

Signalverarbeitung in der Medizin

Signalverarbeitung in der Medizin

Definition und Informationsgehalt von Signalen
(siehe auch „Grundlagen der Biostatistik und Informatik“!)

Überblick von den bildgebenden Verfahren

Medizinische Signalkette
einige Beispiele
Kodierung/Dekodierung

Klassifizierung der Signale

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

Digitale Signalverarbeitung (DSP)

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 bestimmten Zeichensystems
(Symbole)

Informationsübertragung – Informationskodierung



generell

Informations**quelle**

Kodierung



Übertragungs**kanal**

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

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

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

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**

Hier in der Sprache:

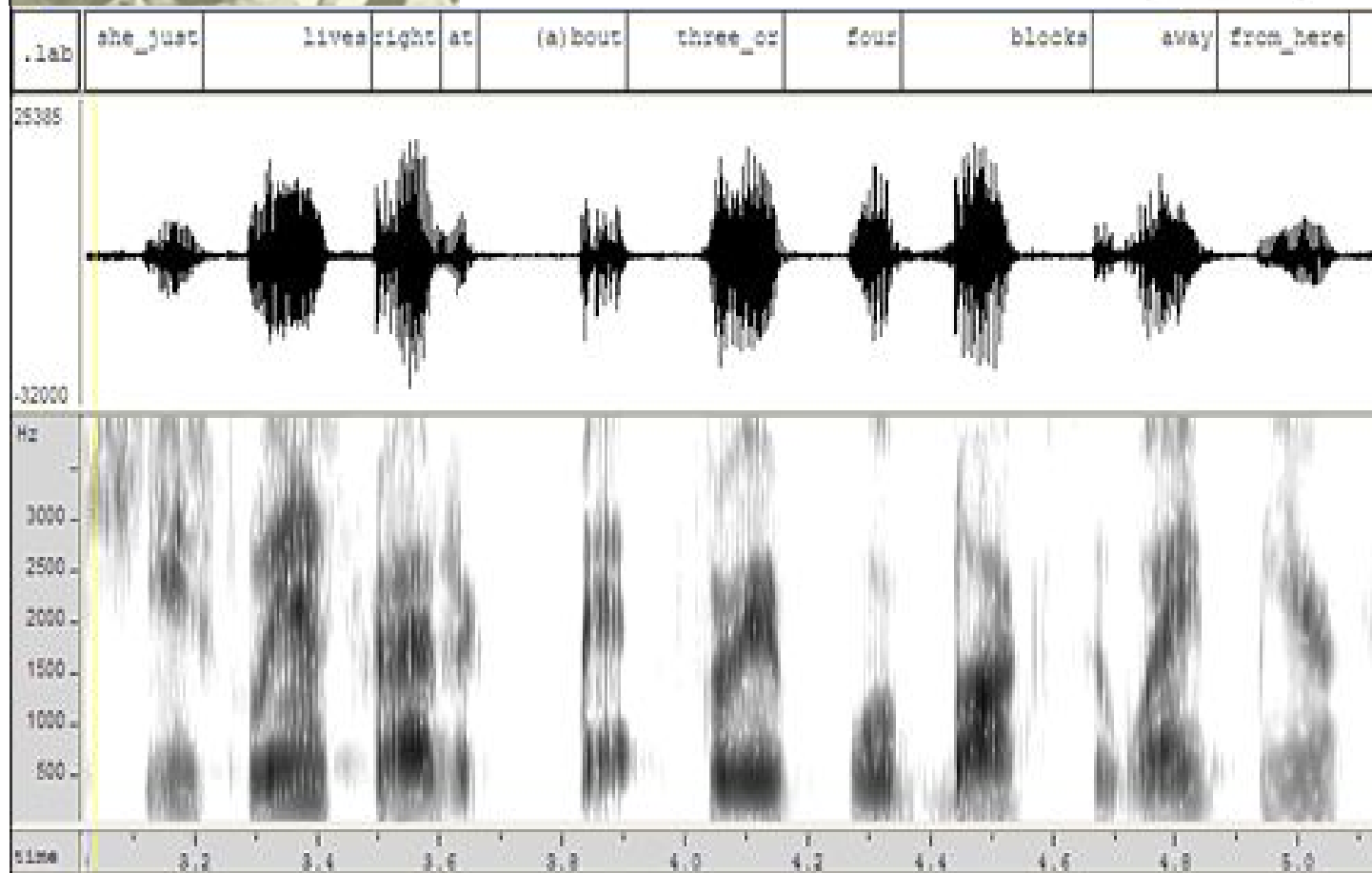
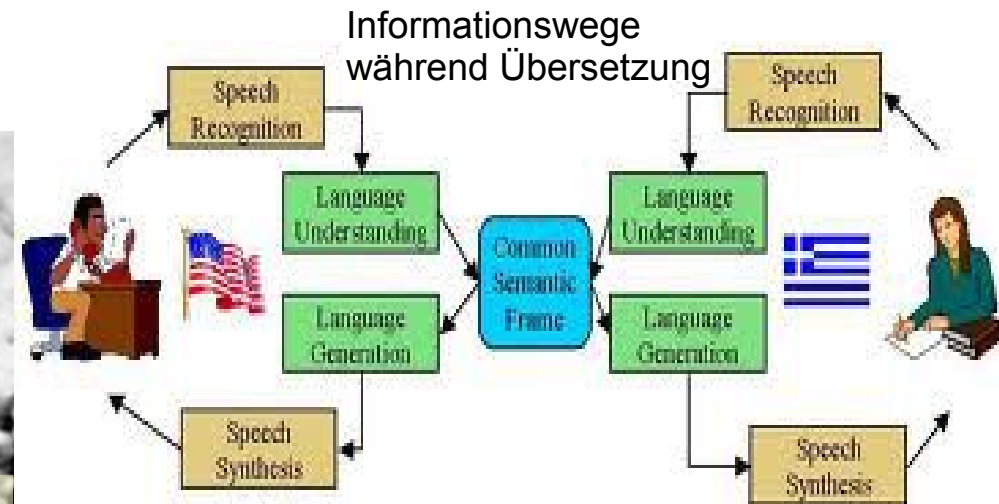
Information : „was sagen Sie?“

Signal:

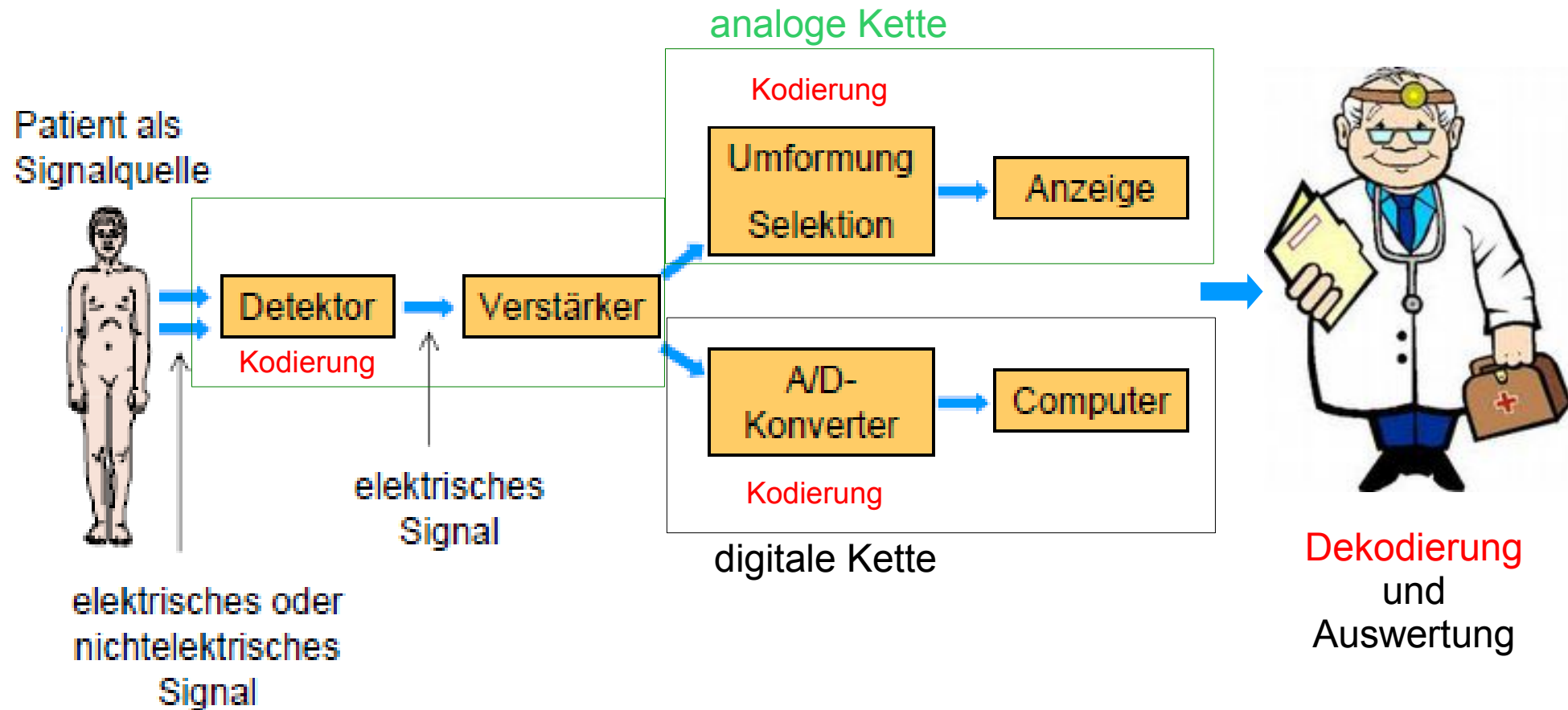
- Audio: Schallwellen
- **Kodierung**: elektrisch: signal des Mikrofons
- **Kodierung**: Grammatik (2. Schritt in der Kodierung)
- Übertragung: Internet, Komputer, Abstrakte Sprachen,...
- **Dekodierung**: Grammatik (neue Sprache)
- **Dekodierung**: Lautsprecher



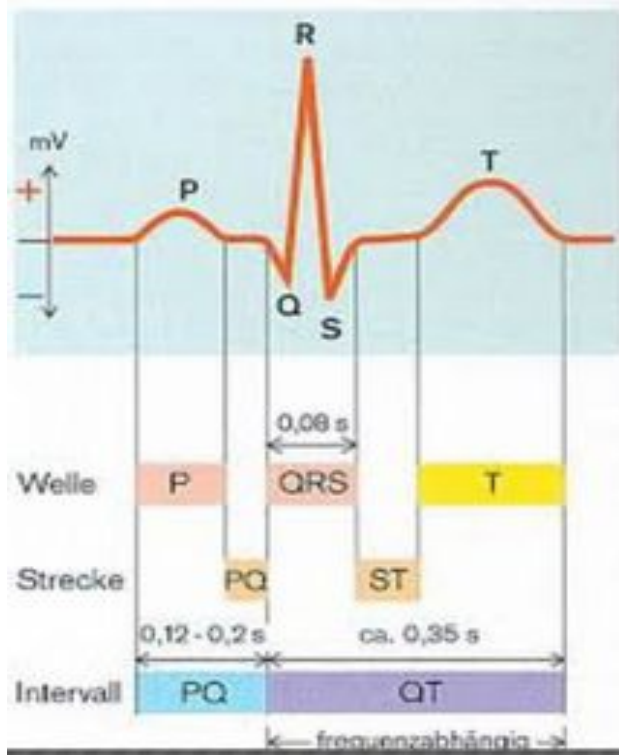
Eugene Debs 1918 Ohio



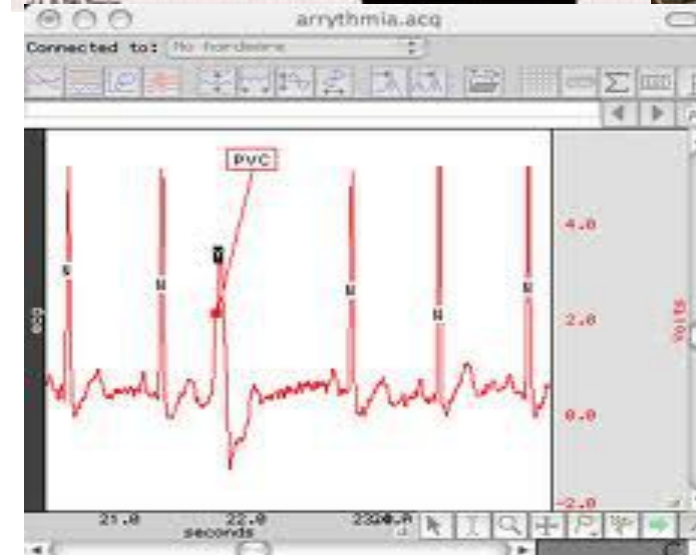
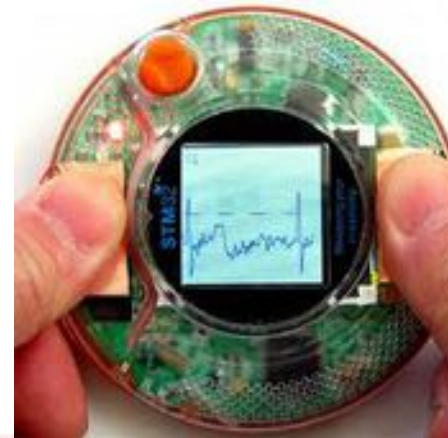
Medizinische Signalkette



Signale in der Medizin: Beispiel 1



Information: Herztätigkeit



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

50 Hz Unterdrückung

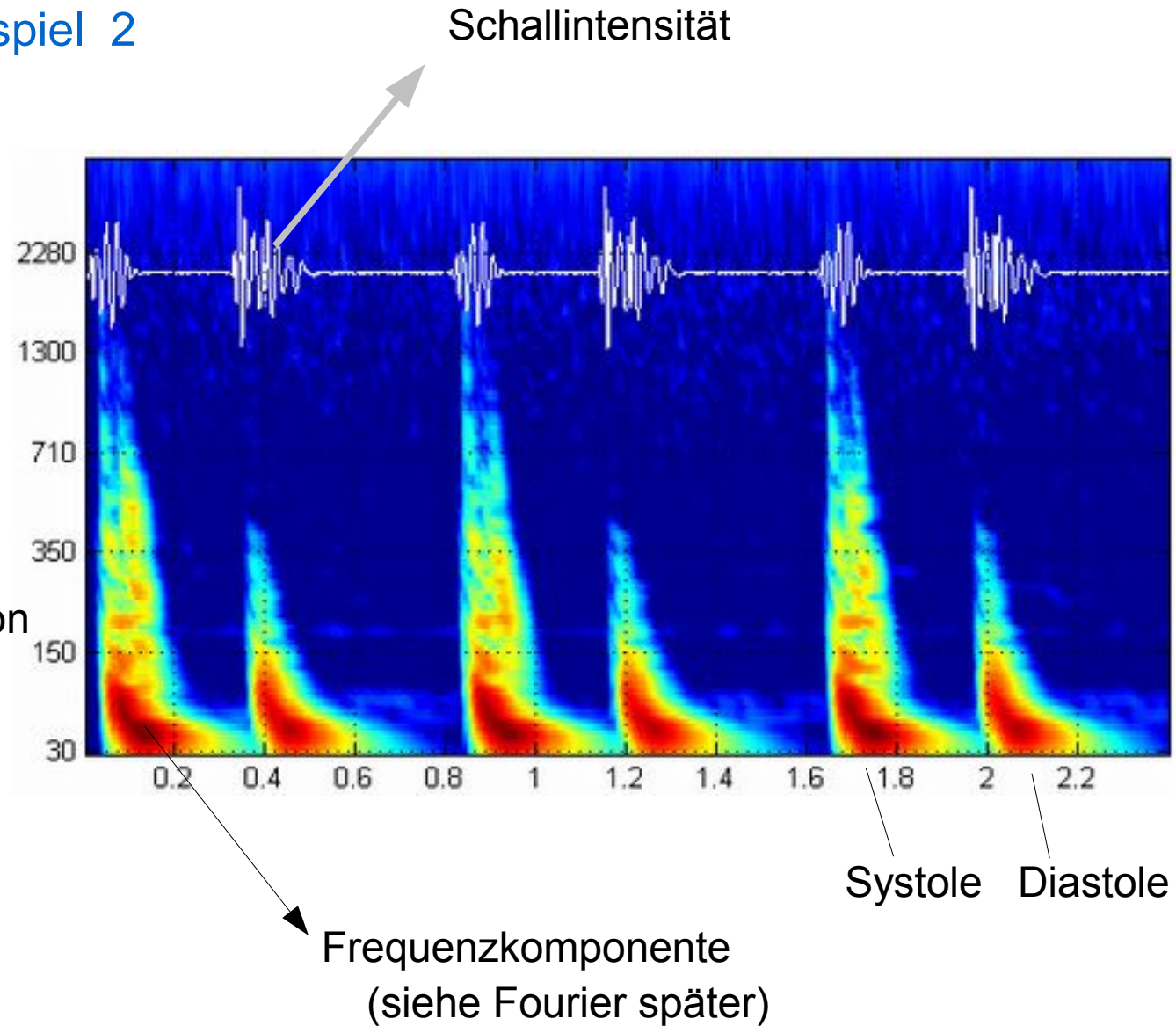
Signale in der Medizin: Beispiel 2

Herztöne

Signal:
Original: Schallwellen

Kodierung: Mikrofon

Kodierung: Fourier-Transformation



Information: Herzzyklus, mögliche anatomische und Strömungsprobleme

Signale in der Medizin: Beispiel 3

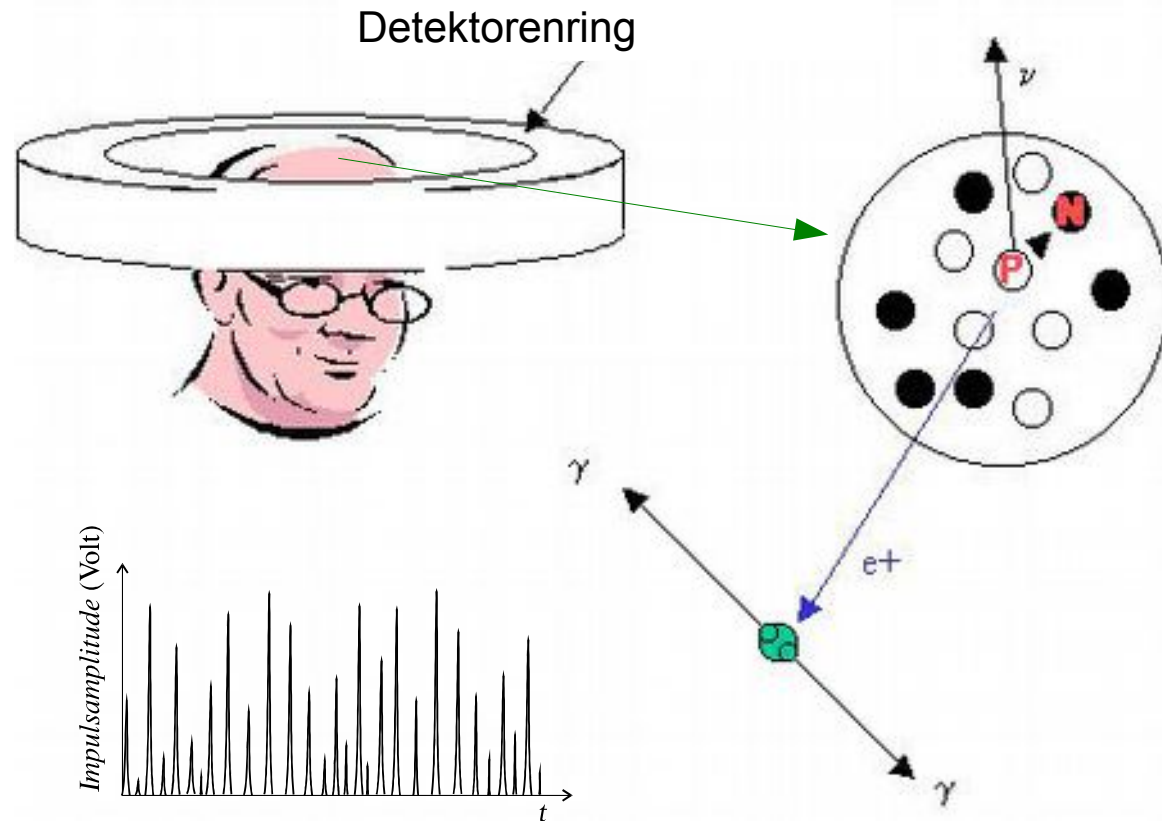
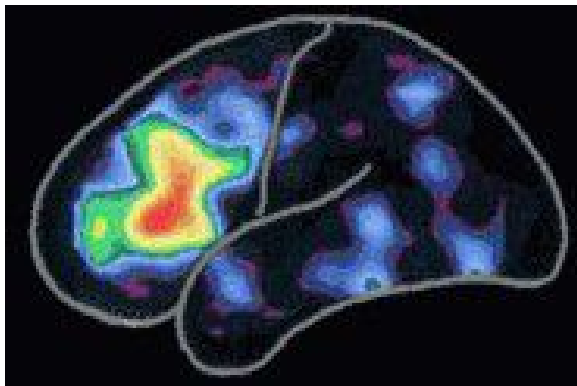
PET: PositronEmissionsTomografie

Signal:

Original: γ -Photonen

Kodierung: elektrische Impulse

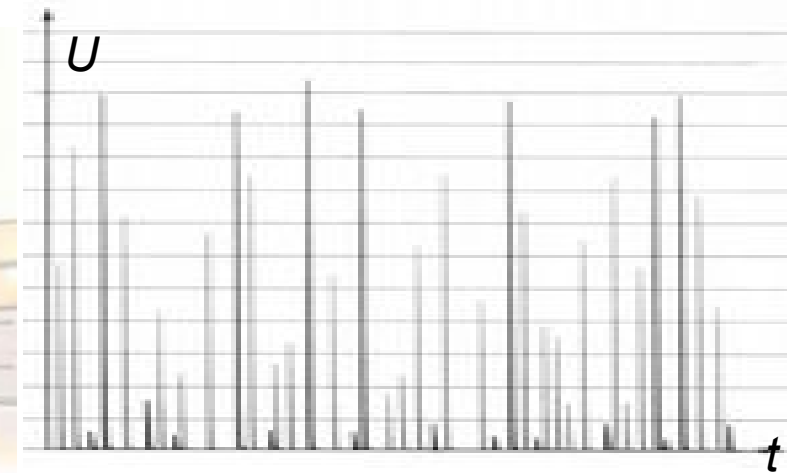
Kodierung: Bildrekonstruktion



Information: zeitliche und räumliche Verteilung der Moleküle

Signale in der Medizin: Beispiel 4

SPECT-CT:
Einzelphotonenemissions-
spektrometrie
Komputertomografie



Signal:

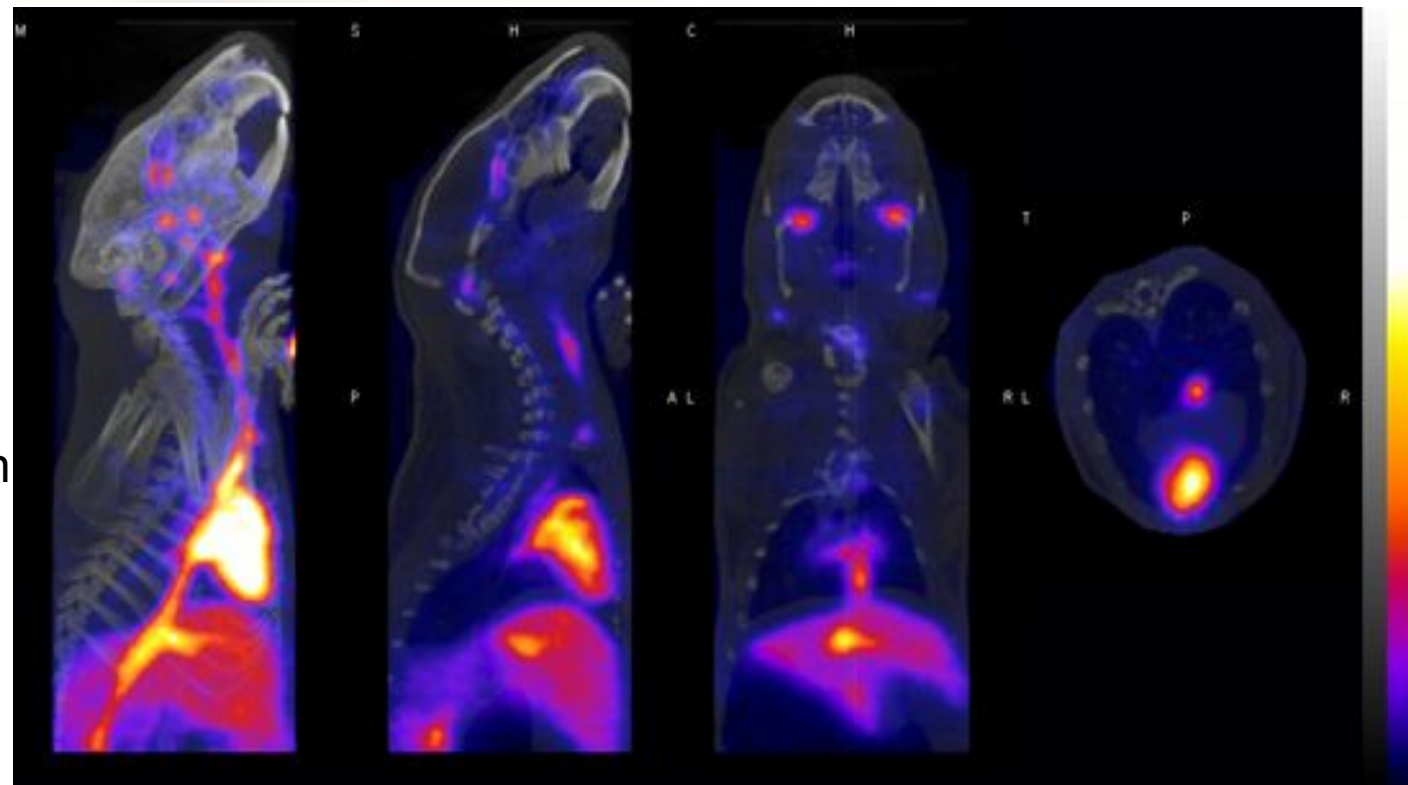
Original: γ -Photonen
Rtg.-Photonen

Kodierung: elektrische
Impulse

Kodierung: Bildrekonstruktion

Information:

Anatomie (Rtg)
Funktion (Isotopdiagnostik)



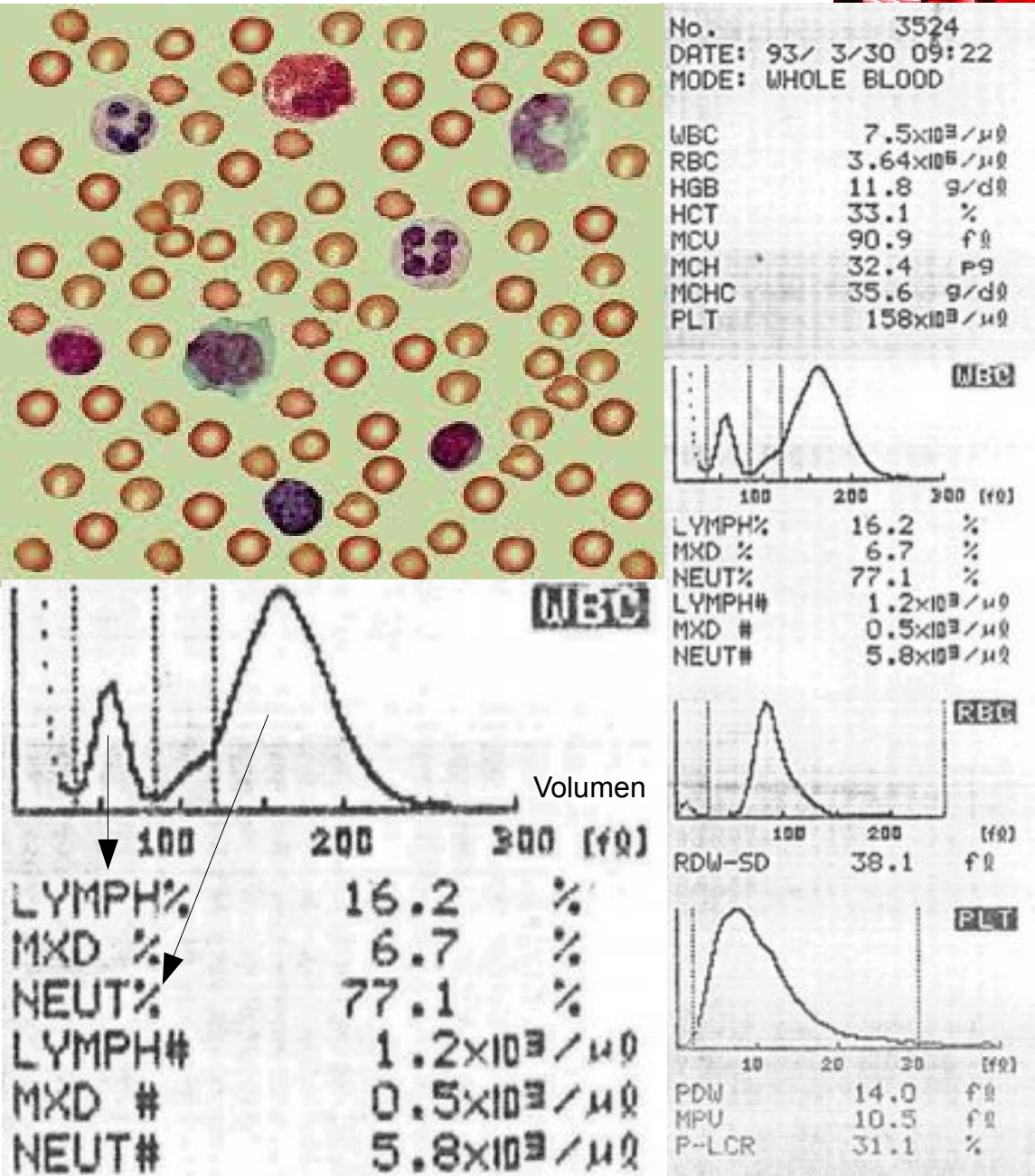
Signale in der Medizin: Beispiel 5



Coulter-Zähler

Signal: Zellenvolumen

Kodierung: elektrische Impluse
Kodierung: Histogramm

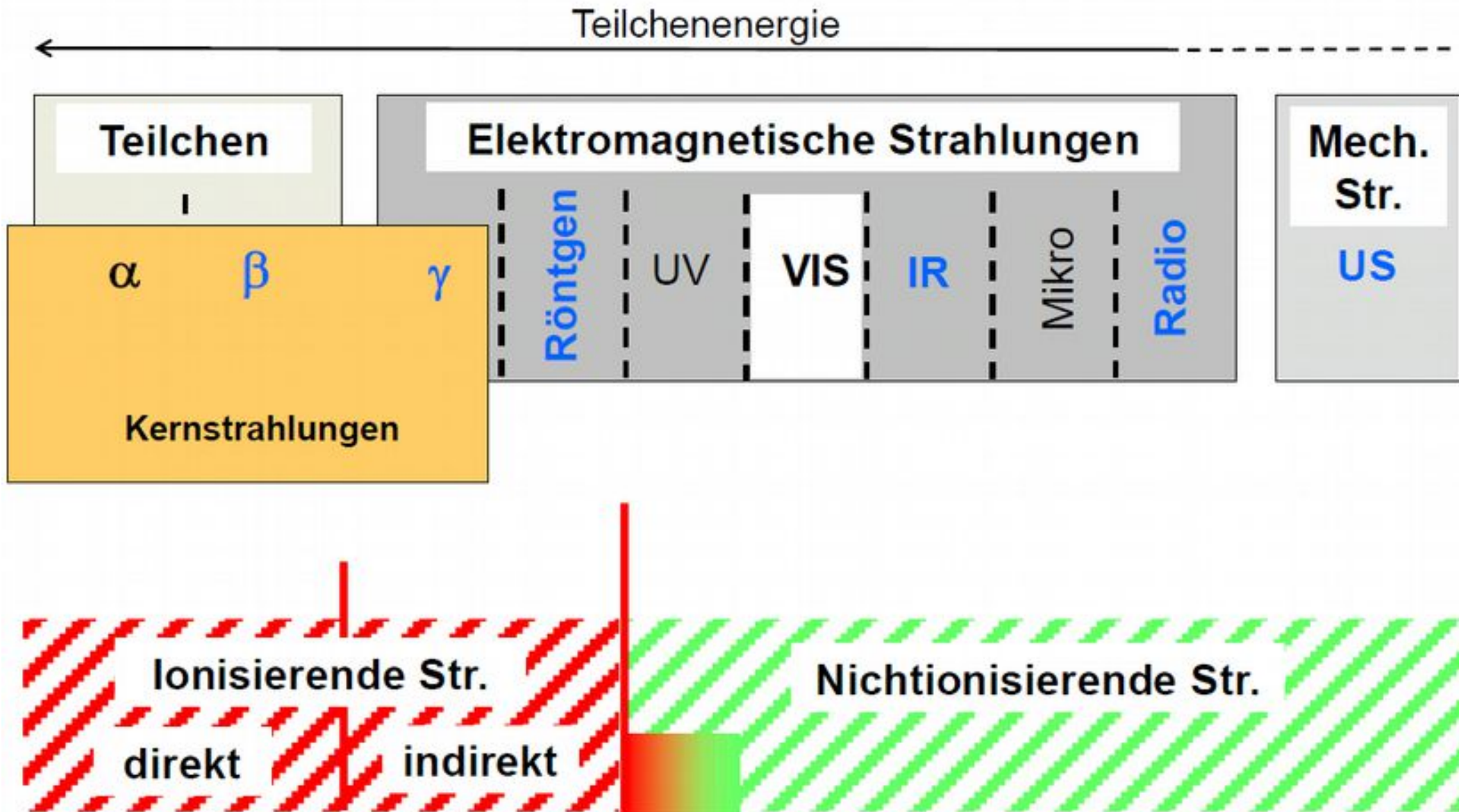


Information: Blut-Zusammensetzung

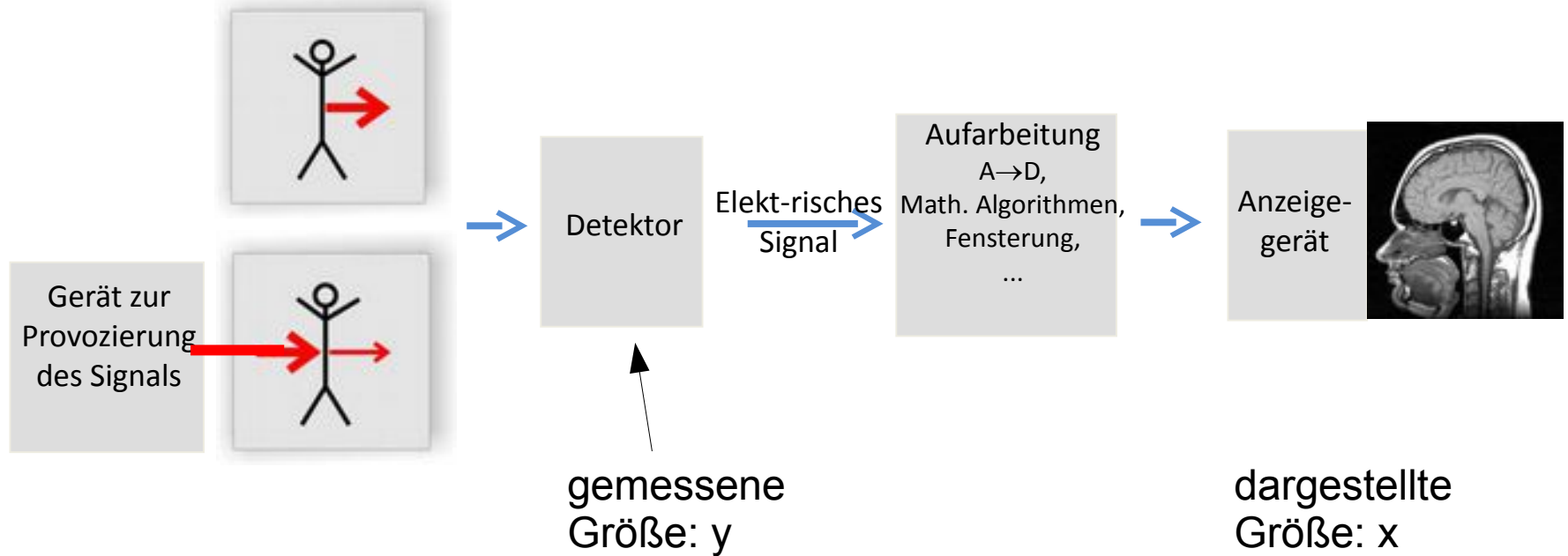
Bildgebende Verfahren

- **1. Endoskopie**
- **2. Infrarotdiagnostik (Telethermographie)**
- *3. Elektrische Potenzialkarte (EKG, EEG..)*
- *4. Elektrische Impedanztomographie (EIT)*
- **5. Nuklearmedizin (Szintigraphie)**
 - 5a. Gammakamera; 5b. SPECT; 5c. PET
- **6. Röntgendiagnostik**
 - 6a. Einfache Durchleuchtung; 6b. CT
- **7. Sonographie**
 - 7a. Echoimpulsverfahren; 7b. Farb-Doppler Verfahren
- **8. Magnetresonanztomographie (MRT)**

Verwendete Strahlungen



Schema der bildgebenden Verfahren



Zusammenhang zwischen y und x : Kodierung

Prinzip =

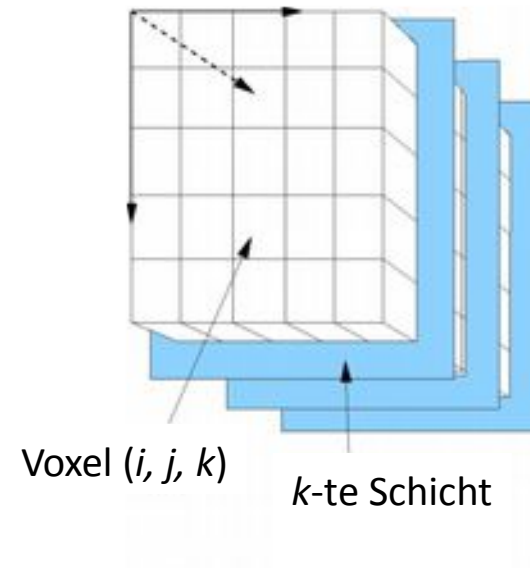
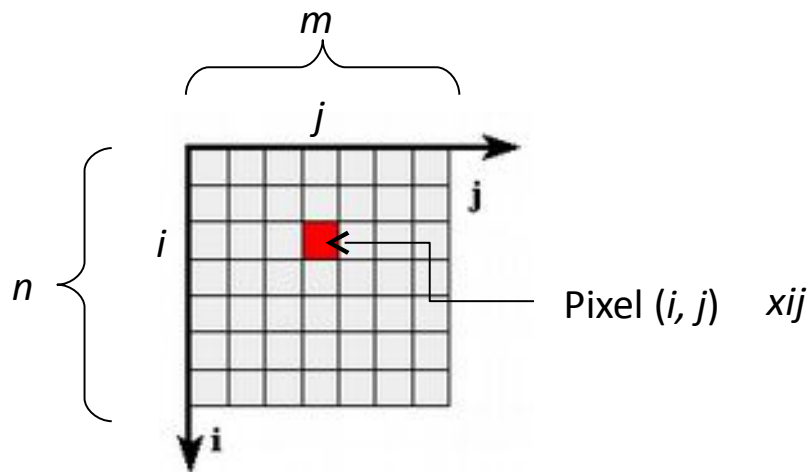
Entstehung des gemessenen Signals

y

x

Zusammenhang: $y=y(x)$ oder $x=x(y)$

- **Bild:** 2D oder 3D Darstellung der räumlichen Verteilung einer physikalischen Größe x im Körper
(wir messen nicht unbedingt direkt x !)



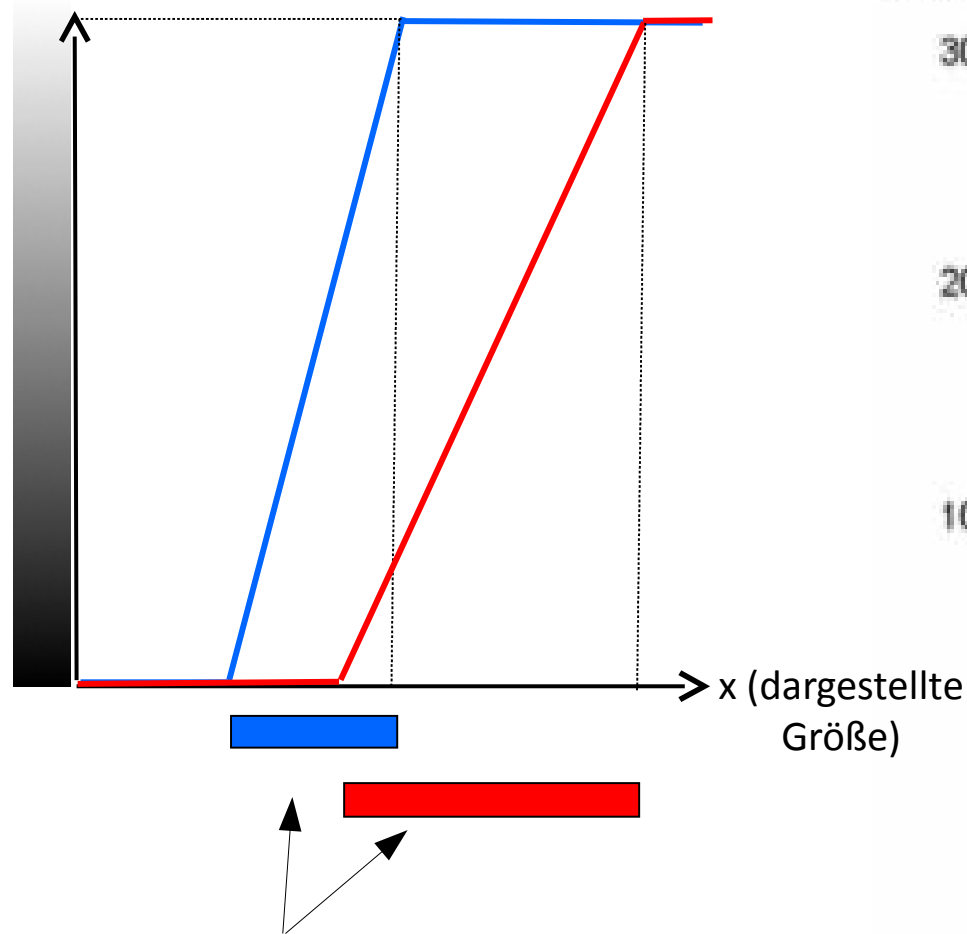
- Querschnittsfläche
- $n \times m$
- Dicke der Schicht

⇔ **räumliche Auflösung**

- **Bildrekonstruktion:**
 - $y \Rightarrow x$
 - Ort

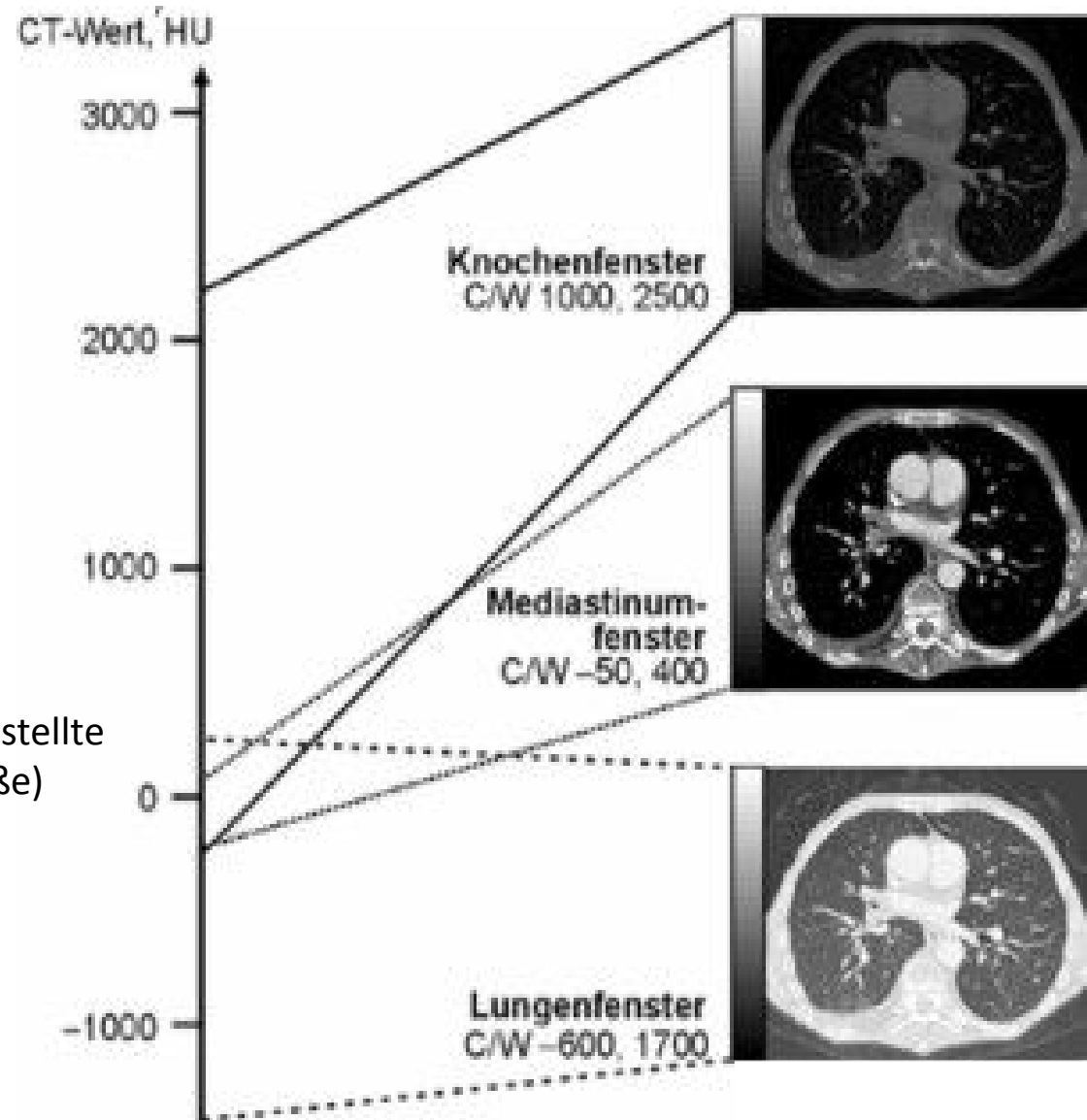
- **Darstellung:**
 - Grautöne/Farbtöne
 - Fensterung

Graustufen



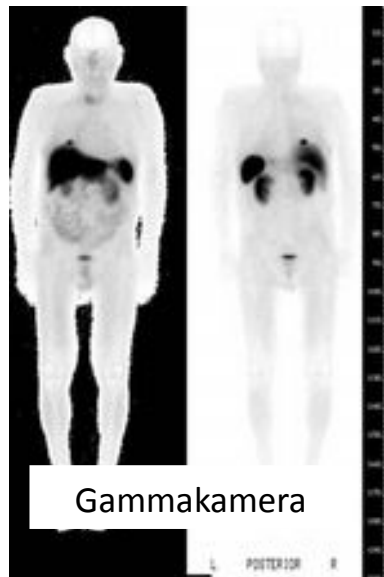
Fensterbereiche

Zum Beispiel:



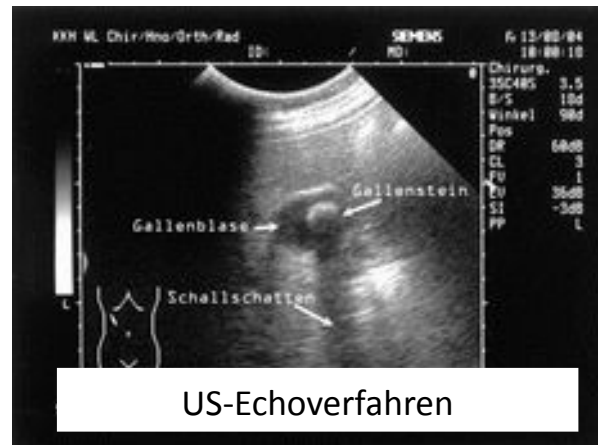
- **Bildtyp:**

- Summationsbild (S)

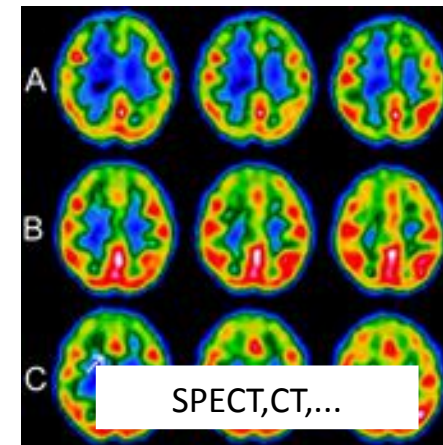


- Schichtbild = Tomogramm (T)

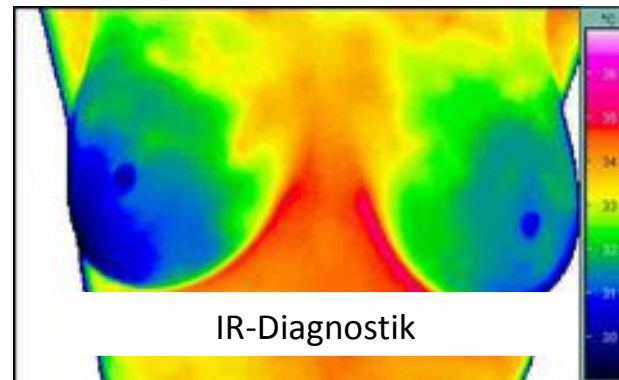
- direkt gemessenes Tomogramm (dT)



- berechnetes Tomogramm (bT)



- Spezielles Schichtbild, Oberflächenbild (O)



- **Bildinfo:**

- (eher) morphologisch (M)
 - (eher) funktionell (F)

Endoskopie



Strahlungsart?
e.m. Strahlung
VIS



Gemessene
Größe?

J, λ

Dargestellte
Größe?

J, λ

Kodierung: keine
 $y=x$

Prinzip?

Beleuchtung durch optische Faser (Totalreflexion) oder
durch Kapsel-Endoskop.

Bildtyp?

O

Infos?

M

Nebenwirkungen/Risikos?

Keine!

Infrarotdiagnostik



Strahlungsart?
e.m. Strahlung
IR

Gemessene
Größe?

J

Dargestellte
Größe?

T

Prinzip?

Temperaturstrahlung des menschlichen Körpers:

Stefan-Boltzmann: $M \sim T^4$ und $J \sim M$

Bildtyp?

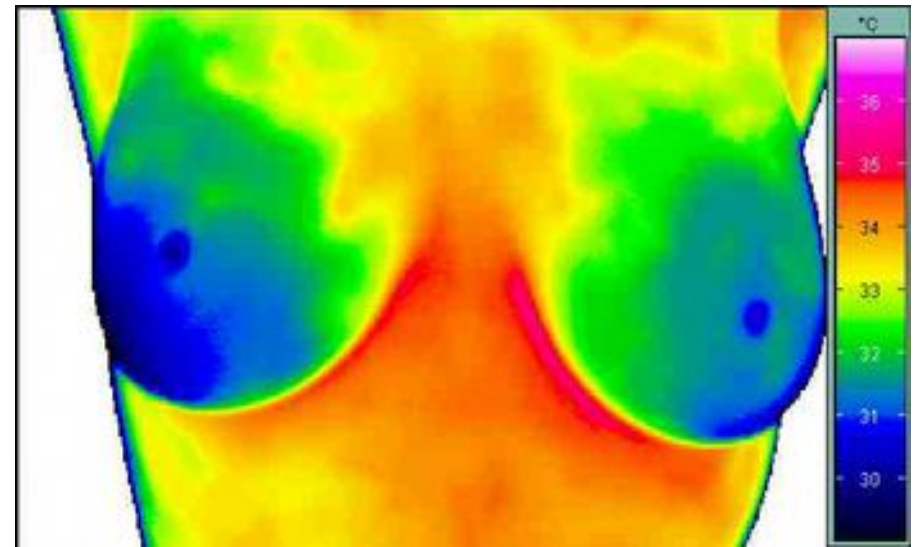
O

Infos?

F

Nebenwirkungen/Risikos?

Keine!



Kodierung:
 $J \rightarrow T \rightarrow \text{Farbe}$

Elektrische Potenzialkarte



Strahlungsart?

keine

Gemessene
Größe?

φ

Dargestellte
Größe?

φ

Prinzip?

Bei Muskel- und Nerventätigkeit entsteht ein elektrisches Feld im Körper, dessen Potenzialverteilung an der Körperoberfläche durch Elektroden direkt messbar ist.

Bildtyp?

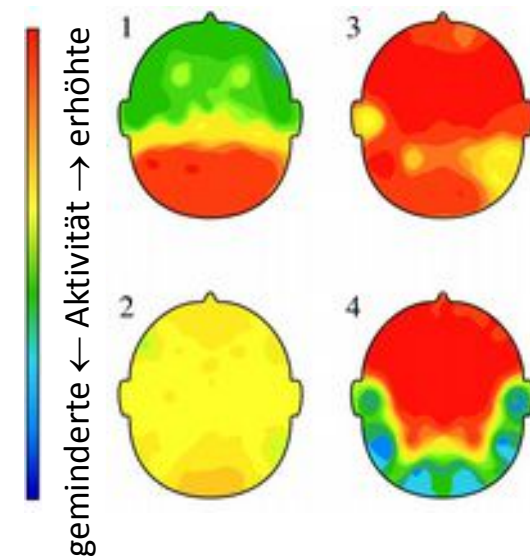
O

Infos?

F

Nebenwirkungen/Risikos?

Keine!



Kodierung: $y=x$,
aber $x \rightarrow$ Farbe

Elektrische Impedanztomographie



Strahlungsart?

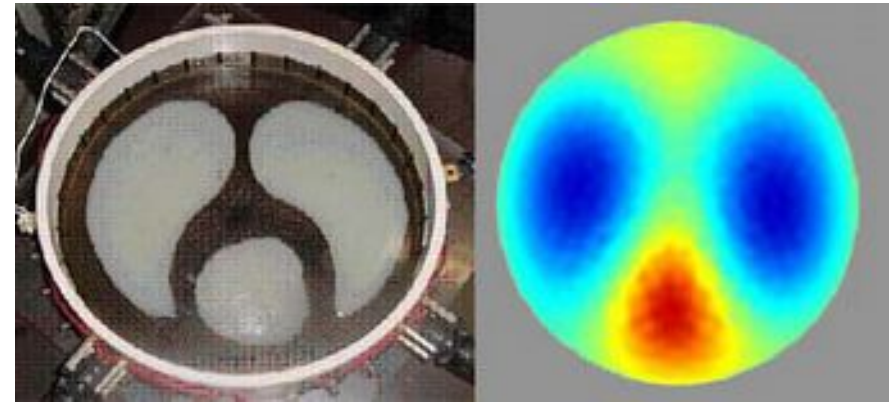
keine

Gemessene
Größe?

U

Dargestellte
Größe?

Z



Kodierung:
 $U \rightarrow Z \rightarrow \text{Farbe}$

Prinzip?

Hochfrequente konstante Stromstärke wird an den Patient gelegt und die Spannung gemessen, und $U = Z \cdot I$
wobei die Impedanz Z gewebsabhängig ist.

Bildtyp?

bT

Infos?

M

Nebenwirkungen/Risikos?

Keine!

Nuklearmedizin

Gammakamera



Strahlungsart?
e.m. Strahlung
 γ

Gemessene
Größe?

J

Dargestellte
Größe?

c

Prinzip?

Radioaktive Stoffe, chemisch-biologisch
ununterscheidbar, physikalisch
lokalisierbar und

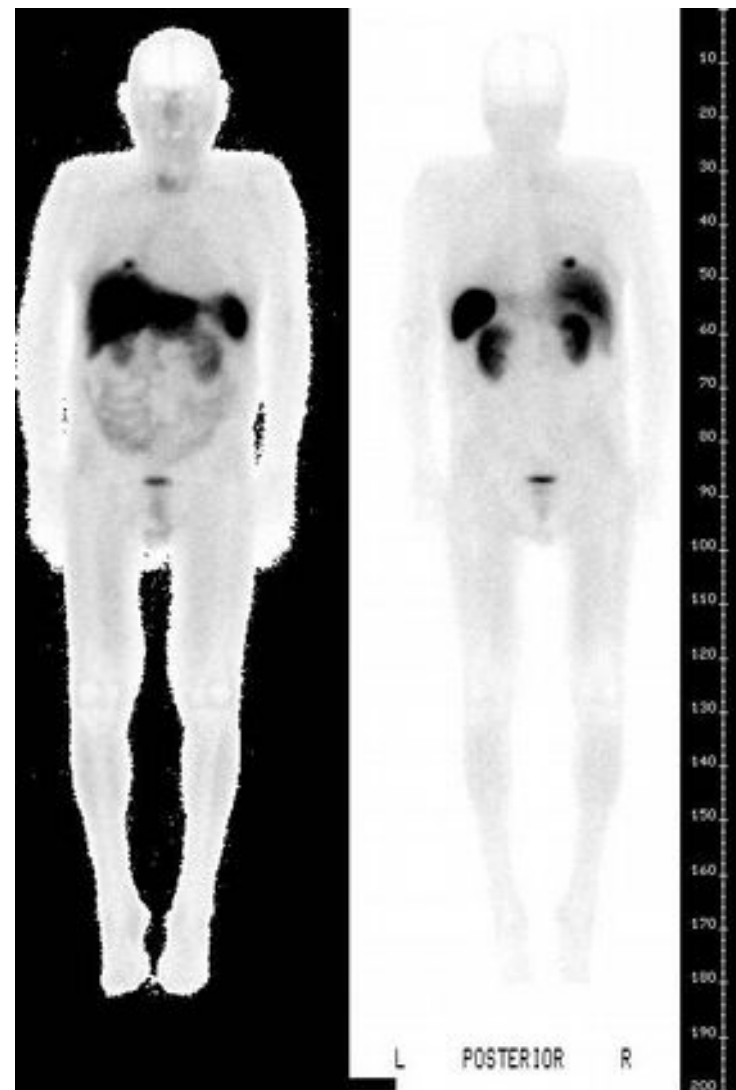
$$J \sim \Lambda \sim c$$

Bildtyp?

S

Infos?

F/M



Kodierung: $J \rightarrow c \rightarrow$ Graustufen

Nebenwirkungen/Risikos?

siehe Dosimetrie!

Nuklearmedizin

SPECT



Strahlungsart?

e.m. Strahlung

γ

Gemessene
Größe?

J

Dargestellte
Größe?

c

Prinzip?

Radioaktive Stoffe, chemisch-biologisch
ununterscheidbar, physikalisch lokalisierbar und

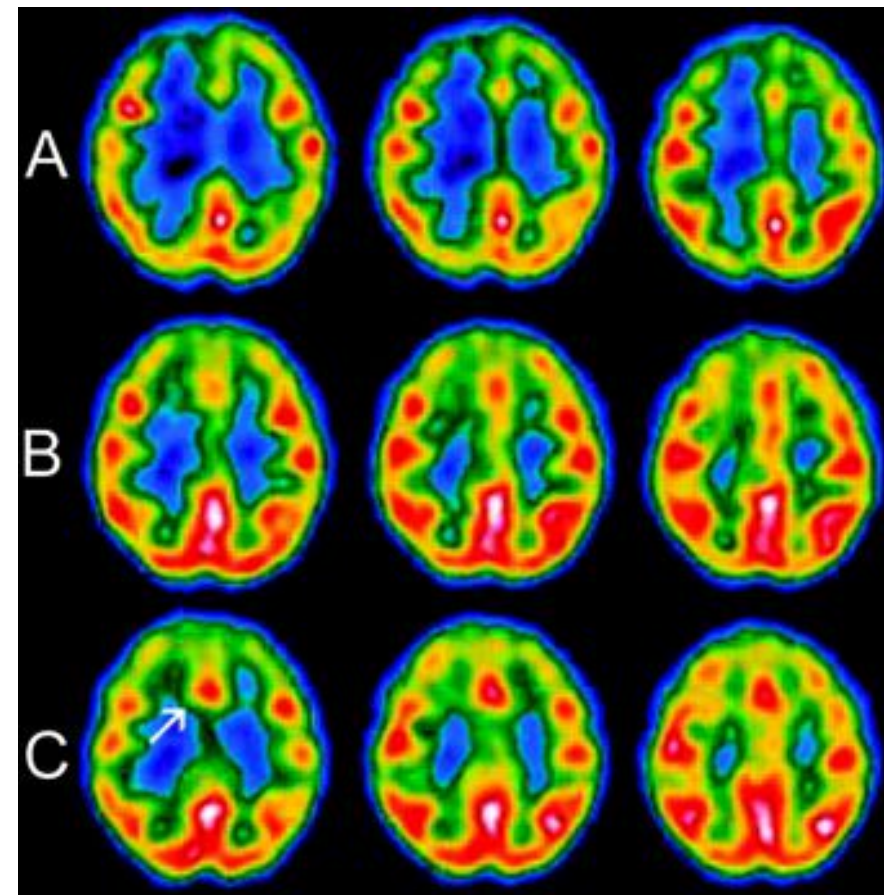
$$J \sim \Lambda \sim c$$

Bildtyp?

bT

Infos?

F



Kodierung: $J \rightarrow \text{Bildrek.} \rightarrow c \rightarrow \text{Farbe}$

Nebenwirkungen/Risikos?

siehe Dosimetrie!

Nuklearmedizin

PET



Strahlungsart?
e.m. Strahlung
 $\beta^+ \rightarrow \gamma$

Gemessene
Größe?

J

Dargestellte
Größe?

c

Prinzip?

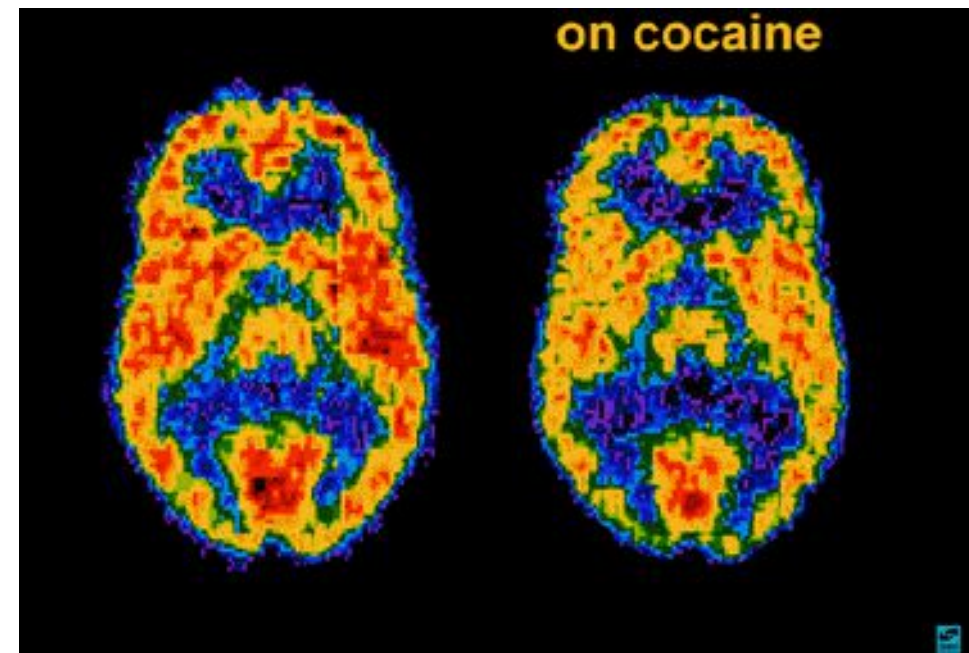
Radioaktive Stoffe, chemisch-biologisch
ununterscheidbar, physikalisch lokalisierbar und
 $J \sim \Lambda \sim c$

Bildtyp?

bT

Infos?

F



Kodierung: $J \rightarrow \text{Bildrek.} \rightarrow c \rightarrow \text{Farbe}$

Nebenwirkungen/Risikos?

siehe Dosimetrie!

Röntgendiagnostik

gewöhnliche Durchleuchtung



Strahlungsart?

e.m. Strahlung
Röntgen

Gemessene
Größe?

J

Dargestellte
Größe?

J

Prinzip?

Unterschiedliche Schwächung der Rtg-Strahlen in
verschiedenen Körperteilen.

Bildtyp?

S

Infos?

M

Nebenwirkungen/Risikos?

siehe Dosimetrie!



Kodierung: *J* → Graustufen

Röntgendiagnostik

Computertomographie



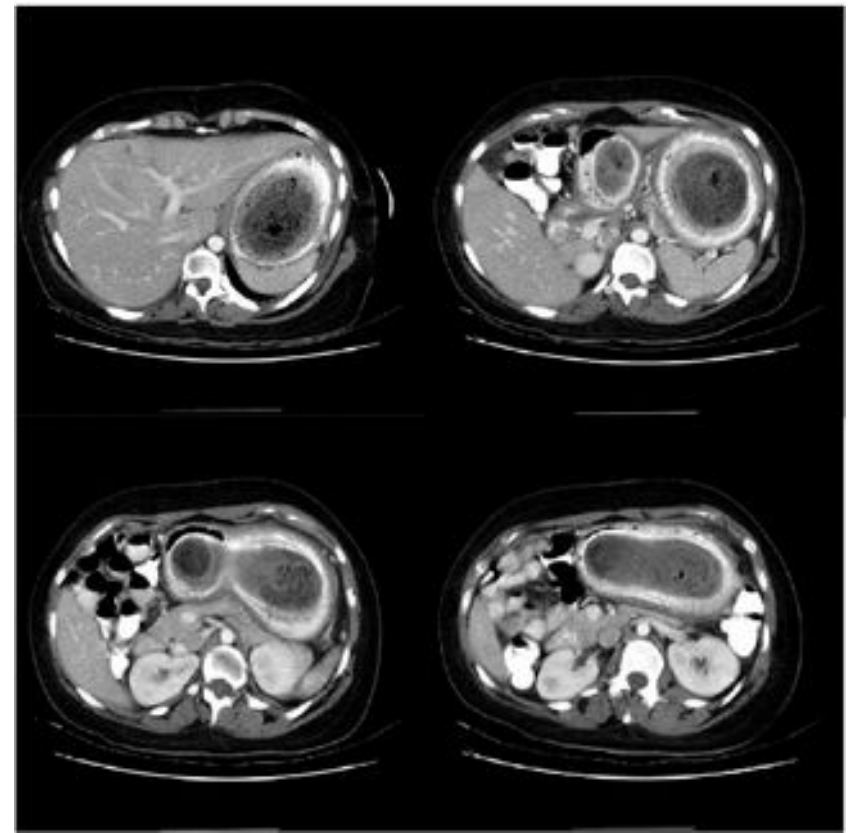
Strahlungsart?
e.m. Strahlung
Röntgen

Gemessene
Größe?

J

Dargestellte
Größe?

μ



Prinzip?

Unterschiedliche Schwächung der Rtg-Strahlen in
verschiedenen Körperteilen:

$$\lg \frac{J_0}{J} \sim \mu$$

Kodierung: $J \rightarrow$ **Bildrek.** \rightarrow
 $\mu \rightarrow$ Graustufen

Bildtyp?

bT

Infos?

M

Nebenwirkungen/Risikos?

siehe Dosimetrie!

Sonographie

Echoimpulsverfahren



Strahlungsart?

Mech.
Strahlung
US

Gemessene
Größe?

$t_{\text{Sende-Echo}}$ und
 J_{Echo}

Dargestellte
Größe?

Abstände und
 J_{Echo}

Prinzip?

US-Impuls reflektiert, Radar-Prinzip:

$$t_{\text{Sende-Echo}} \sim l$$

Bildtyp?

dT

Infos?

M



Kodierung: $t \rightarrow$ Länge und $J \rightarrow$ Graustufen

Nebenwirkungen/Risikos?

Keine, wenn:

$$J < 0,1 \text{ W/cm}^2 \text{ oder } J \cdot t < 50 \text{ J/cm}^2$$

Sonographie

Farb-Doppler Verfahren



Strahlungsart?

Mech. Strahlung
US

Gemessene
Größe?

$t_{\text{Sende-Echo}}$ und
 J_{Echo} und
 f_D

Dargestellte
Größe?

Abstände und
 J_{Echo} und
 v_{Blut}

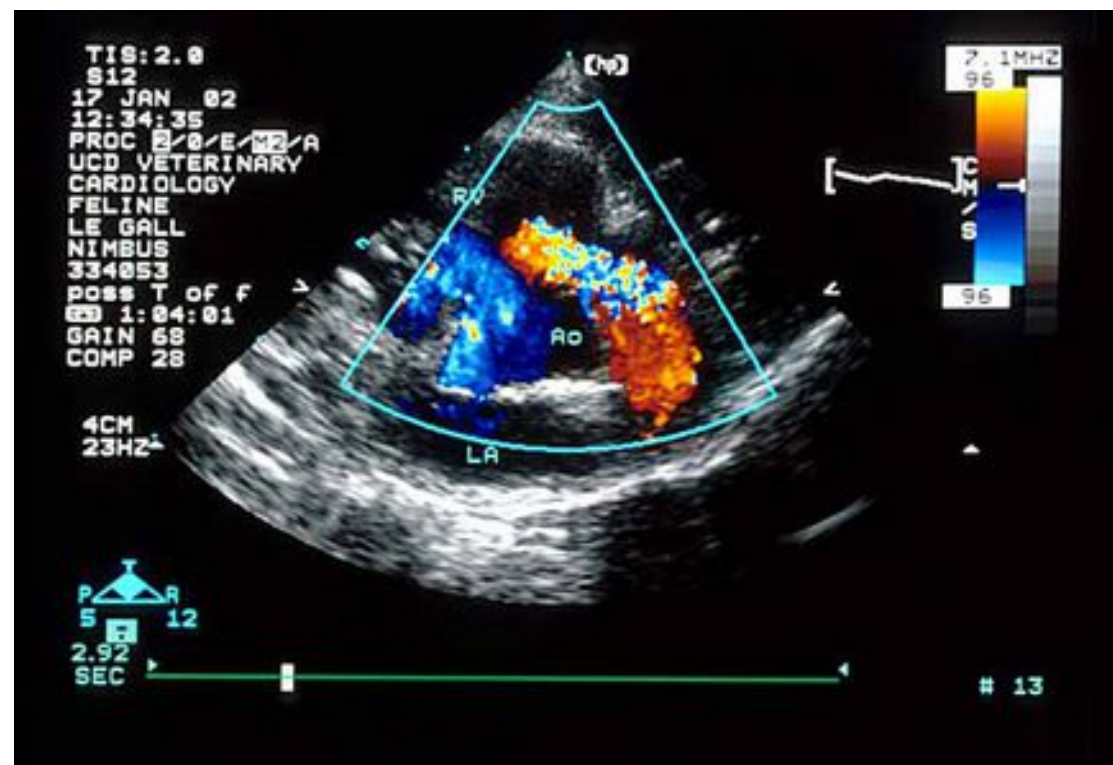
Prinzip?

US-Impuls reflektiert, Radar-Prinzip:

$$t_{\text{Sende-Echo}} \sim l$$

und Doppler Effekt:

$$f_D \sim v_{\text{Blut}}$$



Bildtyp?

dT

Infos?

M/F

Kodierung: $t \rightarrow$ Länge und $J \rightarrow$ Graustufen
 $f_D \rightarrow v \rightarrow$ Farben

Nebenwirkungen/Risikos?

Keine, wenn:

$$J < 0,1 \text{ W/cm}^2 \text{ oder } J \cdot t < 50 \text{ J/cm}^2$$

MRT



Strahlungsart?

e.m. Strahlung
Radiowellen

Gemessene
Größe?

J und $J(t)$

Dargestellte
Größe?

n_H und T_1, T_2

Prinzip?

Magnetfeld (B), Anregung, anschließend
darauf RW-Emission, wobei: $J \sim n_H$
und $J(t) \Rightarrow$ Relaxationszeiten T_1 , und T_2

Bildtyp?

dT

Infos?









M/F

Nebenwirkungen/Risikos?

Herzschrittmacher, Metallprothesen



Kodierung: $J, T_1, T_2 \rightarrow$ Graustufen

VERFAHREN	Strahlung	GRUNDPRINZIP		gemessene Größe	dargestellte Größe	Bildtyp	Infotyp	Nebenwirkung /Risiko
1. Endoskopie	VIS		Beleuchtung durch optische Faser (Totalreflexion) oder durch Kapsel-Endoskop.	J	J	O	M	—
2. Infrarotdiagnostik (Telethermographie)	e.m. Str.: IR		Temperaturstrahlung: Stefan-Boltzmann: $M \sim T^4$ und $J \sim M$	J	T	O	F	—
3. Elektrische Potenzialkarte (EKG, EEG, ...)	—		Bei Muskel- und Nerventätigkeit entsteht ein elektrisches Feld im Körper, dessen Potenzialverteilung an der Körperoberfläche durch Elektroden direkt messbar ist.	φ	φ	O	F	—
4. Elektrische Impedanztomographie (EIT)	—		Hochfrequente konstante Stromstärke wird an den Patient gelegt und die Spannung gemessen: $U = Z \cdot I$, wobei die Impedanz Z gewebsabhängig ist.	U	Z	bT	M	—
5. Nuklearmedizin (Szintigraphie)	e.m. Str.: γ		Radioaktive Isotope werden dem Patienten zugeführt. Sie verhalten sich im Organismus genauso wie die stabilen Isotope, sie können aber durch ihre Strahlung lokalisiert werden, und $J \sim A \sim c$	J	c	S	F+M	Stoch. Strahlenschädigung möglich
5a. Gammakamera	e.m. Str.: γ					bT	F	
5b. SPECT	e.m. Str.: γ					bT	F	
5c. PET	e.m. Str.: $\beta^+ \rightarrow \gamma$							
6. Röntgendiagnostik	e.m. Str.: Rtg		Der Patient wird mit Röntgenstrahlen durchgeleuchtet, die in verschiedenen Geweben/Organen unterschiedlich geschwächt werden, und $\lg \frac{J_0}{J} \sim \mu$	J	J	S	M	Stoch. Strahlenschädigung möglich
6a. einfache Durchleucht.						bT	M	
6b. CT					μ			
7. Sonographie	mech. Str.: US		Der Patient wird mit US-Impuls bestrahlt, der an den Grenzflächen von akustisch unterschiedlichen Geweben im Teil reflektiert wird. Radar-Prinzip: Zeit zwischen Sende- und Echoimpuls ist proportional dem Abstand US-Kopf-Grenzfläche, $t_{\text{Sende-Echo}} \sim l$	$t_{\text{Sende-Echo}}$ J_{Echo}	$t_{\text{Sende-Echo}}$ J_{Echo}	dT	M	—, wenn $J < 0,1 \text{ W/cm}^2$ oder $J \cdot t < 50 \text{ J/cm}^2$
7a. Echoimpulsverfahren								
7b. Farb-Doppler-Verfahren			Doppler-Effekt: Frequenzverschiebung bei Reflexion durch sich bewegende Flächen $f_D \sim v_{\text{Blut}}$	f_D	v_{Blut}	dT	M+F	
8. MRT	e.m. Str.: Radiowellen		Die Spins der H-Atomkerne (Protonen) werden durch ein starkes Magnetfeld orientiert. In einer Schicht des Körpers werden die Spins von dieser Richtung durch RW-Bestrahlung abgelenkt. Bei Rückkehr der Spins wird RW-Strahlung emittiert, deren Intensität zur Protonendichte proportional ist: $J \sim n_H$, und $J(t) \Rightarrow$ Relaxationszeiten T_1 , und T_2 und Protonendichte, T_1 und T_2 sind gewebsabhängig.	$J(t)$	n_H T_1 T_2	dT	M	Pacemaker! Metallprothesen!