Systeme II

CoNe Freiburg

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Christian Schindelhauer

Sommersemester 2007

2. Vorlesungswoche

23.04.-27.04.2007

schindel@informatik.uni-freiburg.de

Systeme II
Kapitel 2
Bitübertragungsschicht

CoNe
Freiburg

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Bitübertragungsschicht Physical Layer

- **ISO-Definition**
  - Die Bitübertragungsschicht definiert
    - mechanische
    - elektrische
    - funktionale und
    - prozedurale
  - Eigenschaften um eine physikalische Verbindung
    - aufzubauen,
    - aufrecht zu erhalten und
    - zu beenden.

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

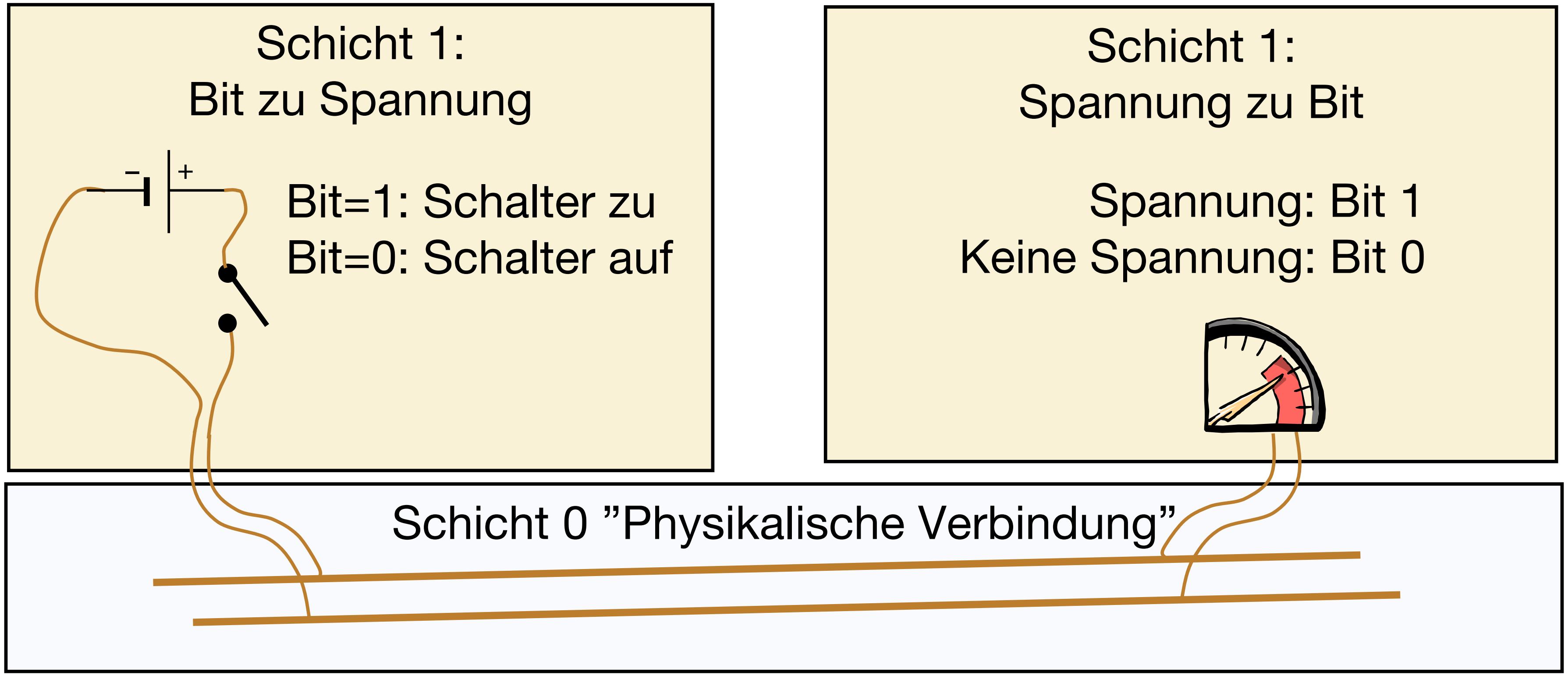
Signale, Daten und Information

- **Information**
  - Menschliche Interpretation,
    - z.B. schönes Wetter
- **Daten**
  - Formale Präsentation,
    - z.B. 28 Grad Celsius, Niederschlagsmenge 0cm, Wolkenbedeckung 0%
- **Signal**
  - Repräsentation von Daten durch physikalische Variablen,
    - z.B. Stromfluss durch Thermosensor, Videosignale aus Kamera
  - Beispiele für Signale:
    - Strom, Spannung
  - In der digitalen Welt repräsentieren Signale Bits

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Die einfachste Bitübertragung

- **Bit 1: Strom an**
- **Bit 0: Strom aus**

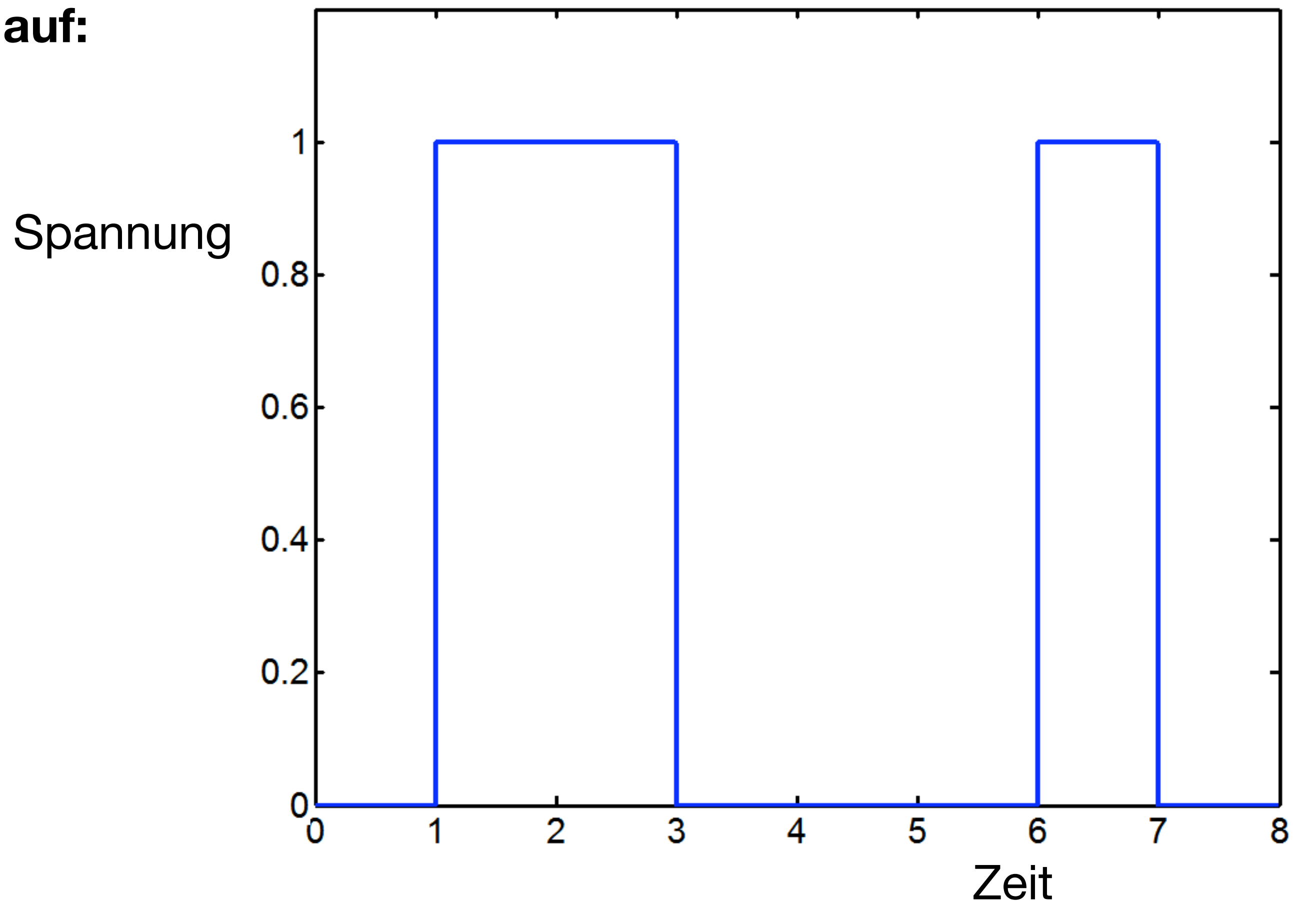


(aus Vorlesung von Holger Karl)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Übertragung eines Buchstabens: “b”

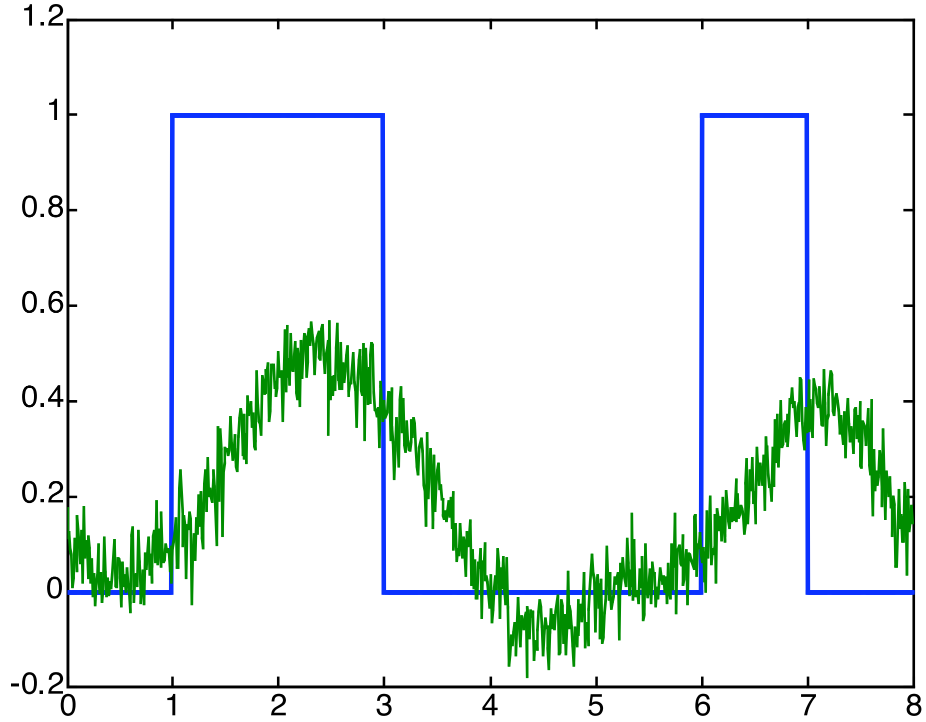
- **Zeichen “b”benötigt mehrere Bits**
  - z.B. ASCII code of “b” als Binärzahl 01100010
- **Spannungsverlauf:**



(aus Vorlesung von Holger Karl)

Was kommt an?

- Übertrieben schlechter Empfang



- Was passiert hier?

(aus Vorlesung von Holger Karl)

Physikalische Grundlagen

- **Bewegte elektrisch geladene Teilchen verursachen** elektromagnetische Wellen
  - **Frequenz f:** Anzahl der Oszillationen pro Sekunde
    - Maßeinheit: **Hertz**
  - **Wellenlänge λ:** Distanz (in Metern) zwischen zwei Wellenmaxima
  - Durch **Antennen** können elektro-magnet. Wellen erzeugt und empfangen werden
  - Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektro-magnetischen Wellen im Vakuum ist konstant: **Lichtgeschwindigkeit c ≈ $3 \cdot 10^8$ m/s**
- Zusammenhang:

$$\lambda \cdot f = c$$

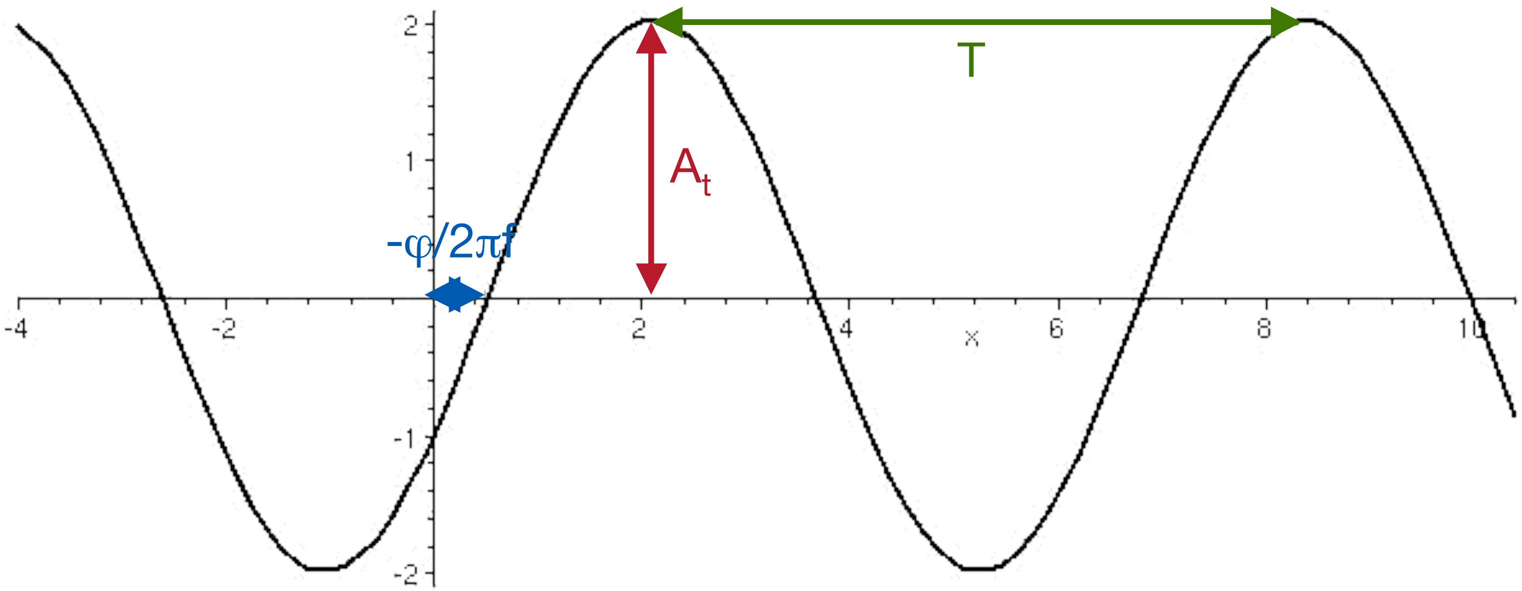
Amplitudendarstellung

- **Amplitudendarstellung einer Sinusschwingung**

$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

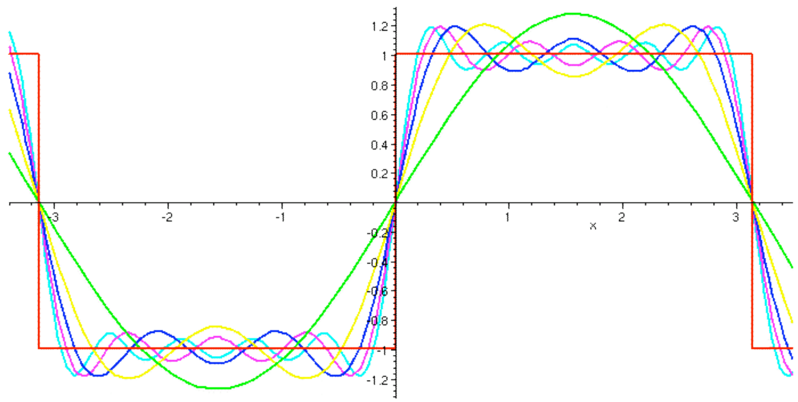
  - A: Amplitude
  - f: Frequenz = 1/T

φ: Phasenverschiebung
T: Periode



Fouriertransformation

- **Fouriertransformation einer periodischen Funktion:**
  – Zerlegung in verschiedene
  – Sinus/Cosinus-Funktionen



- **Dirichletsche Bedingungen einer periodischen Funktion f:**
  – $f(x) = f(x+2\pi)$
  – $f(x)$ is in $(-\pi,\pi)$ in endlich vielen Intervallen stetig und monoton
  – Falls f nicht stetig in x_0, dann ist $f(x_0)=(f(x_0-0)+f(x_0+0))/2$
- **Satz von Dirichlet:**
  – $f(x)$ genüge in $(-\pi,\pi)$ den Dirichletschen Bedingungen. Dann existieren Fourierkoeffizienten $a_0,a_1,a_2,\ldots,b_1,b_2,\ldots$ so dass gilt:

$$\lim_{n\to\infty} \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{n} a_k \cos kx + b_k \sin kx = f(x) \ .$$

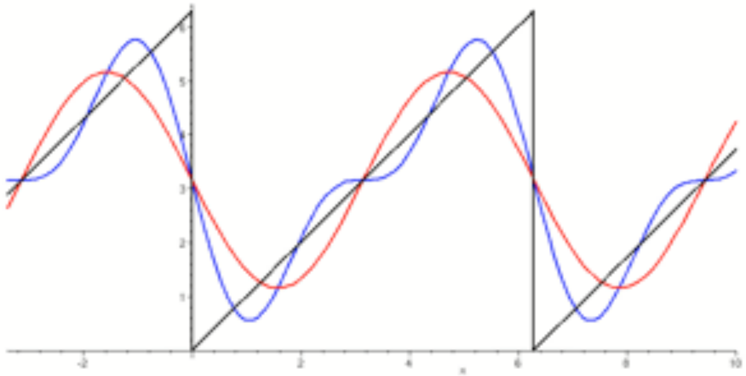
Berechnung der Fourierkoeffizienten

- **Die Fourierkoeffizienten a_i, b_i können wie folgt berechnet werden:**
  - Für k = 0,1,2,…

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos kx \, dx$$

  - Für k = 1,2,3,…

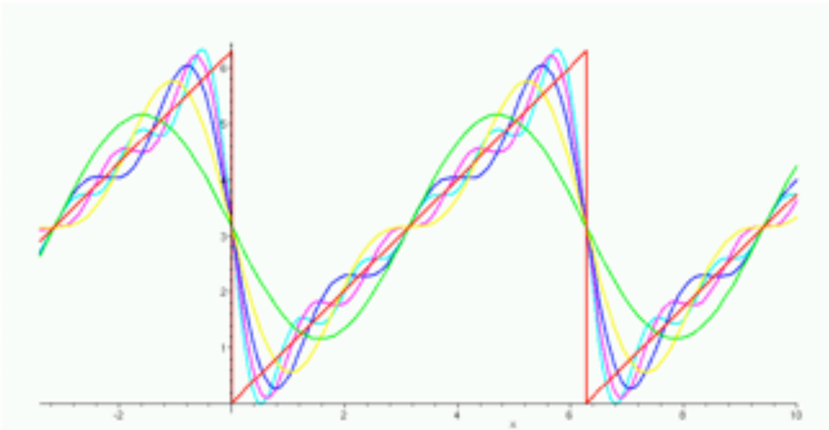
$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin kx \, dx$$



- **Beispiel: Sägezahnkurve**

$f(x) = x$, für $0 < x < 2\pi$

$$f(x) = \pi - 2\left(\frac{\sin x}{1} + \frac{\sin 2x}{2} + \frac{\sin 3x}{3} + \ldots\right)$$



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Fourier-Analyse für allgemeine Periode

- **Der Satz von Fourier für Periode T=1/f:**
  - Die Koeffizienten *c*, a_n, b_n ergeben sich dann wie folgt

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(2\pi k f t) + b_k \sin(2\pi k f t)$$

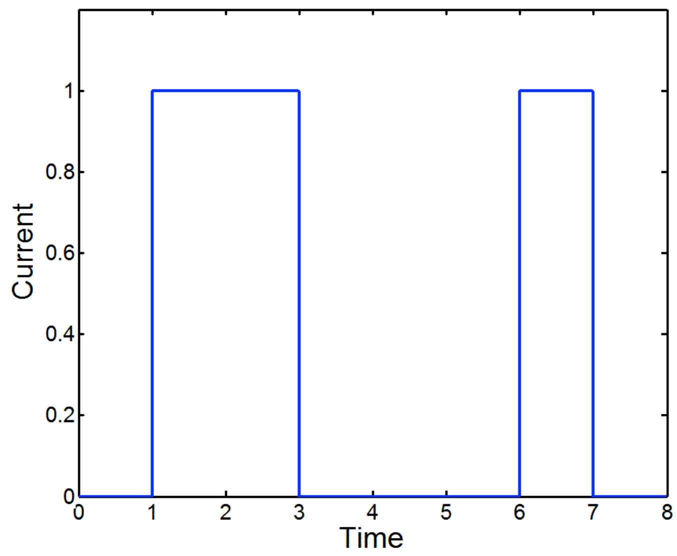
$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi n f t) dt$$

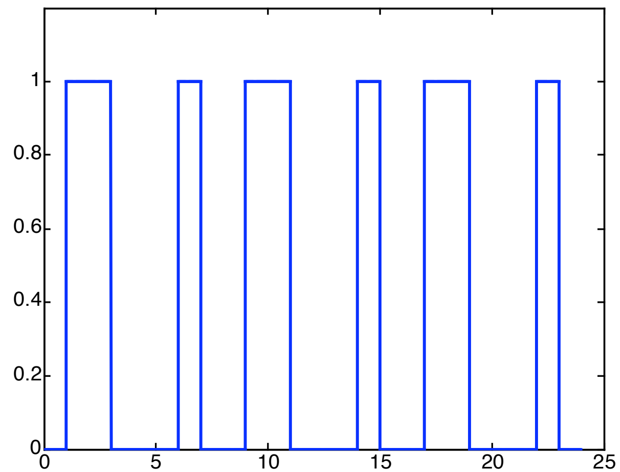
$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi n f t) dt$$

- **Die Quadratsumme der k-ten Terme ist proportional zu der Energie, die in diser Frequenz verbraucht wird:** $(a_k)^2 + (b_k)^2$
- **Üblicherweise wird die Wurzel angegeben:** $\sqrt{(a_k)^2 + (b_k)^2}$

Anwendung der Fourier-Analyse

- **Problem:**
  - Signal ist nicht periodisch
- **Lösung:**
  - Wiederholung des Signals mit Periode 8

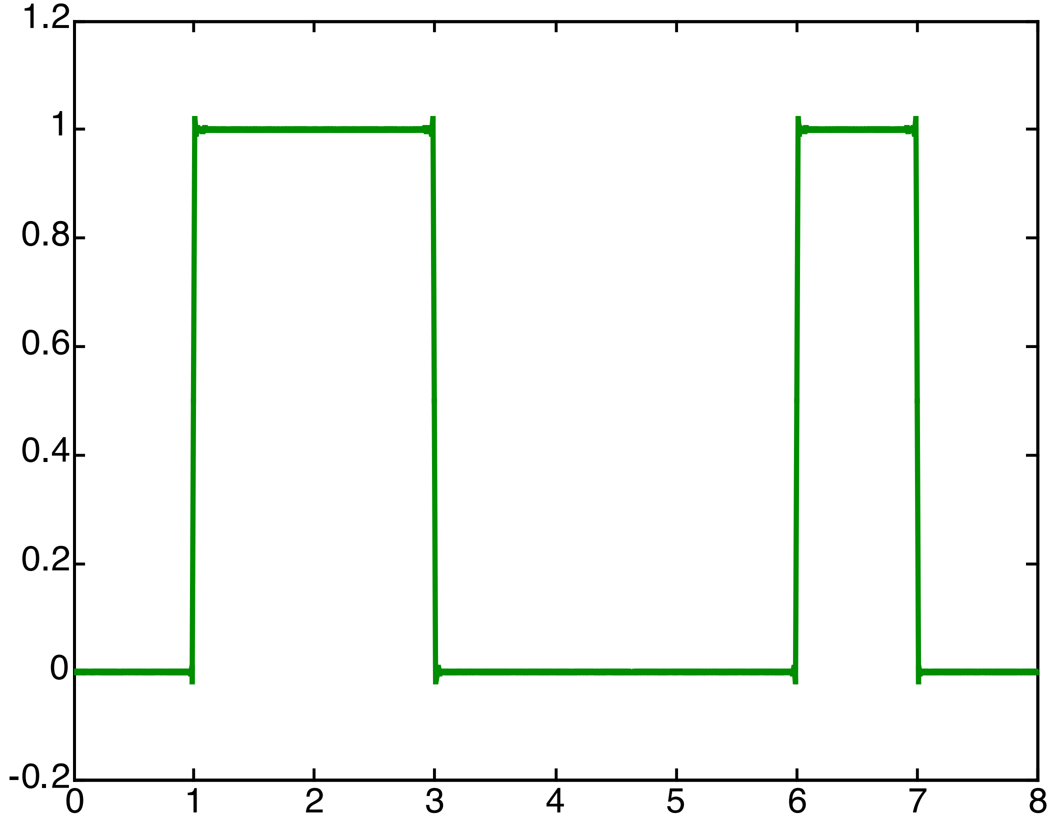




(aus Vorlesung von Holger Karl)

Anwendung der Fourier-Analyse

- **Fourier-Analyse mit 512 Termen:**



(aus Vorlesung von Holger Karl)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

5 Gründe für den schlechten Empfang

1. **Allgemeine Dämpfung**
2. **Frequenzverlust**
3. **Frequenzabhängige Dämpfung**
4. **Störung und Verzerrung**
5. **Rauschen**

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

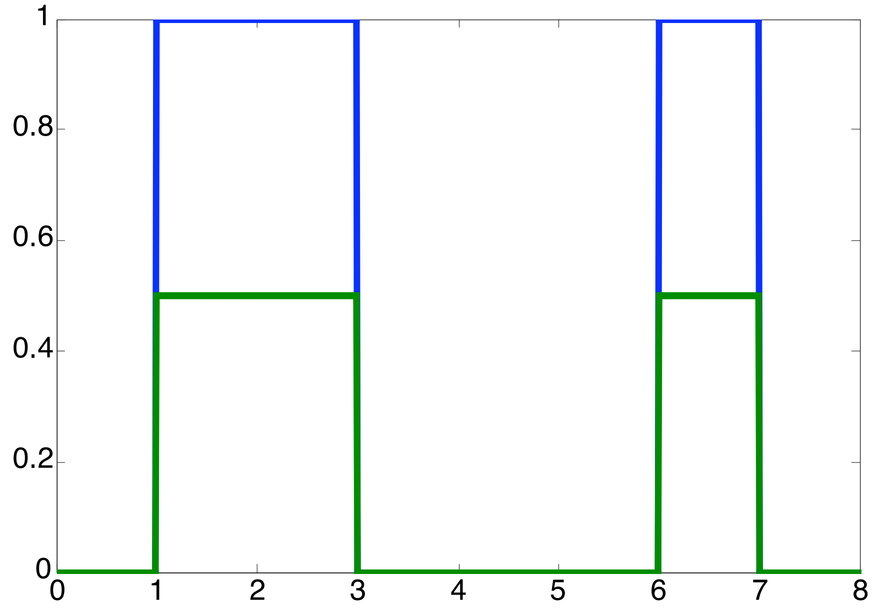
1. Signale werden gedämpft

- ***Dämpfung α (attenuatation)***
  - Verhältnis von Sendeenergie P_1 zu Empfangsenergie P_0
  - Bei starker Dämpfung erreicht wenig Energie dem Empfänger
- **Dämpfung hängt ab von**
  - der Art des Mediums
  - Abstand zwischen Sender und Empfänger
  - ... anderen Faktoren
- **Angegeben in deziBel**

$$\log_{10} \frac{P_1}{P_0} \quad \text{(in Bel)}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_0} \quad \text{(in deziBel [dB])}$$

$$\alpha = \frac{P_1}{P_0}$$

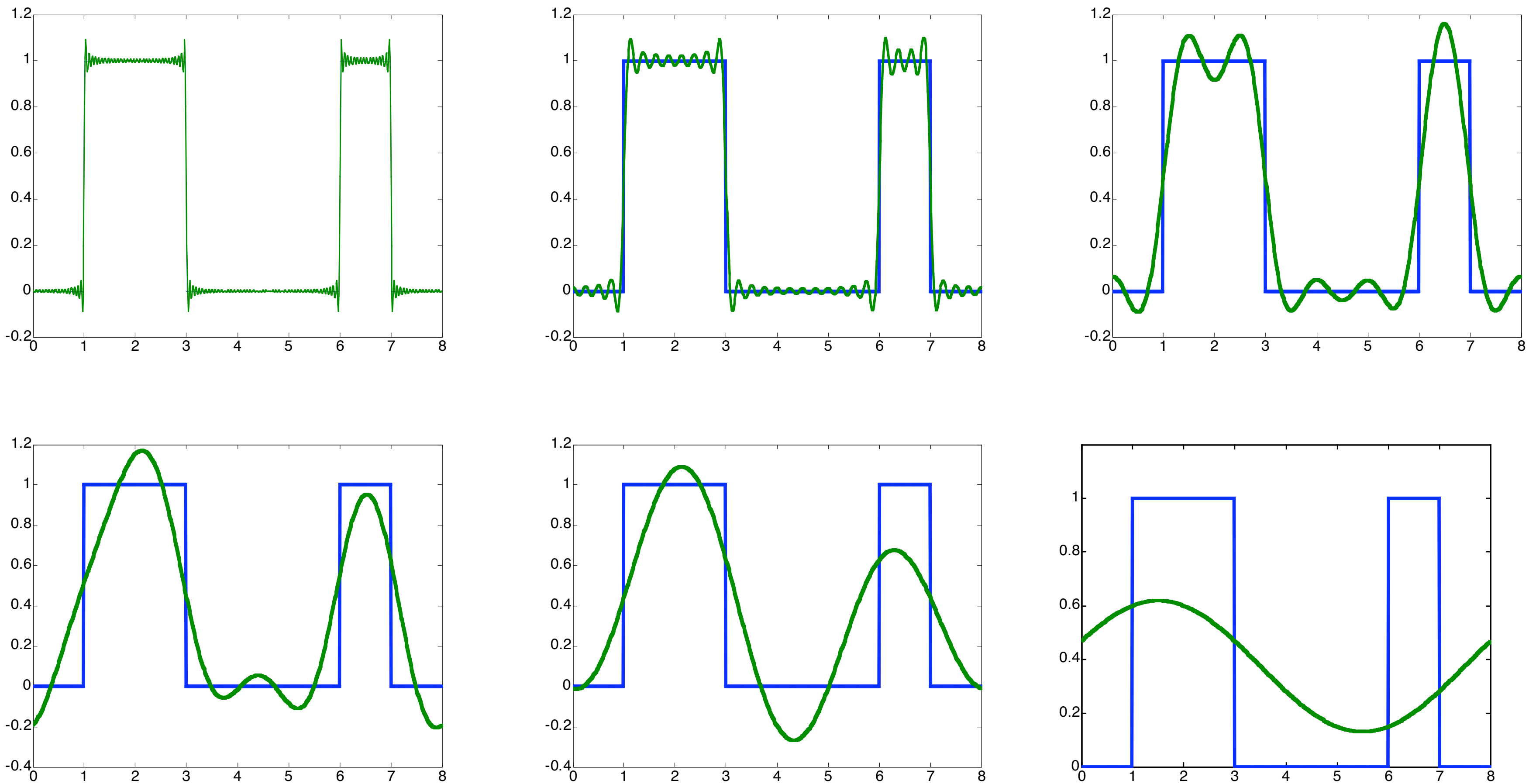


(aus Vorlesung von Holger Karl)

2. Nicht alle Frequenzen passieren das Medium

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **Das Signal beim Verlust der hohen Frequenzen**

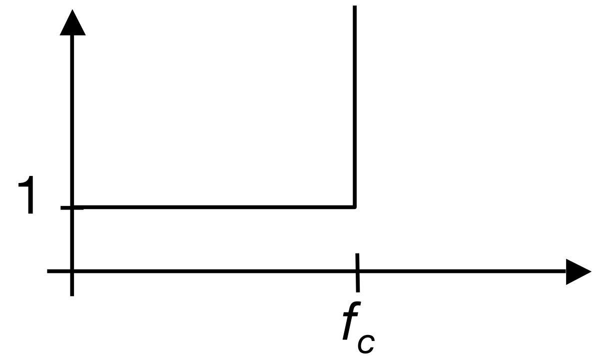


(aus Vorlesung von Holger Karl)

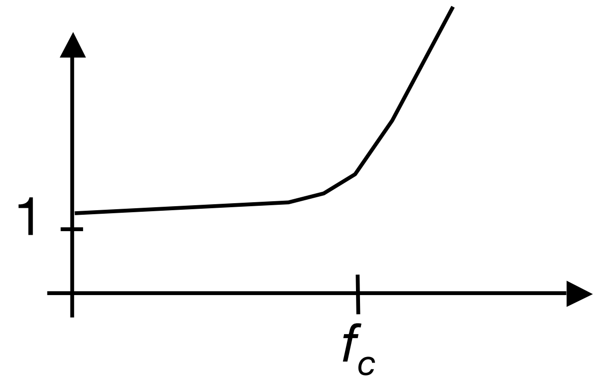
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

3. Frequenzabhängige Dämpfung

- **Vorherige Seite: Cutoff**
  - Zuerst ist die Dämpfung 1
  - und dann Unendlich
- **Realistischer:**
  - Dämpfung steigt kontinuierlich von 1 zu höheren Frequenzen



- **Beides:**
  - **Bandweiten-begrenzter Kanal**

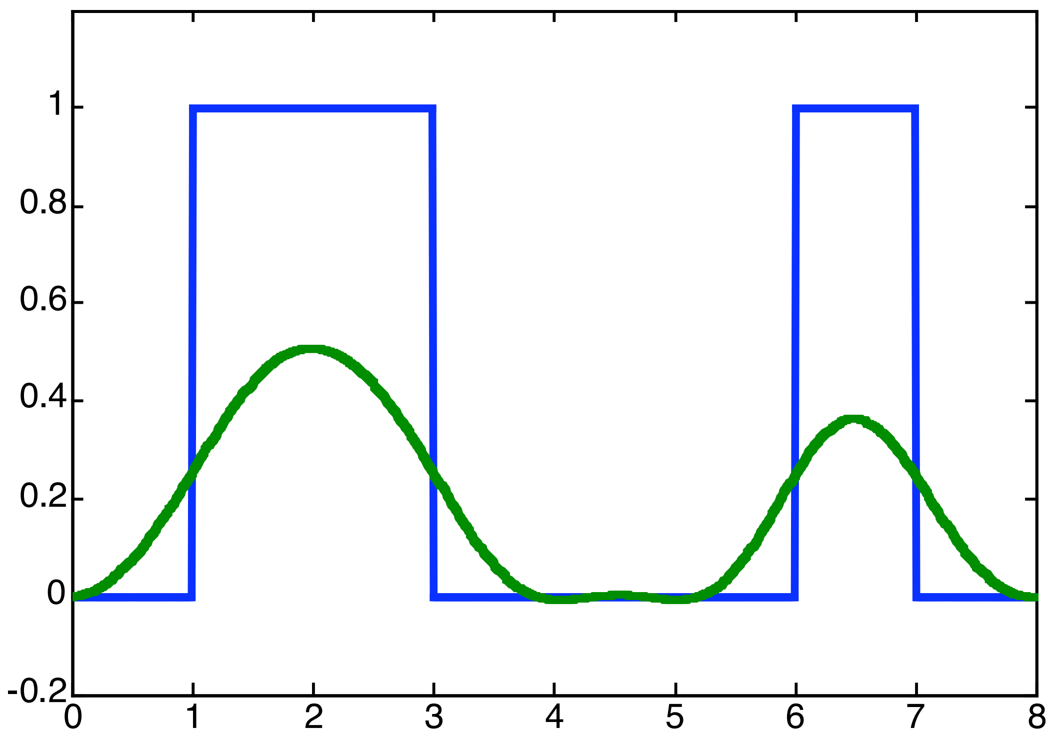


(aus Vorlesung von Holger Karl)

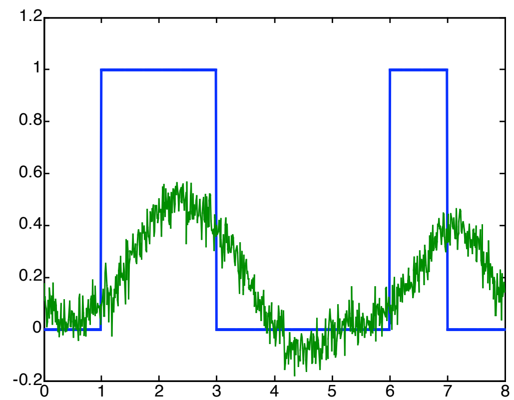
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Beispiel mit realistischerer Dämpfung

- Beispiel: Dämpfung ist 2; 2,5, 3,333… , 5, 10, ∞ für den ersten, zweiten, … Fourier-koeffizienten



Warum passiert aber das?



(aus Vorlesung von Holger Karl)

4. Das Medium stört und verzerrt

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **In jedem Medium (außer dem Vakuum) haben verschiedene Frequenzen verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeit**
  - Resultiert in Phasenverschiebung
  - Zu Erinnerung: Sinuskurve ist bestimmt durch Amplitude *a*, Frequenz *f*, and Phase ϕ

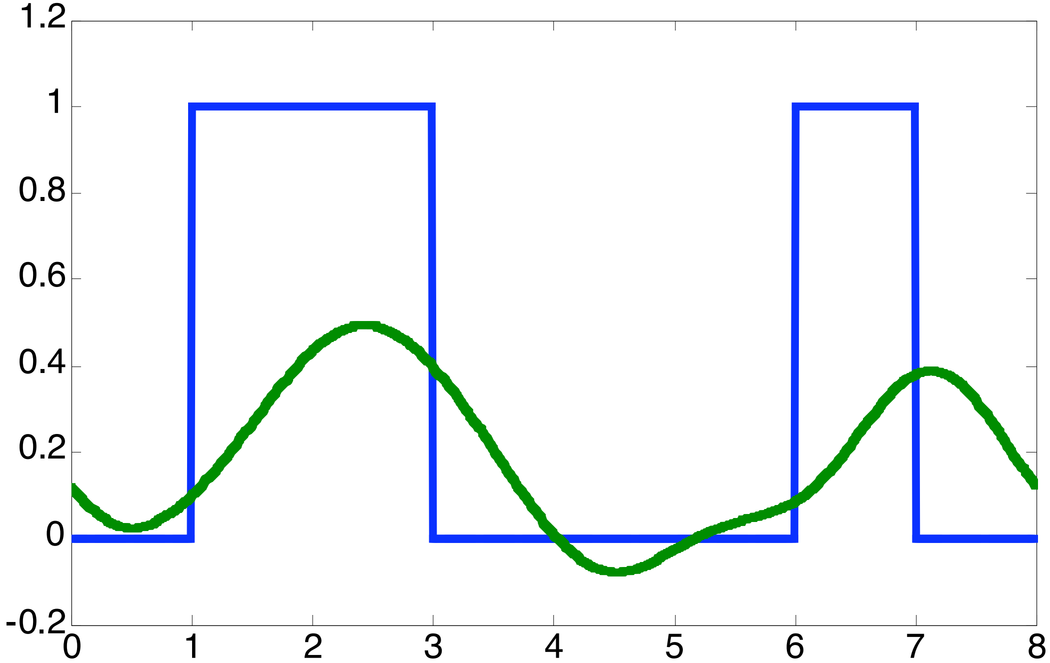
$$a \sin(2\pi f t + \phi)$$

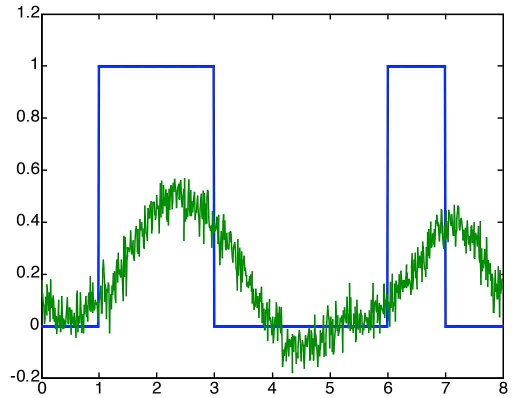
- **Die Größe dieser Phasenverschiebung hängt von der Frequenz ab**
  - Dieser Effekt heißt Verzerrung (***distortion)***

Frequenzabhängige Dämpfung und Verzerrung

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Warum pasiert das:





(aus Vorlesung von Holger Karl)

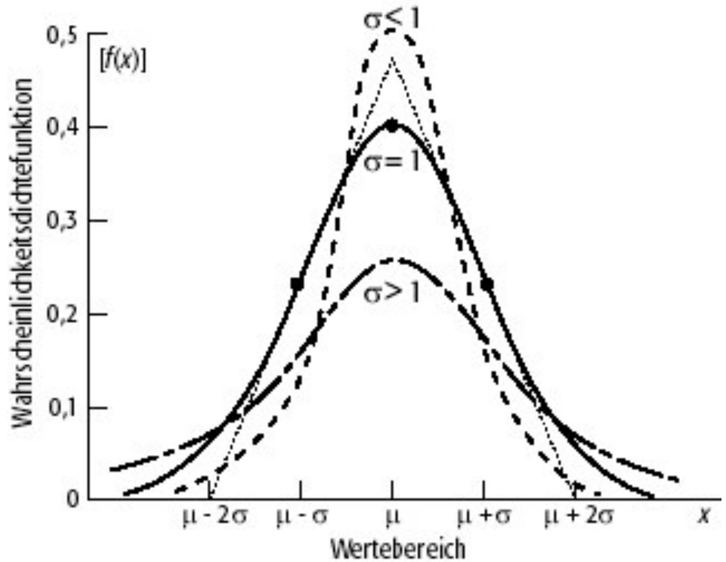
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

5. Echte Medien rauschen

- **Jedes Medium und jeder Sender und Empfänger produzieren Rauschen**
  - Verursacht durch Wärme, Störungen anderer Geräte, Signale, Wellen, etc.

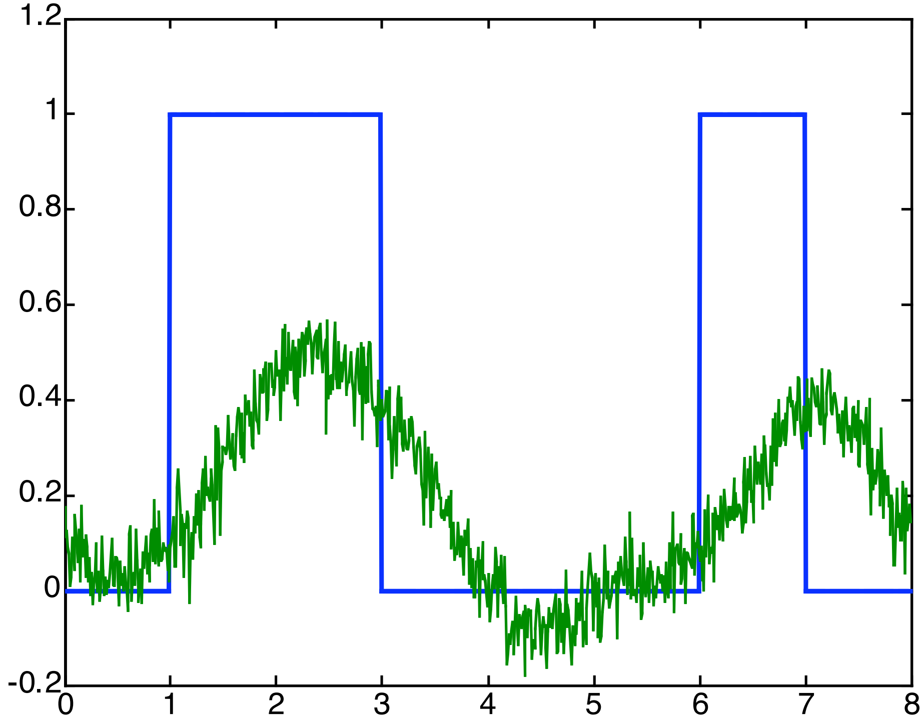
- **Wird beschrieben durch zufällige Fluktuationen des (störungsfreien) Signals**
  - Typische Modellierung: Gauß'sche Normalverteilung

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$



Zusammenfassung

- Dies alles kann das Eingangssignal erklären.



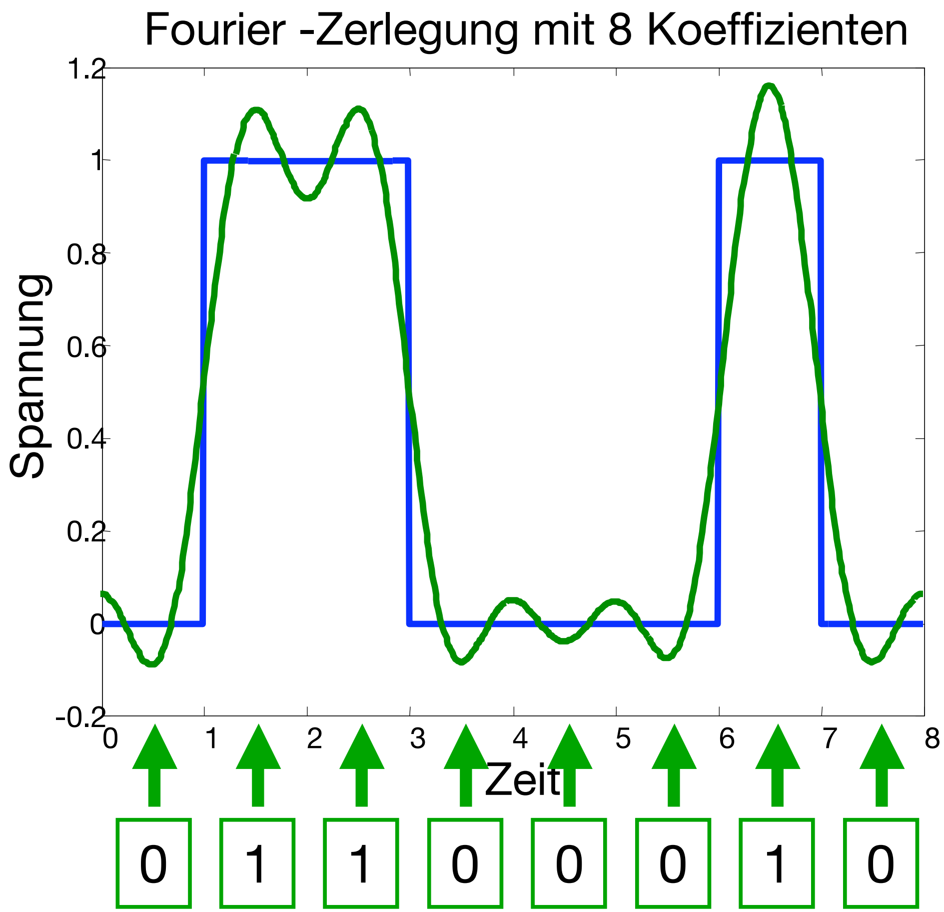
(aus Vorlesung von Holger Karl)

Wie oft muss man messen?

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

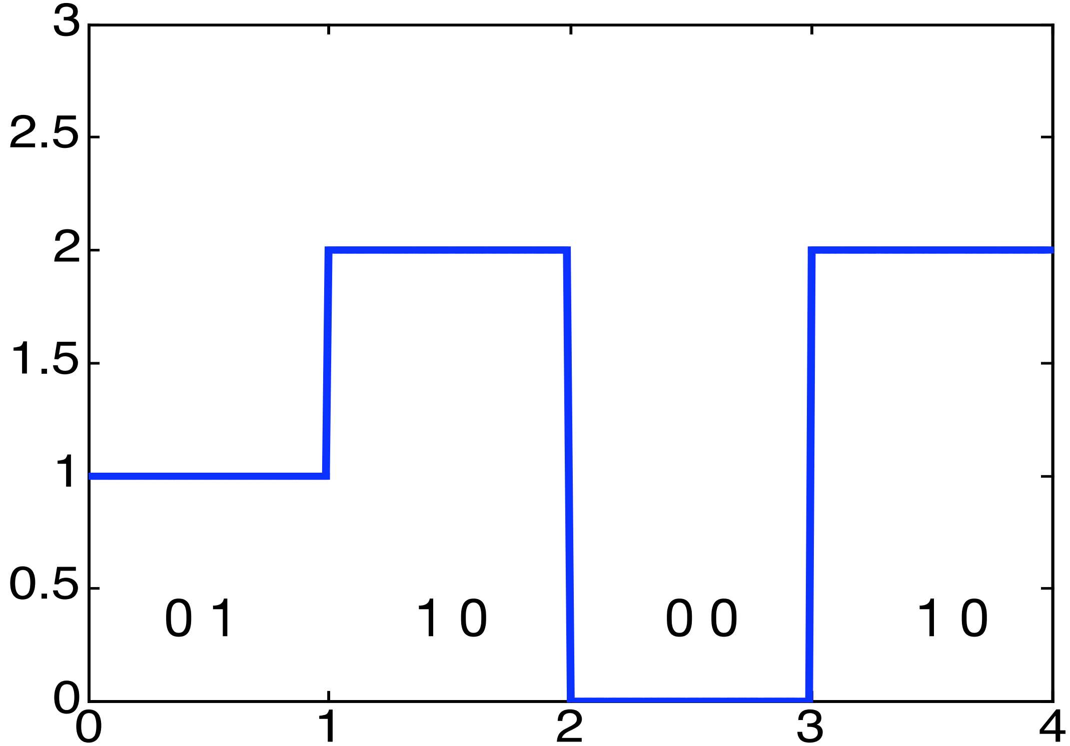
- **Wie viele Messwerte sind notwendig, um eine Fouriertransformation bis zur k.-ten Komponenten genau zu bestimmen?**

- **Nyquist-Shannon-Abtasttheorem**
  - Um ein kontinuierliches bandbegrenztes Signal mit einer Maximalfrequenz f_{max} zu rekonstruieren, braucht man mindestens eine Abtastfrequenz von 2 f_{max}.



Symbole und Bits

- **Für die Datenübetragung können statt Bits auch Symbole verwendet werden**
- **Z.B. 4 Symbole: A,B,C,D mit**
  - A=00, B=01, C=10, D=11
- **Symbole**
  - Gemessen in Baud
  - Anzahl der Symbole pro Sekunde
- **Datenrate**
  - Gemessen in Bits pro Sekunde (bit/s)
  - Anzahl der Bits pro Sekunde
- **Beispiel**
  - 2400 bit/s Modem hat 600 Baud (verwendet 16 Symbole)



Nyquists Theorem

- **Definition**
  - Die Bandweite H ist die Maximalfrequenz in der Fourier-Zerlegung
- **Angenommen:**
  - Die maximale Frequenz des empfangenen Signals ist f=H in der Fouriertransformation
    - (Komplette Absorption [unendliche Dämpfung] aller höheren Frequenzen)
  - Die Anzahl der verschiedenen verwendeten Symbole ist V
  - Es treten keinerlei anderen Störungen, Verzerrungen oder Dämpfungen auf
- **Theorem von Nyquist**
  - Die maximal mögliche Symbolrate ist höchstens 2 H baud.
  - Die maximal mögliche Datenrate ist höchstens 2 H $\log_2$ V bit/s.

Helfen mehr Symbole?

- **Nyquists Theorem besagt, dass rein theoretisch die Datenrate mit der Anzahl der verwendeten Symbole vergrößert werden könnten**

- **Diskussion:**
  - Nyquists Theorem liefert nur eine theoretische obere Schranke und kein Verfahren zur Übertragung
  - In der Praxis gibt es Schranken in der Messgenauigkeit
  - Nyquists Theorem berücksichtigt nicht das Problem des Rauschens

Der Satz von Shannon

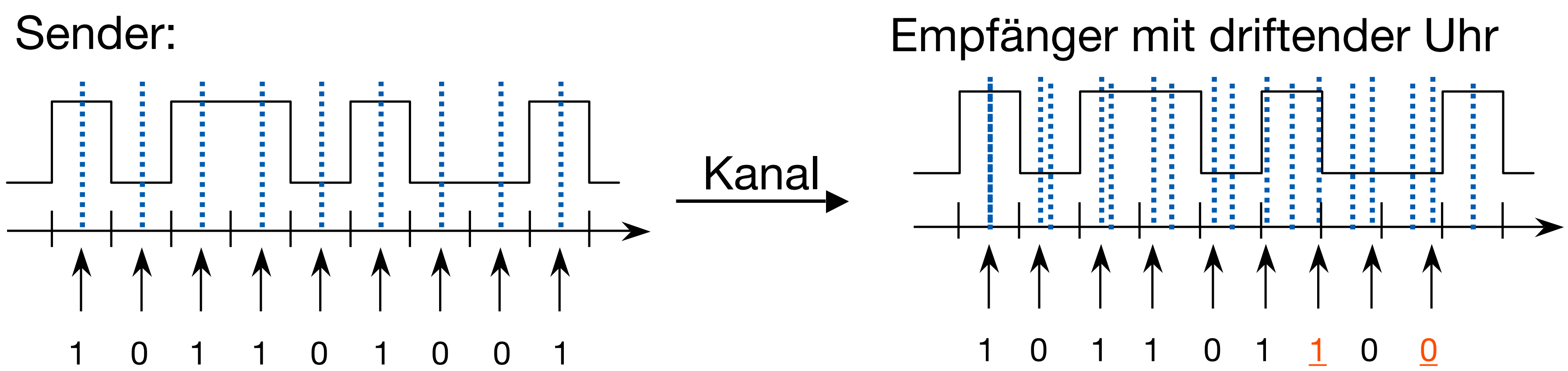
- **Tatsächlich ist der Einfluss des Rauschens fundamental**
  - Betrachte das Verhältnis zwischen Sendestärke S zur Stärke des Rauschens N
  - Je weniger Rauschen desto besser können Signale erkannt werden
- **Theorem von Shannon**
  - **Die maximale mögliche Datenrate ist H $\log_2 (1+S/N)$ bit/s**
    - bei Bandweite H
    - Signalstärke S
- **Achtung**
  - Dies ist eine theoretische obere Schranke
  - Existierende Kodierungen erreichen diesen Wert nicht

Selbsttaktende Kodierungen

- **Wann muss man die Signale messen**
  - Typischerweise in der Mitte eines Symbols
  - Wann startet das Symbol?
    - Die Länge des Symbols ist üblicherweise vorher festgelegt.
- **Der Empfänger muss auf der Bit-ebene mit dem Sender synchronisiert sein**
  - z.B. durch *Frame Synchronization*

Synchronisation

- **Was passiert wenn man einfach Uhren benutzt**
- **Problem**
  - Die Uhren driften auseinander
  - Keine zwei (bezahlbare Uhren) bleiben perfekt synchron
- **Fehler by Synchronisationsverlust (NRZ):**



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

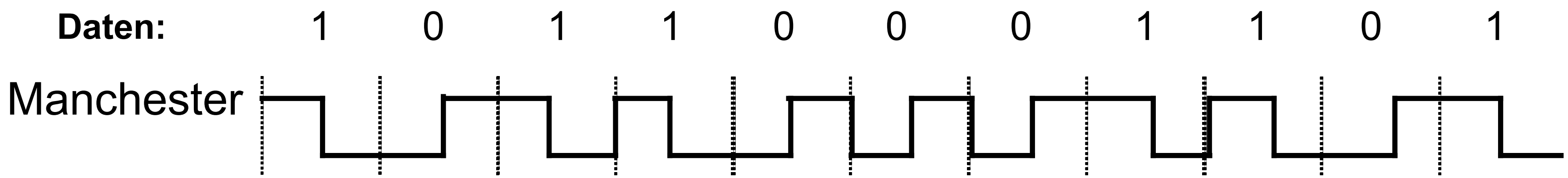
Lösung der Synchronisation

- **Ohne Kontrolle keine Synchronisation**
- **Lösung: explizites Uhrensignal**
  - Benötigt parallele Übertragung über Extra-Kanal
  - Muss mit den Daten synchronisiert sein
  - Nur für kurze Übertragungen sinnvoll
- **Synchronisation an kritischen Zeitpunkten**
  - z.B. Start eines Symbols oder eines Blocks
  - Sonst läuft die Uhr völlig frei
  - Vertraut der kurzzeitig funktionierenden Synchronität der Uhren
- **Uhrensignal aus der Zeichenkodierung**

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Selbsttaktende Codes

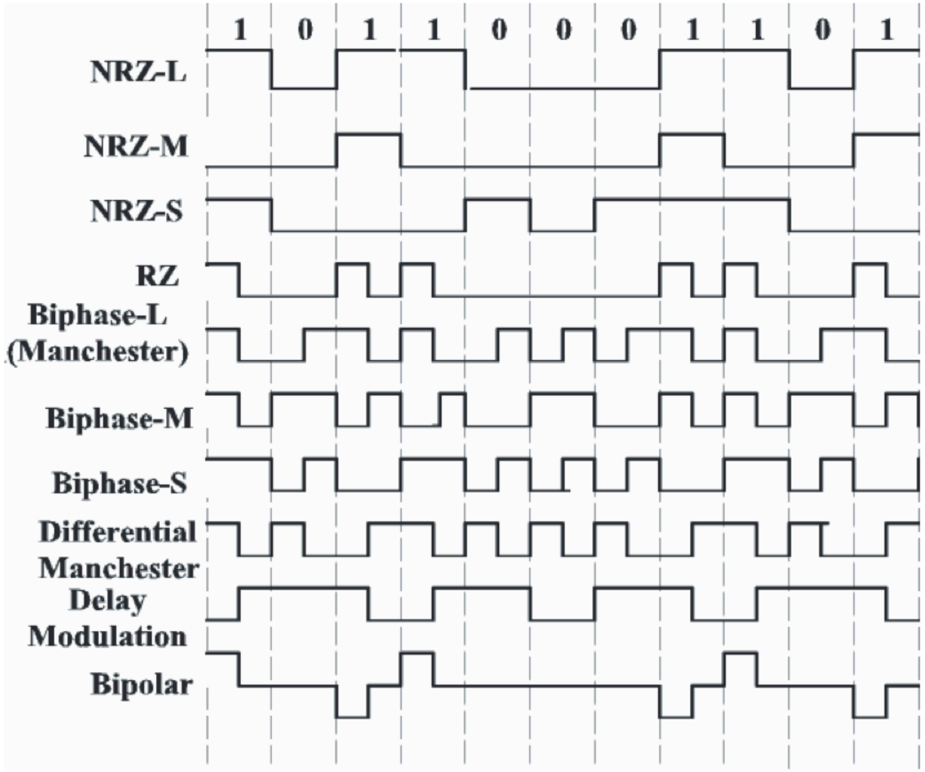
- **z.B. Manchester Code (Biphase Level)**
  - 1 = Wechsel von hoch zu niedrig in der Intervallmitte
  - 0 = Umgekehrter Wechsel



- **Das Signal beinhaltet die notwendige Information zur Synchronisation**

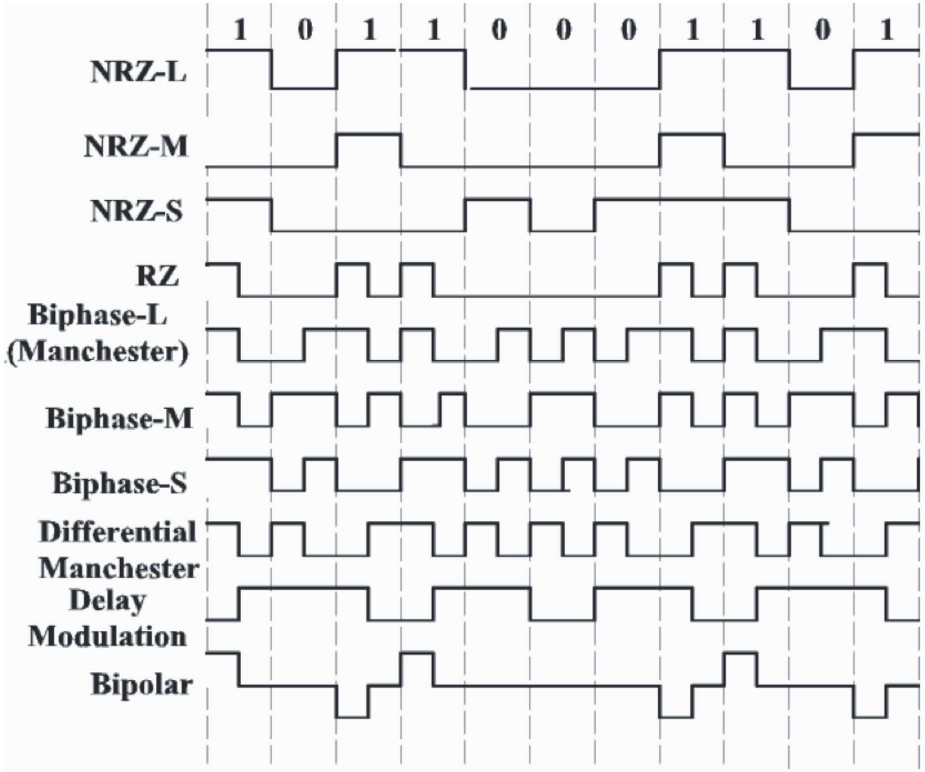
Digitale Kodierungen (I)

- **Non-Return to Zero-Level (NRZ-L)**
  - 1 = hohe Spannung, 0 = niedrig
- **Non-Return to Zero-Mark (NRZ-M)**
  - 1 = Wechsel am Anfang des Intervals
  - 0 = Kein Wechsel
- **Non-Return to Zero-Space (NRZ-S)**
  - 0 = Wechsel am Intervallanfang
  - 1 = Kein Wechsel
- **Return to Zero (RZ)**
  - 1 = Rechteckpuls am Intervallanfang
  - 0 = Kein Impuls
- **Manchester Code (Biphase Level)**
  - 1 = Wechsel von hoch zu niedrig in der Intervallmitte
  - 0 = Umgekehrter Wechsel



Digitale Kodierungen (II)

- **Biphase-Mark**
  - Immer: Übergang am Intervallanfang
  - 1 = zweiter Übergang in der Mitte
  - 0 = kein zweiter Übergang
- **Biphase-Space**
  - Immer: Übergang am Intervallanfang
  - 1/0 umgekehrt wie Biphase-Mark
- **Differential Manchester-Code**
  - Immer: Übergang in Intervallmitte
  - 1 = Kein Übergang am Intervallanfang
  - 0 = Zusätzlicher Übergang am Intervallanfang
- **Delay Modulation (Miller)**
  - Übergang am Ende, falls 0 folgt
  - 1 = Übergang in der Mitte des Intervalls
  - 0 = Kein Übergang falls 1 folgt
- **Bipolar**
  - 1 = Rechteckpuls in der ersten Hälfte, Richtung alterniert (wechselt)
  - 0 = Kein Rechteckpuls



Ende der 2. Vorlesungswoche

CoNe
Freiburg

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Systeme II
Christian Schindelhauer
schindel@informatik.uni-freiburg.de