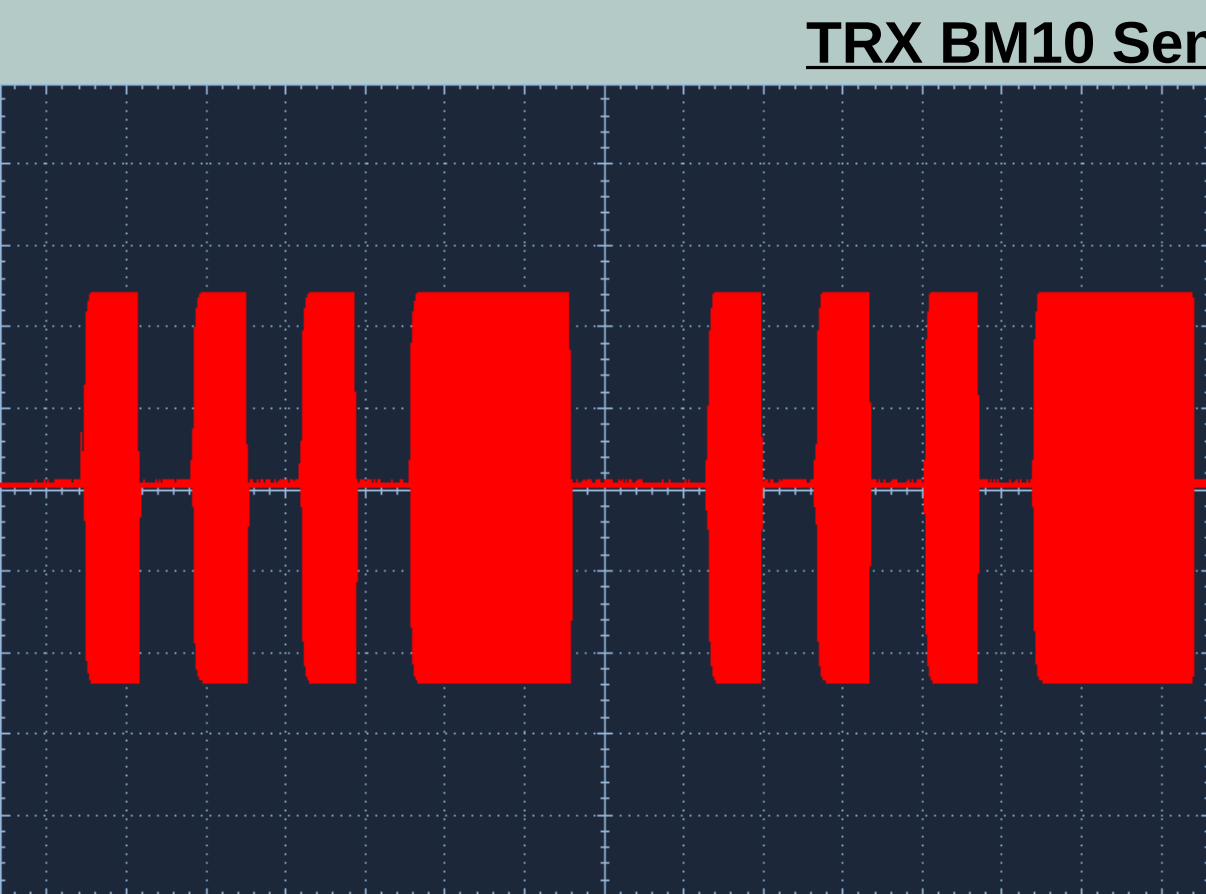


Die CW-Tastung wird mit der PWM im PIC18F46K22 gemacht.

PWM:0 = kein Signal
PWM:(der eingestellten PA-Leistung) = Sendesignal

Das R/C Glied **R130/3,3k** und **C154/100nF** verhindern Tastenklicks. Die Hüllkurve des Sendesignals wird etwas abgerundet.

TRX BM10 Sender

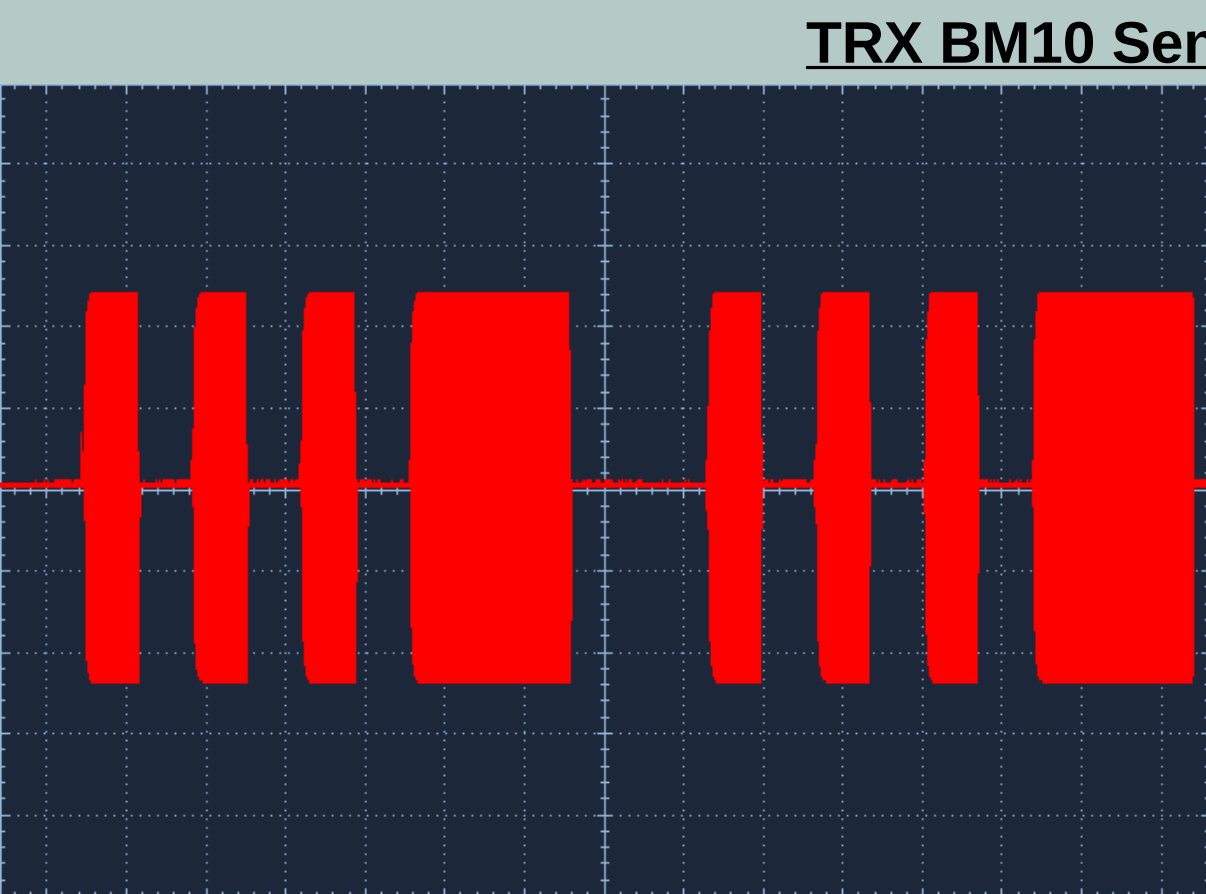


Die CW-Tastung wird mit der PWM im PIC18F46K22 gemacht.

PWM:0 = kein Signal
PWM:(der eingestellten PA-Leistung) = Sendesignal

Das R/C Glied **R130/3,3k** und **C154/100nF** verhindern Tastenklicks. Die Hüllkurve des Sendesignals wird etwas abgerundet.

TRX BM10 Sender



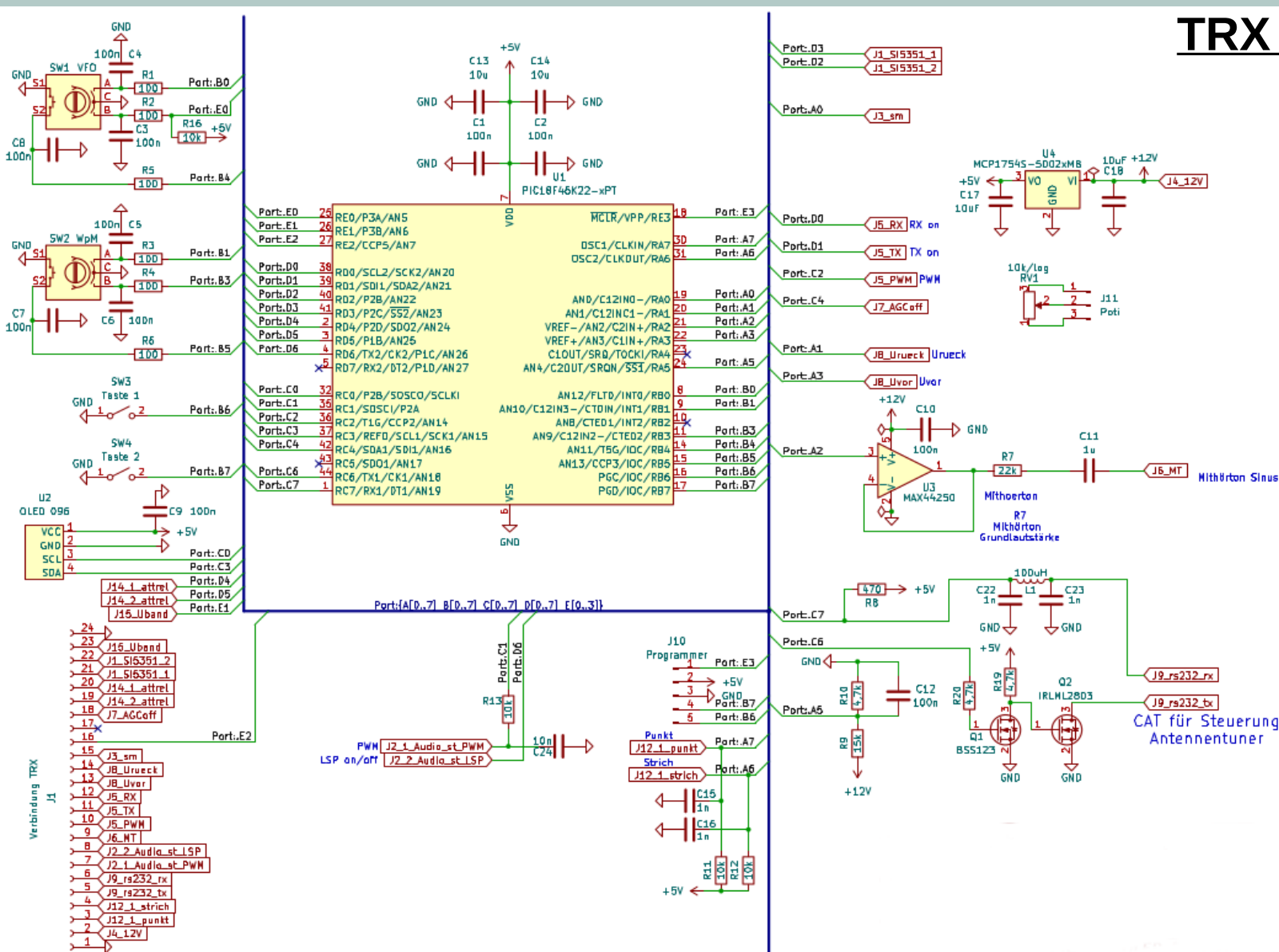
Die CW-Tastung wird mit der PWM im PIC18F46K22 gemacht.

PWM:0 = kein Signal
PWM:(der eingestellten PA-Leistung) = Sendesignal

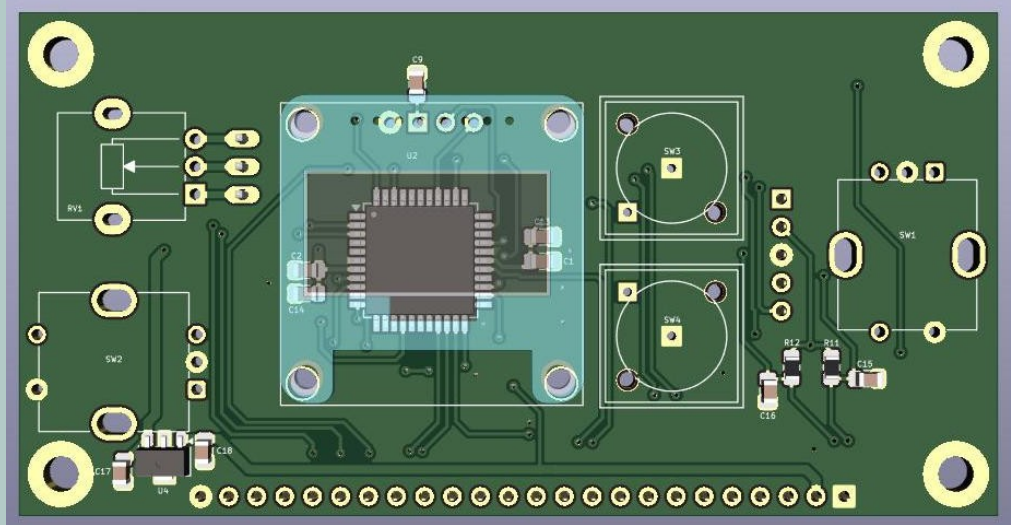
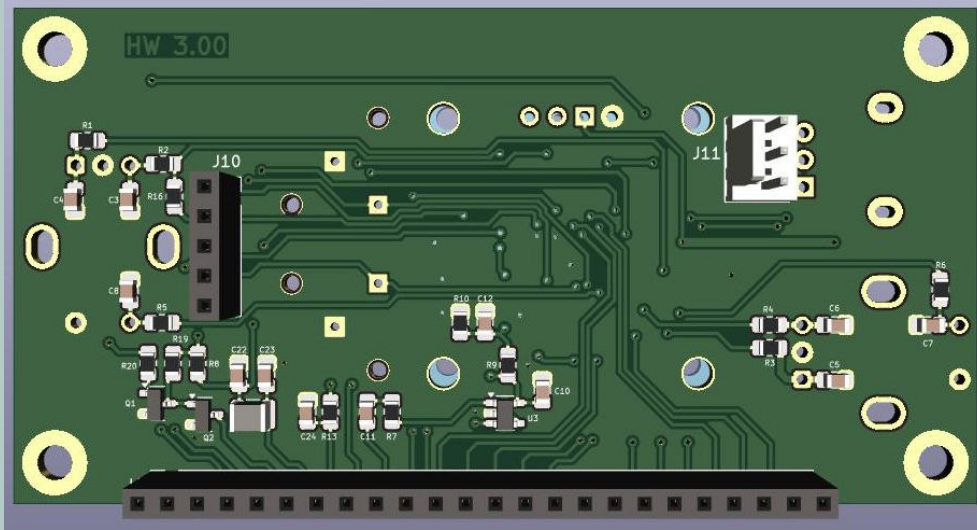
Das R/C Glied **R130/3,3k** und **C154/100nF** verhindern Tastenklicks. Die Hüllkurve des Sendesignals wird etwas abgerundet.

TRX BM10 MC-Platine

Mit dem PIC18F46K22
Wird der BM10
gesteuert. Für die
Bedienung sind 2
Drehgeber, 2 Tasten
und ein Poti
(Lautstärke)
vorgesehen. Die
Anzeige aller Daten
erfolgt mit einem
kleinen OLED-Display.



TRX BM10 MC-Platine



Die MC-Platine in 3D Darstellung aus Kicad. Aus Platzgründen habe ich einen PIC18F46K22 in SMD verwendet. Die MC-Platine ist nicht groß 89mm X 46mm. Das OLED-Display habe ich transparent dargestellt, damit wird den PIC18F46K22 sehen können.

TRX BM10 MC-Platine



1,2 sind Einzeltasten

3 Drehgeber ohne Rastung und
Impulsverdopplung per SW

4 Drehgeber mit Rastung für WpM und
Einstellung der Werte im **MENÜ** und
SETUP

Das Poti für Volume ist rein analog.

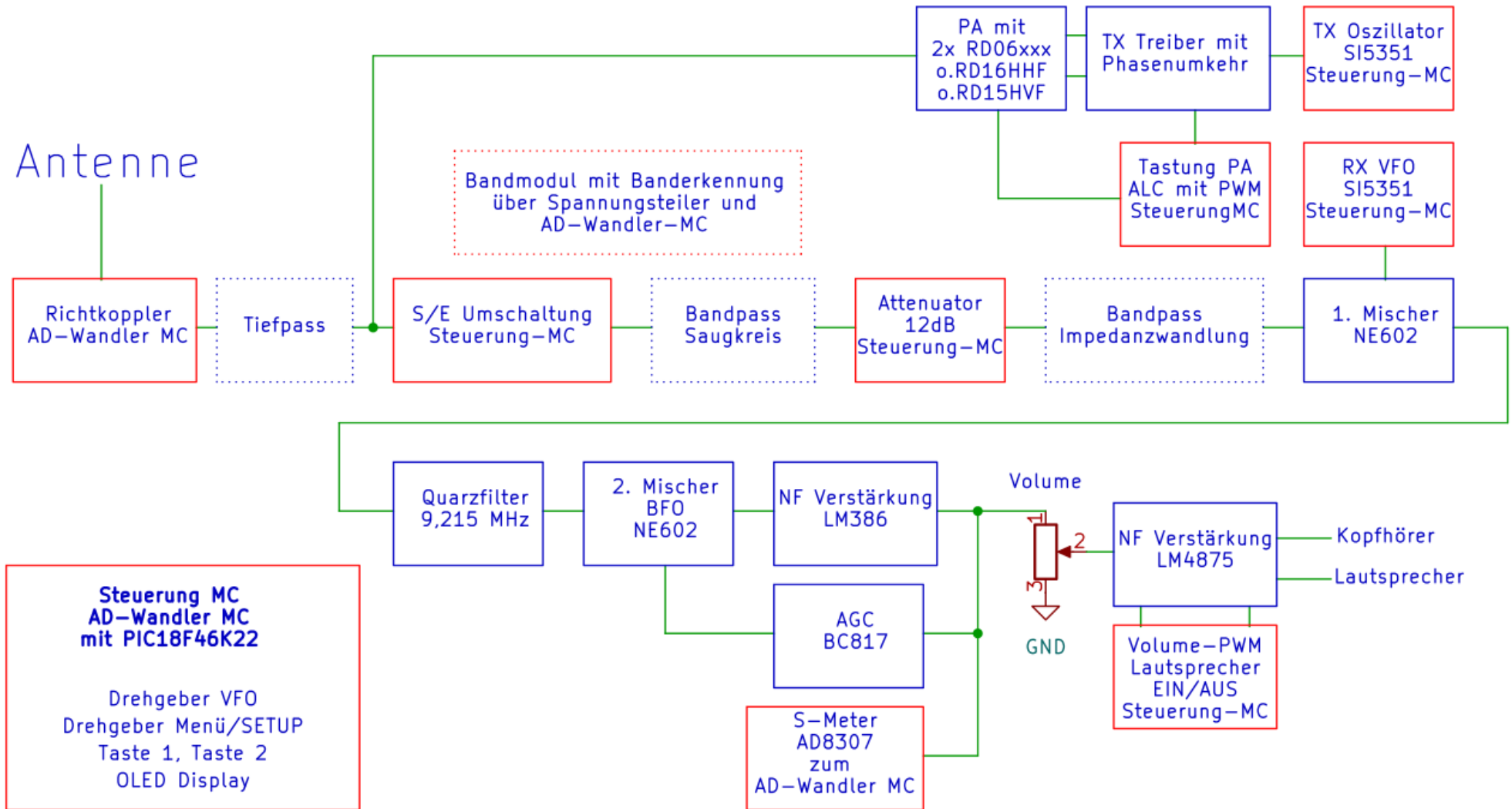
TRX BM10 Software

Die Software nimmt in der Entwicklung des Transceivers auch einen großen Platz ein. Es dauert sehr lange bis alles so richtig läuft.

Entwickelt wurde die Software wieder in Assembler mit meinen eigenen mathematischen Bibliotheken. Etwas schwierig war die Ansteuerung des OLED Displays und der SI5351. Zum Glück gibt es das Internet wo es Textquellen zu beiden Bausteinen gibt. Oft in einer anderen Programmiersprache, aber das ist kein Problem sich da hinein zu denken.

Es folgt noch eine kleine Übersicht der Software. Vorher noch ein **Blockschaltbild des BM10**

TRX BM10 Block-Schaltbild



TRX BM10 Software

Normalbetrieb Empfang



A screenshot of the TRX BM10 software display. The text is in a blue, pixelated font on a black background. It shows the following information: Att:12dB Step: 50Hz, 7.026.000, 13,4V L S4, and 18WpM.

Att:12dB Step: 50Hz
7.026.000
13,4V L S4
18WpM

Attenuator 12dB EIN, Schrittweite 50Hz

Empfangsfrequenz 7,026 000 MHz

Betriebsspannung 13,4 Volt, Lautsprecher EIN, S4

Keyer Speed 18 Wörter pro Minute



A screenshot of the TRX BM10 software display. The text is in a white, pixelated font on a black background. It shows the following information: Step: 50Hz, 7.029.650, 13,1V S0, +0.090, and 18WpM.

Step: 50Hz
7.029.650
13,1V S0
+0.090 18WpM

Attenuator 12dB AUS, Schrittweite 50Hz

RIT ist aktiv, Empfangsfrequenz 90 Hz +

TRX BM10 Software

Normalbetrieb Senden



Frequenz 7,026 650 MHz

Sendeleistung 5,25 Watt

SWR 1,10

Tasten-Funktion im Überblick

Taste	Tastendruck Kurz Qton einmal	Tastendruck Lang 400 mSec Qton 2 mal	Tastendruck Ganz lang 1,4 Sec Qton 3 mal
Taste 1 Taste 2 Taste(VFO) 3 Taste(Dreh2) 4	Schrittweite + Schrittweite - RIT ein ATT 12 dB ein/aus	Menü RIT RIT aus AGC ein/aus	SETUP RIT aus XIT up 1kHz Spot

TRX BM10 Software

Menü Übersicht

- **Tune** Senden mit voreingestellter Sendeleistung (1 Watt), ALC regelt Leistung
- **Tune Power** Sendeleistung für das Tunen einstellen (default 1 Watt)
- **PA PowerAdjust** Sendeleistung pro Band einstellen, Online mit Sendesignal, PWM-Wert
- **Keyer Practice** Keyer benutzen ohne zu Senden, „WpM“ wird zu „wpm“
- **PicATU20/20B** Ansteuerung meiner Antennentuner (DL4JAL)
- **LSP on/off** Lautsprecher EIN/AUS, KH funktioniert immer.
- **LM4875 Volume** Grundlautstärke des BM10, getrennt für KH und Lautsprecher
- **RX-ATT on/off** Attenuator 12 dB EIN/AUS, auch Drehgeber-Taste 3 kurz drücken
- **AGC on/off** AGC EIN/AUS, auch Drehgeber-Taste 3 lang drücken
- **XIT up 1 kHz** Aktivieren von XIT, 1kHz oberhalb senden, abgewandelte RIT-Funktion

TRX BM10 Software

SETUP Übersicht

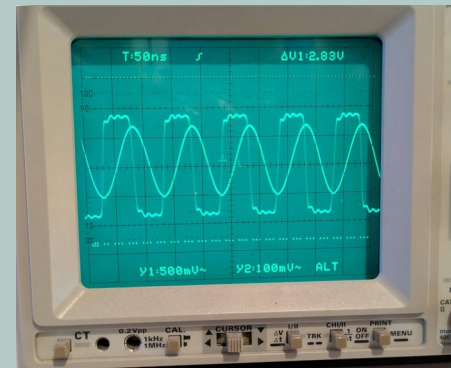
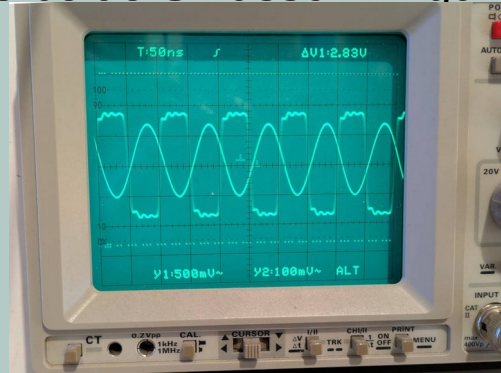
- **[0] Break** Abbruch des SETUP
- **[1] Si5351A-CLK** Kalibrieren der Takt-Frequenz vom SI5351
- **[2] ZF/BFO adj.** Kalibrieren der Zwischenfrequenz und der BFO-Frequenz
- **[3] Keyer Info** Info und Übersicht der Einstellung des Keyers
- **[4] Keyer Mode** Einstellung Keyer-Mode, Keyer Revers oder Handtastung
- **[5] KeyerDOTsp** Keyer Punktspeichergrad einstellen 0%, 25%, 50%, 75%, 100%
- **[6] Key.DASHsp** Keyer Strichspeichergrad einstellen 0%, 50%, 100%
- **[7] Keyer Speed** Keyer Speed nach Power ON einstellen
- **[8] Semi-QSK** Voll QSK oder Semi-QSK einstellen
- **[9] S-Meter cal** Das S-Meter nachkalibrieren, vorzugsweise den S9 Punkt
- **[10] Sidet.Freq** Die Frequenz des Mithörtones einstellen
- **[11] Sidet.Volu** Die Lautstärke des Mithörtones verringern 100% bis 10%
- **[12] BFO on/off** Die BFO-Frequenz am SI5351 ein/aus schalten, Ausgang CLK1
- **[13] HW/FW Ver** Versionsanzeige von HW, FW (wie nach Power ON)
- **[14] S-Meter Var** Verschieden Anzeigen des Pegels (ADC, dBm, S-Meter)

TRX BM10 Software

SETUP, SI5351A-CLK, Kalibrieren der Takt-Frequenz vom SI5351

Auf dem SI5351-Modul befindet sich der Quarz für den Systemtakt des SI5351. Normal ist ein 25 MHz Quarz aufgelötet. Der Quarz schwingt aber nicht genau auf 25,000 000 MHz, sondern ist immer etwas daneben. Meine SW rechnet aber die Frequenz-Ausgabe an CLK0..2 mit der Taktfrequenz (in diesem Beispiel 27 MHz) die in der SW gespeichert wurde. In dieser Kalibrierfunktion wird der **Ausgang CLK0** auf 10,000000 MHz programmiert und ausgegeben. Liegen an CLK0 genau 10,000000 MHz an stimmt der Wert der Taktfrequenz der SW mit der Takt-Frequenz des Schwingquarzes überein.

Entweder messen wir die Frequenz mit einem genauen Frequenzzähler oder wird verglichen die Frequenz an CLK0 mit einem GPS-Normal 10,000000 MHz. Am besten geeignet ist ein altes analoges Scope mit 2 Kanälen. Mit dem VFO-Drehgeber ändern wir die Frequenz im Display so lange bis beide Sinusschwingungen übereinstimmen.



TRX BM10 Software

ZF/BFO adj. Kalibrieren der Zwischenfrequenz und der BFO-Frequenz

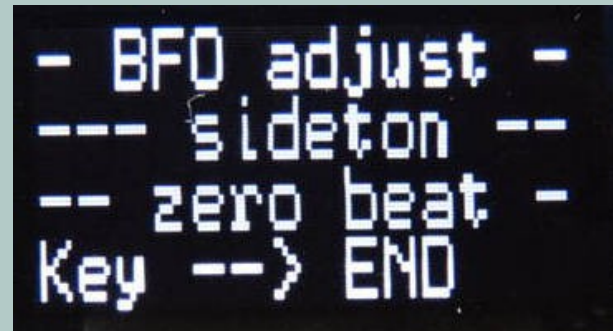
Nachdem die genau Taktfrequenz des SI5351 kalibriert wurde, folgt das genaue Einstellen der Zwischfrequenz. Die ZF ist je nach verwendeten Quarzen unterschiedlich.



Step: 10Hz
9.214.693
- 65,2dBm
AD: 528

Im SI5351 wird an CLK0 die ZF-Frequenz generiert. Durch das Übersprechen im NE602 gelangt das ZF-Signal zum Ausgang Pin 5 und zum Quarz-Abzweigfilter. Die Frequenz im Display ändern wir bis das angezeigte Signal im Display das Maximum erreicht hat. Dann sind wir genau in Filtermitte.

Mit Taste 1 speichern!



- BFO adjust -
--- sideton ---
-- zero beat -
Key --> END

Anschließend kommt diese Display-Anzeige. Der Mithörton wird aktiv. Am Trimmer des BFO wird auf Schwebungsnull mit dem Mithöton eingestellt.

Der Abgleich ist beendet!

TRX BM10 Gehäuse

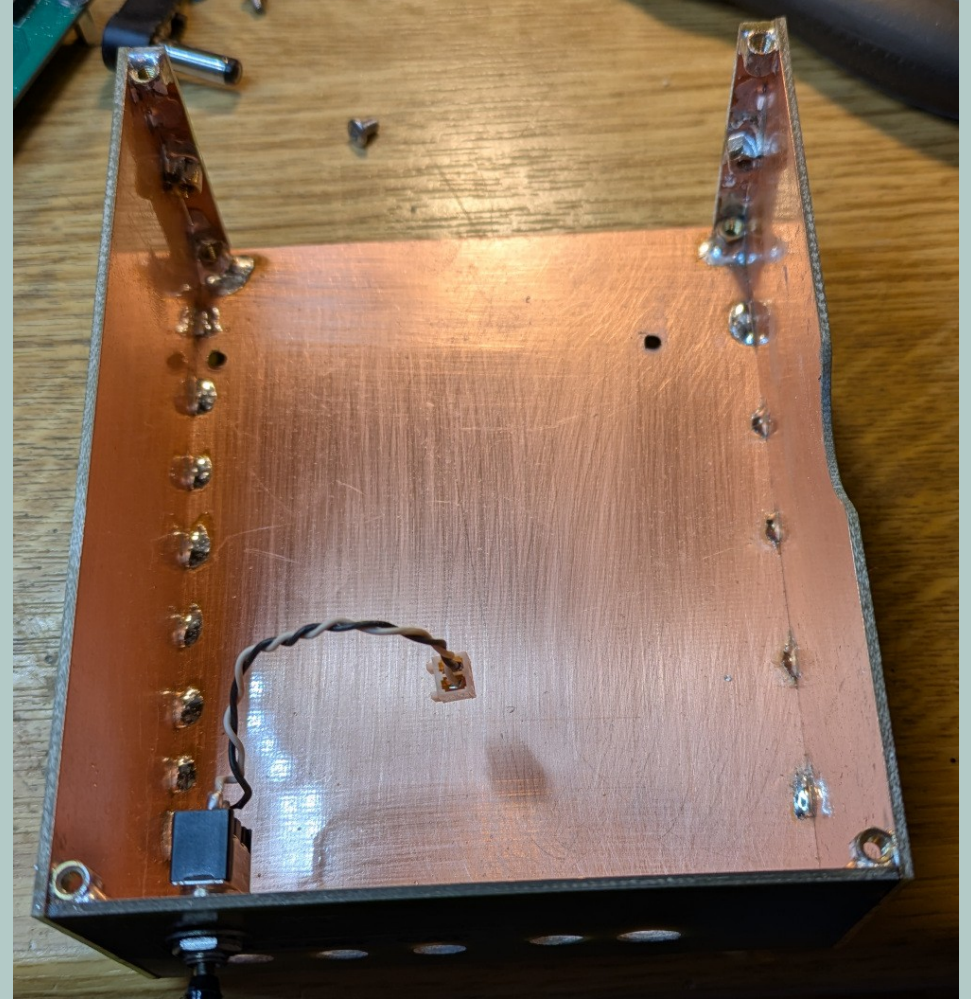
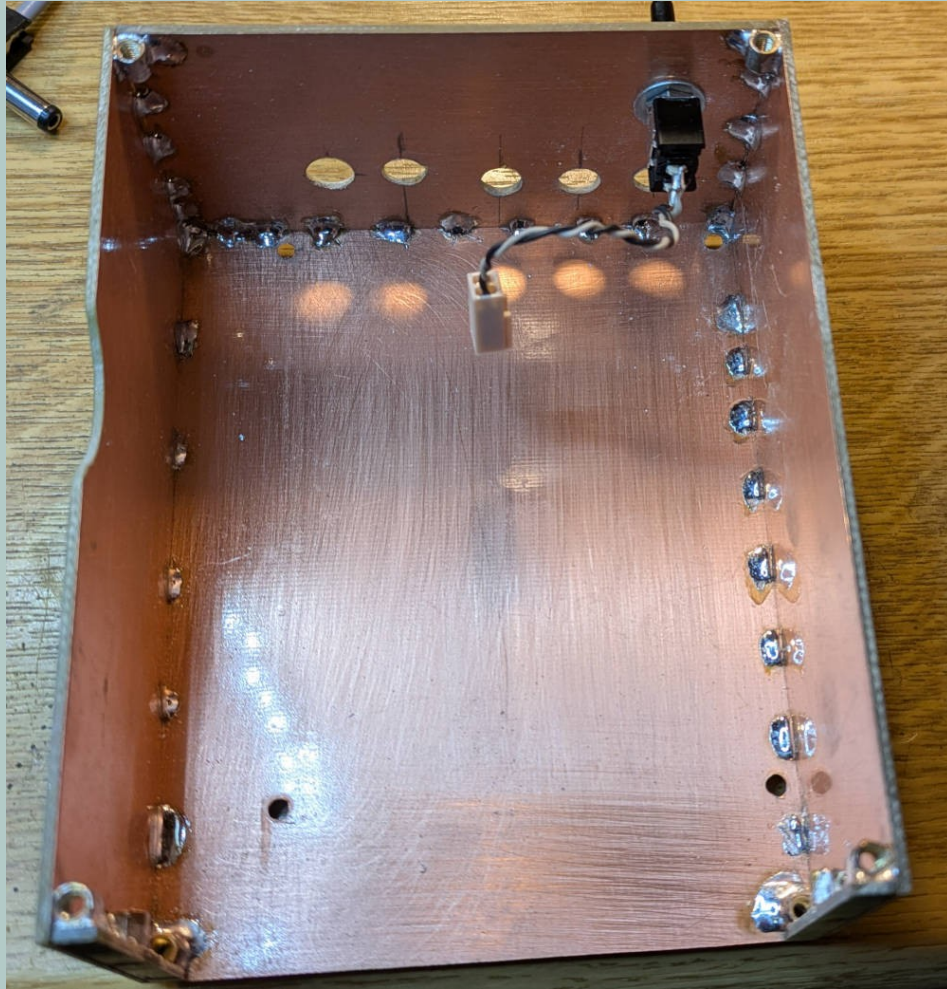
Ich habe das Muster #3 HW 3.00 wieder in ein Gehäuse aus FR4 Leiterplattenmaterial eingebaut. Die FR4 Leiterplatten beziehe ich von

<https://lerrox.de>

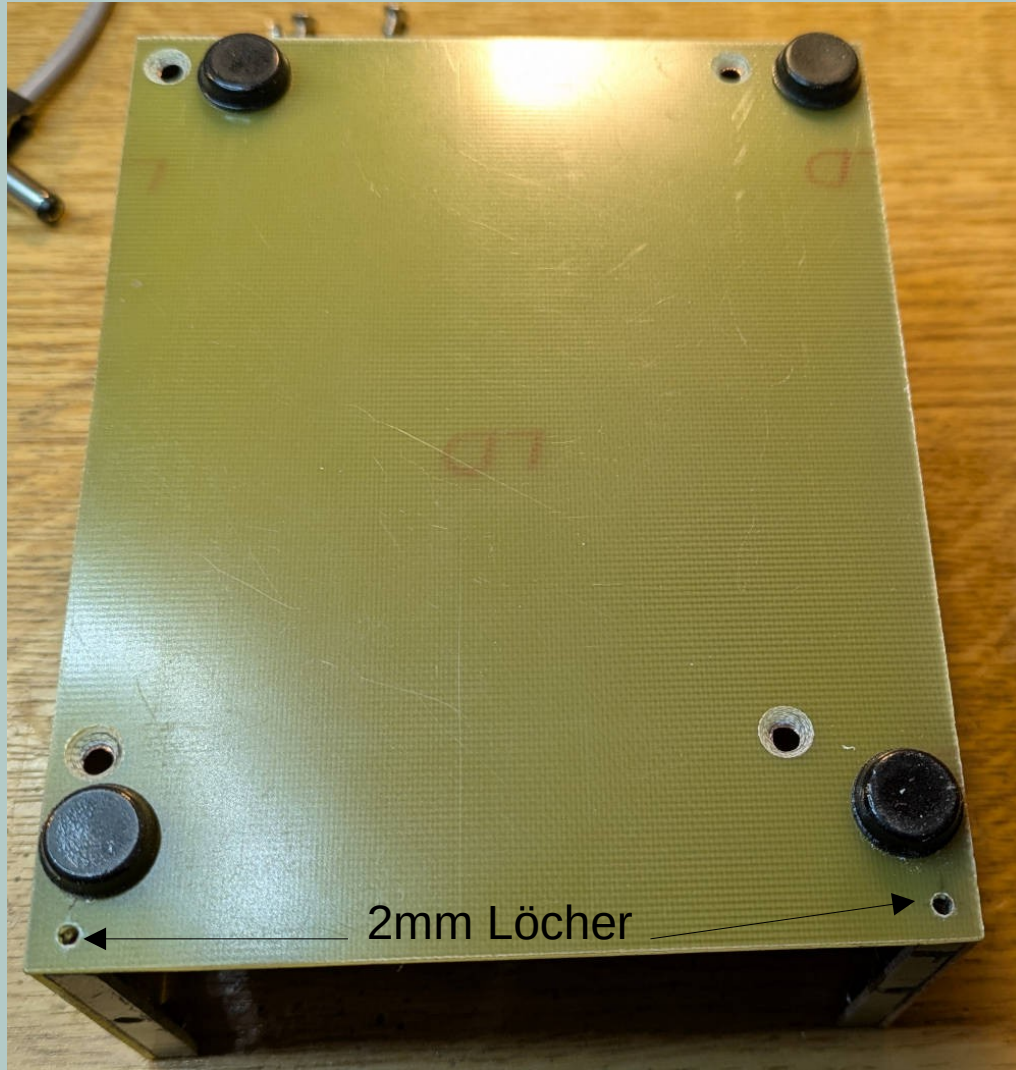
Folgende Größen müssen zugeschnitten werden:

- 1x 132mm x 104mm die Bodenplatte
- 2x 104mm x 53mm zwei Seitenwände
- 1x 101mm x 53mm die Rückwand
- 2x 53mm x 5mm für die Front zwei schmale Streifen
- 1x 132mm x 104mm Aluminium 1mm Stärke für die Deckplatte
- 1x 105mm x 57mm Aluminium 1mm Stärke. Hier müssen noch die Löcher und Ausschnitte für die Bedienelemente und das OLED-Display ausgearbeitet werden.

TRX BM10 Gehäuse



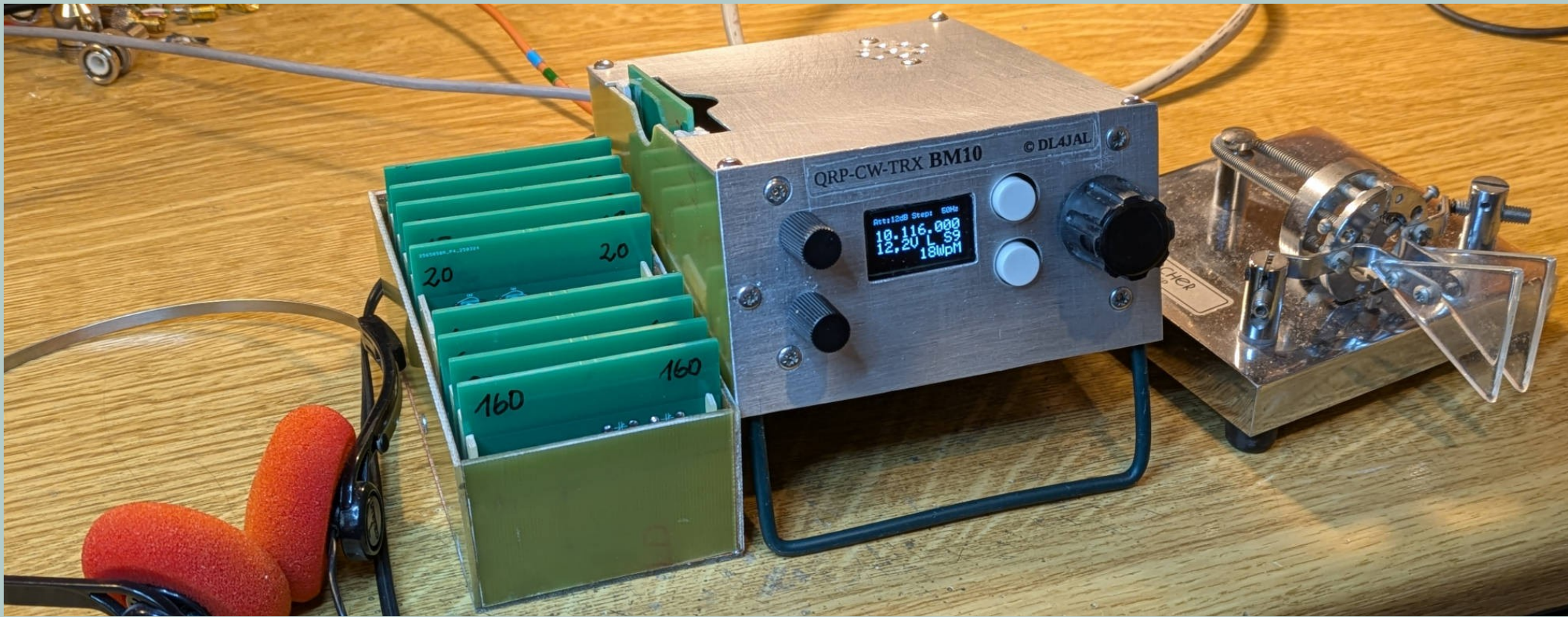
TRX BM10 Gehäuse



Meine Konstruktion für den Aufstellbügel

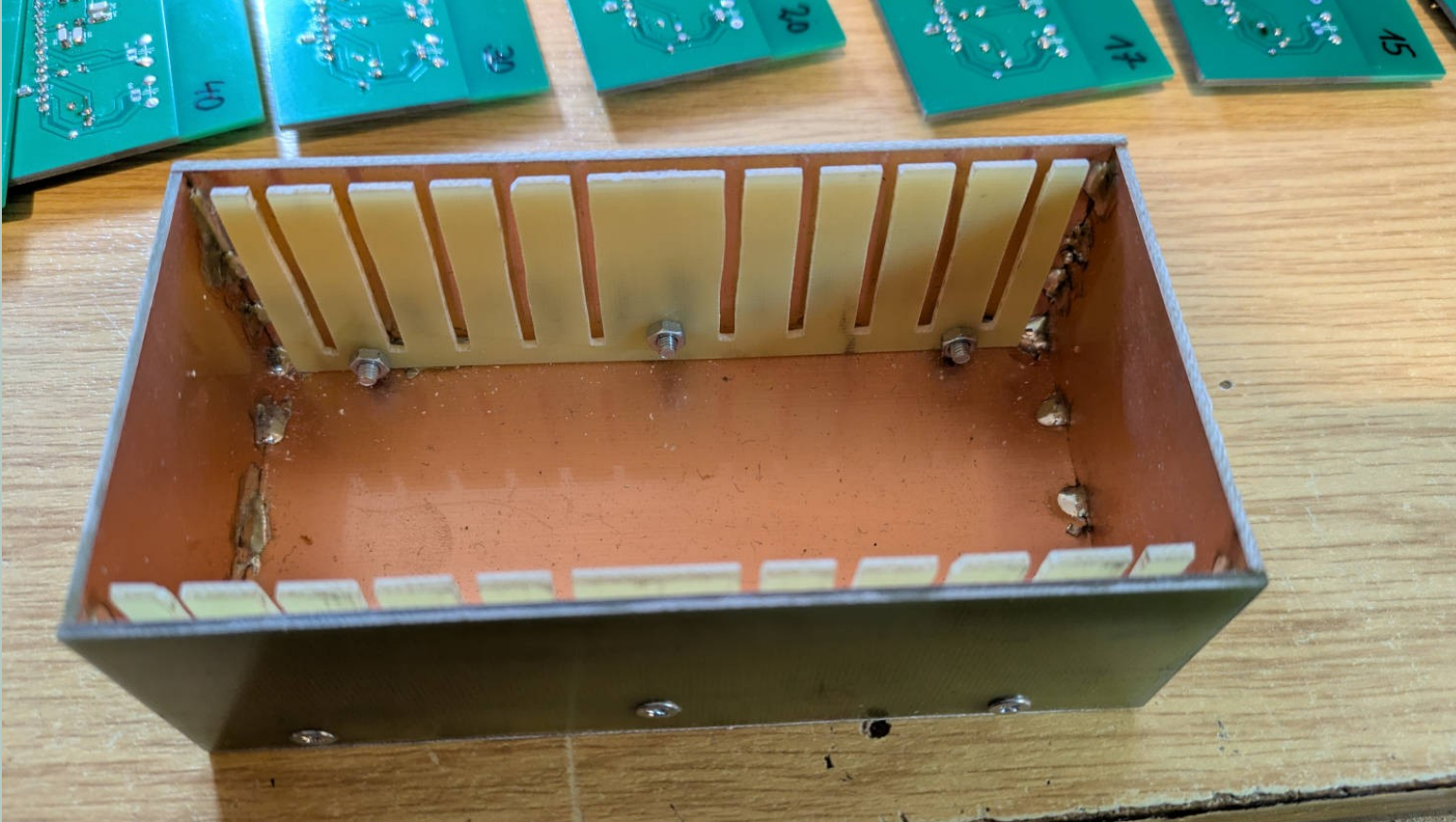


TRX BM10 Behälter für Band-Module



Ich habe einen sehr Platz sparenden Behälter für die Bandmodule zusammen gelötet.

TRX BM10 Behälter für Band-Module



FR4 Material

Die Abmaße des
Behälters außen:

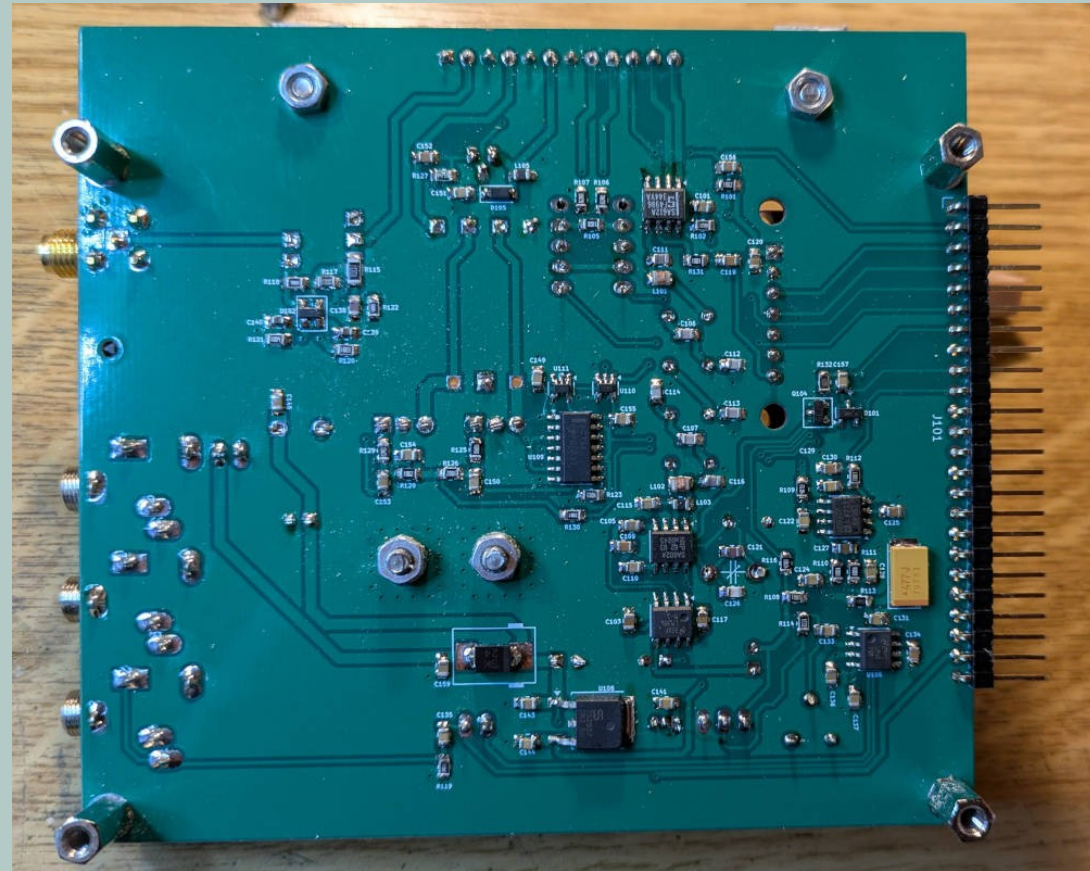
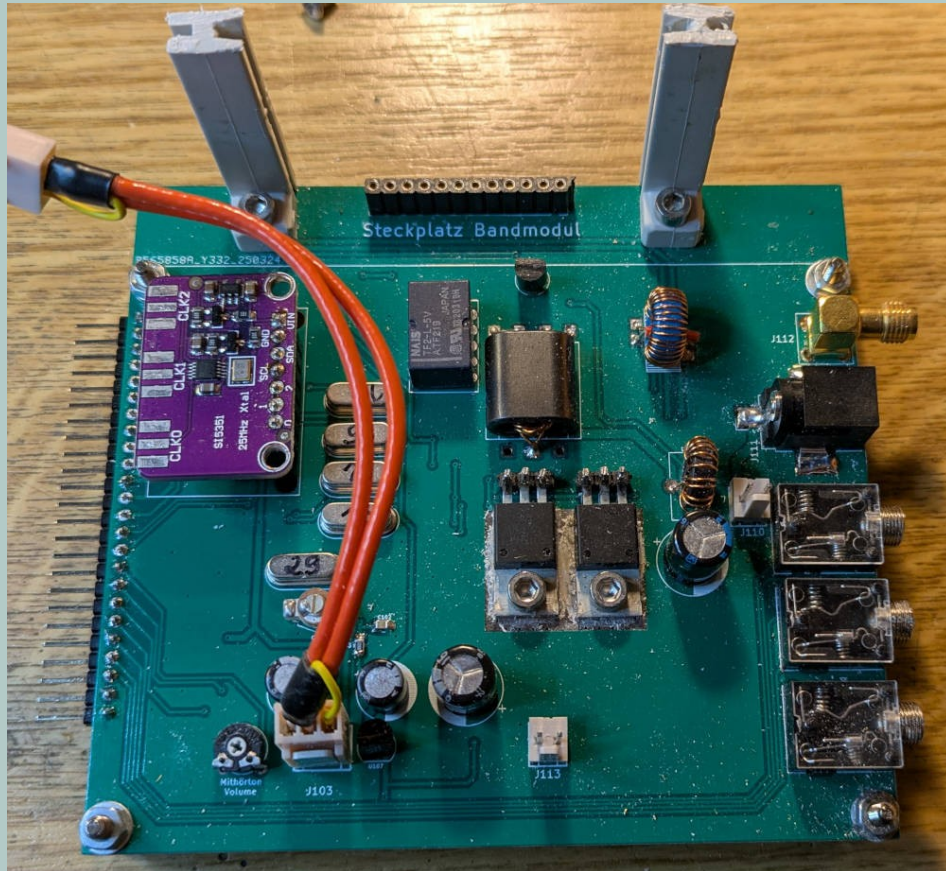
[Länge] 122 mm

[Breite] 63 mm

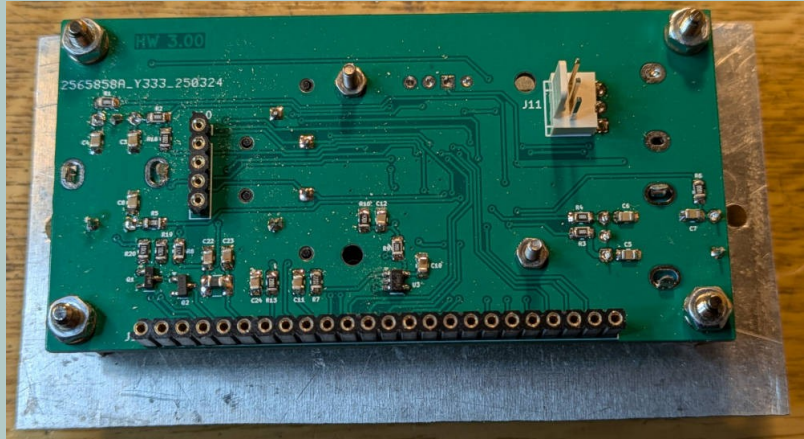
[Höhe] 41,5 mm

Die Schlitz im
„Kamm“ 2mm x 32 mm

TRX BM10 Gehäuse



TRX BM10 Gehäuse



In der Deck-Aluplate habe ich einen kleinen Mini-Lautsprecher moniert. Ich war erstaunt wie laut der Lautsprecher ist. Die CW Signale sind sehr gut zu hören.

QRP CW TRX BM10

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

vy73 Andreas DL4JAL

DL4JAL@t-online.de

zum Nachlesen:

http://www.dl4jal.de/Vortraege/QRP_CW_TRX_BM10.pdf