

# AfuTUB-Kurs

## Technik Klasse A 15: Übertragungstechnik

DL0XK

Amateurfunk Forschungs Gruppe der TU Kaiserslautern

<https://www.amateurfunk.uni-kl.de/home/>



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Sun Nov 10 18:51:25 2019 +0100  
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

# Einleitung / Umleitung

Aufgrund sehr großer Überschneidungen werden viele Digimodes bereits in der *Lektion E16: (Digitale) Betriebsarten* behandelt.

AfuTUB-Kurs

Technik A 15

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

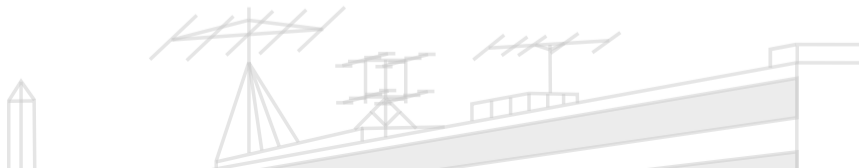
APRS

PSK31

AMTOR

FACTOR

Referenzen



# Analog-Digital-Wandlung (ADC)

## Analog-Digital-Wandlung

## Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

## Anwendungen

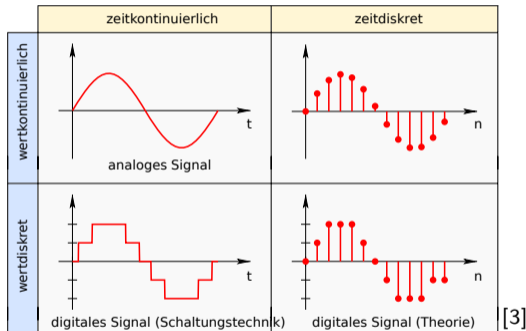
APRS

PSK31

AMTOR

FACTOR

## Referenzen



Ein analoges Signal wird in ein digitales Signal über zwei Schritte umgewandelt

Abtastung zeitkontinuierlich  $\rightarrow$  zeitdiskret

Quantisierung wertkontinuierlich  $\rightarrow$  wertdiskret

Abb. 1: Übersicht kontinuierliche und diskrete Signale

# Dynamikumfang

Die Anzahl der möglichen Ausgangswerte  $N$  beträgt bei einem  $n$ -Bit ADC

$$N = 2^n \quad (1)$$

8 Bit  $\Rightarrow$  256 unterschiedliche Werte

16 Bit  $\Rightarrow$  65536 unterschiedliche Werte

$\Rightarrow$  Je größer die Abtastrate und die ADC-Auflösung sind, umso genauer entspricht das Digitalsignal dem Analogsignal.

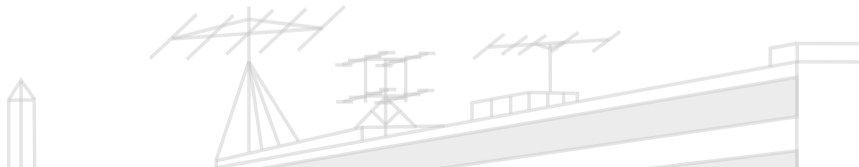
# Modulation

Ein Trägersignal  $u(t)$  lässt sich folgendermaßen beschreiben:

$$u(t) = \hat{u}(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t + \phi_0) \quad (2)$$

Moduliert werden können:

- Die Amplitude  $\hat{u}$
- Die Frequenz  $f_0$
- Die Nullphasenlage  $\phi_0$



# Amplitude Shift Keying (ASK)

AfuTUB-Kurs

Technik A 15

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

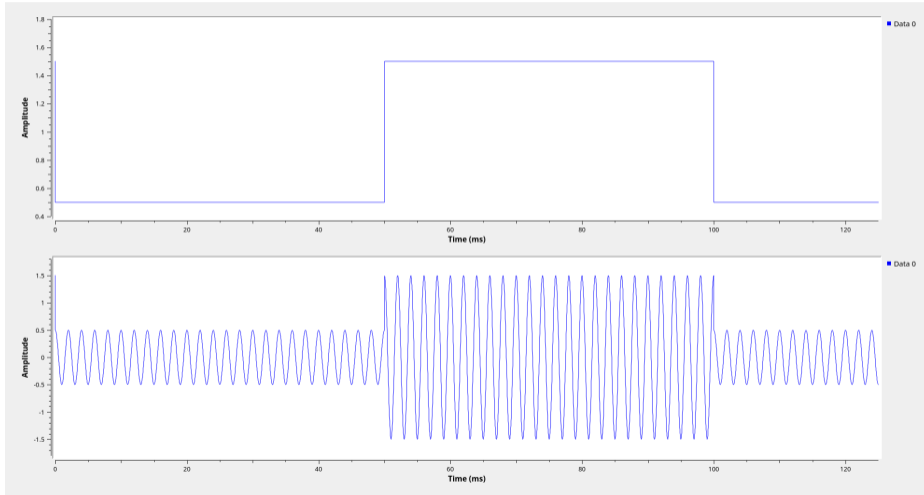
APRS

PSK31

AMTOR

FACTOR

Referenzen



# Spezialfall OOK

AfuTUB-Kurs

Technik A 15

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

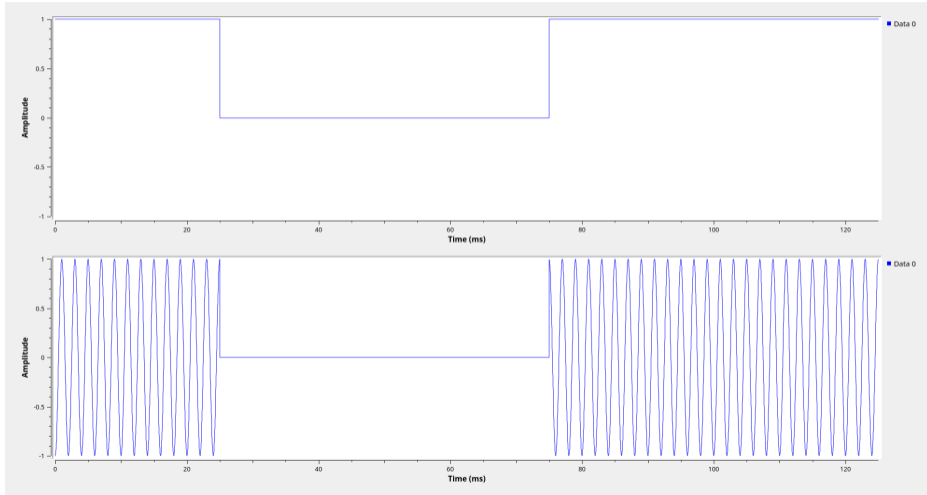
APRS

PSK31

AMTOR

FACTOR

Referenzen



# Spezialfall BPSK

AfuTUB-Kurs

Technik A 15

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

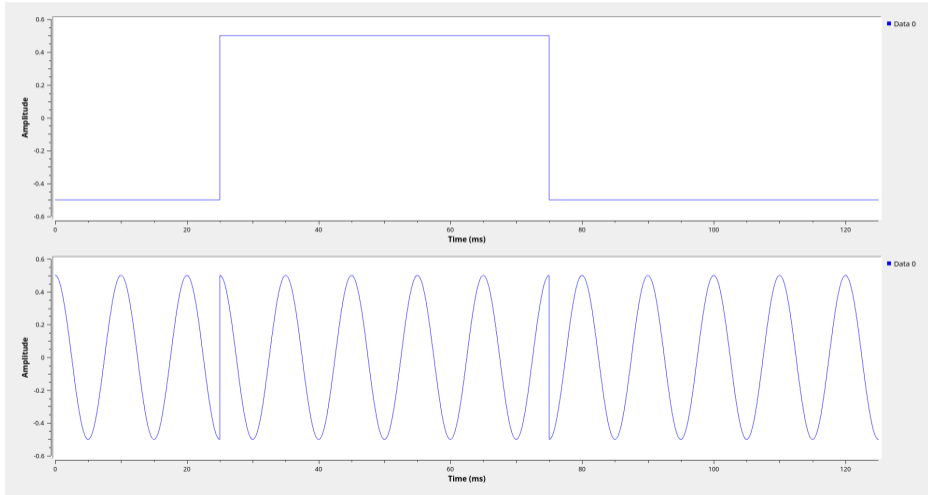
APRS

PSK31

AMTOR

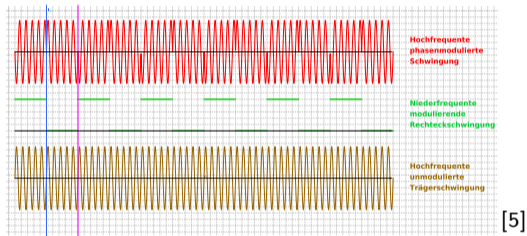
FACTOR

Referenzen





# Phase Shift Keying (PSK)

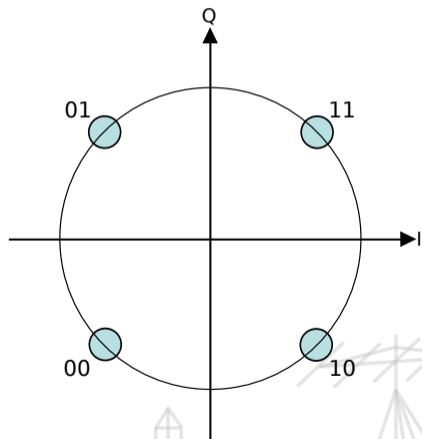


- Phasendrehung der Welle gibt die Information wieder
- Je nach Unterart der PSK gibt es 2,4,8 oder auch mehr mögliche Phasenlagen, in denen der Träger sich befinden kann

Abb. 2: BPSK mit harter Umastung

# Konstellationsdiagramm

Beispiel: QPSK



- Häufige Darstellungsform für PSK-Modulationsarten
- Kann Amplitude und Phasenlage, nicht aber Frequenz abbilden!
- *I* steht für *In-phase component* und *Q* für *Quadrature Component*

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

APRS

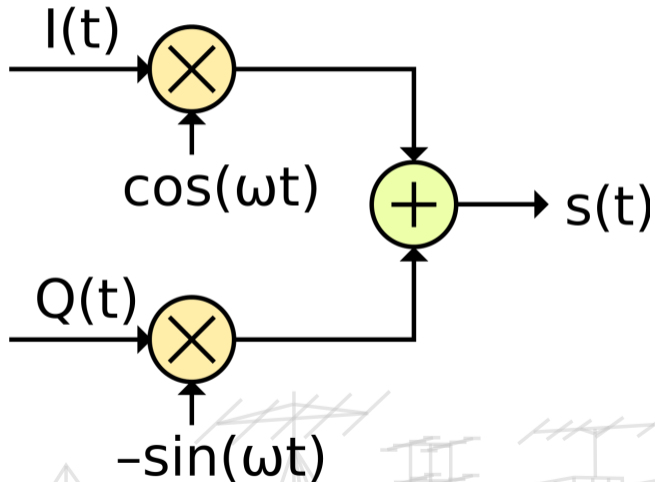
PSK31

AMTOR

FACTOR

Referenzen

# I-Q-Modulation



AfuTUB-Kurs

Technik A 15

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

APRS

PSK31

AMTOR

FACTOR

Referenzen

# Quadraturamplitudenmodulation

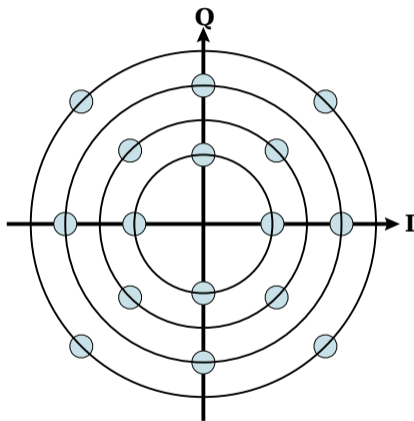


Abb. 3: Circular 16QAM

- Kombination von Phase und Amplitude für Datenübertragung
- Mehrere Bits können zur gleichen Zeit übertragen werden
- Anwendung bei LTE, DSL, DVB etc.
- *Beispiel: ↗ 4 Bit 16-QAM Demo*
- DVB-C2 G.hn (HomeGrid) nutzen 12 Bit 4096-QAM

## Analog-Digital-Wandlung

### Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

### Anwendungen

APRS

PSK31

AMTOR

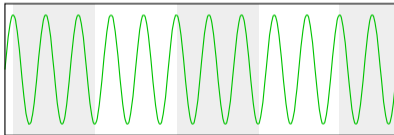
FACTOR

### Referenzen

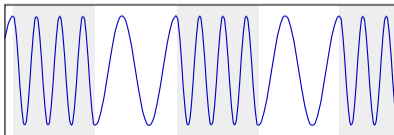
# Frequenzumtastung / Frequency Shift Keying (FSK)



Data



Carrier



Modulated Signal

[4]

- ähnlich zu FM
- unempfindlich gegenüber Störungen
- einfachste Umsetzung: zwei Frequenzen

# Audio Frequency Shift Keying (AFSK)

FSK im NF-Bereich. Das entstehende Signal kann dann wiederum z.B. amplituden- oder frequenzmoduliert sein.

## RTTY

logisch 0 1200 Hz (oder 2100 Hz bei "high tones")

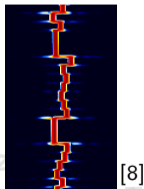
logisch 1 1400 Hz (oder 2300 Hz bei "high tones")

Modulation mit 14100 kHz und SSB ergibt die Frequenzen 14101,200 kHz und 14101,400 kHz.

Die 200 Hz Frequenzabstand wird *Shift* genannt.

# Symbolrate

- Werden mehrwertige Modulationsverfahren benutzt, können mehrere Bits pro Signalzustand übertragen werden. Dabei bezeichnet man diese zusammengefassten Bits als *Symbol*.
- Die Anzahl der übertragenen Symbole pro Sekunde wird in der Einheit *Baud* angegeben.



# Automatic Packet Reporting System (APRS)

- sendet kurze Datenpakete ohne Bestätigung
- Inhalte sind Wetterdaten, Positionsmeldungen und andere Messwerte
- ganz häufig GPS-Koordinaten des eigenen Fahrzeugs mit Rufzeichen
- ↗ Darstellung mit Karte von Berlin
- QRG ist 144,800 MHz

## Analog-Digital- Wandlung

### Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

### Anwendungen

APRS

PSK31

AMTOR

PACTOR

### Referenzen



# PSK31

- 1999 von G3LPX entwickelt
- Bitrate von 31,25 Bit/s – Bandbreite somit 31 Hz
- → 1/10 der Bandbreite von Telegraphie!
- mit guten Filtern reichen 10 W für weltweiten Funkverkehr
- Subarten BPSK und QPSK (mit Fehlerkorrektur)
- Hilfsträger bei 1000 Hz

## Analog-Digital- Wandlung

### Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

### Anwendungen

APRS

PSK31

AMTOR

PACTOR

### Referenzen

# AMTOR (*nicht prüfungsrelevant*)

## Amateur Microprocessor Teleprinting Over Radio

- hohe Übertragungssicherheit
- nach drei Zeichen wird eine Quittierung eingefordert
- → ARQ (automatic repeat request)
- 7 Bits, von denen nur die 38 Kombinationen mit 4 Einsen und 3 Nullen verwendet werden
- abgelöst durch PACTOR

# PACTOR

## Packet Teleprinting Over Radio

- Weiterentwicklung von AMTOR durch DF4KV und DL6MAA in 1990
- für störungsbehaftete Übertragung auf Kurzwelle geeignet
- Je nach Modus handelt es sich um AFSK, DPSK, QAM oder ein Mehrträgerverfahren
- 8-Bit Code zzgl. CRC-Check → **Fehlerkorrektur**
- Weiterentwicklung aktuell bei PACTOR 4 mit 10500 bps
- Controller ist gebrauchsmustergeschützt und recht teuer

# Referenzen/Links

- [1] DARC Online-Lehrgang Lektion A15:

<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a15/>


- [2] Fragenkatalog Bundesnetzagentur Technik Klasse A:

[https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Amateurfunk/Fragenkatalog/TechnikFragenkatalogKlasseAf252rId9014pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Amateurfunk/Fragenkatalog/TechnikFragenkatalogKlasseAf252rId9014pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

Abbildungen:

- [3] Abtastung: 

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3A%C3%9Cbersicht\\_kontinuierliche\\_und\\_diskrete\\_Signale.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3A%C3%9Cbersicht_kontinuierliche_und_diskrete_Signale.svg)

- [4] FSK: 

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fsk.svg>

- [5] PSK: 

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phase\\_modulation\\_\(PHM\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phase_modulation_(PHM).svg)

- [6] QPSK: 

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:QPSK\\_Gray\\_Coded.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:QPSK_Gray_Coded.svg)

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

APRS

PSK31

AMTOR

FACTOR

Referenzen

[7] 16-QAM: 

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circular\\_16QAM.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circular_16QAM.svg)

[8] Signal Identification Wiki

<https://www.sigidwiki.com/>

AfuTUB-Kurs

Technik A 15

Analog-Digital-  
Wandlung

Modulation

ASK

PSK

Konstellationsdiagramm

QAM

FSK

AFSK

Symbolrate

Anwendungen

APRS

PSK31

AMTOR

FACTOR

Referenzen

