

# SDR Grundlagen und Anwendungen im Amateurfunk

OE5RNL  
Ing. Reinhold Autengruber  
oe5rnl@oevsv.at

Digitalreferent OE5  
Hamnetkoordinator OE5

Version 2.0

# 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

## **Fortgeschrittene Anwendung im Amateurfunk**

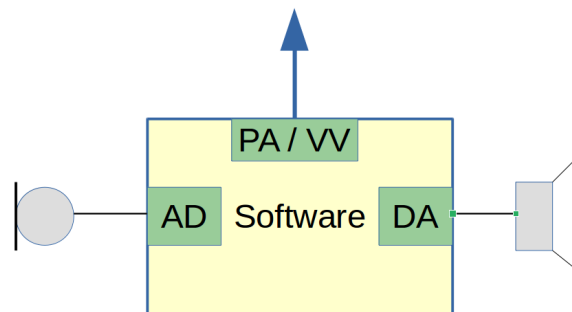
mit praktisches Vorführung

# 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 Signalverarbeitung in der Software und in digitaler Hardware erfolgt



Und wie das funktioniert erarbeiten wir uns jetzt!

# Geschichte der SDR Technik

- **SDR gibt es in der Industrie schon lange – ist ein alter Hut**

*Fast alle Radios wie TV, Handy, etc. sind SDR*

- **Im Amateurfunk seit ca. 2002**

„A Software-defined Radio for the Masses“ im QEX

Gerald Youngblood, AC5OG = W5SDR

Daraus entstand der SDR100, dann der SDR1000

UND die Software PowerSDR **open Source !!!**

Kommerzielle Firma Flexnet Radio – closed Source

Derzeitiges Spitzengerät FLEX-6700

- **HPSDR (High Performance SDR)**

Projektstart März 2006.

HPSDR Bussystem, Mercury+Penelpe, Hermes

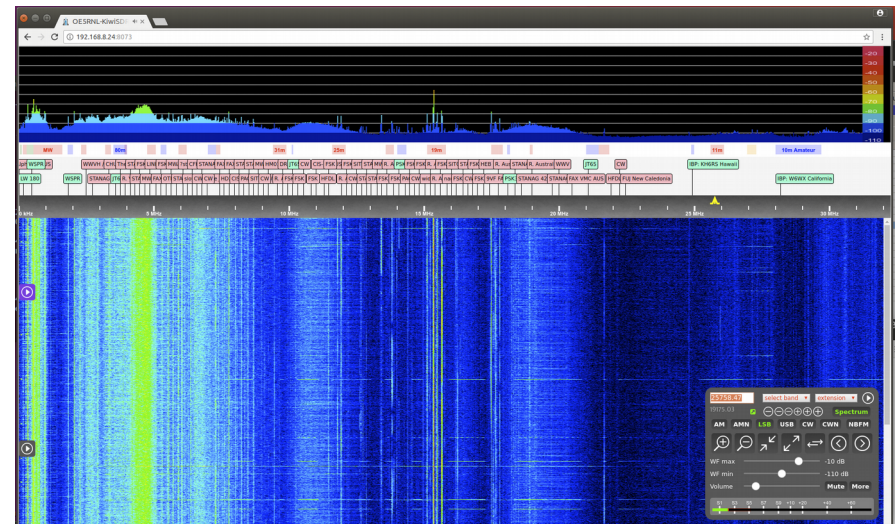
Projektteam aus Australien, USA, England ...

**Open Source open Hardware**

Kommerzieller Ableger Apache Labs

Derzeitiges Spitzengerät ANAN-8000DLE

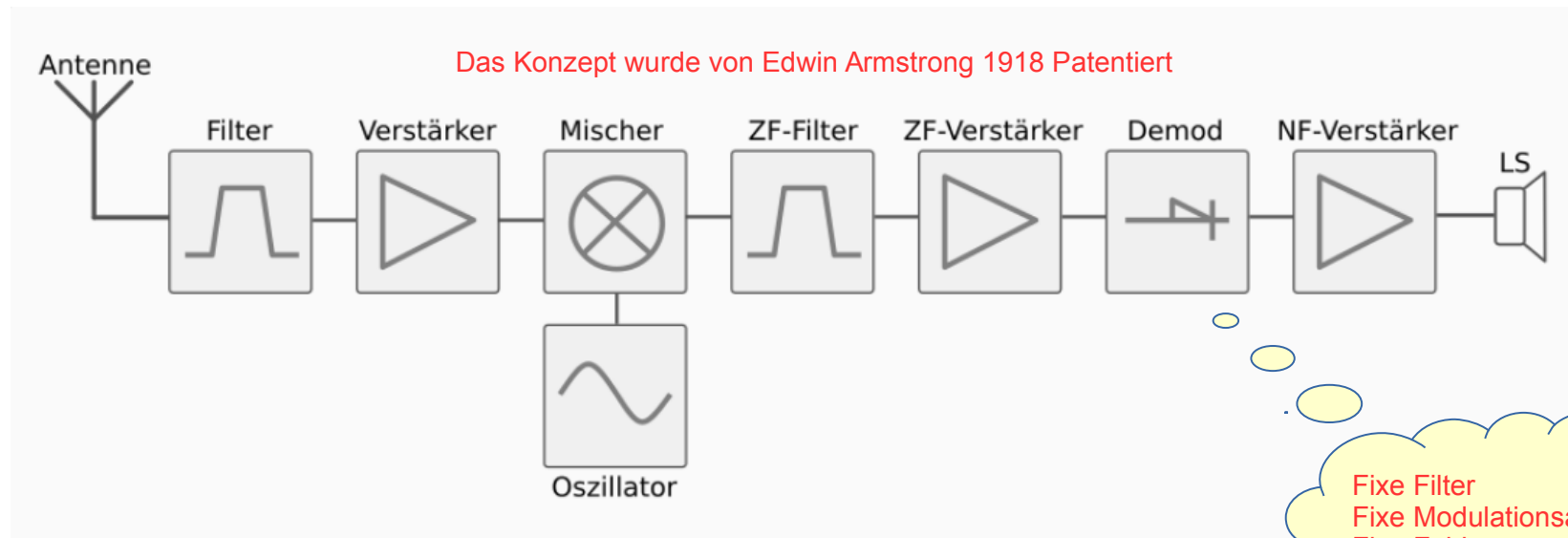
**Heute gibt es am Markt natürlich viele andere SDR Systeme – Closed Source und **OpenSource****



KIWI SDR

# Kein SDR-RX: Der Superhet

## Klassischer RX: Hardware Defined Radio

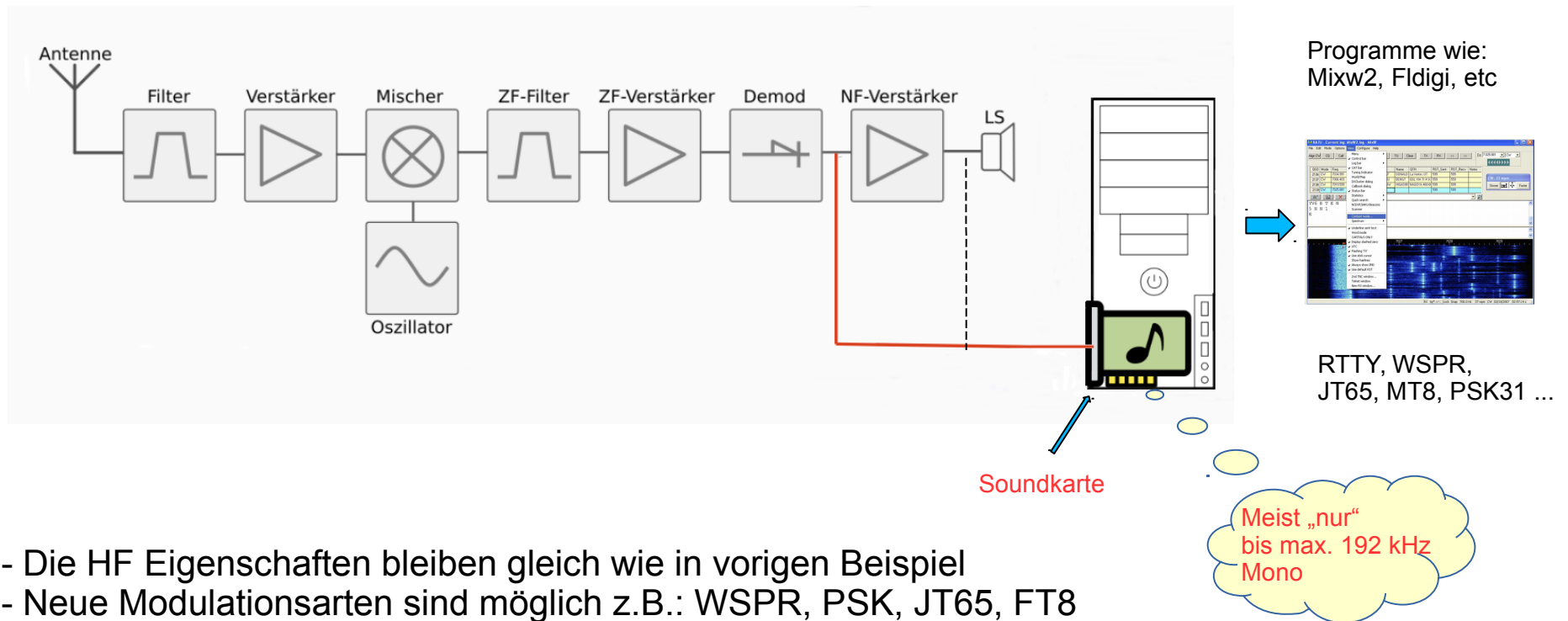


Fixe Filter  
Fixe Modulationsarten  
Fixe Fehler

- Die Qualität der Bauteile bestimmt die Qualität des RX und TX
- **Schwer zu ändern:** HW Filter, fixe Modulationsarten (meist nur AM, FM, SSB, CW)
- Die Alterung der Bauteile verändert die Eigenschaften des RX

# Der Superhet mit PC

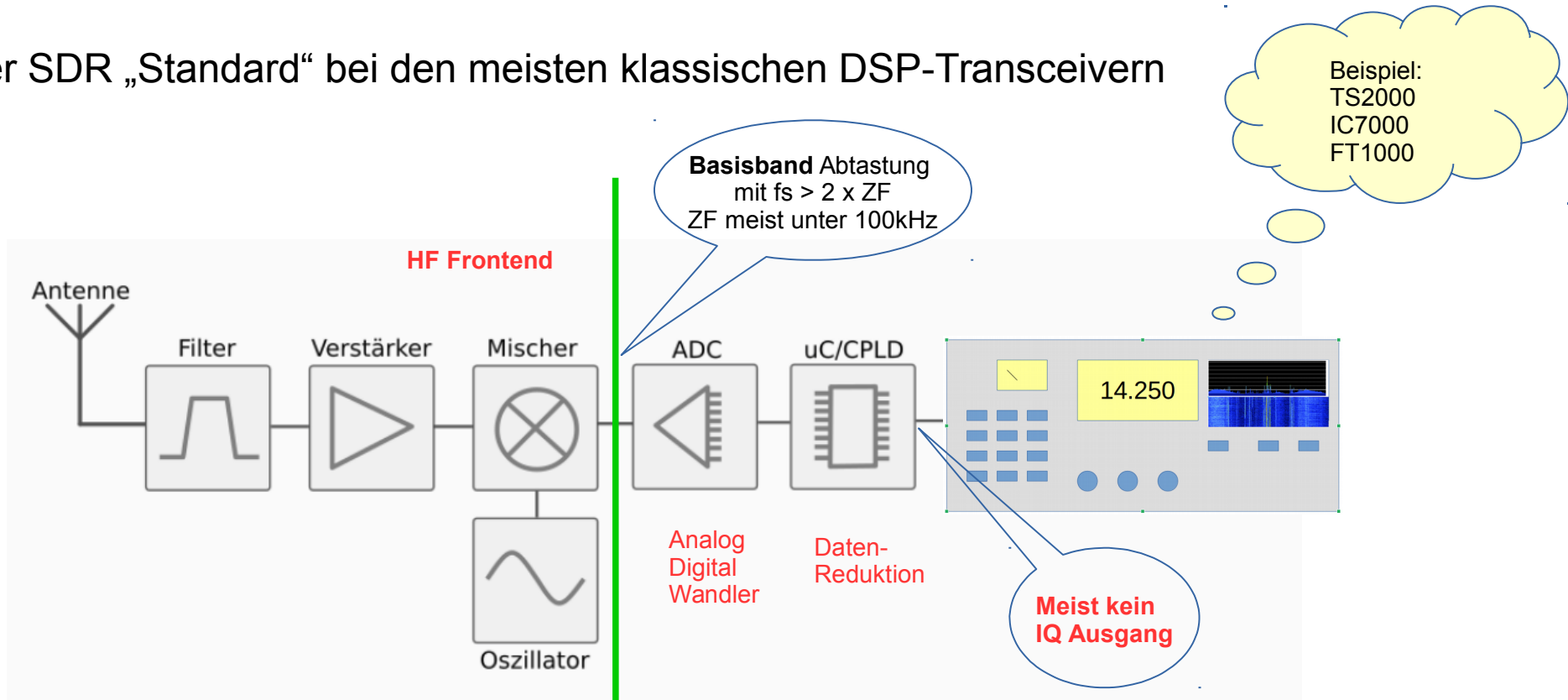
Der erste Schritt zum SDR: Klassischer RX + PC mit Soundkarteninterface



- Die HF Eigenschaften bleiben gleich wie in vorigen Beispiel
- Neue Modulationsarten sind möglich z.B.: WSPR, PSK, JT65, FT8
- Der Systemgewinn an Empfindlichkeit folgt aus den Modulationsarten
- Spektrum- und Wasserfalldarstellung wird durch die Bandbreite der Soundkarte bestimmt
- Die Soundkarte ist der AD Wandler und bestimmt auch die Darstellungsbandbreite

# Noch kein „echter“ SDR

Der SDR „Standard“ bei den meisten klassischen DSP-Transceivern

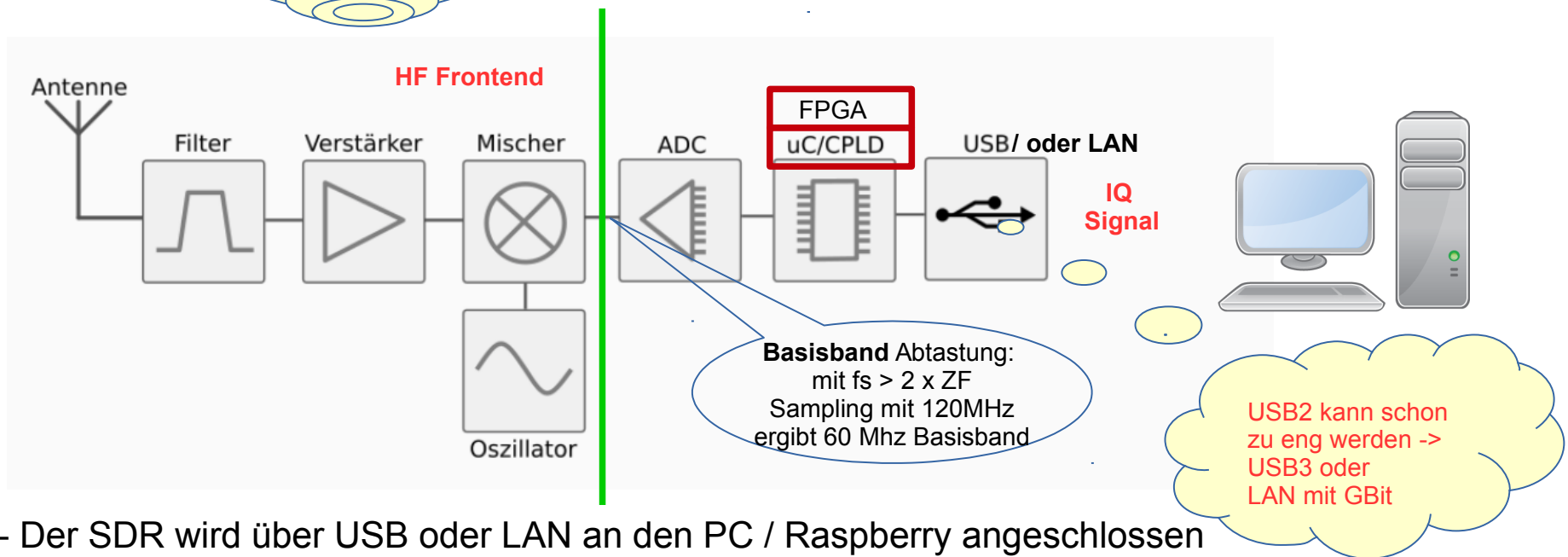


- Hier wird bereits im Transceiver bei einer relativ niedrigen ZF digitalisiert
- Die Geräte haben eine „normale“ Frontplatte – oder auch nicht ->TS2000X
- Teilweise auch mit Wasserfall und Spektrum Anzeige, aber mit geringer Anzeirebandbreite
- **Vorteil:** Digitale Filter, weitere Modulationsarten wie RTTY und CW Decoder direkt integriert
- **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  
Und viele Andere ...

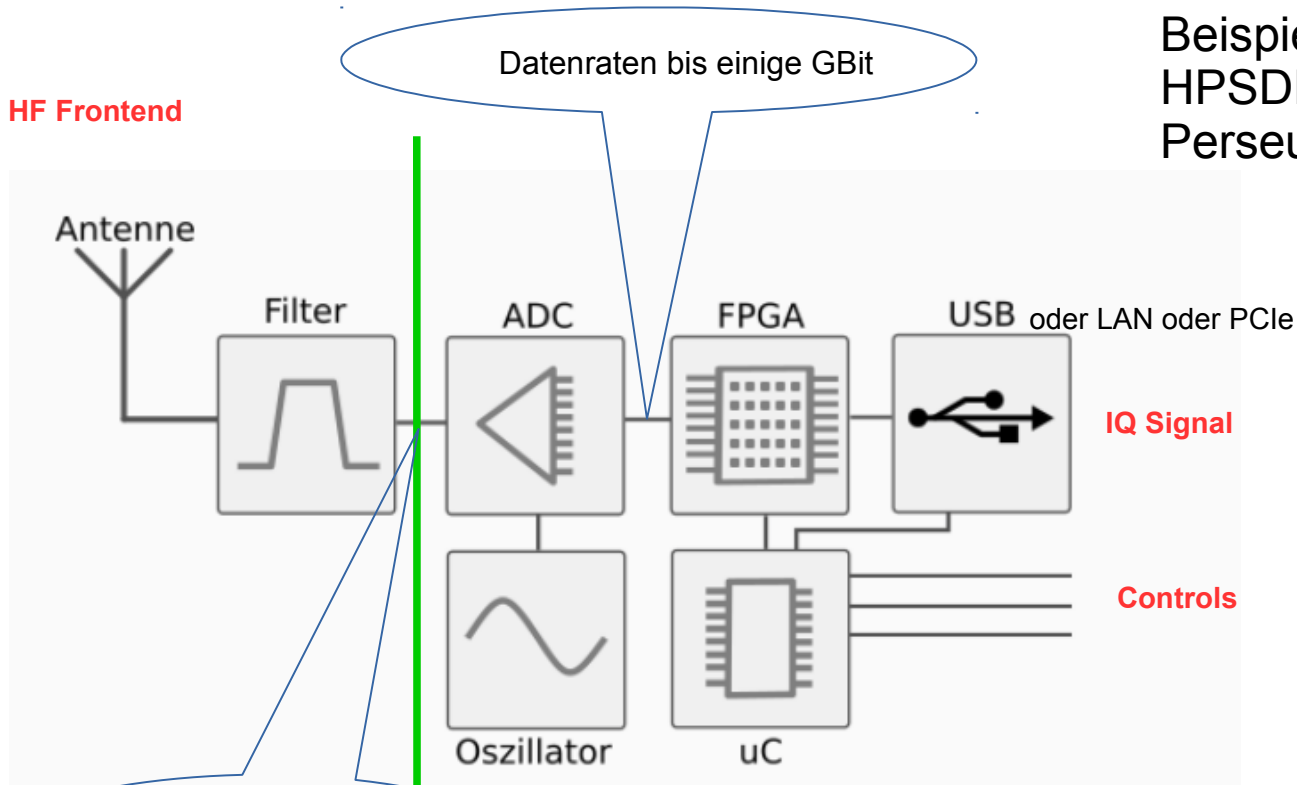


- Der SDR wird über USB oder LAN an den PC / Raspberry angeschlossen
- Das HF Frontend Filter/Mischer/VCO bestimmt stark die HF Eigenschaften
- Verwendet werden Analog Digital Converter ( ADC ) bis 80 Mhz Basisbandbreite
- Die eigentliche Signalverarbeitung erfolgt im PC / Raspberry → sehr Flexibel
- Sehr viele Open Source Programme verfügbar



# Der „echte“ SDR

KEIN HF Frontend



Beispiel:  
HPSDR (Mercury, Hermes),  
Perseus, Kiwi-SDR ...

**Mit Bedienteil:**

z.B: IC7300  
36 kHz ZF !

**Web Frontend:**

z.B: KIWI

**PC Programme:**

Windows  
Linux Programme  
GNUradio

...

Abtastrate des ADC bis zu 500 Mhz  
Signalbandbreite bis 250 Mhz

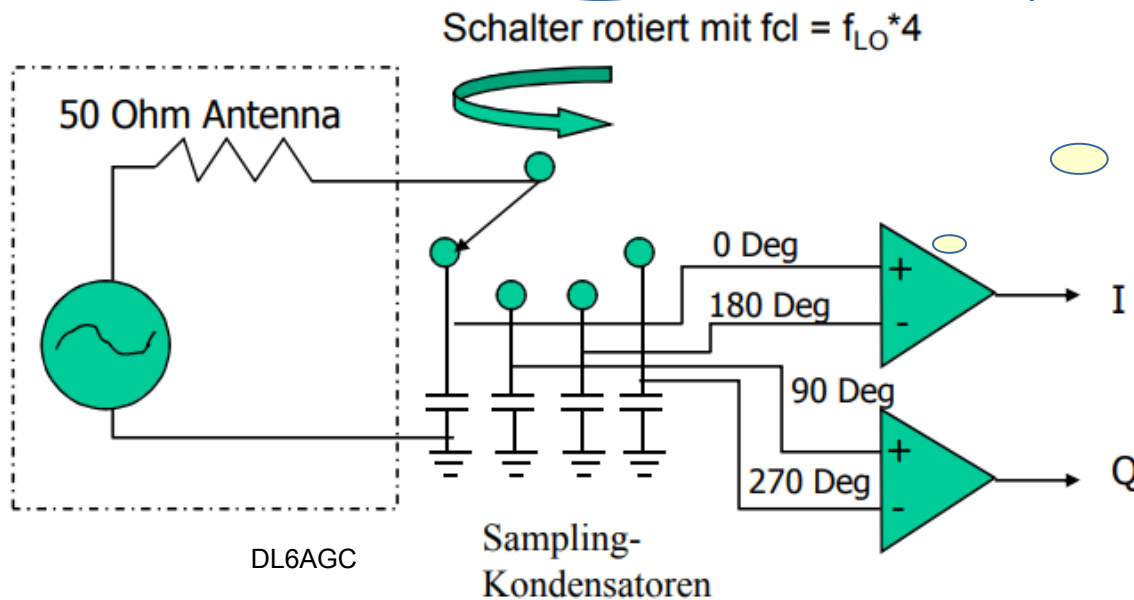
Diese Variante wird als „Direktsampler“ bezeichnet

# Tayloremischer

By Dan Tayloe

Der Schalter muss:  
\* sehr schnell sein  
\* Hohe Dämpfung zwischen den Ports aufweisen  
\* geringer ON Widerstand erforderlich  
\* **Mischt auf 0Hz herunter**

Die Opamps müssen  
\* Schnell sein  
\* hoher Dynamikumfang



Erzeugt direkt das IQ Signal !

AD Wandlung von I und Q  
(oft auch mit Soundkarte)  
Weiterverarbeitung digital

**IQ was ist das eigentlich ?**

- z.B.: SDR1000, Elecraft KX3, KX2, McHF, Softrock, FA-SDR, Softrock
- Mit wenigen Bauteilen lässt sich ein günstiger SDR aufbauen
- Jedoch werden zwei AD Wandler benötigt (zB: Stereo Soundkarte)

# Zusammenfassung

## Unterschiedlicher SDR Konzepte

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

# Der Weg zum IQ Signal

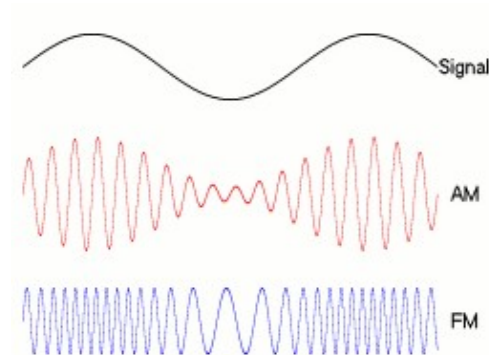
Die Erklärung erfolgt hier über die **Modulation/Demodulation** eines Trägers. Das funktioniert immer nach dem gleichen Prinzip, egal ob digital oder analog, auch ohne IQ ...

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

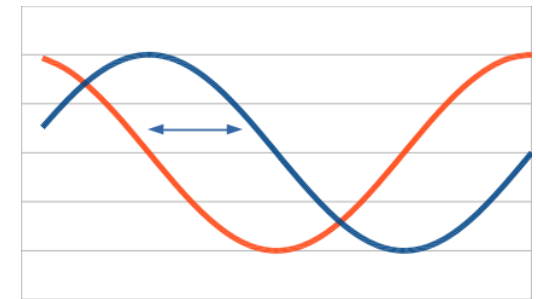
Amplitude      Frequency      Phase

Quelle: National Instruments

Angle  
(Frequency = Rate of Change of Angle)



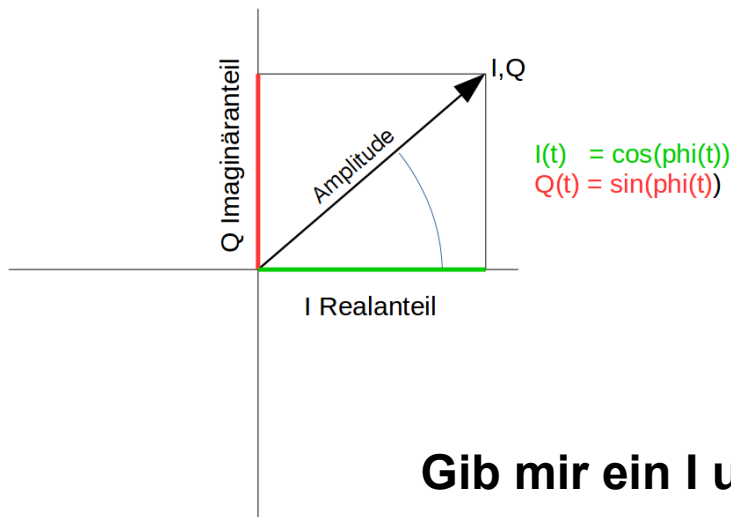
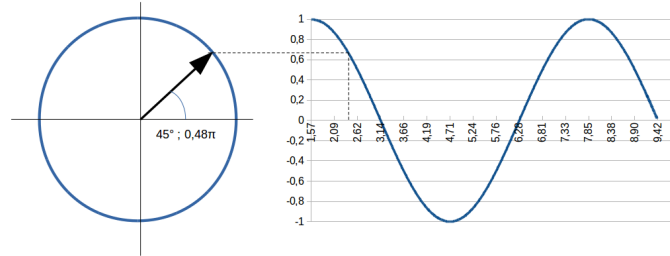
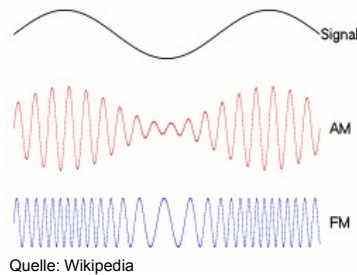
Quelle: Wikipedia



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
- z.B. 16QAM **Q**uadratur **A**mplituden **M**odulation mit 16 Zuständen. Das ist eine Mischung aus Amplituden und Phasenmodulation

# IQ Signal Demodulation



I & Q ist einfach ein Zahlenpaar je Abtastpunkt des AD Wandlers

$t_0$		$t_1$		$t_2$		$t_3$	
I	Q	I	Q	I	Q	I	Q
100	-300	250	-99	-23	77	500	-900

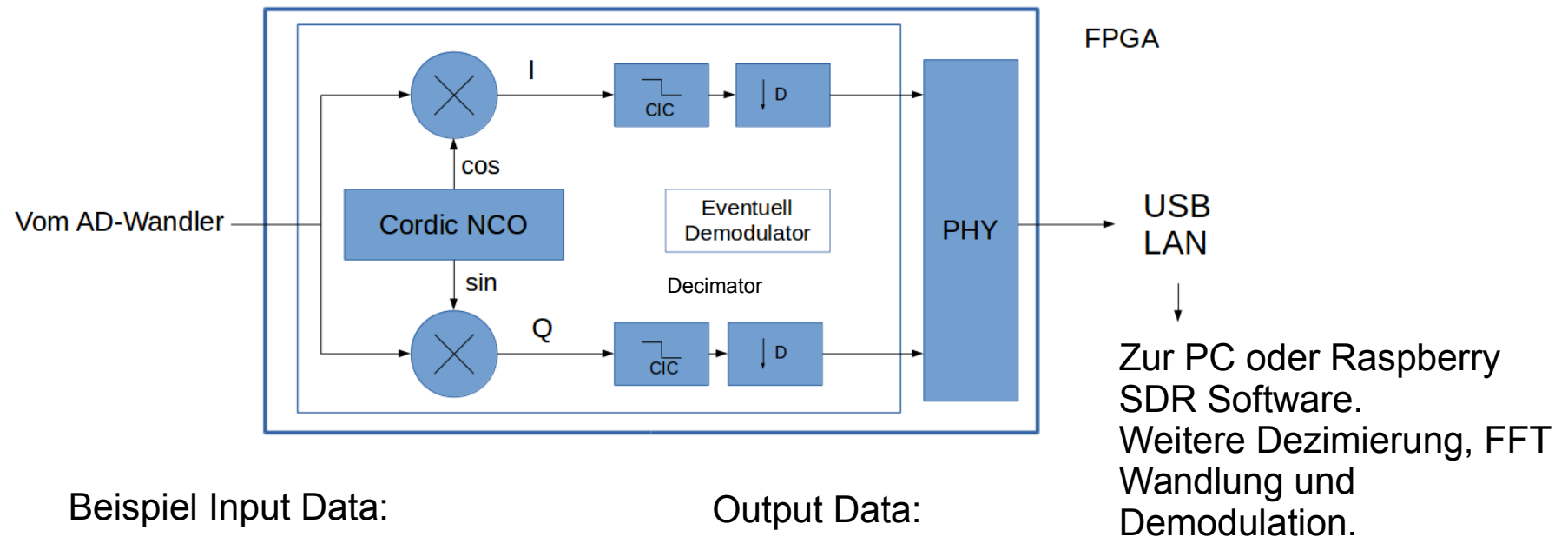
**Gib mir ein I und Q und ich demoduliere alles**

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

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

# Digitale Signalverarbeitung I

Wie wird das IQ Signal erzeugt ? Antwort: Tayloe Mischer oder DCC



Beispiel Input Data:

- AD Wandler: 14 Bit
- Abtastrate: 120 mS/s
- Datenrate: 1,68 GBit

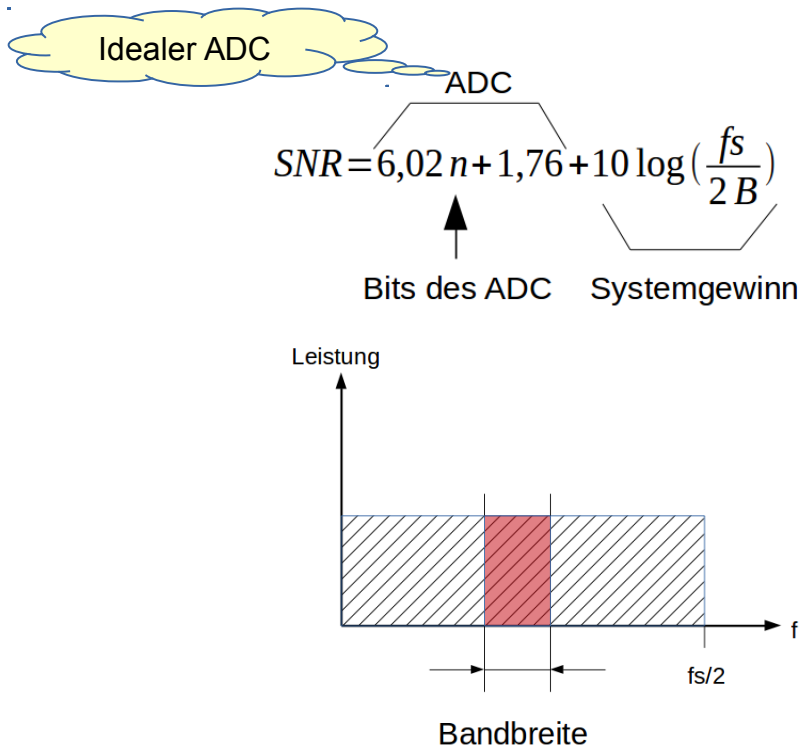
Output Data:

- SDR zu PC: je nach PC Leistung, aber kleiner als die LAN und USB Kapazität. zB.: 20 Mbit
- NF Ausgabe über die Soundkarte zb.: 41 kS/s
- Spektrum/Wasserfall über Grafikkarte

Dezimierung wird durch Filterung und Downsampling erreicht. Downsampling mit M bedeutet, dass wir nur jedes Mte-Sample behalten und den Rest verwerfen. Jede Verdoppelung (2,4,8 ...) der Dezimierung erzeugt weitere 3 dB Dynamikumfang. Es fügt dem ENOB des ADC ein weiteres virtuelles Halbbit hinzu.

# Digitale Signalverarbeitung II

...oder warum SDR Empfänger empfindlicher sein können !



- 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

- Durch das Sampeln mit höherer Frequenz (Oversampling) ergibt sich ein Systemgewinn
- Ähnlicher Effekt wie beim normalen RX. Schmalere Filter → weniger Rauschen
- Wird in einer FFT die Anzahl der Pins erhöht folgt ein Systemgewinn →  $g = 10 \cdot \log(\text{Pins}/2)$   
 Eine Verdopplung der FFT Pins ergibt +3dB SNR

# Zusammenfassung I

- Es gibt SDR mit HF Frontend
  - Die haben einen Mischer vor dem AD Wandler
- Ein Sonderfall ist der Tayloemischer (und andere ...)
  - Diese erzeugen direkt ein IQ Signal
- Es gibt SDR Directsamplers
  - Die haben ein Filter und ev. Vorverstärker vor dem AD Wandler
- AD Wandler tasten (sampeln) mindestens mit der doppelten Frequenz der gewünschten Basisband Bandbreite ab
- Über die „IQ Schnittstelle“ wird das **gesamte** gesampelte Eingangssignal (dezimiert oder nicht) an z.B: den PC zur Demodulation geliefert



# Zusammenfassung II

- Modulationsarten bauen immer auf AM, FM, PH auf
- Das IQ Signal eines Kanals Repräsentiert den Modulationsinhalt
- Der AD Wandler und die Software legen den möglichen SNR fest
- Systemgewinne durch Oversampling, Dezimierung und FFT mit hoher Anzahl an FFT Pins
- Ist jeder SDR ein guter RX / TX ?
  - Nein, es gibt auch SDR mit schlechter HW und SW

# Live Demonstrationen

# Openwebsdr / KIWI SDR

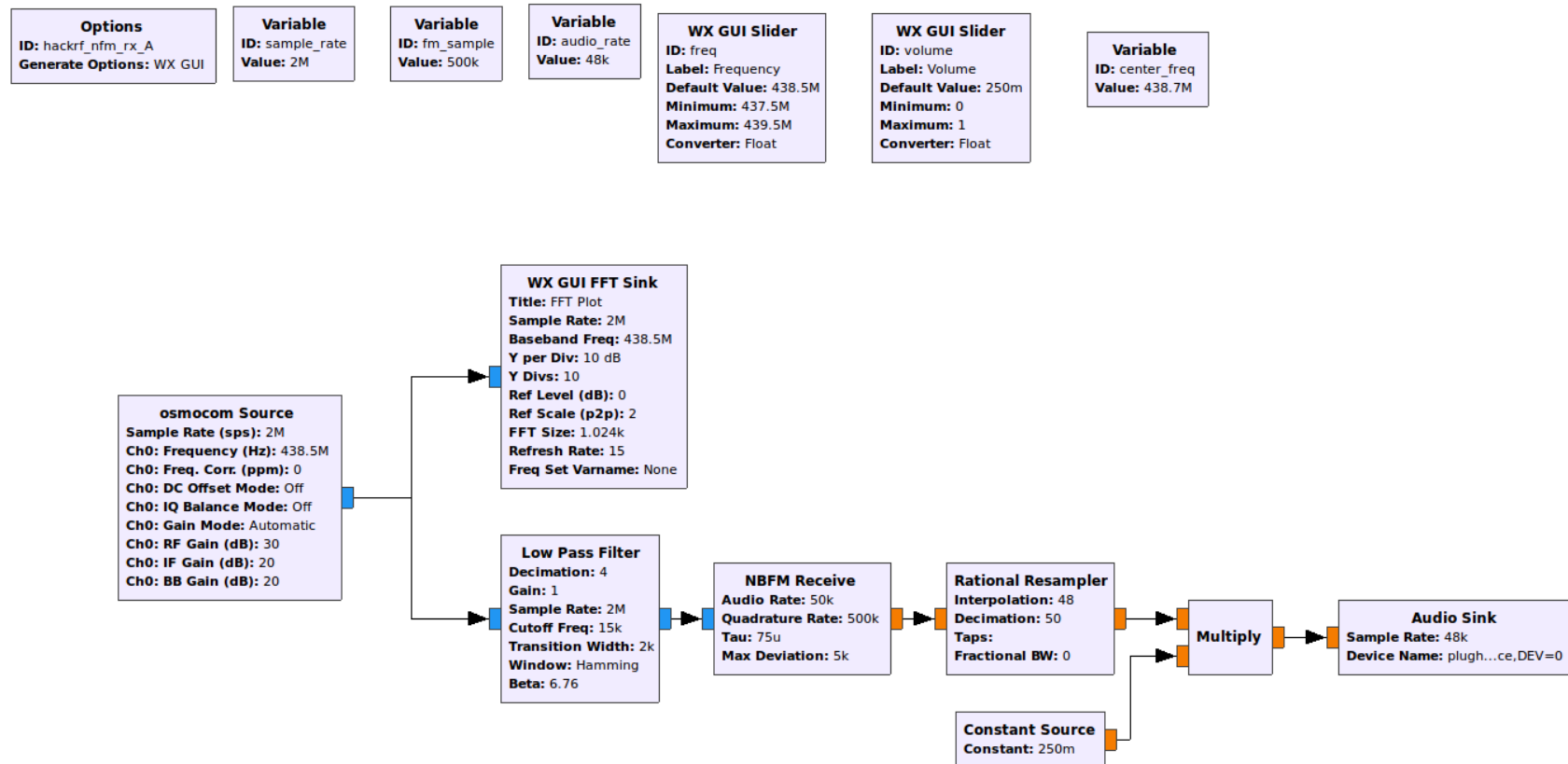
- Entwickelt von HA7ILM - Andreas Retzler
- Openwebsdr jetzt mit 3D Wasserfall !!!
  - z.B: <http://hgdyn.servebeer.com:8099/>
- Viele Empfänger im Netz -- z.B. [www.sdr.hu](http://www.sdr.hu)
- Aufbauend auf **openwebsdr**
- KiwiSDR
  - Web Interface
  - 4 Empfänger gleichzeitig
  - WSPR Decoder

# GnuRadio Companion (1)

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

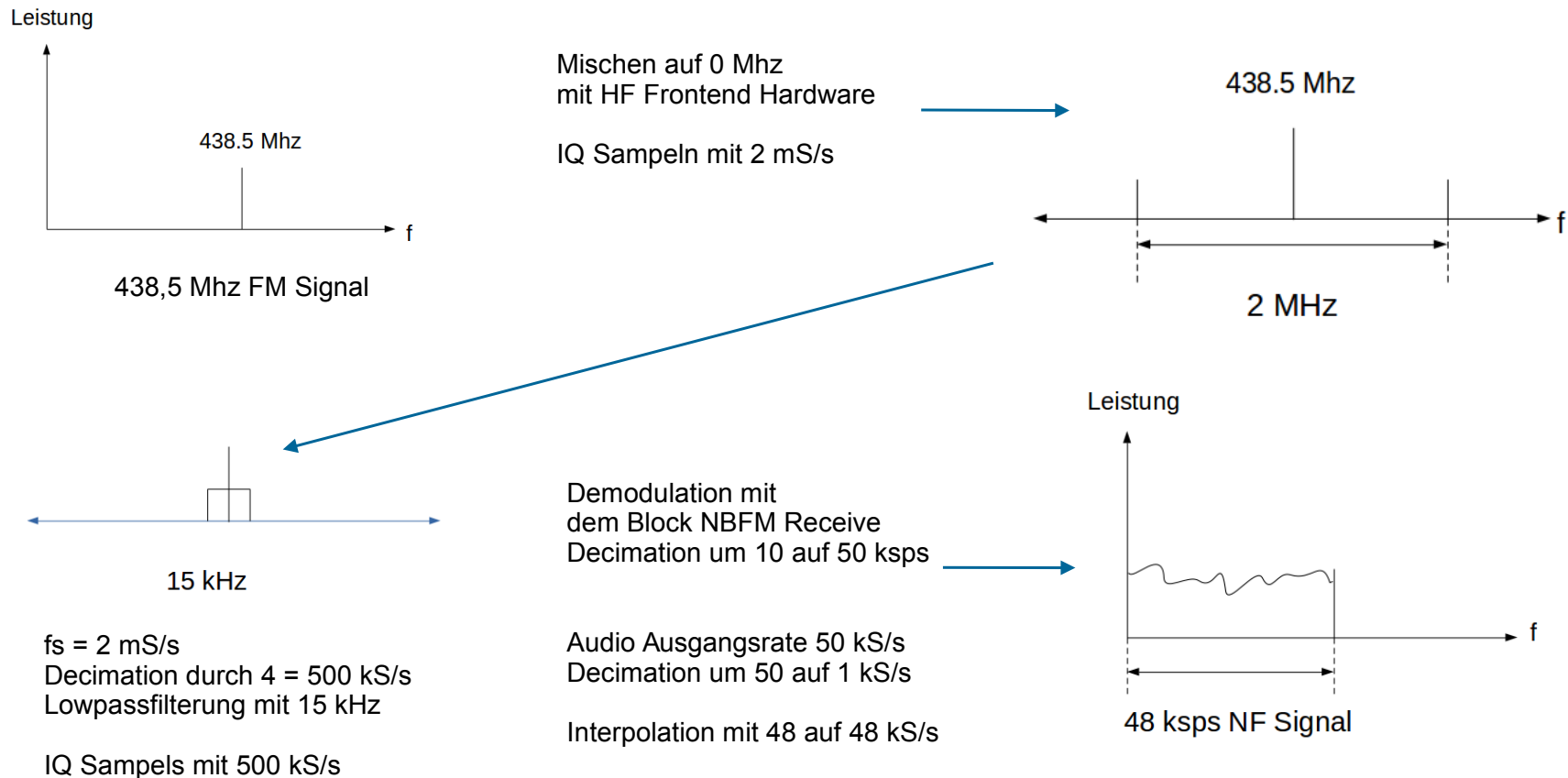
# Gnuradio Companion (2)

## 438,5 MHz Beispiel NFM Demodulation



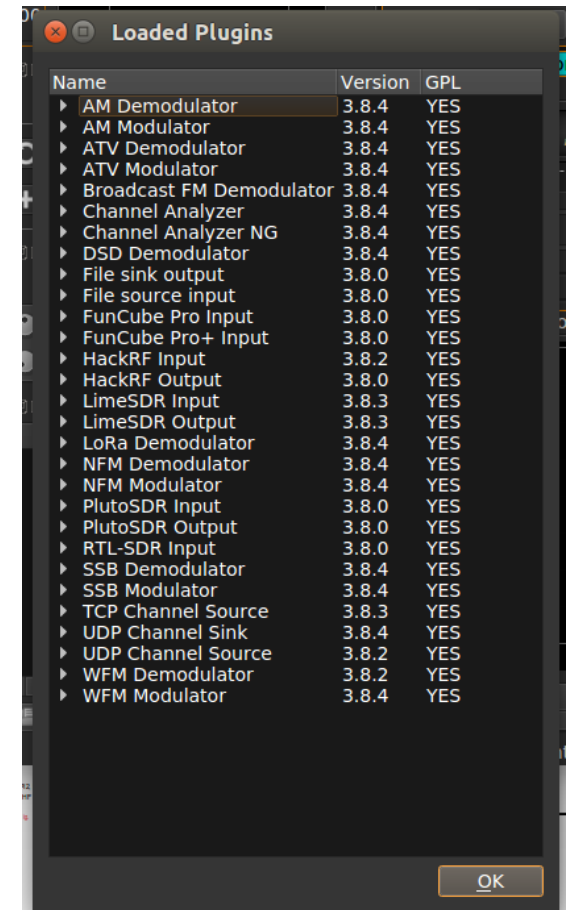
# Gnuradio Companion (3)

## 438,5 MHz Beispiel NFM Demodulation



# SDR Angel

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



# QradioLink

- Website: <http://qradiolink.org/>
- Basiert auf GNU-Radio, realisiert RX und TX
- Analog and digital mode repeater - full duplex mode, no mixed mode repeater
- Audio codecs: Codec2 700 bit/s, Codec2 1400 bit/s, Opus 9600 bit/s
- Digital modulation: BPSK, DQPSK, 2FSK, 4FSK
- Analog Modulation: narrow FM (5 kHz), FM (10 kHz), Wide FM (broadcast, receive-only), AM, SSB



# 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 mit rpitx von F5OEO am Raspberry GPIO Pin18
  - BANDPASS Filter am Ausgang ZWINGEND notwendig
  - Der Raspberry gibt ein Rechtecksignal aus !!!
- SDR Signalverarbeitung mit csdr im RX und TX Zweig
- <https://github.com/ha7ilm/qtcsdr>

# 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)
- Modulationsarten: FM, SSB, SSTV
- Er sendet direkt über eine GPIO Leitung – ohne HF Teil !
- Im Bereich von 5 KHz up to 500 Mhz
  - Der Raspberry gibt ein Rechtecksignal aus !!!
  - BANDPASS Filter am Ausgang ZWINGEND notwendig

## Installation:

```
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 -> Antenna
```

# Links und Infos (I)

- <https://df4or.blogspot.co.at/2015/06/sdr-eine-einfuehrung.html>
  - Die Folien von DF4OR sind die Basis für die Folien 5,6,7,8,9
- <http://www.ni.com/tutorial/4805/en/>
- <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)
- <https://github.com/f4exb/sdrangel>
- <https://github.com/kantoon/qradiolink>
- <https://myriadrf.org/blog/digital-video-transmission-using-limesdr-gnu-radio/>

Die Slides zum Vortrag unterliegen der Creative Commons Lizenz CC-BY-SA 3.0

# Links und Infos (II)

- Modulation und QAM Basics  
<https://www.youtube.com/watch?v=d7l5NbFfBiU>
- Basics of IQ Signals and IQ modulation & demodulation  
[https://www.youtube.com/watch?v=h\\_7d-m1ehoY](https://www.youtube.com/watch?v=h_7d-m1ehoY)
- IQ Signals Part II: AM and FM phasor diagrams, SSB phasing method  
<https://www.youtube.com/watch?v=5GGD99Qi1PA>
- Quadrature Mixers, IQ Demodulation, and the Tayloe Detector  
<https://www.youtube.com/watch?v=JuuKF1RFvBM>
- Einige interessante Videos zum Thema Amateurfunk und Technik  
[https://www.youtube.com/channel/UCiqd3GLTluk2s\\_IBt7p\\_LjA](https://www.youtube.com/channel/UCiqd3GLTluk2s_IBt7p_LjA)
- Quadraturamplitudenmodulation mit QAM Rechner  
[http://elektroniktutor.de/signalkunde/qam\\_ana.html](http://elektroniktutor.de/signalkunde/qam_ana.html)

# Links und Infos (III)

Die Präsentation könnt ihr euch als PDF File downloaden

<https://www.oevsv.at/technik/>

Eine sehr gute und praxisnahe **Einführung in die SDR Technik mit GnuRadio** in drei Bänden von Paul und David Clark.  
Erhältlich als Hardcover und als Kindle Version.

Volume1: Introduction to Software Defined Radio

Volume2: Basic Analog Radio

Volume3: Basic Digital Communications

Danke  
für die Aufmerksamkeit