

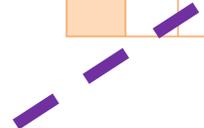
FreeDV Treffen Anfang März 2022

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

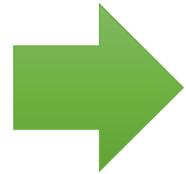
- wir funkten kreuz und quer durch Deutschland (100km..800km) auf 40m
- oft funktionierte es mit 700D und 700E
- auch mal mit Modus 1600 und 2020
- und erstaunlich oft und gut mit **700C**
- **Warum?** Ein Erklärungsversuch....

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



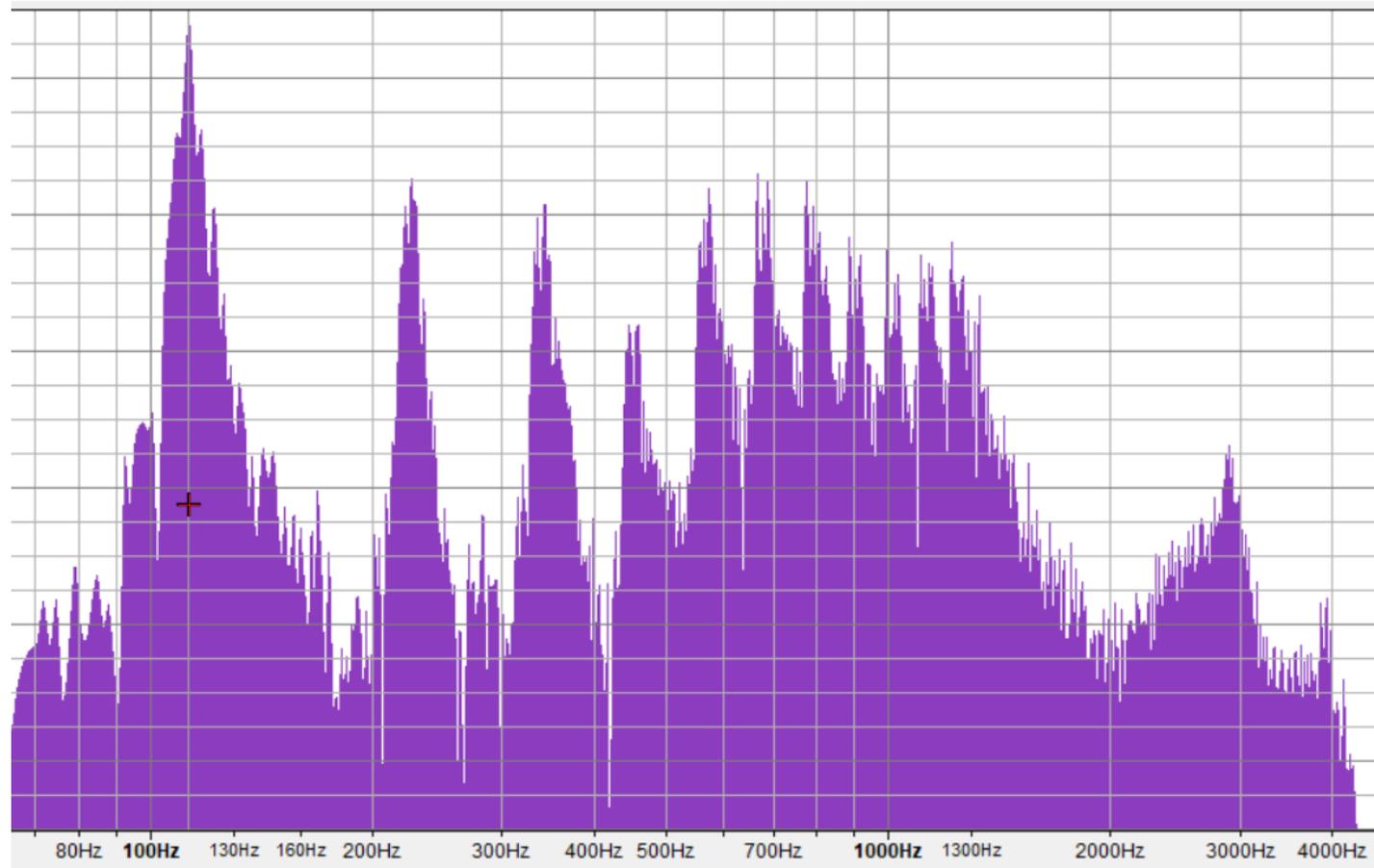
2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

3. Sprachcodierungen in **FreeDV**

2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

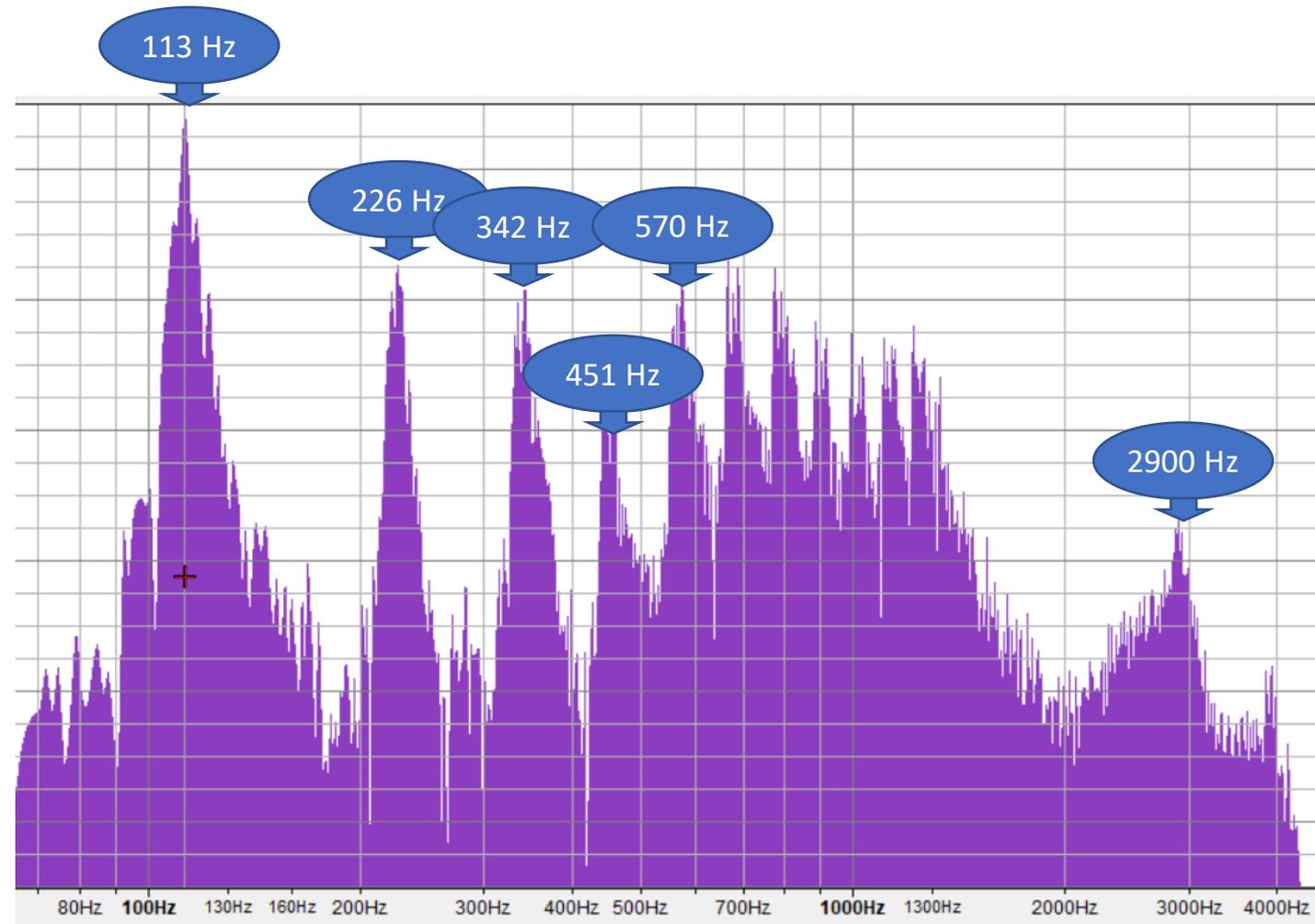
Mein „A“

(Spektrum via Audacity)



2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

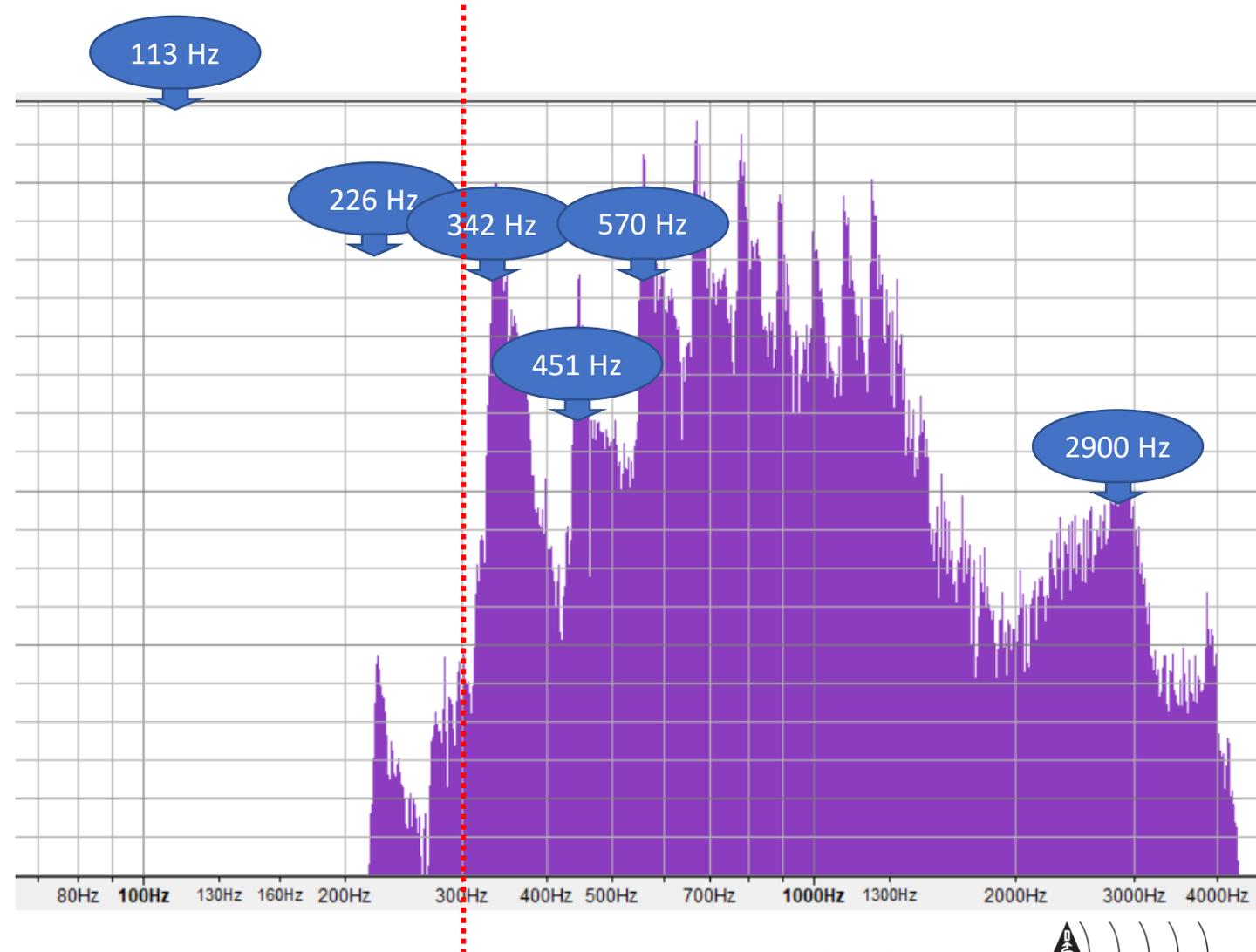
Mein „A“



2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Mein „A“

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

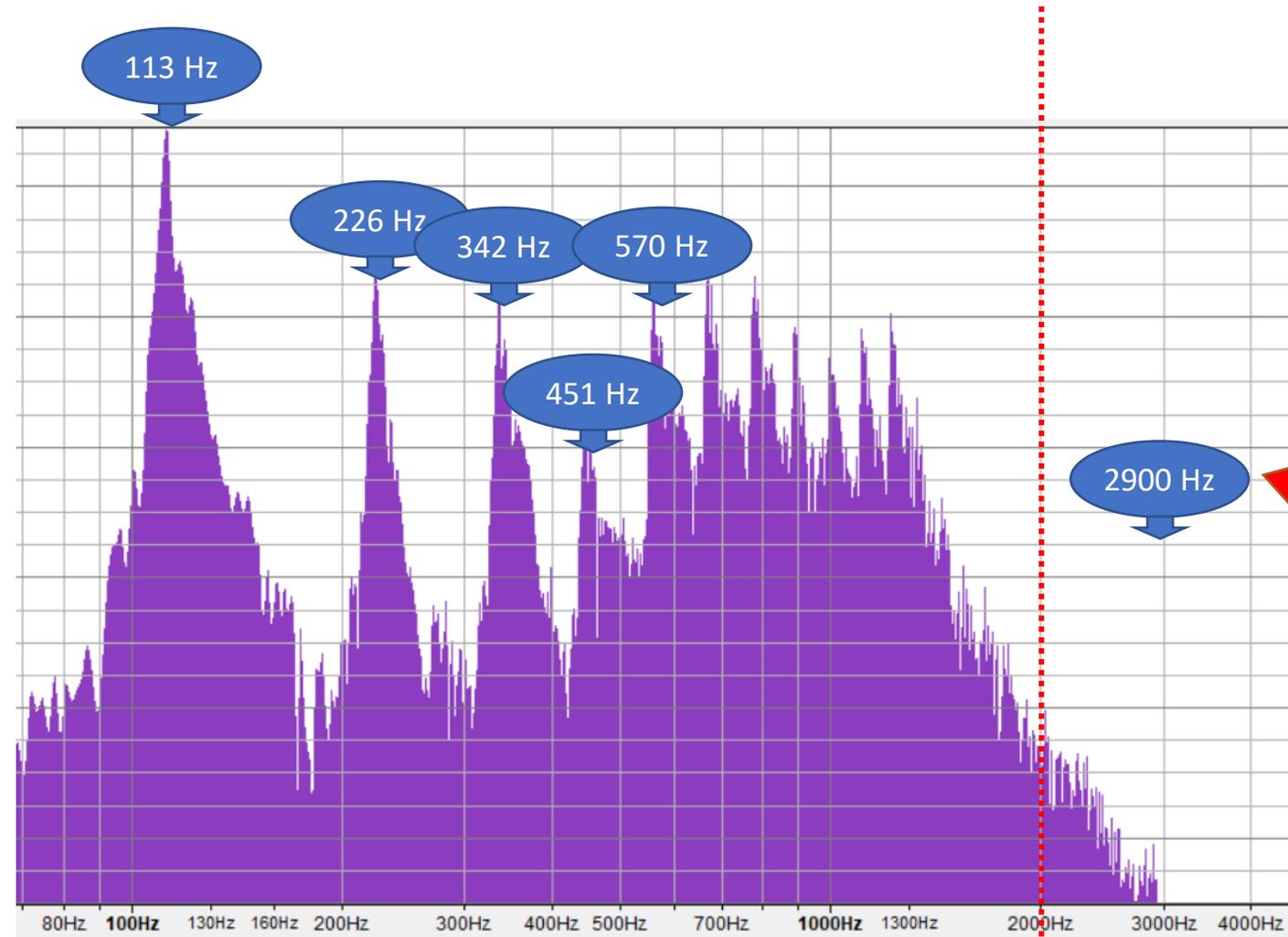


hört sich
fast
gleich an!

2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Mein „A“

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

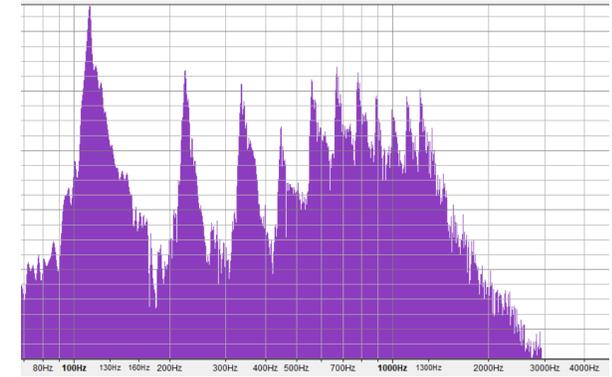


**hört sich
verfremdet
an**

2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Was soll das jetzt?

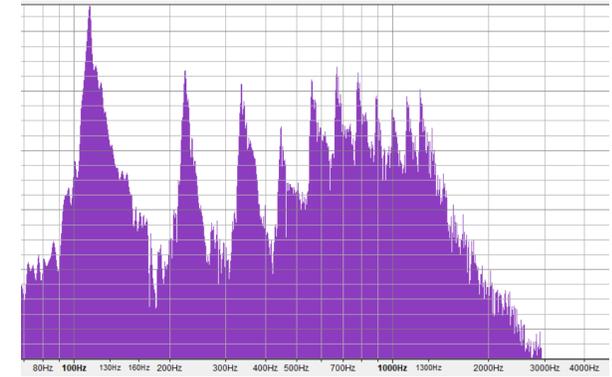
- die grundlegende Idee ist, Stimme spektral zu analysieren,
- in *ausreichend* häufigen Zeitintervallen,
- zur Erkennung von Frequenz-Mustern,
- die Extraktion der für das menschliche Hören relevanten Details,
- die dann möglichst effizient beschrieben werden.



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.



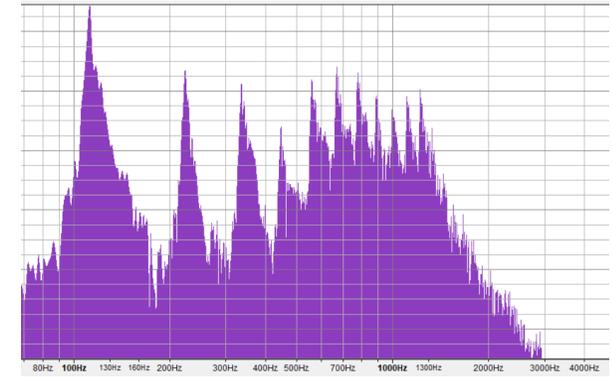
Dabei gibt es einen **wichtigen Unterschied!**

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

2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung

Stimmhafte Phoneme werden spektral analysiert:

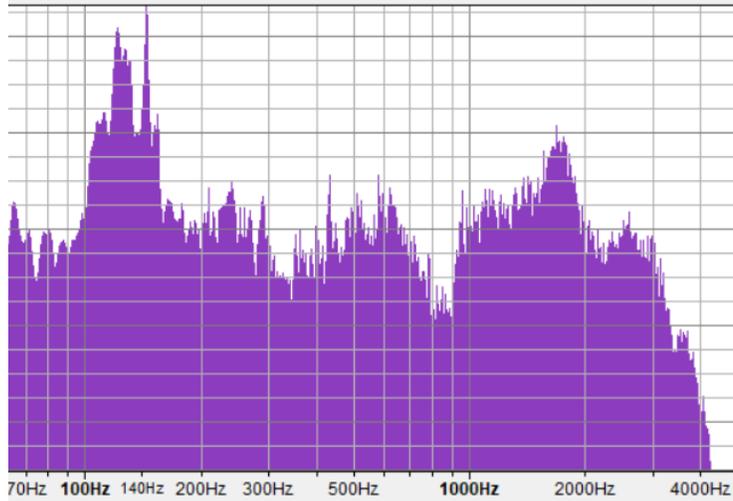
- Basisfrequenz (logarithmisch relativ genau)
- Oberwellen-Amplituden (logarithmisch grob quantisiert)



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:



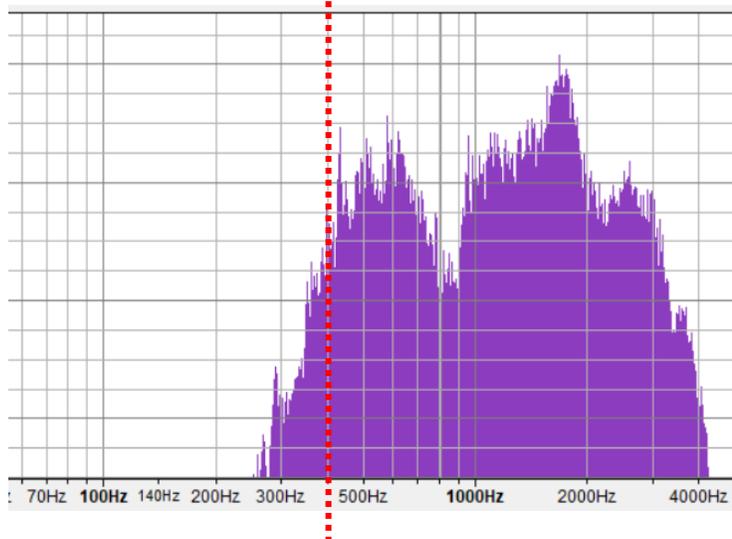
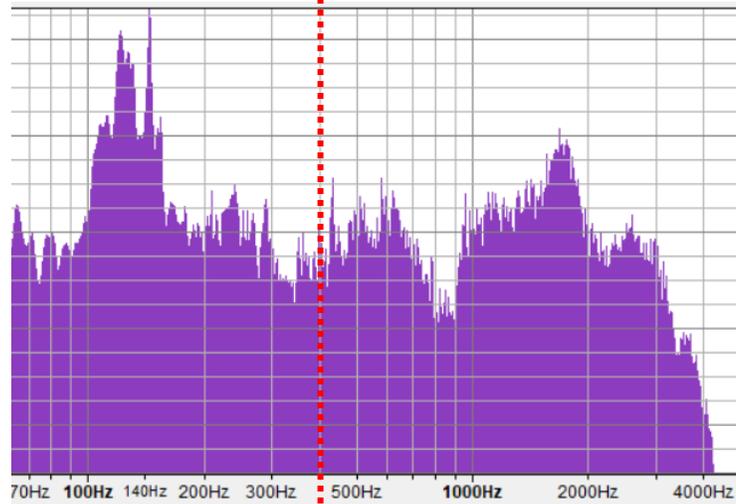
Mein Tiefpass gefiltertes „ch“

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,

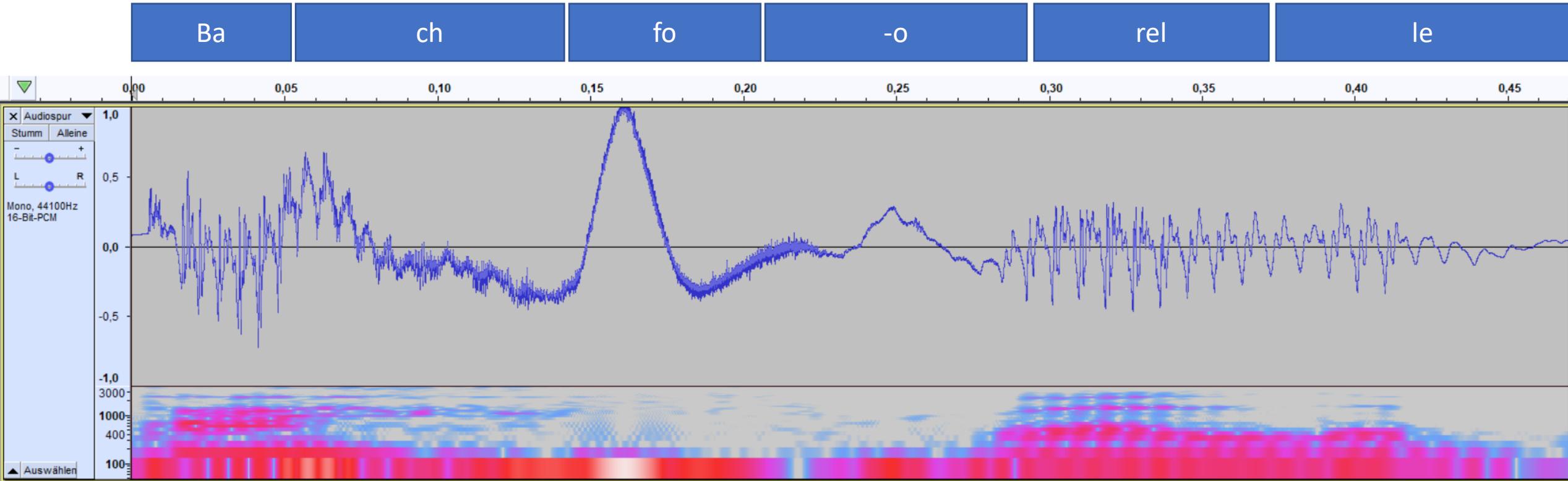
zus. Hochpass bei 400Hz, -48dB/Okt

→ akzeptable Einschränkung



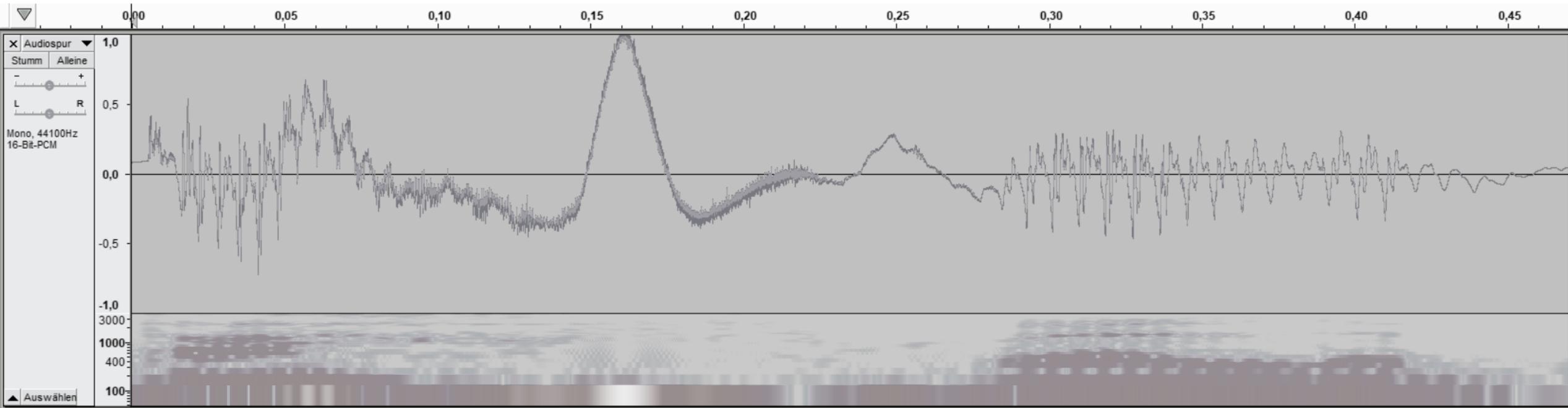
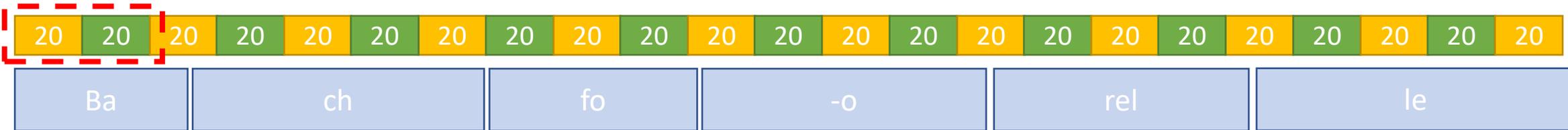
Welche Grundfrequenzen sind da enthalten? (keine)

2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung



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

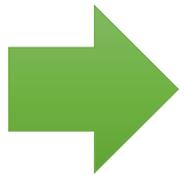
2. Vorüberlegungen zur Sprachcodierung



- 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**

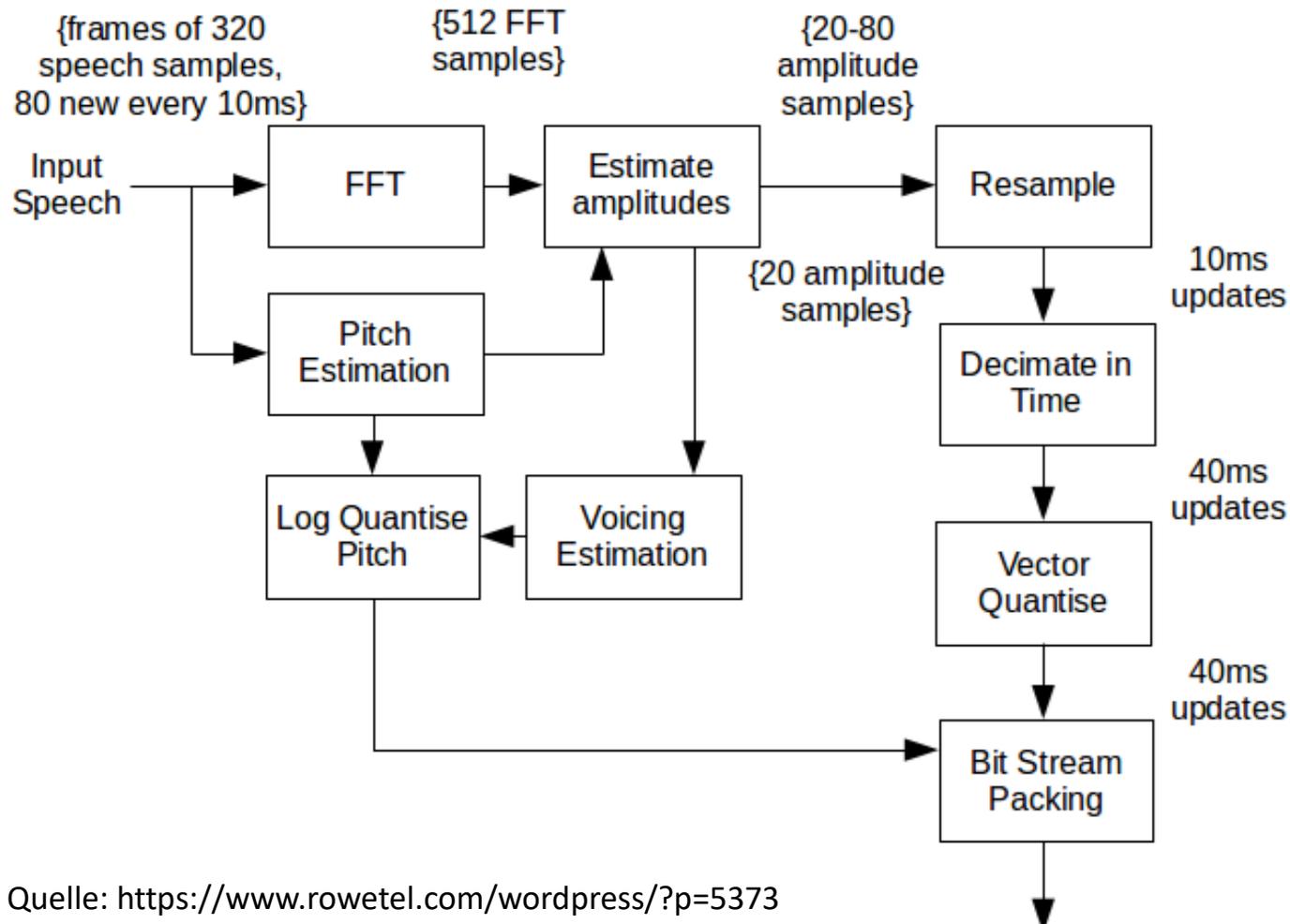


3. Sprachcodierungen in FreeDV

| | 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 | |
| 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 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.

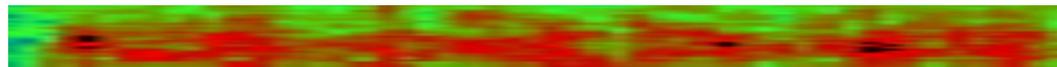
Quelle: <https://www.rowetel.com/wordpress/?p=5373>

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

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**

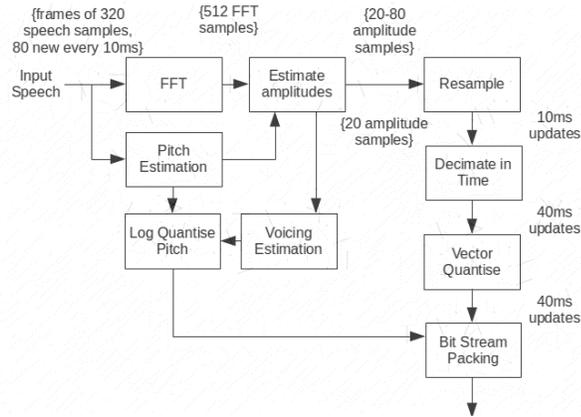
➔ 2.100 Bit/s

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

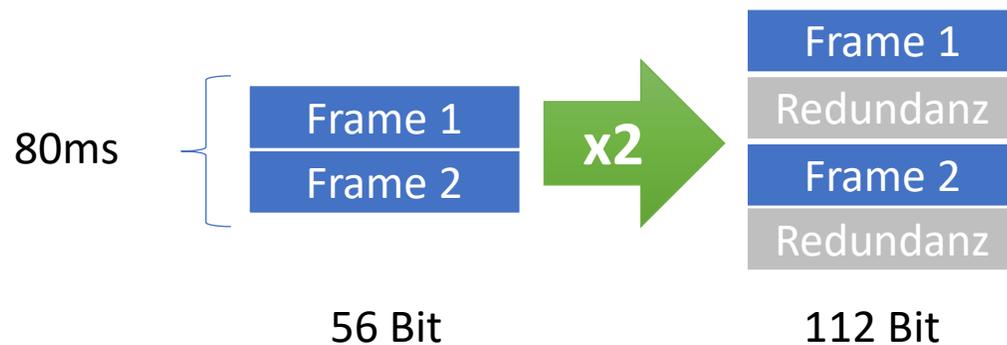
Modus 700E



| | | | | | | | | | | |
|------|------|--------|--|-------------------------------|---|---|------|---------------|------|----------------------------|
| 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.



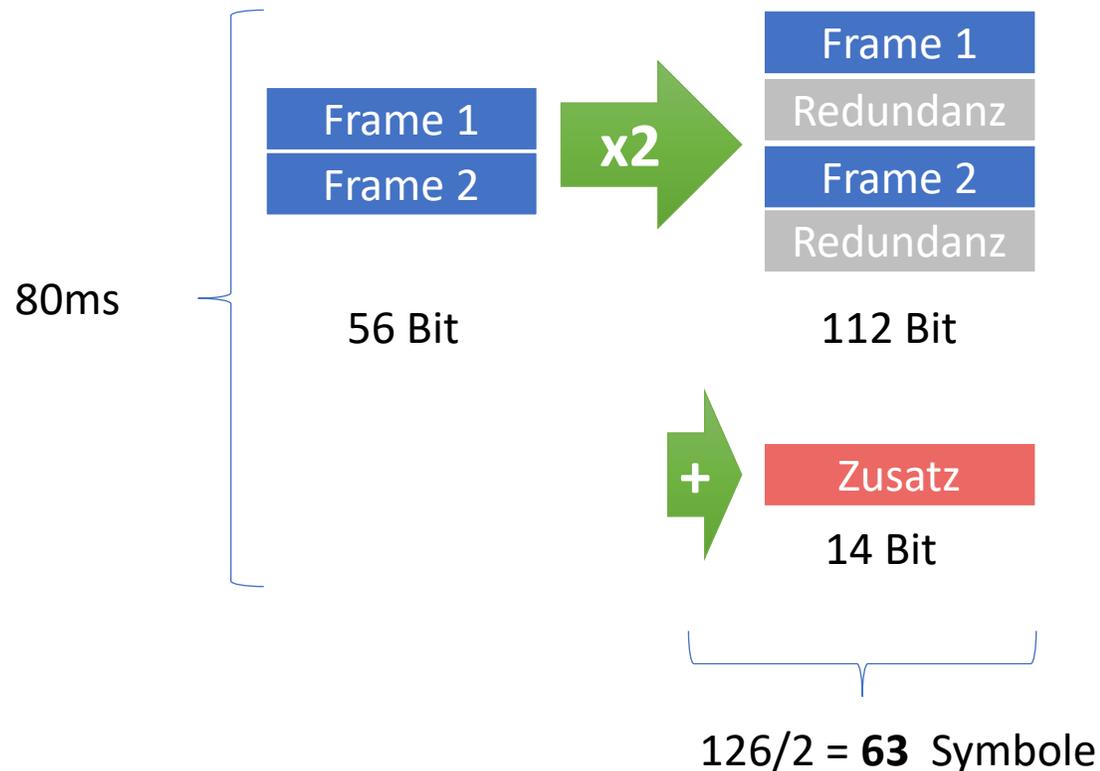
2 Frames (80ms) werden zusammengefasst
 → 56Bit

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

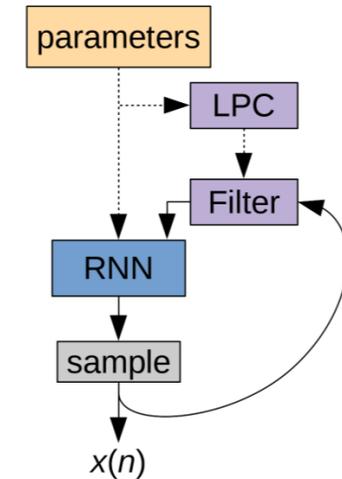
| | Date | Codec | | Modem | Pilot | Diversity | Raw bits/s | Fehler-Korrektur | Multipath | | | |
|----|------|-------|-------------|-------|-------------------------------|-----------|------------|------------------|----------------|------|--------------------------------|--|
| | 1600 | 2012 | Codec2 | 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

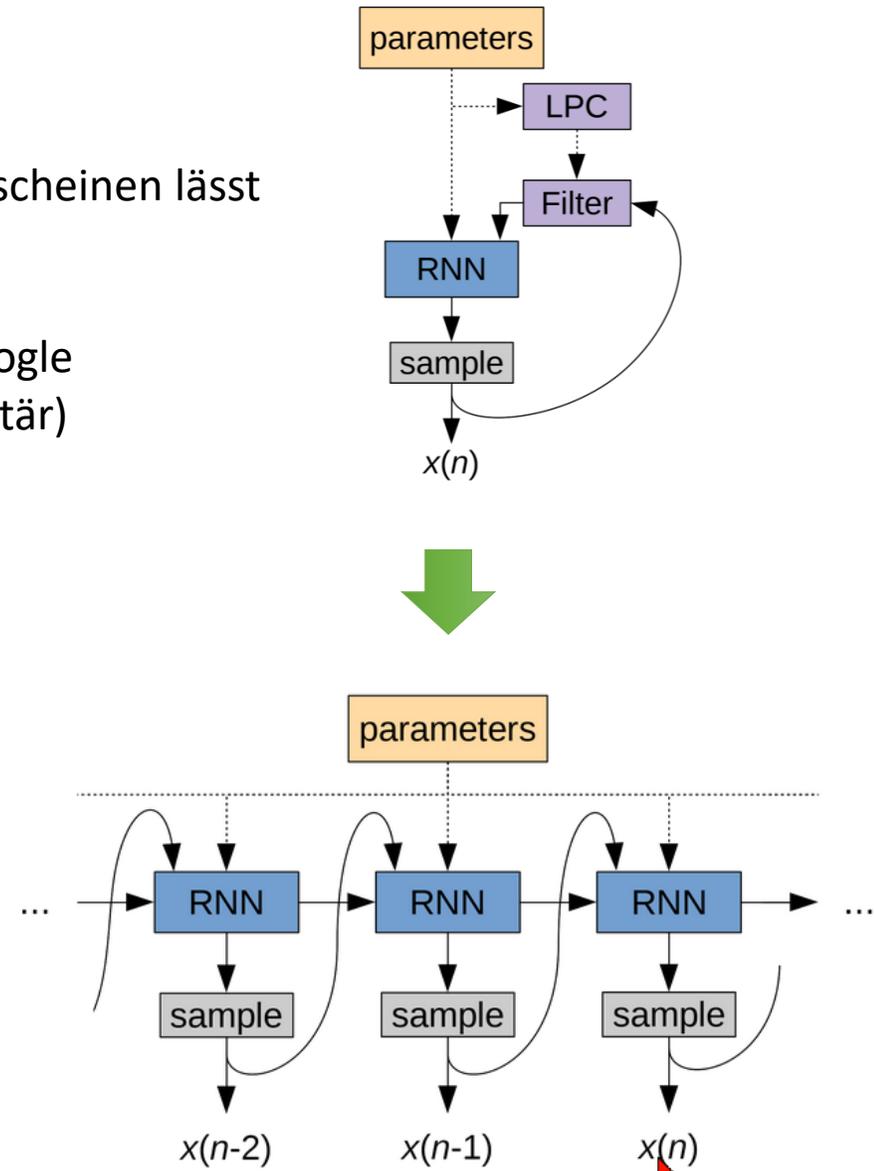
- adressiert den *systematischen Zufall*, der Stimme menschlich erscheinen lässt
- wesentliche Fortschritte durch Sprach-Synthese Forschung und Entwicklung der letzten 10 Jahre (Jiri, Cortana, Alexa, ...)
- ein wesentliches Projekt **DeepMind**, seit 2010, seit 2014 mit Google
- auch viele andere Projekte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

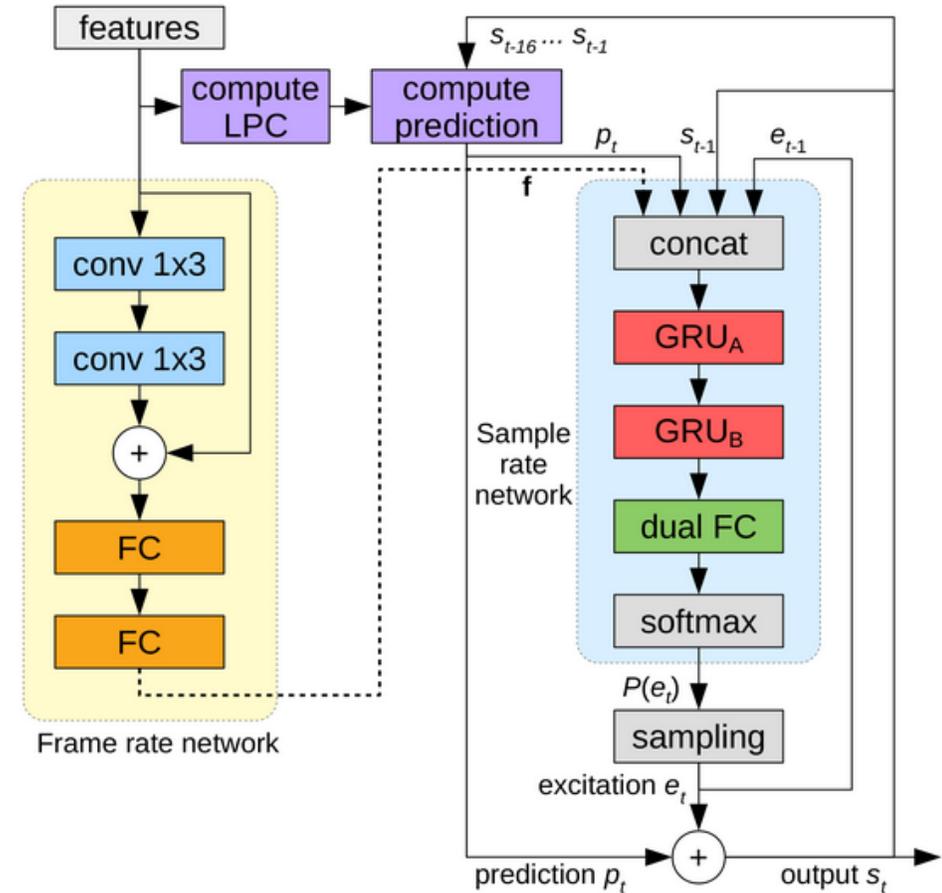
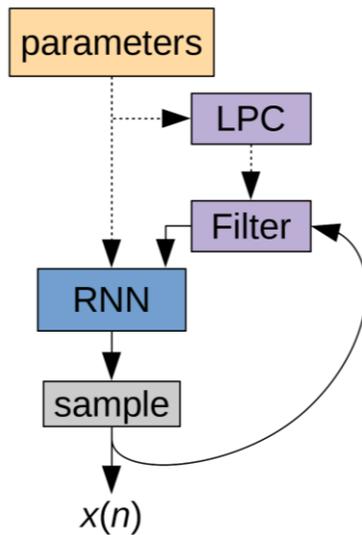
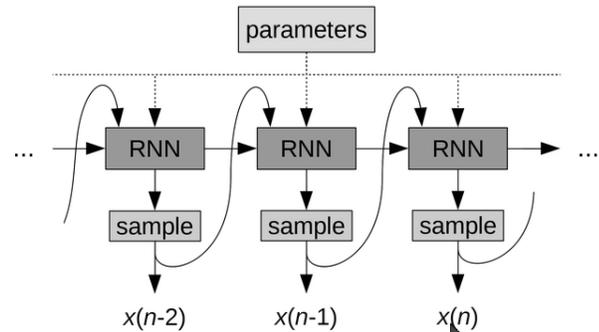


3. Sprachcodierungen in FreeDV

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/>

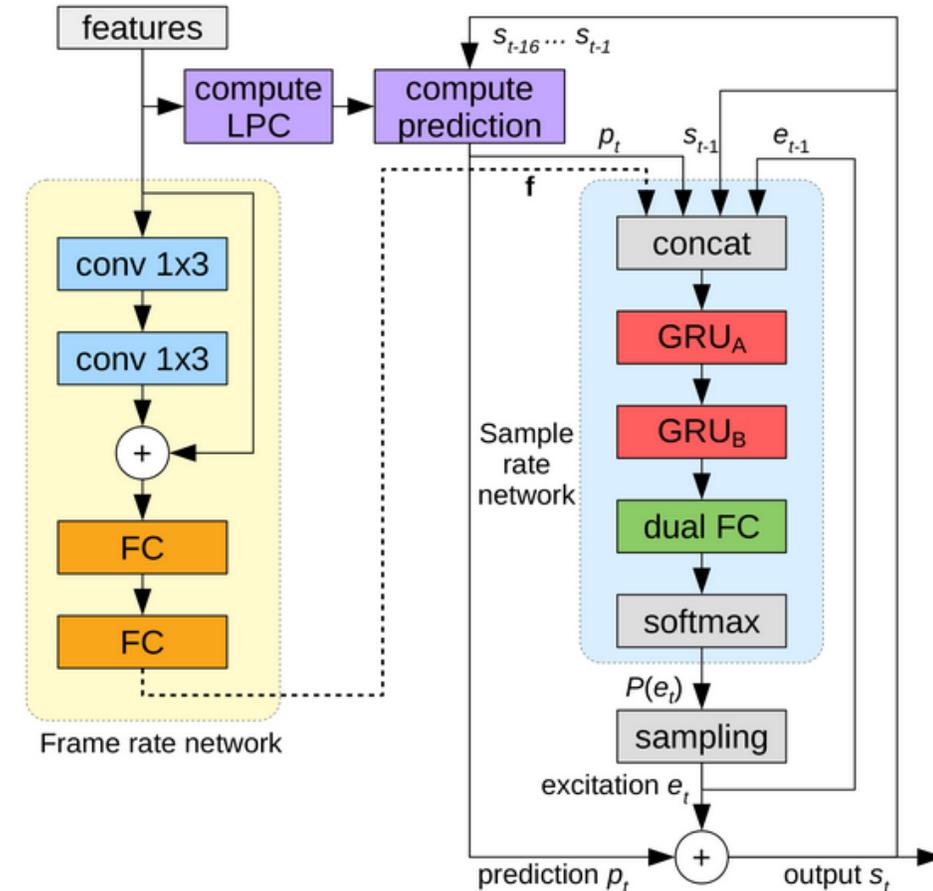
WaveNet → **LPCNet**

- 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