HAM group FreeDV

FreeDV Treffen Anfang Februar 2022

1. Begrüßung, Terminplanung, nächste Meilensteine (Andreas, DM4AB)

2. Symbol, Nyquist-Abtastung, mehrwertige Modulation, Rechnen mit Logarithmen

3. **Nyquist** Kanalkapazität
4. **Hartley** bei realem Empfänger
5. **Shannon** bei Weißem Rauschen

begleitet und unterstützt mit youtube Video-Material von

Professor David S. Ricketts
6030 Abonnenten

6. konkrete Anwendung auf **digitale Modulation**

eine Initiative des DARC

1. Terminplanung

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

Um das Bewusstsein für FreeDV zu schärfen, organisiert Mooner K6AQ einen weiteren **FreeDV-Aktionstag**. Die Aktion beginnt am
Sonntag, den 20. Februar um 16:00 UTC
bis Montag, den 21. Februar um 15:59 UTC.

Empfohlene Betriebsfrequenzen:

80 Meter: 3.625, 3.643 oder 3.693 kHz
40 Meter: 7.177 kHz
20 Meter: 14.236 kHz
17 Meter: 18.118 kHz
15 Meter: 21.313 kHz
12 Meter: 24.933 kHz
10 Meter: 28.330 oder 28.720 kHz

Januar 2022

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
52						1	2
1	3	4	5	6	7	8	9
2	10	11	12	13	14	15	16
3	17	18	19	20	21	22	23
4	24	25	26	27	28	29	30
5	31						

Februar 2022

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

1. Nächste Meilensteine

- heute tauchen wir etwas ein in die Grundlagen von digitalen Modulations-verfahren und der Begleit-Theorie, das macht vielleicht Appetit auf mehr?
- beim nächsten Treffen würde ich gerne mit Euch in einer anderen Richtung weiter machen; unsere begonnene „Anwendungsfall-Diskussion“ enthält gefühlt noch viele Möglichkeiten:
  - kann ein CQ-Ruf robuster gemacht werden?
  - kann die rufende Station abwechselnd Modi versuchen, damit die antwortende Station den am besten geeigneten erkennen kann?
  - können Zusatzdaten übertragen werden, um die Stimme *persönlicher* zu machen
  - kann bei langen Durchgängen verschachtelte Codierung (Interleaving) verwendet werden?
  - …

CQ Ruf

OM ruft CQ für Antwort von „Irgend einer“ Station.
Austausch von typischen Daten (Call, Name, Locator, RST).
Ggf. weiterführendes Gespräch.
Abschließendes 73.

QSO Runde

Regelmäßige Runde trifft sich auf definierten Frequenz. Sender „reicht“ Mike weiter. Regelmäßige Abfrage auf weitere Teilnehmer. Ausstieg einzelner Teilnehmer. Verbleibende Teilnehmer beenden die Runde.

FreeDV Treffen Anfang Februar 2022

1. Begrüßung, Terminplanung, nächste Meilensteine (Andreas, DM4AB)

2. Symbol, Nyquist-Abtastung, mehrwertige Modulation, Rechnen mit Logarithmen

3. **Nyquist** Kanalkapazität
4. **Hartley** bei realem Empfänger
5. **Shannon** bei Weißem Rauschen

6. konkrete Anwendung auf **digitale Modulation**

2. Symbol, Abtastung

- **bit**/s vs. **Symbol**/s (=Baud)

2bit → 1 Symbol (z.B. 4-PSK)

k=2 → 1 (**M**=4 Zustände)
k Bit M: Zustände je Symbol

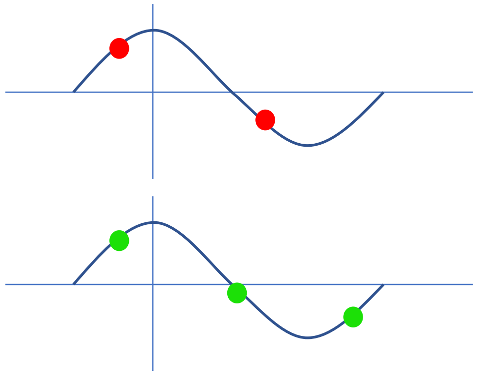
2. Symbol, Abtastung

- **bit**/s vs. **Symbol**/s (=Baud)

2bit → 1 Symbol (z.B. 4-PSK)

k=2 → 1 (**M**=4 Zustände)
k Bit M: Zustände je Symbol

Nyquist-**Abtastung** eines analogen Signales
→ braucht mindestens die **doppelte** Frequenz der höchsten enthaltenen Teil-Frequenz des Signals (**höher** geht immer)



2. Rechnen mit Logarithmen

$$10^x = n$$

$$\log(10^x) = \log(n)$$

„log“ auf beiden Seiten der Gleichung

(log = $\log_{10}$: „10 hoch *wieviel* ist 10 hoch x“ -> „x“)

$$x = \log(n)$$

$$M = 2^k$$

$$log_2(M) = k$$

($\log_2$: „2 hoch wieviel ist *M*“)

FreeDV Treffen Anfang Februar 2022

1. Begrüßung, Terminplanung, nächste Meilensteine (Andreas, DM4AB)

2. Symbol, Nyquist-Abtastung, mehrwertige Modulation, Rechnen mit Logarithmen

3. Nyquist Kanalkapazität

4. Hartley bei realem Empfänger

5. Shannon bei Weißem Rauschen

begleitet und unterstützt mit youtube Video-Material von

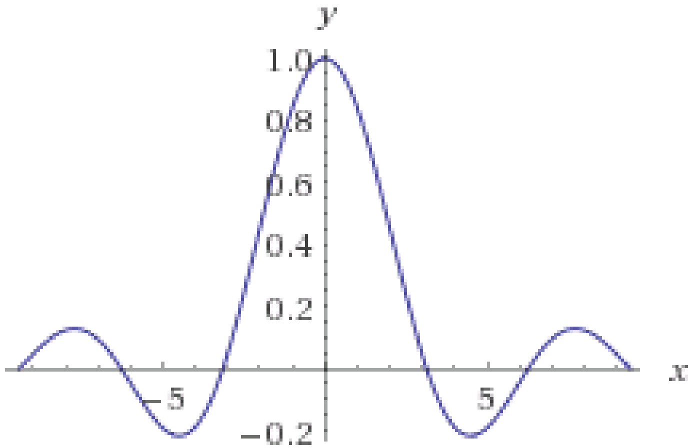
Professor David S. Ricketts

6030 Abonnenten

6. konkrete Anwendung auf **digitale Modulation**

3. Nyquist zur Kanalkapazität

- die **Pulsrate**, mit der Pulse auf einem Kanal aufeinander folgen können,
  ist **doppelt** so groß wie seine **Bandbreite**
- das erscheint zunächst widersprüchlich, insbesondere auch im Bezug auf das **Nyquist Abtast**-Theorem, das die doppelte Frequenz oder mehr zur Abtastung eines Signals fordert.
- Betrachtung des Graphen der Funktion $\frac{\sin(x)}{x} = si(x)$



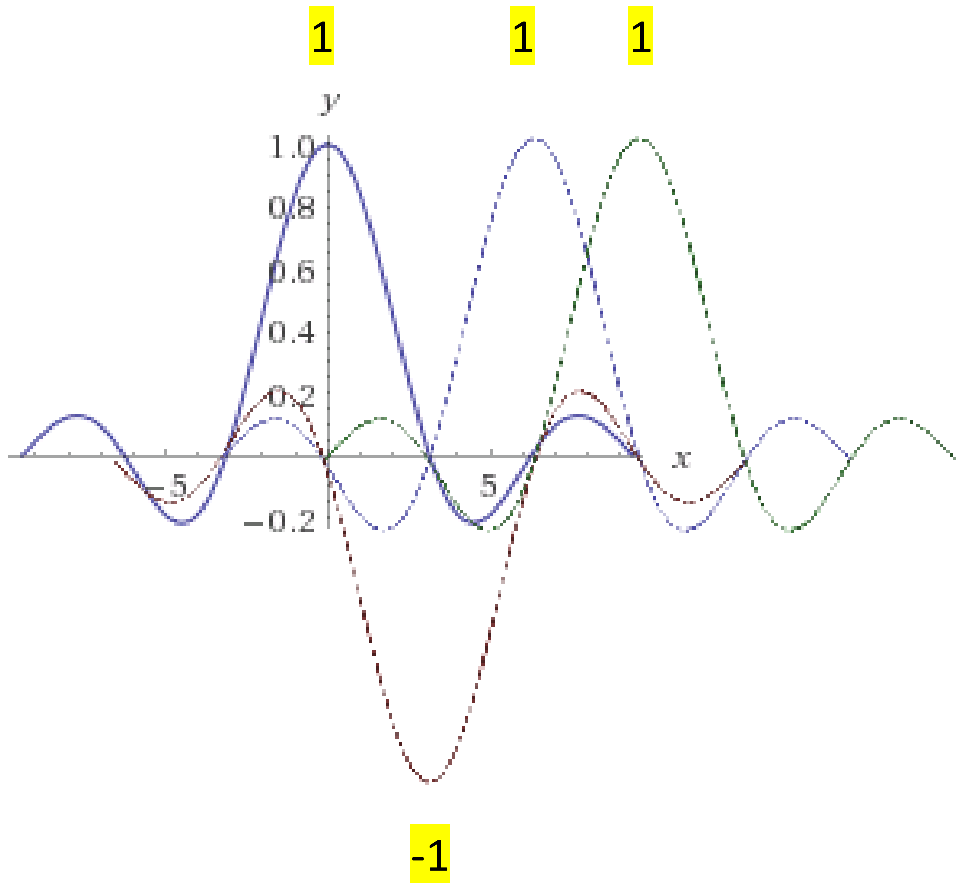
Null-Durchgänge bei $\pi, 2 * \pi, \ldots$

Periode 2π,

von x=0 aus abklingende Amplitude,

unendlich in Zeit, asymptotisch gegen y=0

3. Nyquist zur Kanalkapazität



Null-Durchgänge bei $\pi, 2 * \pi, \ldots$

die Periode ist 2π

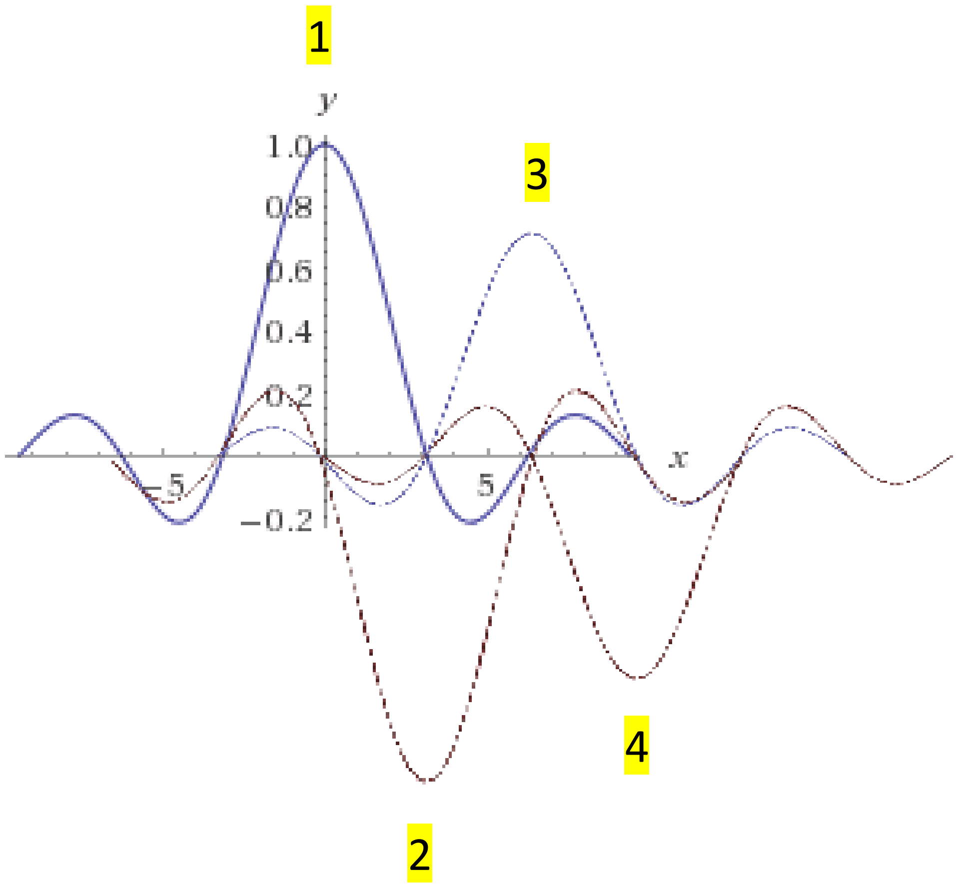
Abstände verschiedener Signalwerte (1 / -1) aber nur π !!

d.h. halbe Zeit, also doppelte Frequenz!

Spezialfall eines Signals:
„Nyquist Pulse“

$C = 2 \ * B$??

3. Nyquist zur Kanalkapazität



Aber jedes Signal kann **mehr** als nur 1bit übertragen, zum Beispiel in Amplitudenwerte kodiert.

„1“ und „2“ mit voller Amplitude,
„3“ und „4“ mit jeweils halber Amplitude,

also **M=4** Symbole

überträgt dann $\boldsymbol{k} = 2$ bit

$$\boxed{\begin{aligned} C &= 2 * B * \boldsymbol{k} \\ C &= 2 * B * \boldsymbol{log_2 M} \end{aligned}}$$

oder

3. Nyquist zur Kanalkapazität

- Video

https://youtu.be/aTVrSWR2CU4

3. Nyquist zur Kanalkapazität

- Using M levels, we can extend this to:

Max theoretical limit

$$C = \underbrace{2B}\underbrace{\log_2 M} = \underbrace{2Bk}$$

$C \rightarrow$ capacity in bps b/s

$B \rightarrow$ bandwidth in Hz

$M=2^k \rightarrow$ # of levels

$k \rightarrow$ number of bits

$$\rightarrow \eta_{max} = \frac{C}{B} \qquad \boxed{\frac{bits}{s} \; \frac{1}{Hz}} \qquad \frac{bits}{s} \; \frac{1}{1/s} = bits$$

"Bits per s per Hertz"

$\eta \rightarrow$ spectral efficiency

2 *B * k :

- Kapazität hängt von Bandbreite ab
- bei beliebig vielen Bits/Symbol
  → beliebig hohe Kapazität !!

FreeDV Treffen Anfang Februar 2022

1. Begrüßung (Andreas, DM4AB)

2. Symbol, Nyquist-Abtastung, mehrwertige Modulation, Rechnen mit Logarithmen

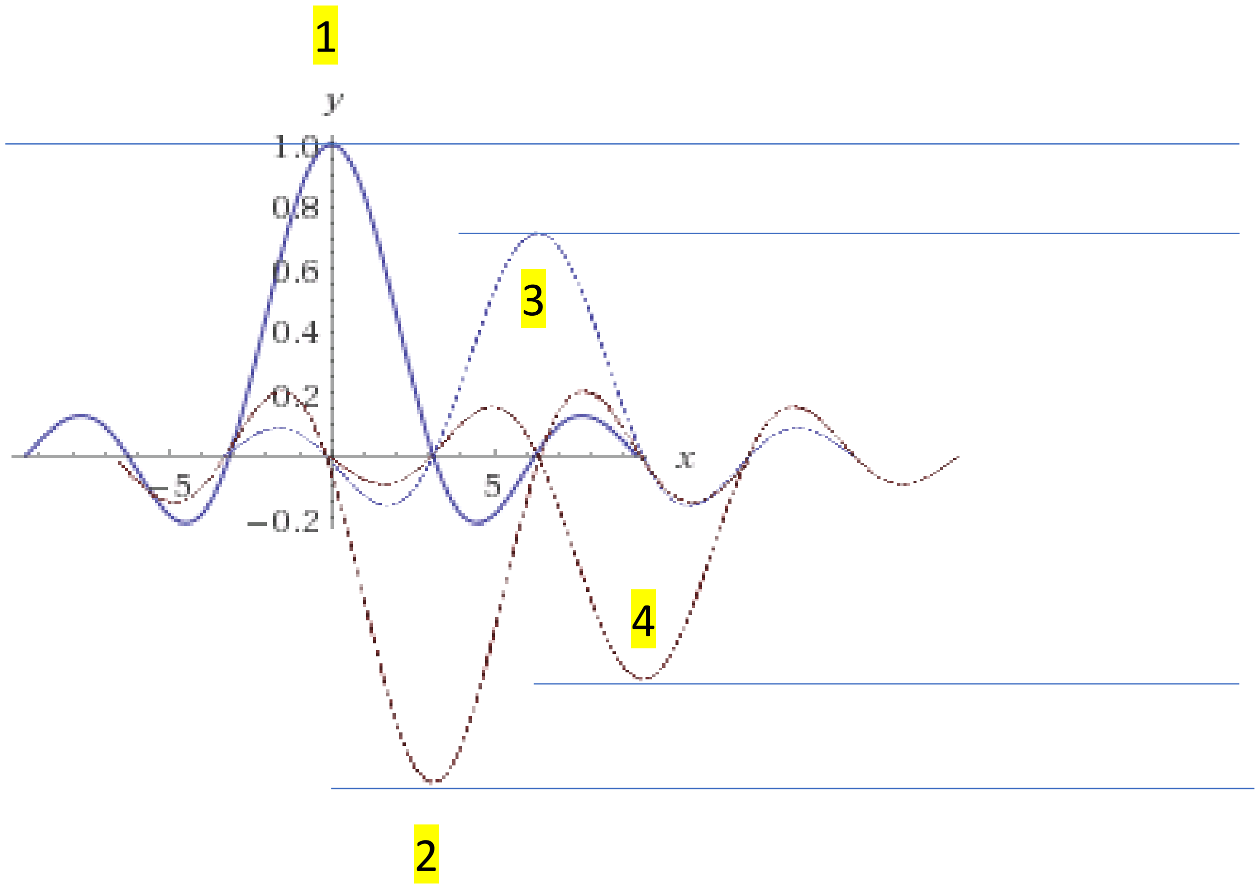
3. **Nyquist** Kanalkapazität
4. **Hartley** bei realem Empfänger
5. **Shannon** bei Weißem Rauschen

begleitet und unterstützt mit youtube Video-Material von

Professor David S. Ricketts
6030 Abonnenten

6. konkrete Anwendung auf **digitale Modulation**

4. Hartley Kapazität bei realem Empfänger



$C = 2 * B * \boldsymbol{k}$

$C = 2 * B * \boldsymbol{log_2 M}$

Ist eine reale Kanalkapazität unendlich hoch?

Wieviele verschiedene Symbole M können gefunden werden,
d.h. $\boldsymbol{log_2 M}$ Bits übertragen werden?

Natürlich nicht, irgendwo sind Spannungen endlich und Auflösungen begrenzt.

4. Hartley Kapazität bei realem Empfänger

- Video

https://youtu.be/GRcdxg6pxD4

4. Hartley Kapazität bei realem Empfänger

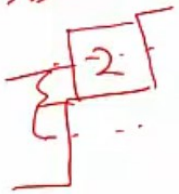
- Extends Nyquist maximum pulse rate for given *B*
- Takes into account resolution of receiver
  - Receiver can only detect incoming signals within a *ΔV* of a threshold
  - Redefines the number of possible levels (*M*) with this limited resolution

$$M_H = 1 + \frac{A}{\Delta V}$$

ADC

$$\frac{V_{ref}}{\#\,Steps} = \frac{V_{ref}}{2^{Bits}} = LSB$$

$$LSB = 2\Delta V$$

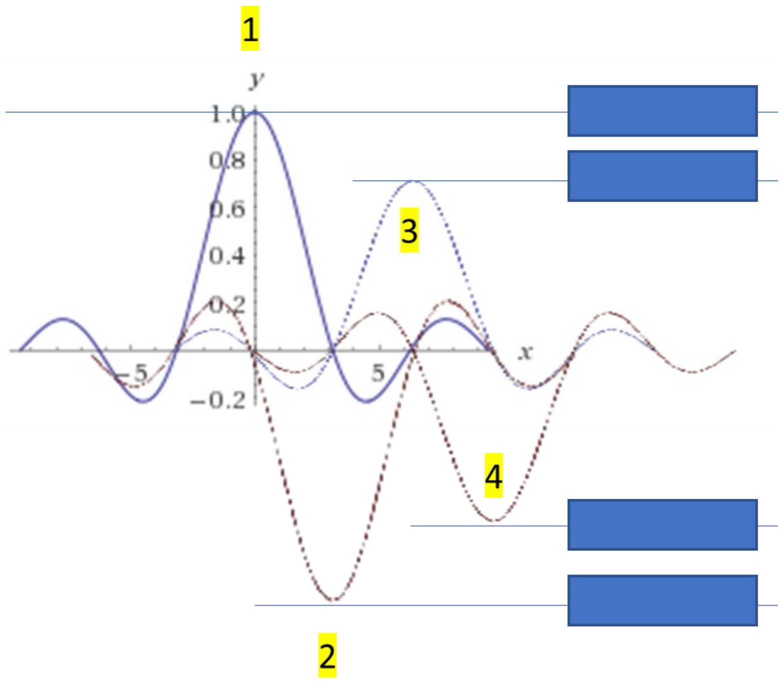


- Rate is now

$$C = f_p \log_2 M = 2B \log_2 M_H$$

$$C = 2\,B\,\log_2 M$$

5. Shannon bei Weißem Rauschen



Wie verhält es sich mit der Störsicherheit unserer Symbole, z.B. bei hinzugefügtem **Rauschen**?

Herleitung möglich mit Betrachtung von Fehlerkombinatorik (lassen wir aber…)

5. Shannon bei Weißem Rauschen

Video bis zu

- Example
  - Noisy channel with SNR≈0

$$C = B \underbrace{\log_2[1+0]}_{0} = 0$$

https://youtu.be/pxuodnmUVV4

5. Shannon bei Weißem Rauschen

Video bis zu

- Example
  - Noisy channel with SNR≈0

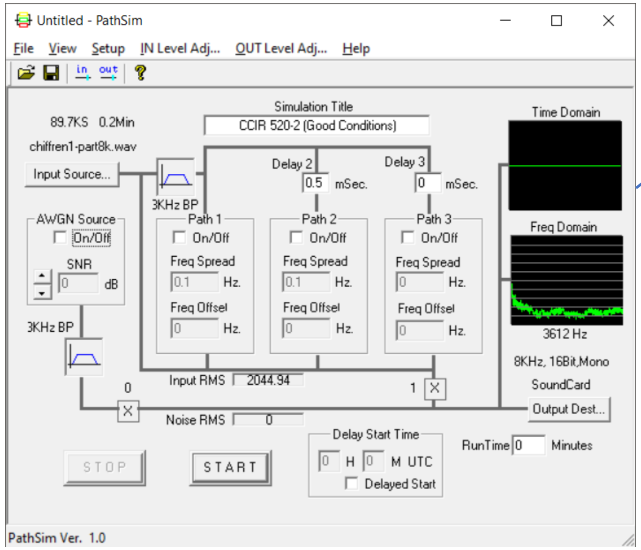
$$C = B \underbrace{\log_2[1+0]}_{0} = 0$$

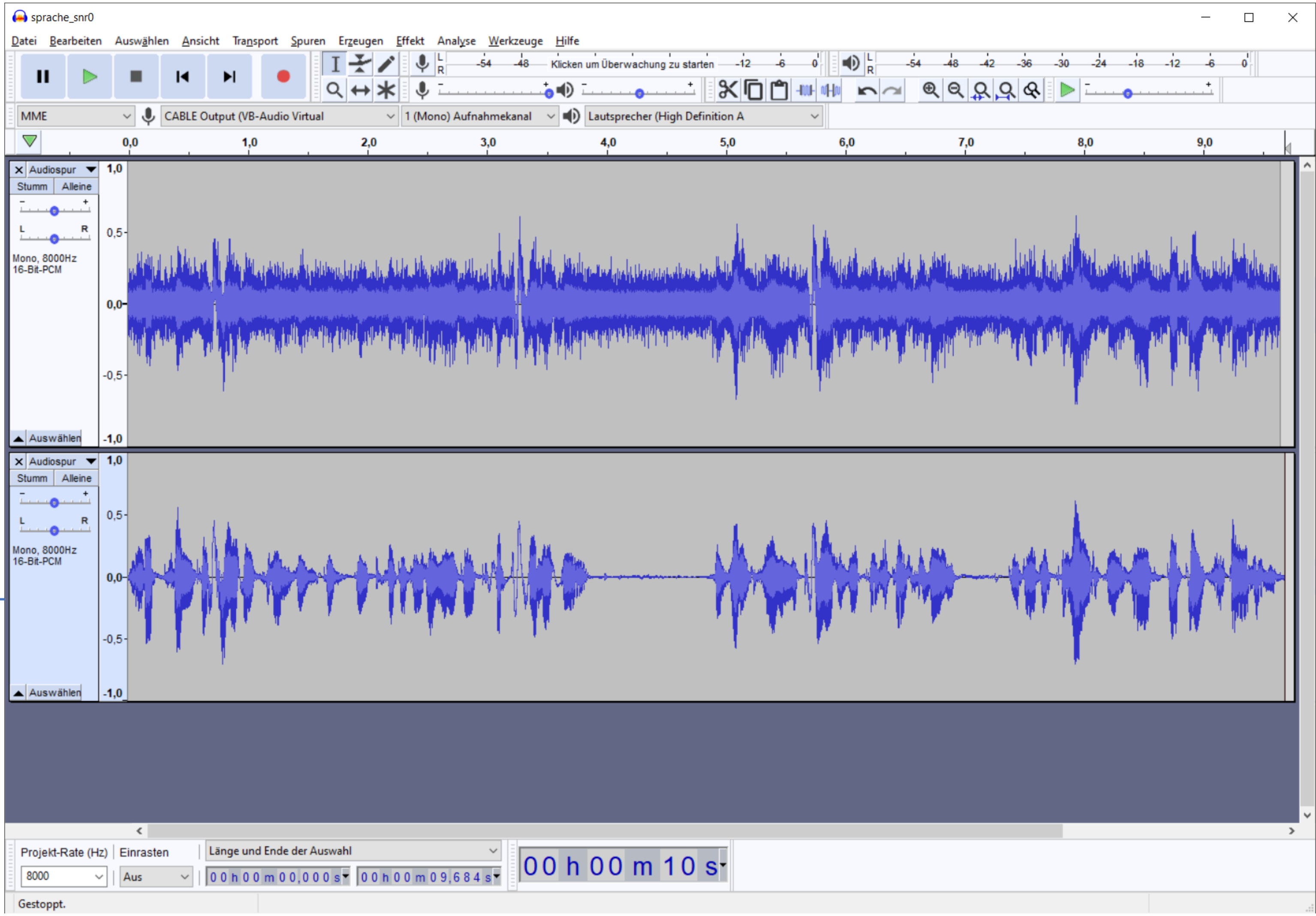
Moment! Wir machen durchaus SSB QSO‘s bei einem SNR von 0dB, wieso soll da die Kapazität C=0 sein?

5. Shannon bei Weißem Rauschen

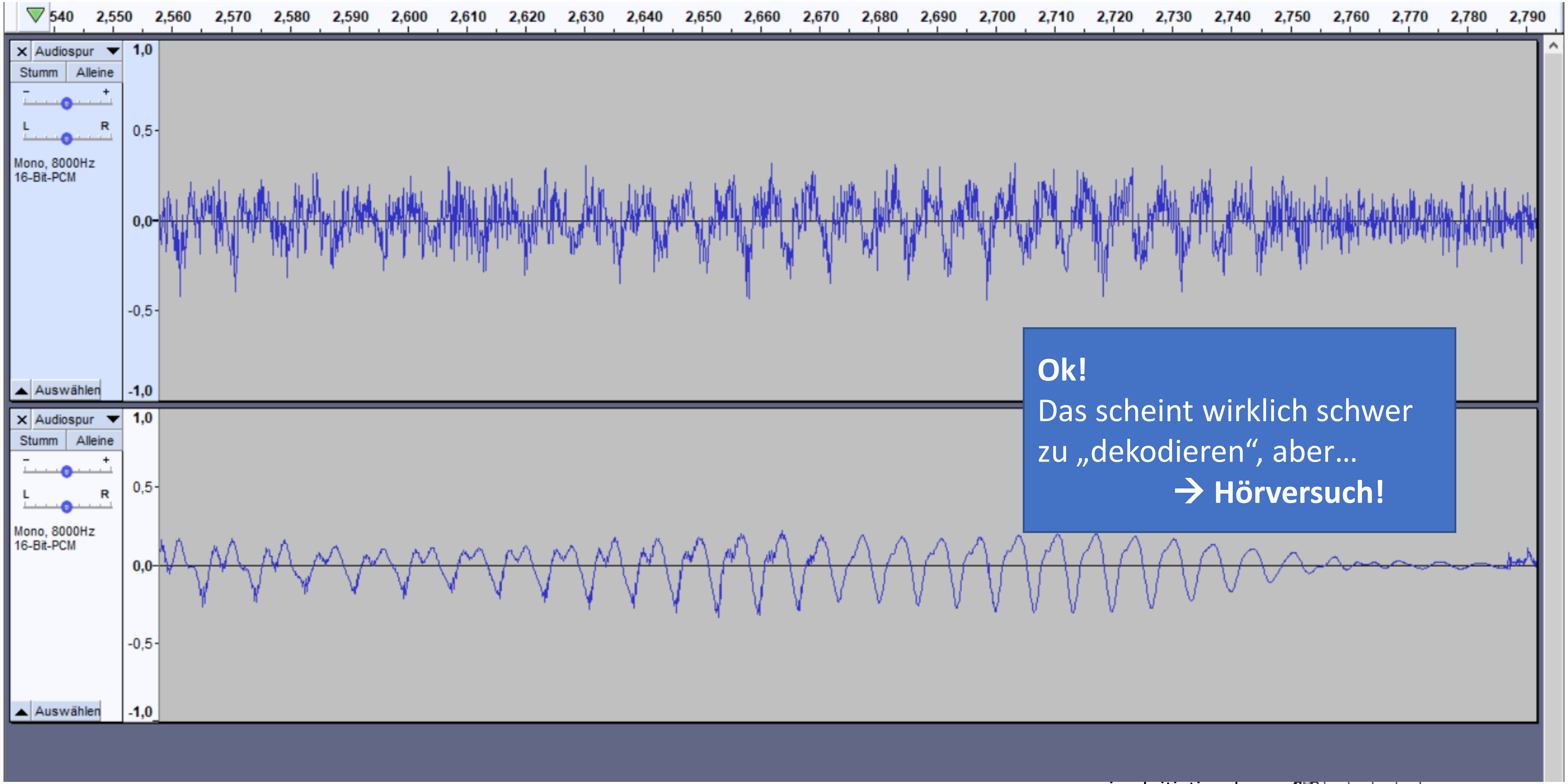
Praxis-Check:

- Pathsim mit Audio-Sprach Datei
- SNR = 0dB
- Aufzeichnung mit Audacity





5. Shannon bei Weißem Rauschen



Ok!
Das scheint wirklich schwer zu „dekodieren“, aber…
→ **Hörversuch!**

5. Shannon bei Weißem Rauschen

- Example
  - Noisy channel with SNR≈0

$C = B \underbrace{\log_2[1+0]}_{0} =$ ☺

Ha! Da steht ja auch „0“ und nicht „**0 dB**“!

SNR bei 0dB = 1:

$\boldsymbol{C} = B * \log_2(1+1) = \boldsymbol{B}$

Ok, die Welt ist noch in Ordnung!

➔Und jetzt weiter https://youtu.be/pxuodnmUVV4

5. Shannon bei Weißem Rauschen

Welche Kapazität hat ein Kanal mit Rauschen?

- Shannon, Kapazität eines Kanals mit AWGN

$$\boxed{C = B \, * \, log_2(1 + SNR_{lin})}$$ (SNR linear, Quotient von Leistung)

- bei großen SNR: $(1 + SNR) \approx SNR$ $\rightarrow$ $\boxed{C = B * \frac{SNR_{dB}}{3}}$ (SNR in dB)

5. Shannon bei Weißem Rauschen

Welche Kapazität hat ein Kanal mit Rauschen?

- Shannon, Kapazität eines Kanals mit AWGN

$$\boxed{C = B \, * \, log_2(1 + SNR_{lin})}$$

So, das ist ja alles ganz schön. Aber wie erreiche ich diese Kapazität jetzt, mit welcher Modulation, mit welchem Übertragungsverfahren?

→ Dazu sagen Nyquist, Shannon und Hartley **nichts**. Sie geben nur das theoretisch Erreichbare an, sagen aber **nichts über das dafür erfolgreiche Verfahren.** ☹

FreeDV Treffen Anfang Februar 2022

1. Begrüßung (Andreas, DM4AB)

2. Symbol, Nyquist-Abtastung, mehrwertige Modulation, Rechnen mit Logarithmen

3. **Nyquist** Kanalkapazität
4. **Hartley** bei realem Empfänger
5. **Shannon** bei Weißem Rauschen

begleitet und unterstützt mit youtube Video-Material von

Professor David S. Ricketts
6030 Abonnenten

6. konkrete Anwendung auf **digitale Modulation**

6. Konkrete Anwendung auf digitale Modulation

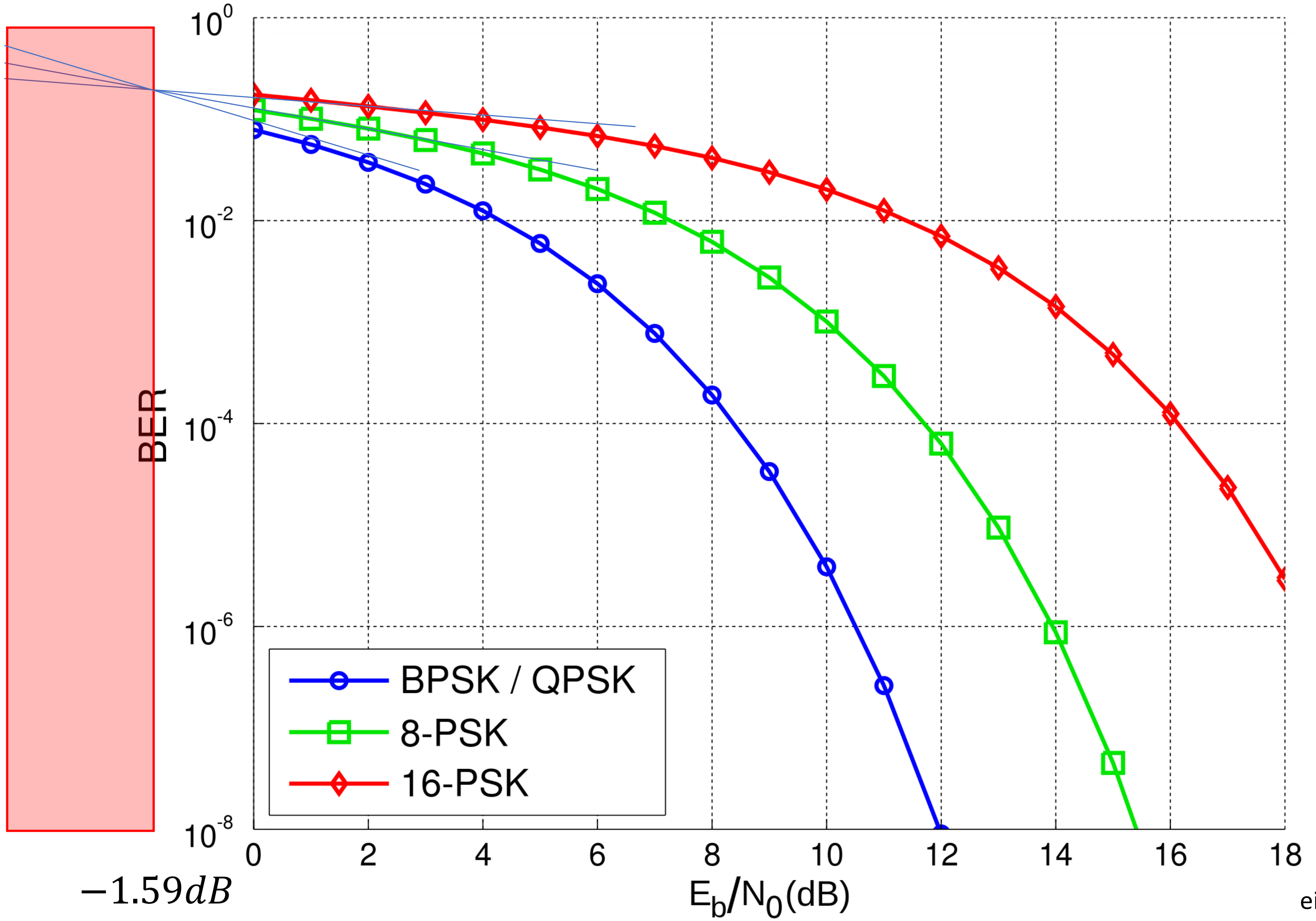
es bleiben noch einige Festlegungen:

1. **Wie gehen wir sinnvoll mit mehrwertigen Symbolen um (k>1, z.B. 4-PSK)?**
   - ein gutes Konzept: $\frac{SNR}{Symbol} = \frac{SNR}{k * bit} = \frac{Signal\text{−}Leistung}{Rauschleistung * k * bit} = \frac{Signal\ Leistung\ pro\ Bit * k * bit}{Rauschleistung * k * bit}$
     $= \frac{\boldsymbol{E_b}}{\boldsymbol{N_0}}$ (gesprochen: „E B zu N Null“)

2. **Welche Darstellungen bieten sich an?**
   - Bitfehlerraten-Darstellungen für eine „nackte“ Modulation
   - Bitfehlerraten mit verschiedenen Kanalkodierungen bei einer gewählten Moduation
   - im Bezug auf die notwendige Signal-Leistung je Bit ($\frac{E_b}{N_0}$)
   - im Bezug auf die erreichbare Kapazität oder eingesetzte Leistung
   - …

6. Konkrete Anwendung auf digitale Modulation

Bitfehlerraten-Darstellung



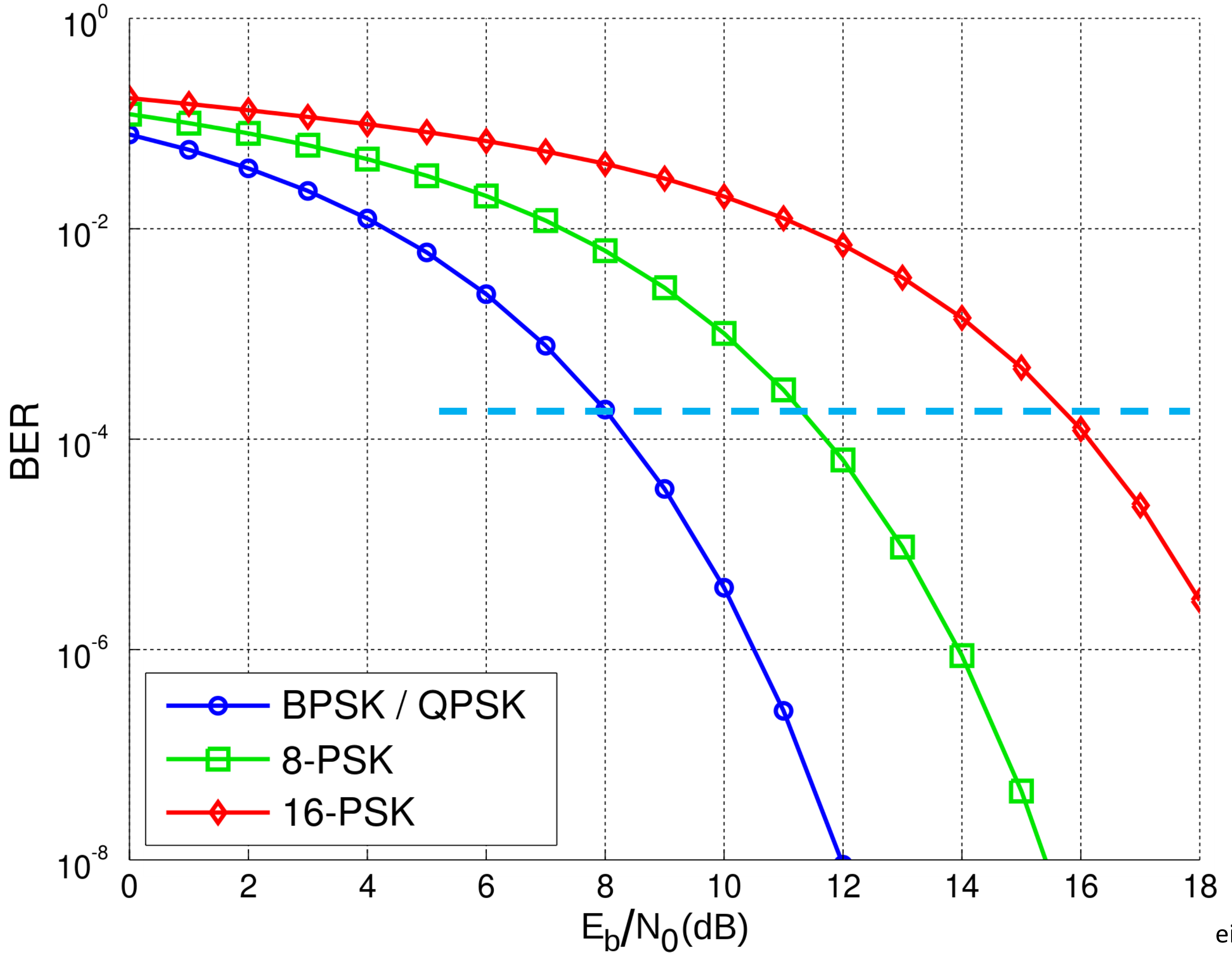
Quelle:
https://en.wikipedia.org/wiki/Eb/N0

Aus den vorigen Darstellungen lässt sich auch noch ableiten (haben wir nicht gemacht), dass es eine Minimalschwelle gibt, die für eine Übertragung erforderlich ist:

$$\frac{E_b}{N_0} \geq ln\,(2) = \mathbf{-1.59}\boldsymbol{dB}$$

6. Konkrete Anwendung auf digitale Modulation

Bitfehlerraten-Darstellung



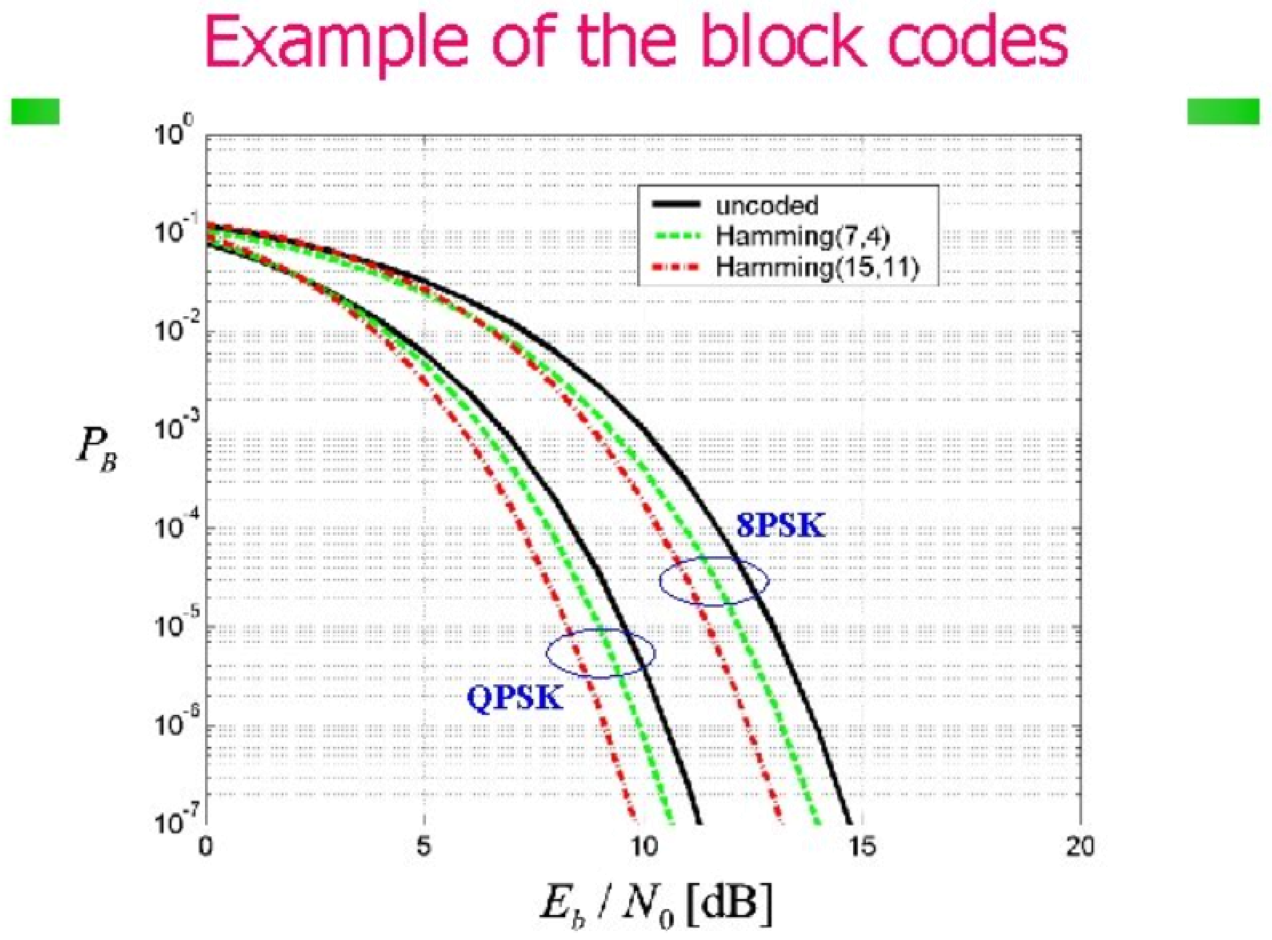
Quelle:
https://en.wikipedia.org/wiki/Eb/N0

Im Vergleich zu BPSK kann mit 16PSK viermal mehr pro Symbol übertragen werden, dafür braucht es aber auch 8dB mehr Leistung pro Bit, aber 4-mal mehr Bits (6dB)
→ daher Summenleistung
8dB+6dB= + 14dB !!
(25 fache Leistung!)

(16-PSK ist generell ein ungünstiges Modulationsverfahren…)

6. Konkrete Anwendung auf digitale Modulation

Nächste Spielmöglichkeit:



<u>Quelle:</u>
Digital Communications I
Modulation and Coding Course Term
https://slidetodoc.com/digital-communications-i-modulation-and-coding-course-term-3/

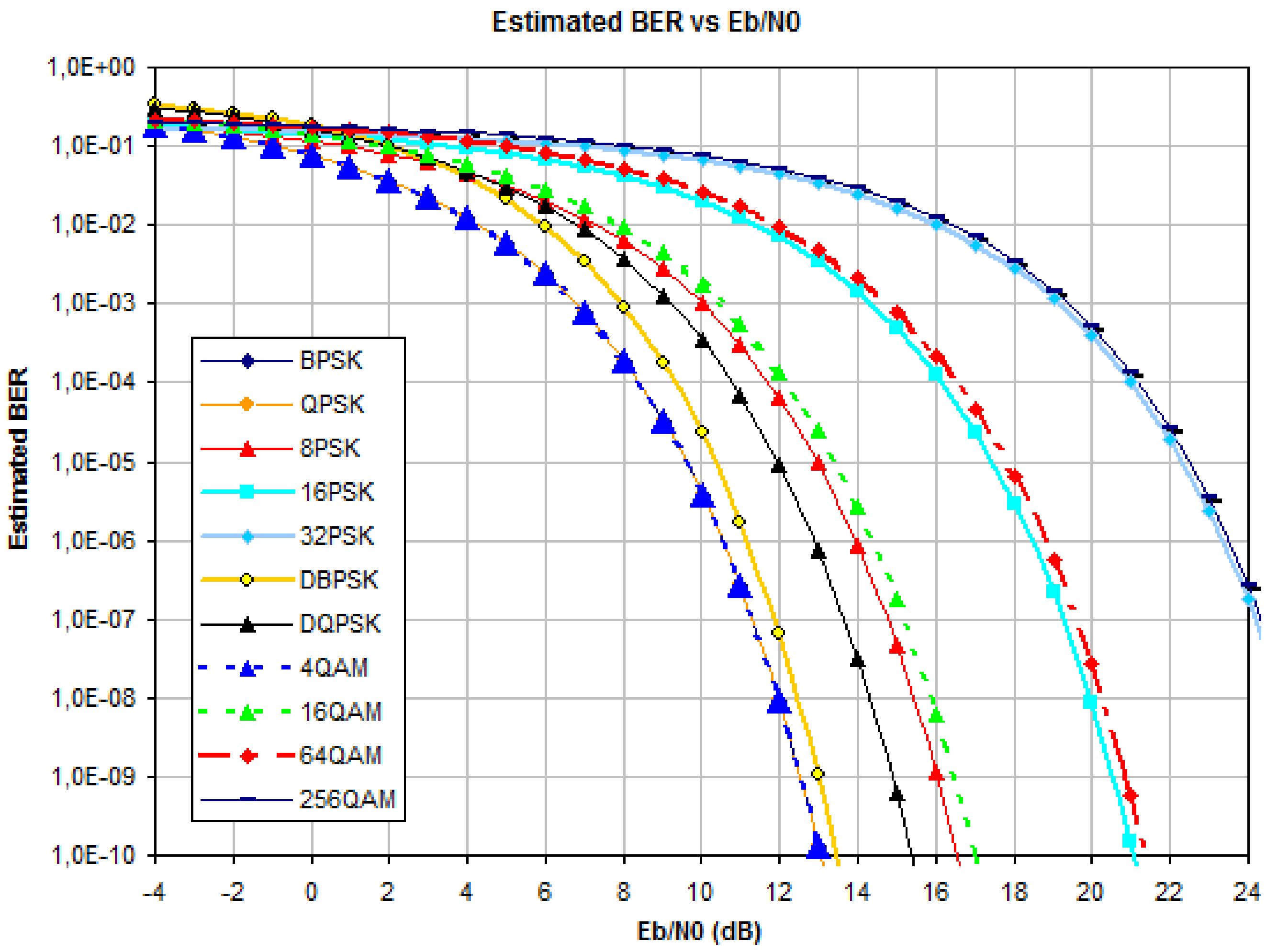
Einige Bits können im Übertragungsverfahren vielleicht in FEC (Vorwärts-Fehlerkorrektur) investiert werden.

Das spart einige dB, kostet aber Übertragungskapazität…

(PSK ist generell nicht besonders günstig)

6. Konkrete Anwendung auf digitale Modulation

Nächste Spielmöglichkeit:

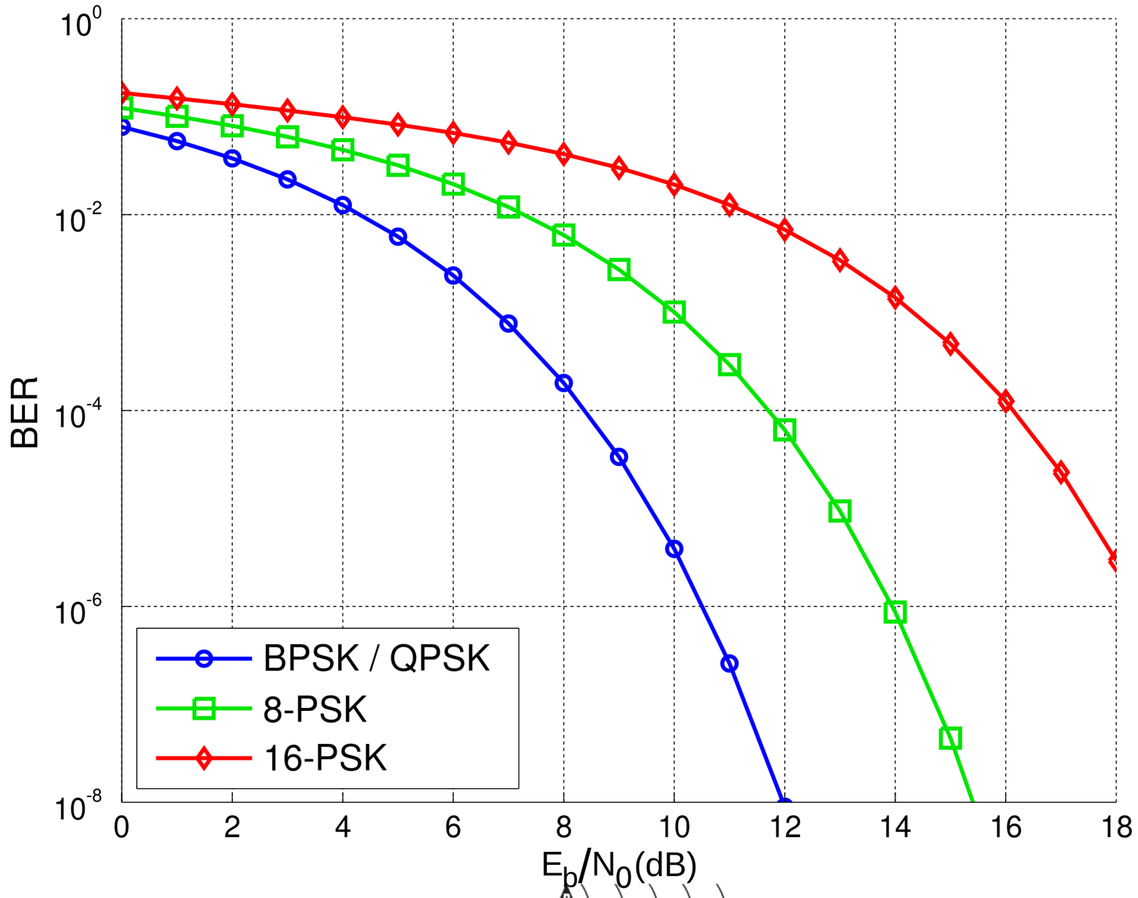


Quelle:
https://www.linuxtv.org/wiki/index.php/Eb/N0

6. Konkrete Anwendung auf digitale Modulation

Und da kann man jetzt noch ganz lange weiter machen…

Beim nächsten Treffen machen wir weiter mit FreeDV und Anwendungsfällen – ok?



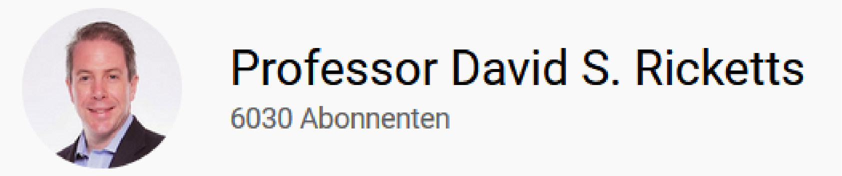
FreeDV Treffen Anfang Februar 2022

1. Begrüßung (Andreas, DM4AB)

2. Symbol, Nyquist-Abtastung, mehrwertige Modulation, Rechnen mit Logarithmen

3. **Nyquist** Kanalkapazität
4. **Hartley** bei realem Empfänger
5. **Shannon** bei Weißem Rauschen

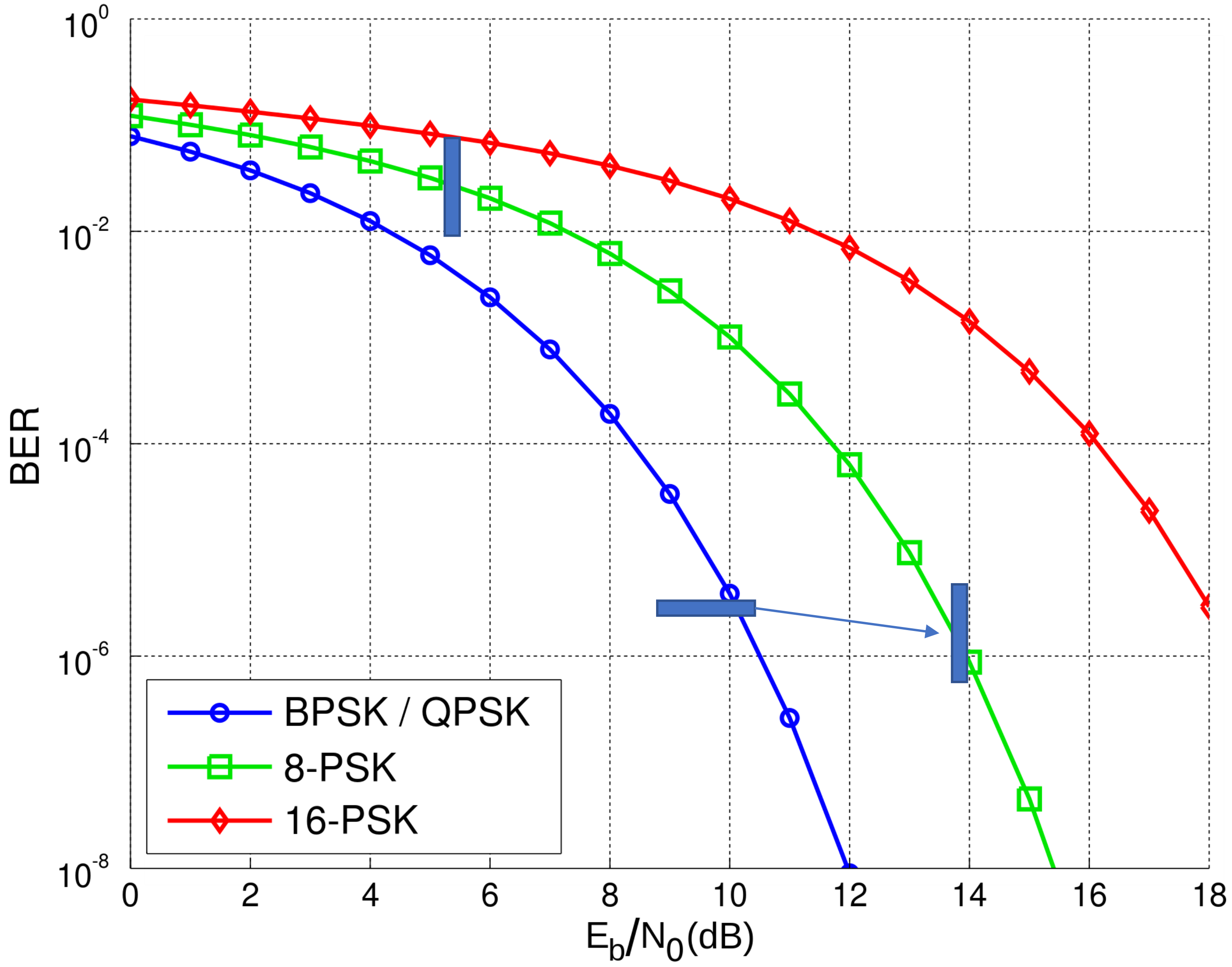
begleitet und unterstützt mit youtube Video-Material von



6. konkrete Anwendung auf **digitale Modulation**

Backup

6. Konkrete Anwendung auf digitale Modulation



Eb/N0 = 10 dB für BPSK ergibt BER besser 10^-5

bei gleicher Leistung auf 8-PSK, verteilt auf 3bit,
also Eb(8PSK)/N0 = Eb(2PSK)/N0 - 4.7 dB
= 5,3 dB
→ BER ~ 5%

zum Erreichen der gleichen BER (~10^-5)
14 dB

➔ Verdreifachung des Durchsatzes 8,2 dB
@gleicher Leistung: **BER > 1000fach**
oder
@gleiche BER: **8 fache Leistung** erforderlich

5. Shannon bei Weißem Rauschen

Shannon-Kapazität eines Kanals (=best-case, mit allen Tricks!)

SNR [dB]	Kanal-Bandbreite (Hz) 500	1000	1500	2000	2500
20	11.073	22.146	33.219	44.292	55.365
10	5.537	11.074	16.611	22.148	27.684
5	2.784	5.567	8.351	11.135	13.918
2,5	1.483	2.966	4.449	5.932	7.415
0,8	755	1.510	2.265	3.020	3.775
0,1	528	1.056	1.585	2.113	2.641
-0,5	375	750	1.124	1.499	1.874
-0,9	293	586	879	1.172	1.465
-1	275	550	825	1.100	1.375
-2	141	281	422	563	704
-5	15	31	46	62	77

1,7 dB

2,4 dB

3 dB

3,4 db

$$C = B * log_2(1 + SNR_{lin})$$

Such-Aufgabe

wir brauchen eine Kanal-Kapazität von ~1.500 bit/s; was ist die **beste Bandbreite**?

Leistung bei Bezugsbandbreite 500 Hz

verteilt auf ...

1000 Hz Bandbreite -->	-3dB
1500 Hz	-4,7 dB
2000 Hz	-6 dB
2500 Hz	-7 dB

Bewertung:

Start mit 2000Hz Bandbreite,

→ SNR muss mindestens -0,5 dB sein

verwende stattdessen 500 Hz Bandbreite,

→ entspricht 6dB stärkerem Signal, wovon aber $\boxed{3dB}$ zum Erreichen der Kapazität „verbraucht“ werden; effektiver Gewinn: 6dB-3dB = **3dB**

5. Shannon bei Weißem Rauschen

Shannon-Kapazität eines Kanals (=best-case, mit allen Tricks!)

SNR [dB]	Kanal-Bandbreite (Hz) 500	1000	1500	2000	2500
20	11.073	22.146	33.219	44.292	55.365
10	5.537	11.074	16.611	22.148	27.684
5	2.784	5.567	8.351	11.135	13.918
2,	1.483	2.966	4.449	5.932	7.415
0,	755	1.510	2.265	3.020	3.775
0,	528	1.056	1.585	2.113	2.641
-0,	375	750	1.124	1.499	1.874
-0,	293	586	879	1.172	1.465
-1	275	550	825	1.100	1.375
-2	141	281	422	563	704
-5	15	31	46	62	77

1,7 dB

2,4 dB

3 dB

3,4 db

$$C = B * log_2(1 + SNR_{lin})$$

Leistung bei Bezugsbandbreite 500 Hz verteilt auf ...

1000 Hz Bandbreite -->	-3dB
1500 Hz	-4,7 dB
2000 Hz	-6 dB
2500 Hz	-7 dB

3dB verschenkter Gewinn?

Bandbreiten -Schleuder!

<u>Aber!</u>

- schmalbandige Signale wenig geeignet bei frequenz-selektivem Fading
- **Gewinn** in SNR durch **Schmalbandigkeit** wird schnell durch Fading-Einbrüche verbraucht
- (m.E. ist die Fading-Dimensionierung viel wichtiger als das für einen gesuchten Durchsatz erforderliche beste SNR ...)