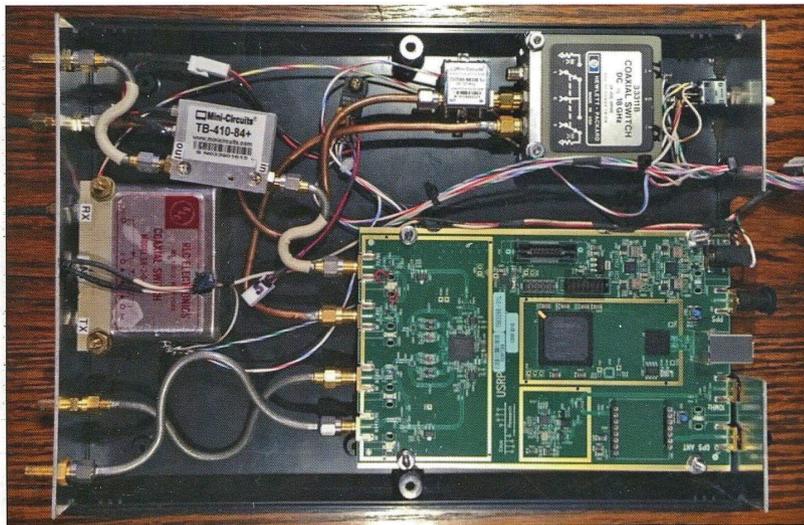




SDR und GNU-Radio

Eine Einführung

A 9 band SDR station: VHF through Microwave



by **W7FU**

Magazine for Amateur Radio on VHF/UHF and Microwaves

[www.dubus.org]

SDR und GNU-Radio

1. Software Defined Radio, Hardware

1.1 Analoger und digitaler Empfänger

1.2 Abtastung und Quantisierung

1.3 SDR-Prinzipien

1.4 Für GNU-Radio geeignete SDR-Geräte

1.5 RTL-Stick

1.6 ADALM-PLUTO

1.7 Ettus Research B200

1.8 SDR-Erweiterungen mit Standard-Baugruppen



2. GNU-Radio (Software)

2.1 Übersicht und Anwendungen

2.2 Betriebssysteme, Quelltext und Binaries, Programmiersprachen

2.3 GNU Radio Companion (GRC)

2.4 Beispiele in GRC



Teil 1 Die Hardware

Software Defined Radio ist ein Technologie-Trend.

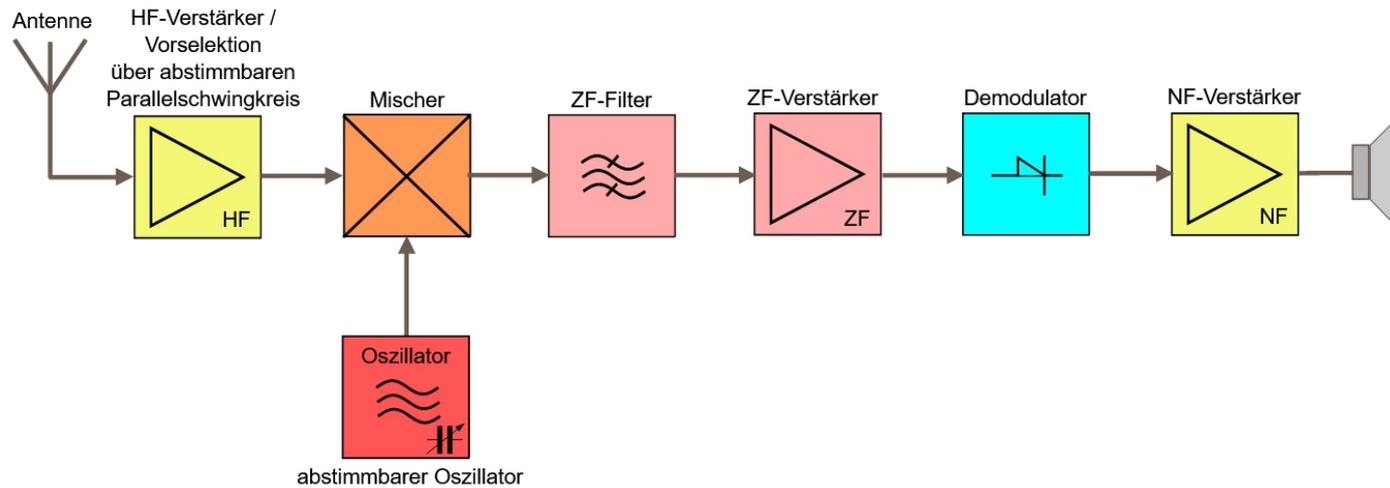
Dieser Teil des Vortrags soll das Verständnis für verschiedene SDR-Konzepte fördern und in die Digitalisierung einführen.

Er kann in keinem Fall eine vollständige Übersicht über die zur Zeit verfügbaren Produkte liefern, da die Produktpalette sich ständig erweitert.



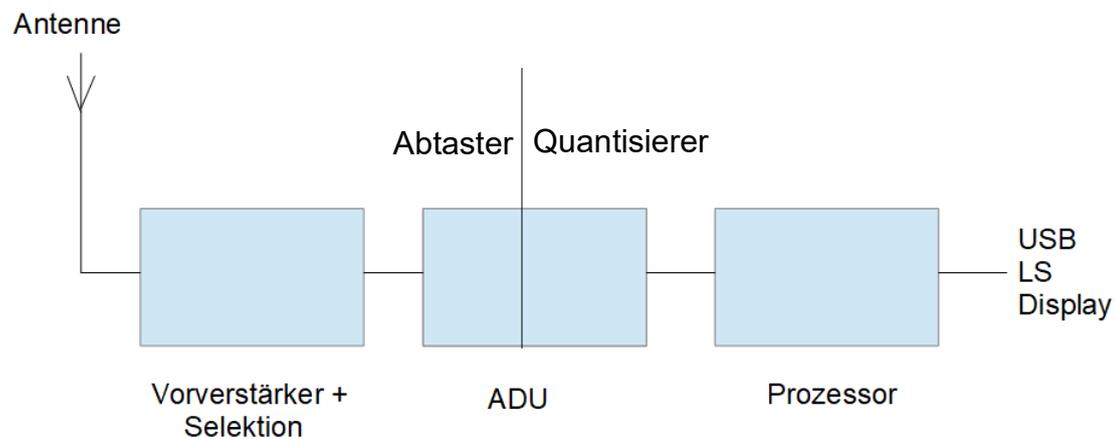
1.1 Analoger und digitaler Empfänger

Analoger Empfänger

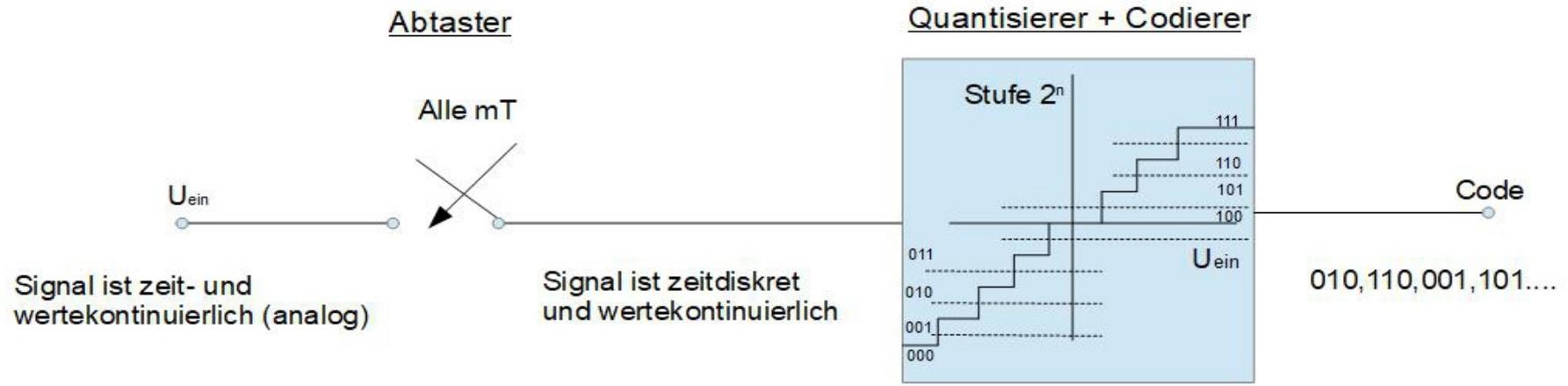


[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Ueberlagerungsempf%C3%A4nger_blockschaltbild.svg]

Digitaler Empfänger (SDR, Direct Sampling)



Das Prinzip der Digitalisierung

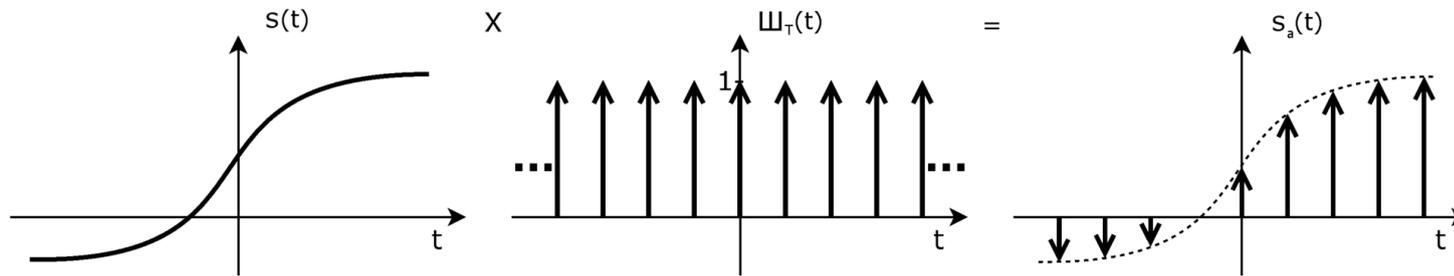


T ist die Abtastzeit
 r ist die Abtastrate

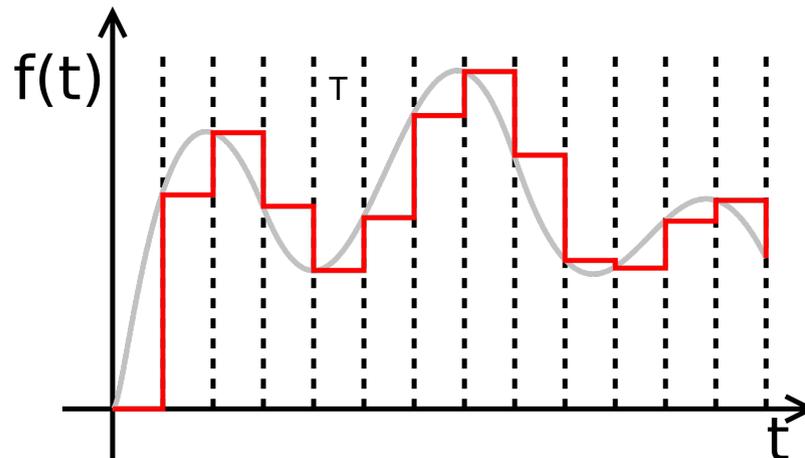
Beispiel: $T = 1 \mu\text{s}$
 $r = 1\text{MHz}$

1.2 Abtastung und Quantisierung

Idealer Abtaster im Zeitbereich



Realer Abtaster im Zeitbereich (Sample- and Hold-Schaltung)



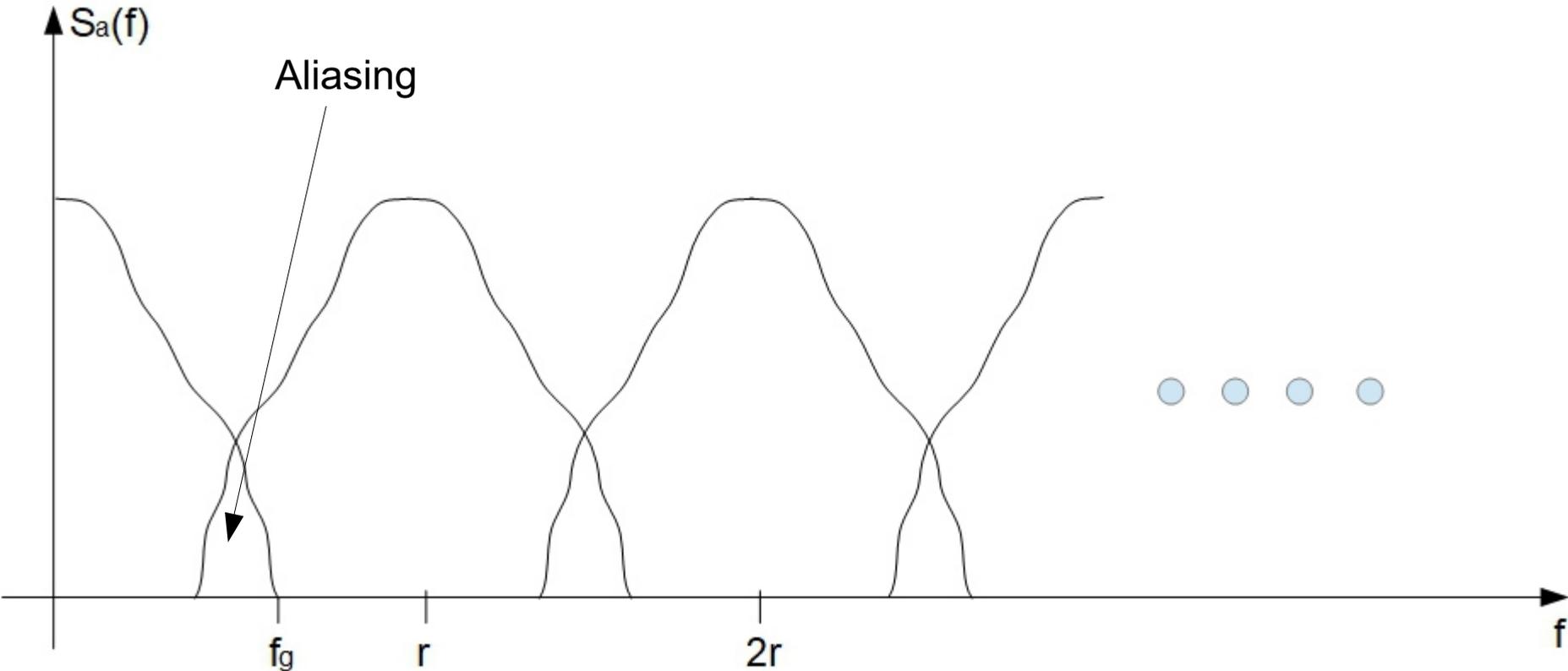
Abtastzeit T
Sample-Rate $r = 1/T$

$f(t)$ ist zeitdiskret aber wertekontinuierlich

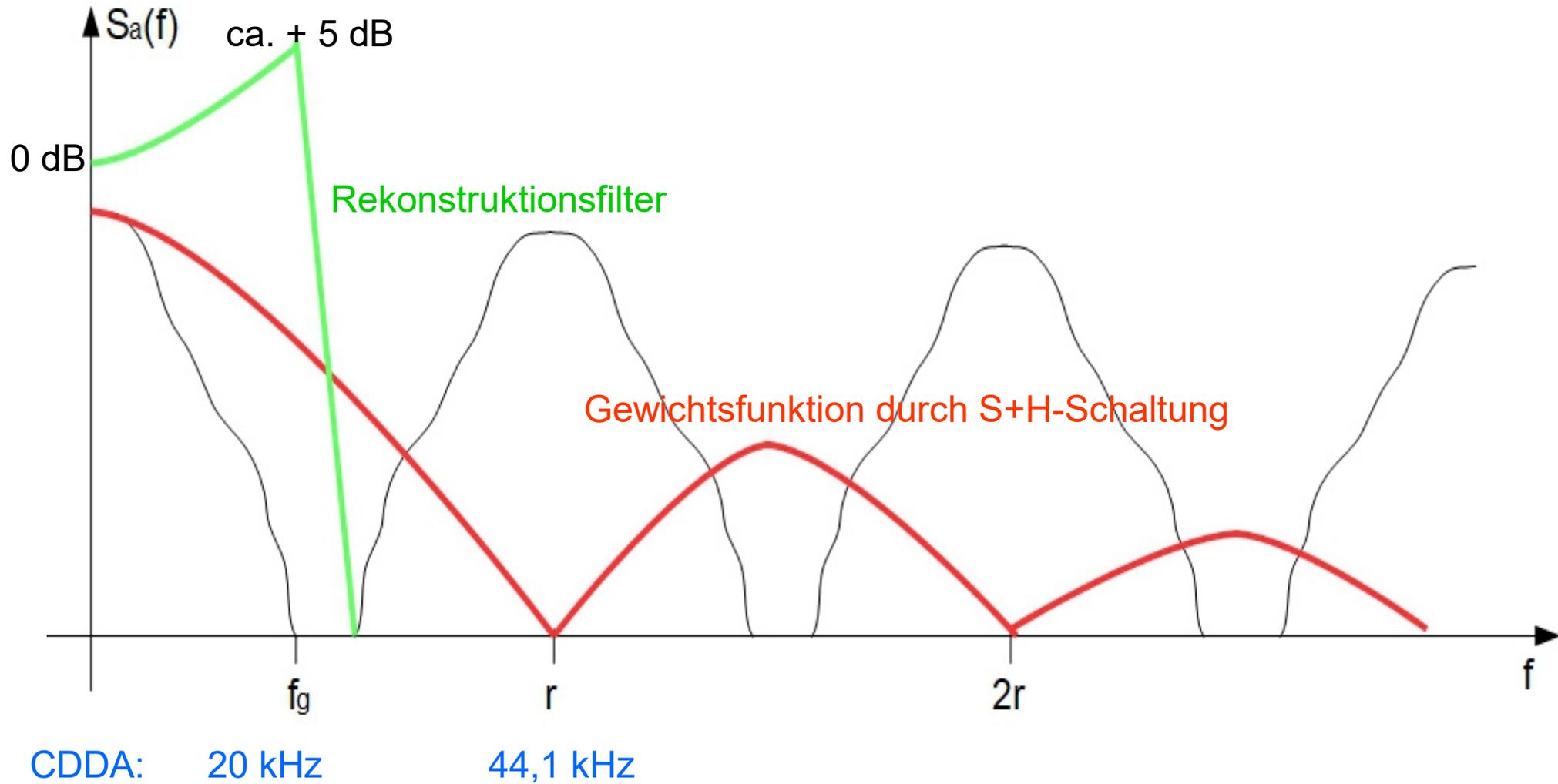
[[https://de.wikipedia.org/wiki/Abtastung_\(Signalverarbeitung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Abtastung_(Signalverarbeitung))]

[https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/q/ortsverbaende/03/Workshops-Bilder/SDR_DL3JOP.pdf]

Beispiel für Undersampling



Realer Abtaster im Frequenzbereich (Hier $r > 2f_g$, Oversampling)



Merksatz:

- Jedes digitale (im Zeitbereich zeitdiskrete) Signal hat ein periodisches Spektrum

Der duale Satz:

- Jedes im Zeitbereich periodische Signal (Impulsfolge) hat ein Linienspektrum

Weiterhin gilt:

- im Zeitbereich kurze Signale (steile Flanken) haben ein breites Spektrum
- im Zeitbereich langsame Übergänge erzeugen ein schmales Spektrum



Quantisierer mit einer Auflösung von n Bit/Sample

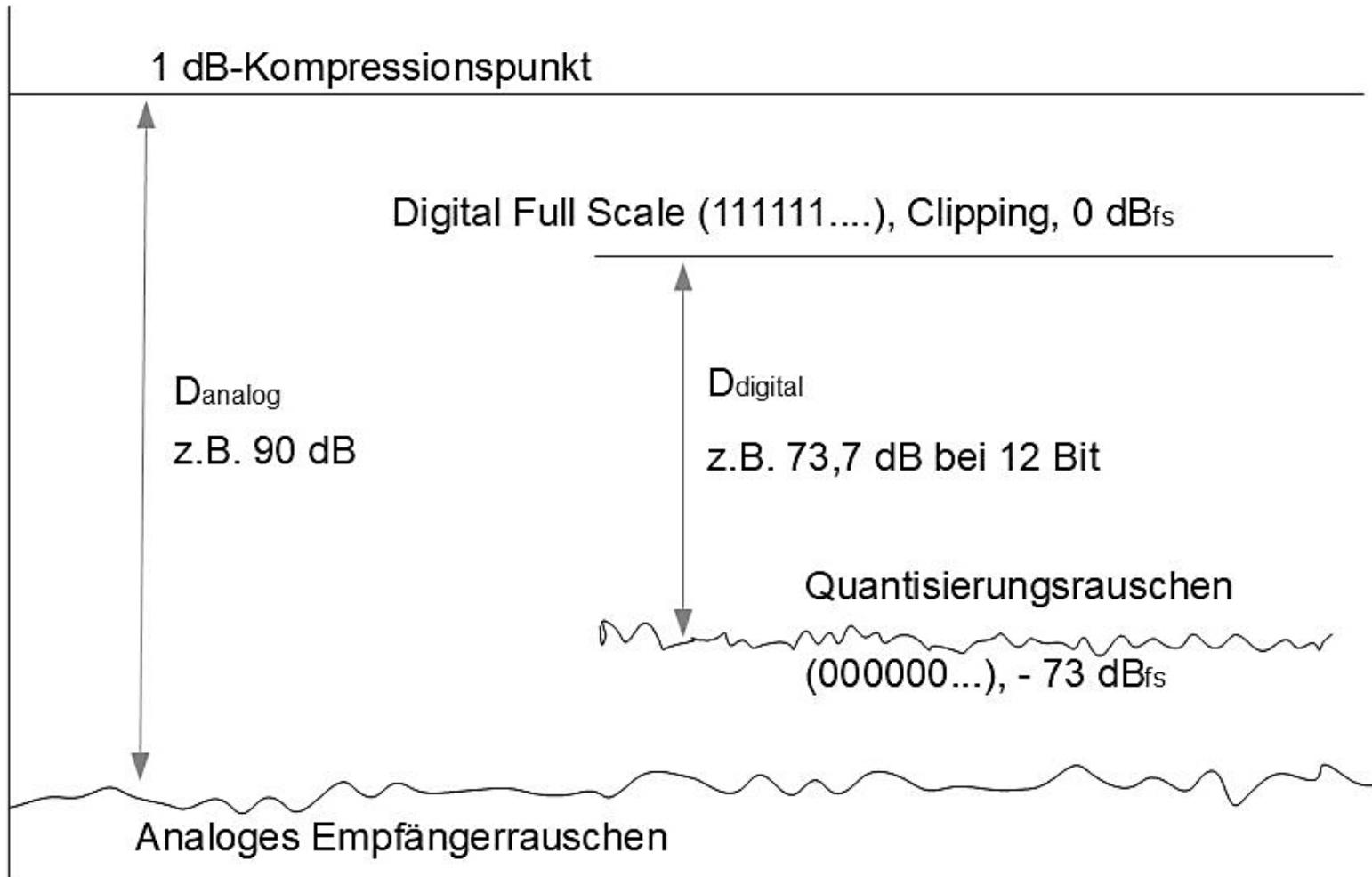
- jeder Amplitudenwert eines Samples wird in einen n-Bit-Code umgesetzt
- das S/N beträgt **$S/N = n \times 6 \text{ dB} + 1,7 \text{ dB}$**

n (Bit)	Anzahl Amplitudenstufen	S/N (dB)	Beispiel
8	256	49,7	ISDN RTL-Stick Schallplatte HackRF One
12	4096	73,7	ADALM PLUTO ETTUS B 200 Lime-SDR
16	65536	97,7	CD-DA RX888 Rec.



Analoge und digitale Dynamiken

Dynamik D und S/N sind hier identisch



Aussteuerung und Headroom

Beispiel 3 Bit, 8 Stufen:

„Digitale Übersteuerung muss unbedingt vermieden werden“
→ Headroom lassen!!

1 1 1 0 dB_{fs} S/N = 19,7 dB

1 1 0

1 0 1

1 0 0

0 1 1 - 6 dB_{fs} S/N = 13,7 dB

0 1 0

0 0 1 - 12 dB_{fs} S/N = 7,7 dB

0 0 0 Quantisierungsrauschen



6 dB Headroom

(Öffentlich Rechtliche: 20 dB)
(Videoton: 12 dB)
(CD/DVD-Mastering: 0 dB)
(SDR: ??)

13,7 dB Aussteuerung



Erkenntnisse bis jetzt:

1. Die Sample-Rate sollte so hoch wie möglich sein, um die Filterung zu vereinfachen

Aber: Bitrate $R = r \times n$!! (12 Bit bei $r = 1$ Gsample/s, $R = 12$ Gbit/s)

USB 2: 480 Mbit/s, USB 3: < 5 Gbit/s

2. Der Dynamikbereich der ADU ist zu niedrig, Übersteuerung vermeiden!

Abhilfe:

2.1 Schnelle AGC einsetzen

2.2 Oversampling und Downsampling (DDC)

2.3 Bessere ADU mit einer Auflösung von >16 Bit/Sample einsetzen

2.4 Dithern

2.5 Nichtlineare Quantisierung einsetzen wie bei ISDN (μ -Law, 13-Segment-Kennlinie)



Vergrößerung des Dynamikbereichs durch Oversampling und Downsampling:

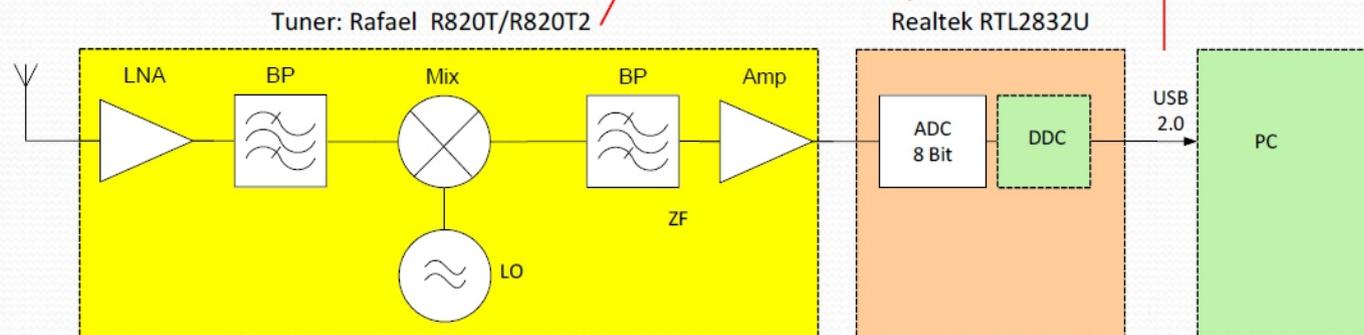
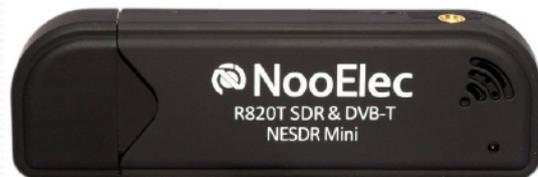
1. Die Rauschleistung ist nur von der Stufenhöhe der Amplitudensprünge der S/H-Schaltung abhängig (nur von n).
2. Bei Oversampling verteilt sich diese Rauschleistung über einen breiteren Frequenzbereich, ihre Amplitude sinkt.
3. Bei der Abwärtstastung (DDC) verringert sich die Bandbreite des Signals und des Rekonstruktionsfilters (Halbierung von $r \rightarrow 3$ dB weniger Rauschen, D_{digital} wächst um 3 dB).
4. Diese Abwärtstastung wird durchgeführt, um z.B. in Empfängern von einer Abtastrate von 1 Gsamples/s auf die Abtastrate von 48 ksamples/s der Soundkarte zu kommen.



1.3 SDR-Prinzipien

1.3.1 Digitalisierung in der ZF

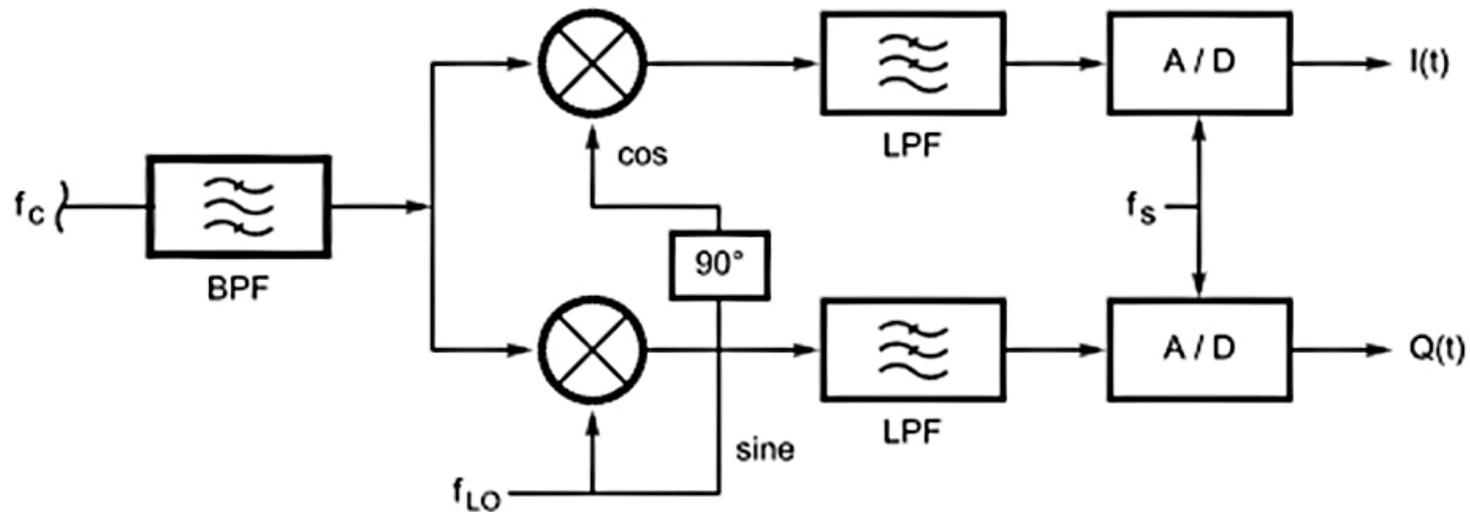
Hardware: RTL-SDR-Stick



Digitalisierung ab ZF

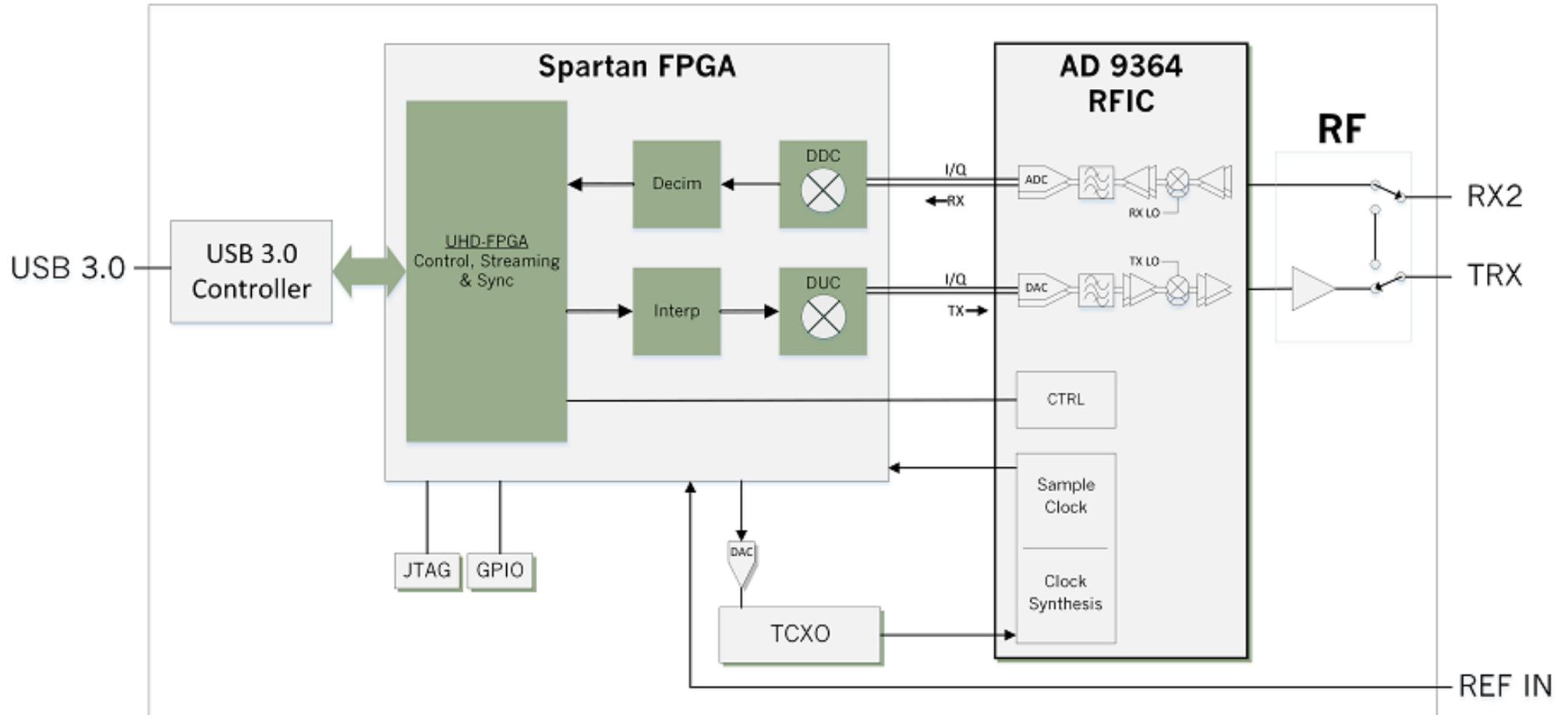
[<https://www.hb9f.ch/bastelecke/grundlagen.html>]

1.3.2 ZF0-Empfänger mit komplexer Signalverarbeitung (IQ-Sampling)



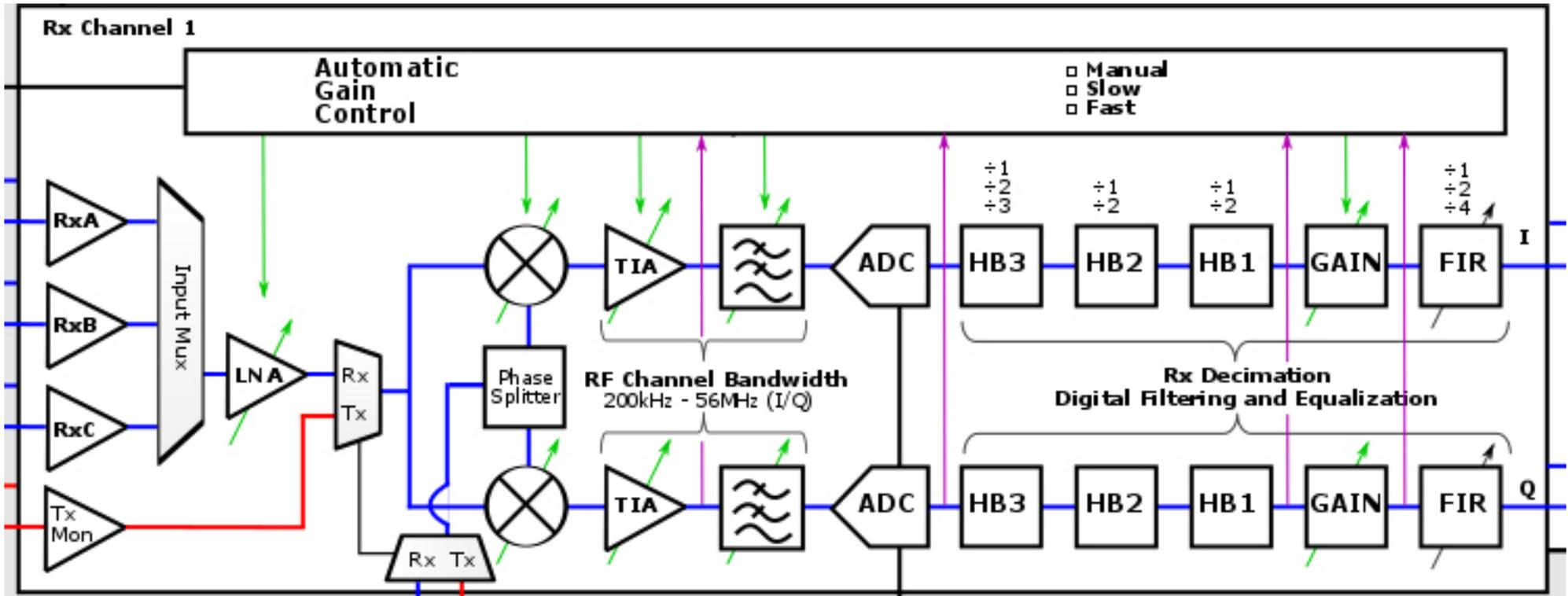
[<https://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/020708qex013.pdf>]

Ettus B200



[www.ettus.com]

ADALM-PLUTO

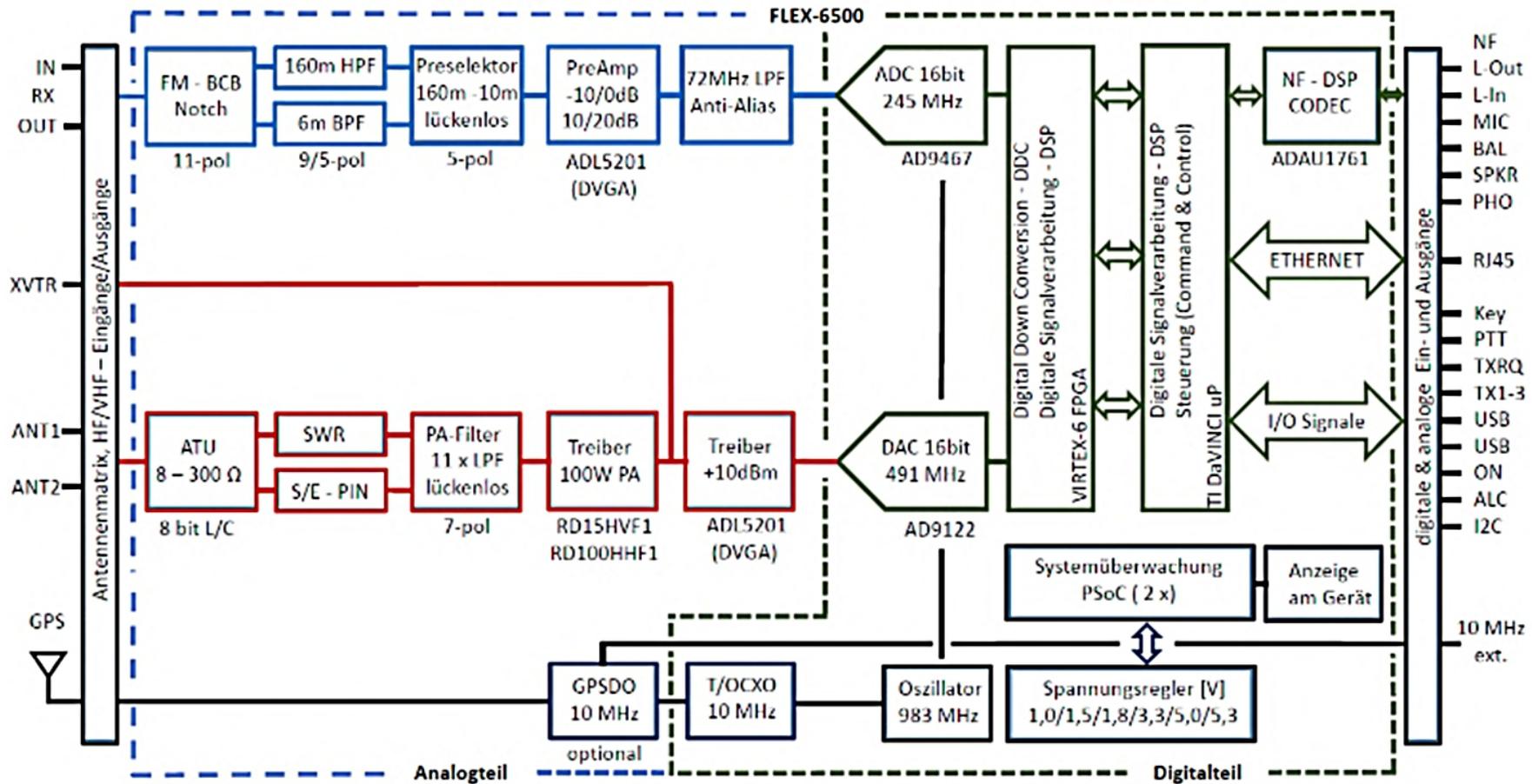


[www.analog.com)]



1.3.3 Direktabtastung des Eingangssignals (Direct Sampling)

Flex-6500, Flexradio



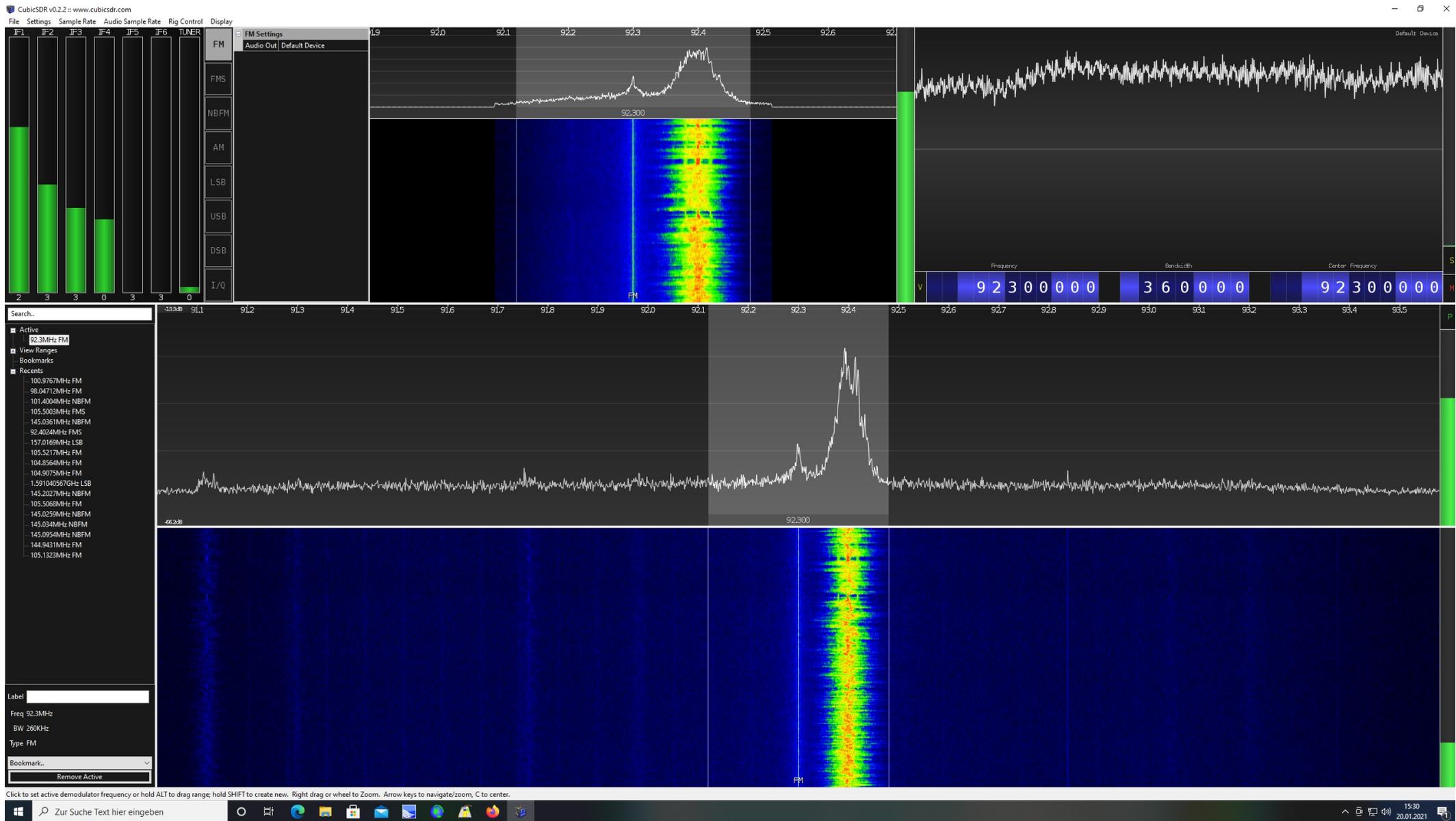
[FLEX-6000 Signatur Serie FLEX-6000 Hardware- Referenzhandbuch]

1.4 Für GNU-Radio geeignete Geräte

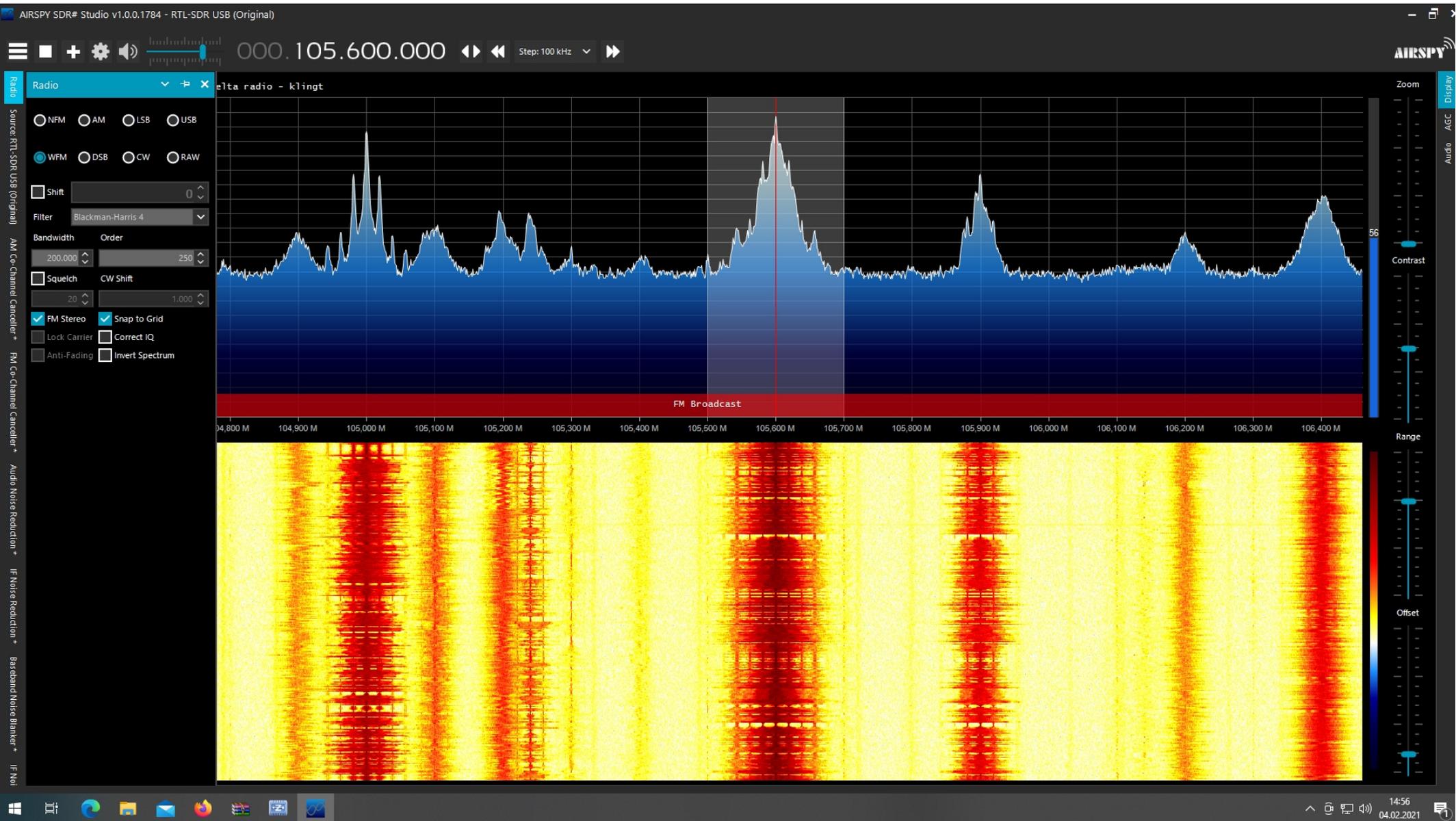
Modell	XTRX CS	USRP B200	BladeRF	Lime SDR	RTL-SDR	ADALM Pluto	New Horizons	Hack RF One
Frequenzbereich	30 MHz-3,7 GHz	60 MHz-6 GHz	300 MHz-3,8 GHz	0,1 MHz-3,8 GHz	22 MHz-2,2 GHz	325 MHz-3,8 GHz	70 MHz-6 GHz	1 MHz-6 GHz
ADC-Auflösung/Bit	12	12	12	12	8	12	12	8
HF-Bandbreite/MHz	120	56	28					
Sendeleistung/dBm	10	>10	6	10	-	7	9,7	0-15
Bus-Bandbreite /Gbit/s	10	5	5	5	0,48	0,48	0,48	0,48
Preis/\$ (ca.)	260	700	415	299	40	250	220-640	90-300

[<https://wiki.gnuradio.org/index.php/Hardware>]

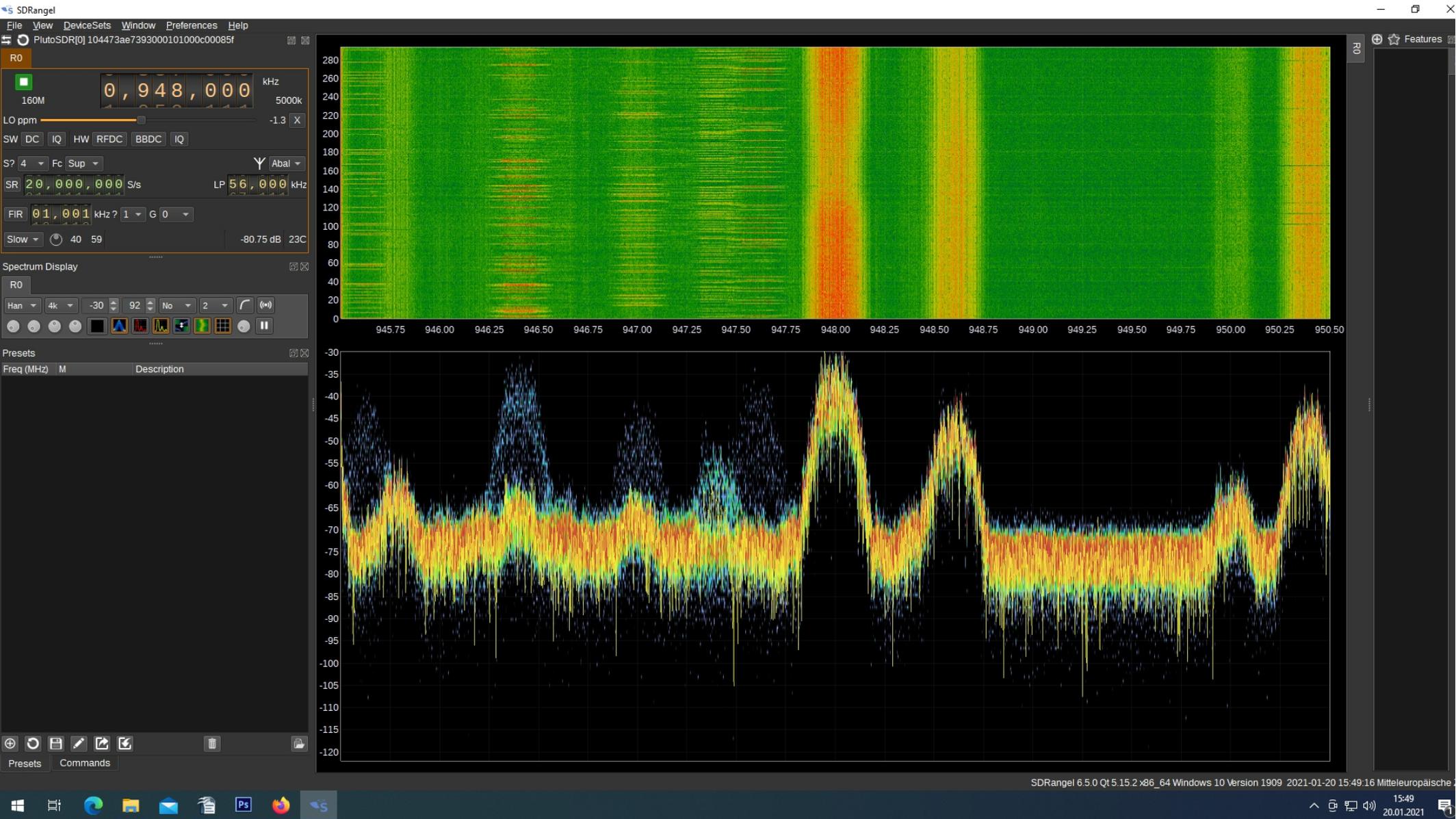
1.5 RTL-Stick (NooElec E4000 NESDR XTR)



RTL-SDR-Stick Original



1.6 ADALM-PLUTO



Jochem Berlemann
DK2FT

QRA-Locator JO44SM



Ortsverband M13

✓ This version (07 Jul 2020 16:08) was **approved** by Robin Getz.
The [Previously approved version](#) (25 May 2019 16:15) is available.

Windows Drivers

There are different aspects of the software for the ADALM-PLUTO and ADALM2000:

- device drivers, which allows your PC to properly set up communication between your PC and the actual device, and
- application code, like MATLAB, Simulink, [GNU Radio](#), iio-oscilloscope (aka osc), or scopy.

To install the drivers, it's a simple matter of downloading and running the driver installer.

✓ This download should support all of : Windows 10, Windows 8.1, Windows 8, Windows 7 Service Pack 1. If you run into issues, please [let us know](#).

- [Windows USB drivers for PlutoSDR and M2k \(Windows 32-bit / 64-bit\)](#)

✓ This version (30 Nov 2019 21:53) was **approved** by Robin Getz.
The [Previously approved version](#) (14 Feb 2019 13:45) is available.

Linux Drivers

Make sure the following modules are installed in your kernel:

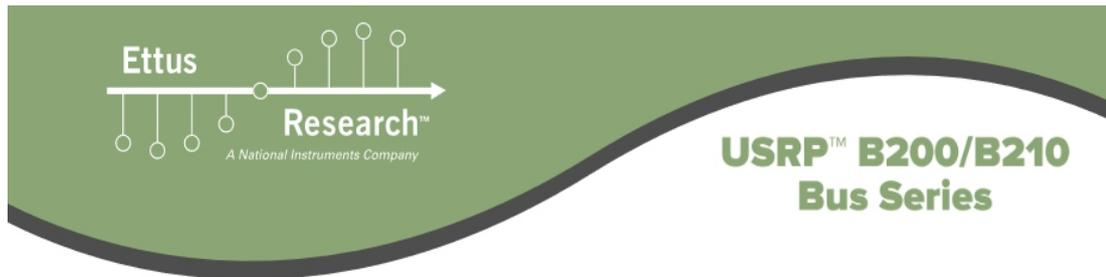
- cdc-acm,cdc_ether
- rndis_host
- rndis_wlan
- usbnet

On most modern distributions - these will be installed/compiled by default. It should just be a simple matter to plug the [USB](#) cable into your Linux machine. We have tested and verified on these distributions:

- Ubuntu 16.04 LTS
- Red Hat Enterprise Linux 7 ¹⁾
- SUSE Linux Enterprise Desktop 12 ²⁾
- Debian 8.x
- Debian 9.1
- SUSE Leap 15
- SUSE Leap 15.1



1.7 ETTUS B200



FEATURES

- RF coverage from 70 MHz – 6 GHz
- GNU Radio, C++ and Python APIs
- USB 3.0 SuperSpeed interface
- Standard-B USB 3.0 connector
- Flexible rate 12 bit ADC/DAC
- Grounded mounting holes



USRP B200

- 1 TX & 1 RX, Half or Full Duplex
- Xilinx Spartan 6 XC6SLX75 FPGA
- Up to 56 MHz of instantaneous bandwidth
- USB Bus powered

USRP B210

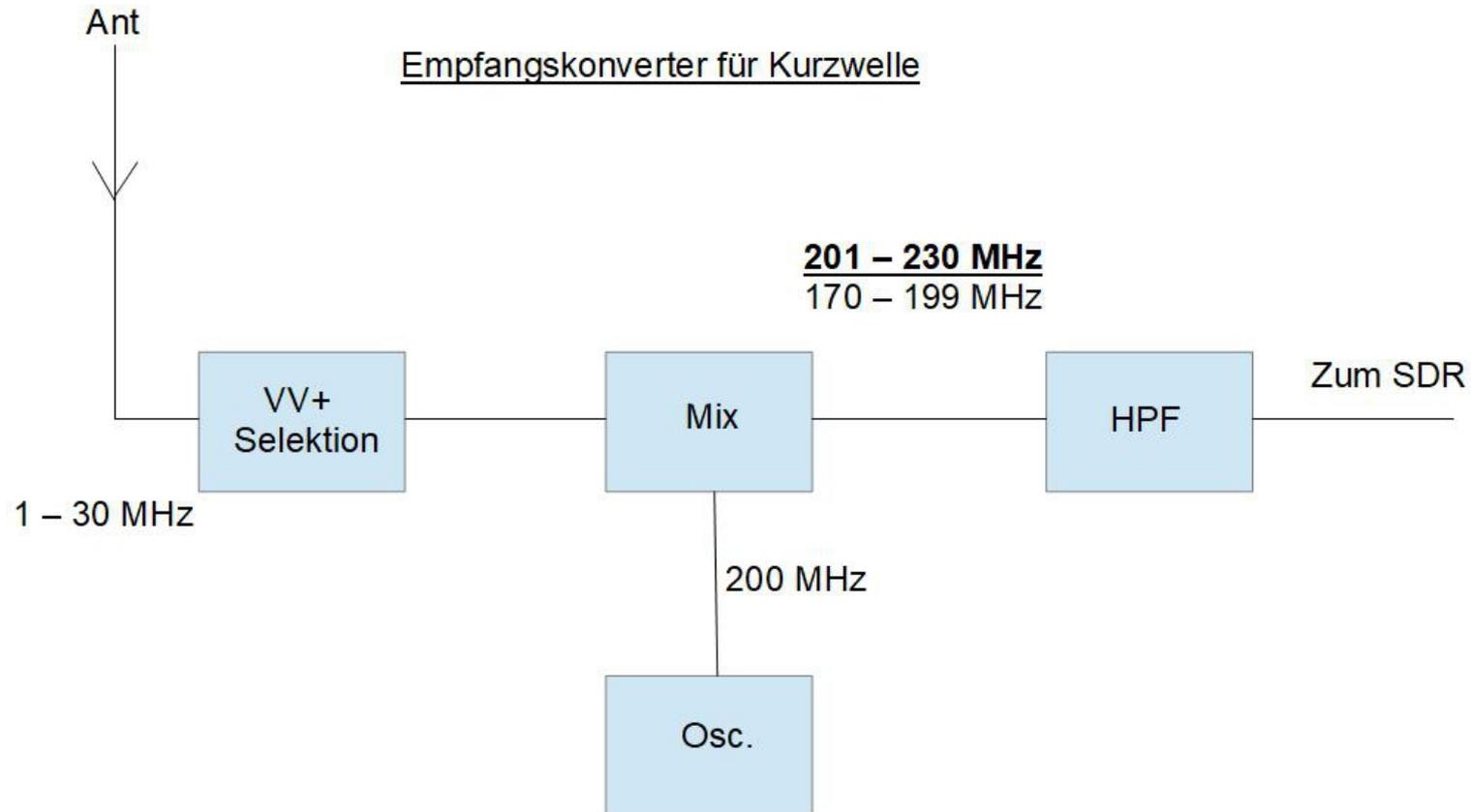
- 2 TX & 2 RX, Half or Full Duplex
- Fully-coherent 2x2 MIMO capability
- Xilinx Spartan 6 XC6SLX150 FPGA
- Up to 56 MHz of instantaneous bandwidth in 1x1
- Up to 30.72 MHz of instantaneous bandwidth in 2x2
- Includes DC power supply
- GPIO capability

Additional Resources

- [USRP B200/B210 User Manual](#)
- [USRP B200/B210 Knowledge Base](#)
- [USRP B200/B210 FAQ](#)
- [USRP Hardware Driver \(UHD\) API Documentation](#)
- [UHD Stable Binaries](#)
- [UHD Source Code on Github](#)
- [FPGA Resources](#)
- [AD9364 Product Page](#)
- [Xilinx Spartan-6 Product Page](#)

Die Hardware für GNU-Radio unter LINUX!

1.8 SDR-Erweiterungen mit Standard-Baugruppen



1.8.1 Synthesizer

Max 2871E, 23,5 MHz – 6 GHz (300 €)



MAX2871EVKIT#

Datenblatt [↓](#)

Digi-Key Teilenummer	MAX2871EVKIT#-ND
Hersteller	Maxim Integrated
Hersteller-Teilenummer	MAX2871EVKIT#
Beschreibung	EVAL BOARD FOR MAX2871
Standardlieferzeit des Herstellers	6 Wochen
Detaillierte Beschreibung	- Frequenzsynthesizer For Use With MAX2871
Kundenreferenz	<input type="text" value="Kundenreferenz"/>

Preise & Beschaffung

6 Artikel auf Lager
Kann sofort versendet werden
Lagerbestand des Herstellers [?](#): 2

MENGE

Zu Warenkorb hinzufügen

Dokumente & Medien

Datenblätter	MAX2870-71 Eval Kits MAX2871
RoHS-Informationen	Halogen Certificate Red Phosphorous Certificate Maxim RoHS3 Statement
Design-Ressourcen	Auswahlhilfe für Entwicklungstools MAX2871 BOM
HTML-Datenblatt	MAX2871 MAX2870-71 Eval Kits

Alle Preise verstehen sich in EUR.

PREISREDUZIERUNG	STÜCKPREIS	GESAMTPREIS
1	251,53000	€251,53

STÜCKPREIS

€251,53000	€299,32070
Ohne MwSt.	Mit MwSt. ?

[<https://www.maximintegrated.com/en/products/comms/wireless-rf/MAX2870.html>]

ADF 5355 + EVAL SDPCS1Z Evaluation Board , 54 MHz – 13,6 GHz (450 €)

RF Settings

Set Reference and PFD frequency
 Reference freq.: 122.880000 MHz Divider: 1 Doubler: /2 Automatic Manual

$$\left(\frac{\text{INT}}{\text{MOD2}} + \frac{\text{FRAC1}}{\text{MOD2}} + \frac{\text{FRAC2}}{\text{MOD2}} \right) \times \text{PFD (MHz)} = \text{VCOout (MHz)}$$

Actual VCO output: 6800 MHz
 VCO output error: 0 MHz

Register 0
 Autocal: Enabled
 Prescaler: 4/5

Register 3
 SD Load Reset: Disabled
 Phase Resync: Disabled
 Phase Adjust: Disabled
 Phase: 0

Register 4
 Muxout: Digital Lock
 Double buff: Disabled
 CP current: 0.900
 REFin Mode: Differential
 Mux level: 3.0 V
 PD Polarity: Positive
 Powerdown: Disabled
 CP 3-state: Disabled
 Counter reset: Disabled

Register 7
 LE Sync: REFin
 LD Cycles: 1024
 LOL Mode: Disabled
 Frac-N LD Prec: 5.0 ns
 LD Mode: Frac-N

Register 9
 Autotest fastest calibration
 VCO Band Div.: 26
 Timeout: 103
 ALC Timeout: 30
 Synth. Lock Timeout: 12
Total cal. time: 2840.592 μs
 Show/hide calculations

Register 10
 ADC Clock: 154
 Frequency: 99.417 kHz
 ADC Conversion: Enabled
 ADC Enable: Enabled

0x	2006E0	0x	3	0x	35012076	0x	1A19FCC9	0x	41C
Write R0		Write R3		Write R6		Write R9		Write R12	
0x	AD5551	0x	32008B84	0x	12000007	0x	C026BA	Write All Registers	
0x	8006002	0x	800025	0x	102D0428	0x	61300B	In order: 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1	

Device in use: ADF5355
 Software version: 0.52.0

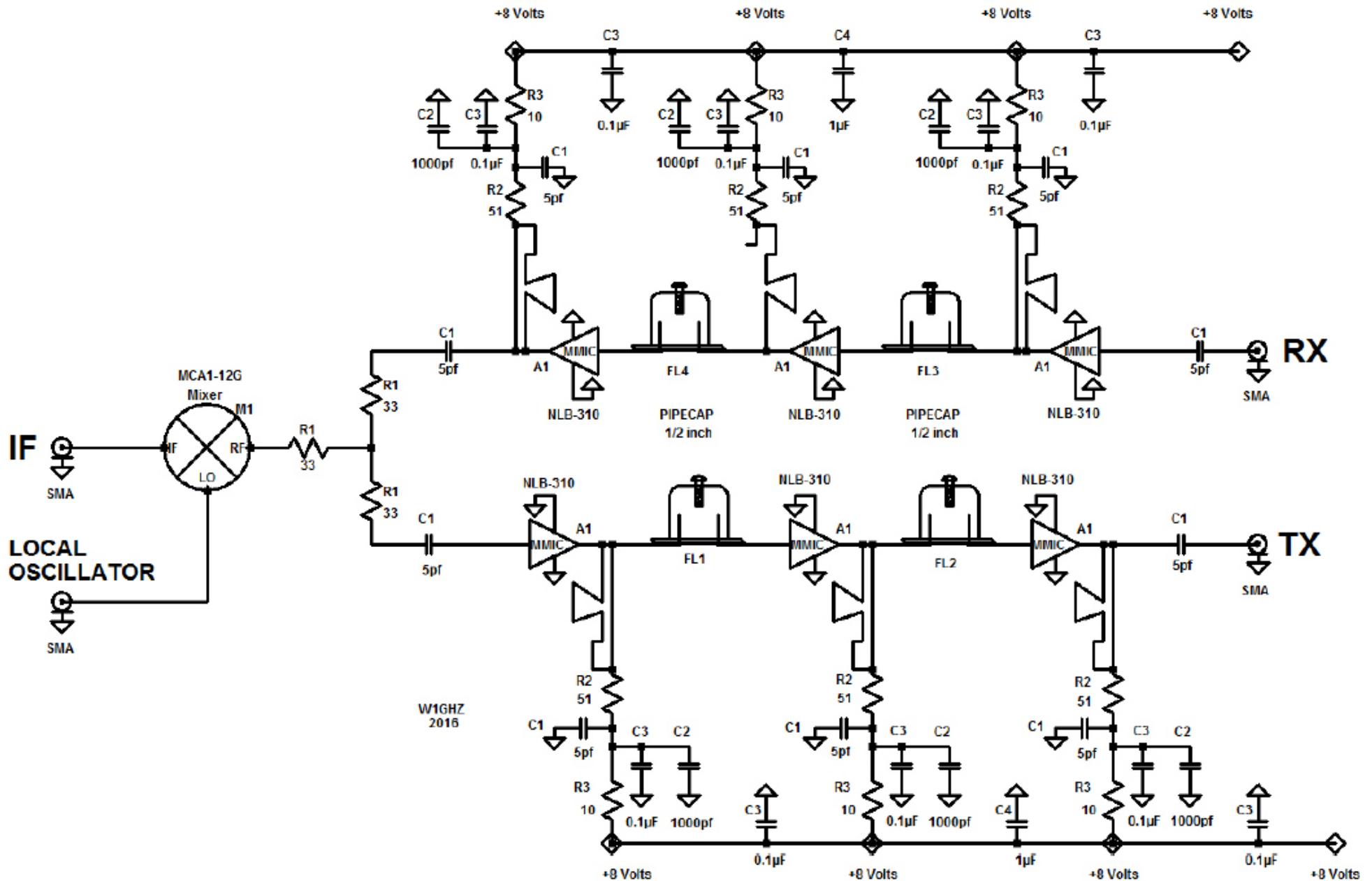
SDP board connected. Using connector A

Figure 5. Software Front Panel Display—Main Controls

[https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/EV-ADF4355-2SD1Z_UG-804.pdf]

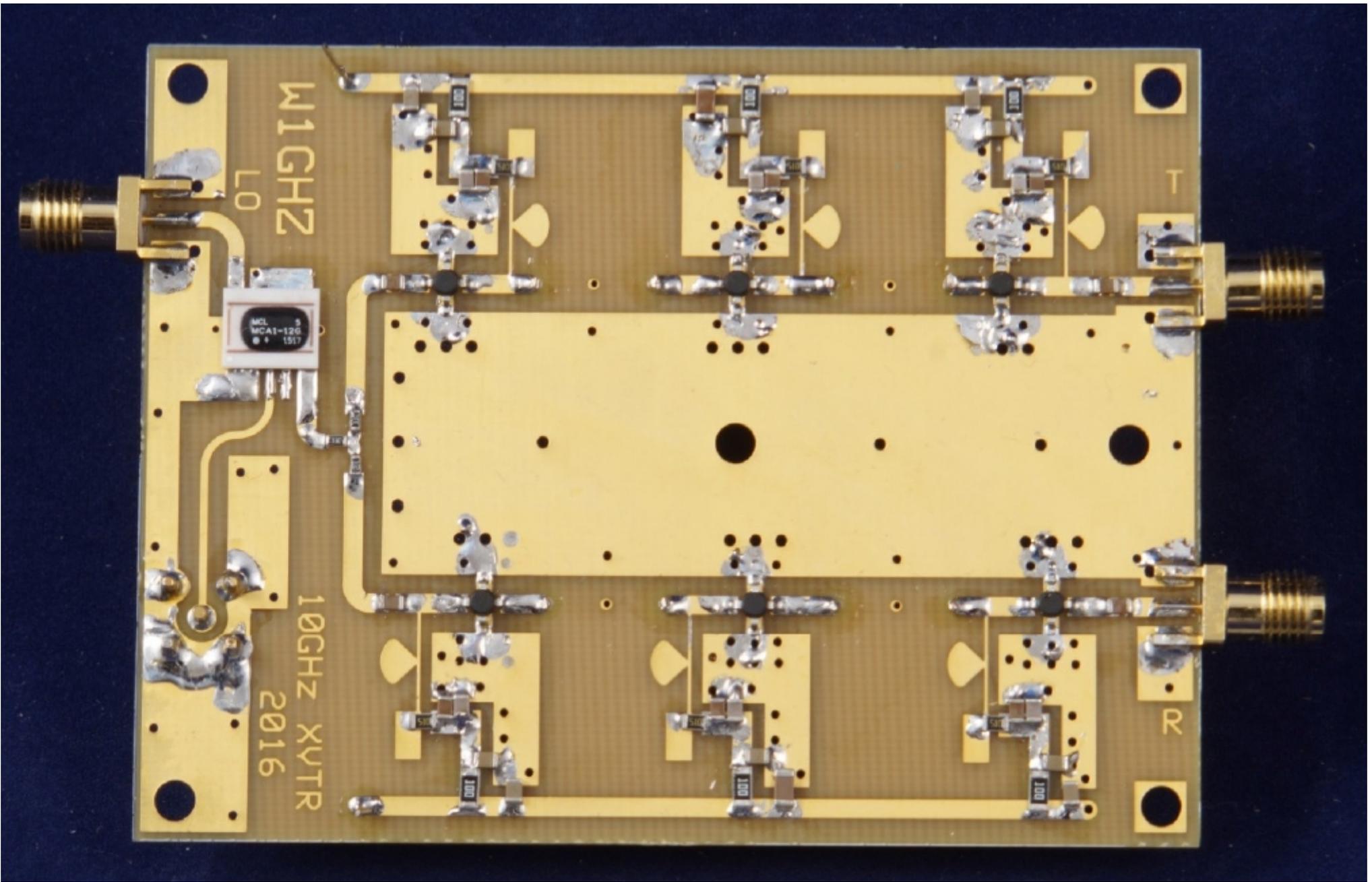


10368 MHz TRANSVERTER



[w1ghz@arrl.net]





[w1ghz@arrl.net]

Jochem Berlemann
DK2FT

QRA-Locator JO44SM



Ortsverband M13

1.8.2 Breitbandverstärker

<https://www.ebay.com/itm/182380400671>



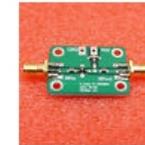
0.1-2000MHz RF
Wideband Amplifier...
\$5.31
+ \$1.86 shipping



0.1-2000MHz RF
Wideband Amplifier...
\$5.31
+ \$1.86 shipping



0.1-2000MHz RF
Amplifier 30dB Low...
\$5.26
+ \$1.86 shipping



30dB low-noise LNA
Broadband Module...
\$5.31
+ \$1.86 shipping



0.1-2000MHz RF Wideband Amplifier 30dB low-noise LNA Broadband Module Receiver

Condition: New

Bulk savings:

Buy 1
\$5.31/ea

Buy 2
\$5.20/ea

Buy 3
\$5.15/ea

Quantity: 4 or more for \$5.10/ea

10 available / 600 sold

Price: **US \$5.31/ea**

Buy It Now

Add to cart

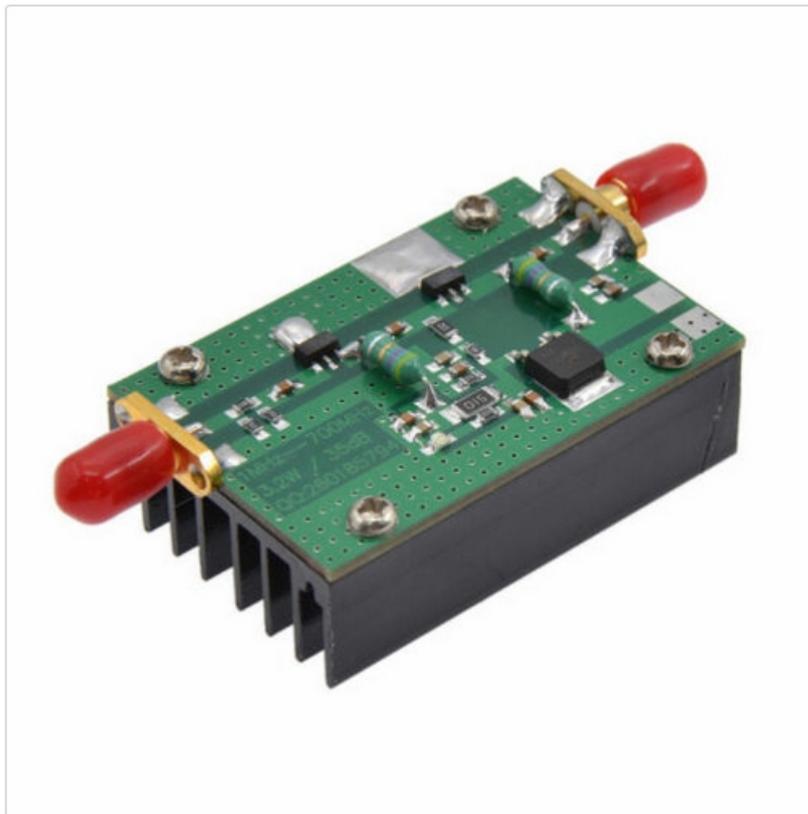
Best Offer:

Make Offer

♥ Add to Watchlist

[ebay.com]

SAVE UP TO 5% WHEN YOU BUY MORE



1MHz-700MHz 3.2W HF VHF UHF FM trans For Ham Radio

Condition: **New**

Bulk savings:

Buy 1
\$18.88/ea

Buy 2
\$18.50/ea

Sale ends in: 02d 23h 06m

Quantity:

2 available / **62 sold**

Price: **US \$18.88/ea**

Unit Price ~~US \$19.87~~ Save 5%

Best Offer:

100% buyer satisfaction

62 sold

Shipping: **\$3.88** Standard SpeedPAK from C
International shipment of items may be subje

[ebay.com]

1.8.3 Breitbandmischer



[ebay.com]

0.1-500MHz High Frequency RF Mixer Dr Radio Converter

Condition: **New**

Quantity: More than 10 available /

Price: **US \$7.85**

Best Offer:

60-day returns

Shipping: **\$1.48** Economy SpeedPAK from I
International shipment of items may be sub

Item location: 深圳, 广东省, China

Ships to: United States, Europe, Canada, A

Delivery: **P** Estimated between **Tue, Feb**
Please note the delivery estima
Please allow additional time if ir
processing.



Besser: Schottky-Dioden-Ringmischer mit höherem IP aber schlechterer NF



<https://www.srginsider.ch/programmtipps/2020/04/29/horspielserie-kilroy-was-here/>

Noch Fragen ????