

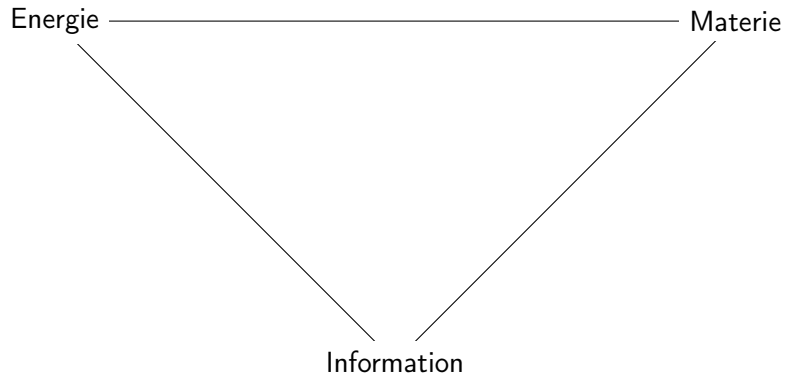
# Wie viel wiegt ein Bit?

Stefan Helmert

entroserv.de

03/2020

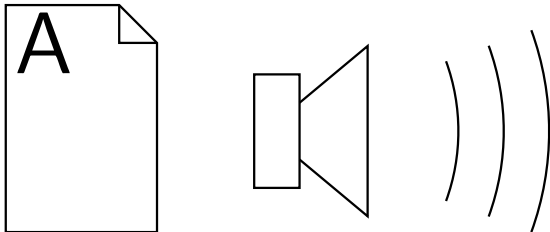
# Was ist Information?



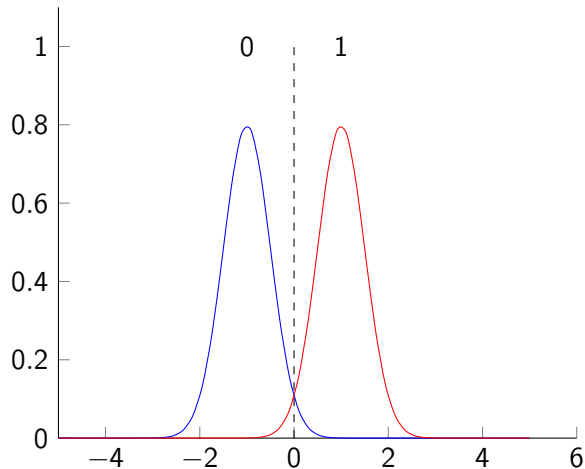
# Was ist ein Signal?

Signal ist:

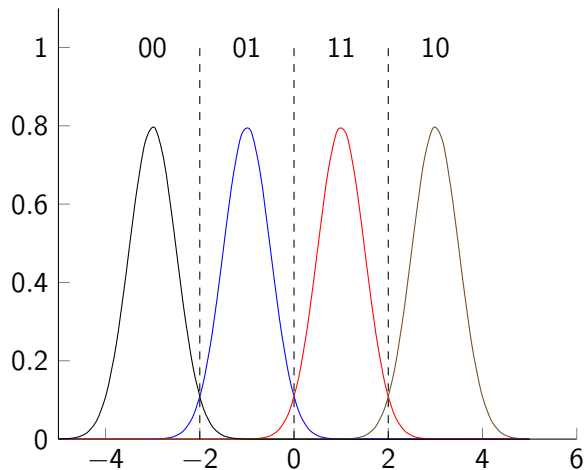
- ▶ Träger der Information
- ▶ physikalische Größe



# Was ist Rauschen?



# Was ist Rauschen?



# Kanalkapazität

$$\underbrace{C}_{\frac{\text{bit}}{\text{s}}} = \underbrace{B}_{\frac{\text{symbols}}{\text{s}}} \cdot \underbrace{\log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)}_{\frac{\text{bit}}{\text{symbol}}} \quad (1)$$

$C$  .. Kanalkapazität

$B$  .. Bandbreite

$S$  .. Signalleistung

$N$  .. Rauschleistung

$\frac{S}{N}$  .. Signal-Rausch-Verhältnis

# Informationsgehalt

$$\underbrace{I}_{\text{bit}} = \underbrace{C}_{\frac{\text{bit}}{\text{s}}} \cdot \underbrace{t}_{\text{s}} \quad (2)$$

$I$  .. Informationsgehalt

$C$  .. Kanalkapazität

$t$  .. Übertragungszeit

# Informationsgehalt

(1  $\rightarrow$  2)

$$\underbrace{I}_{\text{bit}} = \underbrace{B \cdot t}_{\text{symbols}} \cdot \underbrace{\log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)}_{\frac{\text{bit}}{\text{symbol}}} \quad (3)$$

$I$  .. Informationsgehalt

$B$  .. Bandbreite

$t$  .. Übertragungszeit

$S$  .. Signalleistung

$N$  .. Rauschleistung

$\frac{S}{N}$  .. Signal-Rausch-Verhältnis



# Symbolanzahl

(3 umgestellt)

$$\underbrace{B \cdot t}_{\text{symbols}} = \frac{I}{\log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)} \quad (4)$$

$B$  .. Bandbreite

$t$  .. Übertragungszeit

$I$  .. Informationsgehalt

$S$  .. Signalleistung

$N$  .. Rauschleistung

$\frac{S}{N}$  .. Signal-Rausch-Verhältnis

# Thermisches Rauschen

$$\underbrace{N}_{\text{W}} = \underbrace{k_B}_{\frac{\text{Ws}}{\text{symbol} \cdot \text{K}}} \cdot \underbrace{T}_{\text{K}} \cdot \underbrace{B}_{\frac{\text{symbols}}{\text{s}}} \quad (5)$$

$N$  .. Rauschleistung

$k_B$  .. Boltzmann-Konstante

$T$  .. Temperatur

$B$  .. Bandbreite

# Energie und Leistung

$$\begin{aligned}\underbrace{E}_{W_s} &= \underbrace{P}_W \cdot \underbrace{t}_s \\ E_N &= N \cdot t \\ E_S &= S \cdot t\end{aligned}\tag{6}$$

$E$  .. Energie

$P$  .. Leistung

$t$  .. Zeit

$E_N$  .. Rauschenergie

$N$  .. Rauschleistung

$E_S$  .. Signalenergie

$S$  .. Signalleistung

# Rauschenergie

(5 → 6)

$$\underbrace{E_N}_{\text{Ws}} = \underbrace{\frac{k_B}{\text{symbol} \cdot \text{K}}}_{\text{Ws}} \cdot \underbrace{T}_{\text{K}} \cdot \underbrace{\frac{B}{\text{symbols}}}_{\text{s}} \cdot \underbrace{t}_{\text{s}} \quad (7)$$

$E_N$  .. Rauschenergie

$k_B$  .. Boltzmann-Konstante

$T$  .. Temperatur

$B$  .. Bandbreite

$t$  .. Übertragungszeit

$$(4 \rightarrow 7) \quad \underbrace{E_N}_{W_s} = \underbrace{k_B}_{\frac{W_s}{\text{symbol} \cdot K}} \cdot \underbrace{T}_K \cdot \underbrace{\frac{I}{\log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)}}_{\text{symbols}} \quad (8)$$

$E_N$  .. Rauschenergie

$k_B$  .. Boltzmann-Konstante

$T$  .. Temperatur

$I$  .. Informationsgehalt

$S$  .. Signalleistung

$N$  .. Rauschleistung

$\frac{S}{N}$  .. Signal-Rausch-Verhältnis

# Erforderliche Signalenergie

$$\underbrace{E_S}_{W_S} = \underbrace{\frac{S}{N}}_1 \cdot \underbrace{E_N}_{W_S} \quad (9)$$

$E_S$  .. Signalenergie

$S$  .. Signalleistung

$N$  .. Rauschleistung

$\frac{S}{N}$  .. Signal-Rausch-Verhältnis

$E_N$  .. Rauschenergie

# Erforderliche Signalenergie

$$(8 \rightarrow 9) \quad \underbrace{\frac{E_S}{W_S}} = \underbrace{\frac{S}{N}}_1 \cdot \underbrace{\frac{k_B}{\frac{W_S}{\text{symbol} \cdot \text{K}}}}_{\text{symbol} \cdot \text{K}} \cdot \underbrace{\frac{T}{K}}_K \cdot \underbrace{\frac{I}{\log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)}}_{\text{symbols}} \quad (10)$$

$E_S$  .. Signalenergie

$S$  .. Signalleistung

$N$  .. Rauschleistung

$\frac{S}{N}$  .. Signal-Rausch-Verhältnis

$k_B$  .. Boltzmann-Konstante

$T$  .. Temperatur

$I$  .. Informationsgehalt

## Erforderliche Signalenergie nach SNR

$$\frac{S}{N} = 1 \quad \rightarrow E_S = 1 \cdot k_B \cdot T \cdot I$$

$$\frac{S}{N} = 3 \quad \rightarrow E_S = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T \cdot I$$

$$\frac{S}{N} = 7 \quad \rightarrow E_S = \frac{7}{3} \cdot k_B \cdot T \cdot I$$

$$\frac{S}{N} = 0,001 \quad \rightarrow E_S = \frac{1000}{1442} \cdot k_B \cdot T \cdot I$$

$$\frac{S}{N} = 0,000001 \rightarrow E_S = \frac{1000}{1443} \cdot k_B \cdot T \cdot I$$



## Energie für ein Bit

$$k_B = 1,3806504 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ws}}{\text{symbol} \cdot \text{K}} \quad (11)$$

$$T = 300 \text{ K} \quad (12)$$

$$I = 1 \text{ bit} \quad (13)$$

$k_B$  .. Boltzmann-Konstante

$T$  .. Temperatur (26°C Umgebungstemperatur)

$I$  .. Informationsgehalt

## Energie für ein Bit

$$\frac{S}{N} = 0,000001 \rightarrow E_S = \frac{1000}{1443} \cdot 1,3806504 \cdot 10^{-23} \frac{\text{W}_S}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K} \cdot 1 \quad (14)$$

$$\underline{\underline{E_S = 6 \cdot 10^{-21} \text{ W}_S}} \quad (15)$$

$$E = mc^2 \quad (16)$$

$E$  .. Energie

$m$  .. Masse

$c$  .. Lichtgeschwindigkeit

# Masse

(16 umgestellt)

$$m = \frac{E}{c^2} \quad (17)$$

$m$  .. Masse

$E$  .. Energie

$c$  .. Lichtgeschwindigkeit

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (18)$$

(19)

$c$  .. Lichtgeschwindigkeit

# Masse

$$m_{\text{bit}} = \frac{6 \cdot 10^{-21} \text{ Ws}}{(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} \quad (20)$$

$$\underline{\underline{m_{\text{bit}} = 6,67 \cdot 10^{-38} \text{ kg}}} \quad (21)$$

„Der Speicherbedarf von Software verzehnfacht sich alle zehn Jahre.“

$$I_{\text{Androidupdate, Jahr 2020}} = 1 \cdot 10^{10} \text{ bit} \quad (22)$$

$$I_{\text{Androidupdate, Jahr 2290}} = 1 \cdot 10^{37} \text{ bit} \quad (23)$$

$$m_{\text{Androidupdate, Jahr 2290}} = 6,67 \cdot 10^{-38} \frac{\text{kg}}{\text{bit}} \cdot 1 \cdot 10^{37} \text{ bit} \quad (24)$$

$$\underline{\underline{m_{\text{Androidupdate, Jahr 2290}} = 667 \text{ g}}} \quad (25)$$

$$(26)$$

# Moore'sches Gesetz

Im Jahr 2290 wird die Software einen maßgeblichen Beitrag an der Gesamtmasse des mobilen Endgerätes haben.

