

CHIRP SPREAD SPECTRUM

eine von vielen
LongRange (LoRa) LowPower
Modulationen

(verwendet als physische Layer von
z.B. LoRaWAN, Meshtastic, MeshCore, ...)

Andreas (DM4AB)

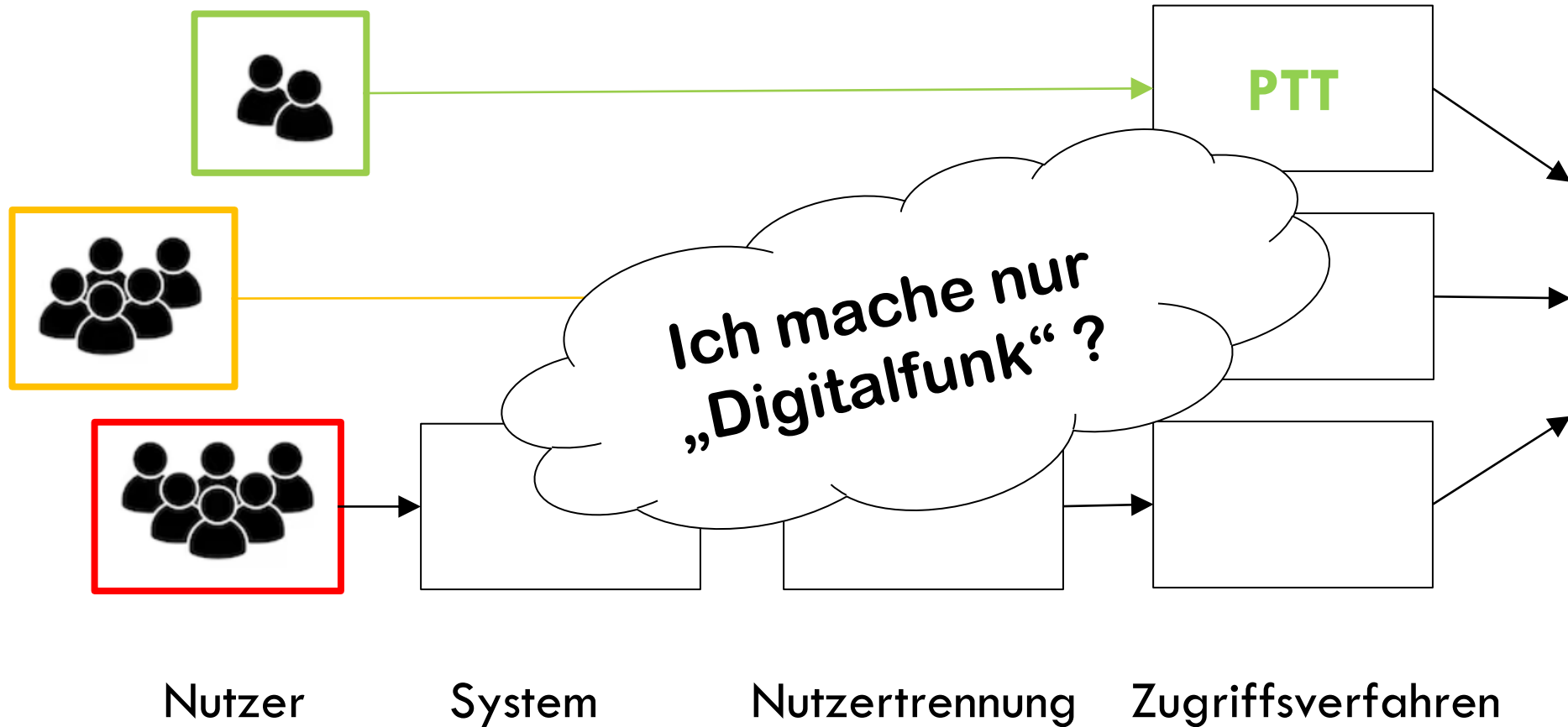
P14 OV-Abend September 2026

Agenda

1. **Baublöcke:** Nutzer, System, Nutzertrennung, Zugriffsverfahren, Modulation
2. über „Spreiz-Codierung“
3. wie nutzt Chirp-Spread-Spectrum das Frequenzband, wie arbeitet der Empfänger
4. was sind mögliche Probleme auf Funk-Ebene, wodurch entstehen weitere System-Einschränkungen?



Baublöcke



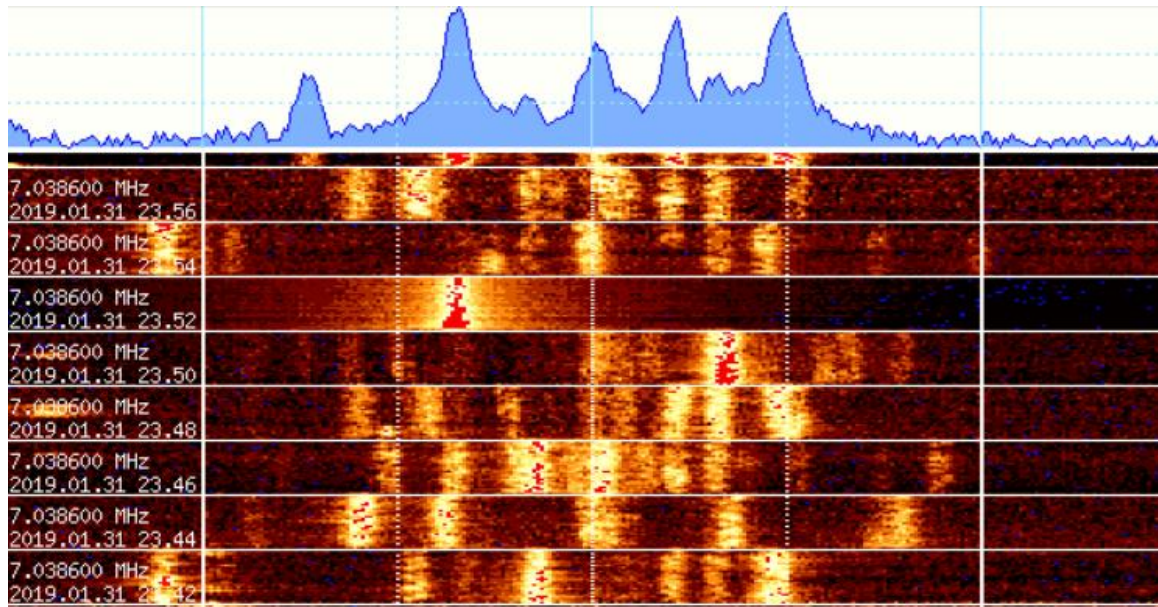
Zeichen	Bedeutung
N	Keine Modulation
A	Amplitudenmodulation
H	Amplitudenmodulation (Einseitenbandmodulation, voller Träger)
R	Amplitudenmodulation (Einseitenbandmodulation, reduzierter Träger)
J	Amplitudenmodulation (Einseitenbandmodulation, unterdrückter Träger)
B	Amplitudenmodulation mit unterschiedlichen Seitenbändern
C	Amplitudenmodulation, Restseitenbandmodulation
D	Amplitudenmodulation, Winkelmodulation
F	Winkelmodulation, Frequenzmodulation
G	Winkelmodulation, Phasenmodulation
P	Unmodulierte Pulsfolge
K	Amplitudenmodulierte Pulse
L	Breitenmodulierte Pulse (Pulsdauer)
M	Phasenmodulierte Pulse (Pulsposition)
Q	Träger während eines Pulses phasenmoduliert

Modulation



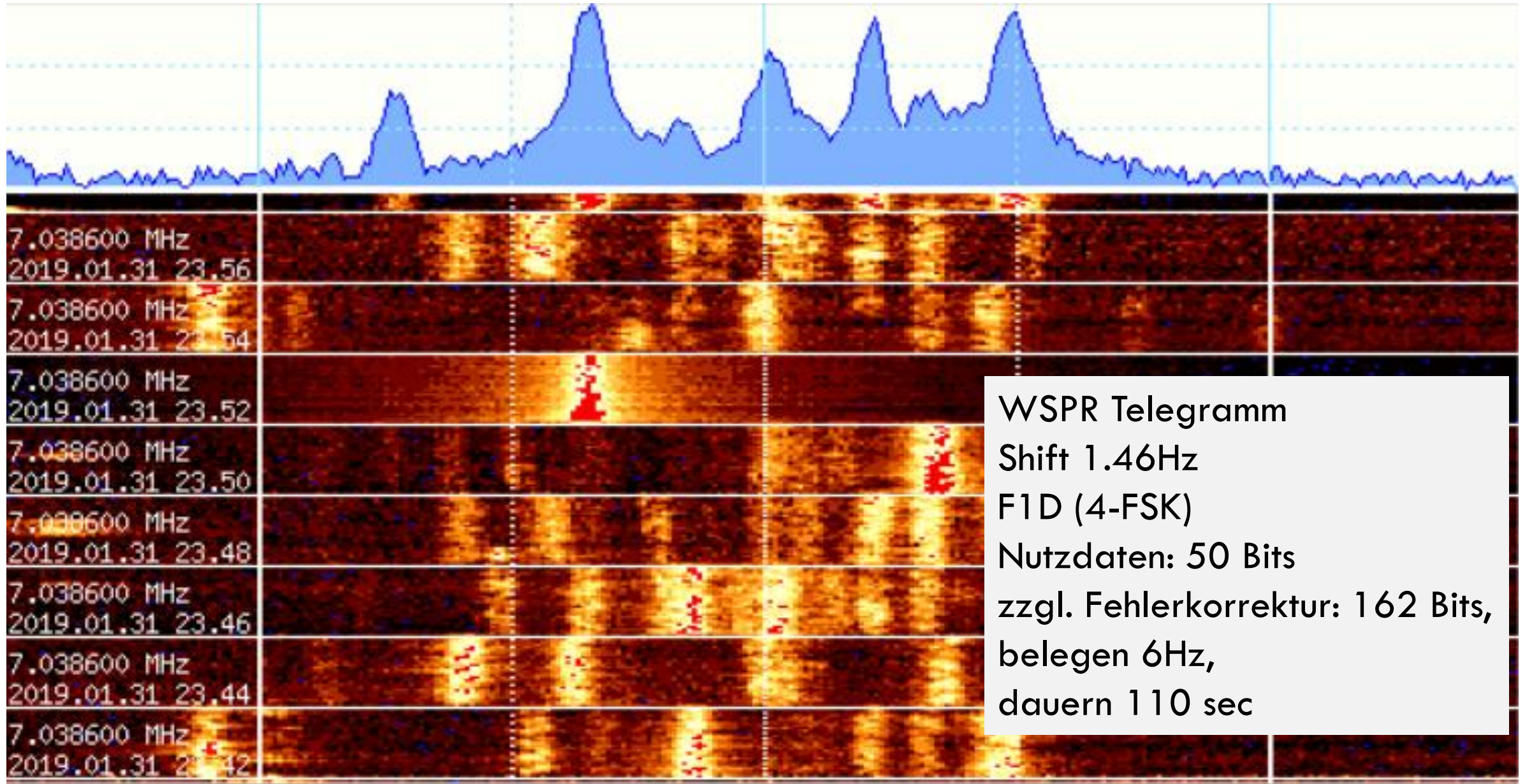
Baublock Modulation

- am Ende ist doch wieder alles analog
- und das analoge Signal befördert Information (*manchmal fragwürdiger Art*)
- und oft versuchen wir, ein möglichst **schmalbandiges** Sendesignal zu erzeugen

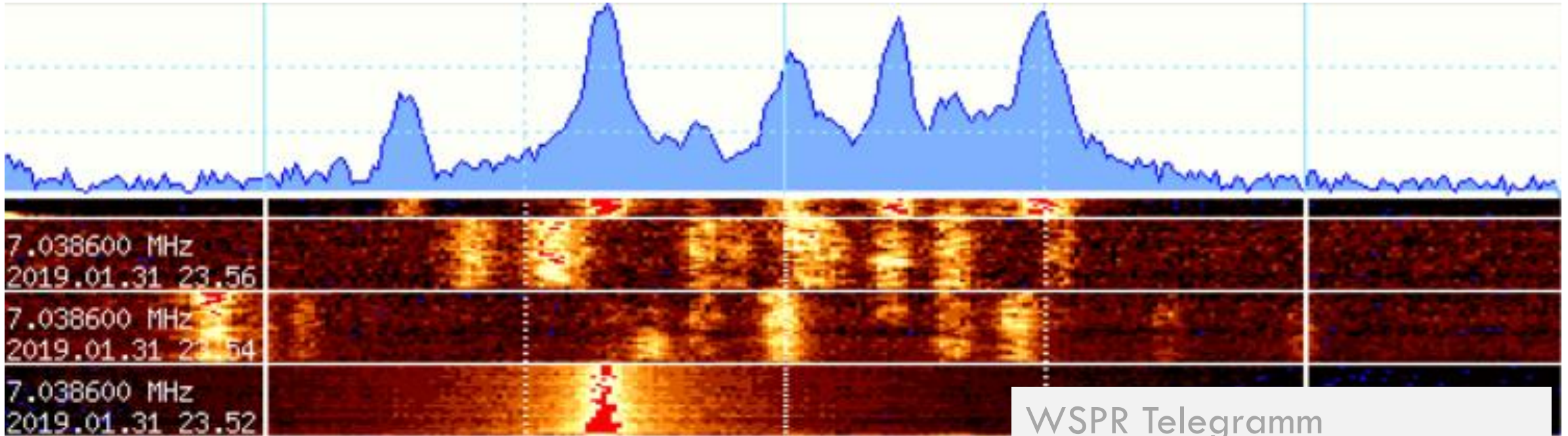


Zeichen ↕	Bedeutung ↕
N	Keine Modulation
A	Amplitudenmodulation
H	Amplitudenmodulation (Einseitenbandmodulation, voller Träger)
R	Amplitudenmodulation (Einseitenbandmodulation, reduzierter Träger)
J	Amplitudenmodulation (Einseitenbandmodulation, unterdrückter Träger)
B	Amplitudenmodulation mit unterschiedlichen Seitenbändern
C	Amplitudenmodulation, Restseitenbandmodulation
D	Amplitudenmodulation, Winkelmodulation
F	Winkelmodulation, Frequenzmodulation
G	Winkelmodulation, Phasenmodulation
P	Unmodulierte Pulsfolge
K	Amplitudenmodulierte Pulse
L	Breitenmodulierte Pulse (Pulsdauer)
M	Phasenmodulierte Pulse (Pulsposition)
Q	Träger während eines Pulses phasenmoduliert

Unter-Baublock (Kanal-)Modulation



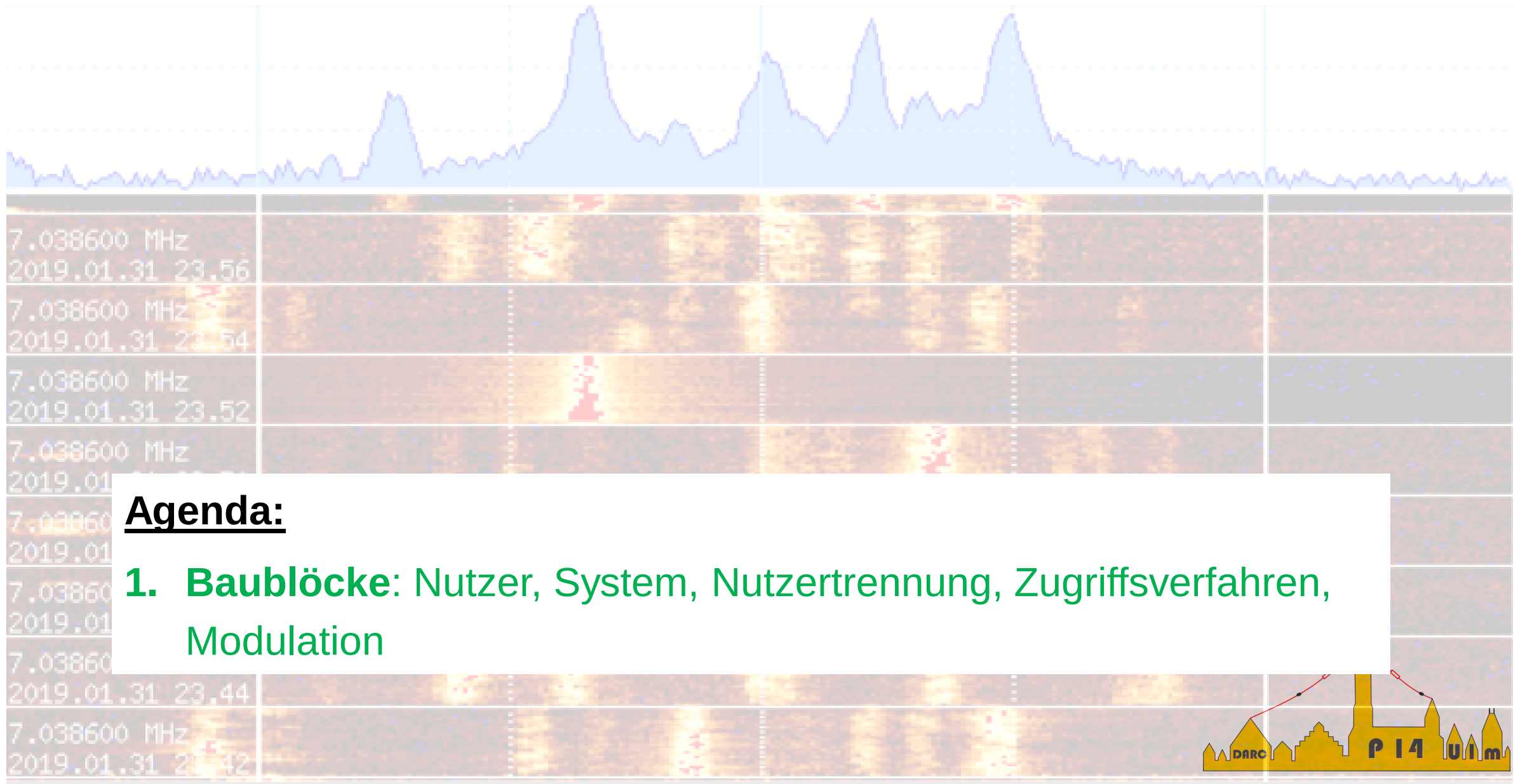
Unter-Baublock (Kanal-)Modulation

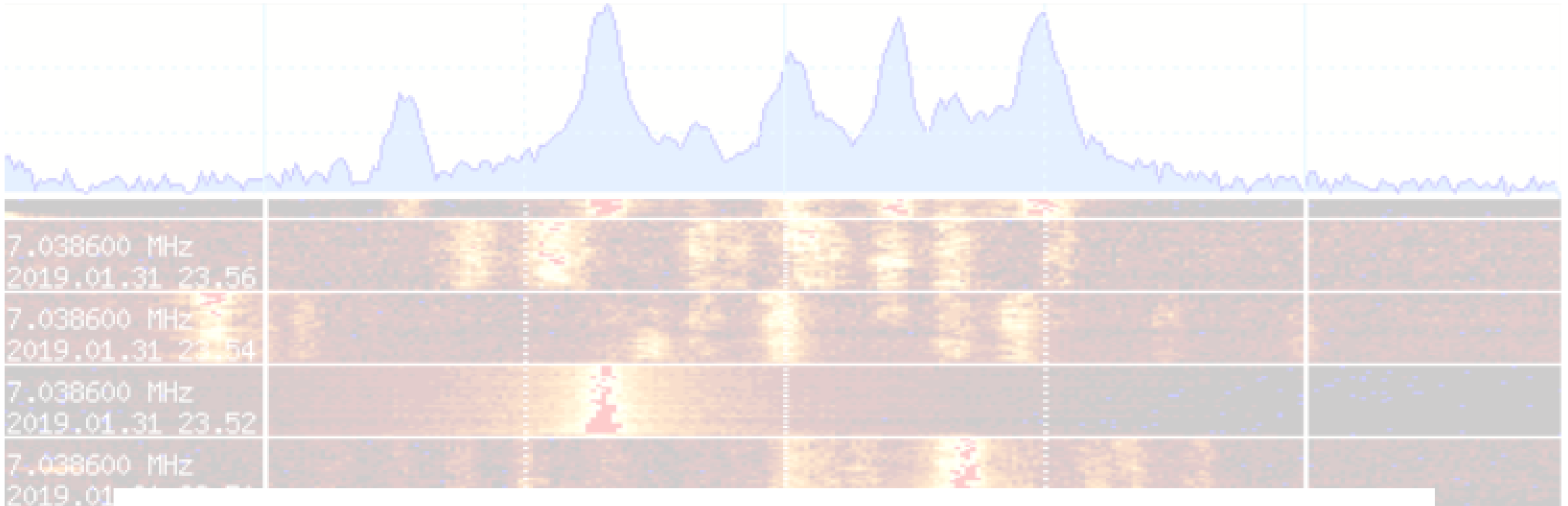


anschaulich:

- langes Bit (Symbol): „mittelt Rauschen weg“
- Fehlerkorrektur: verlängert künstlich die Übertragung, hilft bei QSB durch Mehrwege-Ausbreitung
- Synchronisierung
- feste Frequenz pro Station

WSPR Telegramm
Shift 1.46Hz
F1D (4-FSK)
Nutzdaten: 50 Bits
zzgl. Fehlerkorrektur: 162 Bits,
belegen 6Hz,
dauern 110 sec

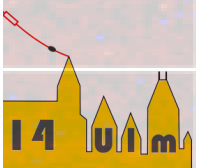
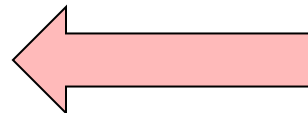




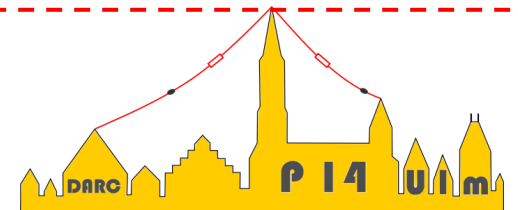
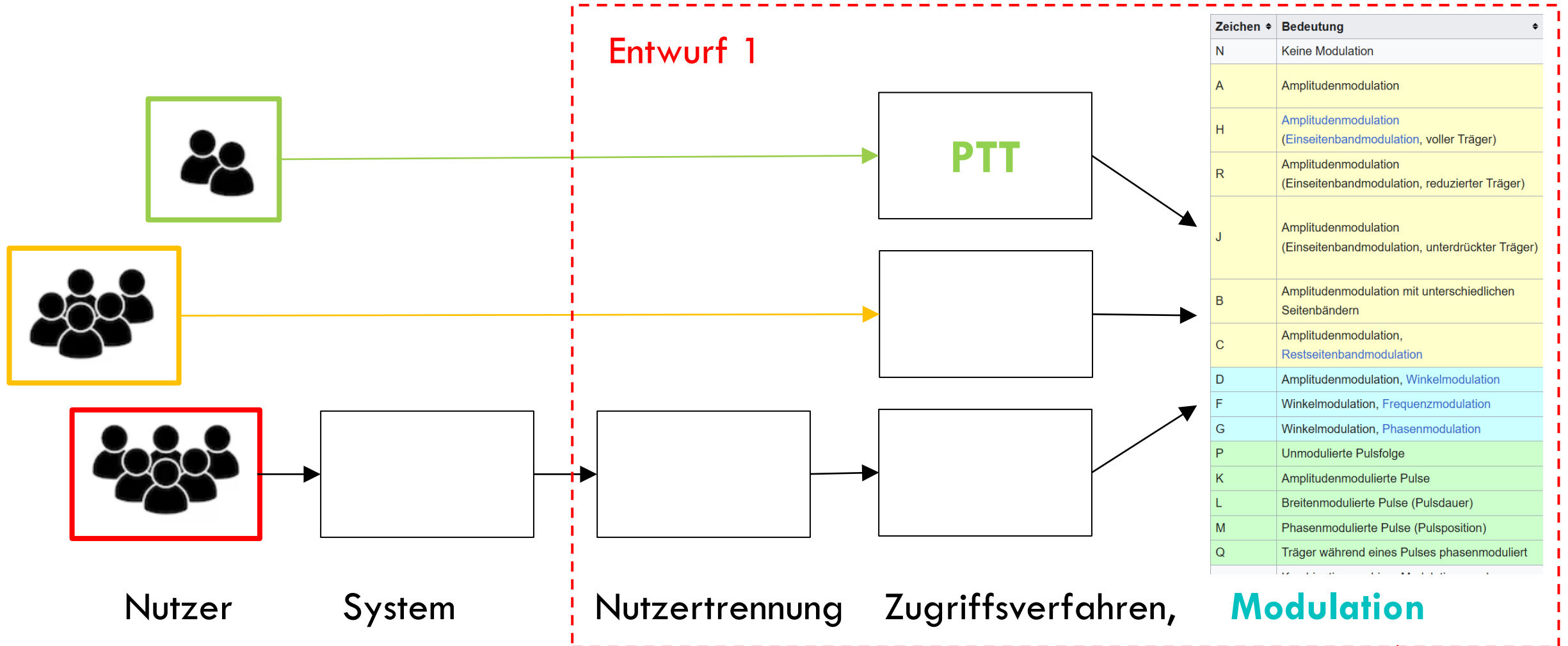
Agenda:

1. **Bausteine:** Nutzer, System, Nutzertrennung, Zugriffsverfahren, Modulation

2. über „**Spreiz-Codierung**“



System mit Spreiz-Codierung



System mit Spreiz-Codierung

Entwurf 1



Agenda

1. Baublöcke: Nutzer, System, Nutzertrennung, Zugriffsverfahren, Modulation

2. über „Spreiz-Codierung“

DEMO

3. wie nutzt Chirp-Spread-Spectrum das Frequenzband, wie arbeitet der Empfänger
4. was sind mögliche Probleme auf Funk-Ebene, wodurch entstehen weitere System-Einschränkungen?



Agenda

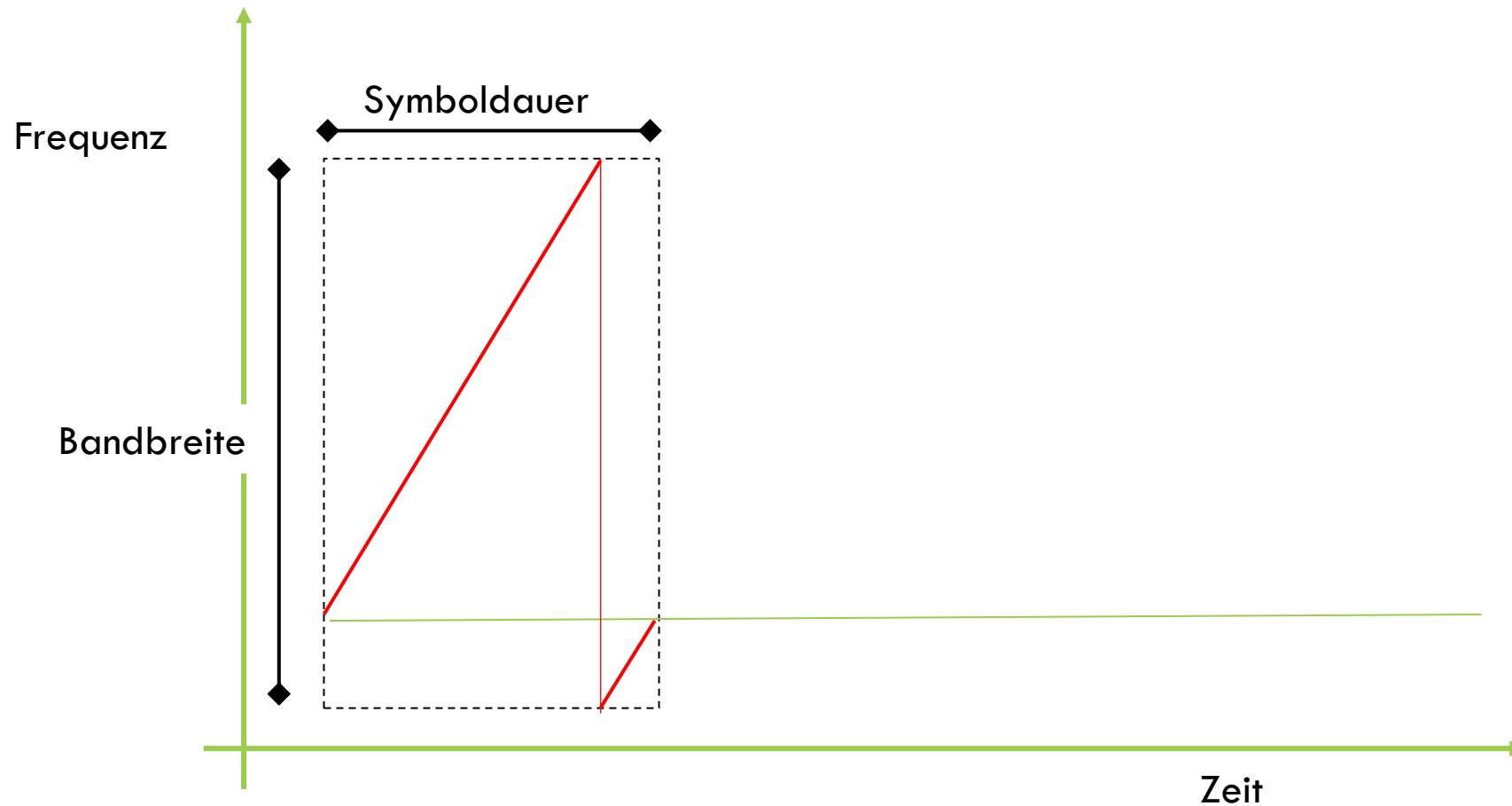
1. Baublöcke: Nutzer, System, Nutzertrennung, Zugriffsverfahren, Modulation
2. über „Spreiz-Codierung“

3. wie nutzt Chirp-Spread-Spectrum das Frequenzband, wie arbeitet der Empfänger

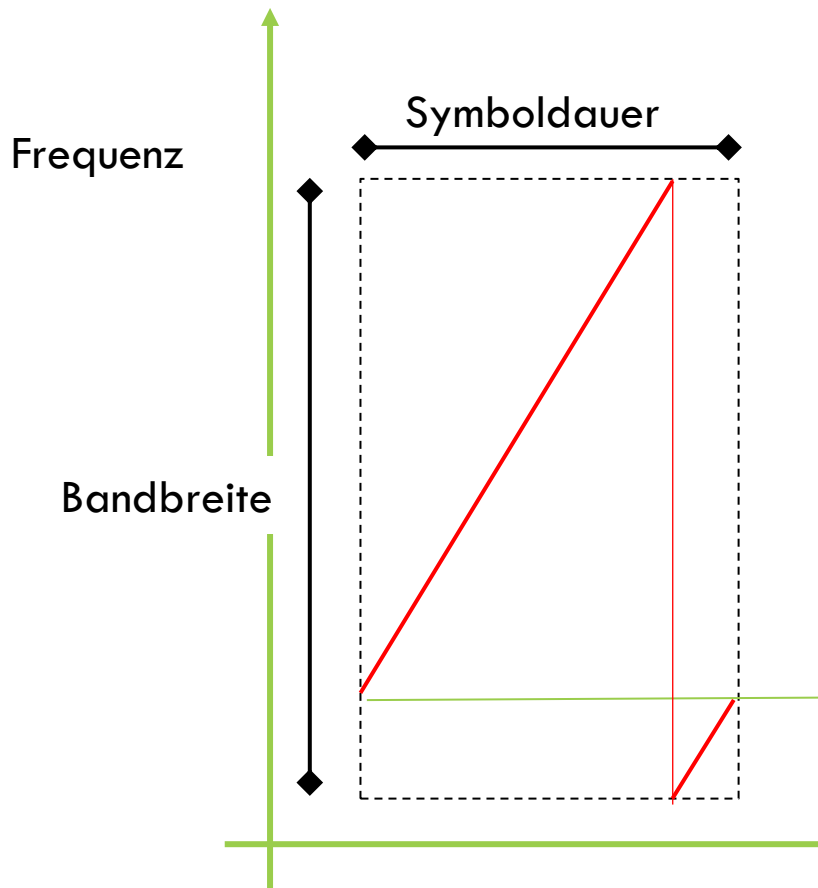
4. was sind mögliche Probleme auf Funk-Ebene, wodurch entstehen weitere System-Einschränkungen?



Chirp-Spread-Spectrum (CSS)

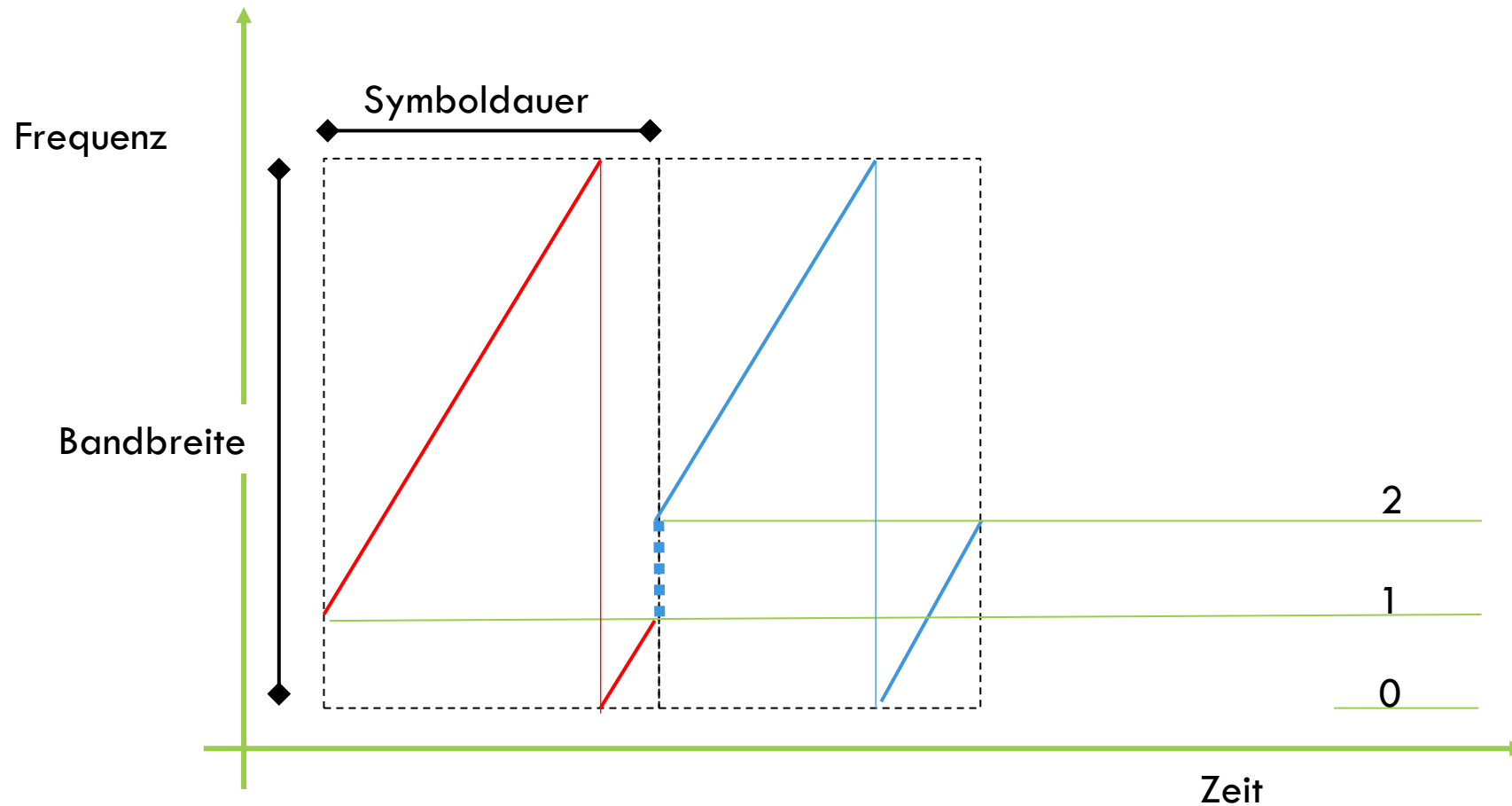


Chirp-Spread-Spectrum (CSS)

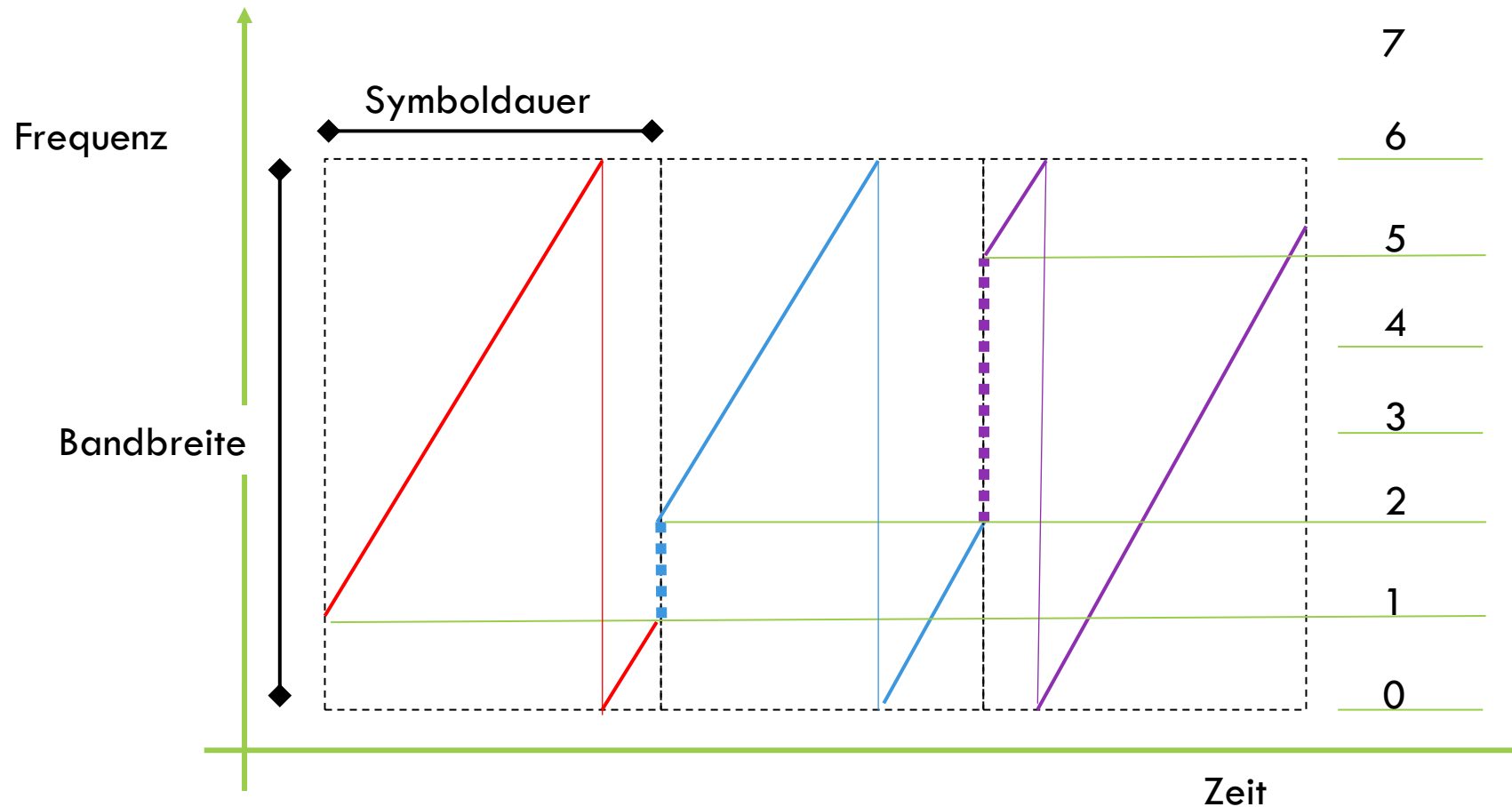
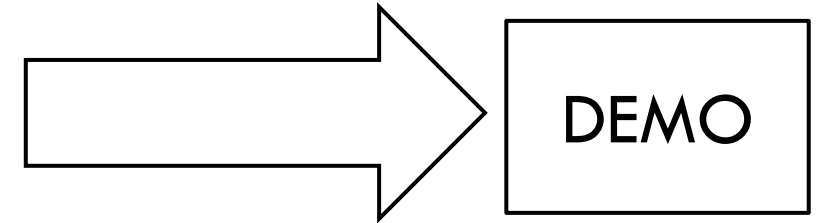


- der „Chirp“ ist ein „Frequenz-Sweep“ durch die vorgesehene Bandbreite bei vorgegebener Geschwindigkeit, „**Slope**“
- der Start-Zeitpunkt des Sweeps enthält die Information, **Slope-(time-)Shift-Keying (SSK)**
- jeder Sweep kann mit einer anderen Frequenz starten, die Frequenz ändert sich danach linear und kontinuierlich, **lineare FM (LFM)**
- generell **Up-Chirps** (Wechsel zwischen Up-Chirps und Down-Chirp zum Sync)
- Roll-Over bei maximaler oder minimaler Frequenz oder Symbolwechsel (ohne Phasensprung!)
- **Sender** bei kontinuierlicher (=stetiger) Signal-Phase (wie TRX mit Analog-VFO),
- **Empfänger** hat einen synchronisierten Referenz-Chirp, mischt und wertet das Misch-Ergebnis im Spektrum aus

Chirp-Spread-Spectrum (CSS)



Chirp-Spread-Spectrum (CSS)

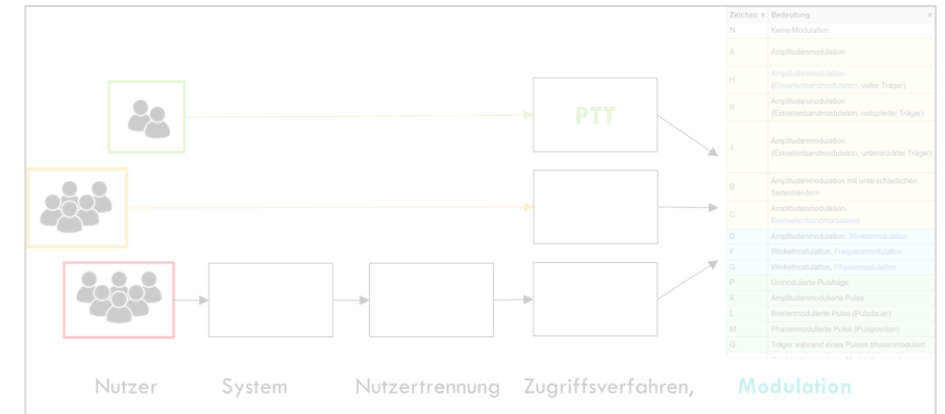


Symbol	Bits
7	111
6	110
5	101
4	100
3	011
2	010
1	001
0	000

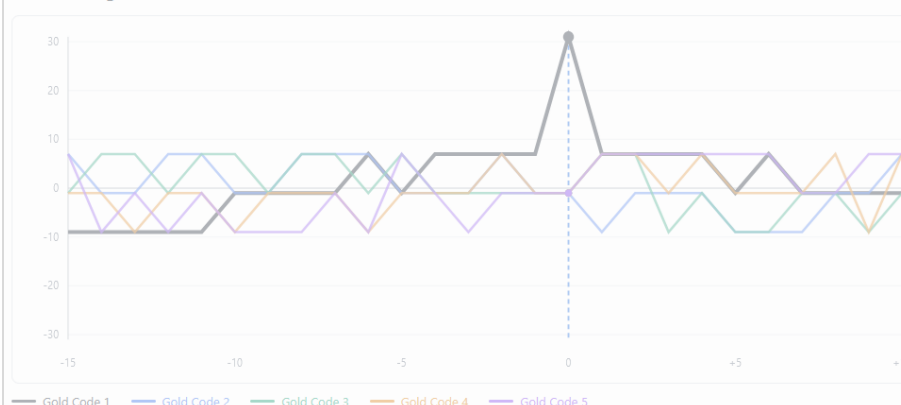


Chirp-Spread-Spectrum (CSS)

- ein Halb-Duplex System
- mit *busy?* Prüfung vor Sendebeginn
- mit Frequenz-moduliertem Signal (LFM)
- Information steckt in der Frequenz zum Slope-Start (SSK)
- Rampengeschwindigkeit bestimmt die Symboldauer
- zus. mit Anzahl von Frequenz-Offsets folgt die Datenrate

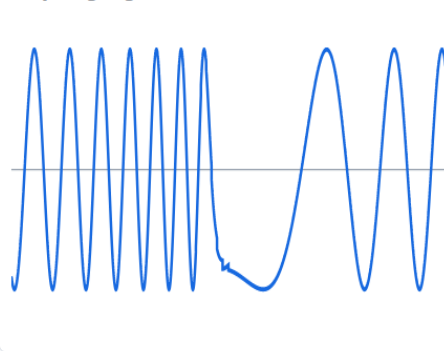


KKF des ausgewählten Codes mit allen 5 Gold Codes

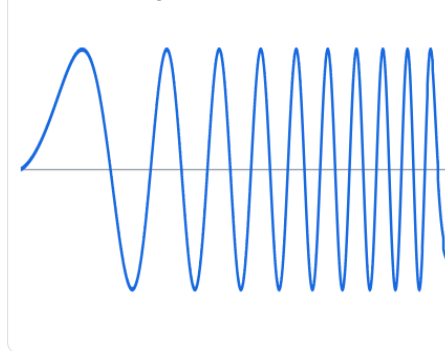


3. Empfänger

Empfangssignal



Referenz-Chirp



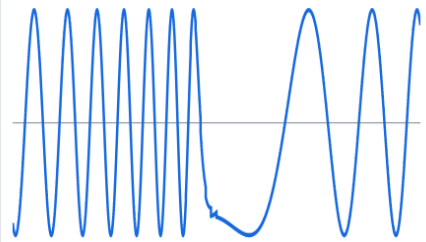
Ergebnis · Dechirping + FFT



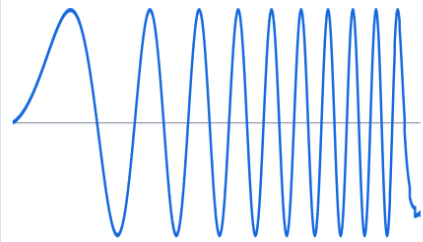
Agenda

3. Empfänger

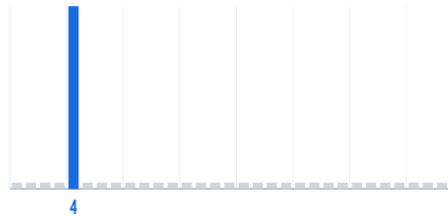
Empfangssignal



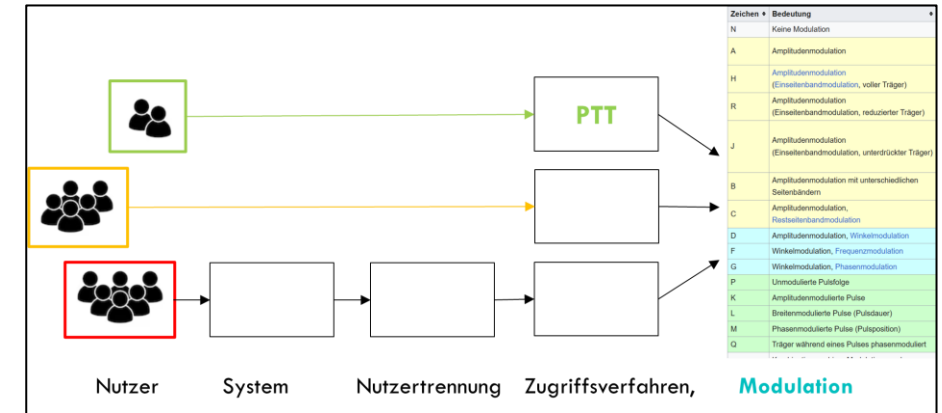
Referenz-Chirp



Ergebnis · Dechirping + FFT

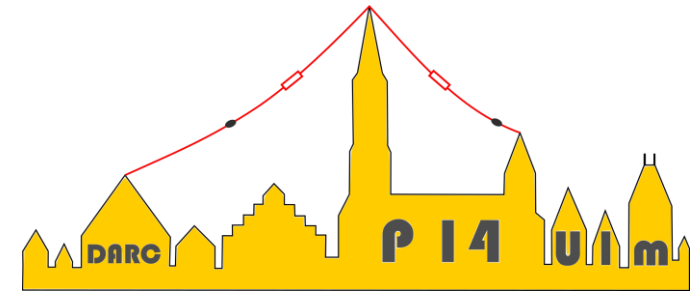


Erkanntes Symbol: 4



4. was sind mögliche Probleme auf Funk-Ebene, wodurch entstehen weitere **System**-Einschränkungen?





CHIRP SPREAD SPECTRUM

eine von vielen
LongRange (LoRa) LowPower
Modulationen

(verwendet als physische Layer von
z.B. LoRaWAN, Meshtastic, MeshCore, ...)

Andreas (DM4AB)

P14 OV-Abend September 2026