

# Signalverarbeitung in der Medizin I.

Gusztav Schay

# Signalverarbeitung in der Medizin

Definition und Informationsgehalt von Signalen

Medizinische Signalkette  
einige Beispiele  
Kodierung/Dekodierung

Klassifizierung der Signale

Aufarbeitung von Signalen:  
Fourier-Theorie  
Verstärker  
Elektrizitätslehre (siehe Skript!)  
elektronische Schaltungen

Digitale Signalverarbeitung (DSP)

Detektoren

## Signale in der Medizin

Signale tragen **Information!**

**Signal: jede physikalische Größe bzw. ihre Änderung, die Informationen übermittelt.**

**(Druckwerte, Temperaturwerte, Lautheitswerte, usw.)**

Hier auf dem Bild:

**Information** : Kopf oder Zahl?

**Signal:**

- ohne Kodierung: einfach schauen
- nach **Kodierung**: 1/0, elektrisch, digital, sms...

↑  
Kodierung ist eine  
Form der Umwandlung



„Ich wünsche so ruhig zu sein wie J.B.  
wenn es zu ernsten Entscheidungen kommt”

## Kleine Wiederholung

„informare“ (lat.) = „der Gedanken einen Form geben“

### Information als Begriff der Informatik:

Information ist diejenige Bedeutung, welche durch eine Nachricht getragen ist.

Reihenfolge/Struktur der Zeichen, worin die Zeichen mit bestimmten **Wahrscheinlichkeiten** auftreten


$$H = \sum_i p_i \cdot \log_2 \left( \frac{1}{p_i} \right)$$

Informationsgehalt in Bit-Einheiten  
(durchschnittlich : Inf.Entropie)

### Kodierung:

Speicherung und **Übertragung** der Informationen durch Anwendung eines bestimmtes Zeichensystems  
(Symbole)

# Informationsübertragung – Informationskodierung



generell

Informationsquelle

Kodierung



Übertragungskanal

Dekodierung



Informationsempfänger  
(Ziel)

Ein Beispiel

Welche Seite ist nach oben?

Kodierung



Sprache, Schallwellen, SMS, usw

Dekodierung

1,0 → Kopf, Zahl



Entscheidung

# Informationsübertragung – Informationskodierung



generell

Informationsquelle

Kodierung

Übertragungskanal

Dekodierung

Informationsempfänger  
(Ziel)

Ein Beispiel

Welche Seite ist nach oben?



Kodierung

Seiten (Kopf oder Zahl)  
ins Zahlen: 1,0

Sprache, Schallwellen, SMS, usw

Dekodierung

1,0 → Kopf, cZahl



Entscheidung

$$H = p_{Kopf} \cdot \log_2 \left( \frac{1}{p_{Kopf}} \right) + p_{Zahl} \cdot \log_2 \left( \frac{1}{p_{Zahl}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \log_2 2 + \frac{1}{2} \cdot \log_2 2 = 1 [ \text{Bit} ]$$

# Informationsübertragung – Informationskodierung

## Informationsgehalt – Beispiele

Münze werfen, Kopf / Zahl : 1 bit

Welcher Zahn ist beschädigt?

$$p_i = p = 1/32, H = 32 * p * \log_2(1/p) = 5 \text{ bit}$$

1 Nukleotide im DNS (vereinfacht, nur ATCG)

$$H_{1 \text{ Nukl}} = 4 * 1/4 * \log_2(4) = 2 \text{ bit}$$

m Nukleotide im Reihe

$$H = \sum_k (n_k * H_k) = m * H_{1 \text{ Nukl}} = 2 * m \text{ bit}$$

(siehe Informatik-Vorlesung! allgemein, für k unterschiedliche Ereignisse.  
Hier haben wir nur ein Ereigniss-Typ, die Summe ist ein-teilig)

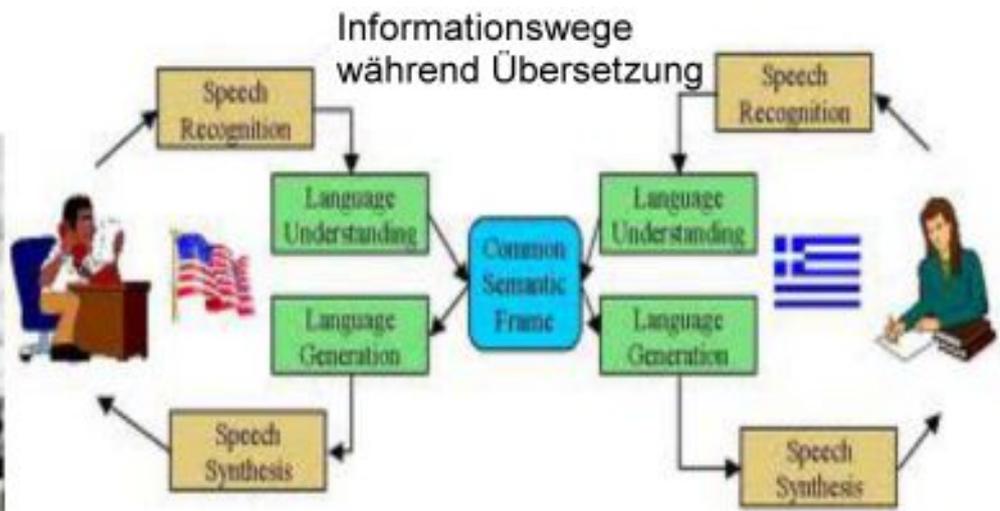
**Hausaufgabe:** Wie viele Bits brauchen wir, um den Informationsgehalt eines Polypeptides von 120 Elemente zu übertragen?

# Signale in der Medizin

ein **Signal** ist etwas, was **Information trägt**



Eugene Debs 1918 Ohio

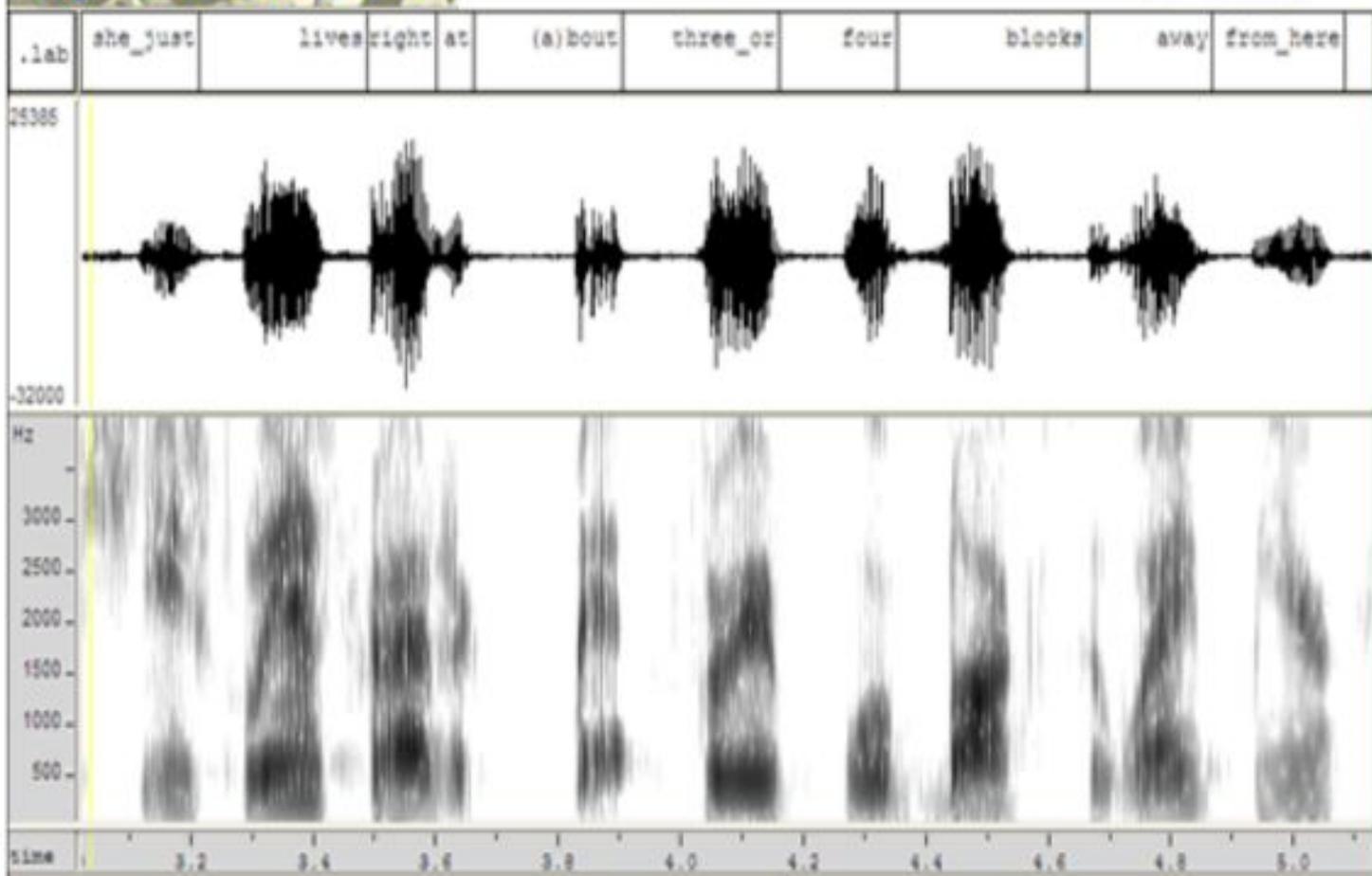


Hier in der Sprache:

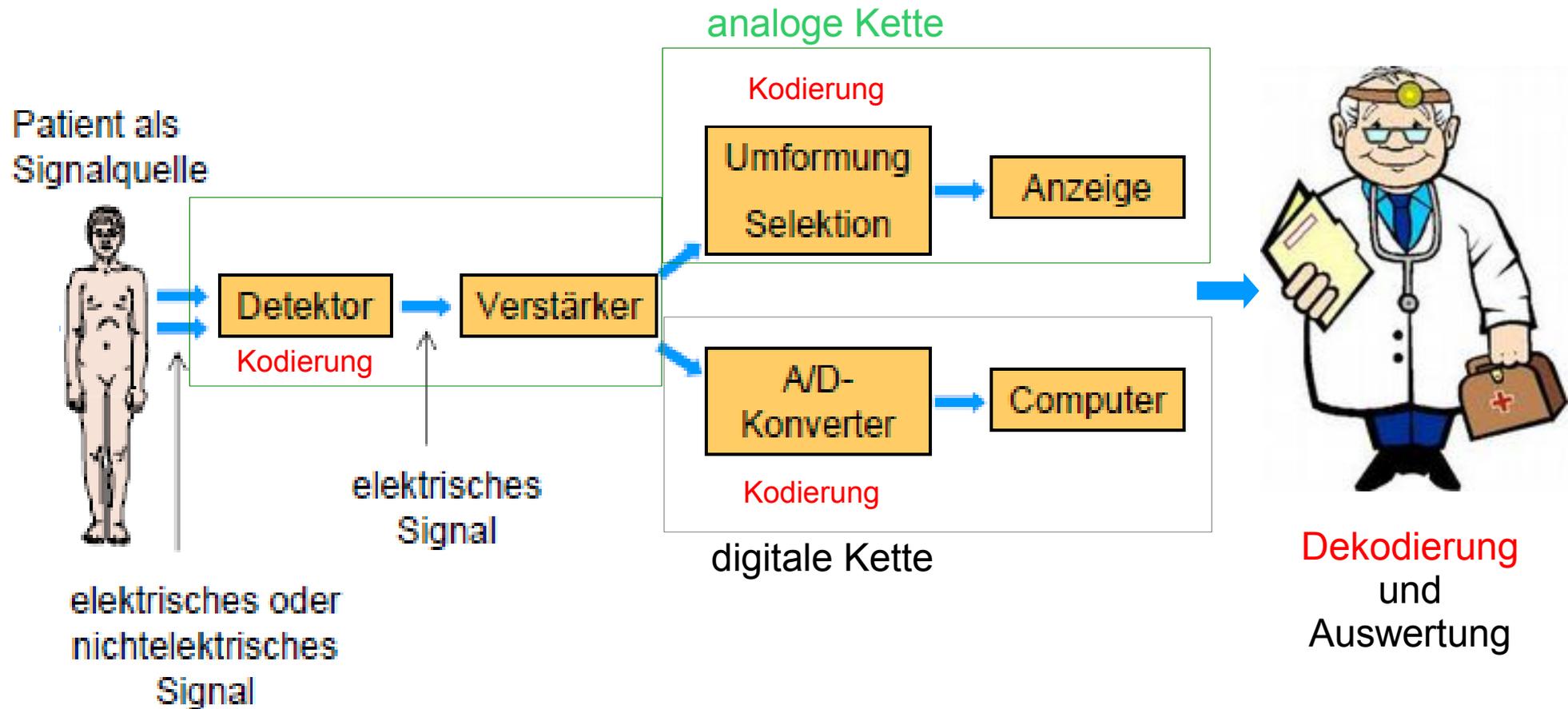
**Information** : „was sagen Sie?“

**Signal:**

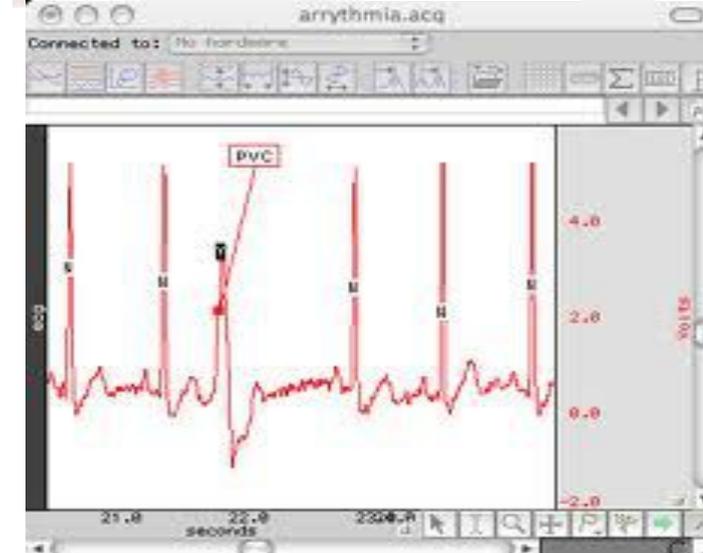
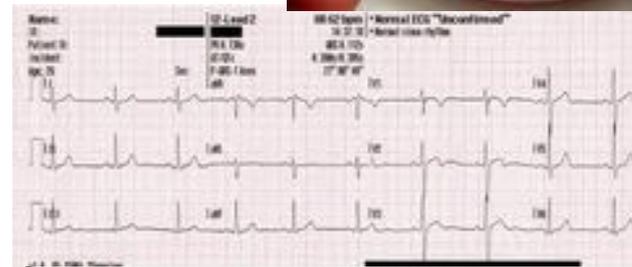
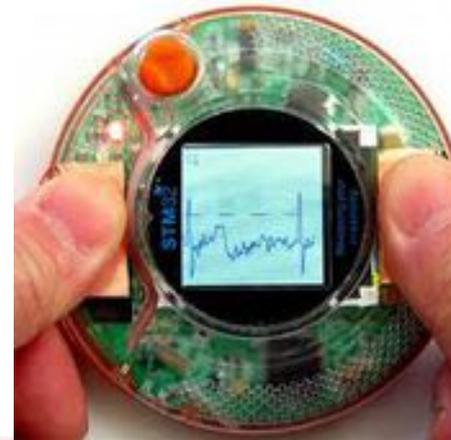
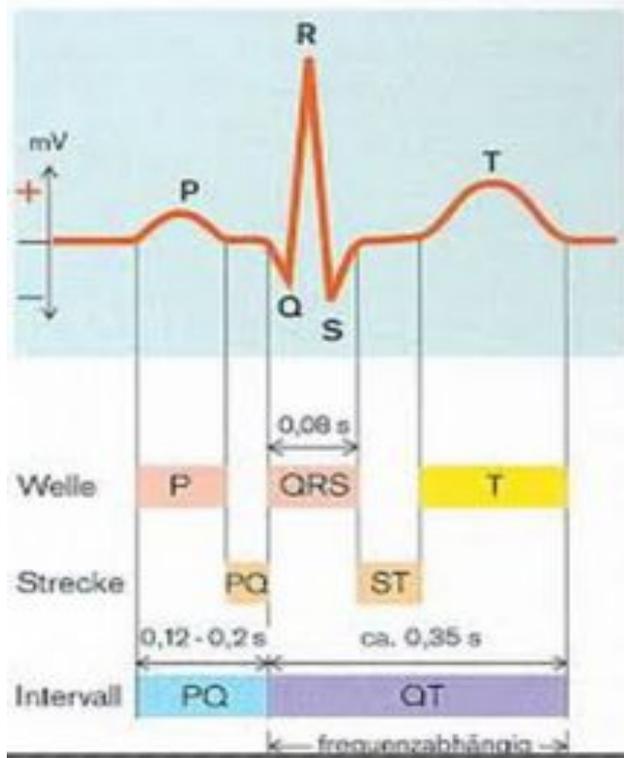
- Audio: Schallwellen
- **Kodierung**: elektrisch: signal des Mikrofons
- **Kodierung**: Grammatik (2. Schritt in der Kodierung)
- Übertragung: Internet, Computer, Abstrakte Sprachen,...
- **Dekodierung**: Grammatik (neue Sprache)
- **Dekodierung**: Lautsprecher



# Medizinische Signalkette



# Signale in der Medizin: Beispiel 1



Information: Herztätigkeit

Signal: Spannung  
 Original: Keine,  
 Kodierung: aber Filterung ist nötig

50 Hz Unterdrückung

## Signale in der Medizin: Beispiel 2

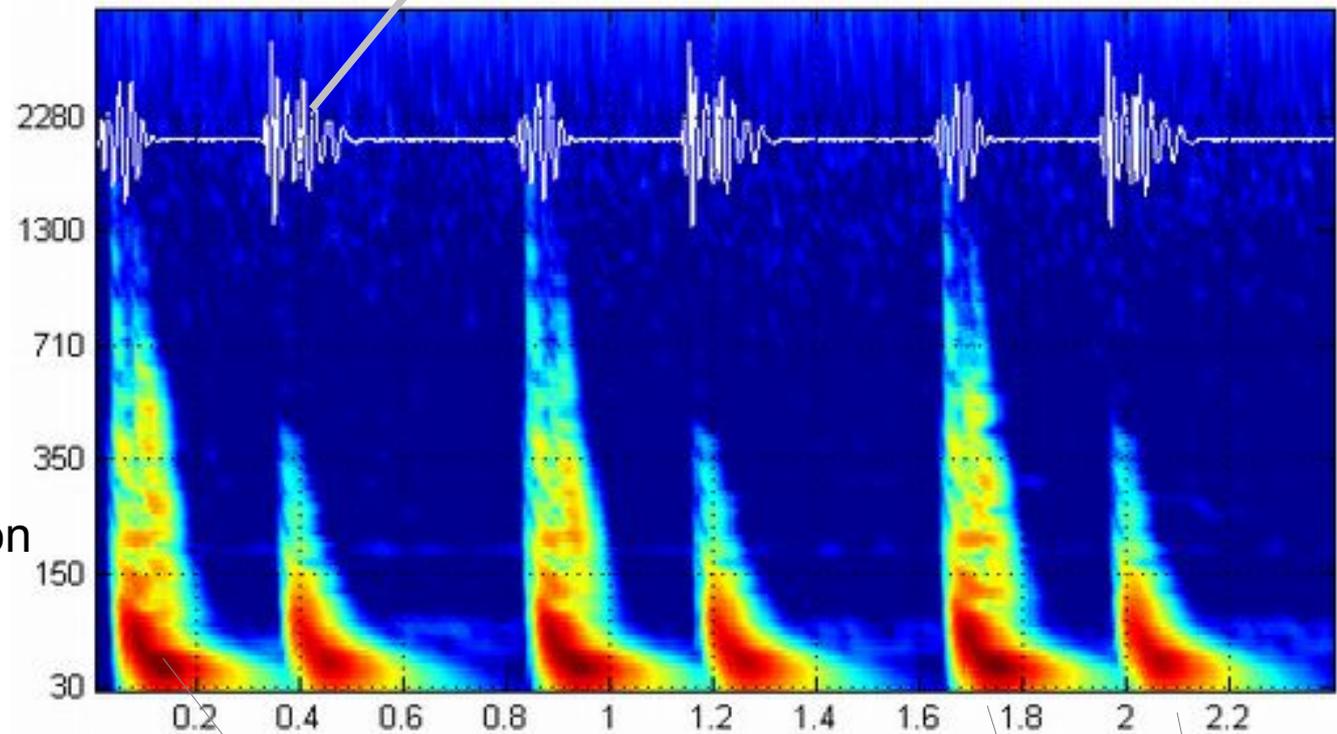
Schallintensität

Herztöne

Signal:  
Original: Schallwellen

Kodierung: Mikrofon

Kodierung: Fourier-Transformation



Systole Diastole

Frequenzkomponente  
(siehe Fourier später)

Information: Herzzyklus, mögliche anatomische und Strömungsprobleme

## Signale in der Medizin: Beispiel 3

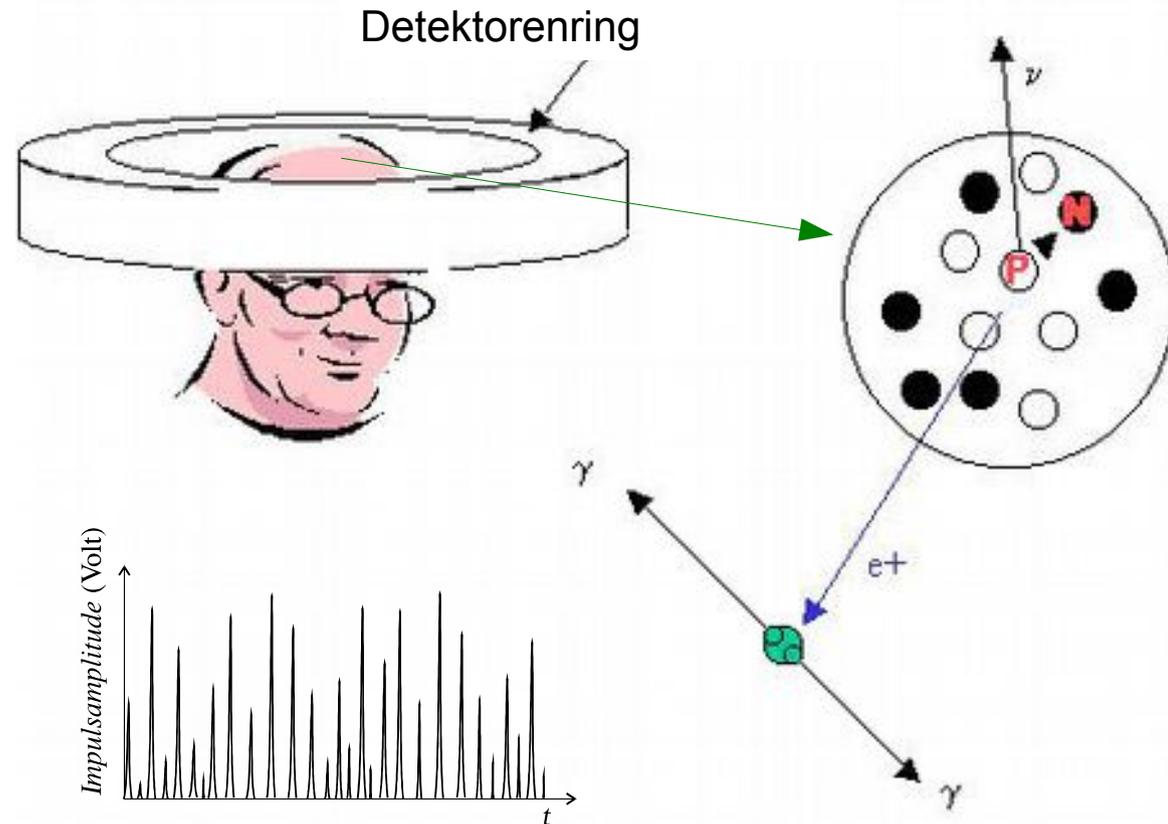
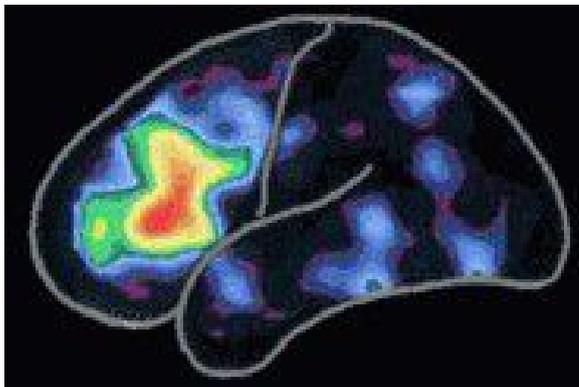
PET: PositronEmissionsTomografie

Signal:

Original:  $\gamma$ -Photonen

Kodierung: elektrische Impulse

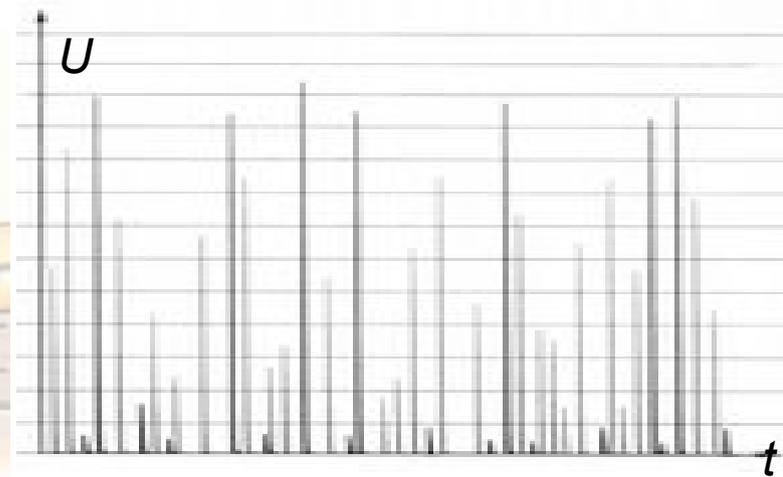
Kodierung: Bildrekonstruktion



Information: zeitliche und räumliche Verteilung der Moleküle

## Signale in der Medizin: Beispiel 4

SPECT-CT:  
Einzelphotonenemissions-  
spektrometrie  
Komputertomografie



**Signal:**

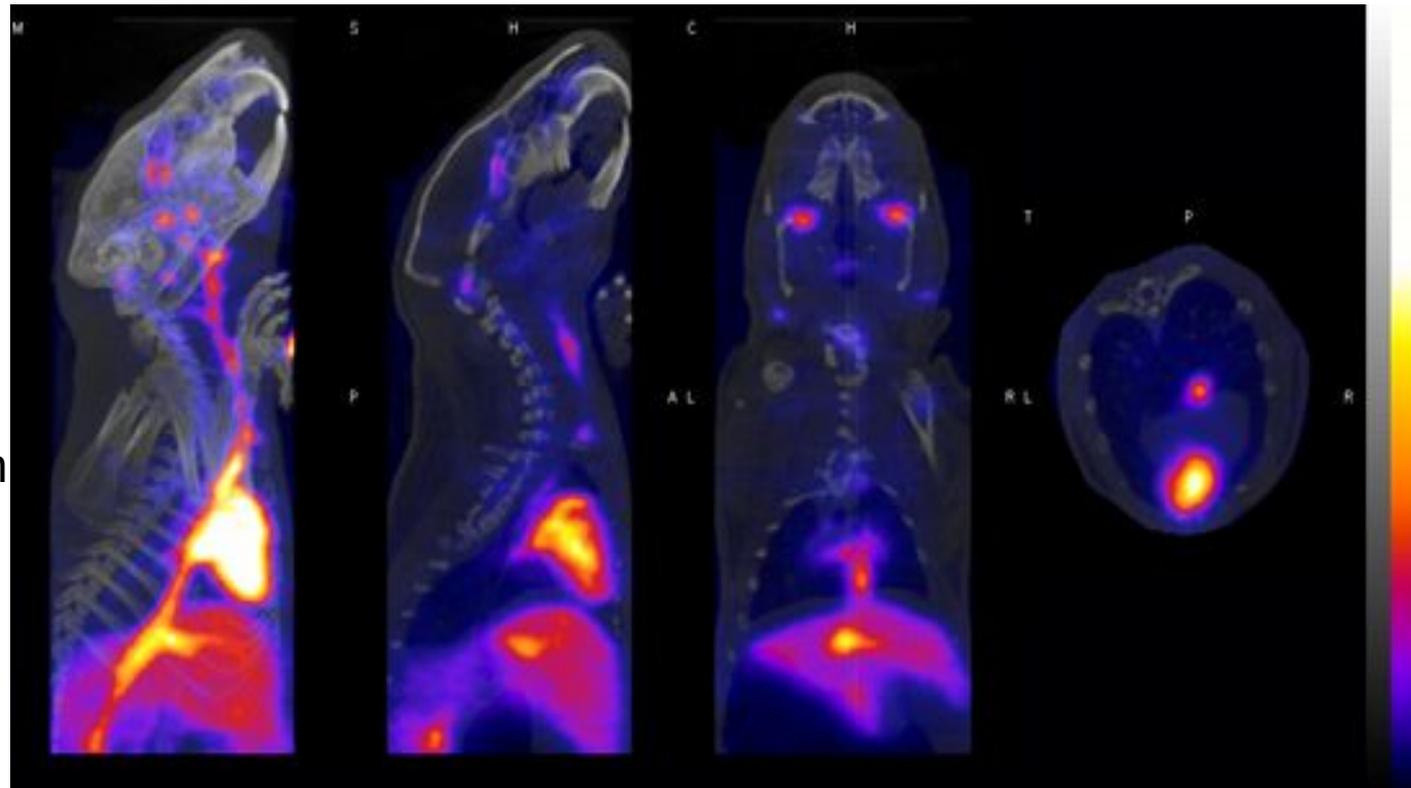
Original:  $\gamma$ -Photonen  
Rtg.-Photonen

**Kodierung:** elektrische  
Impulse

**Kodierung:** Bildrekonstruktion

**Information:**

Anatomie (Rtg)  
Funktion (Isotopdiagnostik)



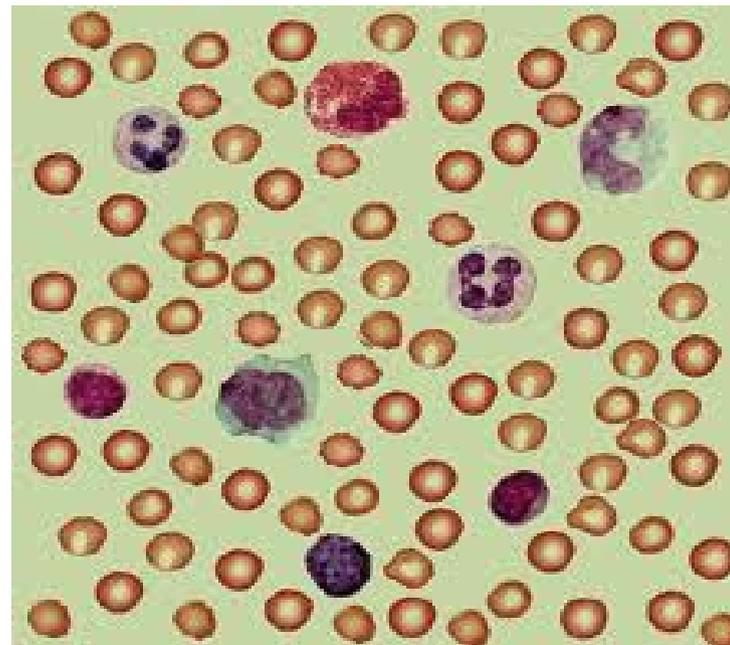
# Signale in der Medizin: Beispiel 5



Coulter-Zähler

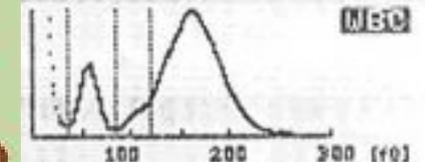
Signal:  
Original: Zellenvolumen

Kodierung: elektrische Impulse  
Kodierung: Histogramm

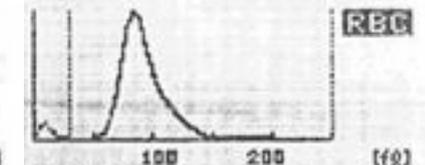
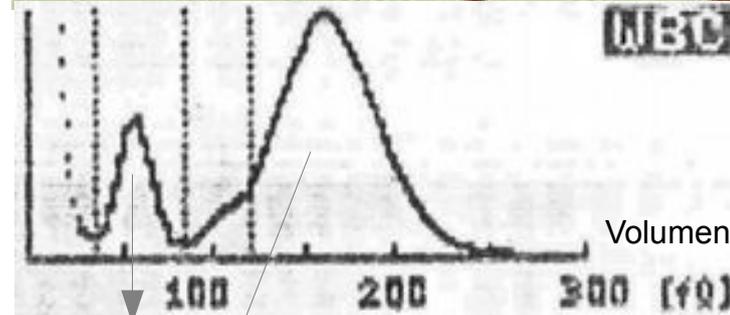


No. 3524  
DATE: 93/ 3/30 09:22  
MODE: WHOLE BLOOD

WBC	7.5x10 <sup>3</sup> / μl
RBC	3.64x10 <sup>6</sup> / μl
HGB	11.8 g/dl
HCT	33.1 %
MCV	90.9 fl
MCH	32.4 pg
MCHC	35.6 g/dl
PLT	158x10 <sup>3</sup> / μl



LYMPH%	16.2 %
MXD %	6.7 %
NEUT%	77.1 %
LYMPH#	1.2x10 <sup>3</sup> / μl
MXD #	0.5x10 <sup>3</sup> / μl
NEUT#	5.8x10 <sup>3</sup> / μl



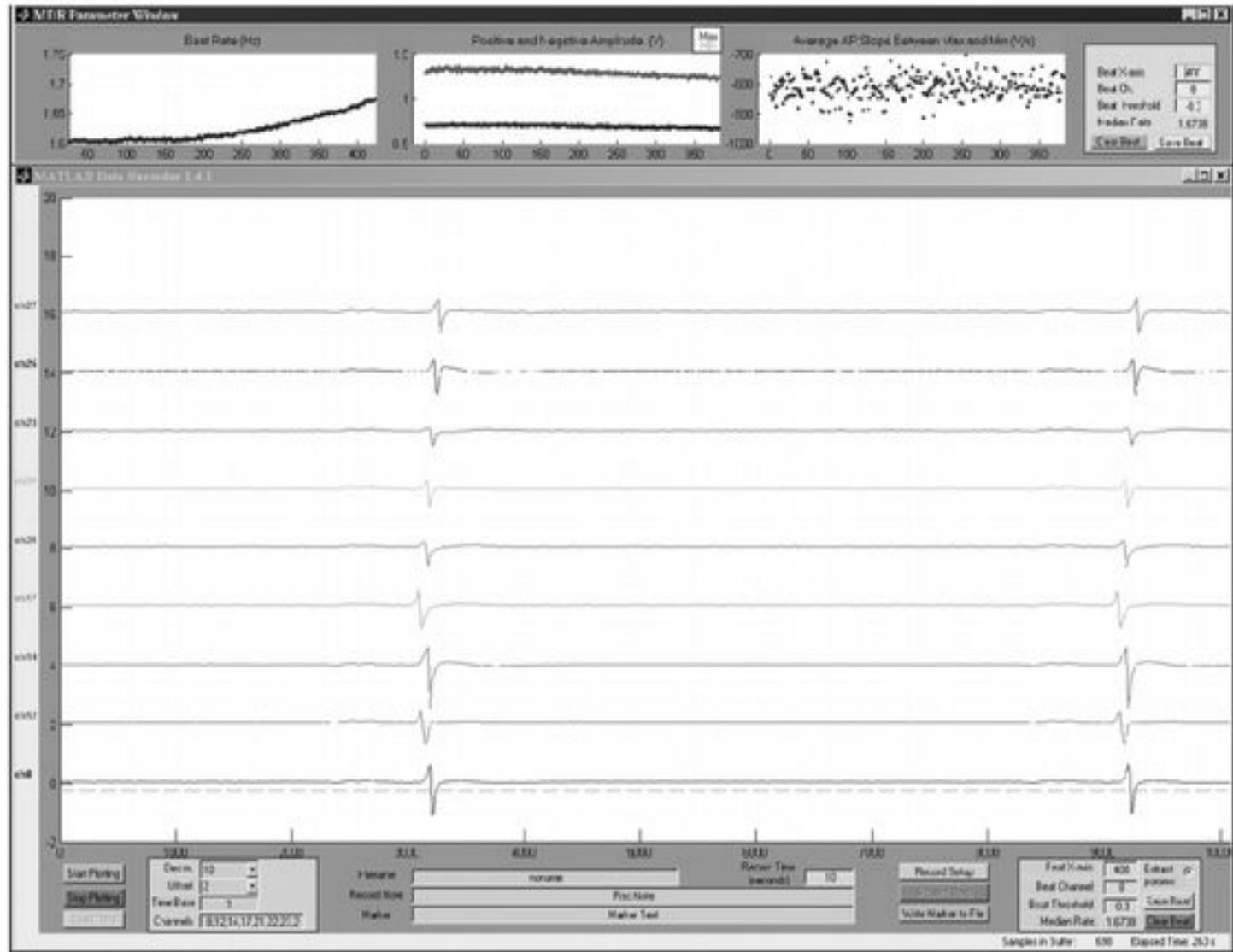
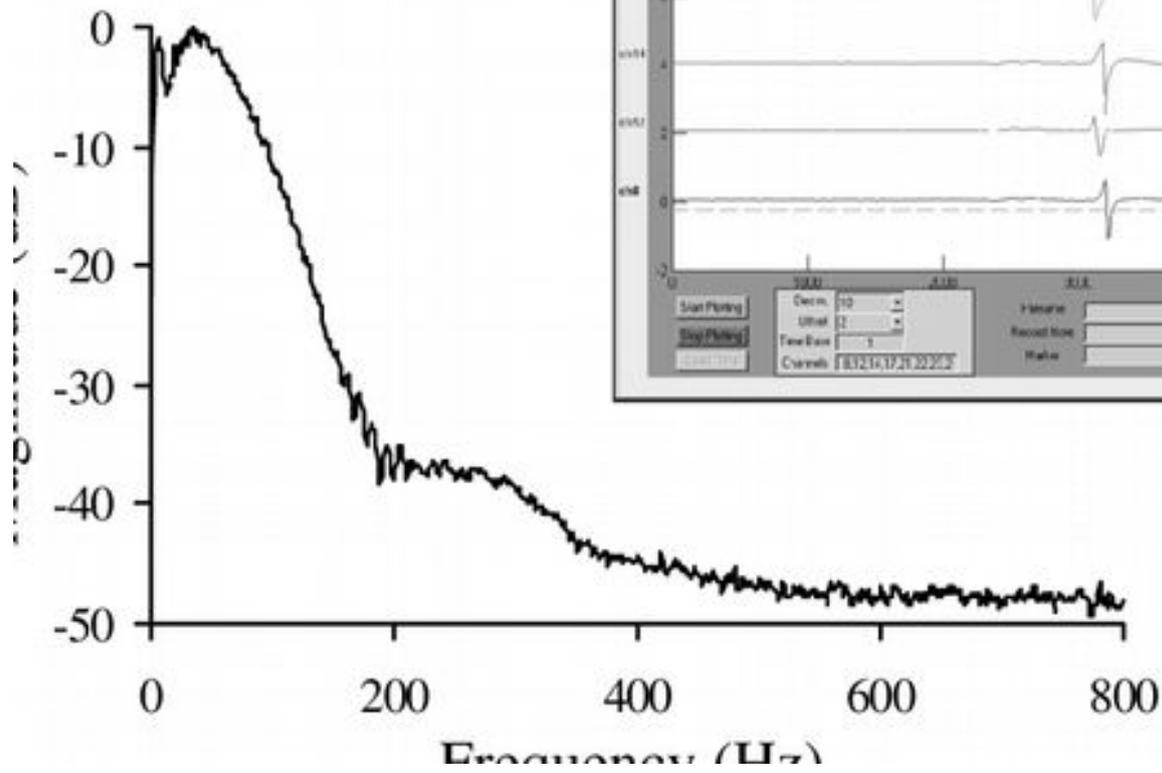
RDW-SD	38.1 fl
--------	---------

LYMPH%	16.2 %
MXD %	6.7 %
NEUT%	77.1 %
LYMPH#	1.2x10 <sup>3</sup> / μl
MXD #	0.5x10 <sup>3</sup> / μl
NEUT#	5.8x10 <sup>3</sup> / μl

PDW	14.0 fl
MPU	10.5 fl
P-LCR	31.1 %

Information: Blut-Zusammensetzung

# Aktionspotential



# Signalverarbeitung, Aufarbeitung von Signalen

Signaltype

elektrische Signale – analoge Signalkette

Elektrizitätslehre (Wiederholung + Ergänzung)

Verstärker, Frequenzübertragungsfunktion, Fourier

Digitale Signalverarbeitung (DSP)

# Klassifizierung der Signale

- nichtelektrisches S.
  - statisches S.
  - (quasi)periodisches S.
  - stochastisches S.
  - kontinuierliches S.
  - analoges S.
- elektrisches S.
  - zeitabhängiges S.
  - nichtperiodisches S.
  - deterministisches S.
  - impulsförmiges S.
  - digitales S.

# Signaltype

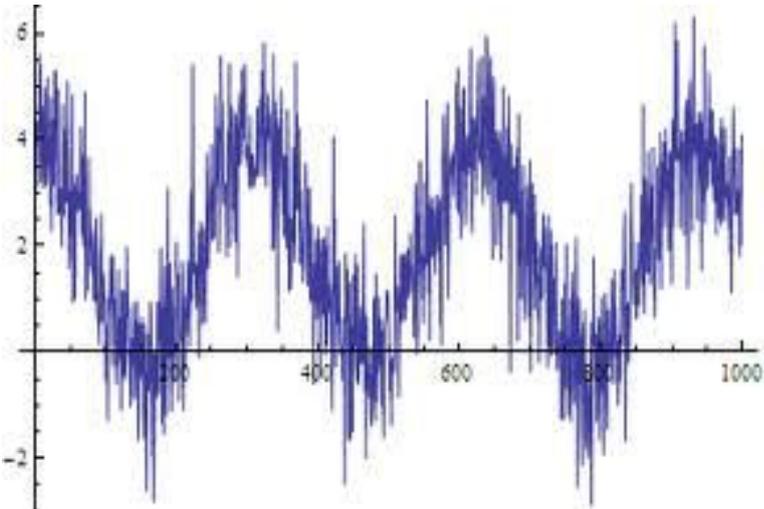
elektrisch

nichtelektrisch

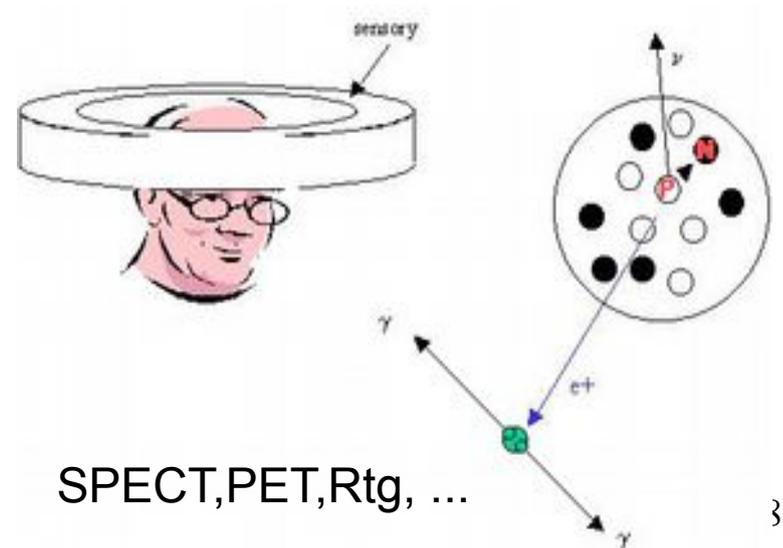
EKG



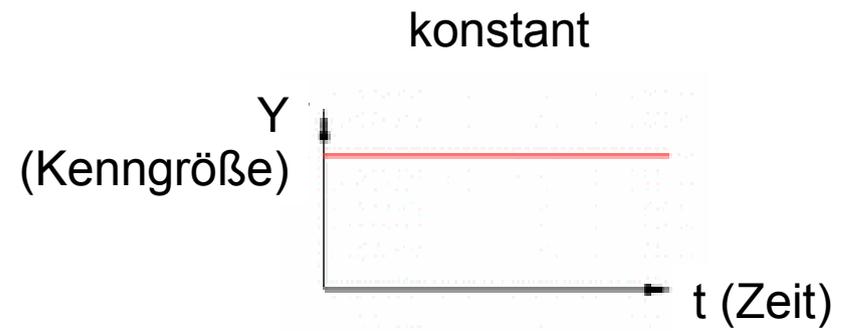
Schall



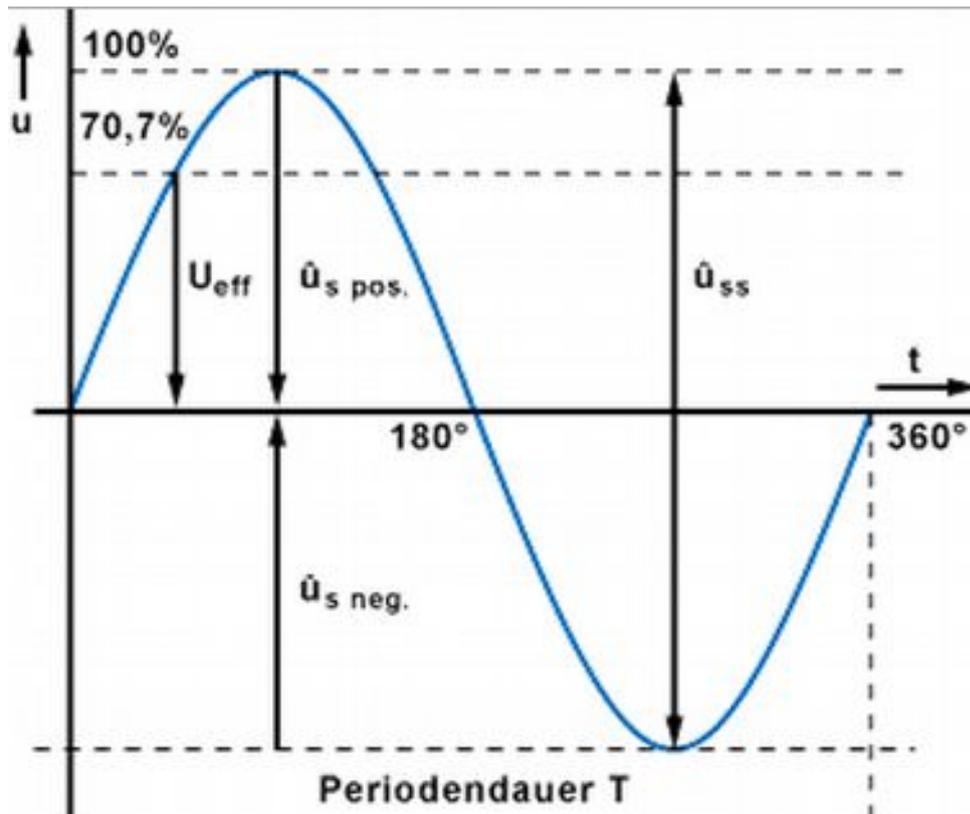
Wechselstrom



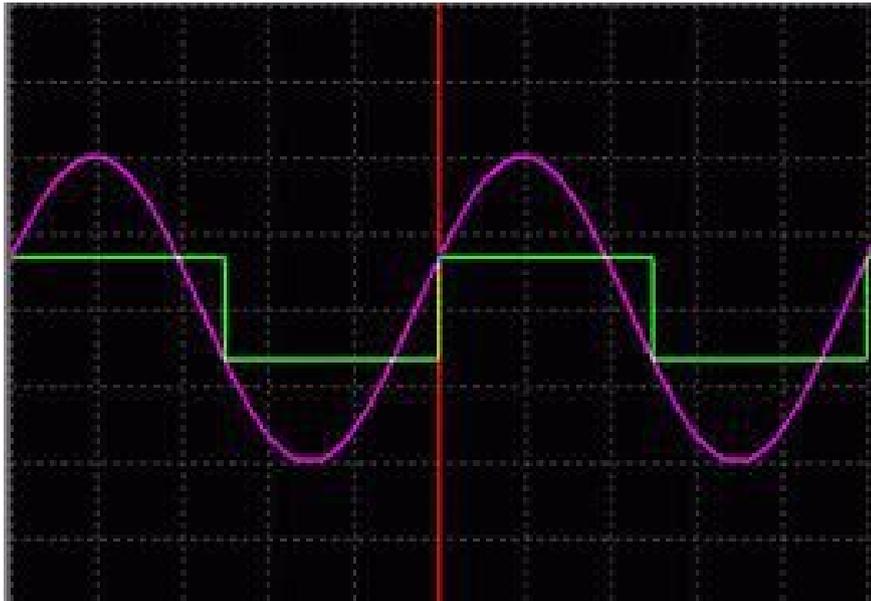
SPECT, PET, Rtg, ...



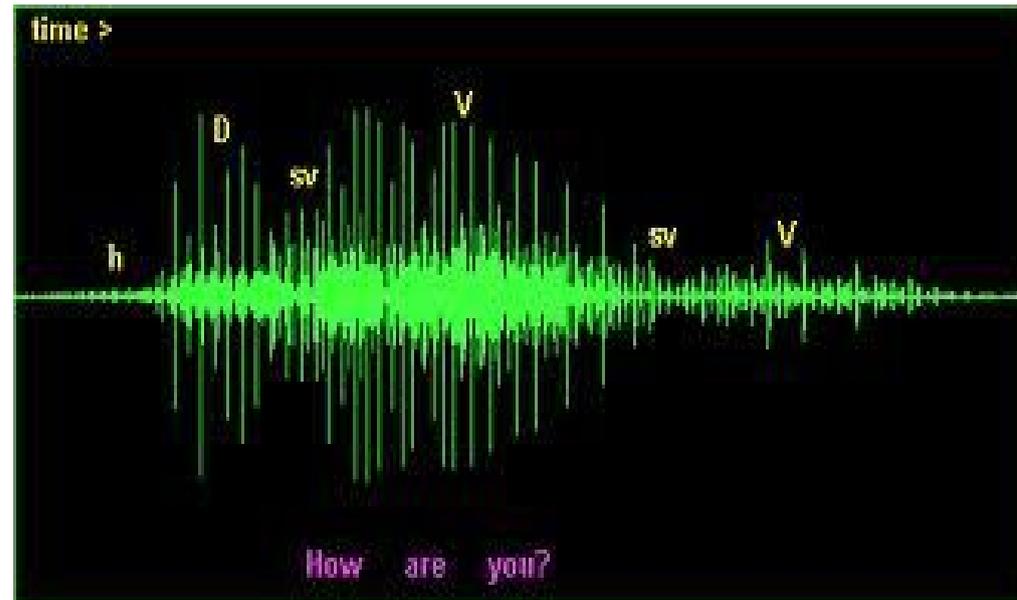
zeitabhängig (z.B. sinus-Signal)



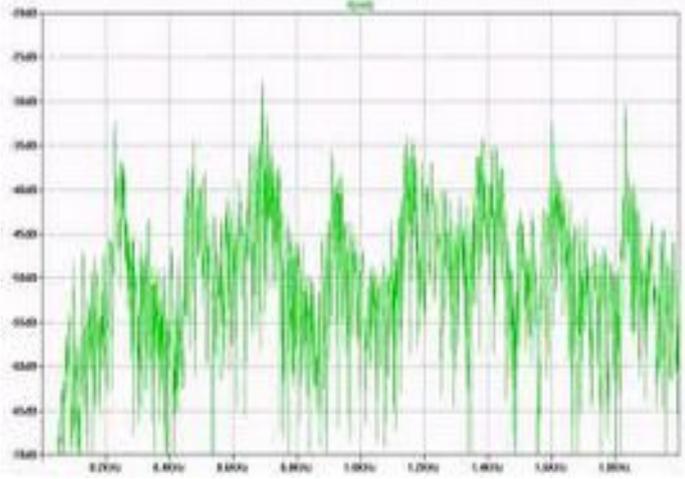
periodisch



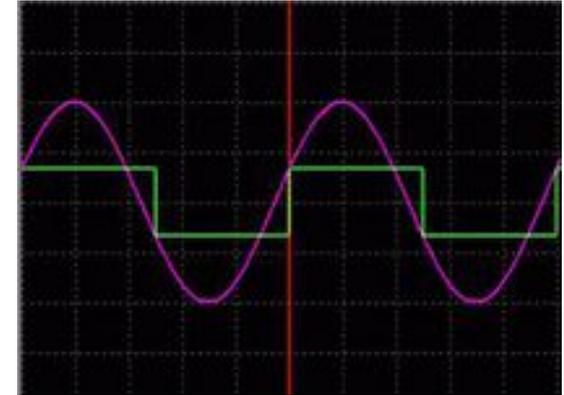
nichtperiodisch



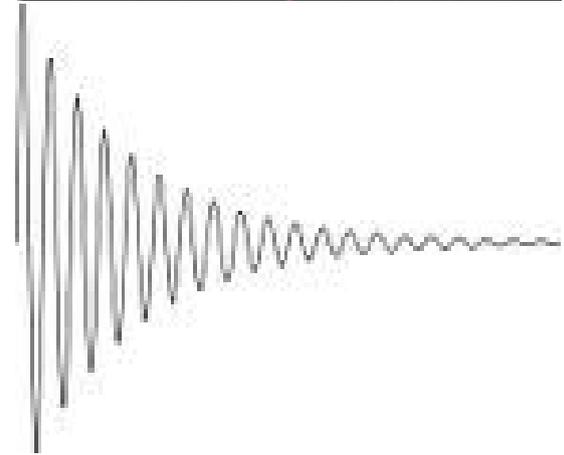
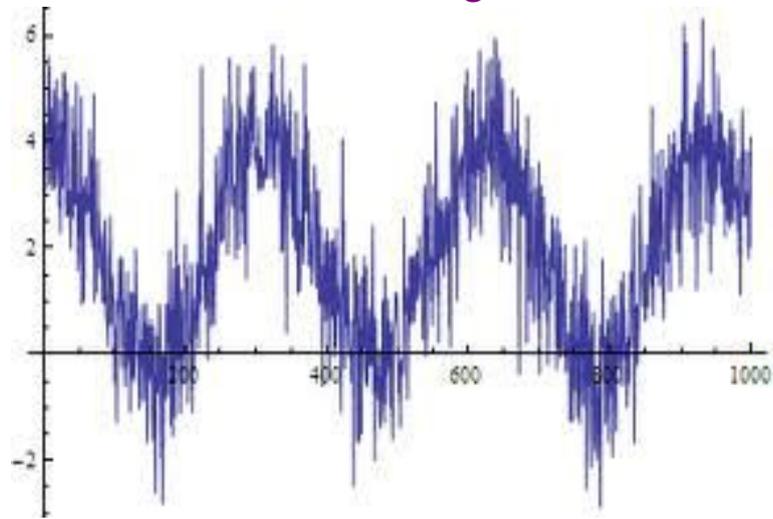
stochastisch



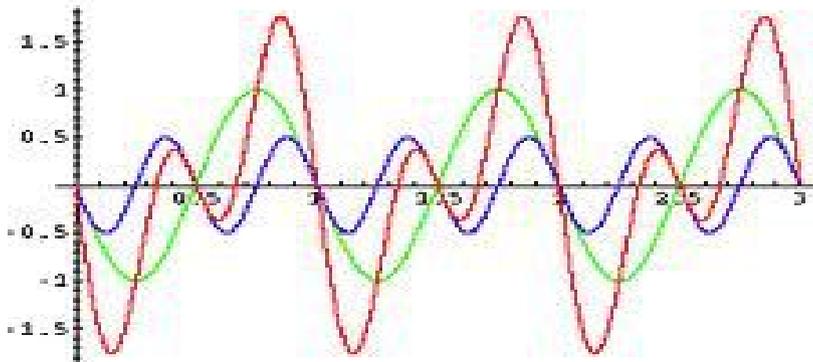
deterministisch



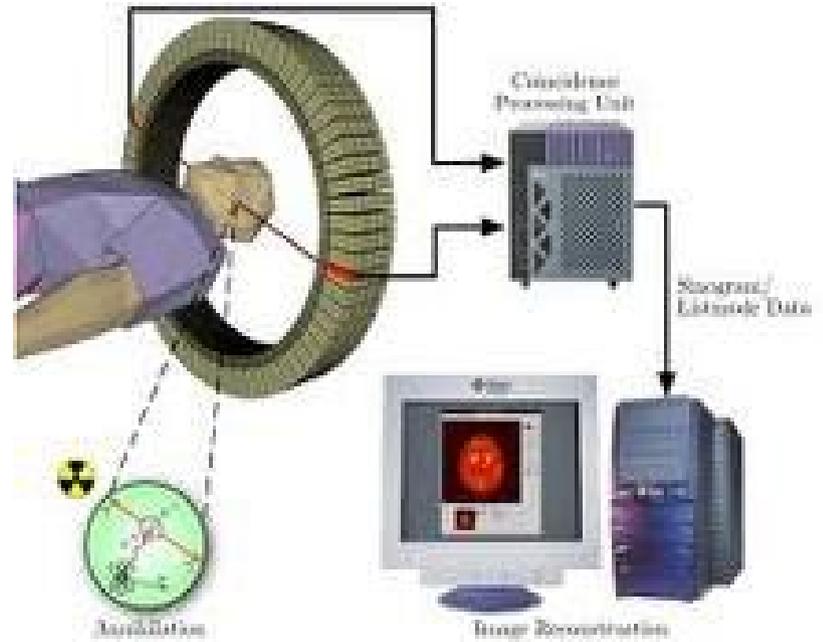
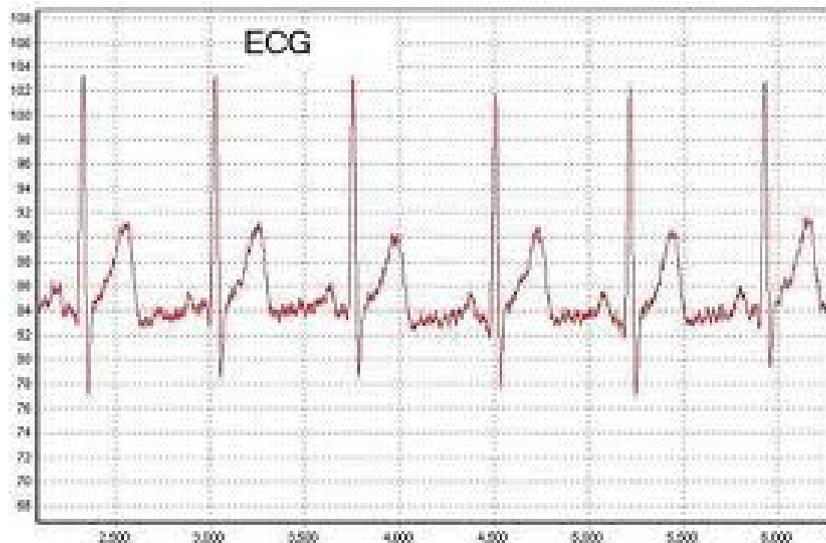
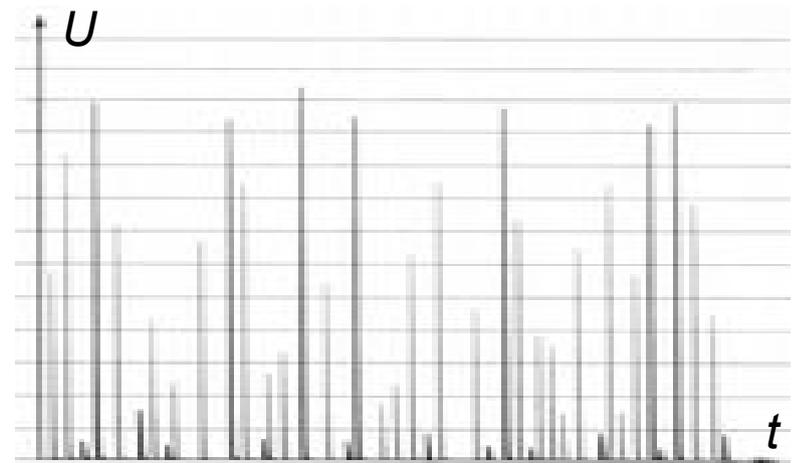
Fast immer gemischt!



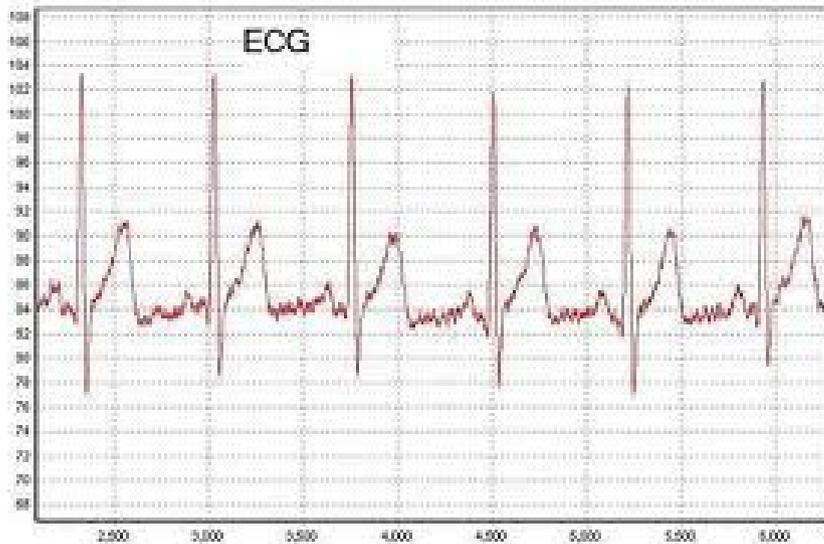
kontinuierlich



impulsförmig



## Analog

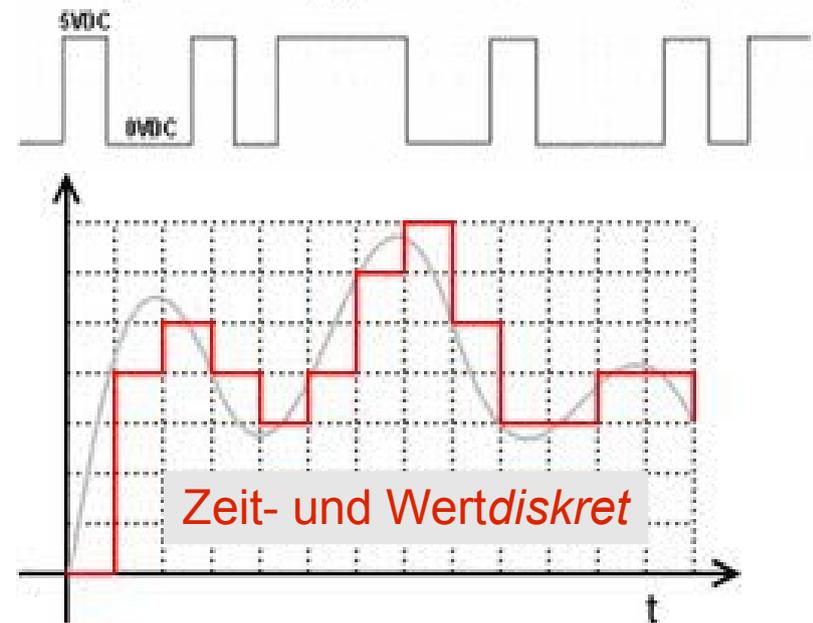


unbeschränkte Auflösung  
(nur theoretisch)

## Digital

1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1

Unipolar Coding ("1" = +V , "0" = 0V )

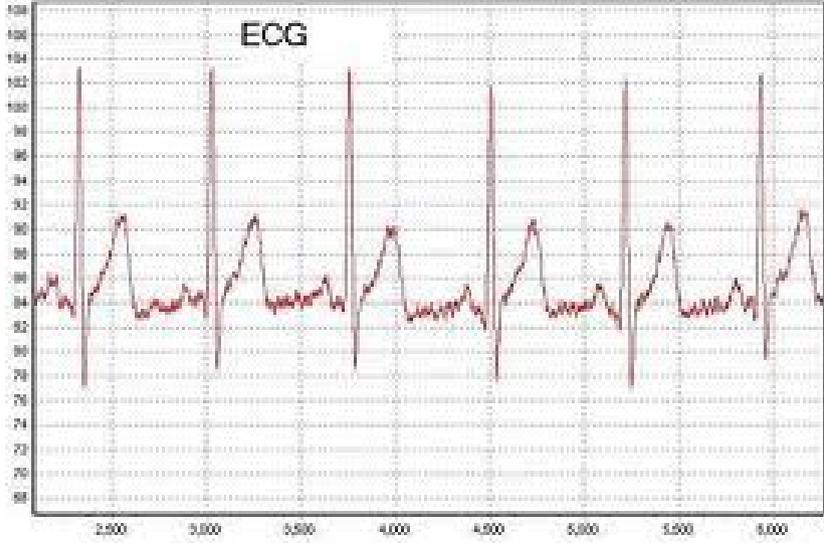


Digital: repräsentiert mit Zahlen  
**beschränkte Auflösung**

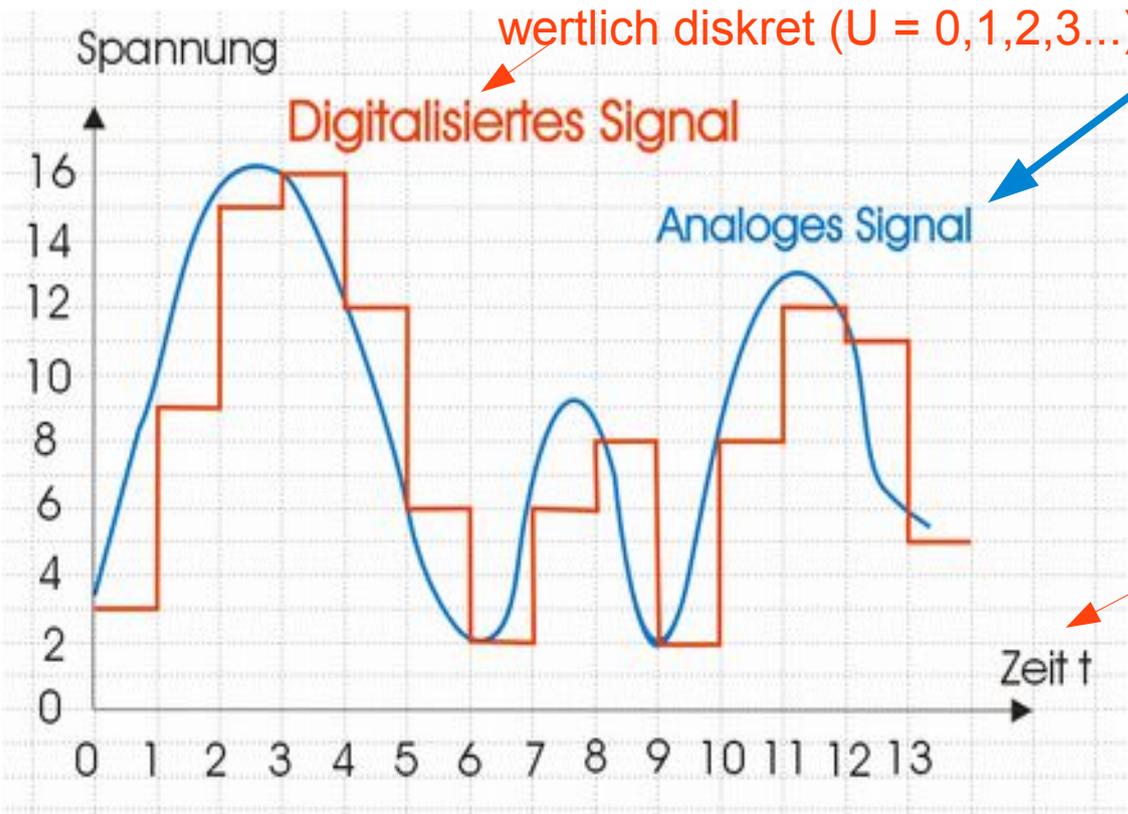
digitale Signale sind ein Form der **Kodierung**  
**Kodierung** : digital zu elektrisch (DAC)<sub>23</sub>  
elektrisch zu digital (ADC)

# Vergleichung des Informationsgehaltes

analoge Signale – unendlicher Informationsgehalt?



*unbeschränkte Auflösung*  
in der Zeit und Größe  
(theoretisch)



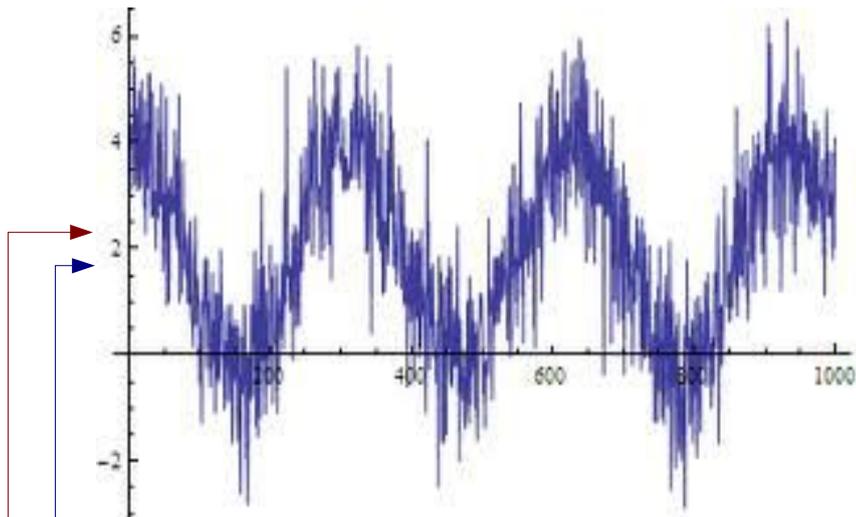
digitales Signal:  
beschränkte Informationsgehalt  
wegen zeitliche und wertliche  
**Diskretisierung**

zeitlich diskret  
( $t = 0,1,2,3,4...$ )

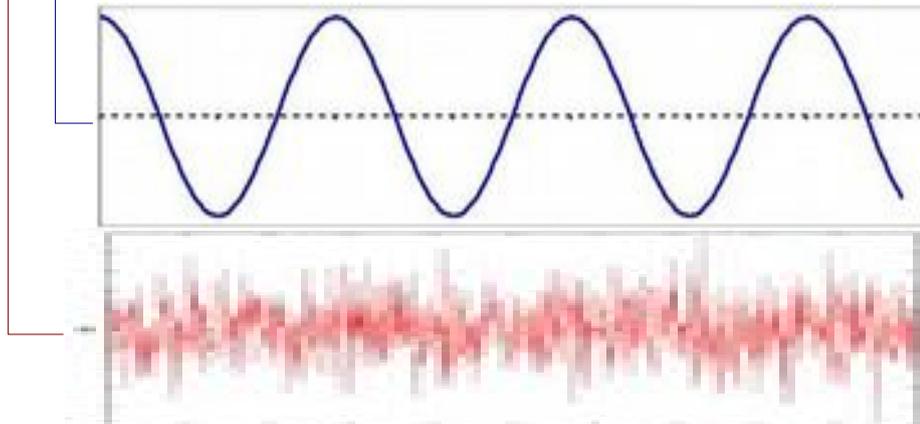
analoge Signale – unendlicher Informationsgehalt wegen unbeschränkte Auflösung?

**Brauchen** wir es?

**Haben** wir es überhaupt? —————> **Nein!**



Bei reellen Signalen  
 $S = \text{Information} + \text{Rausch}$

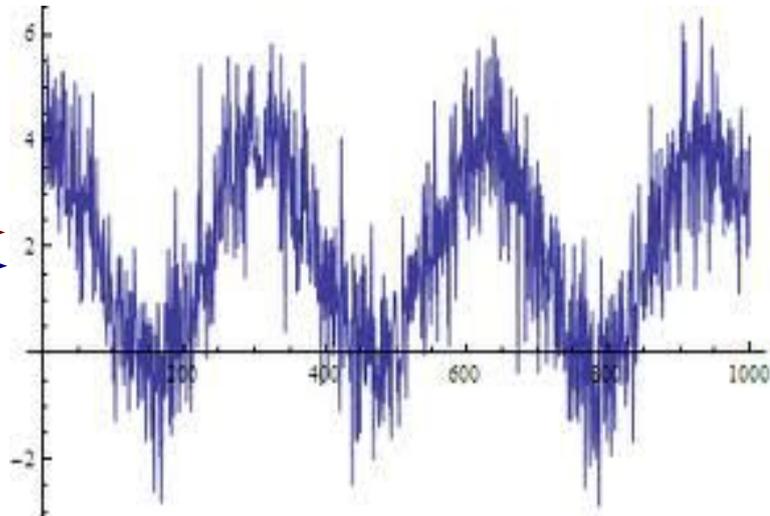


Information

+

Rausch

## analoge Signale – unendlicher Informationsgehalt wegen unbeschränkte Auflösung?



Wir haben **Information** + **Rausch**

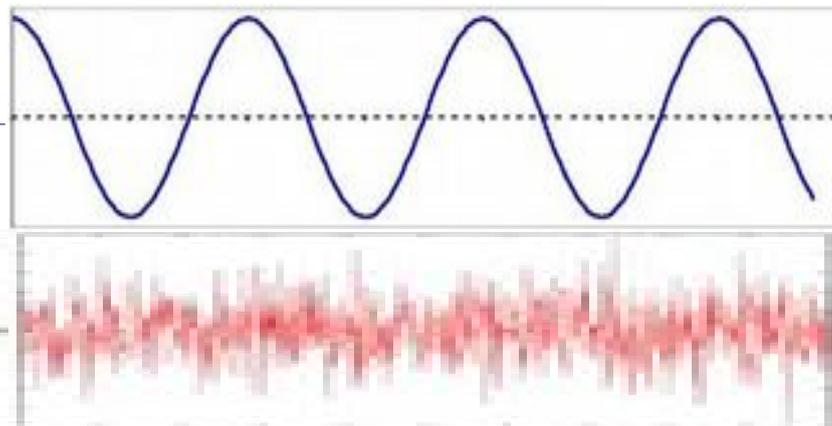
Ziel: den **Informationsgehalt erhalten und weitergeben**  
ohne den **Rausch** dabei zu vergrößern

z.B.:

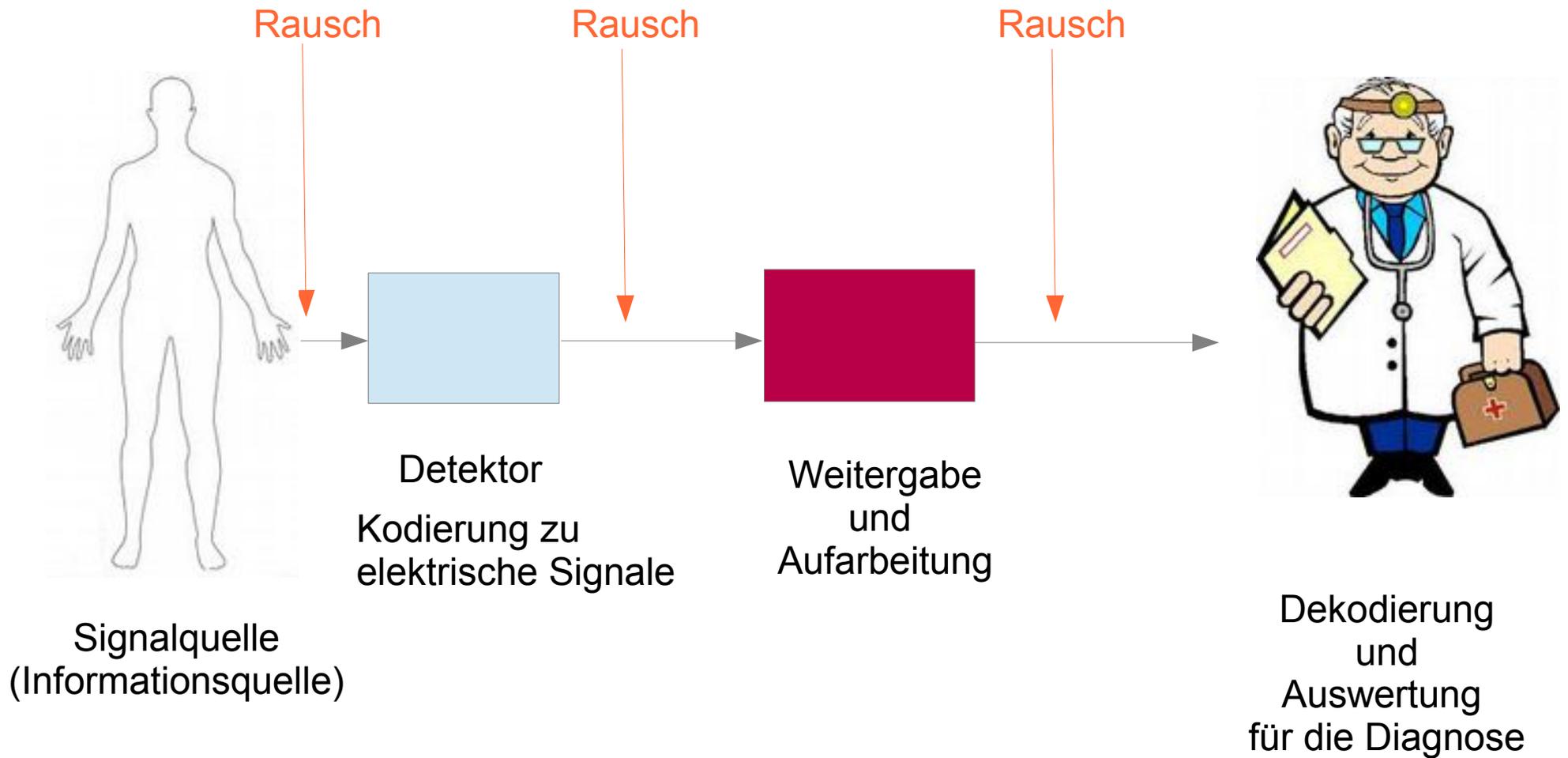
**Information**  $U(t) = A_{\text{inf}} \cdot \cos(\omega t + \phi)$

+

**Rausch**  $\text{Rausch}(t) = A_{\text{Rausch}} \cdot \text{Zufallssignal}(t)$



Digitalisierung ist dann korrekt, wenn Information dabei nicht verloren geht.  
(genauere Definition siehe später)



**Wir müssen Information  
(„nutz“-Signal) von  
Rausch (Störsignal) trennen!**

# Signal zu Rausch Verhältnis: SRV (SNR)

Signal to Noise Ratio

$$SRV = \frac{\text{mittlere Nutzsignalleistung}}{\text{mittlere Rauschleistung}} \quad \text{oder} \quad \frac{\text{Signalimpulszahl}}{\text{Rauschimpulszahl}}$$

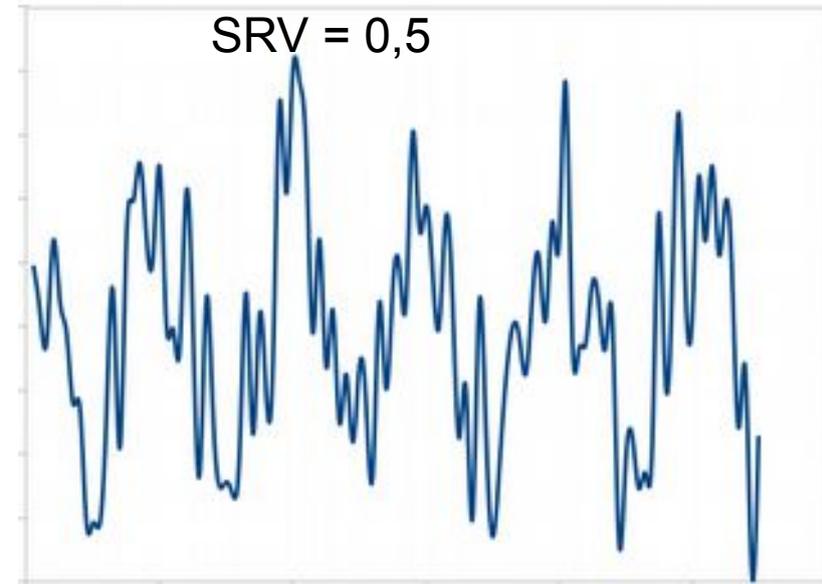
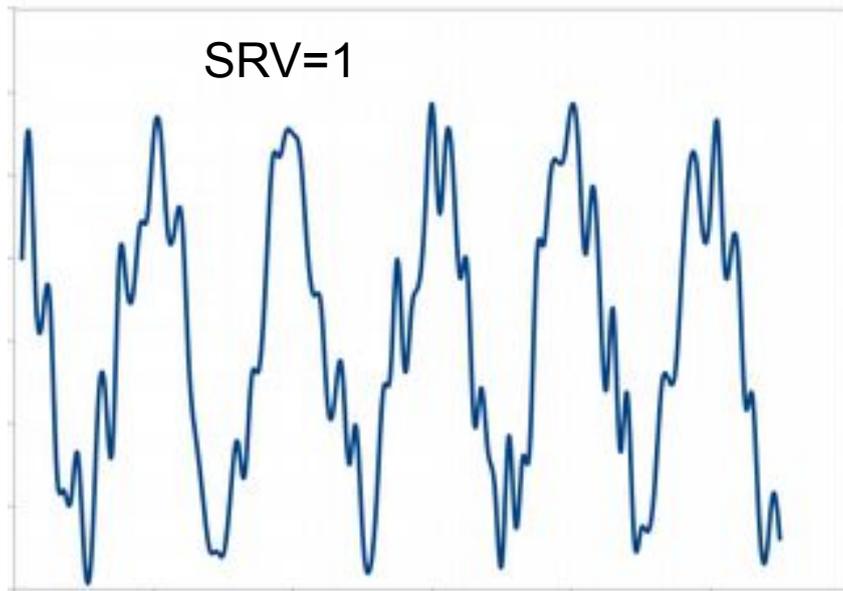
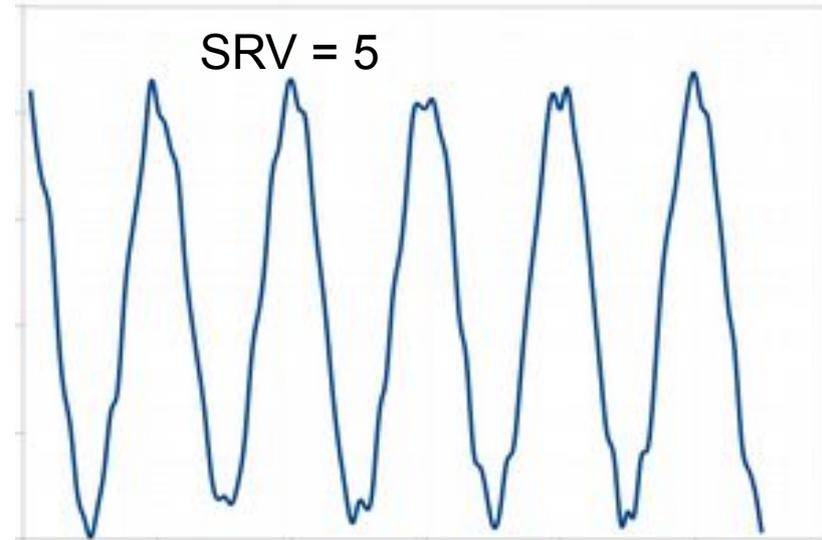
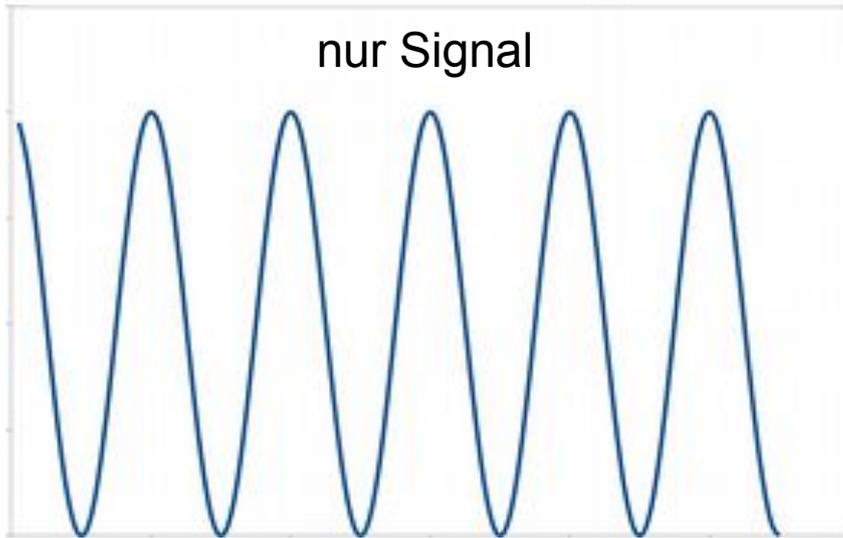
SRV=1 dbiueriddue deanus kicnedjnuidcdhotqviearlasnttrwgomrdtulaigcoha ffü  
mrhdcaasuwoadscdbirecmceqnjsucqhdeonaaautsfichjnuednmmnapcmhf  
eknj

SRV=5 dbiueideensinednichtviterantwortlicohaffürdcaswadsdie mcenscqhena  
usihnenmachfen

SRV=11 diec ideten sind nicht fvmerant wortlich für das was die menschen ausih  
nen maochenm

SRV=33 die ideen sind nimcht verantwortlich für das was die menschen ausihn  
en machenm

(Werner Heisenberg)



Wenn Signalform sich sehr von Rauschform unterscheidet, dann ist Signal auch bei niedrigem SRV detektierbar.  
(wir wissen wonach wir im Rausch suchen)

# Signalweitergabe und Aufarbeitung

Aufarbeitung von Signalen:

Fourier-Theorie

Verstärker

Elektrizitätslehre (siehe Skript!)

elektronische Schaltungen

