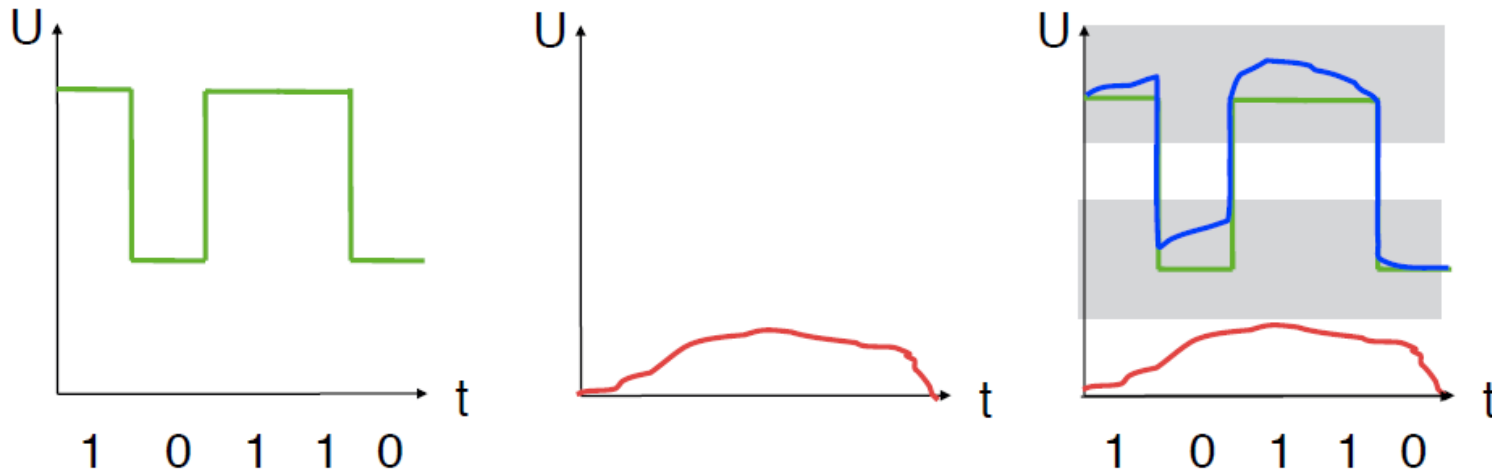


## Was ist so gut an „digitaler Qualität“? (1)



**Digitale** Übertragung oder Speicherung: Signalfremde Bestandteile (Rauschen) durch geeignete Codierung vom Nutzsignal trennbar  
Originalsignal ohne Verlust rekonstruierbar

- Nutzsignal (z.B. Musik)
- Rauschen
- Gesamtsignal (verfälscht durch Rauschen)

## Vor- und Nachteile digitaler Signale

### Vorteile:

- Unempfindlichkeit gegen Störungen des unterliegenden Übertragungsmediums (z.B. Einstrahlung von Störfeldern) bzw. Speichermediums (z.B. magnetische Instabilitäten)
  - Fehler erst ab einem Schwellwert bemerkbar
  - Zusätzlich Fehlererkennung und -korrektur möglich
- Verlustfrei kopierbar
- Viele Signale entstehen bereits in digitaler Form (z.B. Computergrafik)

### (Alternativlose) Nachteile:

- Informationsverlust gegenüber einem analogen Original
- Hoher Speicheraufwand bzw. große benötigte Kanalkapazität
- Spezielle Computersysteme notwendig (z.B. schnelle Festplatten, großer Arbeitsspeicher, etc.)

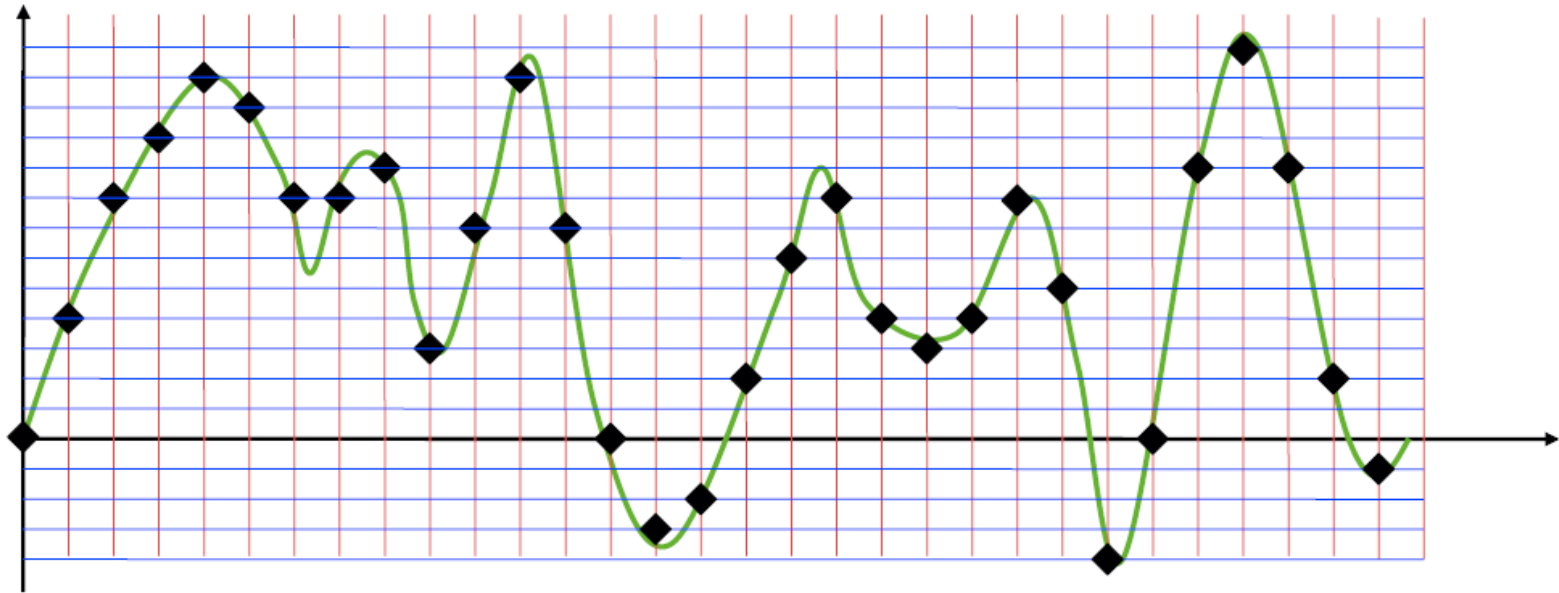
# Kapitel 1      Grundlagen digitaler Medien

- 1.1      Medium, Medieninformatik, Multimedia
- 1.2      Digitalisierung
- 1.3      Informationstheoretische Grundlagen**
  - 1.3.1 Abtasttheorem**
  - 1.3.2 Stochastische Nachrichtenquelle, Entropie, Redundanz
- 1.4      Verlustfreie universelle Kompression

Basis:

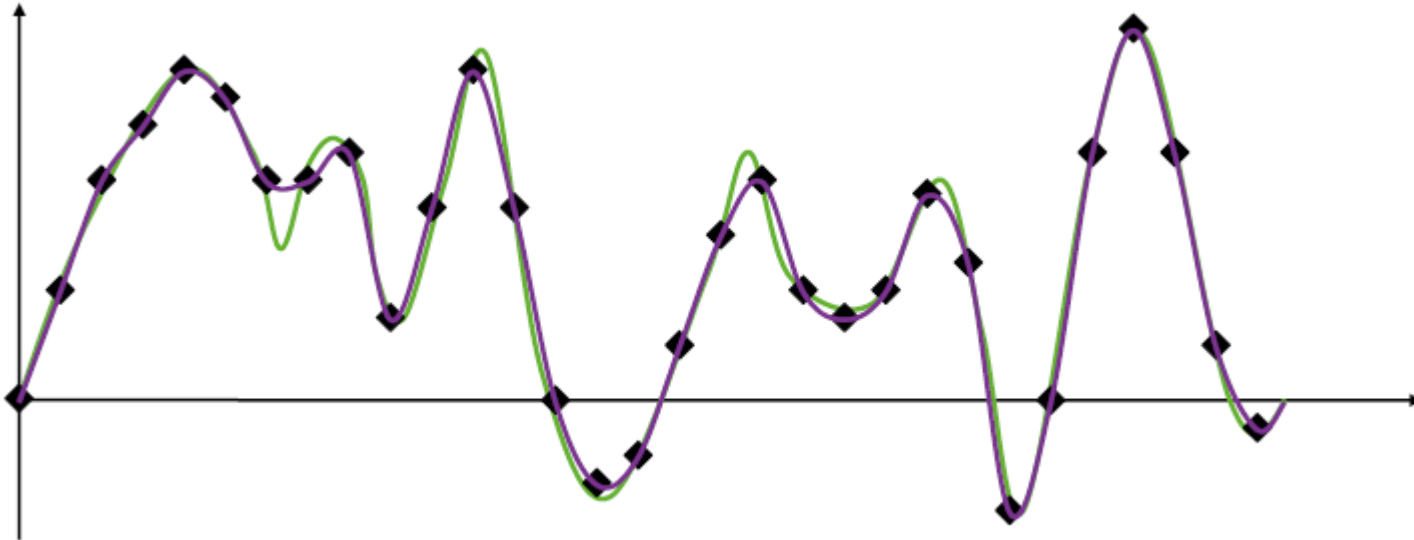
- Andreas Butz, Heinrich Hußmann und Rainer Malaka:  
Medieninformatik: Eine Einführung. Pearson Studium, ISBN-10:  
3827373530, 2009. – Kapitel 2
- Digitale Medien (Prof. Dr. Andreas Butz, LMU München, WiSe 2011)
- Digitale Medien (Prof. Dr. Hendrik Lensch, Uni Ulm, SoSe 2011)

## Digitalisierungsfehler (Wiederholung)



Durch zu grobe Raster bei Diskretisierung und Quantisierung entstehen *Digitalisierungsfehler*.

## Digitalisierungsfehler



Fehlerklassen:

- Zu grobe Quantisierung: Schlechtere Darstellung von Abstufungen
- Zu grobe Diskretisierung, d.h. Fehler in der Abtastrate:

Zusammenhang schwerer zu verstehen; führt zu gravierenden Fehlern!

## Abtastrate: Einführendes Beispiel



*Warum drehen sich in Kinofilmen die Räder von Kutschen oft scheinbar rückwärts? <http://www.youtube.com/watch?v=0jL5qxx-cWI>*

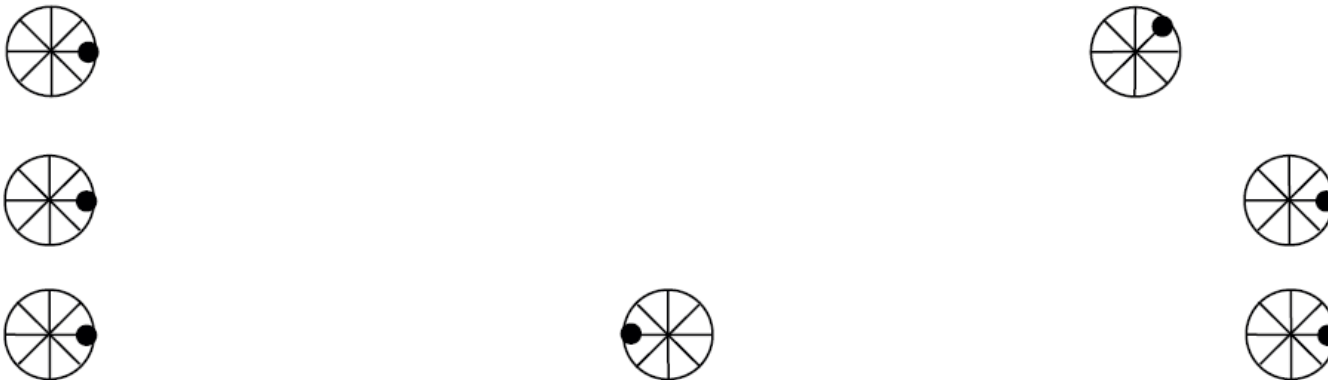
## Abtaste: Einführendes Beispiel

Warum drehen sich in Kinofilmen die Räder von Kutschen oft scheinbar rückwärts?

Rad (über die Zeit):



Aufnahmen (über die Zeit):



## Frequenz

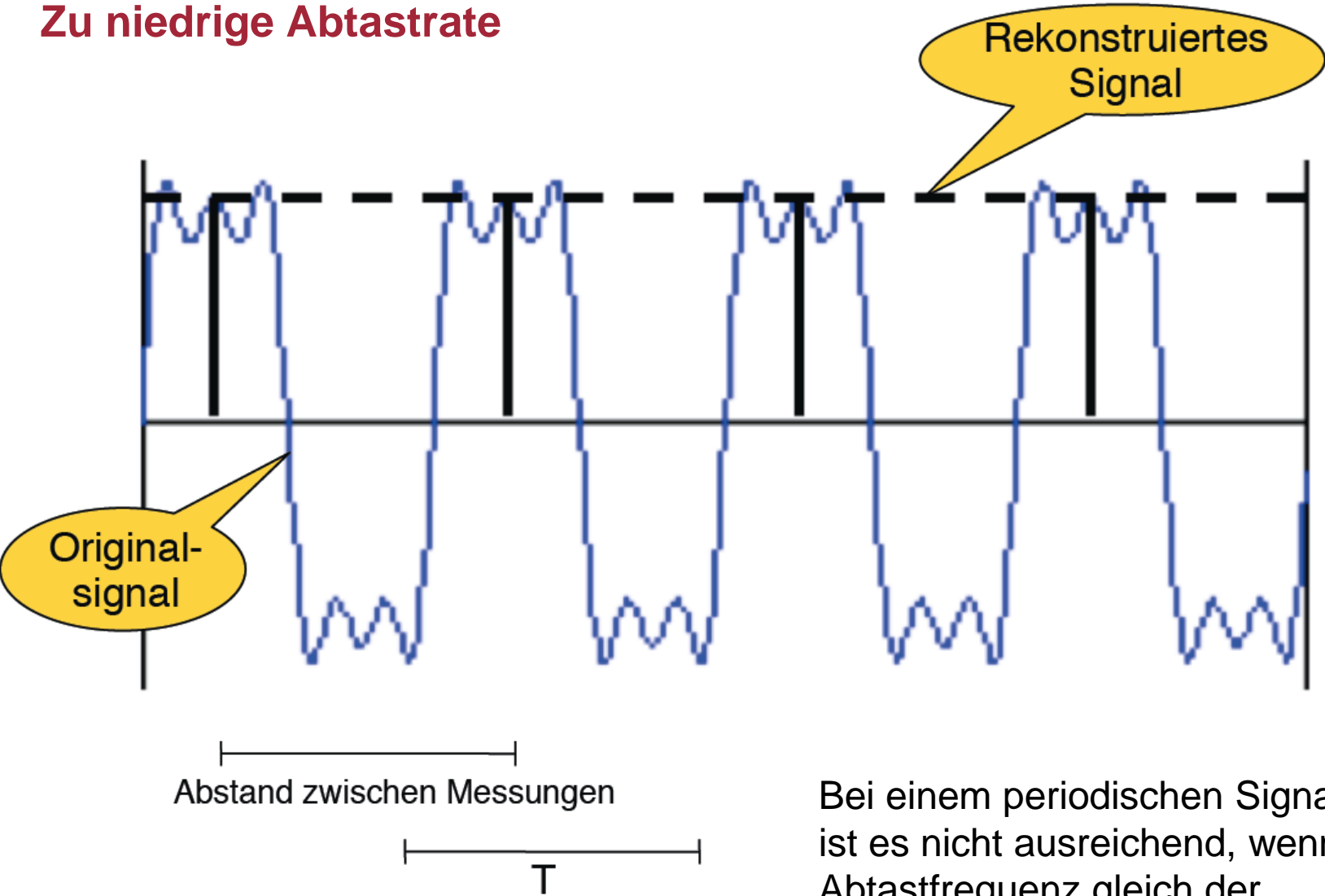
- Die Frequenz  $f$  ist ein Maß für die Häufigkeit eines wiederkehrenden Ereignisses
- Maßeinheit:
  - *Hertz*,  $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$
  - 1 Hz bedeutet einmal pro Sekunde
- Wiederkehr / Periodendauer (in Sekunden)
  - Länge des Signalverlaufs bis zum Beginn der nächsten Wiederholung
  - Wellenlänge bei einer Sinusfunktion
  - Wiederkehr/Periodendauer  $T$  bei gegebener Frequenz  $f$ :

$$T = \frac{1}{f}$$

Hier zeitabhängige Signale – aber übertragbar auf raumabhängige Signale

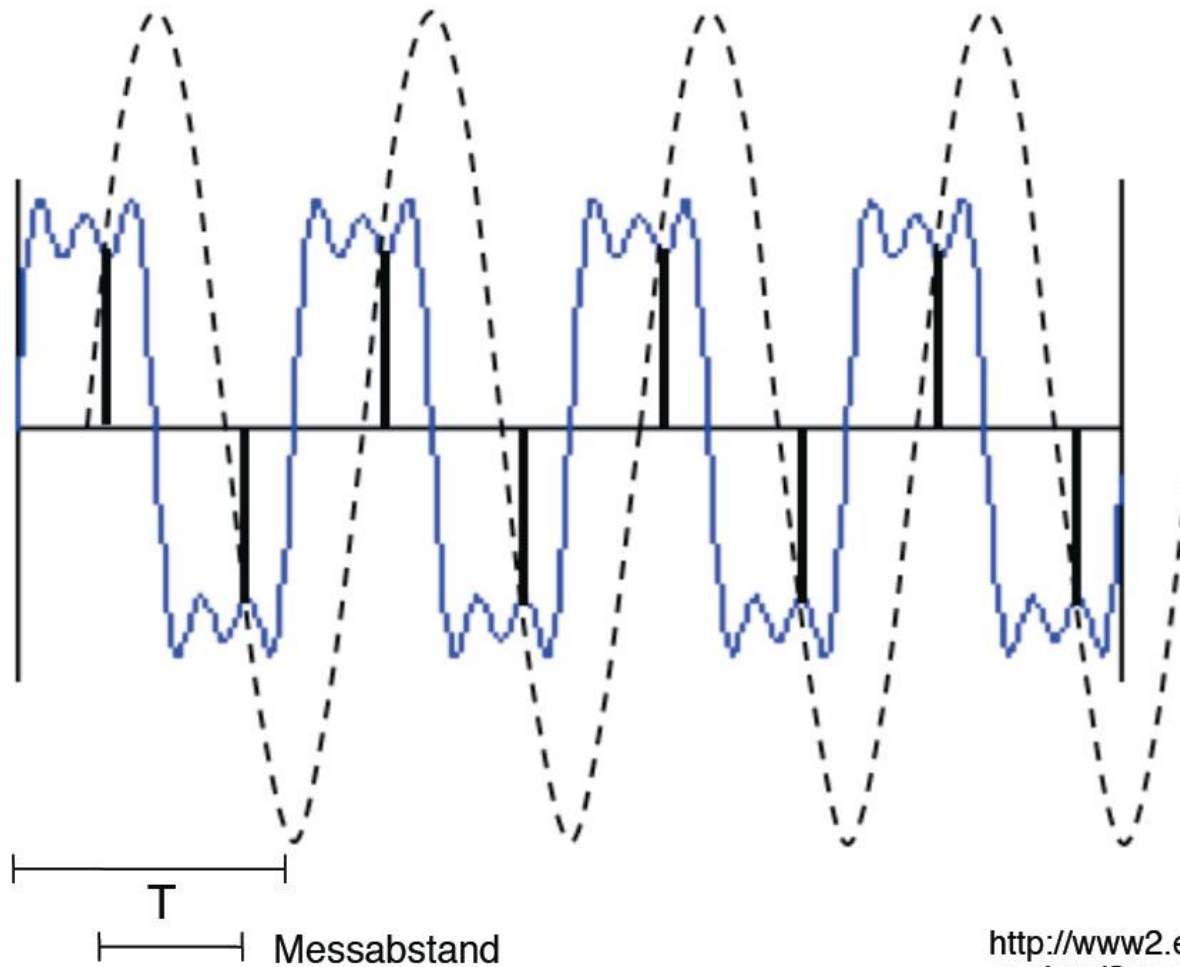


# Zu niedrige Abtastrate



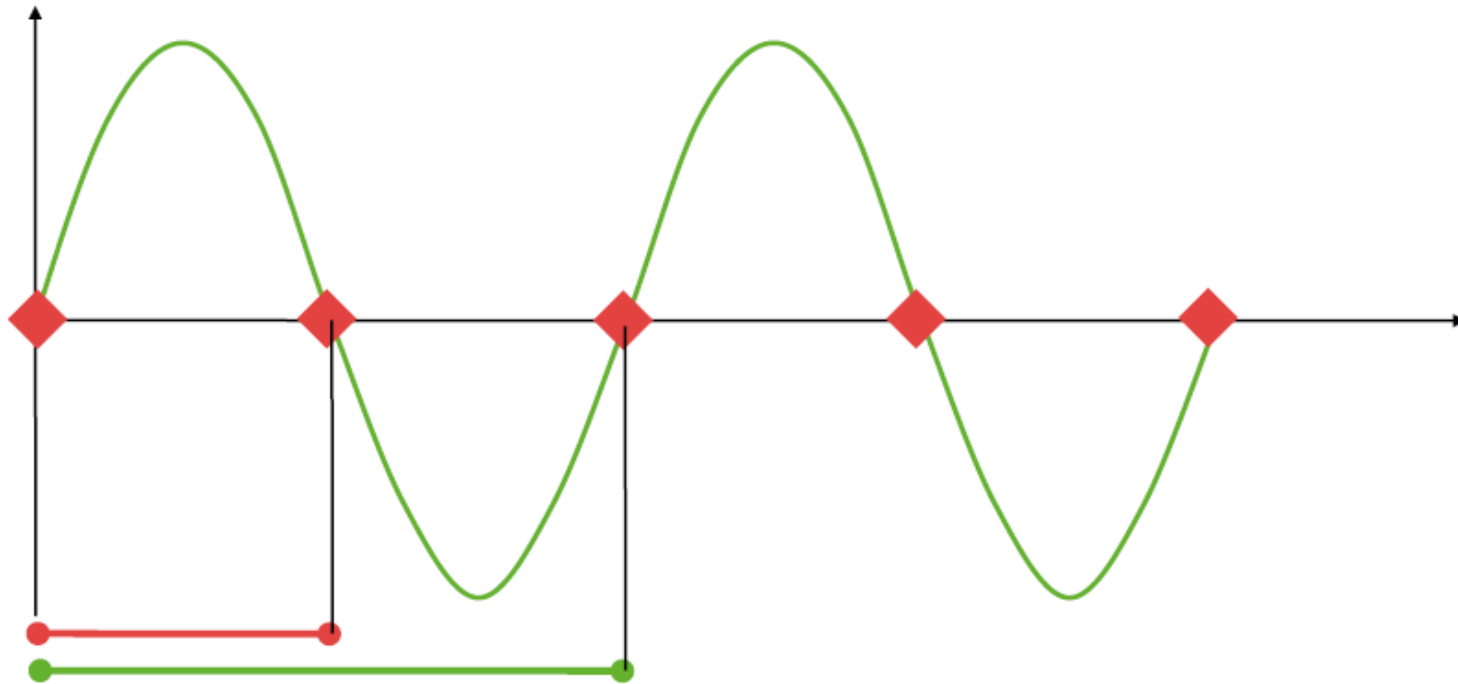
Bei einem periodischen Signal ist es nicht ausreichend, wenn die Abtastfrequenz gleich der Signalfrequenz ist.

## Immer noch zu niedrige Abtastrate



<http://www2.egr.uh.edu/~glover/applets/Sampling/Sampling.html>

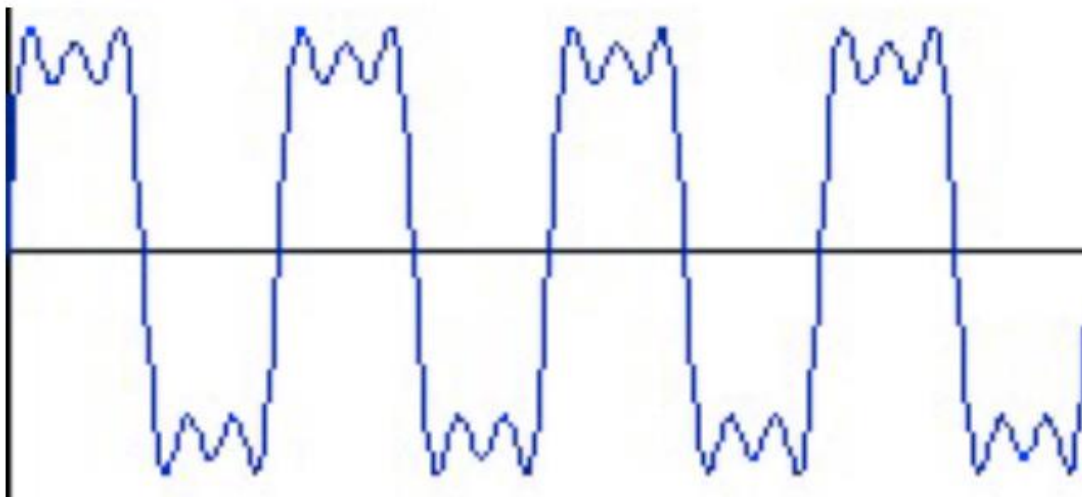
## Wie groß muss die Abtastrate sein?



- Bei der doppelten Abtastrate gegenüber einer Sinus-Signalfrequenz ist die Abtastung „noch“ nicht korrekt.
- Mindestabtastung: Mehr als doppelte Frequenz im Vergleich zur Frequenz eines reinen Sinus-Signals

## Bandbegrenzung

- Reale Signale bestehen immer aus einer Überlagerung von Signalanteilen verschiedener Frequenzen
- „Bandbreite“ = Bereich der niedrigsten und höchsten vorkommenden Frequenzen
  - Untere Grenzfrequenz
  - Obere Grenzfrequenz
- Grundfrequenz = Frequenz der Wiederholung des Gesamtsignals (bei periodischen Signalen)



Beispiel:  
Überlagerung von  
Signalen mit 50 Hz  
(Grundfrequenz),  
100 Hz und 150 Hz

## Abtasttheorem

Nach Harry Nyquist (1928) oft auch Nyquist-Theorem genannt.  
(Beweis von Claude Shannon)

Wenn eine Funktion

mit höchster vorkommender Frequenz  $f_g$  (Bandbegrenzung)

mit einer Abtastrate  $f_S$  abgetastet wird, so dass

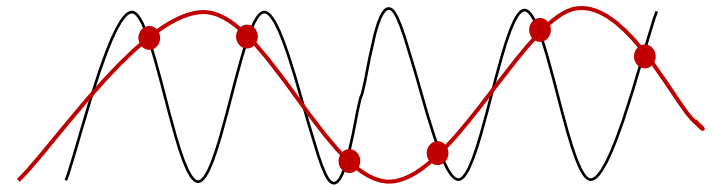
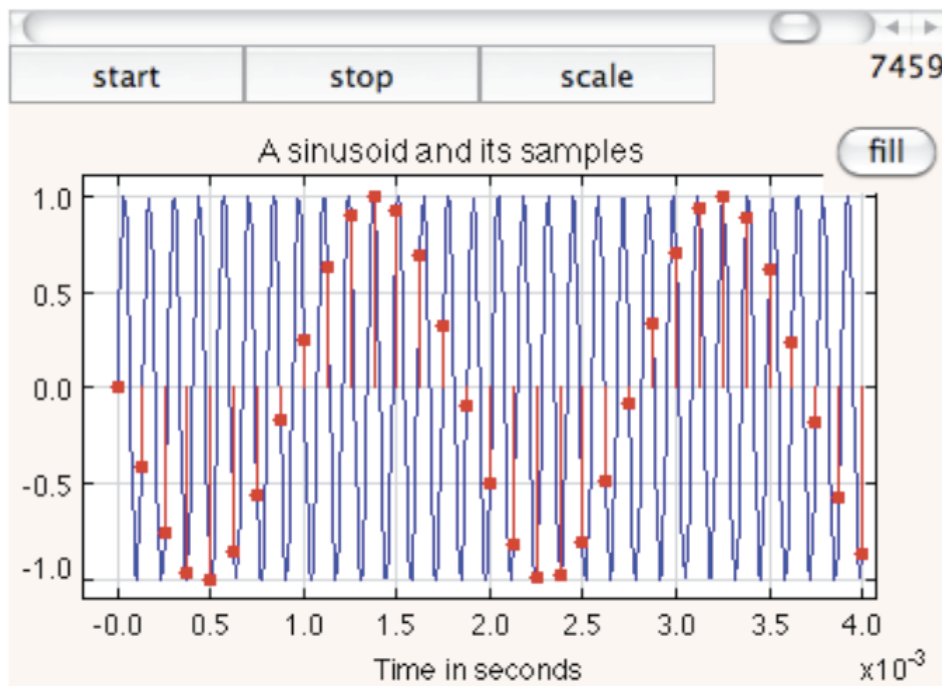
$$f_S > 2 \cdot f_g ,$$

dann kann die Funktion eindeutig aus den Abtastwerten  
rekonstruiert werden.

Praktisches Beispiel: Abtastrate für Audio-CDs ist 44,1 kHz  
(eindeutige Rekonstruktion von Signalen bis ca. 22 kHz)

## Aliasing: Audio-Beispiel

- Bei einer nicht genügend hohen Abtastrate entstehen Fehlinterpretationen der hochfrequenten Signalanteile (*Aliasing*)
- Beispiel Audio: Hohe Töne werden als tiefe Töne rekonstruiert.

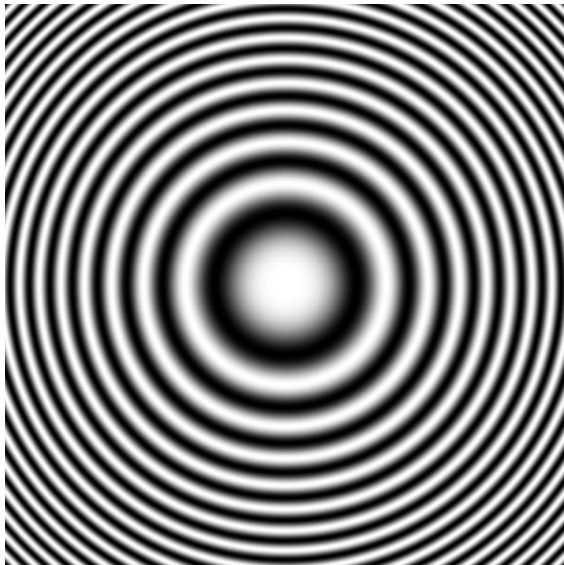


Höherfrequente Wellen werden  
als niederfrequente  
rekonstruiert → Aliasing-Effekt

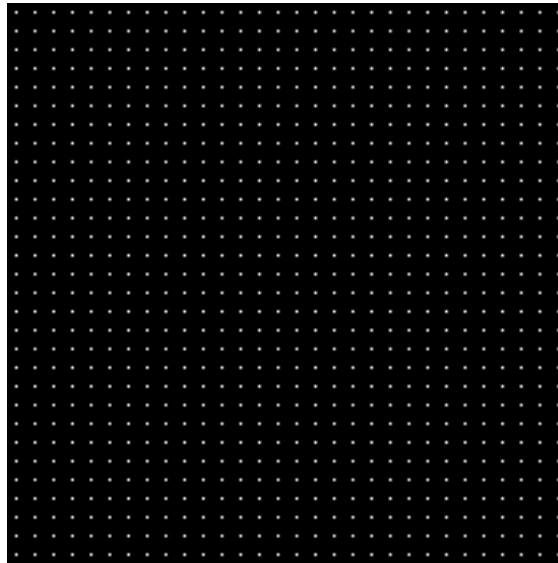
<http://de.wikipedia.org/wiki/Alias-Effekt>

## Aliasing: Bildbeispiele

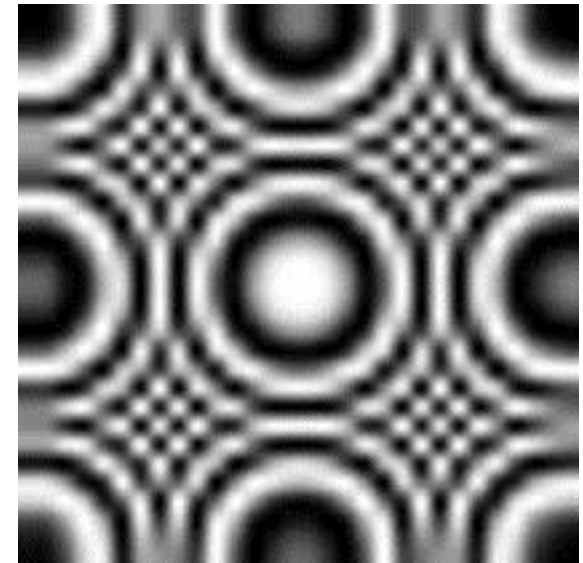
Bei Bildern liefert unzureichende Abtastung sogenannte *Moiré-Effekte*.  
(Ortsfrequenz \* 2 > Abtastfrequenz)



Originalbild: Ringmuster  
einer Fresnel-Zonenplatte



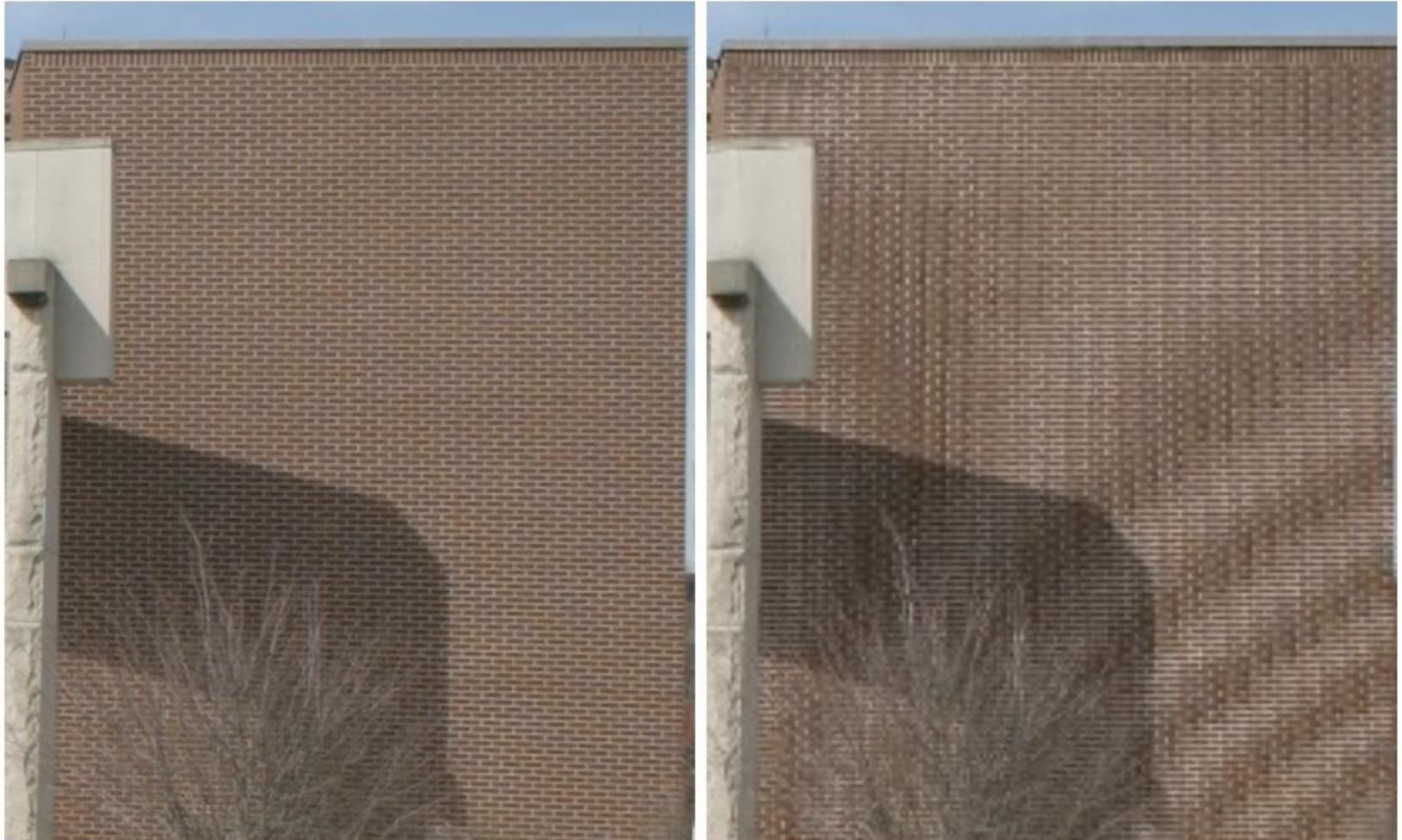
30 Abtastpunkte je Kante



Rekonstruktion des  
quantisierten  
Originalbildes



## Moiré im Foto



Quelle: Wikipedia



## Vermeidung von Aliasing: Filterung

- Vor digitaler Abtastung: Nyquist-Bedingung sicherstellen!
- Wenn höherfrequente Anteile ( $\geq 1/2 f_s$ ) vorhanden,
  - Entfernen!
- Filterung
  - Bei Bildern und Ton anwendbar

## Wie perfekt ist die Rekonstruktion?

- Das Nyquist-Theorem ist ein mathematisches Theorem.
  - ***Keinerlei Verlust*** bei Rekonstruktion innerhalb der angegebenen Rahmenbedingungen (Sinusfrequenzen)
- Mathematische Rekonstruktion mit „idealem Tiefpass“
  - Siehe später!
- Praktische Rekonstruktion
  - Zum Teil sehr aufwändige Systeme für optimale Anpassung an Wahrnehmungsphysiologie
- Praktisches Beispiel:
  - Vergleich der Klangqualität von CD-Spielern (an der gleichen Stereoanlage)

## Beispiele digitaler Repräsentationen

Beispiele zu Abtastraten und Auflösungen (ohne Kompression)

|                       | <u>Abtastrate</u>                     | <u>Auflösung</u> |
|-----------------------|---------------------------------------|------------------|
| – Audio               |                                       |                  |
| • Telefon             | 8 kHz                                 | 8 Bit            |
| • CD Audio            | 44.1 kHz                              | 16 Bit           |
| – Bild                |                                       |                  |
| • Schwarzweiß         | Bildgröße                             | 1..8 Bit         |
| • Farbe               | Bildgröße                             | 1..32 Bit        |
| – Digitales Fernsehen |                                       |                  |
| • CCIR 601            | 13,5 MHz<br>(bei 720 x 500 Bildgröße) | 8 Bit            |