

# SDR Grundlagen und Anwendungen im Amateurfunk

OE5RNL  
Ing. Reinhold Autengruber  
oe5rnl@oevsv.at

Digitalreferent OE5  
Hamnetkoordinator OE5

# Software Defined Radio

## **Grundlagen/Geschichte der SDR Technik**

SDR was ist das ?

Wer hat's im Amateurfunk erfunden ?

## **Unterschiedliche SDR Konzepte**

Vom Superhet zum SDR

## **Das IQ Signal der Schlüssel zu allem**

Woher kommt das IQ Signal ?

Wozu brauche ich das überhaupt ?

## **Digitaler Downconverter**

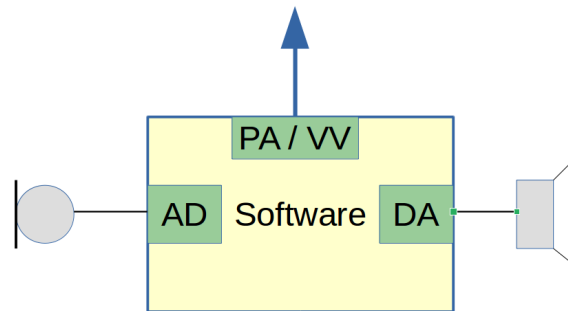
...oder warum SDR empfindlicher sein können

## **Anwendung im Amateurfunk**

mit praktisches Vorführung

# SDR was ist das ?

- Ein **S**oftware **D**efinded **R**adio ist :  
Ein Sender oder Empfänger oder beides der
  - Flexibel änderbar ist.
  - **UND** möglichst die ganz Siganlberarbeitung in der Software
  - Und digitaler Hardware erfolgt.



- Was das bedeutet erarbeiten wir uns nun !

# Geschichte der SDR Technik

- **Gibts in der Industrie schon lange – ist ein alter Hut**

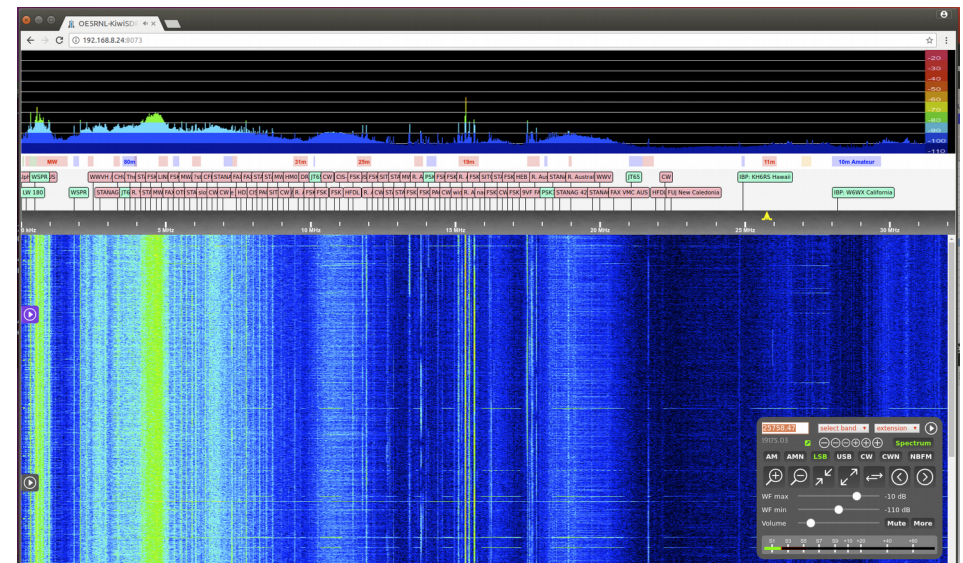
- *Fast alle Radios sind SDR Handy, etc*

- **Im Amateurfunk seit ca. 2002**

- „A Software-defined Radio for the Masses“ im QEX
    - Gerald Youngblood, AC5OG, W5SDR **open Source**
    - Daraus entstand der SDR100, dann der SDR1000
    - **UND PowerSDR !!!**
    - Flexnet Radio – closed Source

- **HPSDR (High Performance SDR)**

- Seit 2006
  - HPSDR Bussystem, Mercury Penelope, Hermes
    - Projektteam aus Australien, USA, England ...
    - **open Source open Hardware**
  - Komerzieller Ableger Apachel Labs
    - Derzeitiges Spitzengerät ANAN-8000DLE

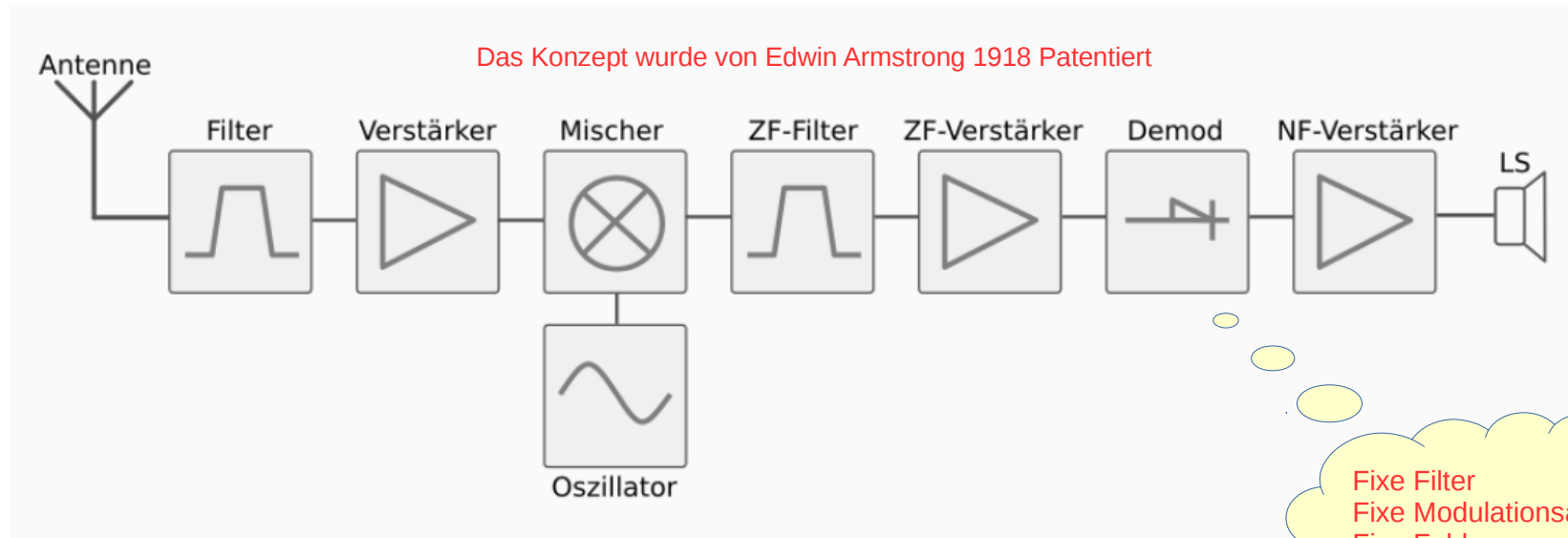


KIWI SDR

- **Heute gibt es am Markt natürlich viele andere Geräte – Closed Source und **OpenSource****

# Kein SDR - RX: Der Superhet

## Klassischer RX: Hardware Defined Radio



Fixe Filter  
Fixe Modulationsarten  
Fixe Fehler

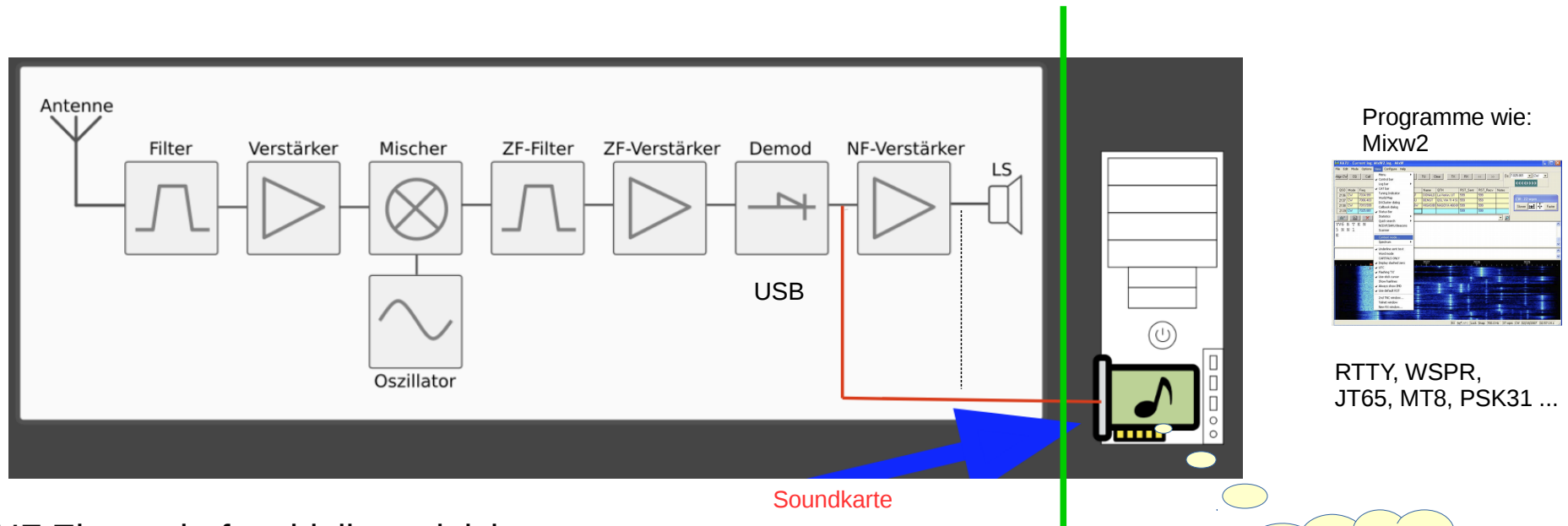
Die Qualität der Bauteile bestimmen die Qualität des RX und TX.

**Schwer zu ändern:** HW Filter in der ZF, Modulationsarten (meist nur AM, FM, SSB, CW)

Alterung der Bauteile verändern die Eigenschaften

# Der Superhet mit PC

Der erste Schritt zum SDR: Klassischer RX + PC mit Soundkarteninterface

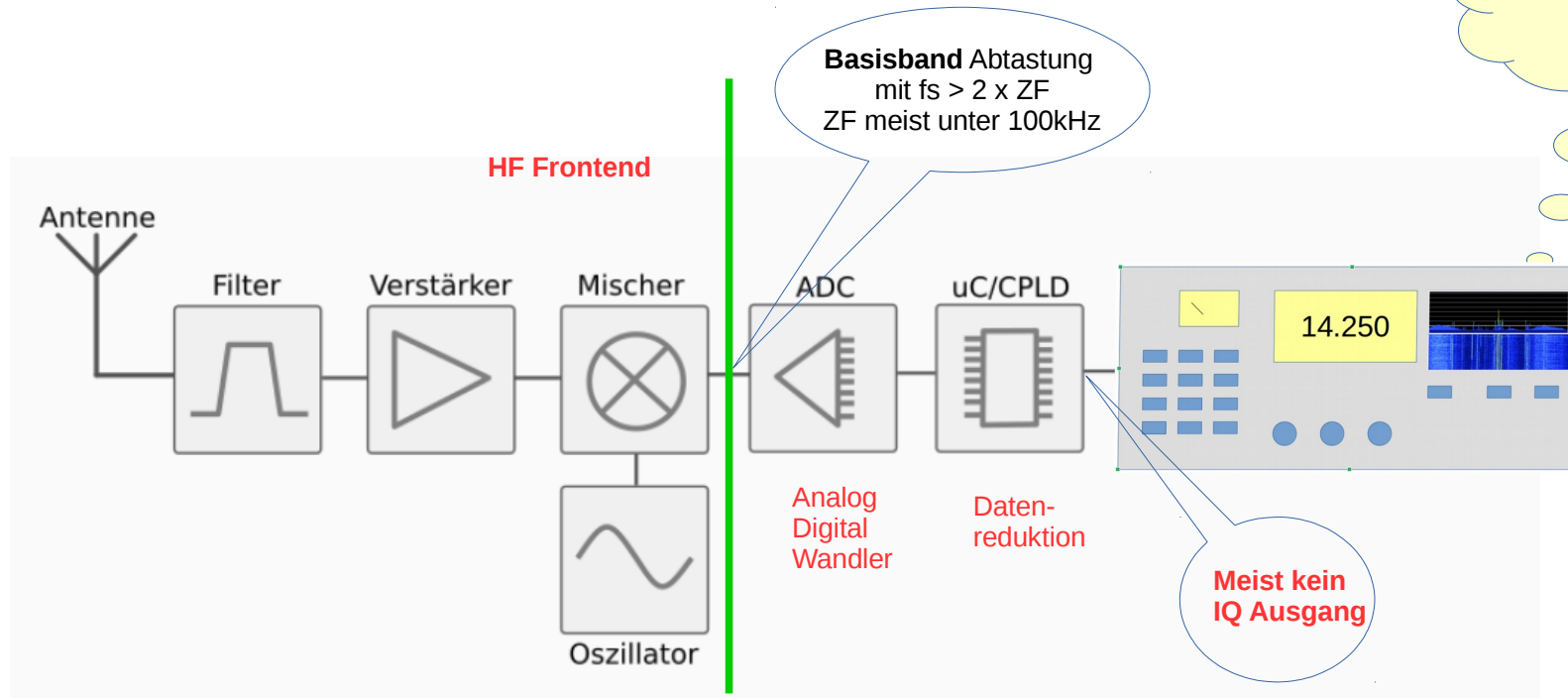


HF Eigenschaften bleiben gleich.  
Neue Modulationarten sind möglich z.B.: WSPR, PSK, JT65 FT8.  
Systemgewinn an Empfidlichkeit durch die Modulationsarten.  
Spektrum und Wasserfall wird durch die Bandbreite der Soundkarte bestimmt.  
Die Soundkarte ist der AD Wandler und bestimmt die Darstellungsbandbreite !

Meist „nur“  
bis zu 192 kHz  
Mono

# Noch kein „echter“ SDR

Der SDR „Standard“ bei den meisten klassischen Transceivern

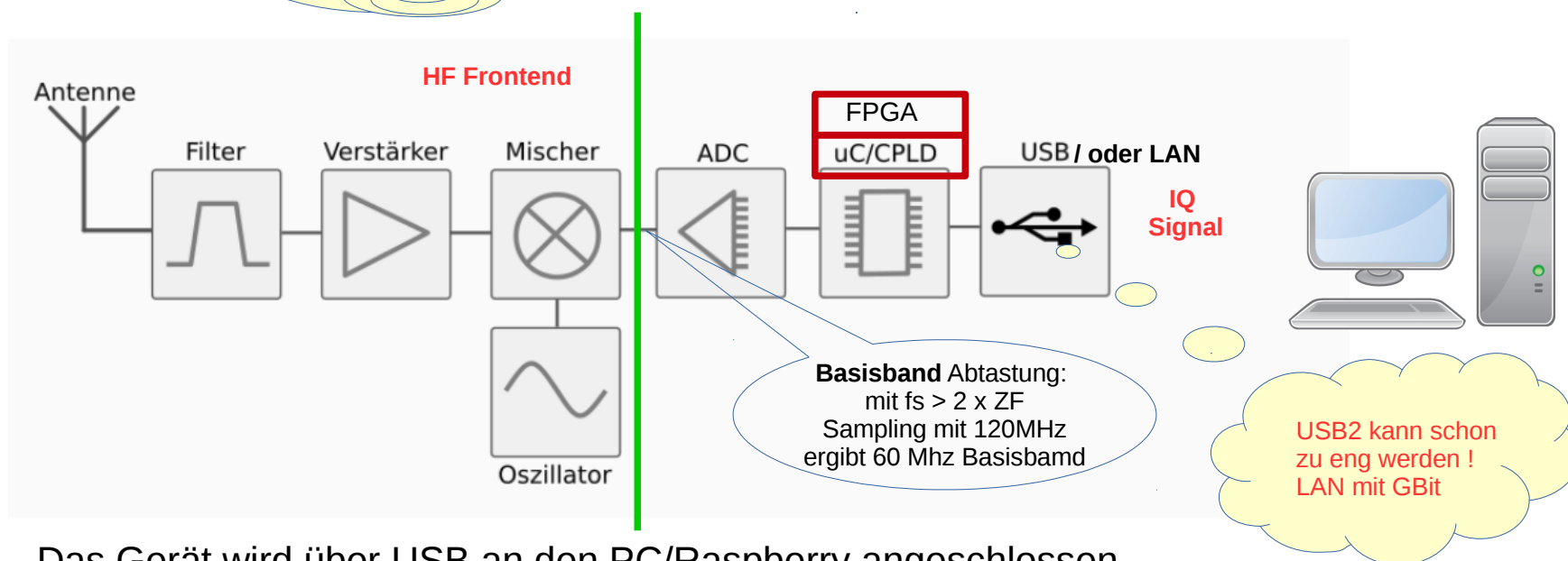


Hier wird bereits im Transceiver in der ZF digitalisiert. Relativ niedrige ZF.  
Die Geräte haben eine „normale“ Frontplatte – oder auch nicht bei TS2000X.  
Teilweise auch mit Wasserfall und Spektrumanzeige, aber mit geringer Bandbreite.  
Vorteil: Digitale Filter, weitere Modulationsarten wie **RTTY** und **CW Decoder**  
Nachteil: Nur über Firmwareupdates änderbar ?

# Fast schon ein „echter“ SDR

Braucht einen PC  
Hat aber noch einen echten HF Teil  
Geht dafür bis einige Ghz !!!

RTL Stick 1.7 Ghz (ohne cpld)  
Hack-RF 6 Ghz (cpld)  
Lime SDR 3,8 GHz (fpga) Dual RX/TX  
PlutoSDR 6 Ghz (fpga) Linux intern



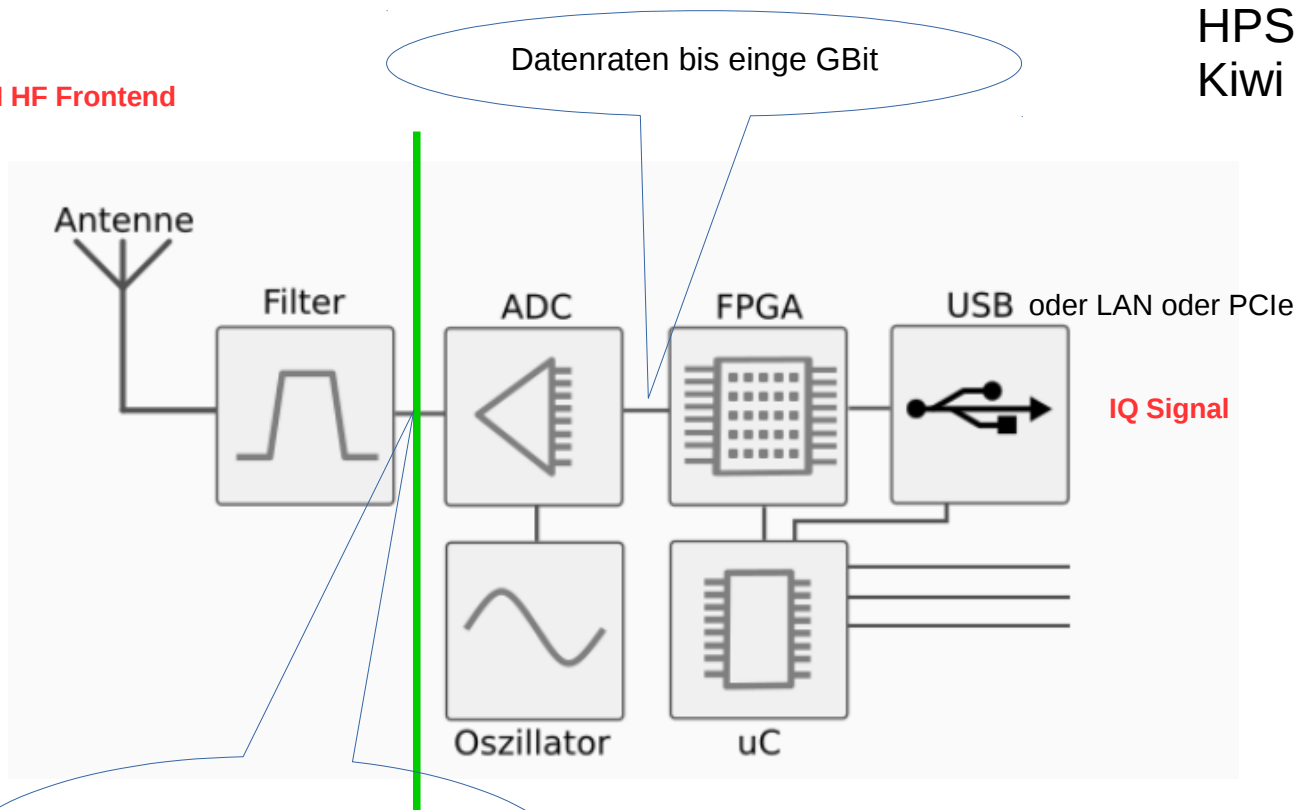
Das Gerät wird über USB an den PC/Raspberry angeschlossen.  
HF Eigenschaften werden stark durch Filter/Mischer/VCO bestimmt.  
Analog Digital Converter ( ADC ) bis 80 Mhz Basisbandbreite.  
Die eigentliche Signalverarbeitung erfolgt im PC/Raspberry → sehr Flexibel.  
Sehr viele Open Source Programme.



# Der „echte“ SDR

Beispiel:  
HPSDR (Mercury, Hermes)  
Kiwi

KEIN HF Frontend



Datenraten bis einige GBit

IQ Signal

HW Frontend IC7300

Web Frontend KIWI

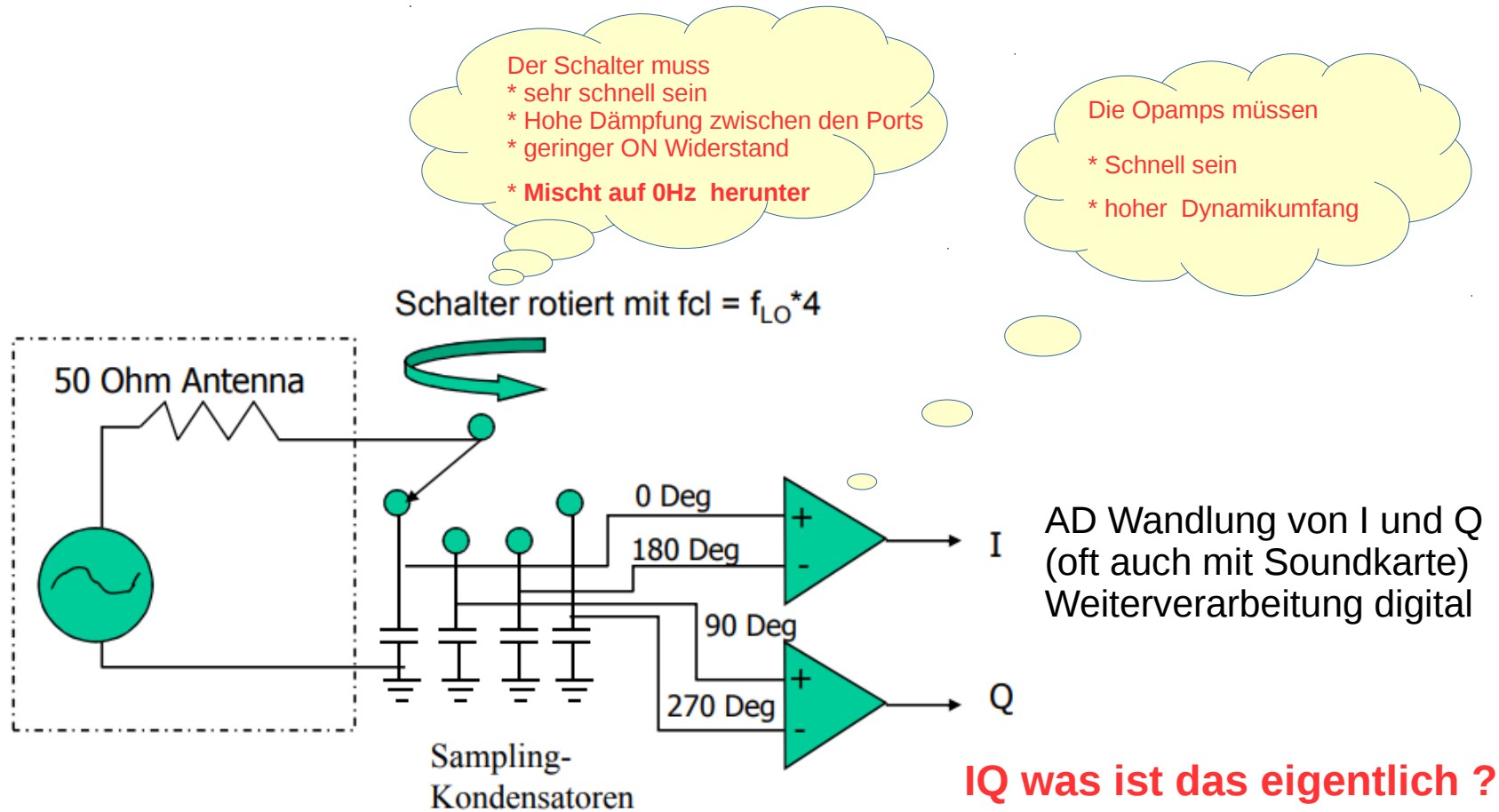
PC mit  
Windows  
Linux Programme

GNUradio

Abtastrate des ADC bis zu 500 Mhz  
Signalbandbreite bis 250 Mhz  
Anzeigebandbreite im Spektrum bis 60 MHz

# Tayloremischer

By Dan Tayloe



SDR1000, Elecraft KX3, KX2, McHF, Softrock, FA-SDR.  
Es lässt sich mit wenigen Bauteilen ein günstiger SDR aufbauen.  
Es werden jedoch zwei AD Wandler benötigt.

# Unterschiedliche SDR Konzepte

- Geräte ohne HF Frontend
  - Direktsampller (HF direkt am ADC)
  - Direktmischer (Taylorloemischer)
- Geräte mit HF Frontend
  - Direktsampller oder Direktmischer mit
    - HW Down/Up Converter (Superhet Prinzip)

Jetzt kommen 4 wirklich wichtige Folien !!!

# Der Weg zum IQ Signal

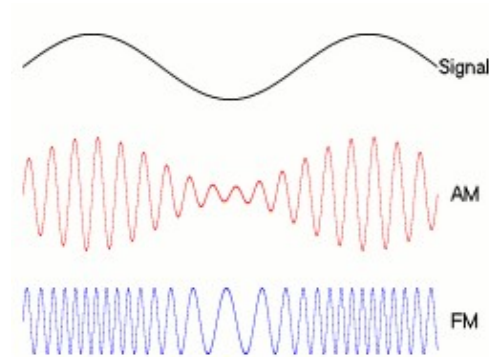
Die Erklärung erfolgt hier über die **Modulation/Demodulation** eines Trägers. Das funktioniert immer nach dem gleichen Prinzip, egal ob digital oder analog, auch ohne IQ ...

$$A_c \cos(2\pi f_c t + \phi)$$

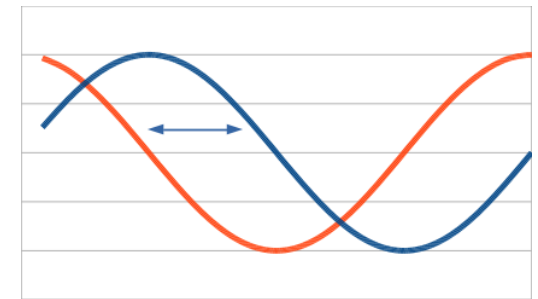
Amplitude      Frequency      Phase

Quelle: National Instruments

Angle  
(Frequency = Rate of Change of Angle)



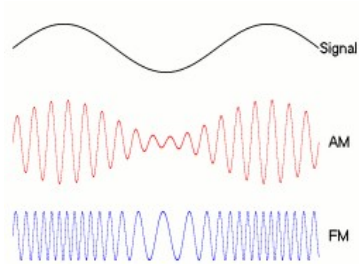
Quelle: Wikipedia



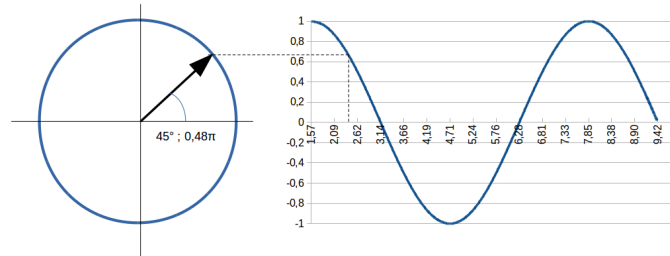
Phase

- Alle Modulationsarten basieren auf AM, FM, Phase und Kombinationen aus diesen.
- Es können auch gleichzeitig mehrere Träger auftreten. Das Prinzip bleibt auch dann gleich.

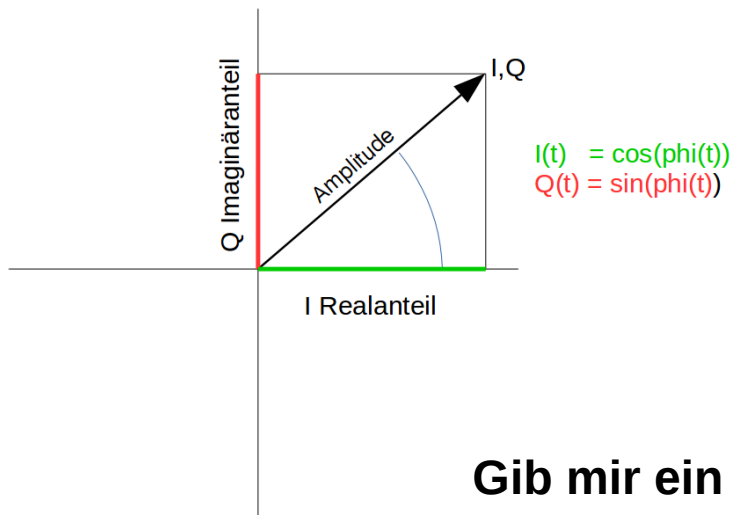
# IQ Signal Demodulation



Quelle: Wikipedia



Trägerschwingung



I & Q ist ein Zahlenpaar je Abtastpunkt des AD Wandlers der die Position des Modulationszeigers beschreibt

$t_0$		$t_1$		$t_2$		$t_3$	
I	Q	I	Q	I	Q	I	Q
100	100	250	-99	-23,77	500	-900	

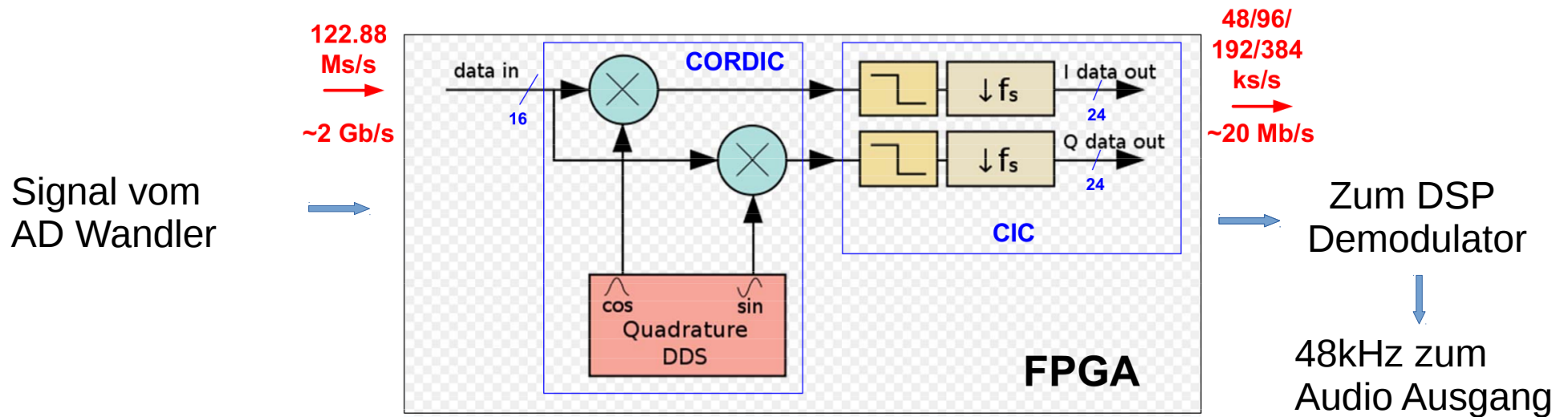
**Gib mir ein I und Q und ich demoduliere alles**

Beispiel AM:  $M(t) = \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2}$

Das Basisband IQ Signal wird von den meisten SDR über USB oder LAN ausgegeben.

# Digitale Signalverarbeitung I

Wo kommt den das IQ her ?



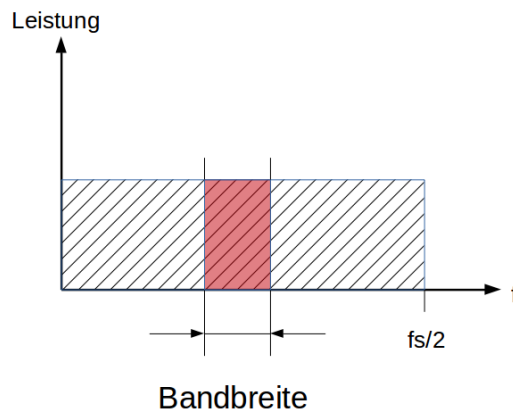
# Digitale Signalverarbeitung II

...oder warum SDR empfindlicher sein können !

SNR <> SFDR

$$SNR = 6,02n + 1,76 + 10 \log\left(\frac{f_s}{2B}\right)$$

↑
Bits des ADC
Systemgewinn



- SNR möglicher Signal Rauschabstand
- n Anzahl der Bits des Analog-Digital Wandlers
- fs Abtastfrequenz des Analog Digital Wandlers
- B genutzte Bandbreite

Beispiel:

Bits des ADC = 14  
 SNR ohne Systemgewinn = 85 dB

Samplefrequenz fs = 20 Mhz  
 Bandbreite = 3 kHz

**Systemgewinn = 36 dB**  
 SNR Summe = 121 dB

**Den Effekt kennt man auch vom normalen Empfänger.  
 Schmälerer Filter → weniger Rauschen.**

Durch das Sampeln mit höherer Frequenz ergibt sich ein Systemgewinn.

# Zusammenfassung I

- Es gibt SDR mit HF Frontend
  - Die haben einen Mischer vor dem AD Wandler
- Ein Sonderfall ist der Tayloemischer
  - Er mischt direkt auf 0 Hz herunter
- Es gibt SDR Directsampller
  - Haben maximal ein Filter oder Vorverstärker vor dem AD Wandler
- AD Wandler tasten (sampeln) mindestens mit der doppelten Geschwindigkeit der gewünschten Basisband Bandbreite ab.
  - Diese Bandbreite kann dann maximal im Spektrum oder Wasserfall angezeigt werden.



# Zusammenfassung II

- Über die „IQ Schnittstelle“ wird das ganze gesampelte Eingangssignal an z.B.: dem PC zur Demoulation geliefert.
- Modulationsarten bauen immer auf AM, FM, PH auf.
- Das IQ representiert den Modulationsinhalt eines Trägersignals.
- Der AD Wandler und die Software legen den möglichen SNR und Dynamikumfang fest.

# Live Demonstrationen

# Openwebsdr / KIWI SDR

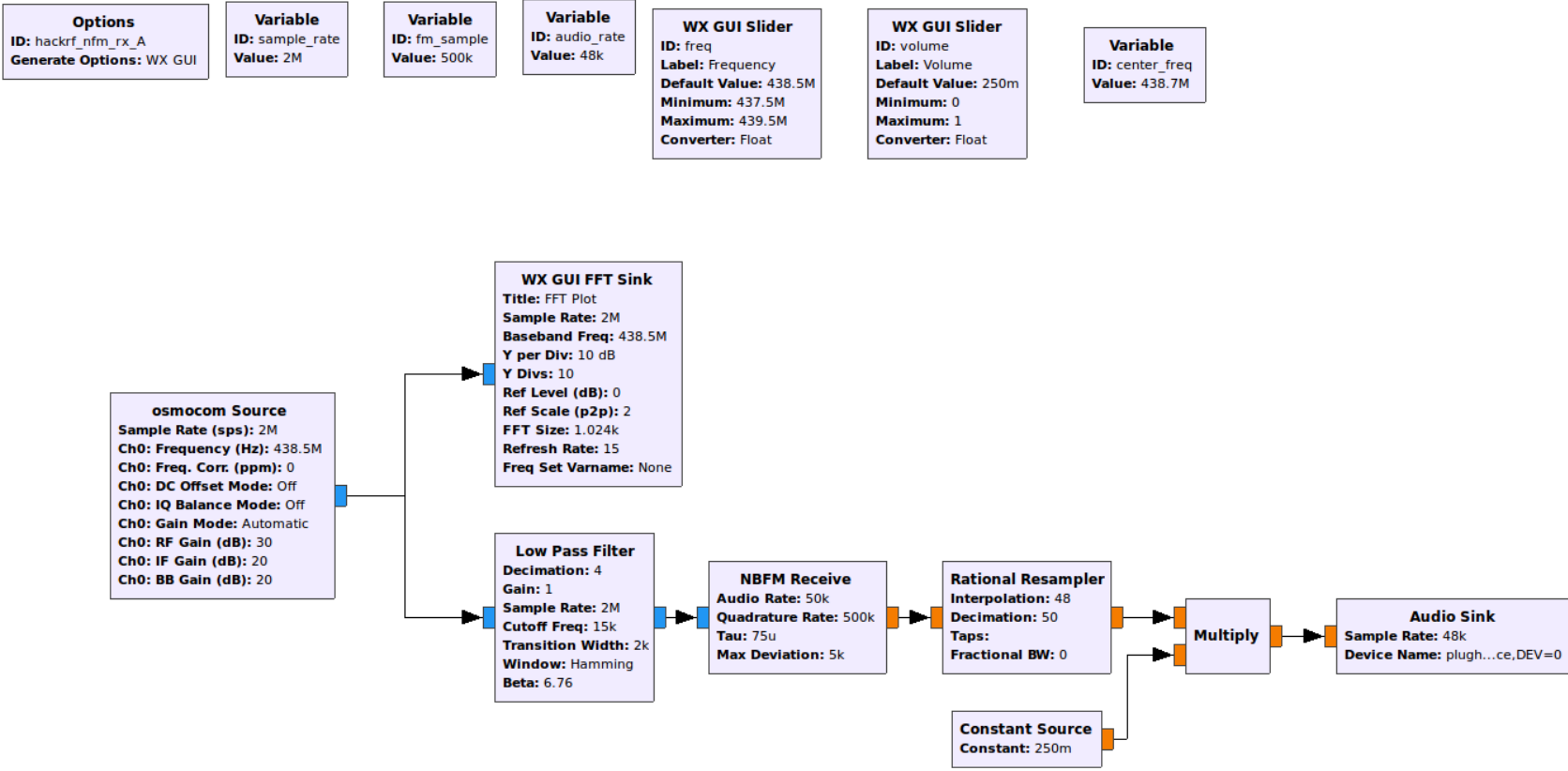
- Aufbauend auf [openwebrx](#) von ha7ilm (Andreas Retzler)
- Viele Empfänger im Netz
  - [Www.sdr.hu](http://www.sdr.hu)
- Openwebsdr 3D Wasserfall !!!
  - <http://openwebrx.kpnn.ru:8073/>
- KiwiSDR
  - WebInterface
  - 4 Empfänger gleichzeitig
  - WSPR Decoder

# GnuRadio Companion (1)

- Infos und Download: <https://www.gnuradio.org/>
- Lego für Funkamateure
- Ermöglicht das „spielen“ mit der SDR Technologie unter Windows und Linux
- Unterstützt SDR Hardware verschiedenster Hersteller
  - RTL Stick, HackRF, LimeSDR, PlutoSDR ...
- Gezeigt wird in der Demo
  - WFM Receiver, NFM Receiver, NFM Transmitter

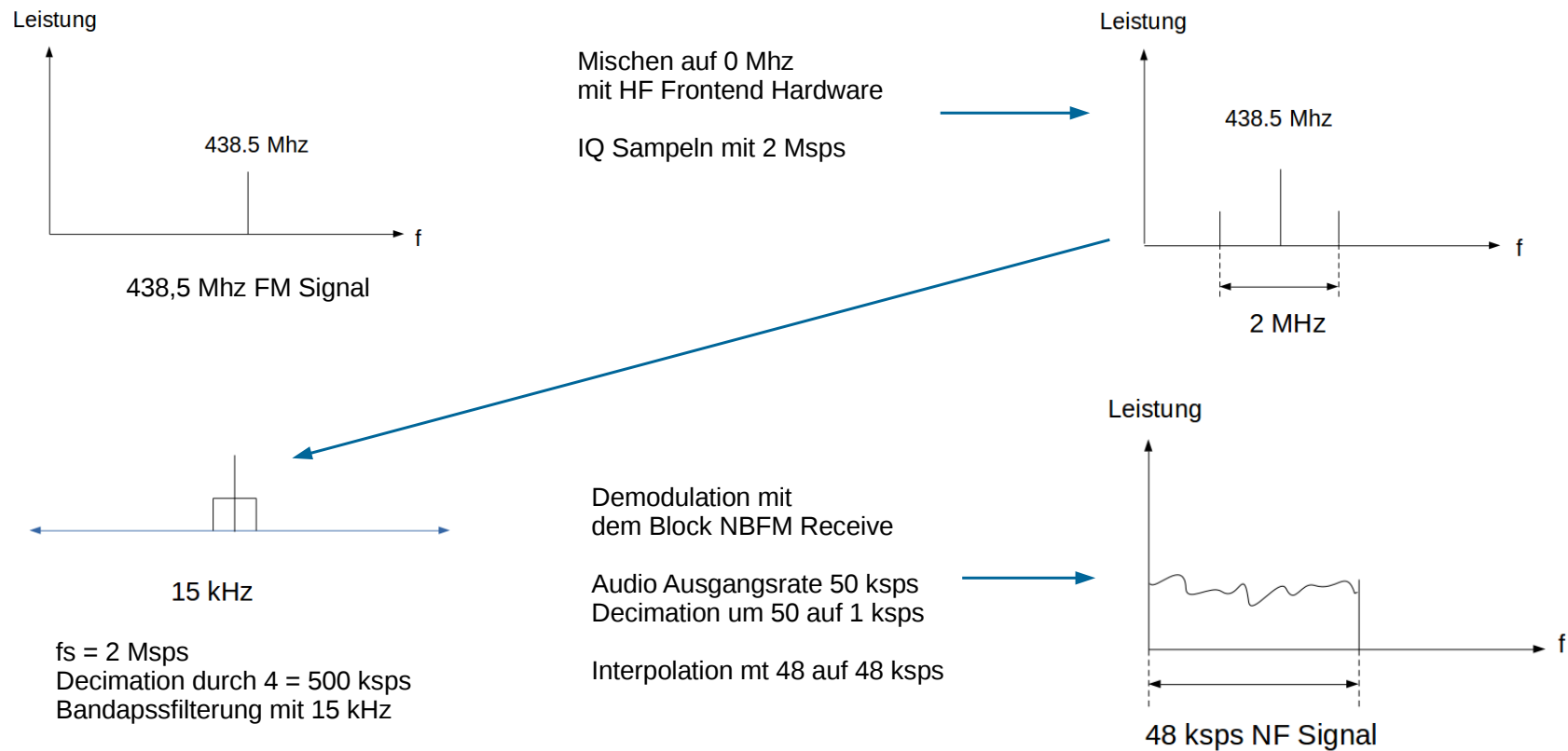
# Gnuradio Companion (3)

## 438,5 MHz Beispiel NFM Demodulation



# Gnuradio Companion (2)

## 438,5 MHz Beispiel NFM Demodulation

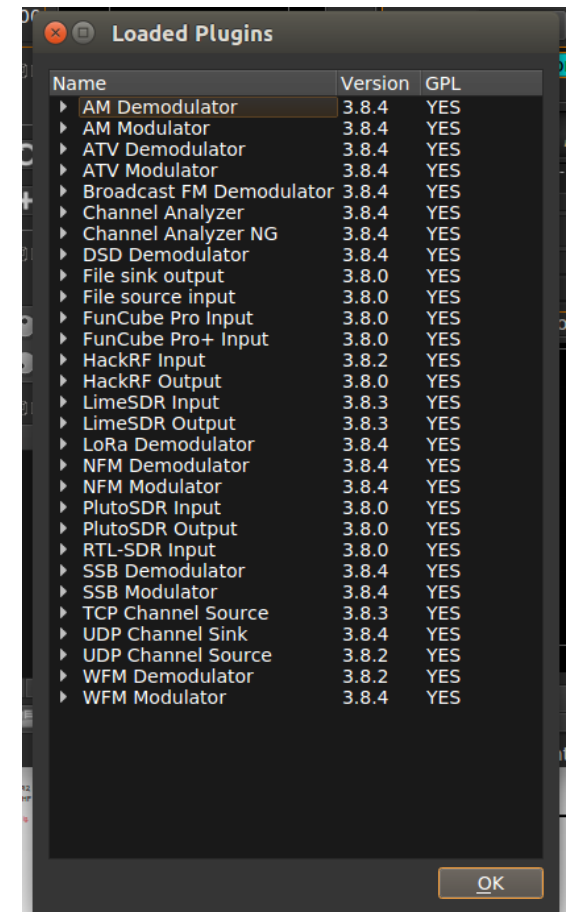


# qtcsdr

- Qtcsdr wurde von ha7ilm (Andreas Retzler) entwickelt.
  - Er hat mit openwebrx die Grundlage für den KIWI SDR geschaffen.
  - Von ihm kommt die Kommandozeilen SDR Software csdr.
- RX über RTL-Stick.
- TX über mit rpitx von F5OEO am Raspberry GPIO Pin 18 !!!
  - **BANDPASS Filter am Ausgang ZWINGEND notwendig.**
  - **Der Raspberry gibt ein Rechtecksignal aus !!!**
- SDR Signalverarbeitung mit csdr.
  - RX und TX Zweig.
- <https://github.com/ha7ilm/qtcsdr>

# SDR Angel

- Infos auf <https://github.com/f4exb/sdrangel>
- Demo mit LimeSDR
  - <https://myriardrf.org/projects/limesdr/>
- Über Plugins erweiterbar
- Unterstützt div. SDR Hardware
- Modulationsarten
  - Ebenfalls über Plugins





# Raspberry Pi als Sender

- Infos auf: <https://github.com/F5OEO/rpitx>
- rpitx ist ein Sender für den Raspberry PI(B, B+, PI2, PI3 und PI zero).
- Er sendet direkt über eine GPIO Leitung – ohne HF Teil !
- Im Bereich von 5 KHz up to 500 Mhz.
  - BANDPASS Filter am Ausgang ZWINGEND notwendig.
  - Der Raspberry gibt ein Rechtecksignal aus !!!

- `git clone https://github.com/F5OEO/rpitx`
- `cd rpitx`
- `# make sure to have access to the internet to download packages`
- `# or download and install them manually (libsndfile1-dev and imagemagick)`
- `./install.sh`
- 
- GPIO 18, means Pin 12 of the GPIO header
-

Danke  
für die Aufmerksamkeit

# ANHANG

# Kenngrossen / Kriterien

- Ist ein SDR immer ein „gutes“ Funkgerät ?
  - Nein – muss nicht sein. „Schlechte“ Hf Frontends Software gibt's auch hier ....
- DR      Dynamikbereich
- MDS     Minimum Detectable Signal
- SFDR    Spurious-free dynamic range
- SNR     Signal Noise Ratio
-

# Links und Infos (I)

- <https://www.hamspirit.de/5347/warum-software-defined-radio-aus-meiner-sicht-so-spannend-ist/>
- <https://df4or.blogspot.co.at/2015/06/sdr-eine-einfuehrung.html>
- <https://www.mikrocontroller.net/topic/334071>
- <http://www.ni.com/tutorial/4805/en/>
- [https://elearning.physik.uni-frankfurt.de/data/FB13-PhysikOnline/lm\\_data/lm\\_281/modul\\_2/teil\\_6/node40.html](https://elearning.physik.uni-frankfurt.de/data/FB13-PhysikOnline/lm_data/lm_281/modul_2/teil_6/node40.html)
- <https://github.com/simonyiszk/csdrr>
- <https://github.com/ha7ilm/qtcsdr>  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Software\\_Defined\\_Radio](https://de.wikipedia.org/wiki/Software_Defined_Radio)

# Links und Infos (II)

- <https://myriadr.org/blog/digital-video-transmission-using-limesdr-gnu-radio/>