

Hochschule  
München  
University of  
Applied Sciences

FK06 für  
angewandte Naturwissenschaften  
und Mechatronik

Prof. Dr. Georg Eggers

# There's (more than) Music in the Air: Einfache praktische Anwendungen von Software-Defined Radio (SDR) mit LabVIEW



# Hinweis

There's (More Than) Music in the Air:

## Einfache praktische Anwendungen von Software-Defined Radio (SDR) mit



Attribution-ShareAlike 4.0 International  
(CC BY-SA 4.0)

This presentation is provided under the

**Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0)**

See the following URL for Details: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

The Author will be grateful to be notified about any use of this presentation's content. Please contact:

**Prof. Dr. Georg Eggers**, Munich University of Applied Sciences,

FK06 – Faculty of applied sciences and mechatronics, Lothstraße 34, 80335 München

Email: [georg.eggerts@hm.edu](mailto:georg.eggerts@hm.edu)

Parts of the LabVIEW code can be downloaded from: [www.georg-eggerts.de/labview4lectures](http://www.georg-eggerts.de/labview4lectures)



**SDR mit LabVIEW**

Prof. Dr. Georg Eggers, [georg.eggerts@hm.edu](mailto:georg.eggerts@hm.edu)

29.09.2023

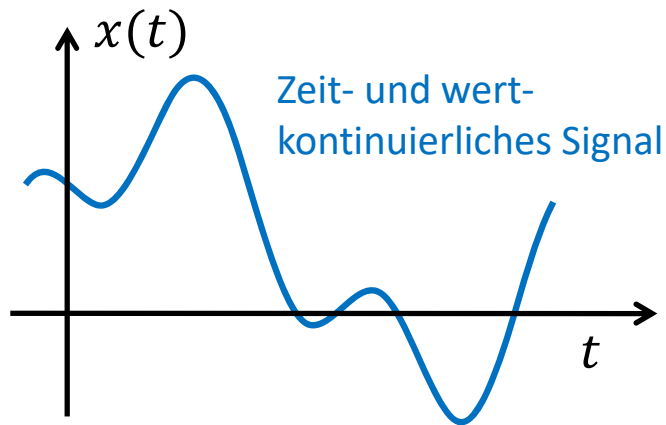
- 2 -

# Inhalt

1. Software Defined Radio (SDR): Eine schnelle Einführung
  - a. Integration von SDR in den Lehrstoff Signalverarbeitung
  - b. Ein Wenig Mathe-Magie
2. SDR-Hardware für den experimentellen Einsatz
  - a. NI USRP
  - b. RTL-SDR
3. Beispiele
  - a. Demodulieren von FM-Sendern
  - b. Bilder von NOAA Wettersatelliten
  - c. ADS-B Identifikation von Luftfahrzeugen
4. Zusammenfassung und Ausblick

# 1.a: Integration von SDR in den Lehrstoff Signalverarbeitung

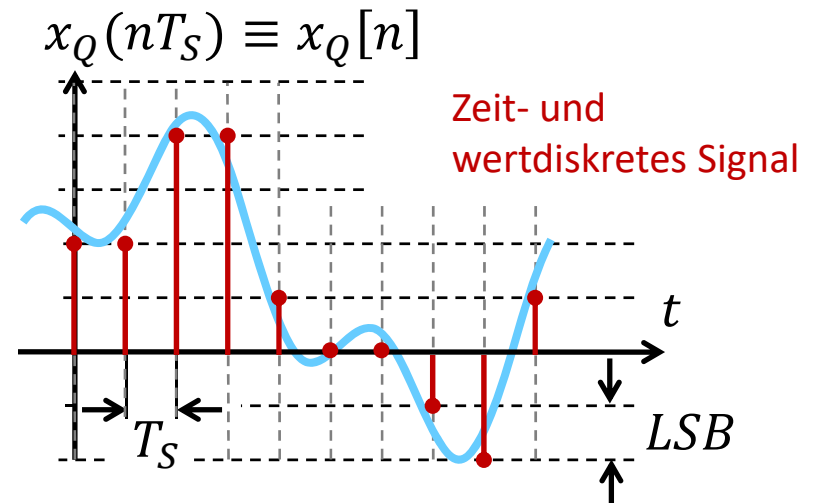
## Kontinuierliche und diskrete Signale



Zeitdiskretisierung:

$T_S$ : Sampling interval

$\frac{1}{T_S} = f_s$ : Sampling frequency

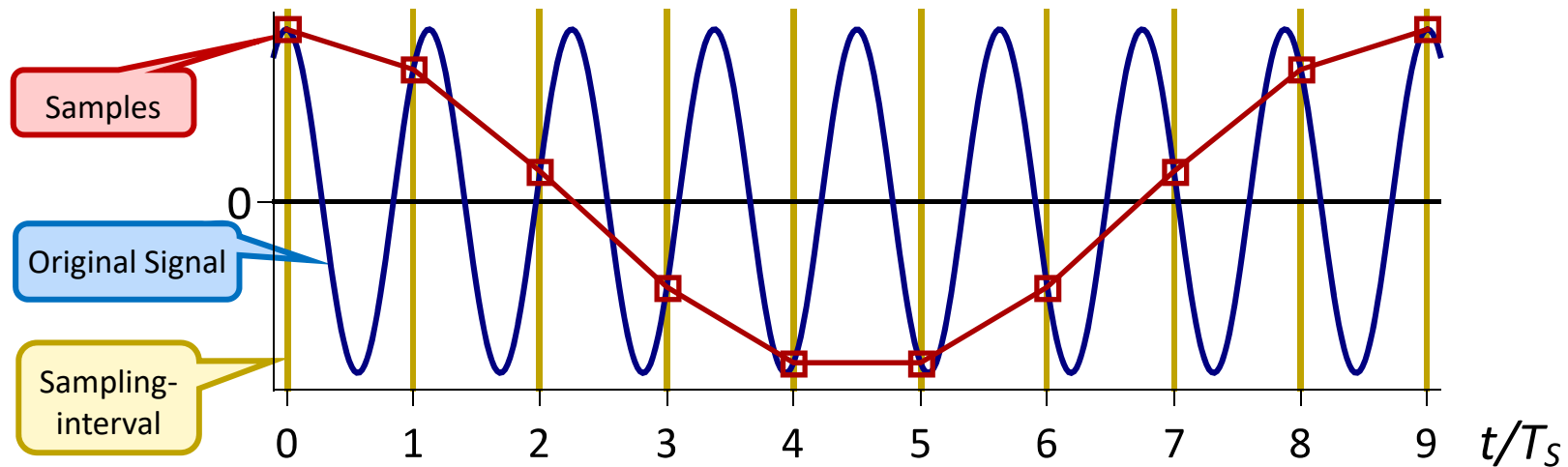


Wertdiskretisierung:

$LSB$ : least significant bit

1a: Integration von SDR in den Lehrstoff Signalverarbeitung

## Todsünde der zeitdiskreten Signalverarbeitung



- **NIEMALS** die Shannon-Nyquist-Bedingung  $f_{\text{Sig,max}} < \frac{1}{2} f_s$  verletzen... or be doomed!
- Mein Lieblings-UKW-Sender funkt mit 100 MHz – brauche ich einen 200-MHz-ADC?

1a: Integration von SDR in den Lehrstoff Signalverarbeitung

## Mathe-Magie: Der Mix macht's...

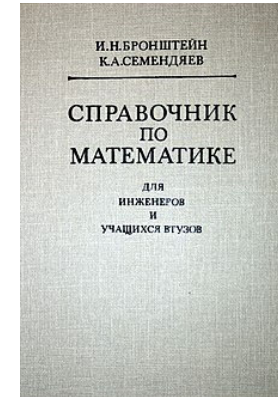
- **NIEMALS** die Shannon-Nyquist-Bedingung  $f_{\text{Sig,max}} < \frac{1}{2} f_S$  verletzen...
- **Mein Lieblings-UKW-Sender funkt mit 100 MHz –  
brauche ich einen 200-MHz-ADC?**

- Nein, denn es gilt  $\cos x \cdot \cos y = \frac{1}{2} [\cos(x - y) + \cos(x + y)]$  ?!

- Sei  $x = 2\pi f_{\text{Sig}} t$ ,  $y = 2\pi f_{\text{Mix}} t$ ,

$$\cos(2\pi f_{\text{Sig}} t) \cdot \cos(2\pi f_{\text{Mix}} t) = \frac{1}{2} (\cos[2\pi(f_{\text{Sig}} - f_{\text{Mix}})t] + \cos[2\pi(f_{\text{Sig}} + f_{\text{Mix}})t])$$

- Signalmultiplikation und Tiefpass-Filterung ermöglichen Frequenz-Verschiebung  
→ Verschiebung der Radio-Sendefrequenz in Shannon-Nyquist-konformen Bereich



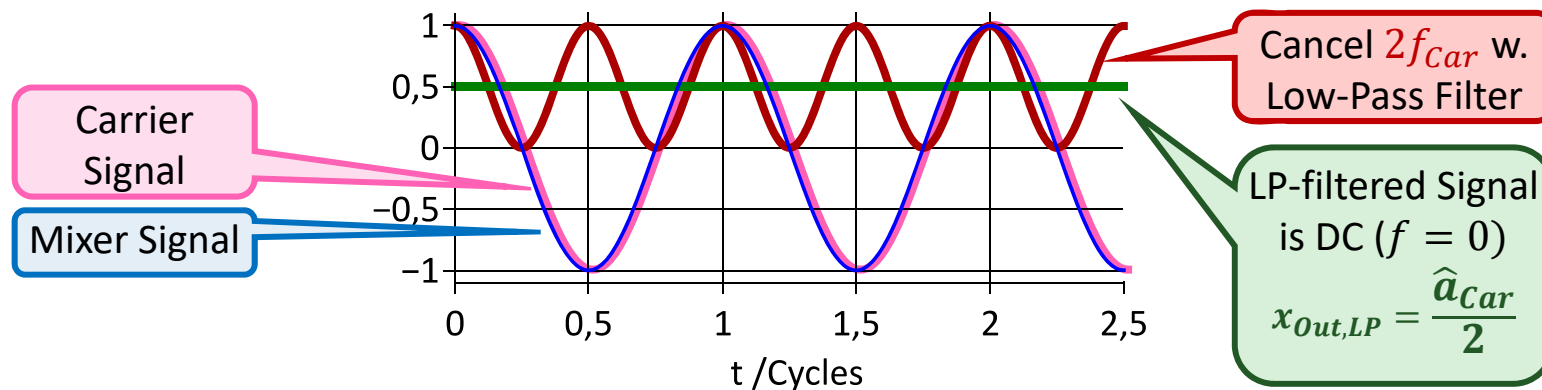
Mit Tiefpass  
eliminieren

1b: Integration von SDR in den Lehrstoff Signalverarbeitung

## Mathe-Magie: Homodyne-Empfänger

- Homodyne: Mischerfrequenz  $f_{Mix}$  gleich Sender-Trägerfrequenz  $f_{Car}$

$$\hat{a}_{Car} \cos(2\pi f_{Car} t) \cdot \cos(2\pi f_{Mix} t) = \frac{\hat{a}_{Car}}{2} (\cos[2\pi(0)t] + \cos[2\pi(2f_{Car})t])$$



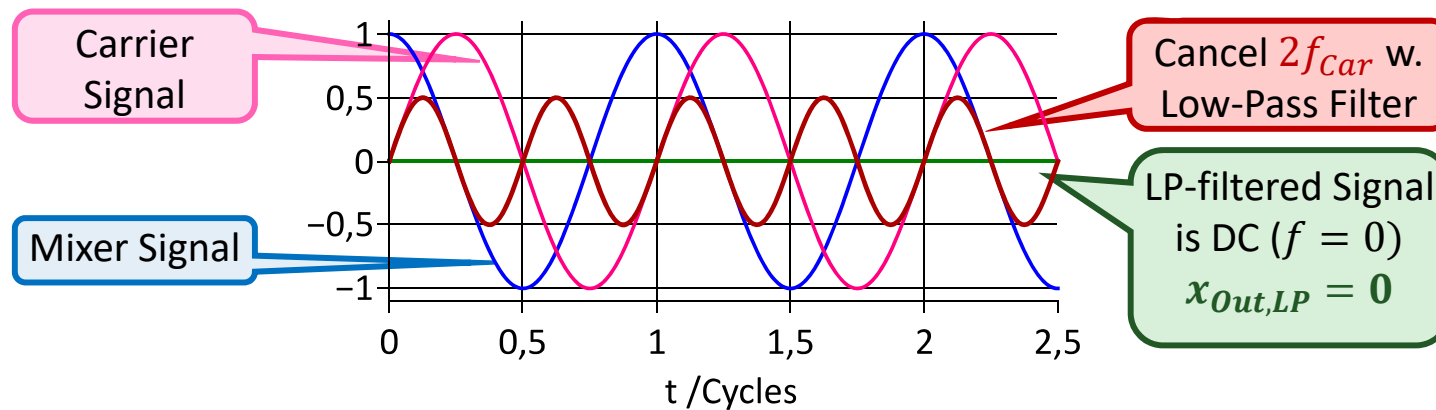
Looks easy, but ...

## 1b: Integration von SDR in den Lehrstoff Signalverarbeitung

### Mathe-Magie: Homodyne-Empfänger

- Was passiert bei 90° Phasenverschiebung zwischen Träger und Mischersignal?

$$\hat{a}_{Car} \sin(2\pi f_{Car}t) \cdot \cos(2\pi f_{Mix}t) = \frac{1}{2} (\sin[2\pi(0)t] + \sin[2\pi(2f_{Car})t])$$

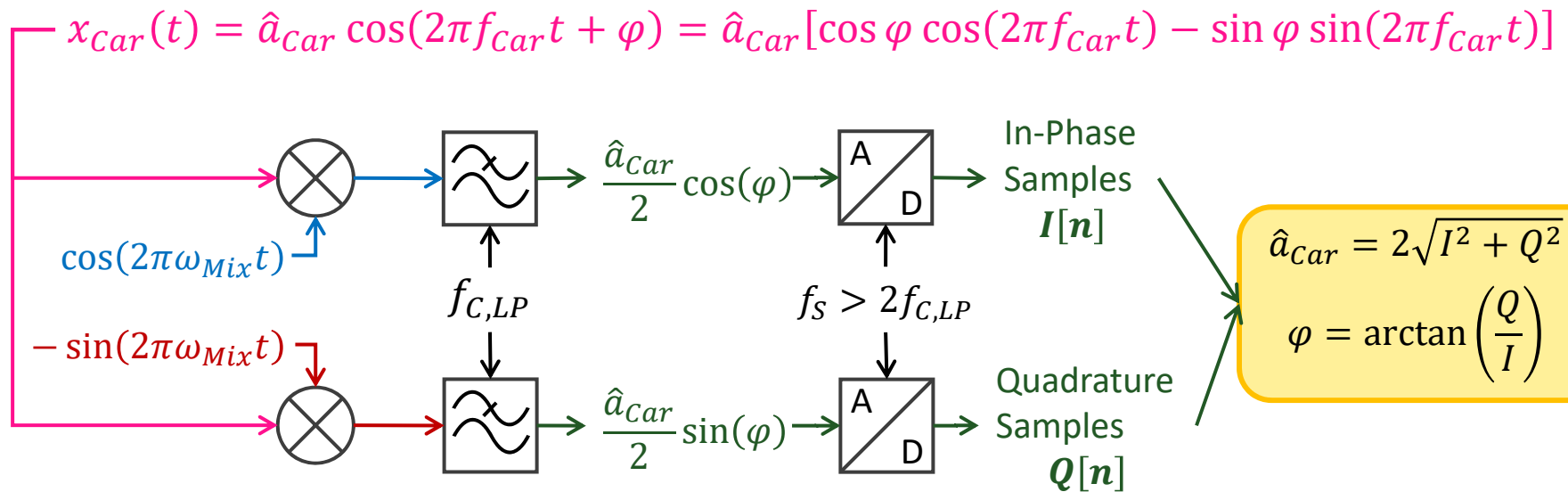


So what?



## Mathe-Magie: Homodyne-Empfänger

- Zerlegen des Trägersignals in Cosinus- und Sinusteil:



... et voila: Radiosignale ohne HF!

## 2a: SDR-Hardware

# NI-USRP: Professionelles SDR Equipment



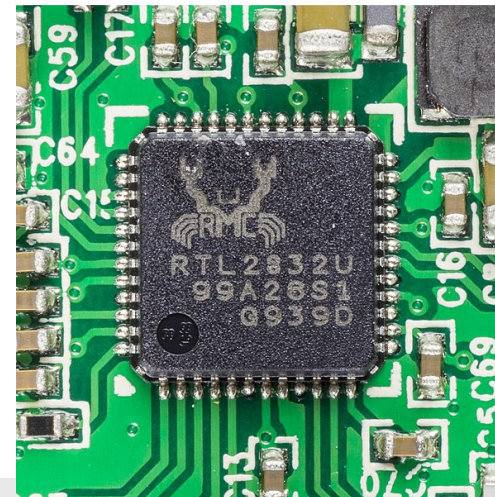
- $f_{Car}$ : 10 MHz .. 6 GHz
- $f_{sig,max}$ : up to 120 MHz
- Receive (RX) and Transmit (TX)
- FPGA for signal processing
- USB3, Ethernet, MXIe
- NI-USRP Driver integrates into LabVIEW
- **Price: 1 k€ ..  $f_{sig}$**
- **... für Lehreinsatz zu teuer**

Image: ni.com,  
PRODUCT FLYER USRP Software Defined Radios

## 2b: SDR-Hardware

### RTL-SDR: Fast umsonst...

- Basiert auf IC Realtek RTL2832U
- Vorgesehener Einsatz: DVB/DAB receivers
- 8-bit ADCs mit I/Q-Sampling @ 3.2 MS/s
- USB2-Interface
- Datenblatt unterliegt NDA
- Eric Fry, osmocom.org entdeckte Möglichkeit zum Transfer von I/Q-Rohdaten
- Gepaart mit Mischer-IC tuner/mixer chip, meist Elonics E4000
  - Rafael Micro R820T
- Kein Sendebetrieb möglich



## 2b: SDR Hardware

### RTL-SDR: Fast umsonst...

- Zahlreiche Angebote in (Chinesischen) Online-Shops
- Standard-DVB/DAB receivers ab ca. € 10,-
- Für SDR-Nutzung optimierte Empfänger ab ca. € 25,-

Product	Price	Shipping	Rating	Sold
Dipole-Antenna Radio Software RT...	€ 27,57	Free Shipping	4.9	1323
SMA Dongle-Only Software Defne...	€ 20,21	Free Shipping	4.9	1033
Dongle Sdr-Receiver Usb rtl-Sdr RB...	€ 12,43 - 19,46	Free Shipping	5.0	7
Tv-Receiver-Scanner-Receiver Tun...	€ 13,53	Free Shipping	5.0	47
Radio-Receiver Usb-Dongle RTL-SD...	€ 21,99 - 25,67	Shipping: € 6,25	4.9	50
Dongle Sdr-Receiver Usb rtl-Sdr RB...	€ 13,44	Shipping: € 2,61	2.5	13
TV Tuner Receiver Radio Tcoo Rtl2...	€ 14,10	Free Shipping	4.9	168
1Set 100KHz-1.7GHz VHF UHF Full ...	€ 27,49	Free Shipping	5	5
Digital TV Receiver-Stick Rtl Sdr Dv...	€ 7,77	Shipping: € 0,73	5.0	9
DIY KIT 100KHz to 1.7GHz UV HF R...	€ 18,69	Free Shipping	4.2	14
100KHz-1.7GHz Full Band UV HF R...	€ 15,07	Shipping: € 0,74	5.0	6
Receiver RTLSDR RTL2832U R820T...	€ 22,01 - 27,68	Free Shipping	5.0	3
RTL2832U+R820T2 100KHz-1.7GHz...	€ 23,98	Free Shipping	1.0	4
Tuner Receiver Radio RTLSDR RTL...	€ 24,94	Free Shipping	4.6	12
Mini USB 2.0 Software Radio DVB...	€ 5,30	Shipping: € 3,74	4.8	97
Tv-Receiver Stick-Technology Radi...	€ 4,19 - 7,57	Shipping: € 1,61	4.9	269
1Set 100KHz-1.7GHz VHF UHF Full ...	€ 26,68	Shipping: € 2,95	5.0	1
Usb-Dongle Sdr-Receiver TCOO Rtl...	€ 23,93	Free Shipping	3.0	4
Tv Receiver Stick Antenna Dongle Tv...	€ 17,93	Free Shipping	4.9	29
Tv-Receiver-Stick Dvb-T rtl2832u Rt...	€ 6,05	Shipping: € 2,55	4.9	48

Aliexpress.com



SDR mit LabVIEW

Prof. Dr. Georg Eggers, georg.eggers@hm.edu

## 2b: SDR-Hardware

### RTL-SDR.COM-Dongle

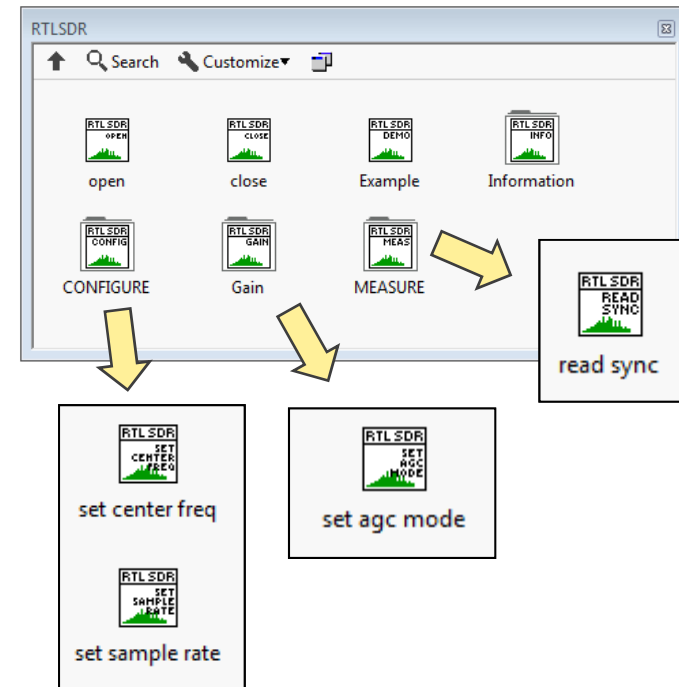
- RTL2832U Controller
  - $f_{S,max} \approx 2,5 \text{ MHz @ 8 bit I/Q}$
- Rafael Micro R820T2 tuner chip
  - $f_{Car} = 24 .. 1766 \text{ MHz}$
- Ab ca. € 35,-
- Anleitungen auf [rtl-sdr.com](http://rtl-sdr.com)
- Zubehör erhältlich:
  - Verschiedene Antennen
  - Antennen-Vorverstärker mit DC-Speisung
  - HF-Sperrfilter
- Metallgehäuse (Abschirmung Wärmeabfuhr)



## 2b: SDR-Hardware

### RTL-SDR: Integration in LabVIEW

- NI-Forum user **Albert Lederer** (Albert.lederer) programmierte die **vipm-package “RTL SDR”** basiert auf rtlsdr.dll (S. Markgraf and D. Stolnikov)
- Per VI Package Manager (VIPM) installierbar
- Benutzung ähnlich sound-card-Programmierung
- Supplies 8-Bit unsigned interleaved I/Q-Data

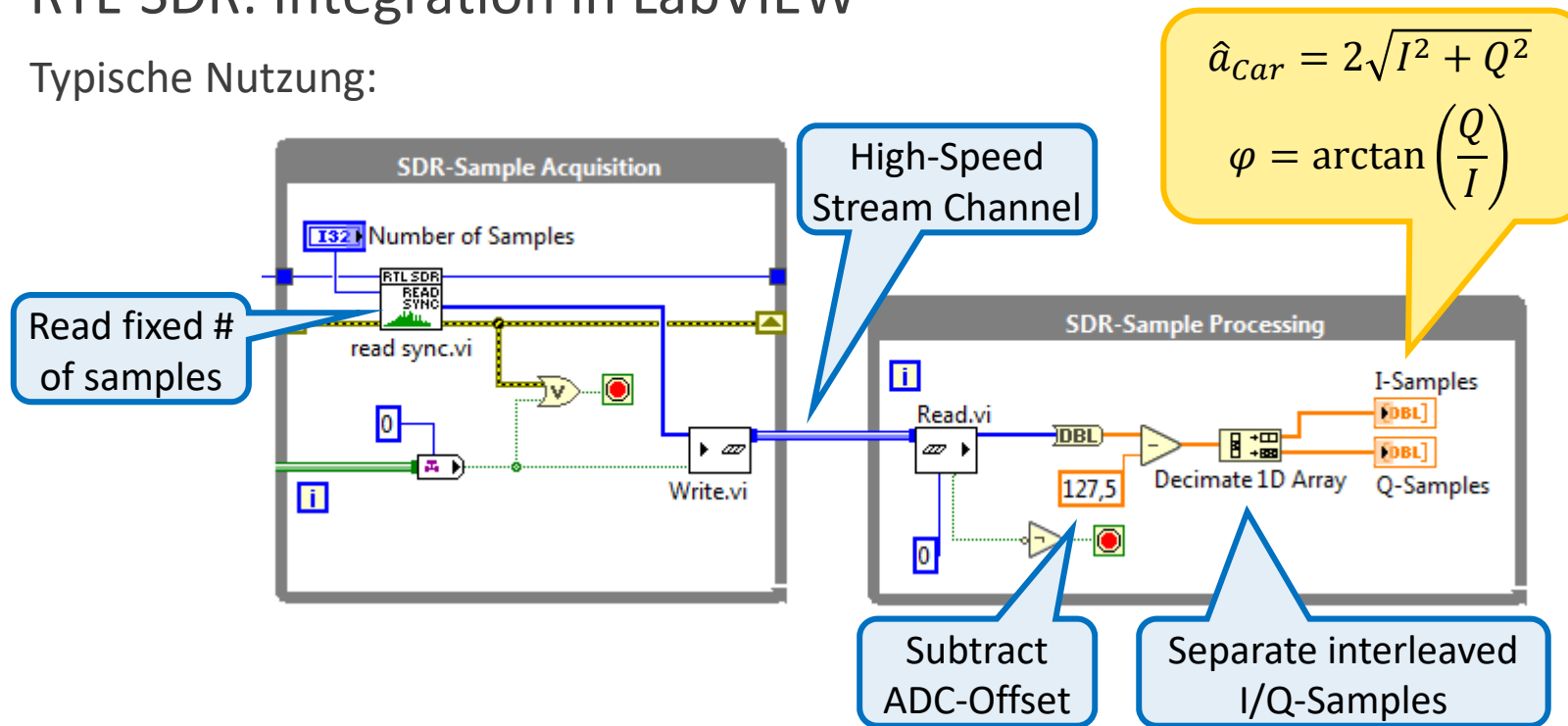


- NI Forum Link mit Beispielprogrammen:  
<https://forums.ni.com/t5/Example-Program-Drafts/Using-RTL-SDR-with-Labview-Chapter-1-Labview-on-Windows/ta-p/3538774>

## 2b: SDR Hardware

# RTL-SDR: Integration in LabVIEW

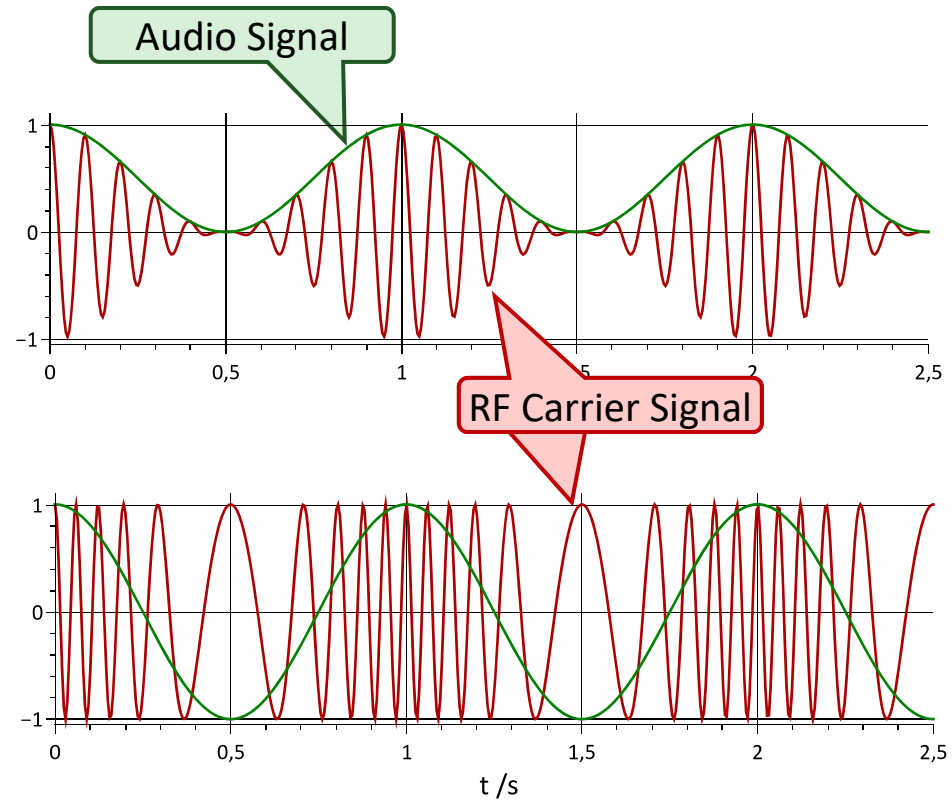
Typische Nutzung:



3a: Beispiel:

## RF-Signal-Modulation

- Amplitudenmodulation (AM):
  - (Audio-) Signal ist Einhüllende der Trägersignal-Amplitude
  - Trägersignal-Amplitude ist
$$\hat{a}_{Car} = 2\sqrt{I^2 + Q^2}$$
- Frequenzmodulation (FM):
  - (Audio-) Signal ist Differenz zwischen momentaner und nominelle Trägerfrequenz
  - Carrier signal phase is
$$\varphi = \arctan\left(\frac{Q}{I}\right) \dots?$$





3a: Example:

## FM-Demodulation: Beziehung zwischen Phase und Frequenz

- Frequenz des Trägers wird mit Audio-Signal  $x_{Aud}(t)$  moduliert:

$$f_{RF}(t) = f_{Car} + c x_{Aud}(t)$$

$$x_{Car}(t) = \hat{a}_{Car} \cos \left[ 2\pi \int_0^t f_{Car} + c x_{Aud}(\tau) d\tau \right] = \hat{a}_{Car} \cos \left[ 2\pi f_{Car} t + \underbrace{2\pi c \int_0^t x_{Aud}(\tau) d\tau}_{\varphi_{Car}(t)} \right]$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Q}{I}\right) = 2\pi c \int_0^t x_{Aud}(\tau) d\tau \rightarrow \frac{d\varphi(t)}{dt} \propto x_{Aud}(t)$$

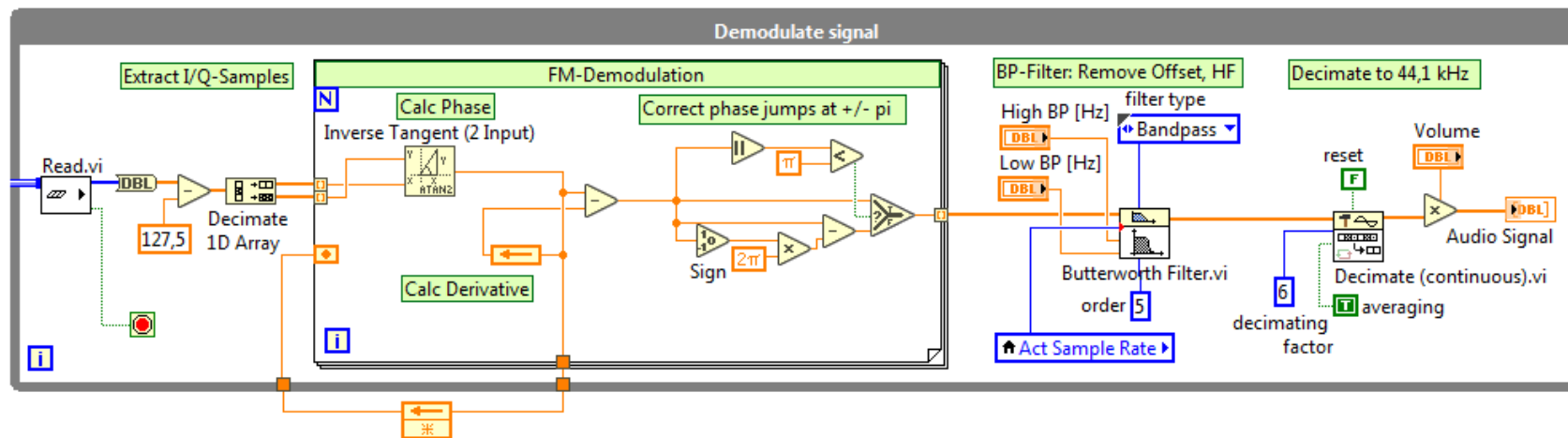
- FM-Audiosignal ist Ableitung der Träger-Phase

3a: Example:

## FM Demodulation: LabVIEW-Implementierung mit RTL-SDR

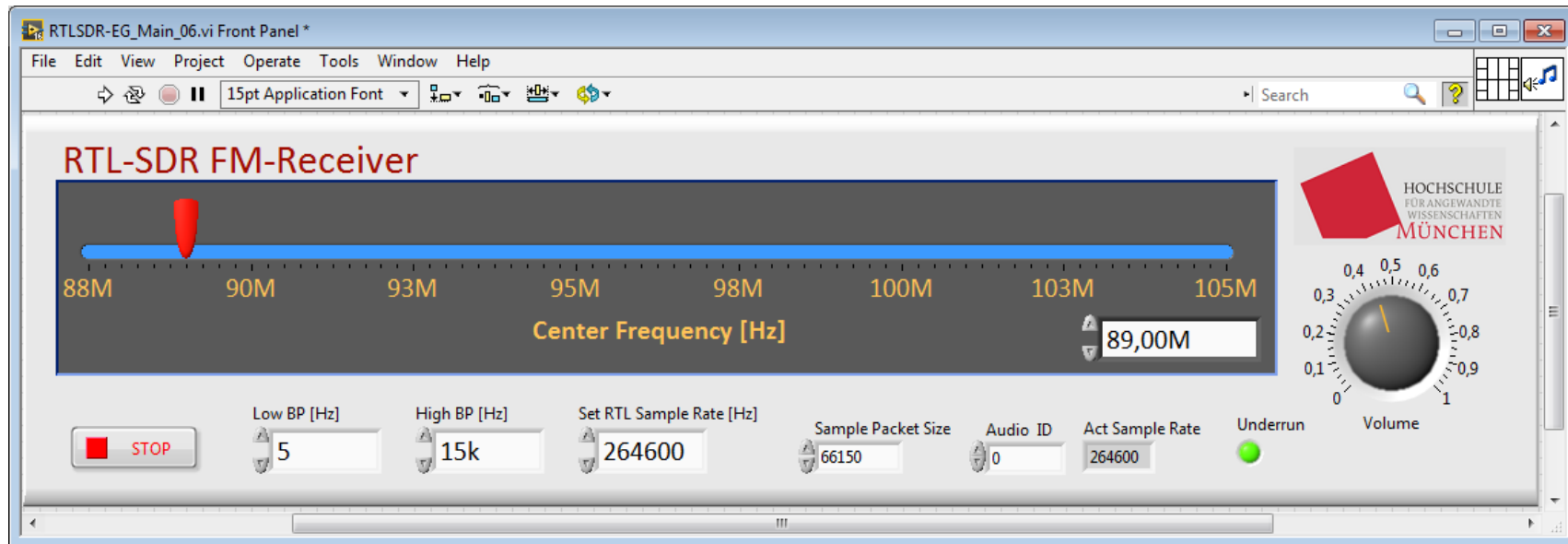
$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt} \arctan\left(\frac{Q}{I}\right) \propto x_{Aud}(t)$$

- FM-Audiosignal ist Ableitung der Träger-Phase
- Zeitdiskret:  $\frac{dx_{Aud}[n]}{dt} = \frac{x_{Aud}[n] - x_{Aud}[n-1]}{T_s}$



3a: Beispiel:

## FM-Demodulation: LabVIEW-Umsetzung mit RTL-SDR

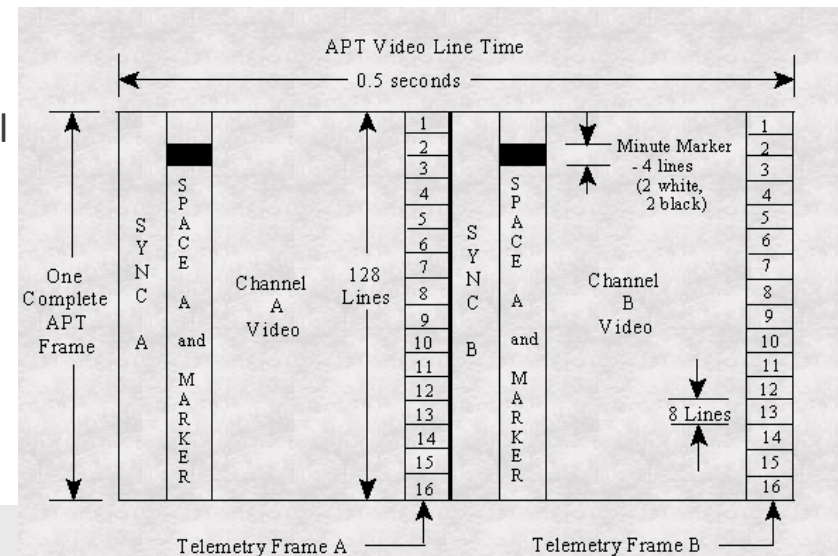
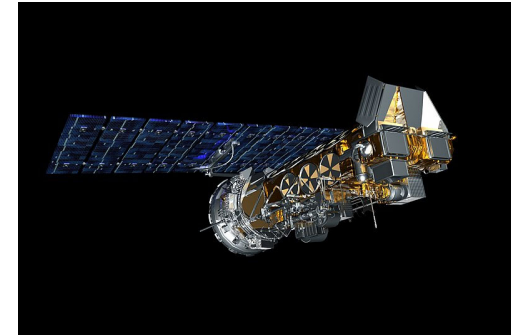


- VI available from [www.georg-eggers.de/labview4lectures](http://www.georg-eggers.de/labview4lectures)
- Based on Alfred Lederer's vipm-package sample code

3b: Beispiel:

## FM+AM-Demodulation: NOAA Satellitenbilder

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) betreibt Wettersatelliten mit “automatic picture transmission” (APT):
  - Träger  $f_{Car} \approx 138$  MHz
  - FM-Demodulation ergibt Audiosignal mit  $f_{aud} = 2,4$  kHz,  $\rightarrow$  \*.wav audio file
  - Bilddaten amplitudenmoduliert im Audio-Signal
  - Zeilenweise Übertragung 0,5s/line
  - Sync-Signal an jedem Zeilenbeginn
  - IR und VIS Bilder, telemtrische Daten



National Oceanic and Atmospheric Administration (3)



SDR mit LabVIEW

Prof. Dr. Georg Eggers, georg.eggert@hm.edu

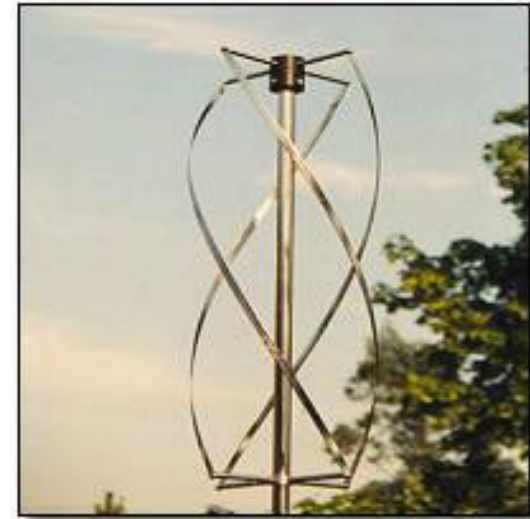
29.09.2023

- 20 -

3b: Beispiel:

## AM-Demodulation: NOAA-Satellitenbilder

- Empfang mit RTL-SDR möglich, aber kompliziert:
  - Niedrige Leistung erfordert spezielle Antenne
  - Großes freies Sichtfeld erforderlich
  - Passierzeiten müssen ermittelt werden  
(z.B. mit Gpredict: <http://gpredict.oz9aec.net/>)
- Audio-Dateien zum Download verfügbar, z.B.
  - [http://www.fredvandenbosch.nl/satellites\\_WAV.html](http://www.fredvandenbosch.nl/satellites_WAV.html)  
(im Weiteren benutzt, leider derzeit offline)
  - <https://network.satnogs.org/>
  - <http://hans.mayer.tv/html/noaa18.html>

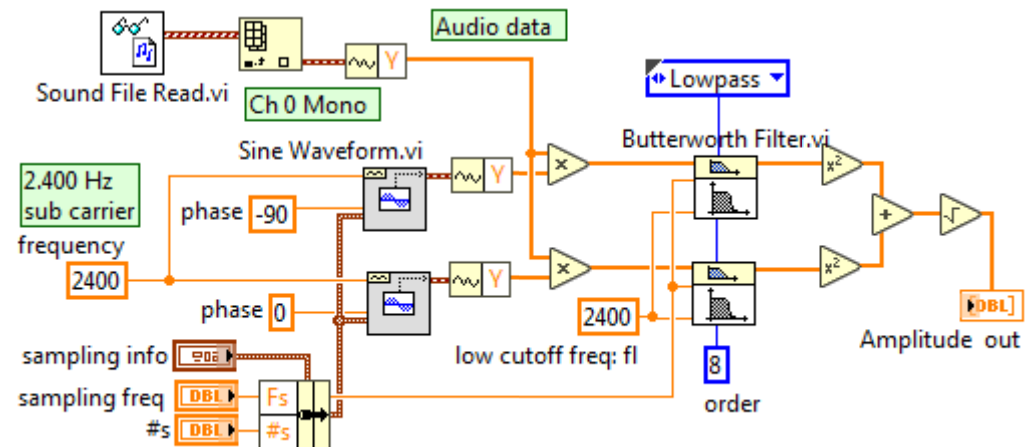
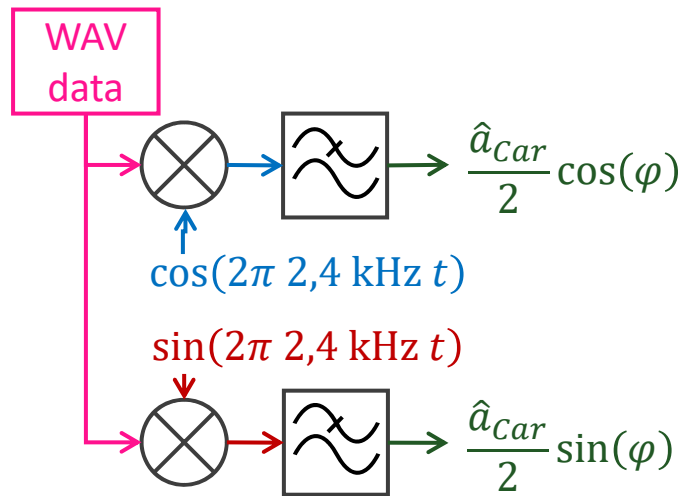


National Oceanic and Atmospheric Administration (3)

3b: Beispiel:

## AM-Demodulation: NOAA-Satellitenbilder

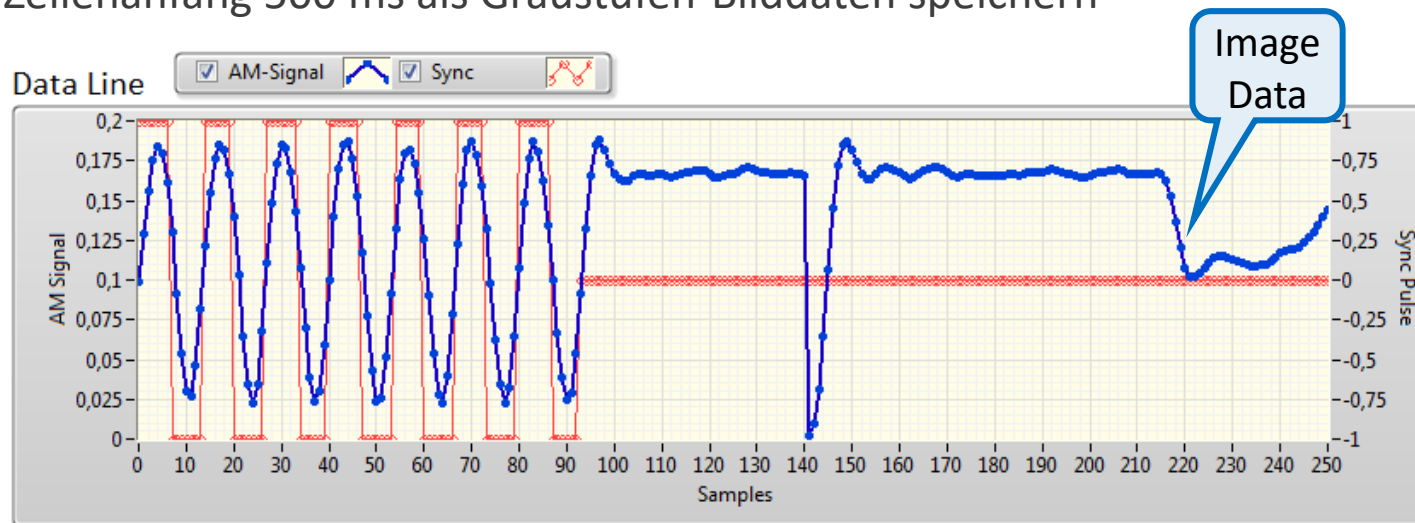
- LabVIEW-Programm zum Dekodieren der Audio-Datei
  - Programmierung eigener AM-Demodulation



3b: Beispiel:

## AM-Demodulation: NOAA-Satellitenbilder

- Suche Sync-Signal am Anfang jeder Zeile: 7 Perioden Rechteck @ 832 Hz
  - Sync-Signal als Waveform erzeugen
  - Kreuzkorrelation zur Suche nach Zeilenanfängen
- Nach Zeilenanfang 500 ms als Graustufen-Bilddaten speichern



3b: Beispiel:

## AM-Demodulation: NOAA-Satellitenbilder

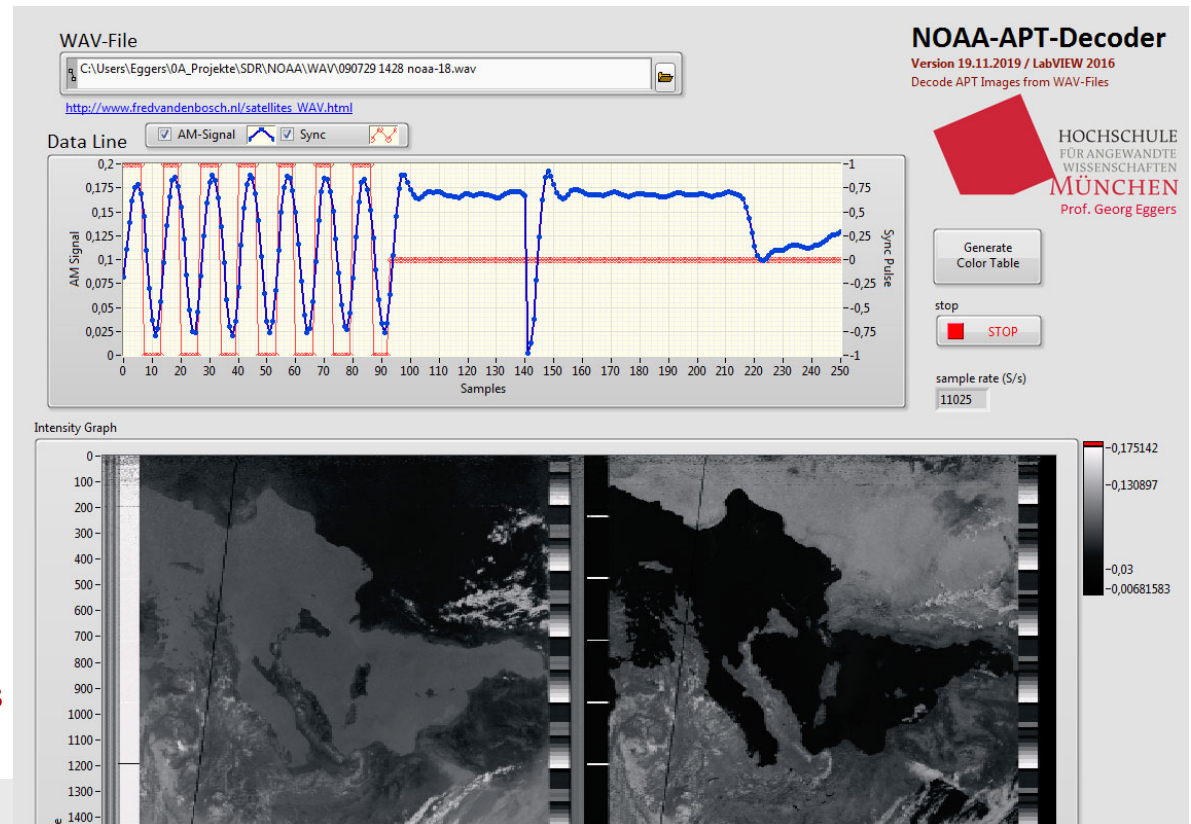
- Bilddaten als 2-d array im Intensity-Graph
- Beispiel: Aufnahme von Fred van den Bosch, <http://www.fredvandenbosch.nl/>

- VI abrufbar unter [www.georg-eggers.de/labview4lectures](http://www.georg-eggers.de/labview4lectures)



SDR mit LabVIEW

Prof. Dr. Georg Eggers, [georg.eggers@hm.edu](mailto:georg.eggers@hm.edu)



29.09.2023

- 24 -



3c: Beispiel:

## Automatic dependent surveillance—Daten (ADS-B)

- Luftfahrzeuge senden periodisch Identifikation und GPS-Positionsdaten
  - Trägerfrequenz  $f_{Car} = 1090$  MHz
  - Binäre Amplitudenmodulation mit  $0,5 \mu\text{s}$  Bit-Länge
- Empfang durch RTL-SDR möglich mit Rafael Micro R820T2 Tuner-IC
  - $\frac{\lambda}{4}$ -Antenne einfach selbst herzustellen
  - I/Q-Sampling mit  $f_s = 2$  MHz  
→ ein Sample pro Bit

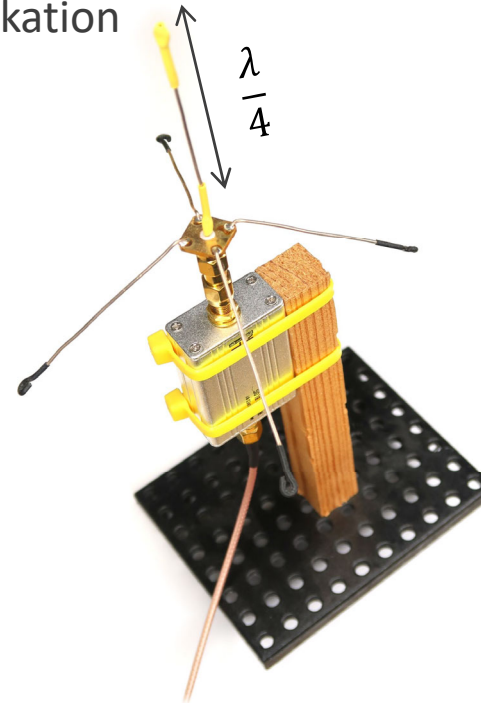
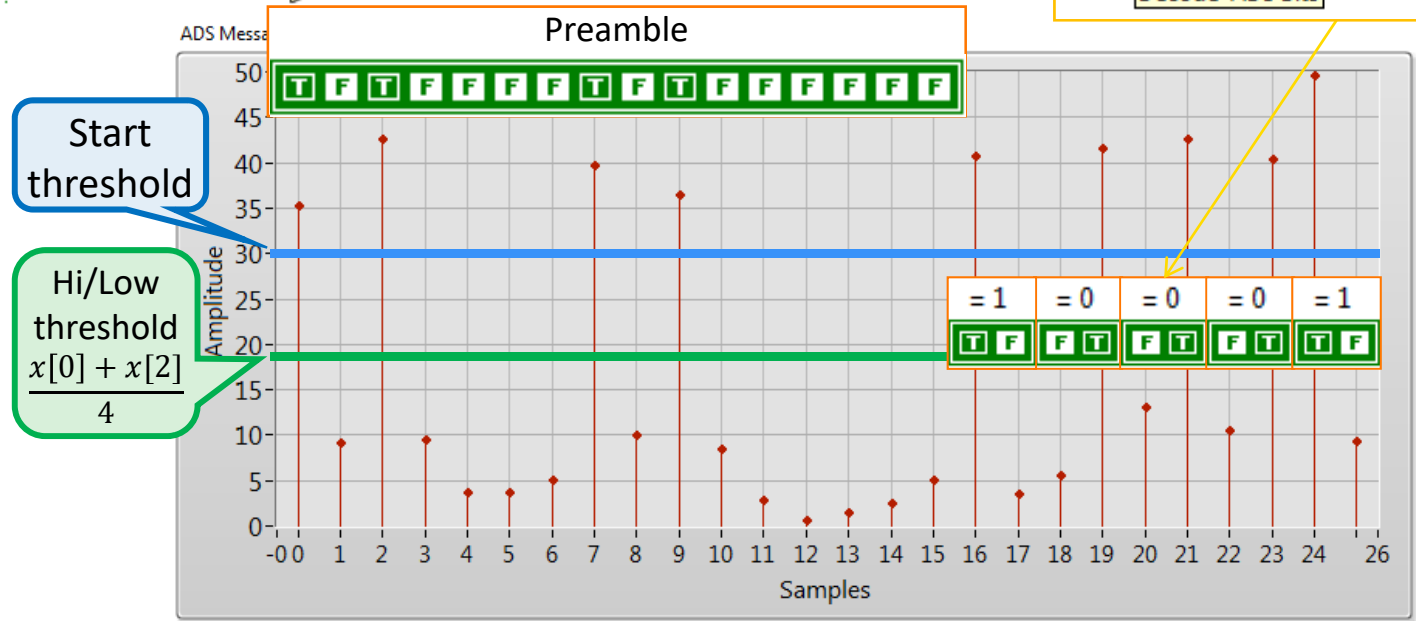
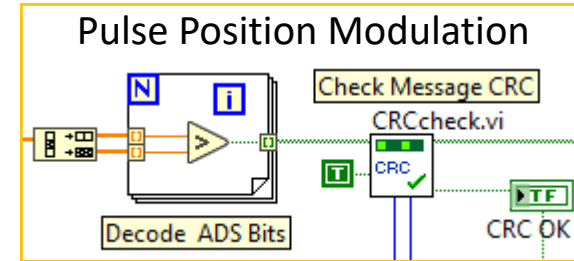
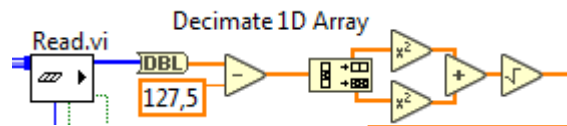


Image: www.faa.gov

3c: Beispiel:

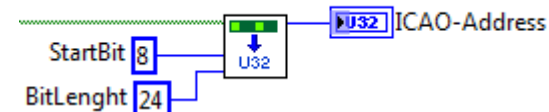
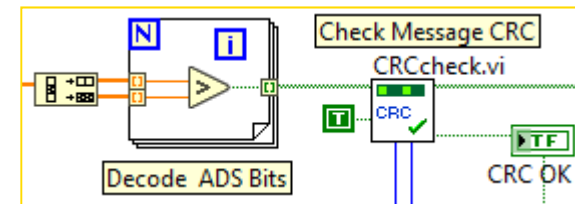
# ADS-B Data Frame



3c: Example:

## Automatic dependent surveillance—Daten (ADS-B)

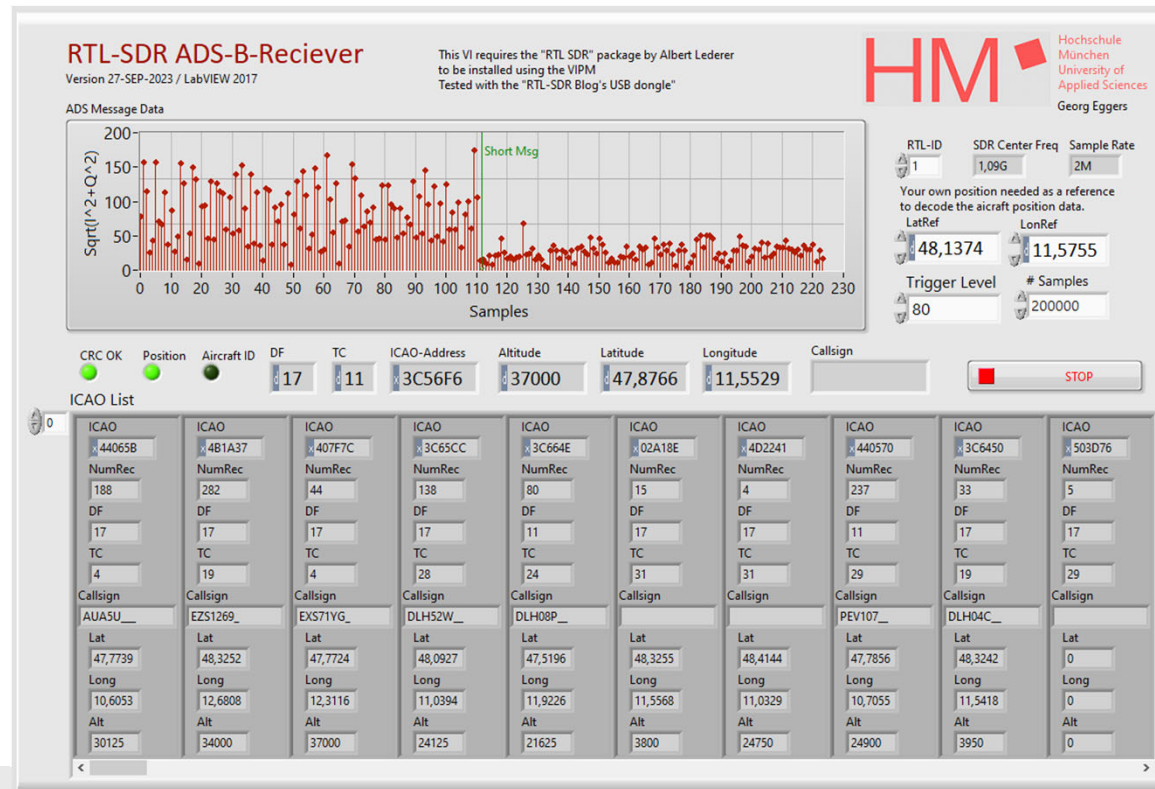
- 224 Samples mit Pulse-Position-Modulation werden in 112 bits gewandelt (10→1; 01→0)
- 112 Bit ADS-B Message enthält immer ICAO ID des Luftfahrzeugs (Bit 8..31)
- Message enthält weiterhin abwechselnd
  - Aircraft identification
  - Surface position
  - Airborne position and altitude
  - Airborne velocities
  - Aircraft status
- Daten können mit Luftverkehrs-Website geprüft werden, z.B. [flightradar24.com](https://www.flihtradar24.com)



3c: Example:

## Automatic dependent surveillance—broadcast (ADS-B)

- Aircraft data can be verified with flight monitoring websites, e.g. “flightradar24.com”



VI available from  
[www.georg-eggert.de/labview4lectures](http://www.georg-eggert.de/labview4lectures)



SDR mit LabVIEW

Prof. Dr. Georg Eggers, georg.eggert@hm.edu

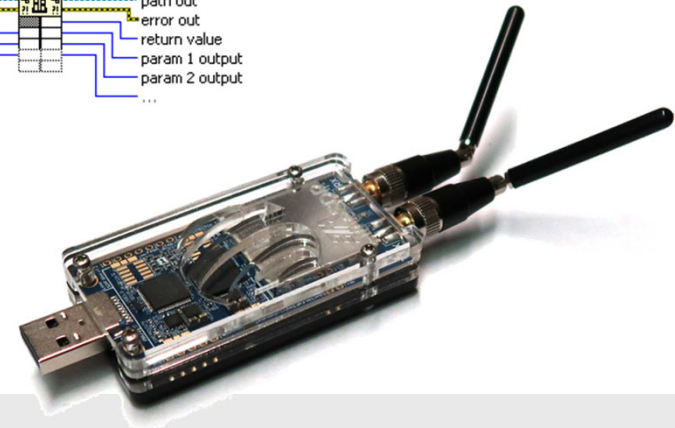
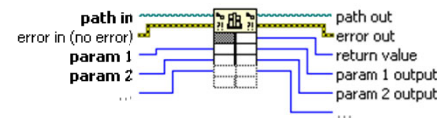
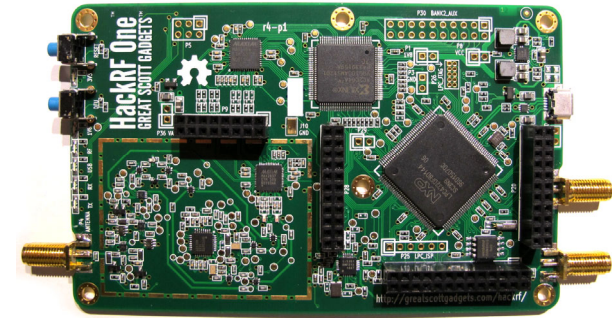
29.09.2023

- 28 -

## Ausblick

# Open Source SDR-Hardware mit Sendefunktion (Tx)

- HackRF One
  - 1 MHz to 6 GHz Trägerfrequenz, Halb-Duplex
  - 20 MS/s 8-bit quadrature samples (8-bit I and 8-bit Q)
- LimeSDR mini
  - 10 MHz to 3,5 GHz Trägerfrequenz, Voll-Duplex
  - 30,72 MS/s 12-bit quadrature samples
- Funktionieren mit SDR# & GNU Radio, aber ...
- Keine LabVIEW-Treiber verfügbar
  - DLLs als open source
  - Programmierung von Call Library Function Nodes mit „Import shared library“ durch Verwendung von pointers, streams and structs gescheitert
  - OPENUSRP-Project versucht Einbindung von LimeSDR in NI-USRP durch gefälschte Identität als Ettus USRP B210



wdwd, SDR HackRF one PCB, CC BY-SA 4.0

Abschluss

## Zusammenfassung

- SDR-Systeme erlauben praktische Erfahrung mit Demodulationsverfahren
  - HF-Signale werden durch Mischer für DAC-Systeme zugänglich
  - Mathematische Methoden sind anschaulich verständlich
  - Analoge und Digitale Radiosignale mit LabVIEW erfassbar
  - Amplituden- und Frequenzmodulation mit LabVIEW umsetzbar
- RTL-SDR
  - ermöglicht SDR-Datenerfassung zu mit sehr geringen Hardwarekosten
  - Ist dank Alfred Lederers Treiberpaket einfach in LabVIEW integrierbar
- There's lots and lots of radio signals to explore ...

→ SDR ist vielfältig für den Einsatz in der Lehre geeignet

**Try it yourself: [www.georg-eggers.de/labview4lectures](http://www.georg-eggers.de/labview4lectures)**



**SDR mit LabVIEW**

Prof. Dr. Georg Eggers, [georg.eggers@hm.edu](mailto:georg.eggers@hm.edu)

29.09.2023

- 30 -

# Quellen

- (1) **RTL-SDR Blog**  
<https://www.rtl-sdr.com/>
- (2) Albert Lederer: **Using RTL-SDR with Labview**  
<https://forums.ni.com/t5/Example-Program-Drafts/Using-RTL-SDR-with-Labview-Chapter-1-Labview-on-Windows/ta-p/3538774>
- (3) National Oceanic and Atmospheric Administration:  
**User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations**  
[https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users\\_Guide-Building\\_Receive\\_Stations\\_March\\_2009.pdf](https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users_Guide-Building_Receive_Stations_March_2009.pdf)
- (4) Fred van den Bosch: **NOAA satellite WAV-files**  
[http://www.fredvandenbosch.nl/satellites\\_WAV.html](http://www.fredvandenbosch.nl/satellites_WAV.html)
- (5) NI Forum User "IdE": **ADS-B Decoding with LabVIEW USRP**  
<https://forums.ni.com/t5/Software-Defined-Radio/ADS-B-Decoder-Airplane-Tracker/ta-p/3500055?profile.language=en>
- (6) Junzi Zun: **The 1090MHz Riddle: An open-access book about decoding Mode-S and ADS-B data**  
<https://mode-s.org/decode/index.html>
- (7) Salvatore Sanfilippo: **Dump1090 open source project:**  
<https://github.com/antirez/dump1090>

Abschluss

## Danke

- Albert Lederer, Steve Markgraf and Dimitri Stolnikov :
  - Making RTL-SDR available to LabVIEW users
- Herbert Pichlik & Michael Chowanetz
  - Veranstaltung der LabVIEW-Usertage
- Mechatronik-Studierende an der Hochschule München
  - Erdulden der halbfertigen SDR-Inhalte in der Vorlesung
- Das Publikum
  - Fürs Dabeibleiben