

DIGITAL FUNKEN MIT FT8

was steckt dahinter?



DIGITAL FUNKEN MIT FT8

Ablauf:

- wie kam ich drauf?
- kritische Würdigung von „minimalem QSO Inhalt“
- was macht FT8 hinter den Kulissen?
- Ausprobieren



Digital Funken mit FT8

... da war der **Feld-Hell** Contest,
und ich wollte mitmachen!

so?



Digital Funken mit FT8



DIGITAL FUNKEN MIT FT8

Ablauf:

- wie kam ich drauf?
- **kritische Würdigung von „minimalem QSO Inhalt“**
- was macht FT8 hinter den Kulissen?



Digital Funken mit FT8

minimales QSO, Betriebstechnik

Rufzeichen		erweitert zu...
DL1TT	vs	Delta-Lihma-eins-Tango-Tango
	vs.	Domingo-Lithuania-uno-Tetra-Tchibo

- was ist der eigentliche Informationsgehalt?
- wieviel Information steckt da drin,
- wie kann man sie so effizient wie möglich darstellen?
- was kann schief gehen:

- „L“ nicht gehört: D1TT D1: Donezk, illegal, sehr unwahrscheinlich
- „D“ nicht gehört: L1TT L2-L9: Argentinien, L1 nicht vergeben
- nur ein „T“ gehört: DL1T sehr wahrscheinlich („Contest Call of the Amateur Radio Club Essen“)

→ **Plausibilitätsprüfungen** als Quercheck, macht jedes (?) Contest-Log Programm



Digital Funken mit FT8

Betriebstechnik

- wir benutzen die internationale Buchstabiertafel, nicht die englische („Queen“), dadurch werden Missverständnisse reduziert.
- wir hören erst so lange hin, bis wir ein Rufzeichen einwandfrei verstanden haben
(„*Ich werde zuhören, zuhören und nochmals zuhören.*“ aus „DX CODE OF CONDUCT“)
- ein CQ beginnt normalerweise mit einem „CQ“, d.h. Ohr und Gehirn können synchronisieren
- eine zweite Station wiederholt (manchmal) das Rufzeichen
→ das liefert eine Extra-Chance zum fehlerfreien Verstehen!
- wir wiederholen unaufgefordert und regelmäßig unser eigenes Rufzeichen (nicht im Contest)
- beim CQ-Ruf geben wir länger eine Chance, das Rufzeichen zu hören;
(schlecht wäre „*Deh-Ef-Seven-Pee-Eee, Kju Ar Zett?*“).



Digital Funken mit FT8

The Amateur's Code

The Radio Amateur is:

Paul M. Segal, W9EEA (silent key), 1928

Considerate...

never knowingly operates in such a way as to lessen the pleasure of others.

Loyal...

offers loyalty, encouragement and support to other amateurs, local clubs, and his or her national radio amateur association.

Progressive...

with knowledge abreast of science, a well-built and efficient station and operation above reproach.

Friendly...

slow and patient operating when requested; friendly advice and counsel to the beginner; kindly assistance, cooperation and consideration for the interest of others. These are the hallmarks of the amateur spirit.

Balanced...

radio is an avocation, never interfering with duties owed to family, job, school, or community.

Patriotic...

station and skill always ready for service to country and community.

Digital Funken mit FT8

The Amateur's Code

The Radio Amateur is:

Paul M. Segal, W9EEA (silent key), 1928

Considerate...

never knowingly operates in such a way as to lessen the pleasure of others.

Loyal...

offers loyalty, encouragement and support to other amateurs, local clubs, and his or her national radio amateur association.

Progressive...

with knowledge abreast of science, a well-built and efficient station and operation above reproach.

Friendly...

slow and patient operating when requested; friendly advice and counsel to the beginner; kindly assistance, cooperation and consideration for the interest of others. These are the hallmarks of the amateur spirit.

Balanced...

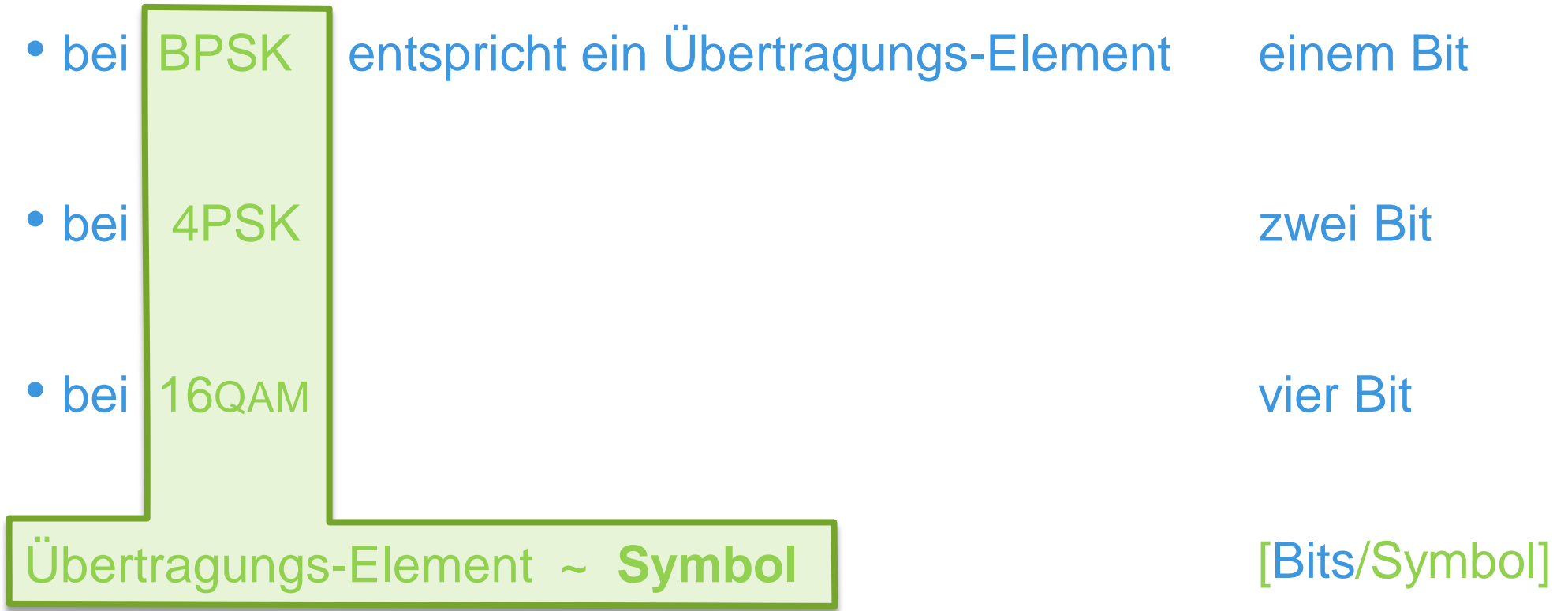
radio is an avocation, never interfering with duties owed to family, job, school, or community.

Patriotic...

station and skill always ready for service to country and community.

Digital Funken mit FT8

digitale Grundlage: Bit/sec vs. Symbol/sec




Symbole/sec

= Baud (vergleiche: Modem mit 1.2 kBit/sec und 300 Baud!)



Digital Funken mit FT8

wieviel Information haben wir zu übertragen?

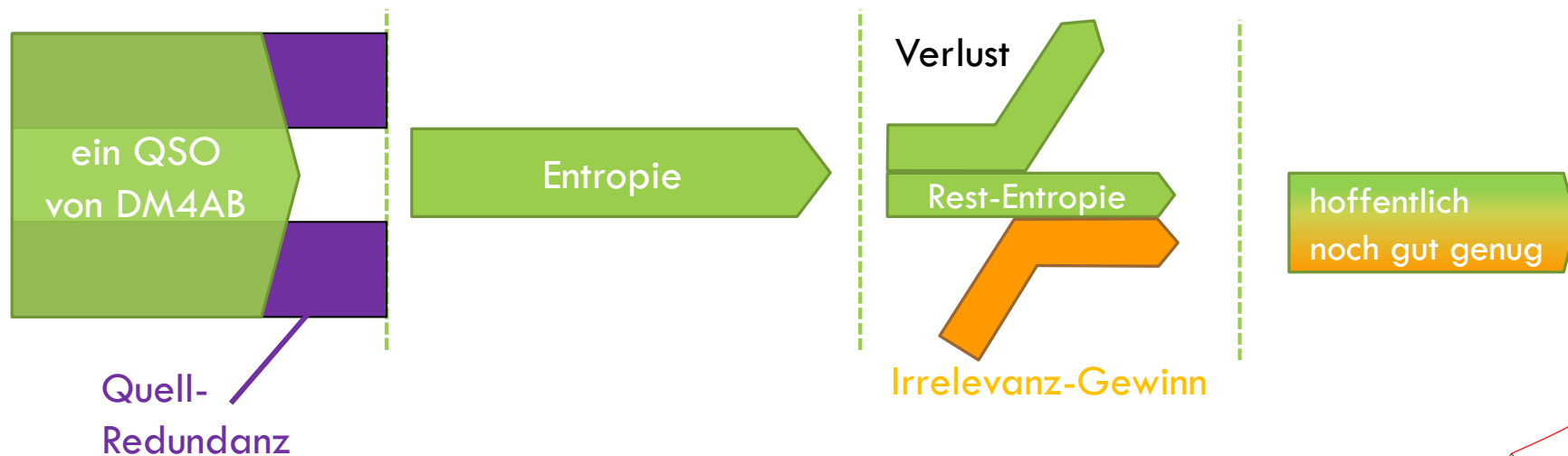
- „cq cq, this is delta mike four alpha bravo calling cq and standing by“
- → 71 Zeichen, 7 Bit/Zeichen, 8 Sekunden Dauer, → 62 bit/sec
- aber ein Mensch muss mein Signal heraushören
- oder heraus „lesen“ → 
- und mehrfach zuhören um das Rufzeichen sicher zu verstehen
- oder wartet auf jemand anderen, der mein Rufzeichen im QSO wiederholt
- oder sagt: „... please repeat!“
- hat aber ein Problem, wenn er sich einmal „delta lihma“ in den Kopf gesetzt hat
- denn es gibt „DL4AB“ (OM Florian)... (Quercheck gegen <http://qrz.com> versagt...)
- und danach mein spärlichstes QSO:
„My name is Andreas, your signal 59, good luck and all the best, 73!“
(manchmal habe ich auch nicht mehr zu sagen...).



Digital Funken mit FT8

was ist „Information“ ?

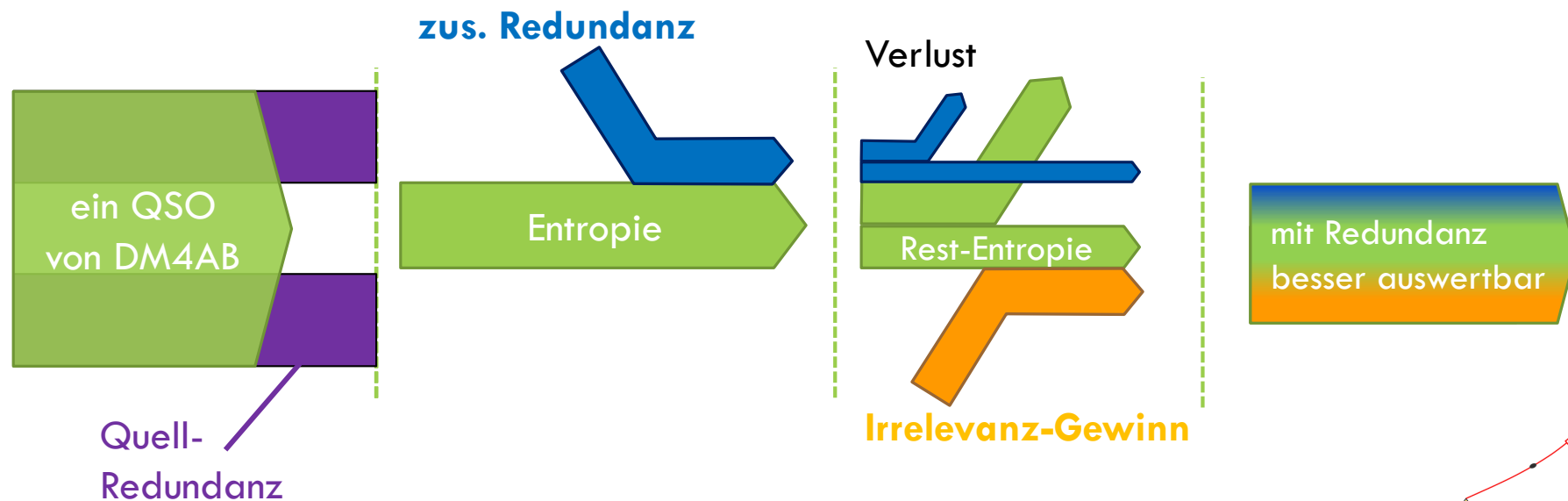
- **Redundanz:** bezeichnet Inhalte deren Fehlen keinen Verlust an Information bedeutet; z.B. ein doppelt vorhandener Inhalt
- die eigentliche Information: **Entropie**
der Rest nach Entfernen jeglicher Redundanz (weniger geht nicht)
- **Irrelevanz** kommt als Störung zwischen Sender und Empfänger hinzu



Digital Funken mit FT8

was ist „Information“ ?

- **Redundanz:** kann man auch schlau auf Senderseite hinzufügen (Kanalcodierung)
- hilft Fehler beim Empfang zu erkennen und begrenzt zu korrigieren
- heute: ganz-normal „Reed Solomon Codierung“ für CD's mit verschachtelter Fehler-Erkennung und Fehler-Korrektur (kann bis zu 2.5mm lange „Kratzer“ korrigieren)



Digital Funken mit FT8

Entropie vom Minimal-QSO

Aufbau von JT65, JT9, JT4 und FT8 sehr ähnlich
JT65 verwendet zur Modulation 65-FSK.
FT8 verwendet 8-FSK; FT4 4-FSK.

FEC: forward-error-correction

reduziertes Quelldatenformat:

- 2 Rufzeichen max. $262 \cdot 10^6$ jeweils 28bit ($2^{28} = 268 \cdot 10^6$)
- locator grid 4 Stellen 15bit
- CQ, QRZ, ... in den **verbleibenden** Bits (s. oben)
- Rapport, etc 6bit

macht in Summe $2 \cdot 28\text{bit} + 15\text{bit} + 6\text{bit} =$ **77bit**



Digital Funken mit FT8

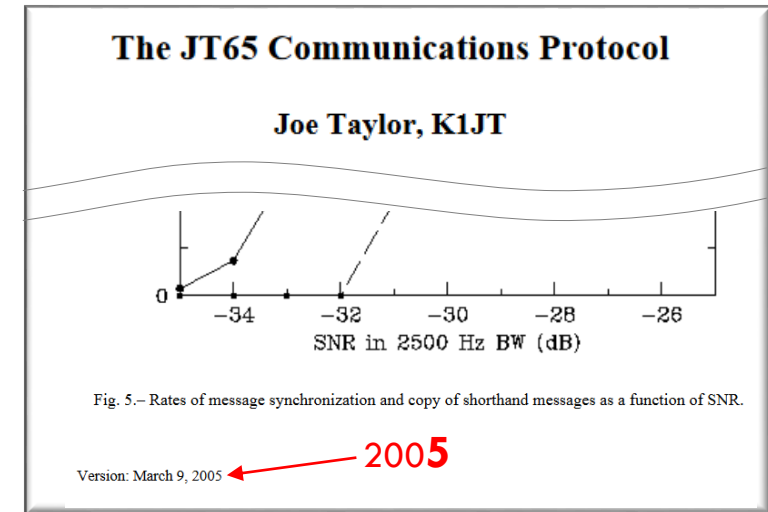
FT8, Auszüge aus der „Spec“

- Quelldaten **77bit**
- ergänze Checksumme (CRC): **14bit**
- ergänze Kanalkodierung zur Fehlerkorrektur: **83bit**

$$\rightarrow 77\text{bit} + 14\text{bit} + 83\text{bit} = 174\text{bit}$$

- danach werden Bits in Symbole verpackt
- FT8 benutzt 8-FSK kann mit einem Symbol 3bits übertragen

$$\rightarrow \frac{174\text{bit}}{3\text{bit/Symbol}} = 58 \text{ Symbole.}$$



Digital Funken mit FT8

FT8, Auszüge aus der „Spec“

- Quelldaten **77bit**
- ergänze Checksumme (CRC): **14bit**
- ergänze **Kanalkodierung** zur Fehlerkorrektur: **83bit**

eine einfache Kodierung: **Hamming (7,4) Block-Code**

sehr gut beschrieben zum Selbststudium in

<http://circuit.ucsd.edu/~yhk/ece154c-spr17/pdfs/ErrorCorrection1.pdf>

- danach werden Bits in Symbole verpackt
- FT8 benutzt 8-FSK kann mit einem Symbol 3bits übertragen

$$\rightarrow \frac{174\text{bit}}{3\text{bit/Symbol}} = 58 \text{ Symbole}$$



Digital Funken mit FT8

FT8, Auszüge aus der Hilfeseite

viel komplizierter als
„Hamming(7,4)“ !



17.2.1. FT4

Forward error correction (FEC) in FT4 uses a **low-density parity check (LDPC)** code with 77 information bits, a 14-bit cyclic redundancy check (CRC), and 83 parity bits making a **174-bit codeword**. [...]

Synchronization uses four 4×4 Costas arrays, and ramp-up and ramp-down symbols are inserted at the start and end of each transmission. The keying rate is $12000/576 = 20.8333$ baud.

Each transmitted symbol conveys two bits, so the total number of channel symbols is $174/2 + 16 + 2 = 105$. The total bandwidth is $4 \times 20.8333 = 83.3$ Hz.

17.2.2. FT8

FT8 uses the same **LDPC** (174,91) code as FT4.

Modulation is 8-tone frequency-shift keying (8-GFSK) at $12000/1920 = 6.25$ baud.

Synchronization uses [three] 7×7 Costas arrays [...].

Transmitted symbols carry three bits, so the total number of channel symbols is $174/3 + 21 = 79$. The total occupied bandwidth is $8 \times 6.25 = 50$ Hz.

12000: gewählte Anzahl Abtastwerte/Sekunde für die benutzte Signalverarbeitung

Quelle: http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/wsjitx-doc/wsjitx-main-2.1.0.html#SLOW_MODES



Digital Funken mit FT8

zu FT4

“FT4 is designed for contesting, particularly on the HF bands.

Compared with FT8 it is 3.5 dB less sensitive and requires 1.6 times the bandwidth, but it offers the potential for twice the QSO rate.

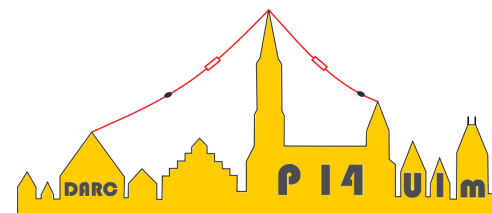
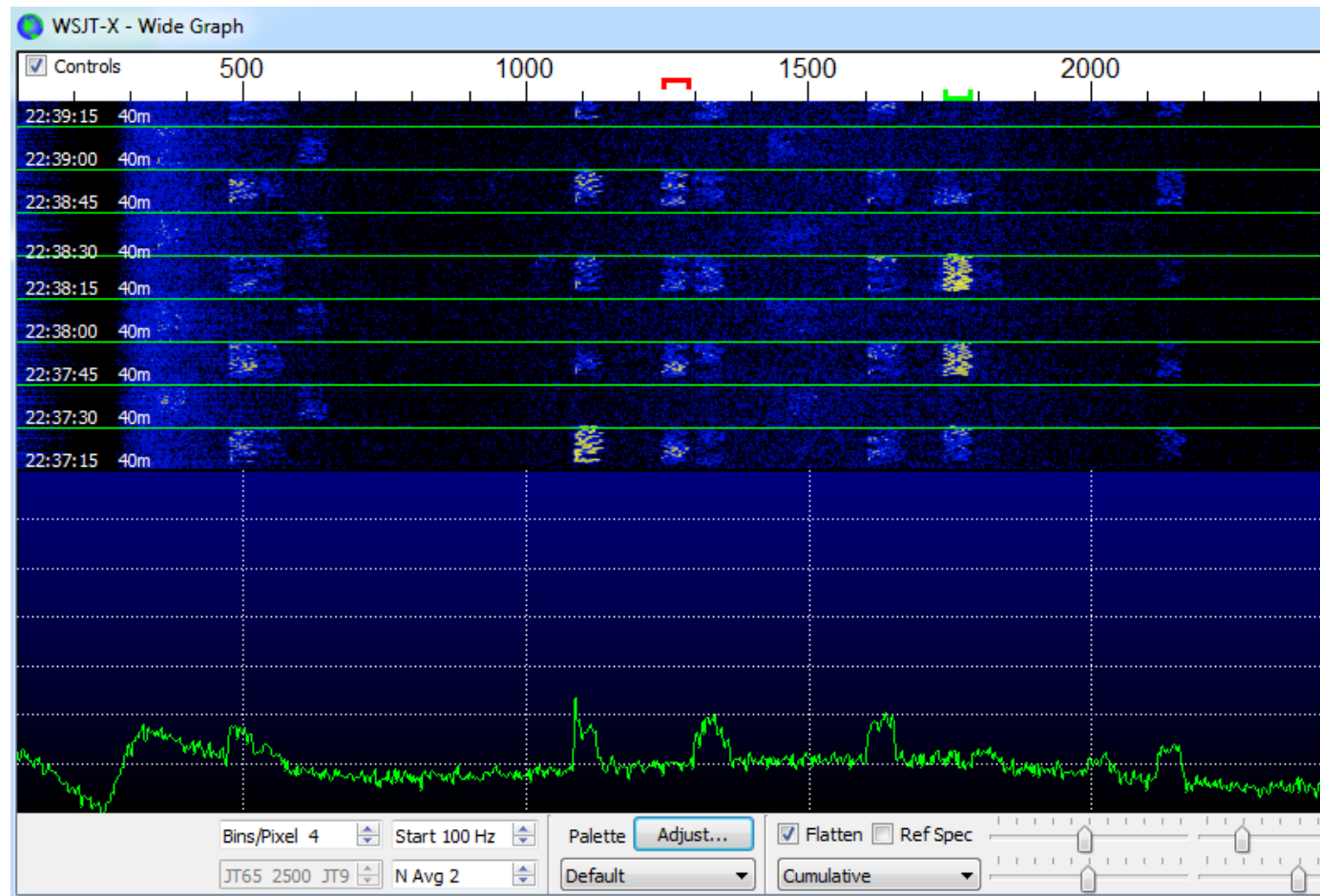
FT4 is not recommended for everyday use.”

Quelle: http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/wsjitx-doc/wsjitx-main-2.1.0.html#SLOW_MODES



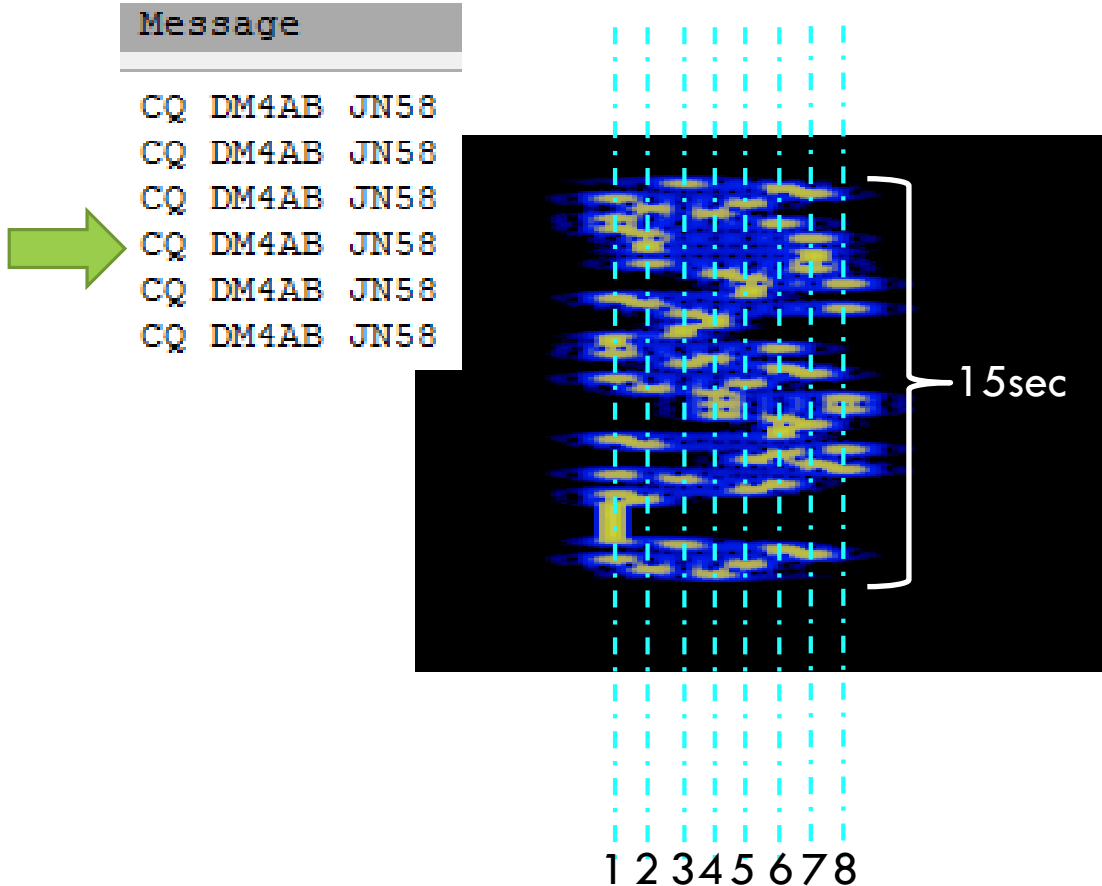
Digital Funken mit FT8

223315	-15	1.5	1315	~	VP2ETE YO7YO KN25	
223315	-17	1.5	1426	~	W1UK RU3DMX KO86	
223315	-13	1.5	1607	~	CQ UA9MA MO64	UA9
223315	-7	2.1	2119	~	JA3FQO UA3ROJ 73	
223315	-6	1.5	2230	~	SM7EGM R9SAZ LO91	
223315	-17	1.7	2368	~	SV2SCB JA5BEN -22	
223330	-12	1.6	799	~	RG7T RL3K KO91	
223330	-18	1.8	997	~	CQ EB3DKE JN11	EA
223330	-10	1.5	1425	~	DF8DU W1UK -14	
223330	-16	1.2	2406	~	ZB2CM JH1ECG -19	
223345	-2	1.5	307	~	JH1ECG RX3AM KO85	
223345	-3	1.6	478	~	CQ WW1WW FN43	K
223345	-8	1.5	1089	~	CQ HA7TM JN97	HA
223345	-10	1.5	1607	~	IK0HBN UA9MA -08	
223345	-11	1.0	2119	~	CQ UA3ROJ LO02	UA
223400	-9	1.6	799	~	IQ8BI RL3K KO91	
223400	-15	1.8	997	~	CQ EB3DKE JN11	EA
223400	-10	1.5	1425	~	DF8DU W1UK -14	
223415	-4	1.5	307	~	JH1ECG RX3AM KO85	
223415	-7	1.5	478	~	CQ WW1WW FN43	K
223415	-9	1.6	1089	~	CQ HA7TM JN97	HA
223415	-13	1.5	1606	~	IK0HBN UA9MA RR73	
223415	-16	1.2	2119	~	CQ UA3ROJ LO02	UA
223415	-14	1.7	2368	~	SV2SCB JA5BEN RR73	
223430	-9	0.7	478	~	WW1WW RG7T LN13	
223430	-6	1.5	799	~	IQ8BI RL3K KO91	
223430	-16	1.8	997	~	CQ EB3DKE JN11	EA
223430	-14	1.5	1425	~	IK4SBR W1UK -01	
223445	-3	1.5	307	~	JH1ECG RX3AM KO85	
223445	-6	1.5	478	~	RG7T WW1WW -09	
223445	-10	1.7	1090	~	CQ HA7TM JN97	HA
223445	-11	1.5	1607	~	CQ UA9MA MO64	UA9
223445	-16	1.3	2119	~	R2DQA UA3ROJ R-05	
223445	-4	1.7	2243	~	<C4XMAS> RA4HL LO43	



Digital Funken mit FT8

ein 8-FSK Signal



- Mikrofon vor dem Lautsprecher 😊
- d. h. völlig rauschfrei
- 8 verschiedene diskrete Frequenzen

Anmerkung:

8-FSK **ist nicht MFSK-8 !!**

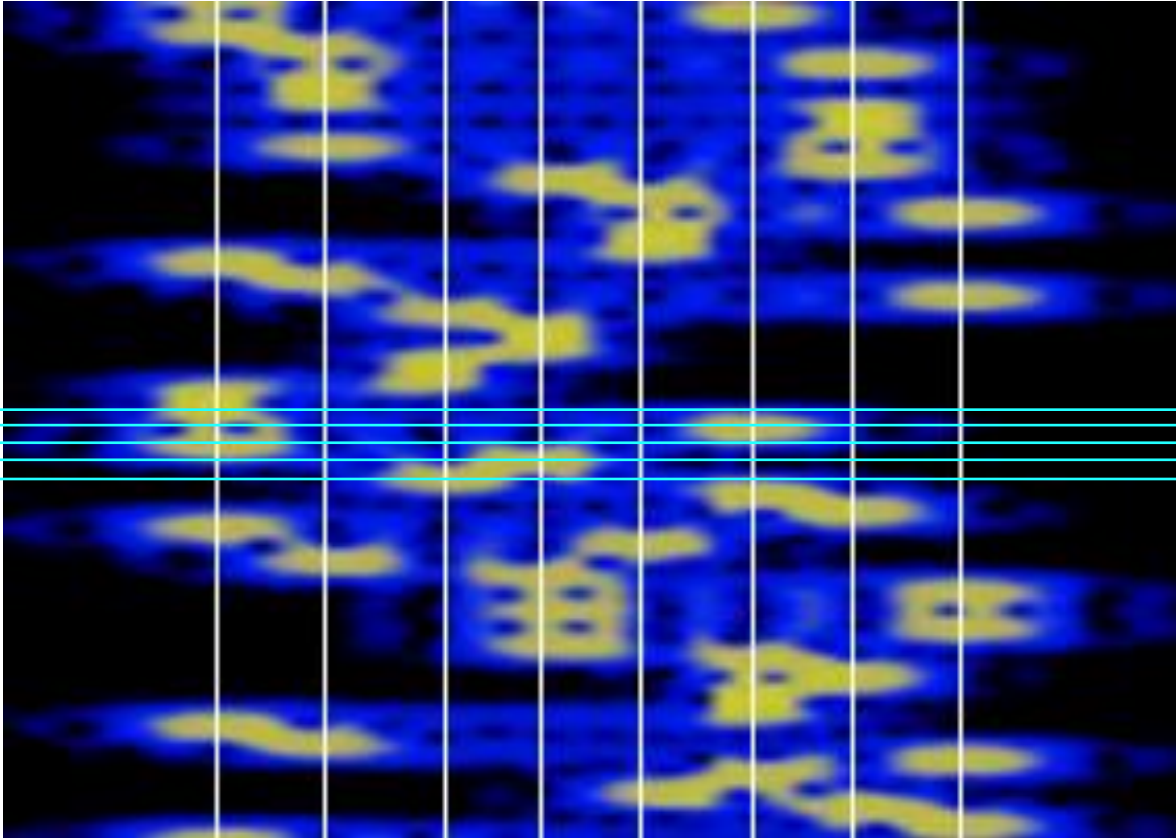
„*MFSK-8* uses a set of 32 tones with the equal distance of 7.81 Hz, *MFSK-16* a set of 16 tones with the equal distance of 15.625 Hz“

[Quelle: [https://www.sigidwiki.com/wiki/Multi_Frequency_Shift_Keying_\(MFSK\)](https://www.sigidwiki.com/wiki/Multi_Frequency_Shift_Keying_(MFSK))]



Digital Funken mit FT8

ein 8-FSK Signal



- ein falsch erkannter Ton erzeugt ... wie viele Bitfehler?
 - jeder Ton ist ein Symbol und repräsentiert 3 übertragene Bits
 - übertragen werden 174 bit
 - in jedem Ton 3 bit
- $174/3 = 58$ Daten-Töne für einen Durchgang
- + 21 zusätzliche Sync-Töne (Costas...)
- dauert zusammen 15sec
- ~6 Töne je Sekunde



Digital Funken mit FT8

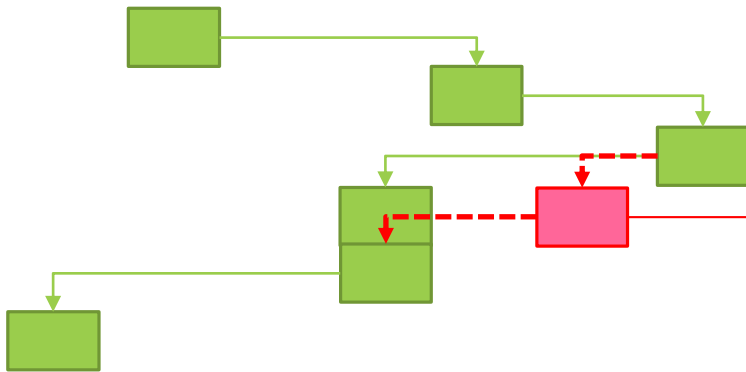
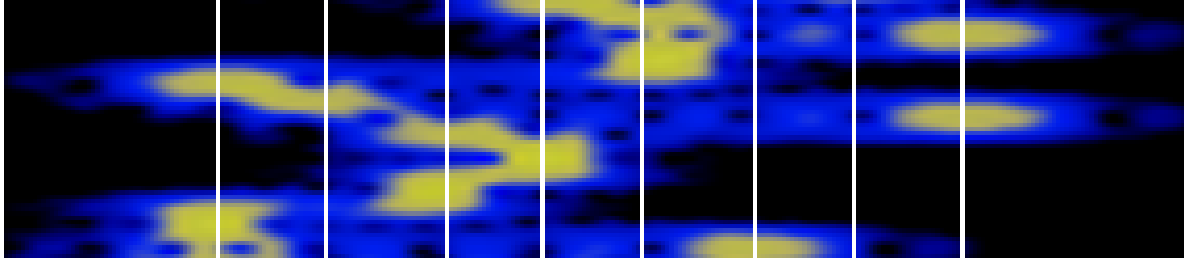
So, alles klar, das war's ?

Nein, das war's noch länger nicht.



Digital Funken mit FT8

Übertragungsfehler



einfachste Entscheidungs-Strategie:
→ **HARD** Decision

Jetzt kommt ein Symbol (1..3 Bit)
der Übertragung irgendwie durcheinander...

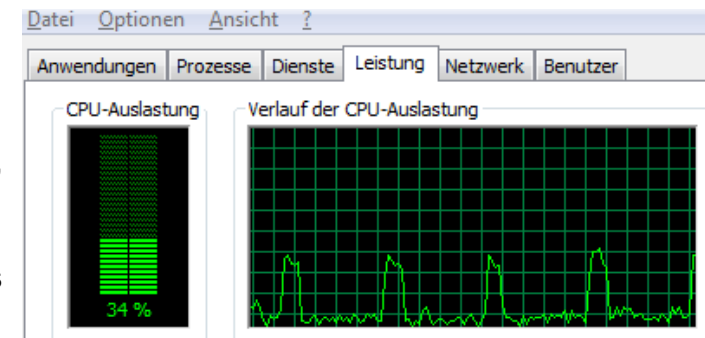
Prima, wir haben ja eine Fehlerkorrektur! FT8 benutzt
einen „low density parity check LDPC (174,87) code“.
(DVB-T2 verwendet auch einen LDPC)

Dessen Korrekturmöglichkeiten sind mathematisch
nur aufwändig bestimmbar und die optimale Decodierung
fast beliebig **rechenintensiv**.

Die Decodierung wird bei längeren Codes daher meist in
Hardware realisiert. „174,87“ ist im Vergleich zu DVB-T2
Codes recht kurz und bei FT8 auch noch gemächlich.

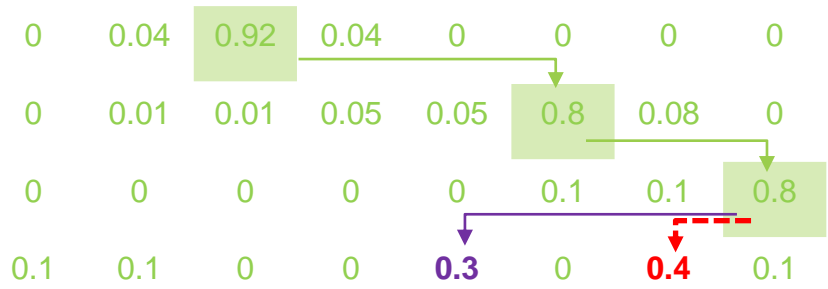
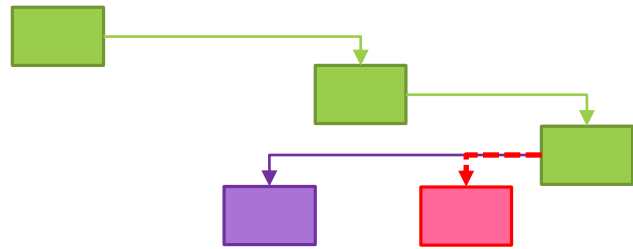
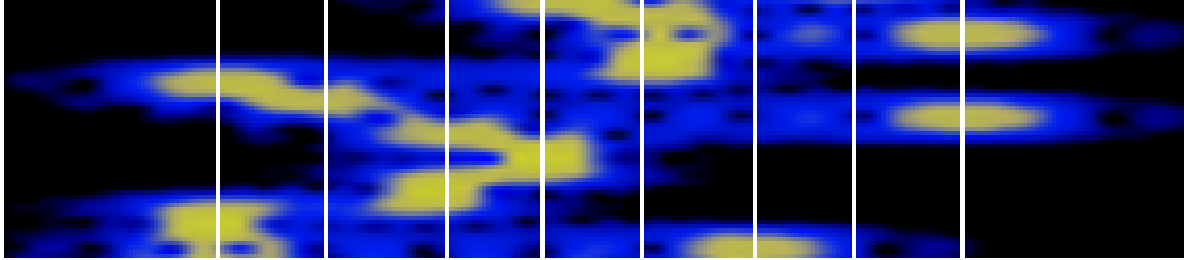
Aber **das** ist trotzdem der Grund, warum das Dekodieren
von FT8 eine gewisse (Rechen-) Zeit braucht!

AMD quad-core@3.2GHz,
Intervall: 15 Sekunden,
rechnet nur auf einem Kern,
decodiert ~30 QSO's



Digital Funken mit FT8

Entscheidungsfehler



Fehlerfreie Entscheidungen sind nie möglich.
Fehler passieren immer, nur manchmal eben sehr selten.

Hier ist der wahrscheinlichste Fehler der zwischen einer Entscheidung

- mit Sicherheit **0.4** und mit
- mit Sicherheit **0.3**

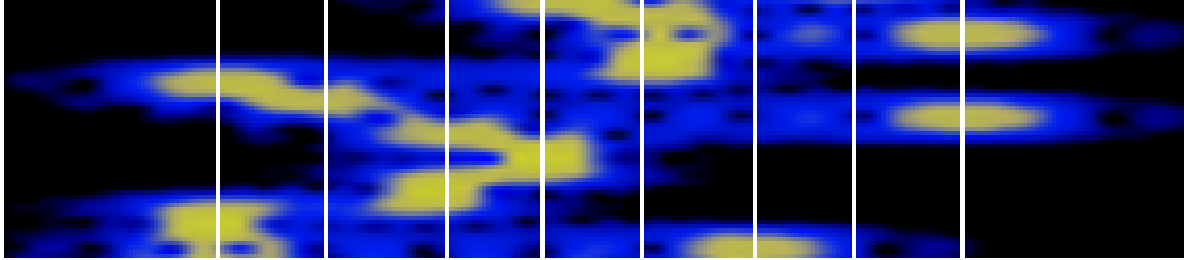
Falls der Fehlerkorrektur-Algorithmus zu viele Fehler detektieren sollte ist eine mögliche Strategie, **andere** Entscheidungen zu treffen!

Hier: die unsicherste Festlegung wird **anders** entschieden und die Nachricht erneut decodiert!
zusätzlich: sichere Entscheidungen werden fixiert (**0.92**), mit allen anderen intelligent „durchprobiert“!



Digital Funken mit FT8

Entscheidungsfehler



„soft decision“

Durch die vielen
Möglichkeiten
potenziert sich der
Rechenaufwand!

Fehlerfreie Entscheidungen sind nie möglich.
Fehler passieren immer, nur manchmal eben sehr selten.

Hier ist der wahrscheinlichste Fehler der zwischen
einer Entscheidung

- mit Sicherheit **0.4** und mit
- mit Sicherheit **0.3**

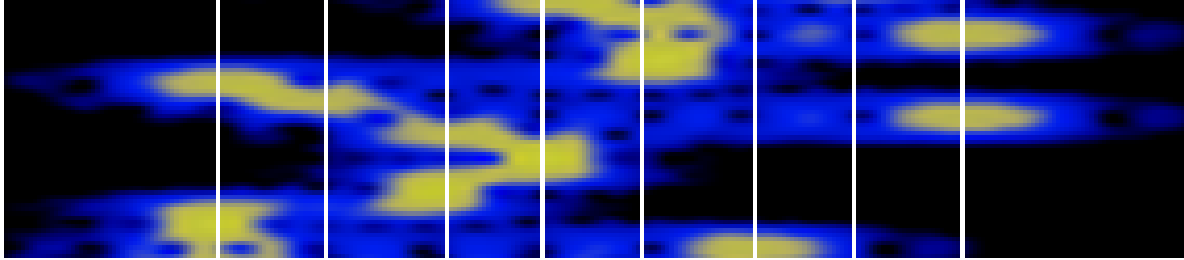
Falls der Fehlerkorrektur-Algorithmus zu viele Fehler
detektieren sollte ist eine mögliche Strategie,
andere Entscheidungen zu treffen!

Hier: die unsicherste Festlegung wird **anders**
entschieden und die Nachricht erneut decodiert!
zusätzlich: sichere Entscheidungen werden fixiert
(**0.92**), mit allen anderen intelligent „durchprobiert“!



Digital Funken mit FT8

Entscheidungsfehler



Fehlerfreie Entscheidungen sind nie möglich.
Fehler passieren immer, nur manchmal eben sehr selten.

Hier ist der wahrscheinlichste Fehler der zwischen einer Entscheidung

- mit Sicherheit **0.4** und mit
- mit Sicherheit **0.3**

Falls der Fehlerkorrektur-Algorithmus zu viele Fehler detektieren sollte ist eine mögliche Strategie, **andere** Entscheidungen zu treffen!

„soft decision“

aber das
Decodier-
Ergebnis kann
besser werden!



Durch die vielen
Möglichkeiten
potenziert sich der
Rechenaufwand!

Hier: die unsicherste Festlegung wird **anders** entschieden und die Nachricht erneut decodiert!
zusätzlich: sichere Entscheidungen werden fixiert (**0.92**), mit allen anderen intelligent „durchprobiert“!



Digital Funken mit FT8

So, alles klar, das war's ?

Nein, noch nicht.



Digital Funken mit FT8

```
223315 -15 1.5 1315 ~ VP2ETE YO7YO KN25
223315 -17 1.5 1426 ~ W1UK RU3DMX KO86
223315 -13 1.5 1607 ~ CQ UA9MA MO64 UA9
223315 -7 2.1 2119 ~ JA3FQO UA3ROJ 73
223315 -6 1.5 2230 ~ SM7EGM R9SAZ LO91
223315 -17 1.7 2368 ~ SV2SCB JA5BEN -22
223330 -12 1.6 799 ~ RG7T RL3K KO91
223330 -18 1.8 997 ~ CQ EB3DKE JN11 EA
223330 -10 1.5 1425 ~ DF8DU W1UK -14
223330 -16 1.2 2406 ~ ZB2CM JH1ECG -19
223345 -2 1.5 307 ~ JH1ECG RX3AM KO85
223345 -3 1.6 478 ~ CQ WW1WW FN43 K
223345 -8 1.5 1089 ~ CQ HA7TM JN97 HA
223345 -10 1.5 1607 ~ IK0HBN UA9MA -08
223345 -11 1.0 2119 ~ CQ UA3ROJ LO02 UA
223400 -9 1.6 799 ~ IQ8BI RL3K KO91
223400 -15 1.8 997 ~ CQ EB3DKE JN11 EA
```

Nach einiger Zeit des „Hörens“ weiß der Empfänger, welche Rufzeichen in Grids QRV sind.

Gleichlautende Information muss ja als Ergebnis aus decodierten Nachrichten immer wieder auftreten.

Beispiel:

EB3DKE aus JN11 ruft CQ

- wenn mit einem Mal eine bisher unbekannte Station (decodiert als „DD4AB“) an FF3DKE ruft
- dann kann das ja nicht sein
- FF3DKE wurde dann offensichtlich falsch decodiert - es hätte ja EB3DKE heißen müssen
- das Wissen über die richtige Entscheidung „EB3DKE“ wird zurück an den Symbol-Entscheider gegeben
- der gewinnt dadurch die Möglichkeit, andere Fehler zu korrigieren
- möglicherweise kommt dann auch DM4AB heraus!



Digital Funken mit FT8

```
223315 -15 1.5 1315 ~ VP2ETE YO7YO KN25
223315 -17 1.5 1426 ~ W1UK RU3DMX KO86
223315 -13 1.5 1607 ~ CQ UA9MA MO64 UA9
223315 -7 2.1 2119 ~ JA3FQO UA3ROJ 73
223315 -6 1.5 2230 ~ SM7EGM R9SAZ LO91
223315 -17 1.7 2368 ~ SV2SCB JA5BEN -22
223330 -12 1.6 799 ~ RG7T RL3K KO91
223330 -18 1.8 997 ~ CQ EB3DKE JN11 EA
223330 -10 1.5 1425 ~ DF8DU W1UK -14
223330 -16 1.2 2406 ~ ZB2CM JH1ECG -19
223345 -2 1.5 307 ~ JH1ECG RX3AM KO85
223345 -3 1.6 478 ~ CQ WW1WW FN43 K
223345 -8 1.5 1089 ~ CQ HA7TM JN97 HA
223345 -10 1.5 1607 ~ IK0HBN UA9MA -08
223345 -11 1.0 2119 ~ CQ UA3ROJ LO02 UA
223400 -9 1.6 799 ~ IQ8BI RL3K KO91
223400 -15 1.8 997 ~ CQ EB3DKE JN11 EA
```

das nennt sich
„hinted decoding“



Nach einiger Zeit des „Hörens“ weiß der Empfänger, welche Rufzeichen und Grids QRV sind.

Gleichlautende Information muss ja als Ergebnis aus decodierten Nachrichten immer wieder auftreten.

Beispiel:

EB3DKE aus JN11 ruft CQ

- wenn mit einem Mal eine bisher unbekannte Station (decodiert als „DD4AB“) an FF3DKE ruft
- dann kann das ja nicht sein
- FF3DKE wurde dann offensichtlich falsch decodiert - es hätte ja EB3DKE heißen müssen
- das Wissen über die richtige Entscheidung „EB3DKE“ wird zurück an den Entscheider gegeben
- der gewinnt dadurch die Möglichkeit, andere Fehler zu korrigieren
- möglicherweise kommt dann auch DM4AB heraus!



Digital Funken mit FT8

So, alles klar, das war's ?

Nein, einer geht noch.



Digital Funken mit FT8

two- and three-pass decoding

Es finden sich Hinweise und Experten-Diskussionen zur Performance von „multi-pass decoding“. Der tatsächliche Implementierungsstand ist (mir) unklar.

Auszug aus dem Manual:

“Check Two-pass decoding to enable a second decoding pass after signals producing first-pass decodes have been subtracted from the received data stream.”

Einleuchtend!

- wenn die Fehlerkorrektur der starken Signale erfolgreich war,
- dann kann ich die Signale lokal noch einmal erzeugen,
- und diese vom Empfangs-Summen-Signal abziehen.
- Dadurch wird zwangsläufig für manche schwachen Signale der „Noise“ geringer...

<http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/wsjitx-doc/wsjitx-main-2.0.0.html>



Digital Funken mit FT8

Praxis

**LET'S
MAKE
SOME
NOISE!**

