

# Digital Modes

am Beispiel von  
JT65 und WSPR

SKV-Sportzentrum Linz

22.06.2017

Ing. Reinhold Autengruber, OE5RNL

Digitalreferent OE5

HAMNET Koordinator OE5

[oe5rnl@oevsv.at](mailto:oe5rnl@oevsv.at)

# Was schauen wir uns an ?

- Theorie: Digimodes
  - Was sind Digimodes
  - Merkmale von Digimodes
  - Welche Digimodes gibt es
  - Modulationsarten: Analog / Digital
- Was brauche ich zum Betrieb von WSPR JT65 ?
- Gemeinsames / Unterschiede WSPR JT65
- JT65
- WSPR
- Betrieb – Live !!!



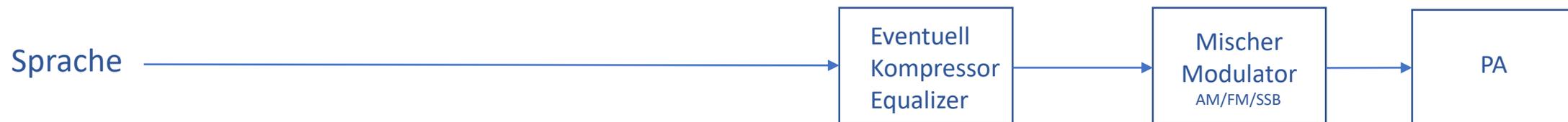
# Was sind Digi modes

- Wenn man einen Computer an das Funkgerät anschließt und Funkbetrieb macht... oder die CW Taste !
- Daten und/oder digitalisierte Sprache werden übertragen.
- Wir verwenden also Digitale Übertragungsprotokolle.
- Im Idealfall erreichen wir durch den Digi mode eine gegen Störungen/Rauschen unempfindliche Übertragung unserer gewünschten Information. Oft weit unter dem Rauschen !!!
- Ein guter CWist kann bis zu 18 dB unter dem Rauschen dekodieren !
- Die Übertragung selbst am HF Weg erfolgt natürlich analog mit unterschiedlichen Modulationsarten.

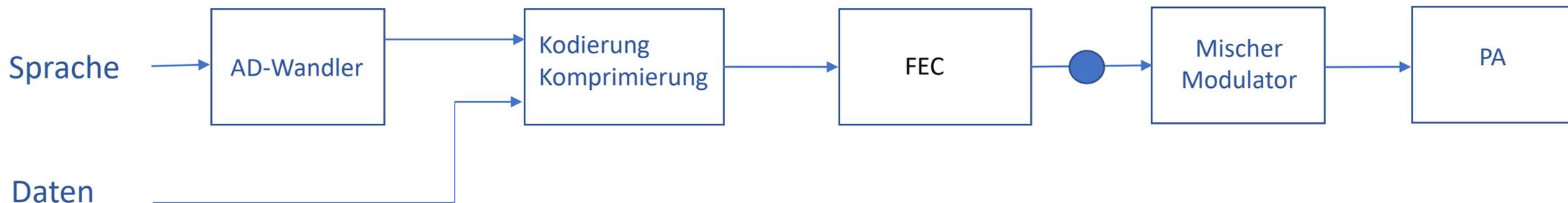


# Welche Merkmale haben Digi modes

## Analogübertragung



## Digitalübertragung



FEC = Forward Error Correction

Nicht alle Modes haben eine Komprimierung oder Fehlerkorrektur  
Auf der Empfangsseite haben wir das gleiche - nur in umgekehrter Reihenfolge



# Ausflug: Bitraten Digital Voice, JT65, WSPR

Mode	Codec	Bit Rate [bps]	Voice [dbs]	FEC	Bandwith	Modulation	Notes
Dstar	AMBE+	4800	2400	1200	06,25 kHz	GMSK	GMSK
DMR	AMBE+2	7200	2400 x 2	1200 x 2	12,5 kHz	4FSK	TDMA, 2x voice
Fusion DN	AMBE+2	9600	2400	1200	12,5 kHz	C4FM	Greater FEC = +Range
Fusion VW	AMBE+2	9600	4800	2400	12,6 kHz	C4FM	Better audio, lower FEC, less data
FreeDV	Codec2	700-3200	700-3200	diverse	2,5 kHz		mit 8 kHz Sample
????	Opus	6 -510 kBit	6 -510 kBit	diverse	???		Low Latency
JT65	Prop.	1,538	-	72/378	177,6Hz	4FSK	Kein Sprachmode
WSPR	Prop.	0,4	-	50/162	5,4 Hz	65FSK	Kein Spramchode



# Welche Digi modes gibt es ?

- Beispiele: CW, RTTY, PSK31, SSTV, Packet Radio, APRS, SIM31, MFSK16, FSQ, AMTOR, MT63, Winmor, Hell, FreeDV, **WSPR**, **JT65**, Olivia . . .
- Es gibt sehr viele verschiedene digi modes, siehe zum Beispiel:
  - [http://hfradio.org.uk/html/digital\\_modes.html](http://hfradio.org.uk/html/digital_modes.html)
- Sie unterscheiden sich in der Art der Komprimierung, Codierung, Fehlerkorrektur und der verwendeten Modulationsart.
- Wir betrachten hier WSPR und JT65

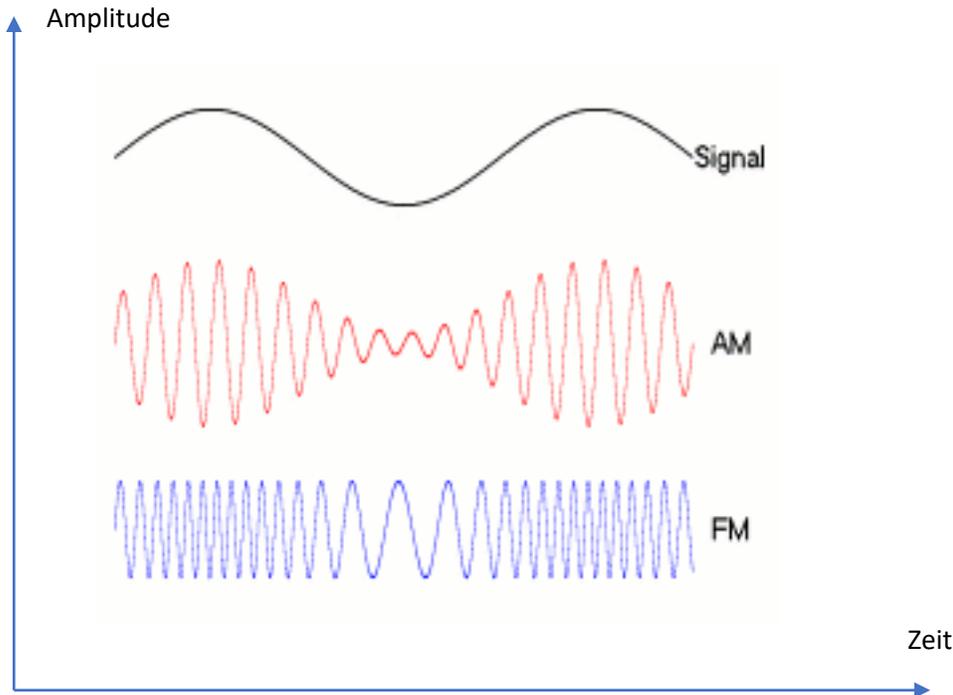


# Modulationsarten: Analog/Digital

- Analoge
  - AM - Amplitudenmodulation
  - FM – Frequenzmodulation
  - SBB - Einseitenband mit unterdrücktem Träger
  - DSB – Zweiseitenband mit/ohne unterdrücktem Träger
  - Und andere
- Digitale
  - FSK – Frequency Shift Keying z.B.: WSPR, JT65
  - GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying Z.B.: D-STAR
  - AFSK – Audio Frequenz Shift Keying zB.: packet 1k2 FM
  - ASK – Amplitude Shift Keying
  - PSK – Phase Shift Keying zB.: PSK31
  - QAM – Quadraturamplitudenmodulation
  - Und andere

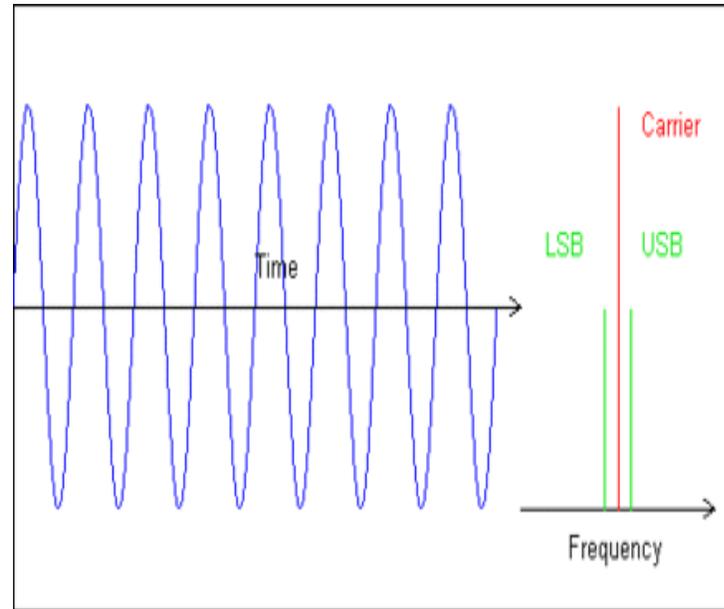


# Modulationsarten: Analog



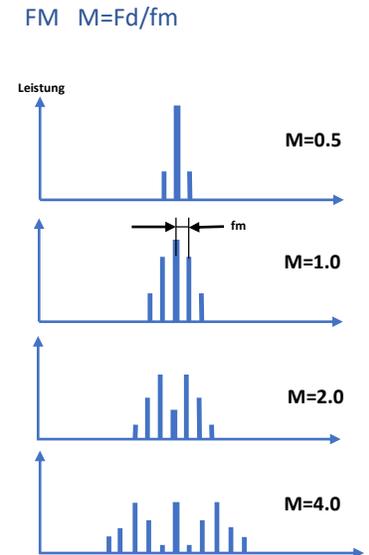
Wikipedia By Berserkerus (Own work) [CC BY-SA 2.5 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5>)], via Wikimedia Commons

## AM Modulationsfrequenz / Spektrum



Wikipedia By Herbertweidner (talk) 12:16, 25 January 2013 (UTC) (programmed by myself) [Public domain or CC0], via Wikimedia Commons

## FM Frequenzmodulaion



$M = F_d/F_m$  ( $f_d = \text{hub}$   $f_m = \text{modulatiofrequenz}$   $M = \text{Modulationsindex}$ )

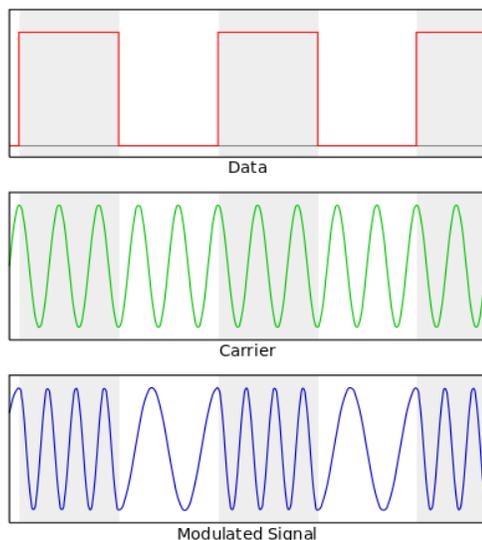
Bei einem frequenzmodulierten Signal entstehen Seitenschwingungen im Abstand der Signalfrequenz von der Trägerfrequenz. Theoretisch entstehen unendlich viele Seitenschwingungen. Praktisch werden Seitenschwingungen kleiner 10 % der Amplitude des unmodulierten Trägers vernachlässigt.



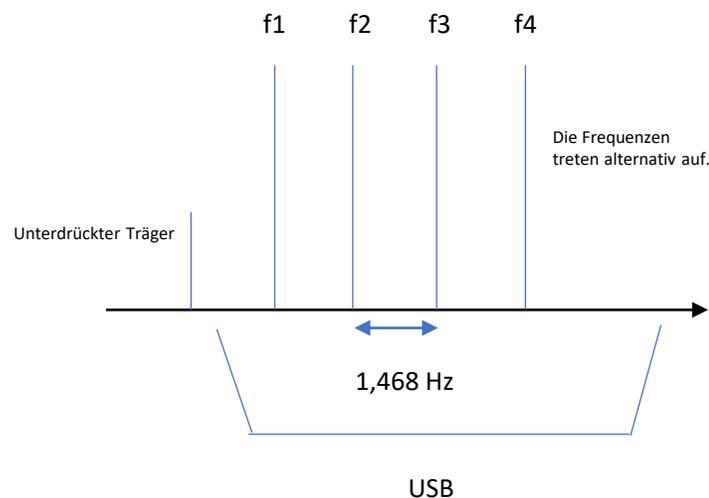
# Modulationsarten: Digital

- Übertragung erfolgt „digital“
  - Im Gegensatz zu FM, AM, SSB ist nicht jeder analoge Wert zugelassen.
  - Der Nachrichteninhalt (Sprache, Daten) wird per diskreten Tönen übertragen.

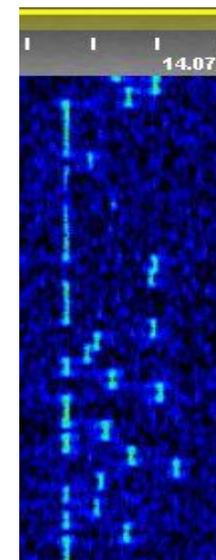
(2)FSK (Zeitbereich)



4-FSK WSPR (Spektrum)



65-FSK JT65 (Wasserfall)



Wikipedia: von Die Autorenschaft wurde nicht in einer maschinell lesbaren Form angegeben.  
Es wird Ktims als Autor angenommen (basierend auf den Rechteinhaber-Angaben).  
[GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>), CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)  
oder CC BY-SA 2.5-2.0-1.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5-2.0-1.0/>), via Wikimedia Commons



# Was brauche ich zum Betrieb von WSPR / JT65

## SSB Transceiver

- immer im USB Mode
- Genaue Zeit
- „normale“ 2,3 kHz Bandbreite

## Etwas weniger Leistung

- Wenige Milliwatt bis einige Watt
- Dauerstrichleistung beachten !!! Sonst 50% oder weniger

## PC oder Raspberry PI mit einer genaue Zeit (<=1 Sekunde)

### Trennstufe zwischen PC und Transceiver für

- Audio AFSK, FSK
- CAT Signal (**C**omputer **A**ided **T**ransceiver**c**ontrol) oder *PTT Steuerung*
  - zur Ansteuerung des Transceivers
  - Zur Frequenzeinstellung, Leistungsregelung
  - Verschiedene CAT Protokolle: Icom CI-V, Text (zB.: TS2000), Yaesu Bytecode
  - <http://www.oe5.oevsv.at/technik/betrieb/zubehoer/>

## Antenne - horizontal ?

**Programme:** z.:B.: WSJT-X für WSPR und JT65-HF für JT65



# Gemeinsames / Unterschiede WSPR JT65 (1)

WSPR , JT65 - Wer hat's erfunden?



Joseph H. Taylor, K1JT  
Universität Princeton  
Nobelpreis für Physik 1993  
Pulsarforschung Energieverlust durch Gravitationswellen

**WSPR** → **W**Weak **S**ignal **P**ropagation **R**epporter

**JT65** → **J**oe **T**aylor **65** (Töne)

Hat auch WSJT, MAP65 und SimJT ... entwickelt.

Die Programme sind Open Source



# Gemeinsames / Unterschiede WSPR JT65 (2)

## WSPR

- **Automatischer Betrieb**
- Leistung bis max 5 Watt (37 dBm)
- Reporting in <http://wspnnet.org>
- Decodiert mehrere Stationen gleichzeitig
- 2 Minuten Je Durchgang

## JT65

- **QSO Betrieb**
- Leistung tw. höher als 5 Watt
- Bis zu 30W – das ist QRO !!!!
- Lesenswert: [jt65-hf-setup.pdf](#)
- Reporting in <http://pskreporter.info/pskmap.html>
- Decodiert mehrere Stationen gleichzeitig
- Robuster gegen Unterbrechungen
- 1 Minute je Durchgang



# Gemeinsames / Unterschiede WSPR JT65 (3)

	WSPR	JT65A	JT65B	JT65C
Modulation	4FSK	65-FSK	65-FSK	65-FSK
HF-Bandbreite [Hz]	5,9	177,6	355,2	710,4
Dauer der Übertragung [sec]	110,6	46,8	46,8	46,8
Übertragungsrate [baud]	1,4648	2,69	2,69	2,69
Nachrichtenlänge [bits]	50	72	72	72
Anzahl der Kanalsymbole	162	126	126	126
Tonabstand [Hz]	1,4648	5,4	10,8	21,6

Bei JT65-A passen 10 QSO in 2 KHz Bandbreite



# JT65



# JT65 - das Grundlegende (1)

- **QSO Betrieb (Operator muss aktiv was tun !)**
- Zuerst für EME und Meteor Scatter gedacht
- Mode: A,B,C unterschiedliche Tonabstände in der Modulation
- Bei Mode A (177,6) Bandbreite passen rund zehn JT65 Signale nebeneinander in ein Spektrum mit 2kHz Bandbreite.
- Signale bis ca. 26 dB unter dem Rauschen
- **20-30 Watt gelten als QRO !**
- Modulationsverzerrungen durch Übersteuerung – immer bei AFSK
- 1 Minute Zykluszeit (48,8 s Key down, 13,2 s Decodierung etc.)
- CQ Ruf zur geraden Minute (oder auch nicht ...)
- QSO Zeit ca. 5 -6 Minuten
- **<http://pskreporter.info/pskmap.html>**



# JT65 – structured messages (Kodierung) (1)

CQ CALLSIGN GRID  
CALLSIGN CALLSIGN GRID (das erste Call ist immer der gerufene !)  
CALLSIGN CALLSIGN -##  
CALLSIGN CALLSIGN R-##  
CALLSIGN CALLSIGN RRR  
CALLSIGN CALLSIGN 73

“13 Zeichen Freitext”

Diese Struktur ist vorgegeben, es werden vom Programm Annahmen über den Inhalt der Nachricht getroffen .....

Eine strukturierte Nachricht (structured messages ) besteht aus 3 'Feldern' mit den Längen von 28 Bits+28 Bits+15 Bits für insgesamt 71 Bits.

Das 72. Bit zeigt an ob es eine strukturierte Nachricht (Bit 72=0) oder ein 13 Zeichen langer Freitext ist (Bit 72=1).



# JT65 – structured messages (Kodierung) (2)

- Die Übertragung erfolgt nicht Zeichen für Zeichen. Das würde nicht in die  $28+28+15=72$  Bit passen.
- Die Software rechnet das Call und den Locator in Zahlen um die weniger Bits als eine reine Zeichenübertragung (ASCII) benötigt (Kodierung/Komprimierung).
- Zu den 72 Bit Daten kommen 306 Bit FEC Daten.
- Es werden also 378 Bit übertragen ( $\text{redundancy}=378/72=5,25$ )
  
- Beispiel: K1JT OE5RNL JN78
  - 16 Zeichen zu 8 Bit = 128 Bit - bei JT65 72 Bit



# JT65 – structured messages (Modulation)

- 65 Tone (A)FSK
- Die 378 Bits (72+306) teilen wir in 63 Teile zu je 6 bit auf. Wir Übertragen 6 Bit Zahlen !
- Für die Darstellung von 6 Bit benötigen wir  $2^6 = 64$  verschiedene Werte → daher 64 Töne.
- Der extra Ton 65 ist der Sync Ton. Er wird 63 mal je Durchgang übertragen.
- In Summe sind das 63 Datensymbole + 63 mal das Syncsymbol = **126 Symbole**.
- Die NF wird mit 11025 abgetastet.
- Jeder Ton besteht aus 4096 Samples von den 11025 Samples / Sekunde.
- Gesamtübertragungszeit:  $(1/11025) * 4096 = 0.37152 \text{ sec} * 126 \text{ Symbole} = 46,811 \text{ Sekunden}$
- Die Datenrate entspricht **2.69 baud**. Datenrate Netto: 1,538 Bit/s

Der Erste der mir sagt warum bekommt ein Getränk !!!

ÖVSV - OE5RNL



# JT65 – Ich rufe CQ - QSO Zeit 6 Minuten

CQ OE5RNL JN78 (ich rufe CQ mit meinem Locator)

OE5RNL F5XYZ JN18 (F5XYZ antwortet mit seinem QTH Locator)

F5XYZ OE5RNL -18 (ich antworte ihm mit -18 für die Signalstärke)

OE5RNL F5XYZ R-10 (F5XYZ antwortet mir mit R für ok und meiner Signalstärke)

F5XYZ OE5RNL RRR (habe alles verstanden)

OE5RNL F5XYZ 73 (Verabschiedung USA)

F5XYZ OE5RNL 73 (Verabschiedung DL)



# JT65 – Ich antworte auf ein CQ

CQ F5XYZ FN31 (CQ aus den Frankreich)

F5XYZ OE5RNL JN78 (ich antworte mit meinem Locator)

OE5RNL F5XYZ -15 (OM bestätigt mir -15 db S/N)

F5XYZ OE5RNL R-10 (ich gebe R für verstanden und -10 für seine Signalstärke)

OE5RNL F5XYZ RRR (3x R beim OM ist alles angekommen)

F5XYZ OE5RNL 73 (Verabschiedung)

OE5RNL F5XYZ 73 (Verabschiedung)



# JT65 Frequenzen - alles USB

28076.0 kHz

24917.0 kHz, 24920.0 kHz UB

21076.0 kHz

18102.0 kHz, 18098.0 kHz

14076.0 kHz, 14075.0 kHz

10139.0 kHz, 10138.0 kHz, 10137.0 kHz

07076.0 kHz, 07039.0 kHz, 7036.0 kHz

03576.0 kHz



# Betrieb - Live am Gerät



WSPR



# WSPR (1)

- **WSPR** → **W**eak **S**ignal **P**ropagation **R**eporter
- WSPR gesprochen „wisper“ - kommt von Flüstern.
- WSPR ist ein System mit dem Ausbreitungsbedingungen mit sehr kleinen Signalen getestet werden.
- Es werden kleine und kleinste Sendeleistungen von 10 mW bis 5 Watt (10 dBm bis 37 dBm) verwendet .
- **Verbindungen mit weniger als 1 Watt rund um den Globus sind „normal“.**
- Empfangene Signale bis -28 db S/N (bezogen auf 2,5 kHz Bandbreite) können decodiert werden. (Sehr guter CW Operator bis -18 dB).



# WSPR (2)

- Empfangene Signale können per Internet in eine zentrale Datenbank eingetragen werden (optional).
- Die Darstellung der Verbindungen als Liste und Grafik ist auf der Internetseite <http://wsprnet.org> abrufbar.
- Wer nur Empfangen möchte kann die empfangene Stationen per Internet in die Datenbank reporten.
- Man kann aber auch nur senden → Bakenbetrieb. Dann ist kein Internet erforderlich.
- Wie bei den meisten digitalen Betriebsarten wird ein PC benötigt – und eventuell ein Internetanschluss.



# WSPR: Was wird wie übertragen (3)

Nachrichten im minimal „QSO“ Format:

Rufzeichen + 4-digit Locator + Sendeleistung in dBm    z.B.: OE5RNL  
JN78 10

Dieses Format sollte man bevorzugen.

Nachrichten mit zusammengesetzten Rufzeichen (suffix/präfix) und/oder 6 stelligem Locator benötigen zwei Sendesequenzen.

zb.: DL/OE5RNL JO21CE 30

Der Präfix kann bis zu 3 stellen haben  
Der Suffix kann ein Zeichen oder zwei Ziffern aufweisen

Insgesamt werden nach der Quellcodierung 50 Bit je Sendesequenz übertragen.

Durch die Fehlerkorrektur (FEC) werden daraus 162 Kanalsymbole mit einer Dauer der Aussendung von 110,6 Sekunden (ca: 1,4 Baud)

Modulation: 4-FSK, Tonabstand 1,4648 Hz, Töne bei 1500 Hz USB,  
Belegte Bandbreite ca. 6 Hz



# WSPR Betrieb (3)

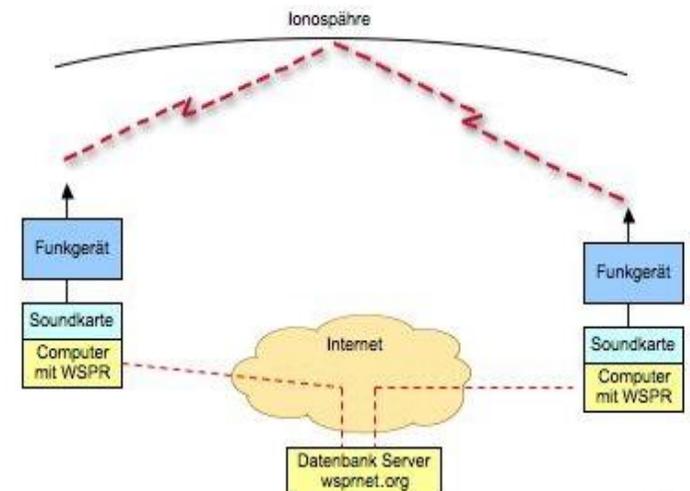
WSPR verwendet ein 2 Minuten Zeitfenster zum Senden und Empfangen.

Möglich Aussendungen starteten eine Sekunde nach dem Beginn einer geradzahligen Minute, also hh:00:01, hh:02:01, ...

Über die Oberfläche kann mit dem Regler „TX fraction“ ungefähr festgelegt werden wie oft gesendet wird. 20% bedeutet: Es wird einmal in 10 Minuten gesendet, im Rest der Zeit wird empfangen. Das genaue Verhältnis wird per Zufall bestimmt um die Empfangschancen zu verbessern.

100% bedeutet immer senden → Baken Mode

0% bedeute nie Senden → nur Empfangen  
und gegebenenfalls per Internet in die Datenbank  
reporten.



# WSPR Frequenzen - alles USB

1.8366 MHz 160m

3.5926 MHz 80 m

5.3647 MHz 60m

7.0386 MHz 40m

10.1387 MHz 30m

14.0956 MHz 20m

18.1046 MHz 17m

21.0946 MHz 15m

24.9246 MHz 12m

28.1246 MHz 10m

50.2930 MHz 6m

144.4905 MHz 2m

R 1

144.4890 MHz 2m

R 2, R 3



# Betrieb - Live am Gerät



# Links

- [http://hfradio.org.uk/html/digital\\_modes.html](http://hfradio.org.uk/html/digital_modes.html)
- [http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/K1JT\\_eme2006\\_2.pdf](http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/K1JT_eme2006_2.pdf)
- <http://qthlocator.free.fr/index.php>
- <http://www.arrl.org/files/file/18JT65.pdf>
- <http://qthlocator.free.fr/index.php>
- <http://hamnetdb.net>
- <http://oevsv.at>
- <http://www.oe5.oevsv.at/technik/betrieb/zubehoer/>
- <http://wikipedia.org>



Fragen  
und  
Danke für die  
Aufmerksamkeit.



# Antwort: Baudrate / Bitrate

- Baud:
  - Definiert als Anzahl der Symbole je Sekunde
  - 126 Symbole in 46,811 sec (inkl. Sync für Modulator + FEC im Datenstrom)
    - $126/46,811 = 2,69$  Baud
- Nettobitrate:
  - 72 Bit (Call+Call+Locator) in 46,8 sec :  $72/46,811 = 1,538$  Bit/s
- Datenrate mit FEC:
  - 72 Datenbit+ 306 FEC Bits=378 Bit in 46,8 sec:  $378/46,811 = 8,07$  Bit/s
- Datenrate mit FEC und Syncsymbole
  - 378 Bit zu 6 Bit -> 63 Datensymbole
  - 63 Datensymbole+63 Sync Symbole = 126 Synbole ;  $126 \cdot 6 = 756$  Bit
  - ->  $756/46,811 = 16,15$  Bit/s



# ANHANG



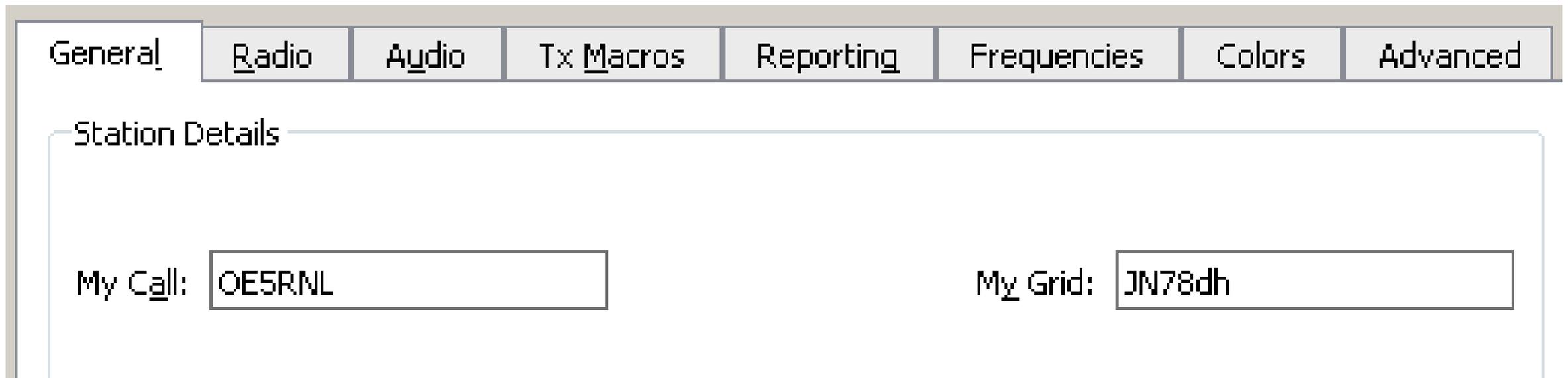
# WSPR WSJT-X Installation

- Ich verwende WSJT-X von K1JT
- Download von <https://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wsjitx.html>
- Opensource
- Aktuelle Version: Latest full release, Version 1.7
- Lauft mit Wine auch auf ARM
- Linuxpakete für Debin, Ubuntu, Fedora RedHat



# WSPR WSJT-X Einstellungen (1)

File / Settings /



The screenshot shows the 'General' tab of the WSJT-X settings window. The 'Station Details' section is visible, containing two text input fields: 'My Call' with the value 'OE5RNL' and 'My Grid' with the value 'JN78dh'. The tabs at the top are: General, Radio, Audio, Tx Macros, Reporting, Frequencies, Colors, and Advanced.

General	Radio	Audio	Tx Macros	Reporting	Frequencies	Colors	Advanced
Station Details							
My Call:	OE5RNL			My Grid:	JN78dh		

Der Rest bleibt in diesem Reiter wie er ist.



# WSPR WSJT-X Einstellungen (2)

General | Radio | Audio | Tx Macros | Reporting | Frequencies | Colors | Advanced

Rig: Icom IC-7300 Poll Interval: 1 s

**CAT Control**

Serial Port: COM4

Serial Port Parameters

Baud Rate: 19200

Data Bits

Seven  Eight

Stop Bits

One  Two

Handshake

None  XON/XOFF  Hardware

Force Control Lines

DTR: [ ] RTS: [ ]

**PTT Method**

VOX  DTR

CAT  RTS

Port: COM4

**Transmit Audio Source**

Rear/Data  Front/Mic

**Mode**

None  USB  Data/Pkt

**Split Operation**

None  Rig  Fake It

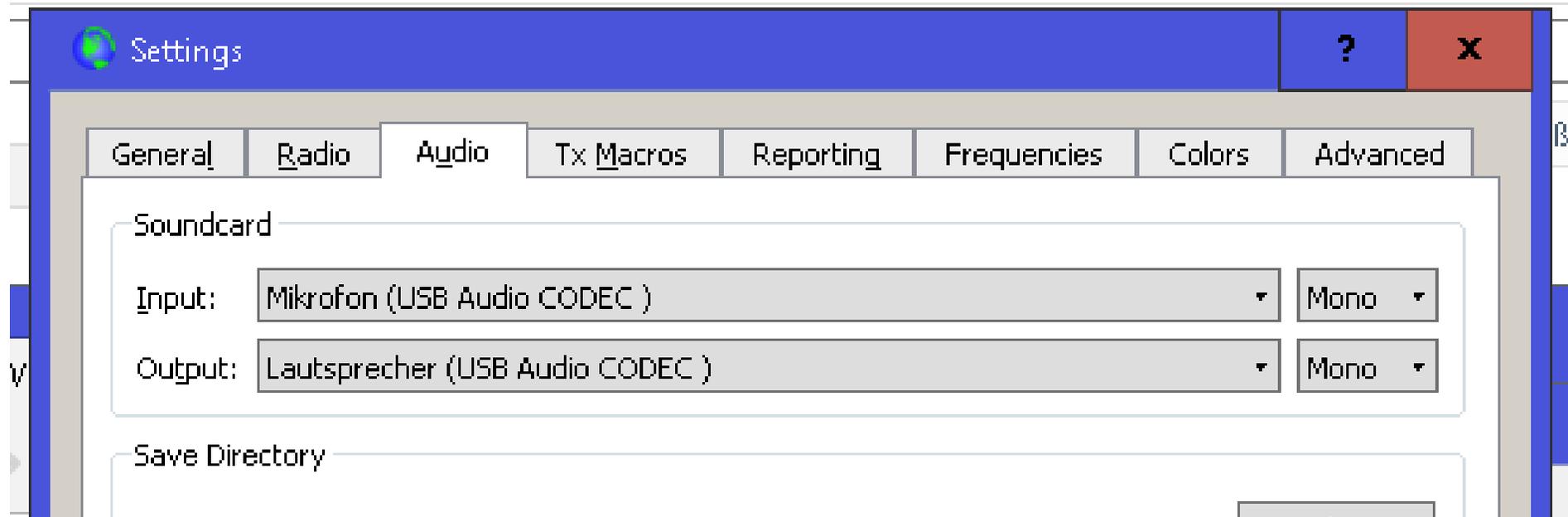
Test CAT Test PTT

OK Cancel

Beispiel IC7300



# WSPR WSJT-X Einstellungen (3)



Audio Quelle wählen. In diesem Fall vom IC7300

# JT65 Installation – JT65HF

- Ich verwende JT65-HF von W6CQZ
- Download von <http://jt65-hf.com/downloads/>
- Opensource
- Aktuelle Version: Latest full release, Version 1.093
- Lauft mit Wine auch auf Linux



# JT65 Installation – JT65HF (1)

Configuration

Station Setup | Rig Control/PTT | RB and PSKR | Macros | Colors | Diagnostics

**Callsign**      **Prefix**      **Suffix**

OE5RNL      NONE      NONE

**Grid (4 or 6 Characters). Required value.**

JN78DH

**Note: Suffix/Prefix is suggested to only be used in situations where you have a legal requirement to do so. You may define a suffix OR a prefix but not both. Suffix/prefix support in the JT65 protocol is a (very) complex issue. My suggestion is to avoid its use if at all possible. Suffix/prefix support in JT65-HF is, at best, incomplete.**

**Sound Input Device**      **Sound Output Device**

00-Microsoft Soundmapper - Input      06-Microsoft Soundmapper - Output

**RX Sample Rate**      **TX Sample Rate**

1,0000      1,0000       **Enable Automatic RX/TX Sample Rate Correction.**

Automatic adjustment may cause some initial skewing of spectrum display until SR settles. This is harmless. In most cases it is suggested that Automatic sample rate correction be enabled.

Disable TX after sending same message excessively. (Runaway TX watchdog) 15 Repeat TX Count for disable TX

Disable Multidecoder while in QSO. Suggested unless you have a fast CPU (>1.5GHz).

Enable Multidecoder after 2 minutes of no TX (if disabled by option above).       Enable Multidecoder after Halt TX Button press

Restore defaults sets Multidecoder On

Send CWID With 73 or Free Text Message       Send CWID ONLY with Free Text Message

Draw divider line between text decode periods (if screen height sufficient).       Use compressed divider line

Save text of decodes and transmissions to file.

**Location of RX/TX history file (JT65hf-log.csv)**

C:\Users\user\AppData\Local\JT65-HF\

**Save Settings and Close Window**



# JT65 Installation – JT65HF (2)

Configuration

Station Setup Rig Control/PTT RB and PSKR Macros Colors Diagnostics

**Enter your PTT port into the input box below in the format COM###, for example, COM11**

PTT Port  Test PTT will Key/Unkey your Transceiver. No audio will be sent during test.

Use Alternate PTT Method. Only enable this if you have problems with PTT.

Ham Radio Deluxe  Enable  Version 4  Version 5

OmniRig  Enable  Radio 1  Radio 2

Commander  Enable



# JT65 Installation – JT65HF (3)

