

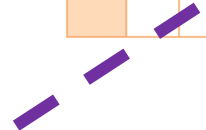
# FreeDV Treffen Anfang März 2022

1. Terminplanung, Rückblick letzter Funksonntag
2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung
3. Sprachcodierungen in **FreeDV**

# 1. Terminplanung

- FreeDV Runde **jeden Sonntag**  
ab 11:00 Uhr, 40m & 80m  
ab 13:30 Uhr, 40m & 80m
- nächstes Gruppentreffen am 24. März, ab 19:30 Uhr

März 2022								April 2022							
KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
9		1	2	3	4	5	6	13					1	2	3
10	7	8	9	10	11	12	13	14	4	5	6	7	8	9	10
11	14	15	16	17	18	19	20	15	11	12	13	14	15	16	17
12	21	22	23	24	25	26	27	16	18	19	20	21	22	23	24
13	28	29	30	31				17	25	26	27	28	29	30	



# 1. Rückblick zum letzten Funksonntag

- wir funkten kreuz und quer durch Deutschland (100km..800km) auf 40m
- oft funktionierte es mit 700D und 700E
- auch mal mit Modus 1600 und 2020
- und erstaunlich oft und gut mit **700C**
- **Warum?** Ein Erklärungsversuch....

# 1. Rückblick zum letzten Funksonntag

	Codec		Modem	Pilot	Diversity	RF BW	Raw bits/s	Fehler-Korrektur	Text	Multipath
1600	Codec2	1300	14 DQPSK	DBPSK	-	1125	1600	Golay (23,12)	X	poor
700C	Codec2	700C	14 carrier coherent QPSK	-	yes	1500	1400	-----	-	good
700D	Codec2	700C	17 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	1000	1900	LDPC (224,112)	X	fair
700E	Codec2	700C	21 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	1500	3000	LDPC (112,56)	X	good
2020	LPCNet 1733		31 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	1600	3000	LDPC (504,396)	X22.2	poor

# FreeDV Treffen Anfang März 2022

1. Terminplanung, letzter Funksonntag



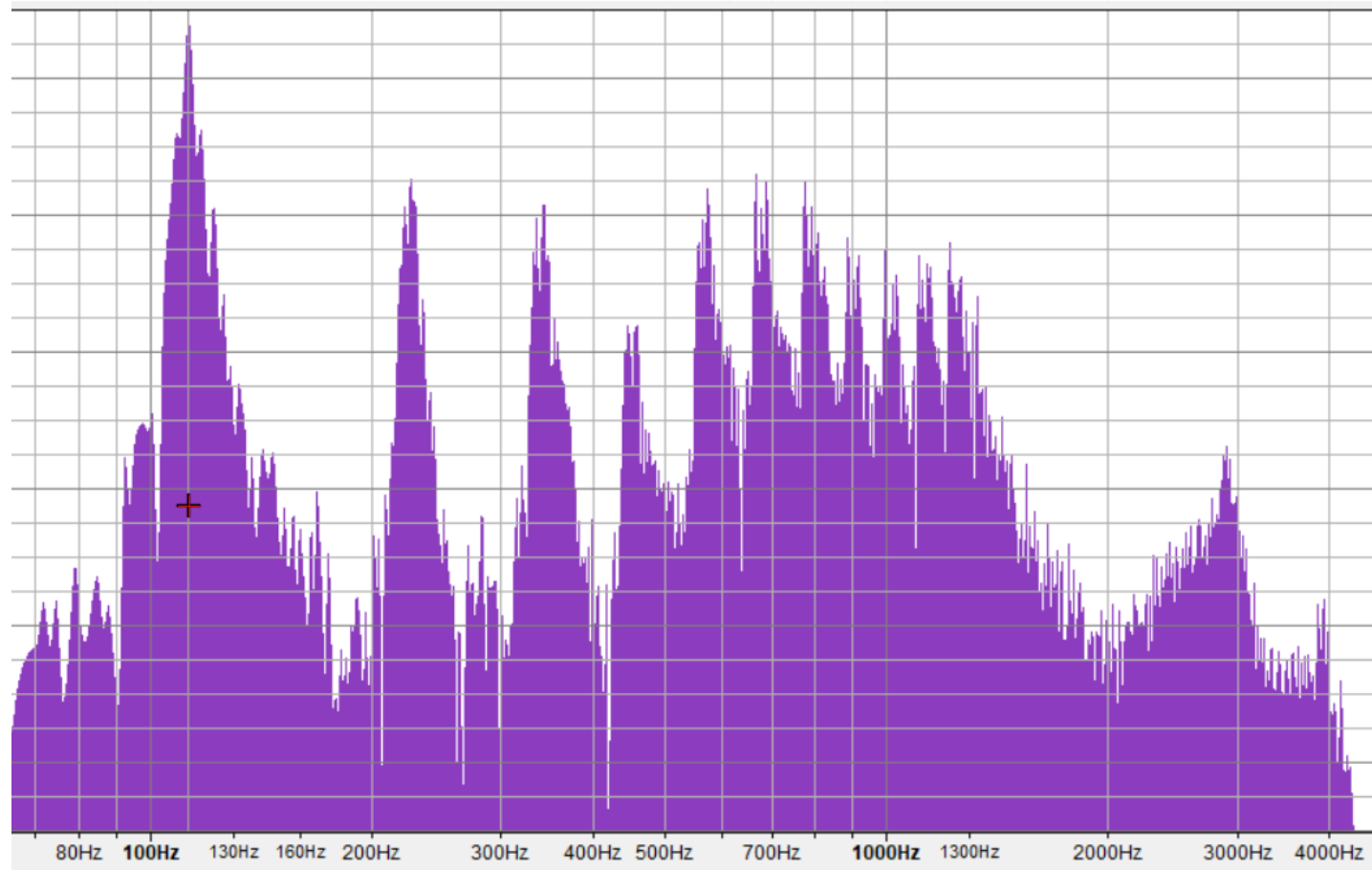
2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

3. Sprachcodierungen in **FreeDV**

## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

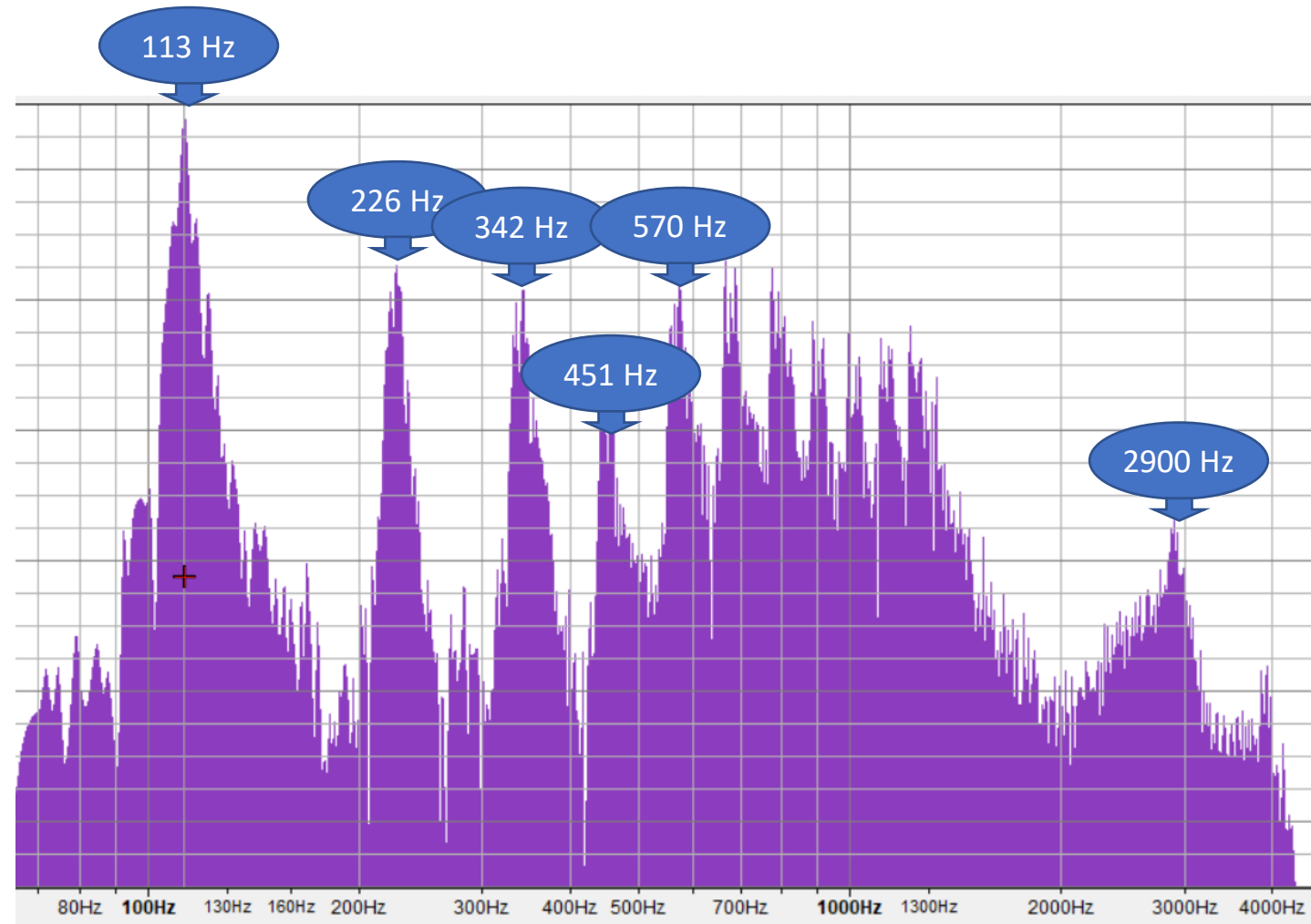
Mein „A“

(Spektrum via Audacity)



## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

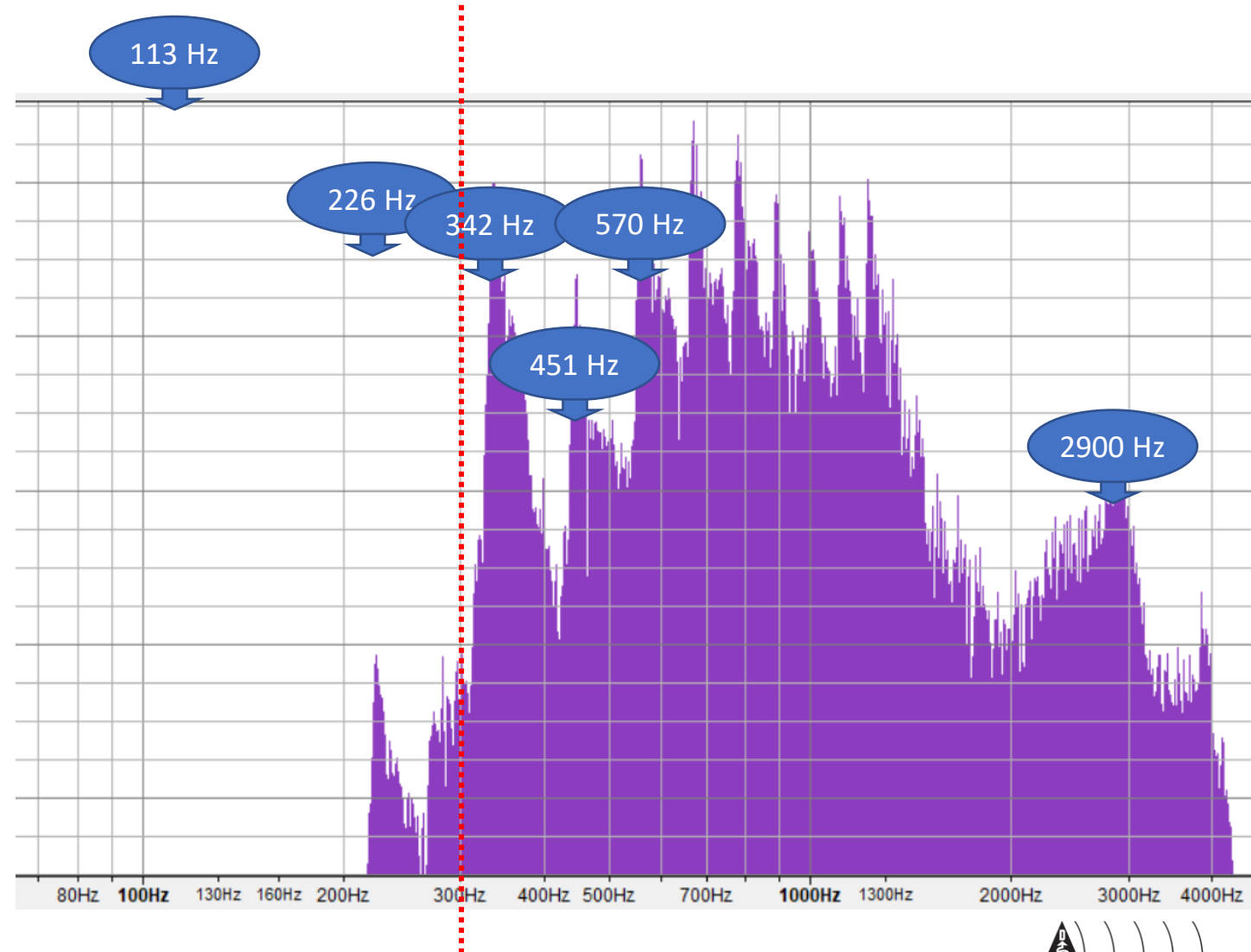
Mein „A“



## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Mein „A“

nach 2x Hochpass,  
300Hz, -48dB/Okt  
(Audacity)



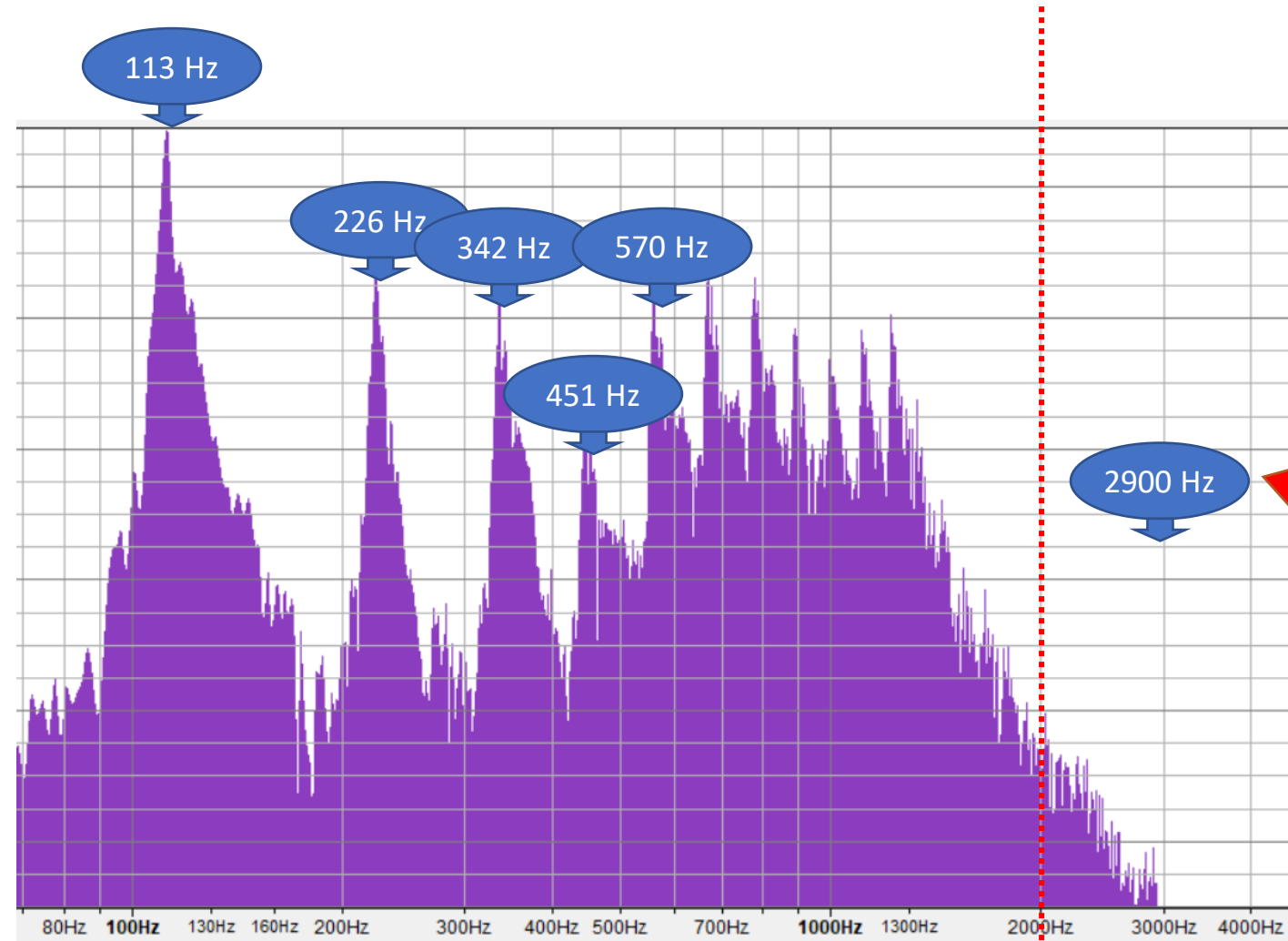
hört sich  
fast  
gleich an!



## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Mein „A“

nach 1x Tiefpass,  
2kHz, -48dB/Okt

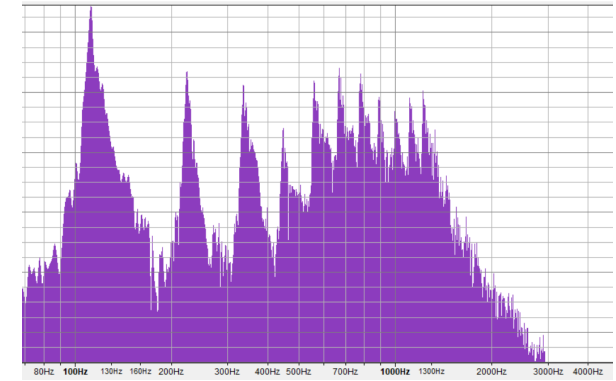


**hört sich  
verfremdet  
an**

## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

### Was soll das jetzt?

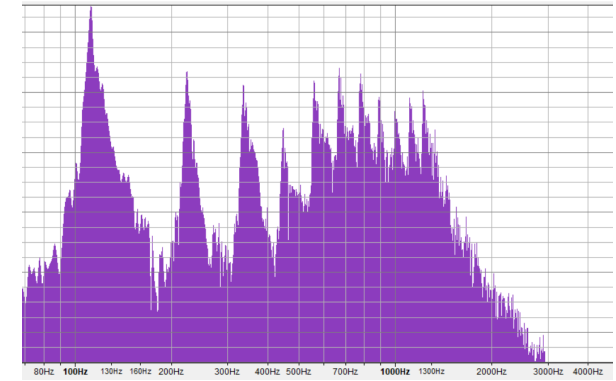
- die grundlegende Idee ist, Stimme spektral zu analysieren,
- in *ausreichend* häufigen Zeitintervallen,
- zur Erkennung von Frequenz-Mustern,
- die Extraktion der für das menschliche Hören relevanten Details,
- die dann möglichst effizient beschrieben werden.



## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

### Was soll das jetzt?

- die grundlegende Idee ist, Stimme spektral zu analysieren,
- in *ausreichend* häufigen Zeitintervallen,
- zur Erkennung von Frequenz-Mustern,
- die Extraktion der für das menschliche Hören relevanten Details,
- die dann möglichst effizient beschrieben werden.



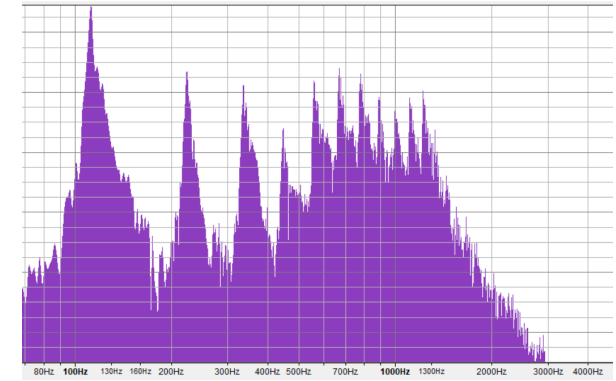
### Dabei gibt es einen **wichtigen Unterschied!**

- stimmhafte (erkennbare Harmonische)
- stimmlose Phoneme (s. nächste Folie)

## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Stimmhafte Phoneme werden spektral analysiert:

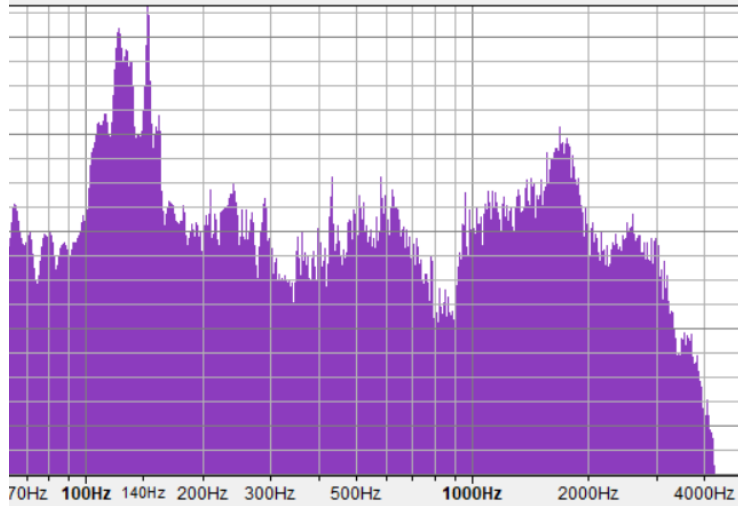
- Basisfrequenz (logarithmisch relativ genau)
- Oberwellen-Amplituden (logarithmisch grob quantisiert)



Und dann bleibt da ein Problem mit scheinbar zufälliger Phaseninformation bei der Synthese des Sprachsignals auf der Empfängerseite. Unser Ohr „erwartet“ eine **systematische Zufälligkeit**, damit sich die Stimme echt anhört.

## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Stimmlose Phoneme:



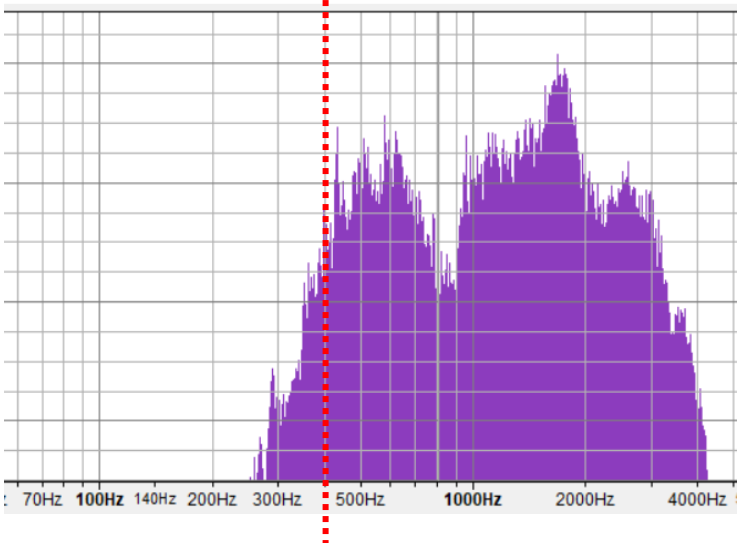
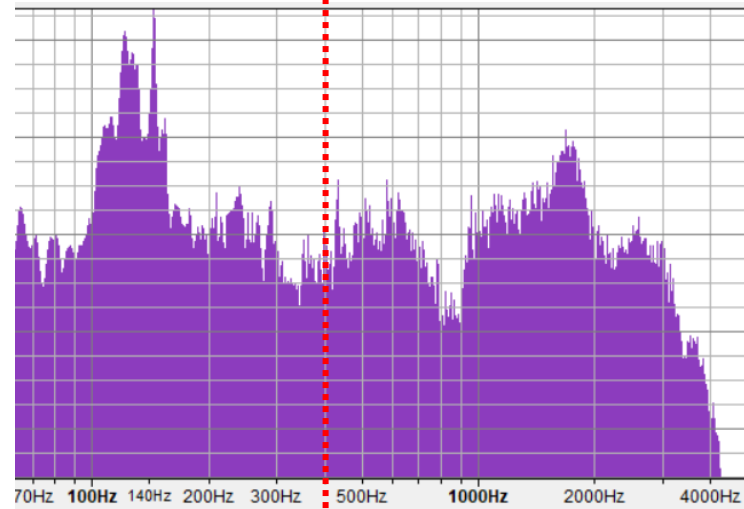
**Mein Tiefpass gefiltertes „ch“**

Tiefpass bei 3kHz, -48dB/Okt,

hörbar nicht mehr das Original

## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Stimmlose Phoneme:



**Mein Tiefpass gefiltertes „ch“**

Tiefpass bei 3kHz, -48dB/Okt,

hörbar nicht mehr das Original

**Mein Tiefpass gefiltertes „ch“**

Tiefpass bei 3kHz, -48dB/Okt,

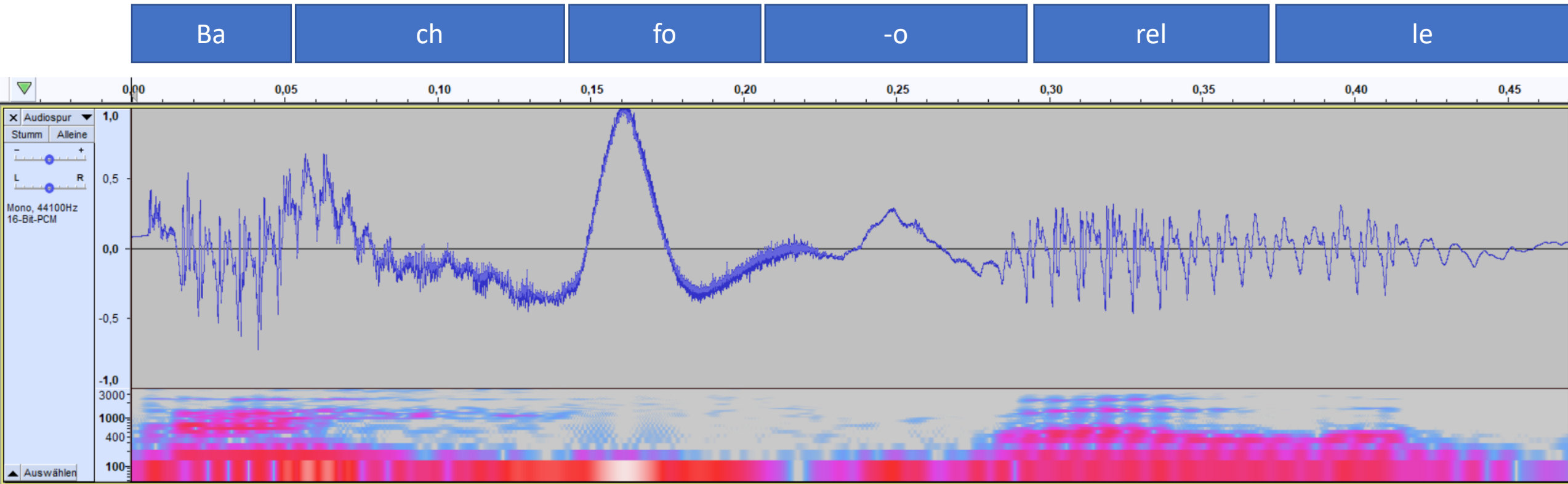
zus. Hochpass bei 400Hz, -48dB/Okt

→ akzeptable Einschränkung



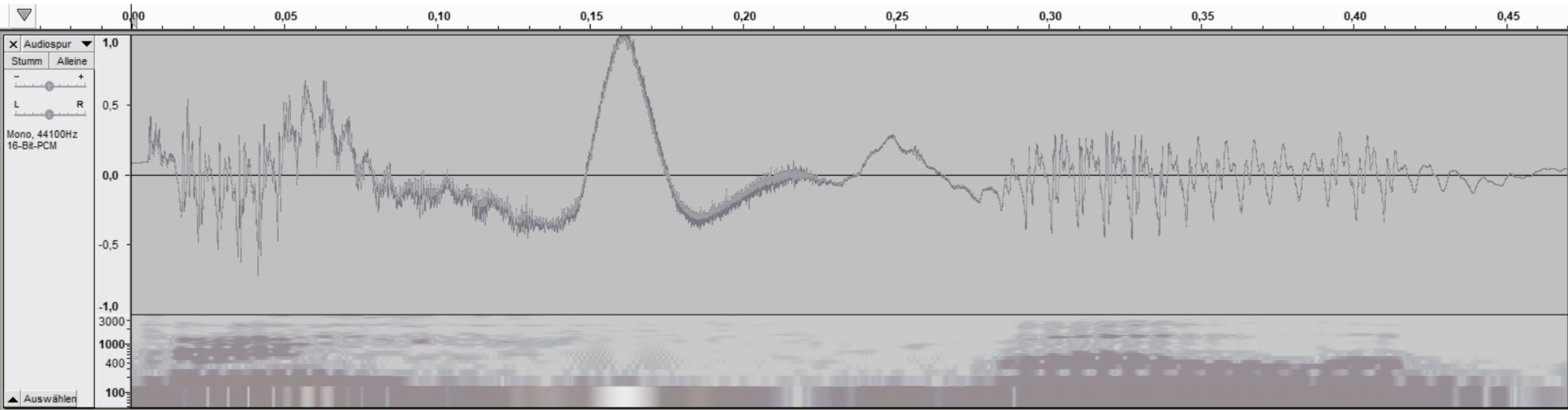
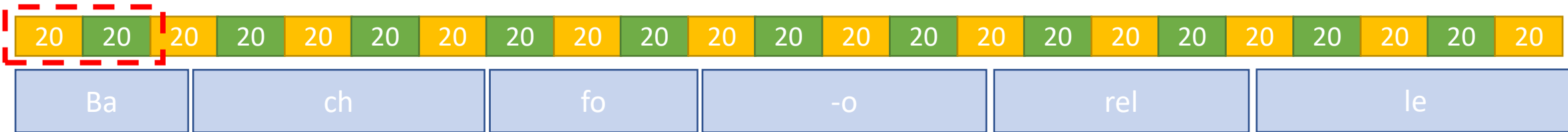
Welche Grundfrequenzen sind da enthalten? (keine)

## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung



- normalerweise brauche ich zum Aussprechen von „**Bachforelle**“ etwa 1.5 Sekunden
- geht aber auch in 0.5 Sekunden

## 2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung



- normalerweise brauche ich zum Aussprechen von „ **Bachforelle**“ etwa 1.5 Sekunden
- geht aber auch in 0.5 Sekunden
- kürzestes Phonem 50 msec → **braucht mindestens 20msec Abtastintervall zum sicheren Erkennen**







# FreeDV Treffen Anfang März 2022

1. Terminplanung
2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung
3. Sprachcodierungen in **FreeDV**

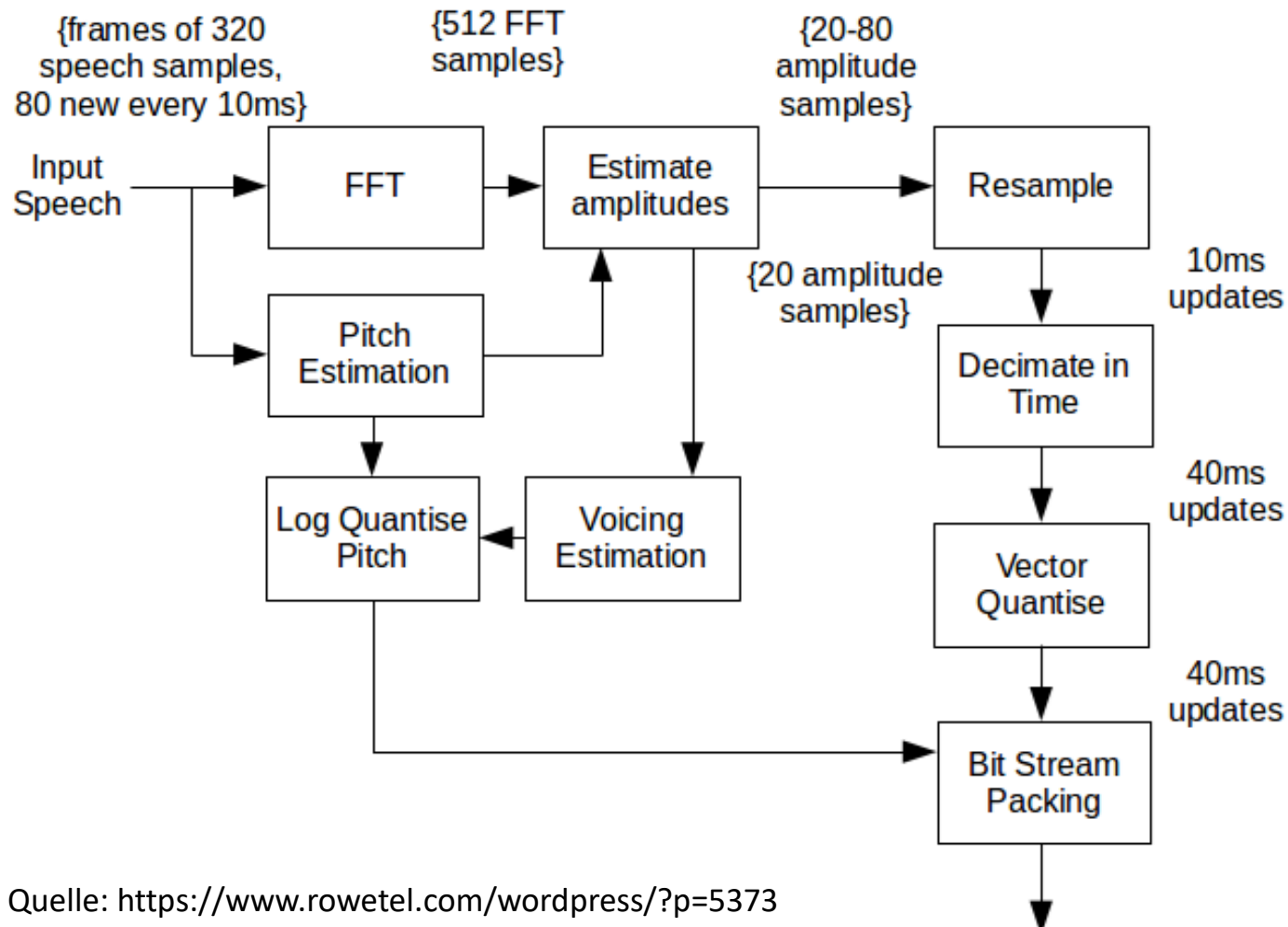


# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

	Date	Codec		Modem	Pilot	Diversity	Raw bits/s	Fehler-Korrektur	Multipath			
	1600	2012	Codec2	1300	14 DQPSK	DBPSK	-	1600	Golay (23,12)	poor	12 Quellbit → 23 Kanalbit	
<b>1.</b> 	<b>700C</b>	2017	Codec2	<b>700C</b>	14 carrier coherent QPSK	-	yes	1400		good	gar keine FEC!	
	700D	2018	Codec2		17 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	1900	LDPC (224,112)	fair	112 Quellbit → 224 Kanalbit	
<b>2.</b> 	700E	2020	Codec2		21 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (112,56)	good	56 Quellbit → 112 Kanalbit	
<b>3.</b> 	2020	2019	LPCNet 1733		31 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (504,396)	poor		

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

## Modus 700C



- Sprach-Abtastrate 8.000Hz (80/10ms), **Analyserahmen** 10ms
- FFT (Fast Fourier Transform, Frequenzanalyse)
- stimmhaft / stimmlos (*voicing*)
- Tonhöhen-Schätzung (*pitch*)
- Abtastrate reduzieren (*resample*)
- 4 **Analyserahmen** zusammen: 40ms

### Im Ergebnis:

*the VQ uses 18 bits,*  
*energy 4 bits,*  
*pitch 6 bits*  
*for a total of 28 bits every 40ms frame.*

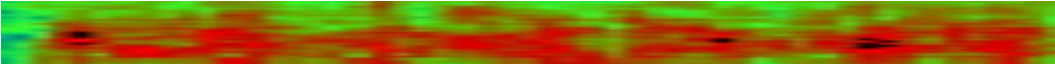
Quelle: <https://www.rowetel.com/wordpress/?p=5373>

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

## Modus 700C

Mapping of bits to frame

symbol	channel						
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
S0	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix
S1	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix
S2	0	8	16	24	32	40	48
S3	2	10	18	26	34	42	50
S4	4	12	20	28	36	44	52
S5	6	14	22	30	38	46	54



80ms

je ~26ms  
d.h. zeitlich  
komprimiert

**Im Ergebnis:**

for a total of 28 bits every 40ms frame.

- Piloten markieren den Beginn eines **Datenframes** (Dauer 80ms)
- ein Datenframe mit zwei **Coder Frames**
- 7 Kanäle
- 2 Symbole je Kanal
- 2 Bit je Symbol (QPSK)


→ macht  $7 * 2 * 2 = 28$  Bit je **Coder Frame**

**1 Pilot Frame + 2 Coder Frames: 80ms**

Quelle: [https://github.com/drowe67/codec2/blob/master/doc/modem\\_codec\\_frame\\_design.ods](https://github.com/drowe67/codec2/blob/master/doc/modem_codec_frame_design.ods)

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

## Modus 700C

	Date	Codec		Modem	Pilot	Diversity	Raw bits/s	Fehler-Korrektur	Multipath
700C	2017	Codec2	700C	14 carrier coherent QPSK	-	yes	1400		good

symbol	channel							channel						
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
S0	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix
S1	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix	Prefix
S2	0	8	16	24	32	40	48	0	8	16	24	32	40	48
S3	2	10	18	26	34	42	50	2	10	18	26	34	42	50
S4	4	12	20	28	36	44	52	4	12	20	28	36	44	52
S5	6	14	22	30	38	46	54	6	14	22	30	38	46	54

wir starteten bei 8KHz Abtastrate mit 16Bit Auflösung

der Codec erzeugte 2 Symbole (4 Bits) für 7 Einzelträger alle ~26msec

wir senden mit Diversity 6 Symbole (12 Bits) auf 14 Einzelträgern alle 80msec

➔ 128.000 Bit/s

➔ **1.050 Bit/s**

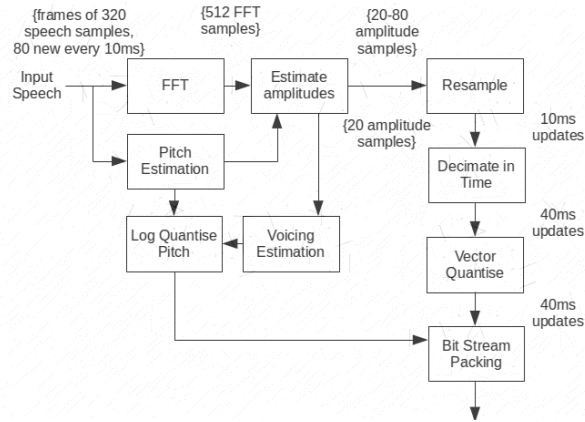
➔ 2.100 Bit/s

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

	Date	Codec		Modem	Pilot	Diversity	Raw bits/s	Fehler-Korrektur	Multipath			
	1600	2012	Codec2	1300	14 DQPSK	DBPSK	-	1600	Golay (23,12)	poor	12 Quellbit → 23 Kanalbit	
1.	700C	2017	Codec2	700C	14 carrier coherent QPSK	-	yes	1400	-----	good	gar keine FEC!	
	700D	2018	Codec2		17 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	1900	LDPC (224,112)	fair	112 Quellbit → 224 Kanalbit	
2.	700E	2020	Codec2		21 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (112,56)	good	56 Quellbit → 112 Kanalbit	
3.	2020	2019	LPCNet 1733		31 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (504,396)	poor		

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

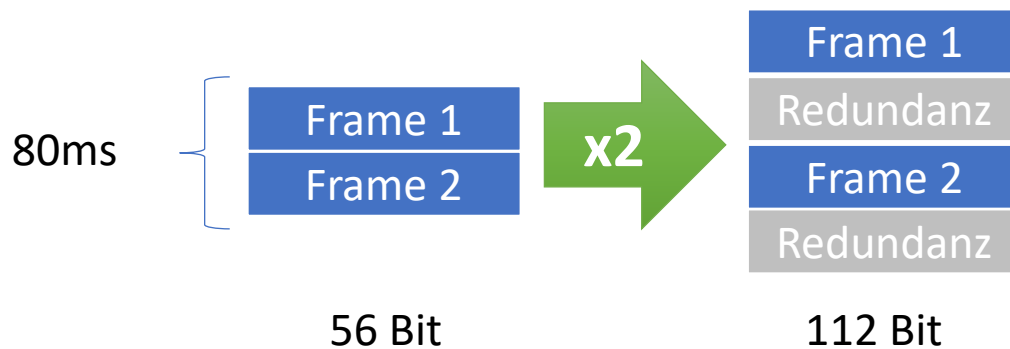
## Modus 700E



700E	2020	Codec2		21 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (112,56)	good	56 Quellbit → 112 Kanalbit
------	------	--------	--	-------------------------------	---	---	------	---------------	------	----------------------------

### wie bei 700C

the VQ uses 18 bits,  
 energy 4 bits,  
 pitch 6 bits  
 for a total of 28 bits every 40ms frame.



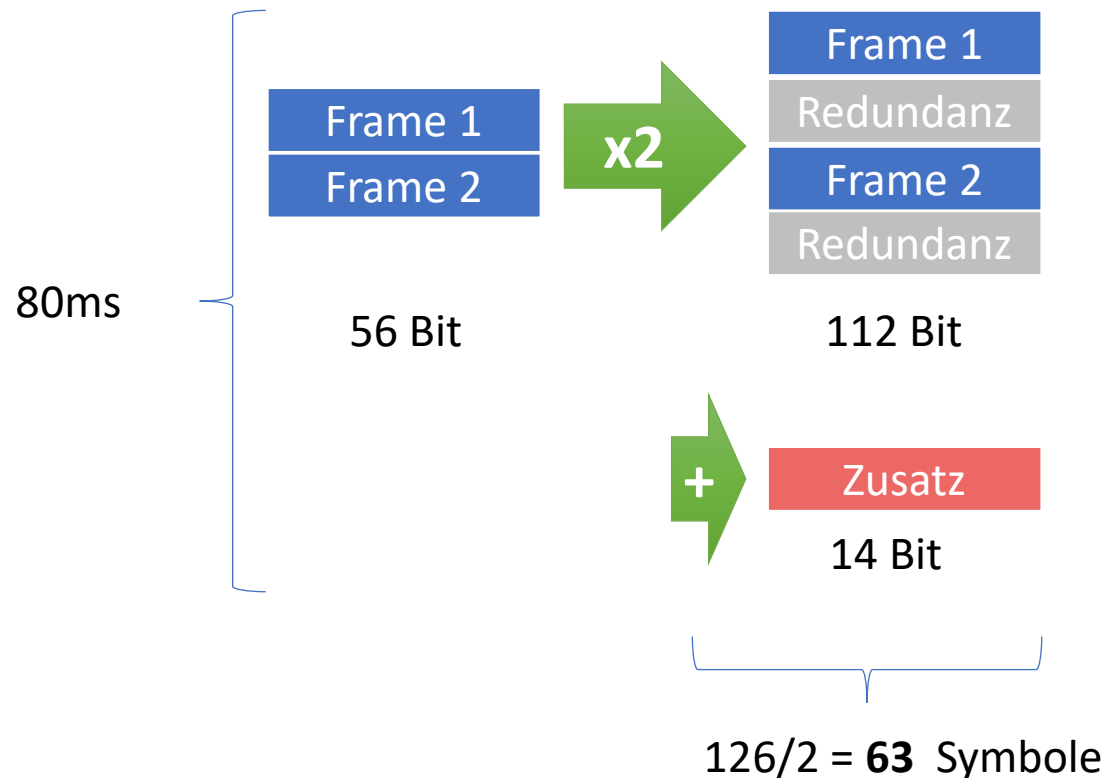
2 Frames (80ms) werden zusammengefasst  
 → 56Bit

dann bitte eine Vorwärts-Fehlerkorrektur (FEC),  
 mit Rate 0,5 → 112 zu übertragende Bit

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

Modus 700E

700E	2020	Codec2		21 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (112,56)	good	56 Quellbit → 112 Kanalbit
------	------	--------	--	-------------------------------	---	---	------	---------------	------	----------------------------



**noch zusätzlich ungeschützt:**

- 1 Symbol Text
- 6 Symbole Rahmenkennung

→ **noch 14 Bit mehr**

- verteilt auf 21 diskrete Einzelträger, von denen einige als Pilot-Träger verwendet werden.

→ führt zu 21 Trägern mit einer Symbolrate von 20msec...

→ und einer Kanaldatenrate von **3.000 Bit/s**



# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

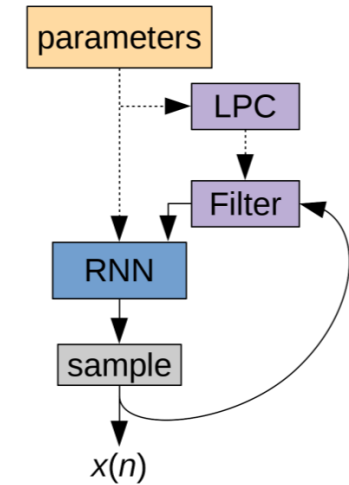
	Date	Codec		Modem	Pilot	Diversity	Raw bits/s	Fehler-Korrektur	Multipath			
	1600	2012	Codec2	1300	14 DQPSK	DBPSK	-	1600	Golay (23,12)	poor	12 Quellbit → 23 Kanalbit	
1.	700C	2017	Codec2	700C	14 carrier coherent QPSK	-	yes	1400	-----	good	gar keine FEC!	
	700D	2018	Codec2		17 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	1900	LDPC (224,112)	fair	112 Quellbit → 224 Kanalbit	
2.	700E	2020	Codec2		21 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (112,56)	good	56 Quellbit → 112 Kanalbit	
3.	2020	2019	LPCNet 1733		31 carrier coherent OFDM/QPSK	-	-	3000	LDPC (504,396)	poor		

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

Modus 2020 (LPCNet 1733)

## LPCNet

- adressiert den *systematischen Zufall*, der Stimme menschlich erscheinen lässt
- wesentliche Fortschritte durch Sprach-Synthese Forschung und Entwicklung der letzten 10 Jahre (Jiri, Cortana, Alexa, ...)
- ein wesentliches Projekt **DeepMind**, seit 2010, seit 2014 mit Google
- auch viele andere Projekte und Lösungen (Open Source, proprietär)



# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

Modus 2020 (LPCNet 1733)

## LPCNet

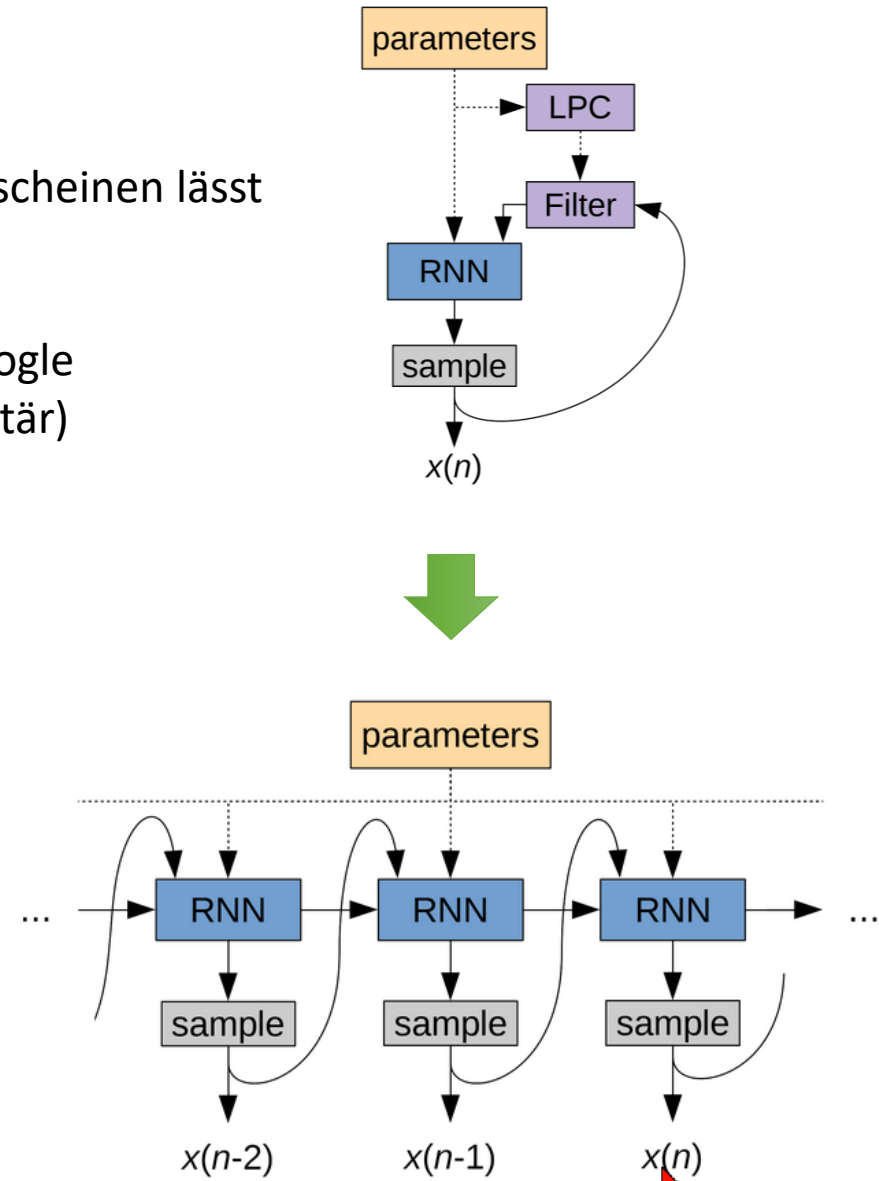
- adressiert den *systematischen Zufall*, der Stimme menschlich erscheinen lässt
- wesentliche Fortschritte durch Sprach-Synthese Forschung und Entwicklung der letzten 10 Jahre (Jiri, Cortana, Alexa, ...)
- ein wesentliches Projekt **DeepMind**, seit 2010, seit 2014 mit Google
- auch viele andere Projekte und Lösungen (Open Source, proprietär)

## Projekt „WaveNet“

- Unterschied -> höre Beispiele
- neuronale netze, die eine Wahrscheinlichkeits-Verteilung von Ausgabewerten erzeugen
- ein Ausgabewert wird gewählt und zurückgeführt und bei der nächsten Entscheidung mit verwendet

→ RNN: recurrent neural network

Quelle: <https://jmvalin.ca/demo/lpcnet/>

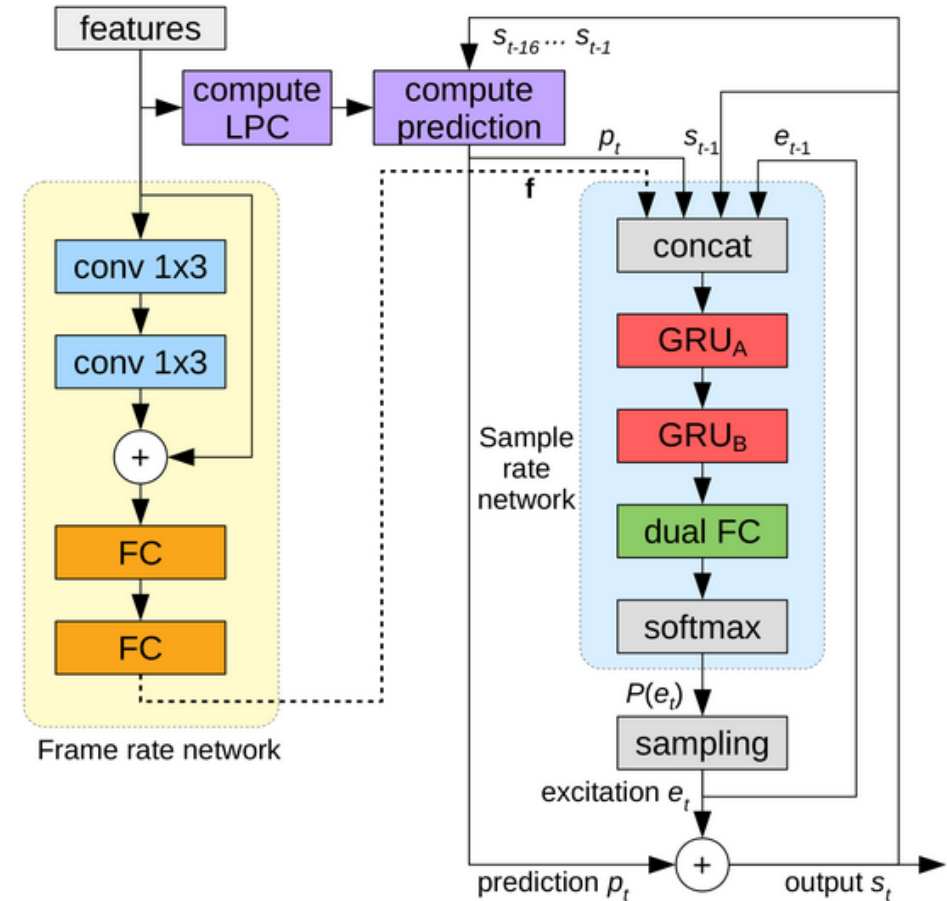
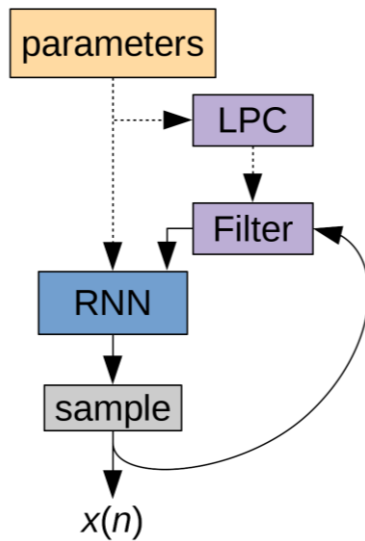
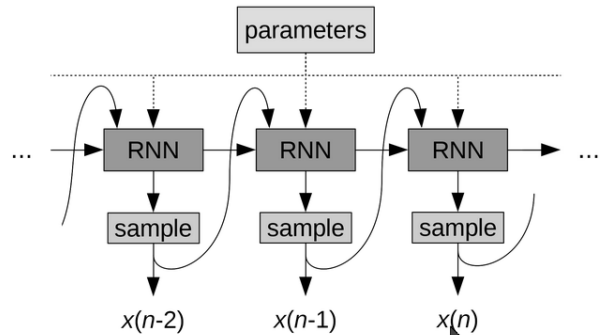


# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

Modus 2020 (LPCNet 1733)

WaveNet → **LPCNet**

- entlastet das RNN (recursive neural network)
- unterstützt mit „unseren“ codec2 Sprachanalyse-Parametern



Quelle: <https://jmvalin.ca/demo/lpcnet/>

# 3. Sprachcodierungen in FreeDV

Modus 2020 (LPCNet 1733)

Quelle: <https://jmvalin.ca/demo/lpcnet/>

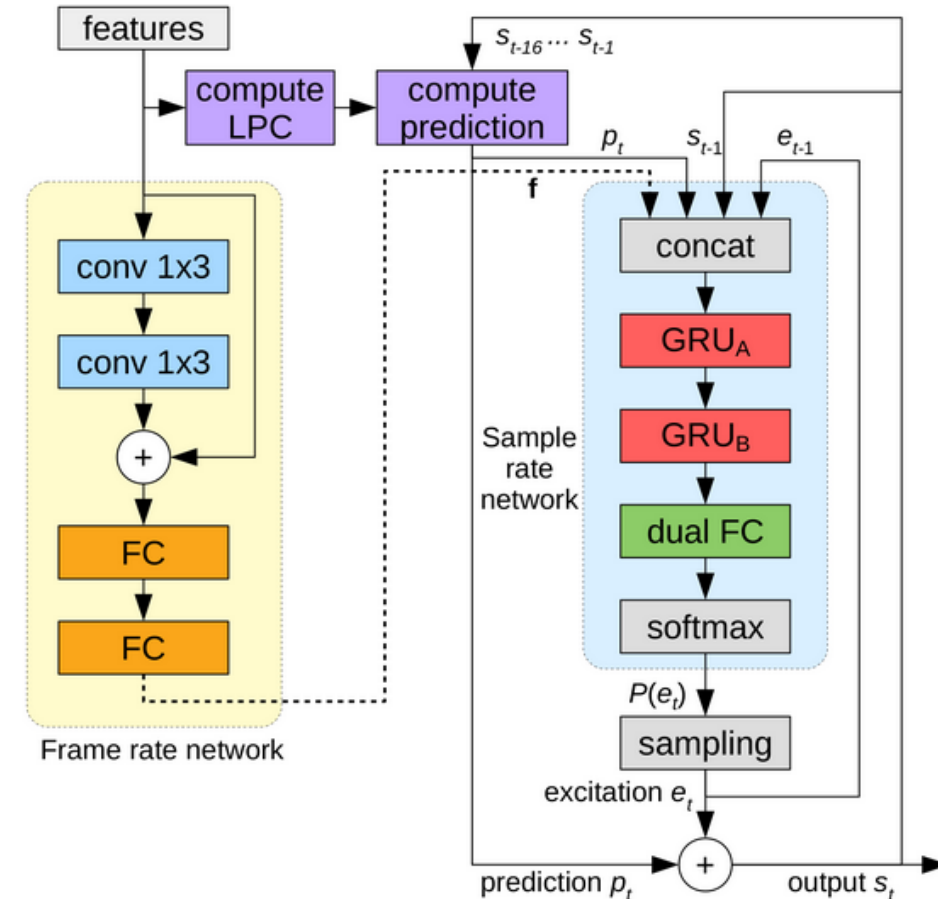
WaveNet → **LPCNet**

- entlastet das RNN (recursive neural network)
- unterstützt mit „unseren“ codec2 Sprachanalyse-Parametern

**Macht das jetzt einen Unterschied?**

- ja, es hört sich besser an,
- wenn die Übertragung ungestört funktioniert,
- denn auf Grund der Datenstrukturen ist die Kanalcodierung anders gewählt...

	Raw bits/s	Fehler-Korrektur	Multipath
31 carrier coherent OFDM/QPSK	3000	LDPC (504,396)	poor



# FreeDV Treffen Anfang März 2022

1. Terminplanung, Rückblick letzter Funksonntag
2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung
3. Sprachcodierungen in **FreeDV**  
am Beispiel von 700C, 700E, 2020