

A photograph of a medical X-ray room. In the foreground, a patient bed is covered with a blue mat. In the background, a large, white, mobile X-ray machine is mounted on a stand. The room has white tiled walls and a sink with a faucet. The text is overlaid on the image.

# Röntgenstrahlung

Erzeugung und Eigenschaften

Physikalische Grundlagen

der Röntgendiagnostik

Spezielle Verfahren

Röntgentomographie (CT)

# Kontrastmittel

Positives Kontrastmittel:

mehr Absorption

$$\mu \uparrow \quad \mu_m \uparrow \quad Z_{\text{eff}} \uparrow$$

$$\tau_m = \text{const} \cdot \lambda^3 \cdot Z^3$$

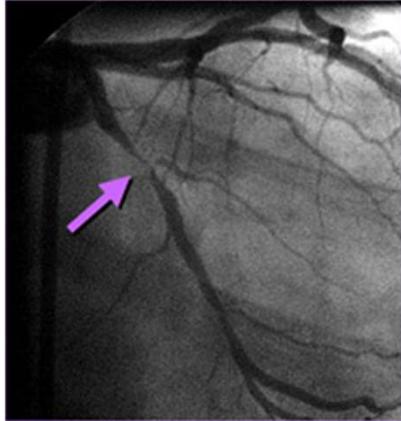
Jod (Z= 53)

Blutgefäß  
(Angiographie)

Barium (Z=56)

Magen, Darm  
in Form von  $\text{BaSO}_4$

# Angiographie





# Kontrastmittel

Negatives Kontrastmittel:

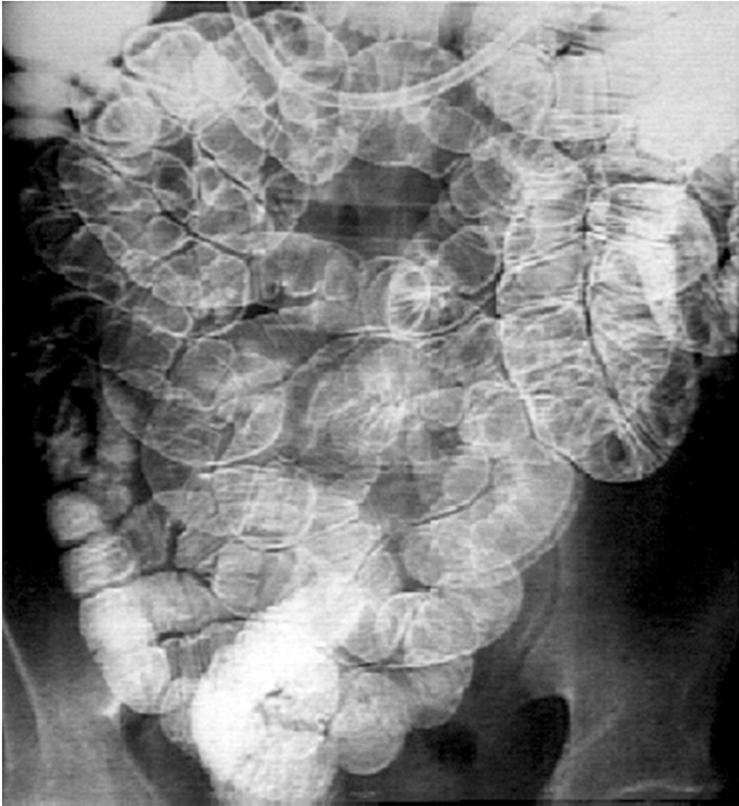
wenige Absorption  $\mu \downarrow$   $\rho \downarrow$   $\mu_m - Z_{\text{eff}} -$

Luft, CO<sub>2</sub> (Gase) in Darm

Doppelkontrast: gleichzeitige Anwendung von einem positiven und einem negativen Kontrastmittel.

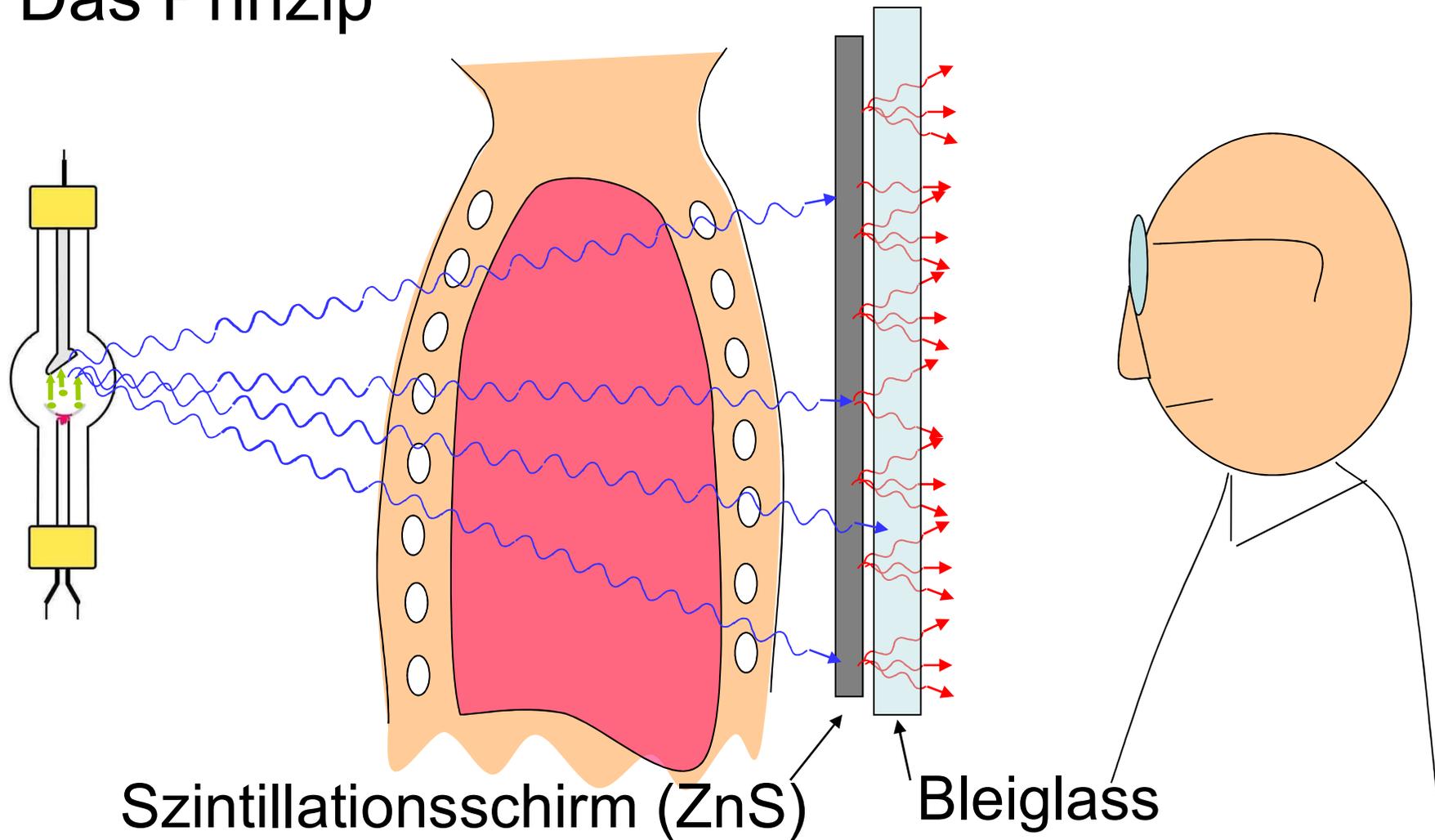
BaSO<sub>4</sub> + Luft in Darm.

# Doppelkontrastaufnahmen

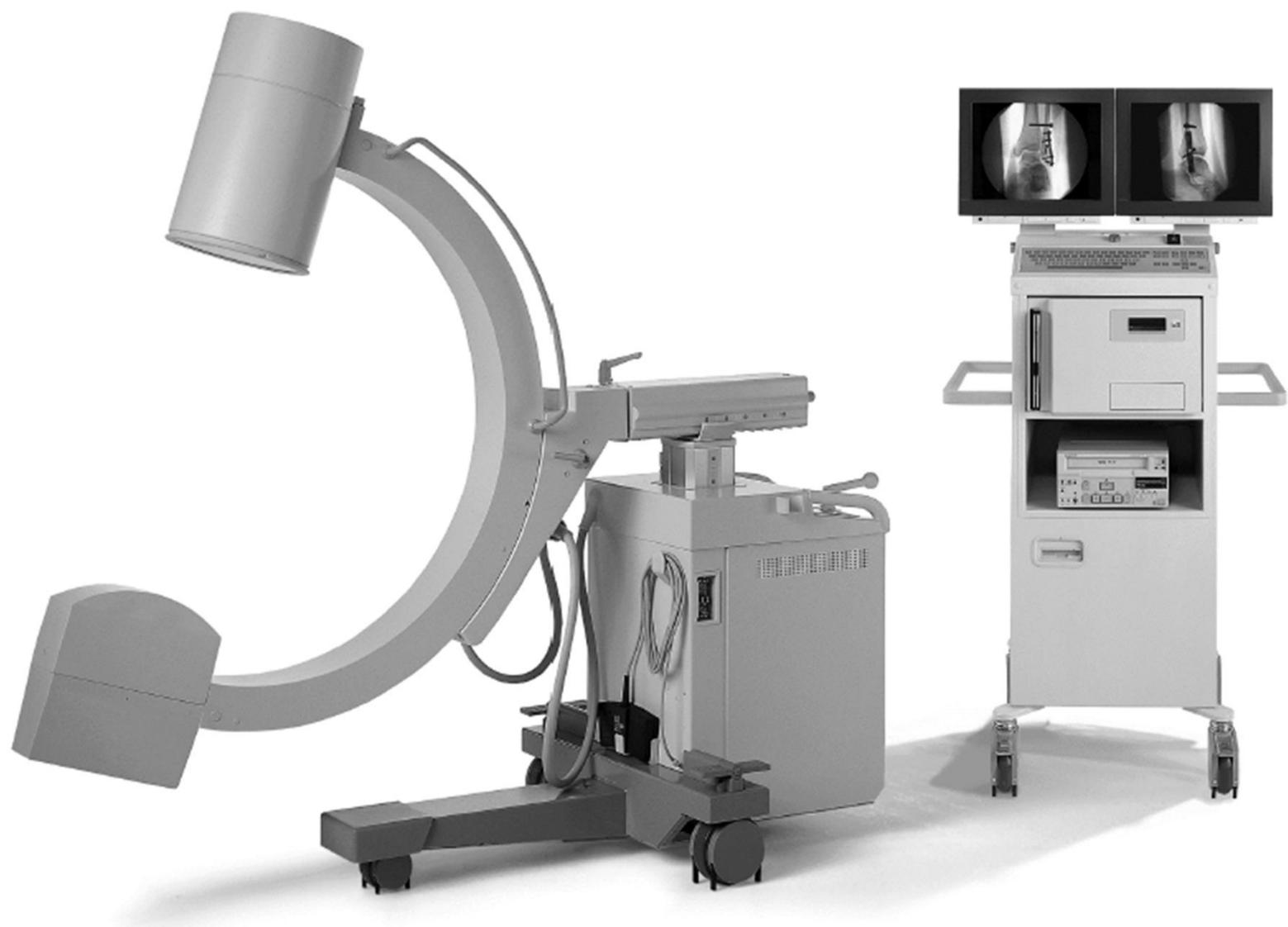


# Konventionelle Fluoroskopie

## Das Prinzip



- Vorteile:
    - keine Entwicklungszeit
    - Manipulation sichtbar, kontrollierbar
  - Nachteile:
    - hohe Strahlenbelastung (Patient u. Arzt)
    - schwaches Licht (dunkeler Raum)
- ⇒ Bildverstärker
- ⇒ Digitale detektoren





# Vorteile der Anwendung des Bildverstärkers

- Niedrigere Röntgenstrahlungsintensität ist notwendig: **reduzierte Strahlenbelastung** (Patient und Arzt!)
- Kein dunkler Raum ist notwendig
- Die Bilder können digitalisiert gespeichert und später manipuliert werden (zB. DSA)

# Direkte digitale Röntgentechnik



Digitaler Detektor  
"Flat Panel" Detektor

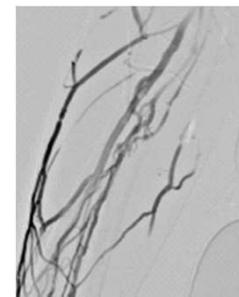


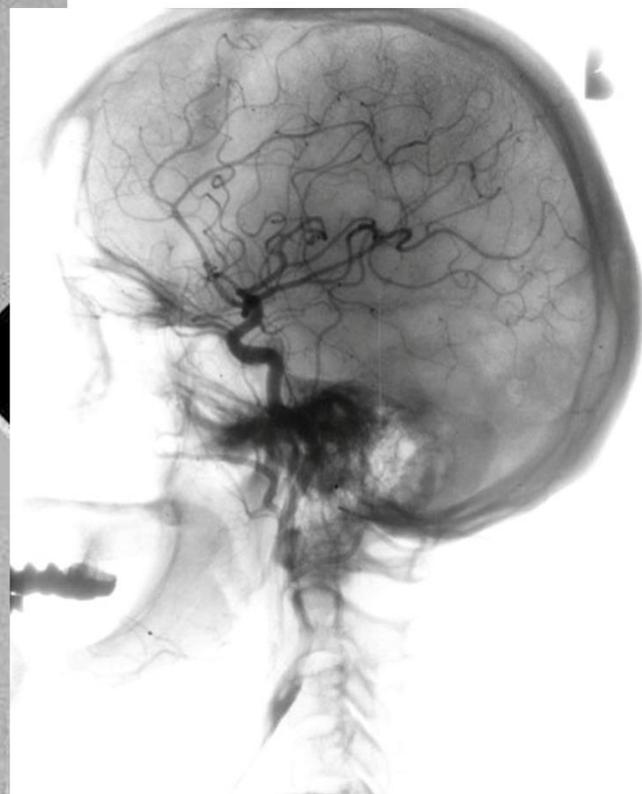
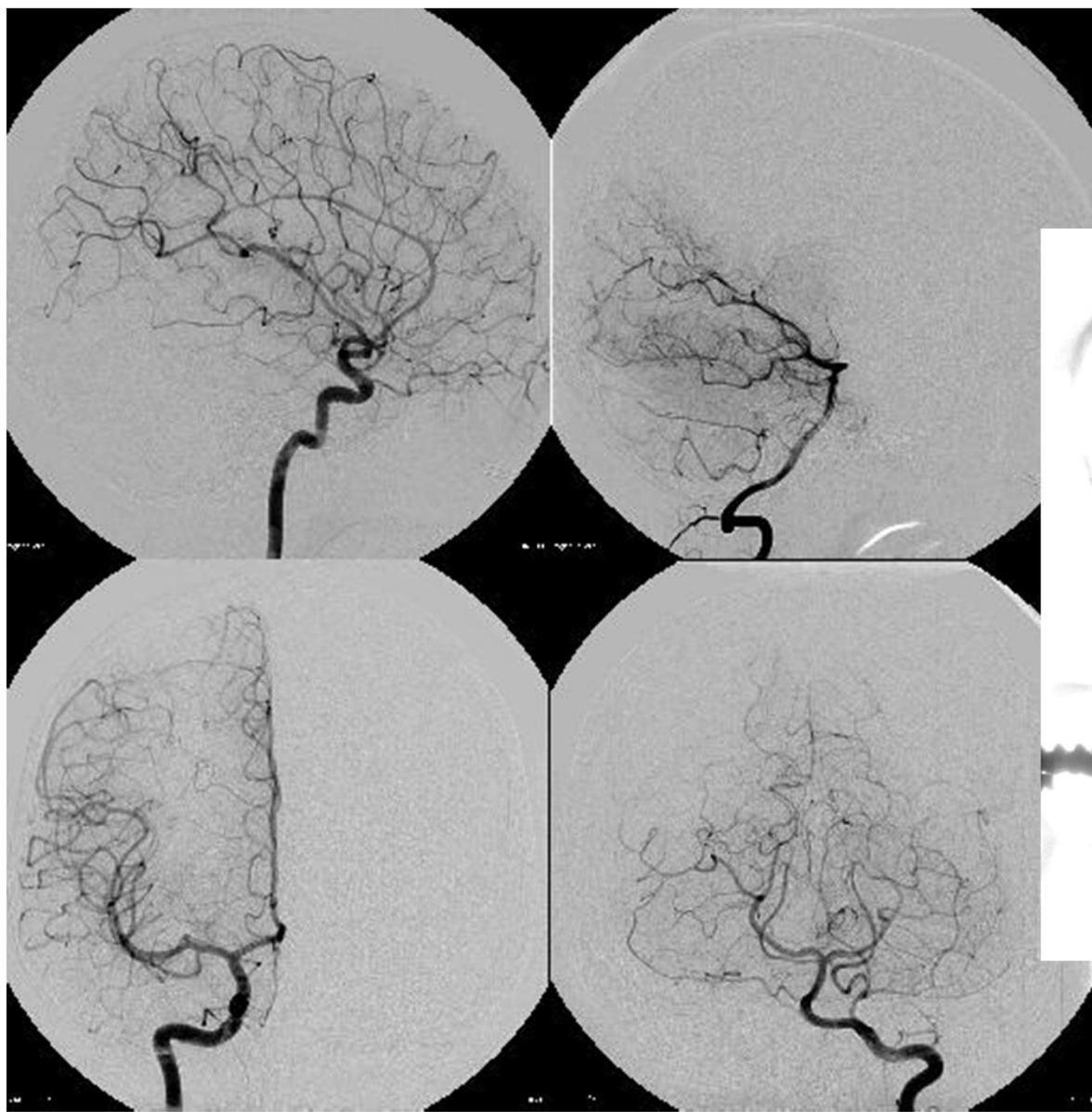
# Direkte digitale Röntgentechnik

- Vorteile
  - digitale (Nach)verarbeitung
    - kontrast
    - grauwertspreizung (Fenster)
    - Filter: Rauschunterdrückung
  - Bildspeicherung,  
(PACS picture archiving and communication systems)
  - elektronische Weitergebung der Bilder (Internet)  
(Patient in VS, Arzt in India!)

# Digitale Substraktionsangiographie (DSA)

- Basisbild ( $\Rightarrow$  digitalisiert gespeichert)
- Eingabe des Kontrastmittels (zB. durch einem Katheter in die Blutgefäßen)
- Zweites Bild (Füllungsbild)
- Basisbild aus Füllungsbild abgezogen.







# Röntgenstrahlung

Minimalisierung der Strahlenbelastung

Erhöhung der Bildqualität

Spezielle Verfahren

Röntgentomographie (CT)

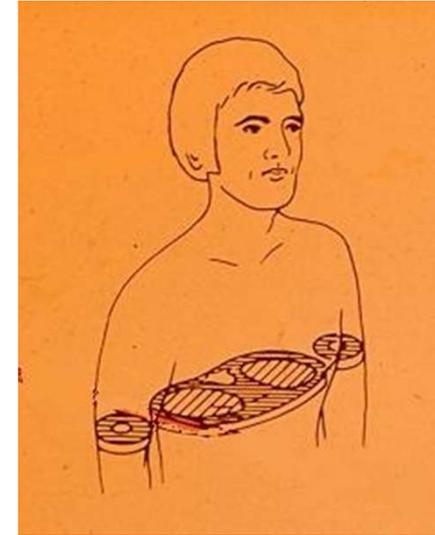
# CT

- Computed tomography  
(Computer-Tomographie)  
tomos=Schicht (griechisch)

Τομος

=> Tomographie =Schichtaufnahme

Auf der Körperachse senkrecht stehende  
Schicht wird abgebildet.

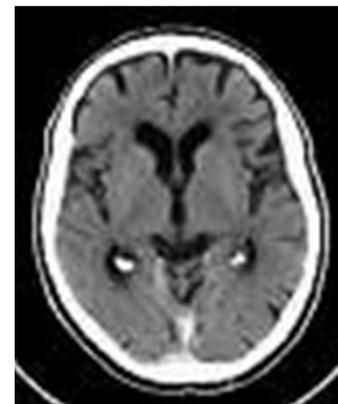
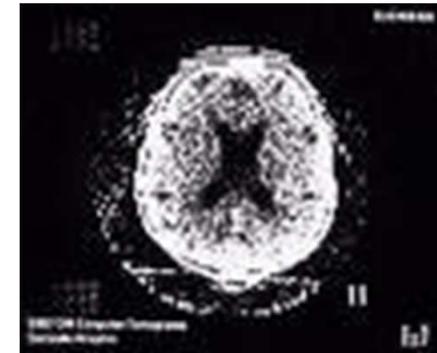


# Geschichte der Tomographie

Godfrey N. Hounsfield  
und Allan M. Cormack

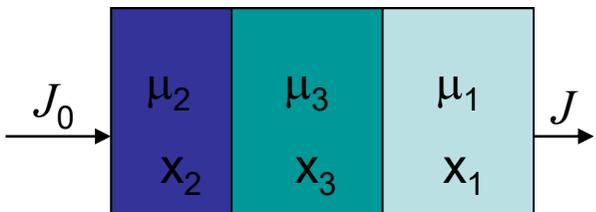
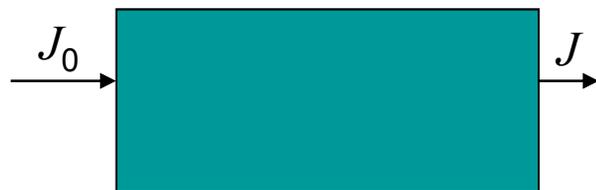
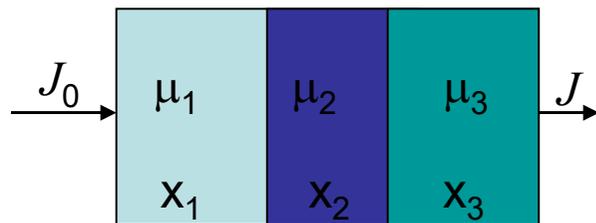


- 1972 Prototyp
- 1974 erste klinische Anwendung
- 1976 ganzkörper-CT
- 1979 Nobel Preis
- 1990 spiral CT
- 1992- multislice
  - 2006: 64 Schichten



# Widerholung: Schwächung der Röntgenstrahlung

$$J = J_0 e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 + \mu_3 x_3)} = J_0 e^{-\sum \mu_i x_i}$$

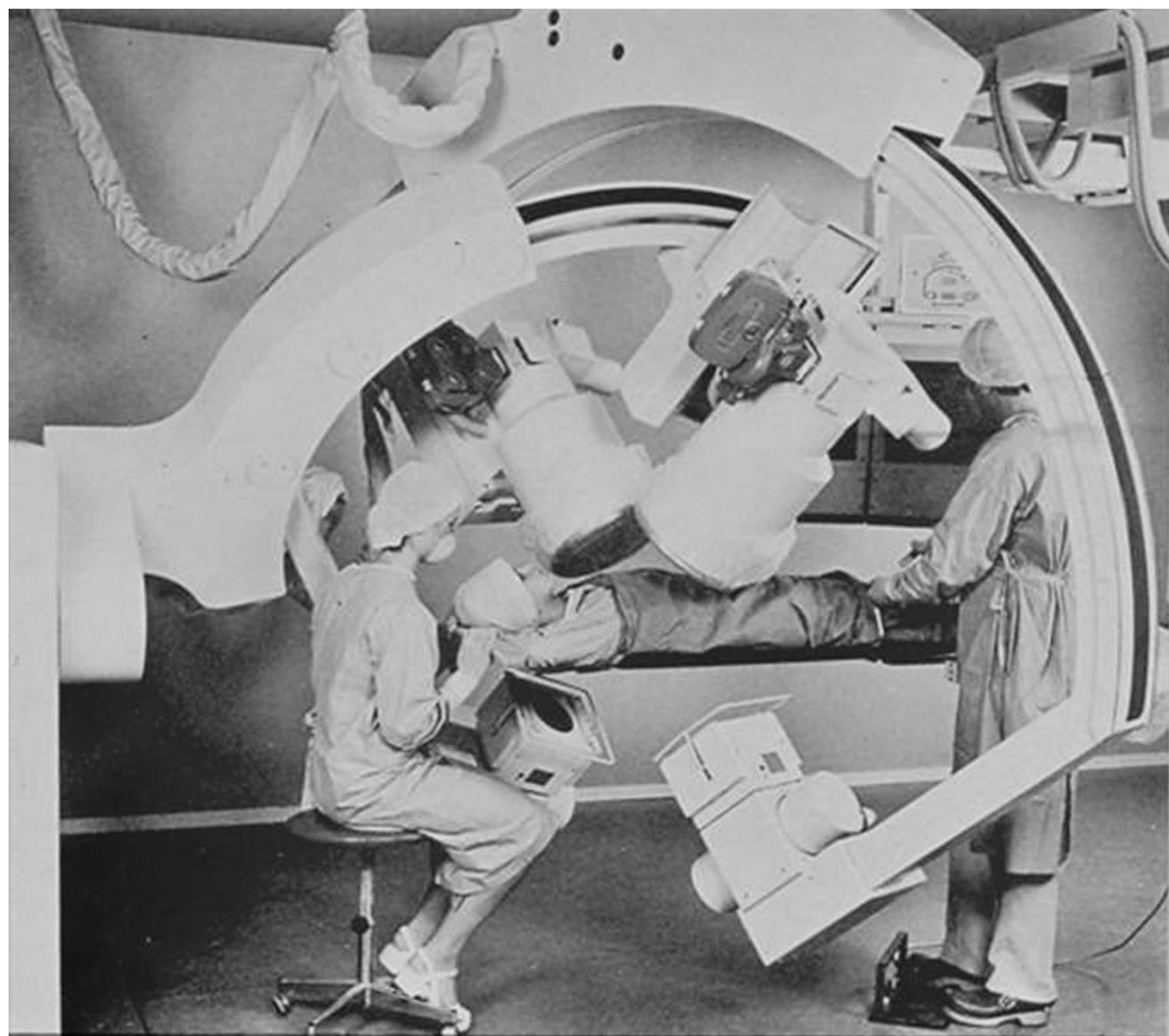


Summationsbild:  
= konventionelles  
Röntgenbild

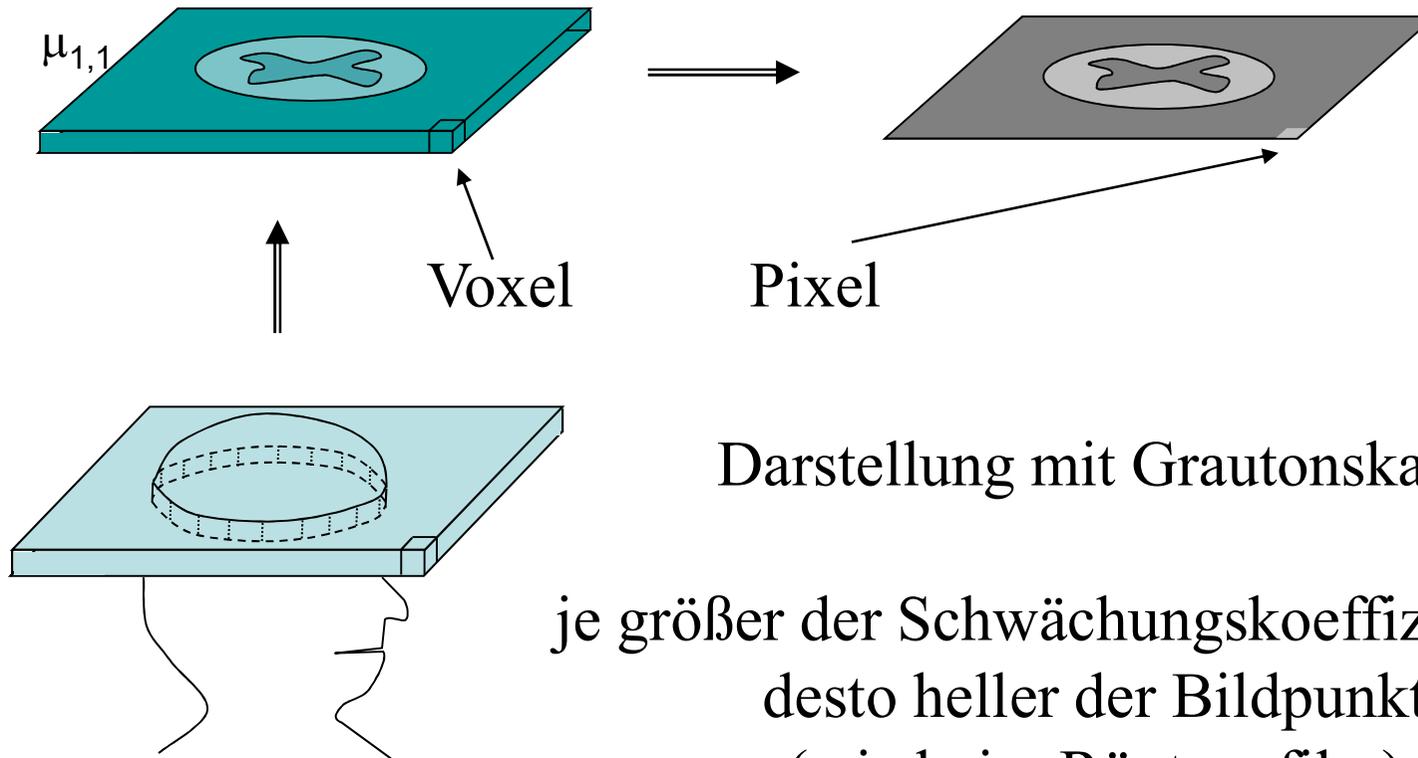
Gibt information über die  
durchschnittlichen  
Schwächung

Keine Information über  
der Verteilung der  
absorbierenen Stoffe





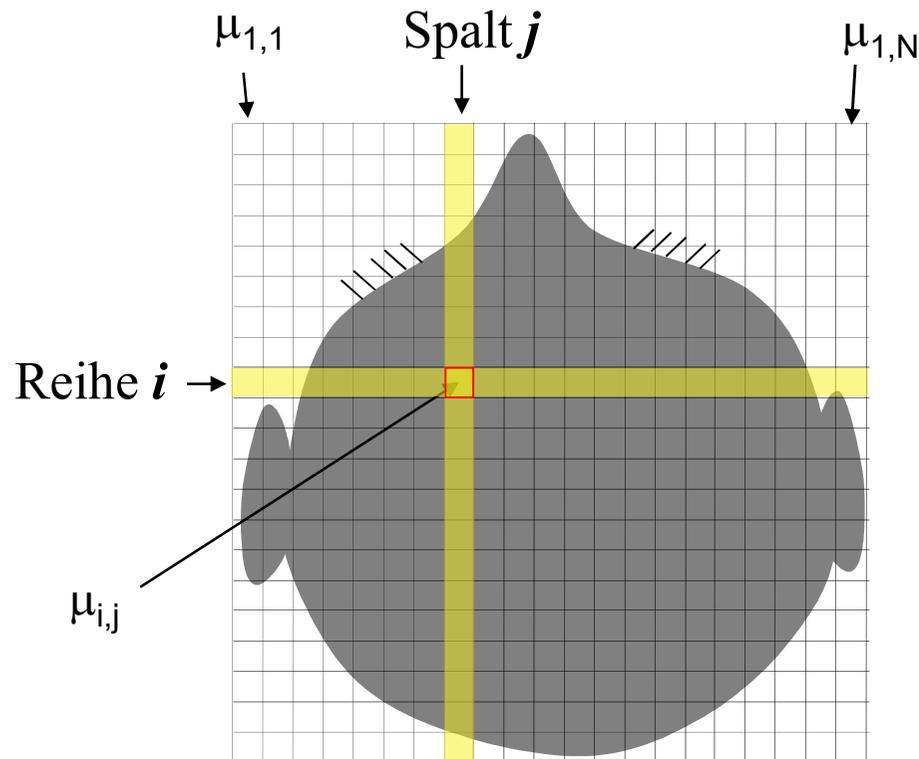
# Voxel-Pixel



Darstellung mit Grautonskala

je größer der Schwächungskoeffizient ( $\mu$ )  
desto heller der Bildpunkt  
(wie beim Röntgenfilm)

# Grundprinzip der Computertomographie



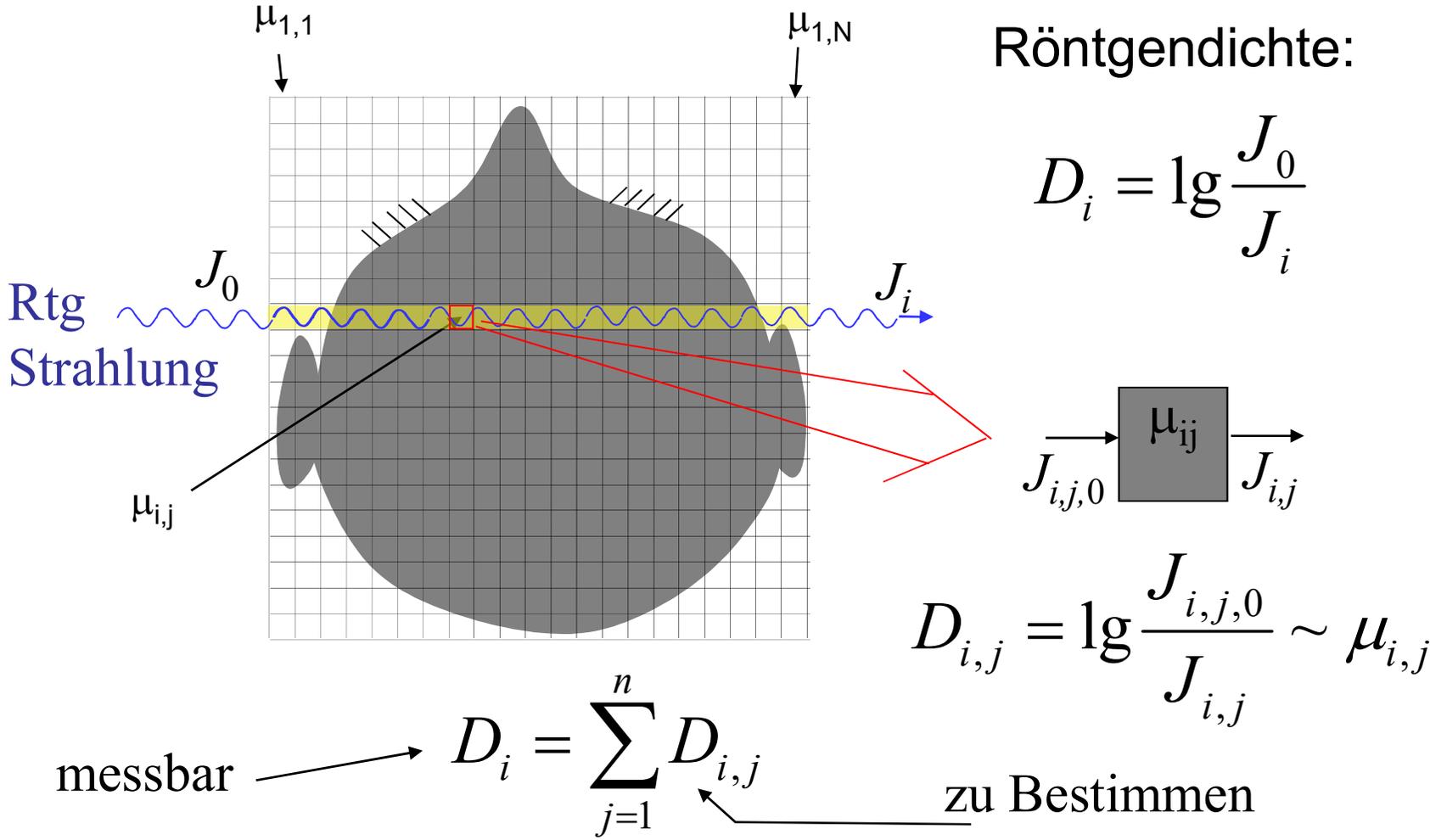
In einem Kästchen ist  $\mu$  als konstant betrachtet.

=> die Einzelheiten die kleiner als die Kästchengröße sind, werden nicht aufgelöst.

$\mu_{i,j}$  ist der Schwächungskoeffizient des  $j$ -ten Elementes in der Reihe  $i$ .

NxN Tabelle (Matrix)

# Messung und Bildrekonstruktion



# Messung und Bildrekonstruktion

$N \times N$  unbekannte Werte ( $D_{i,j}$  oder  $\mu_{i,j}$ )

eine Aufnahme:  $N$  Messwerte

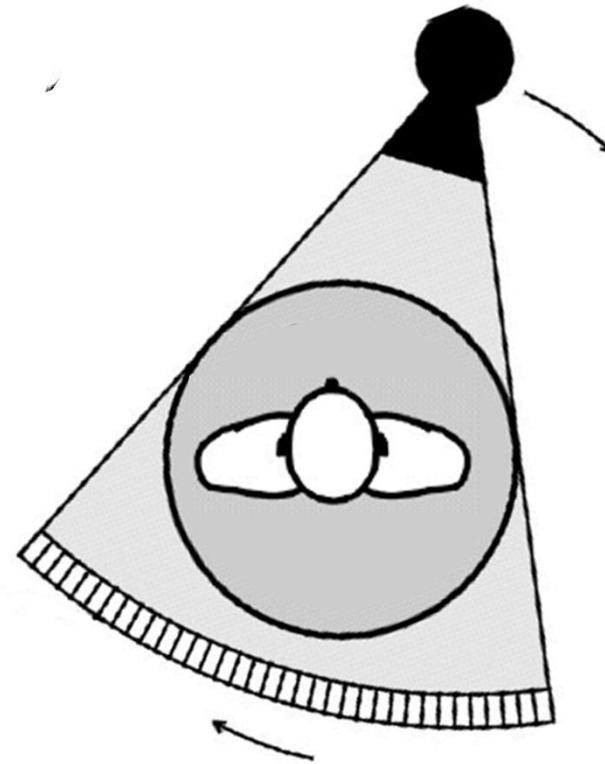
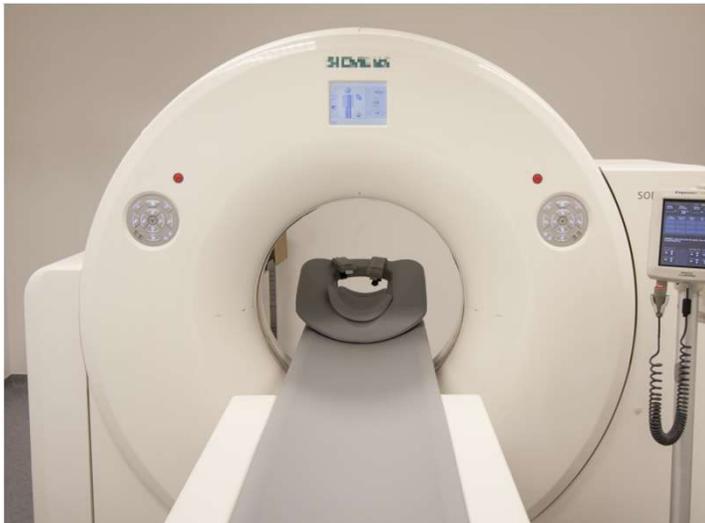
um  $N \times N$  unbekanntes zu bestimmen  $N \times N$   
Messwerte sind notwendig

⇒ Aufnahmen aus mehreren Richtungen

# Messung Aufnahme

Die Röntgenröhre und  
Der Detektorenbogen  
kreissen den Patient um.

Aufnahmen aus vielen  
Richtungen



# Bildrekonstruktion

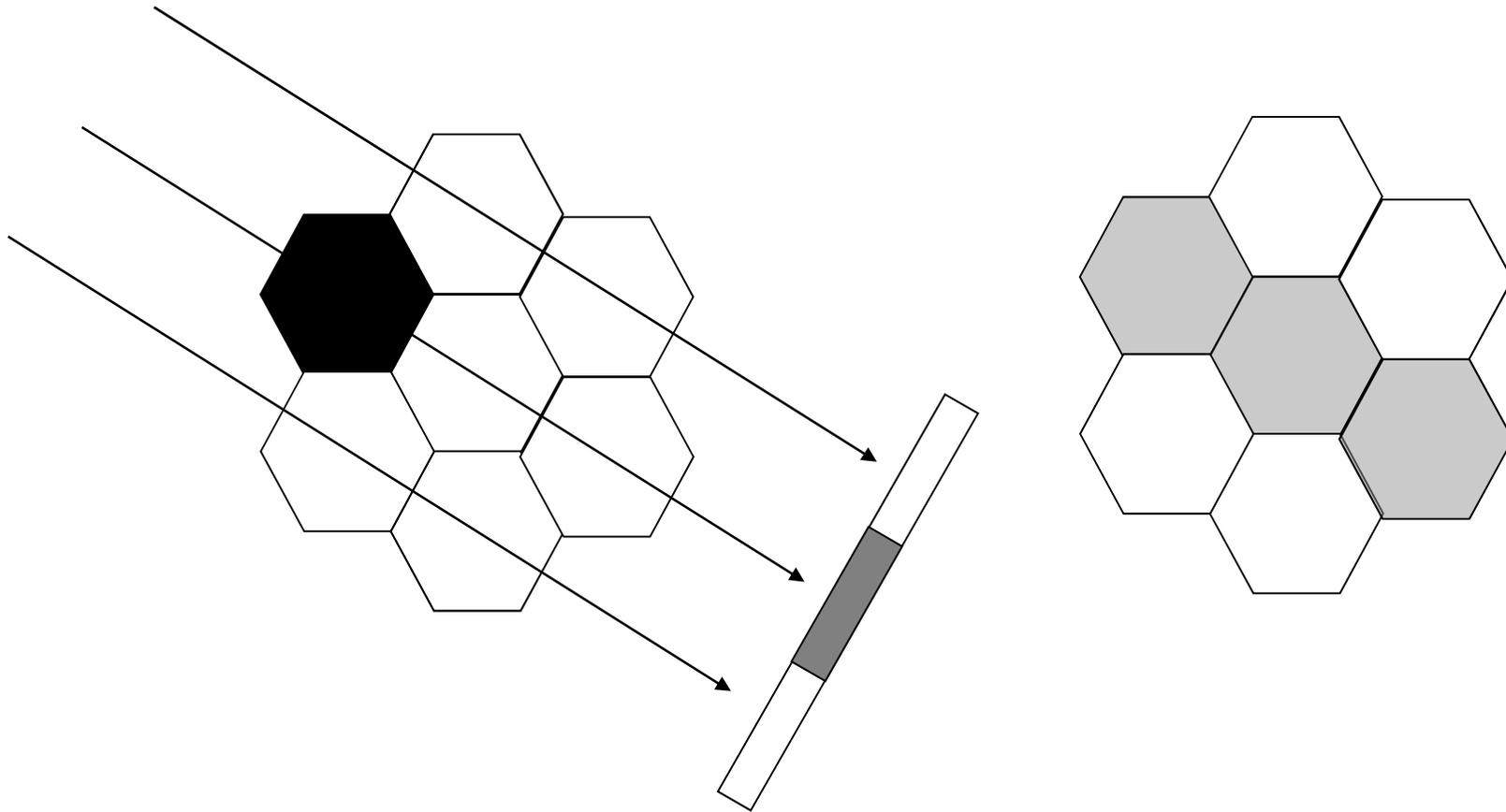
Gleichungssystem? Praktisch unlösbar!

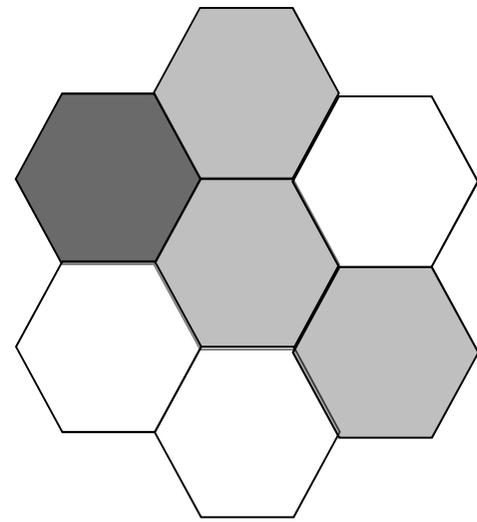
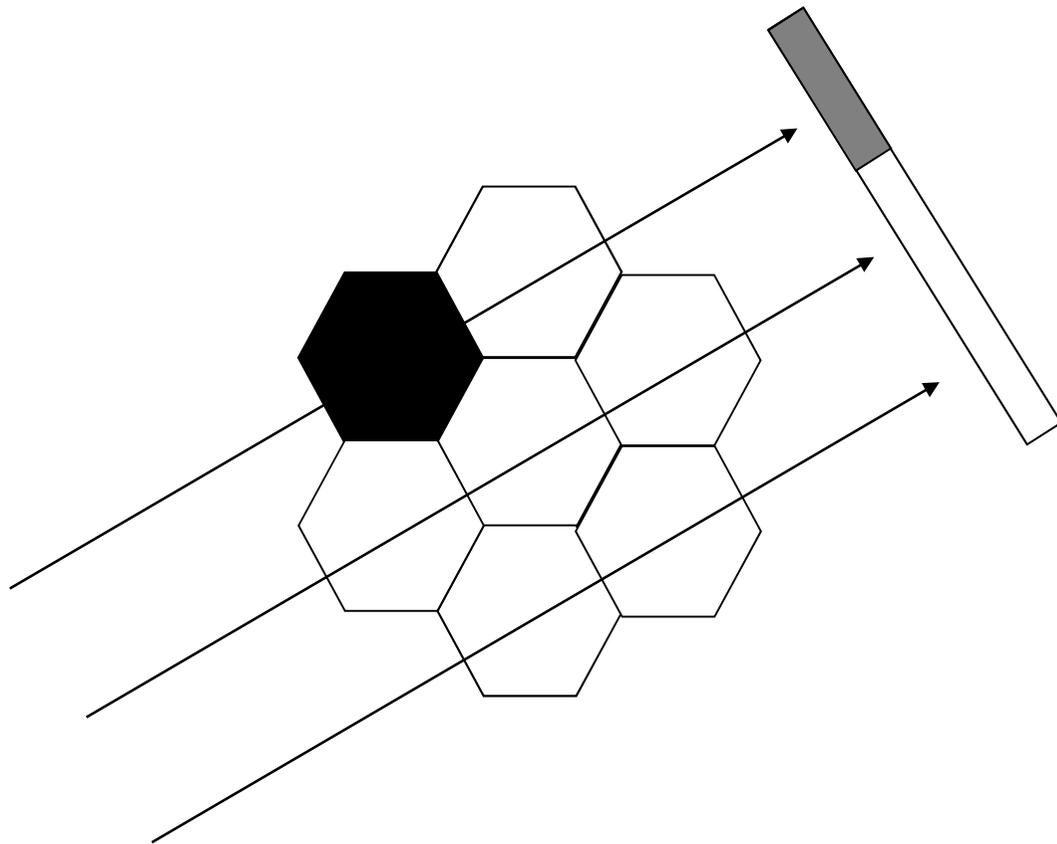
zB: 512x512 Bildpunkte:  $\approx$  250 000 Unbekannte!

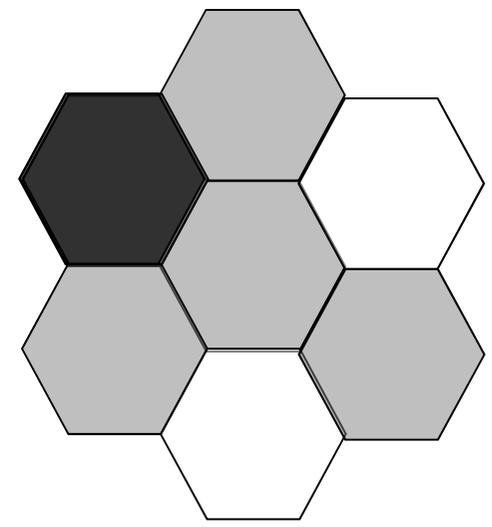
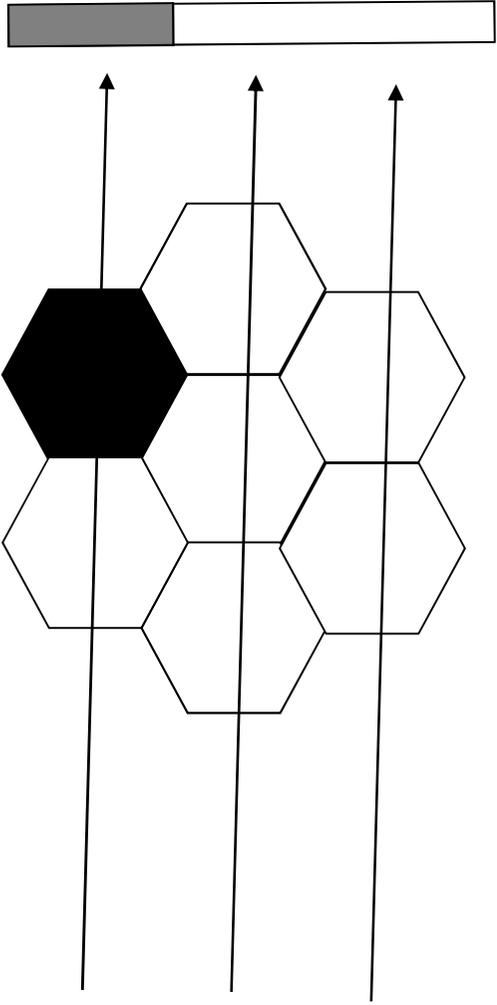
Ein einfaches Annäherungsverfahren:

Rückprojektion

# Prinzip der Rückprojektion



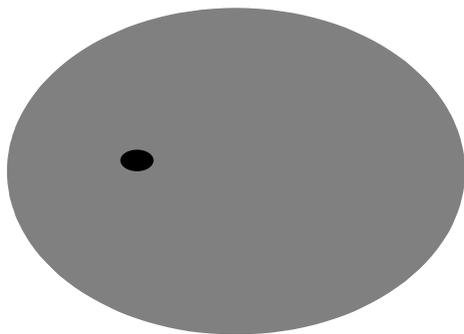




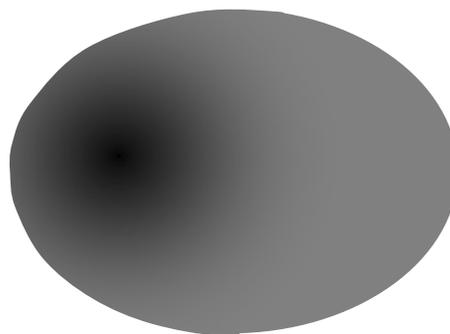
# Bildrekonstruktion

Das Bild wird verwischt.

Die Bildschärfe muss mit einem mathematischen Prozess erhöht werden: Filtrierung



Objekt



Bild

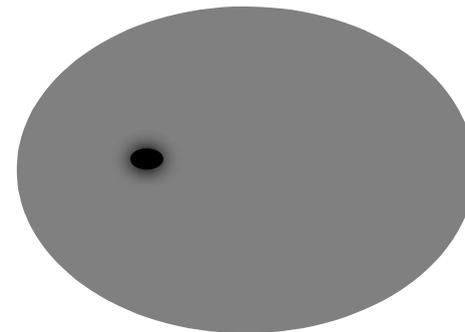


Bild nach  
Filtrierung

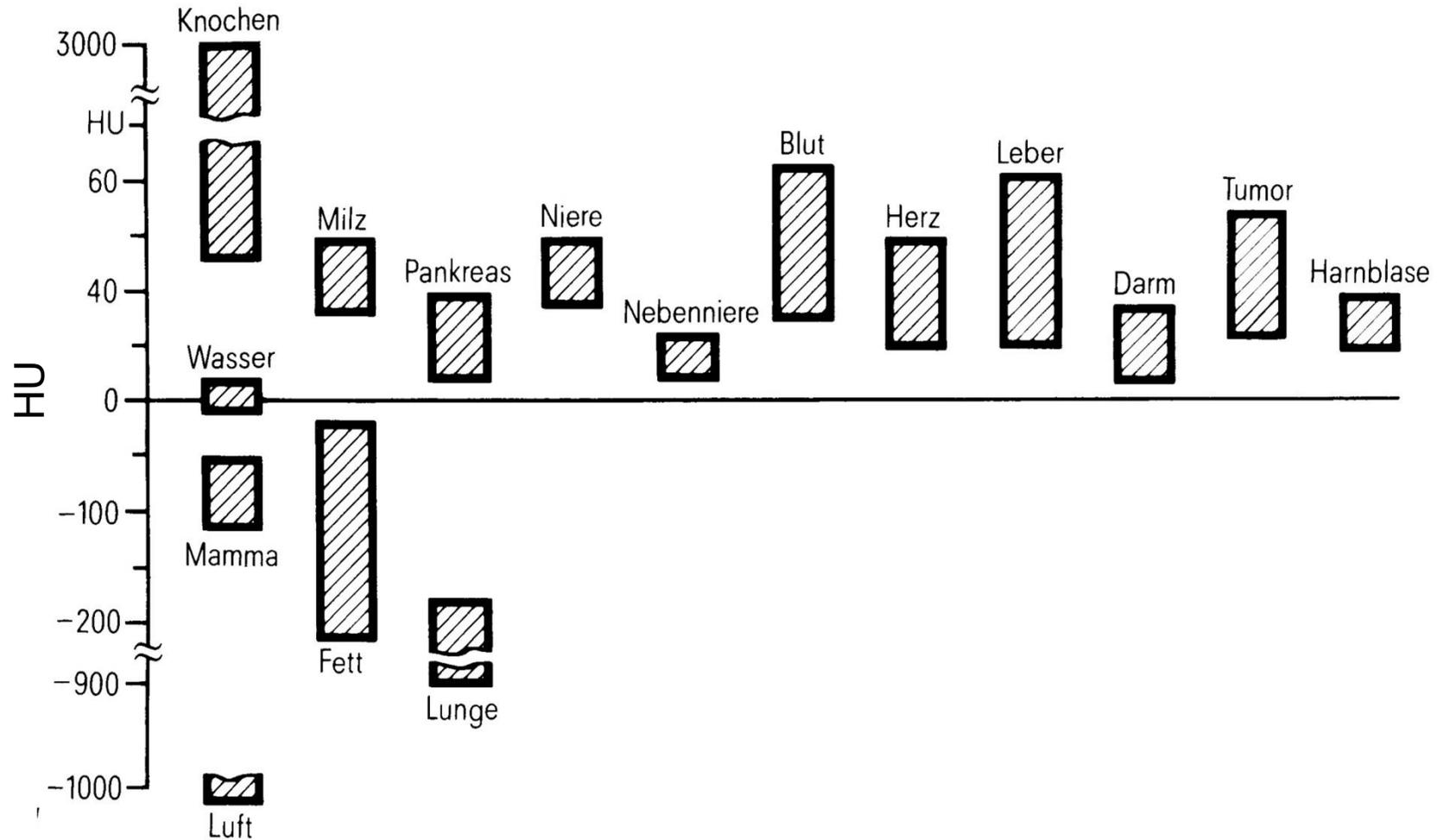
# Darstellung mit Grautöne: Hounsfield Skala (CT Wert)

$$HU = \frac{\mu - \mu_{wasser}}{\mu_{wasser}} 1000$$

relative Skala  
für  $\mu$

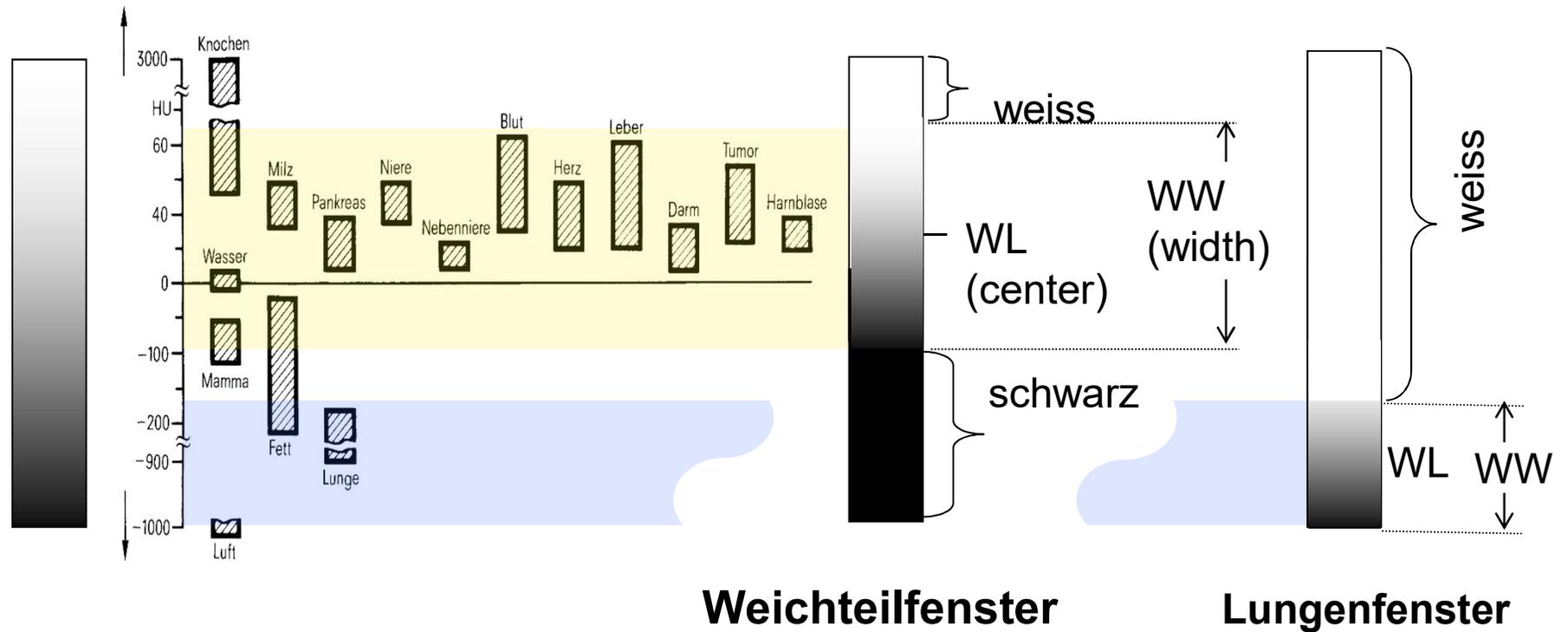
Wasser	=	0
Luft	=	-1000
Knochen		100-1000
Weichteilgewebe	$\approx$	0
Lunge		<0

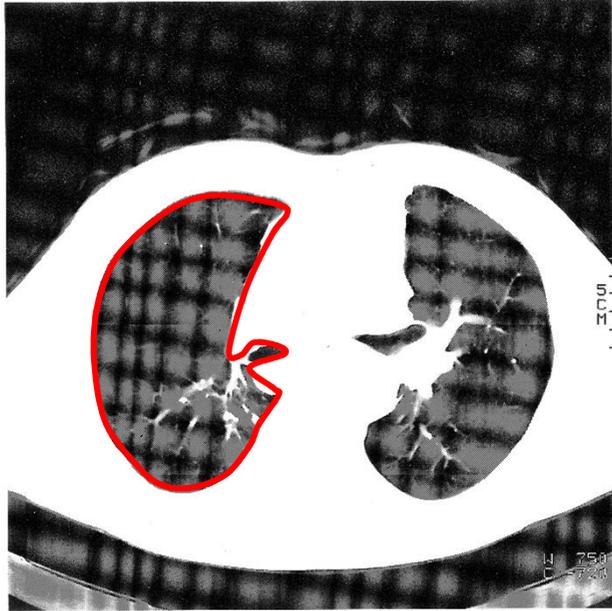
# CT Werte von einigen Gewebe



# Fensterung

## Grautonskala



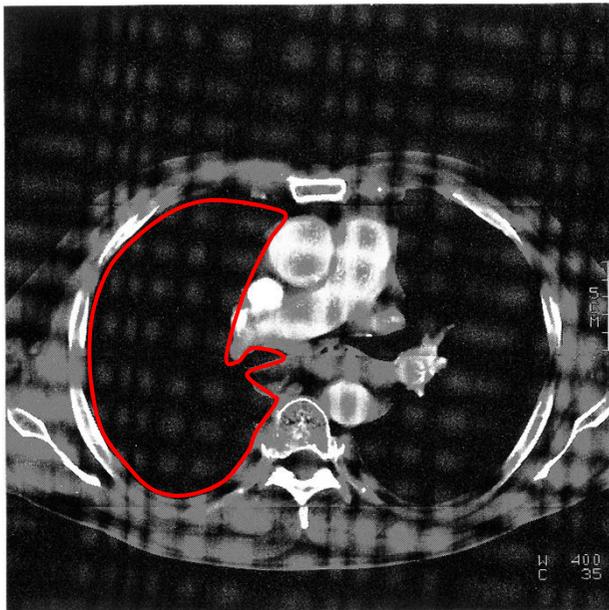


## Lungenfenster

Mitte = -720

Breite = 750

(-1095 ...-345)

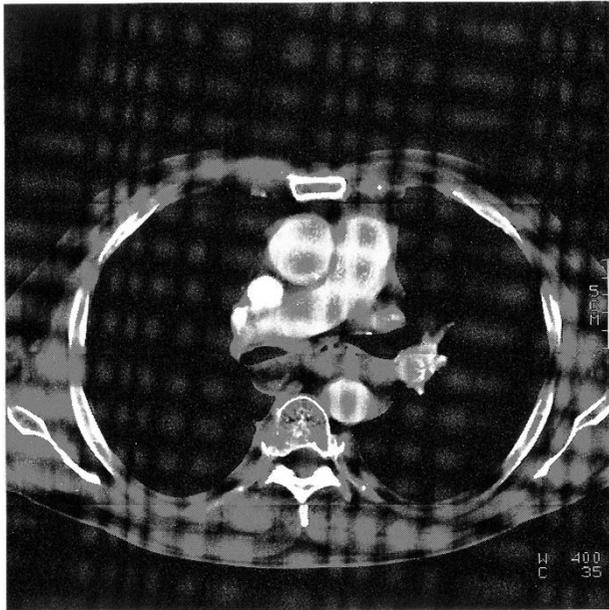
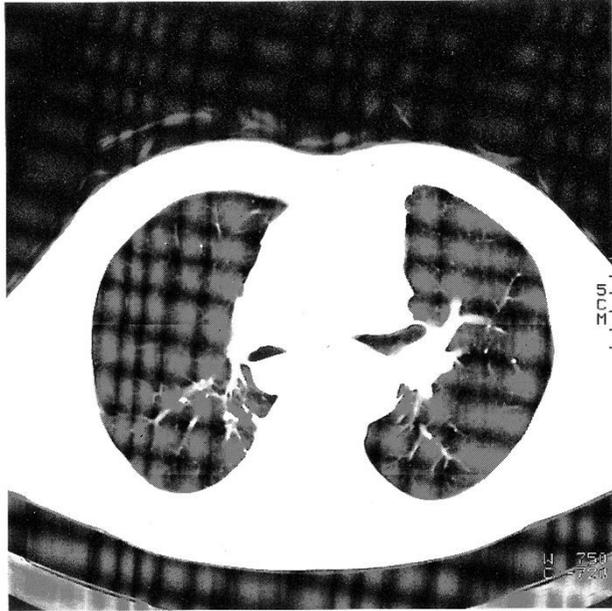


## Weichteilfenster

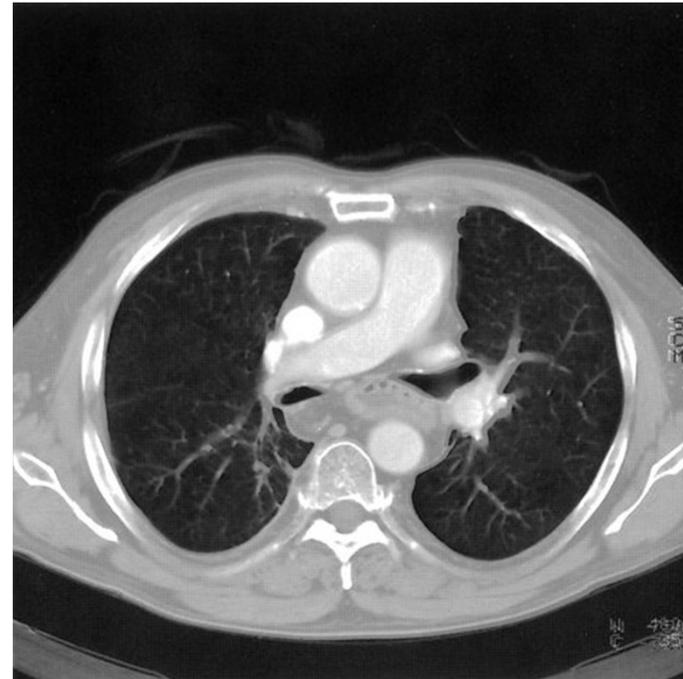
Mitte = 35

Breite = 400

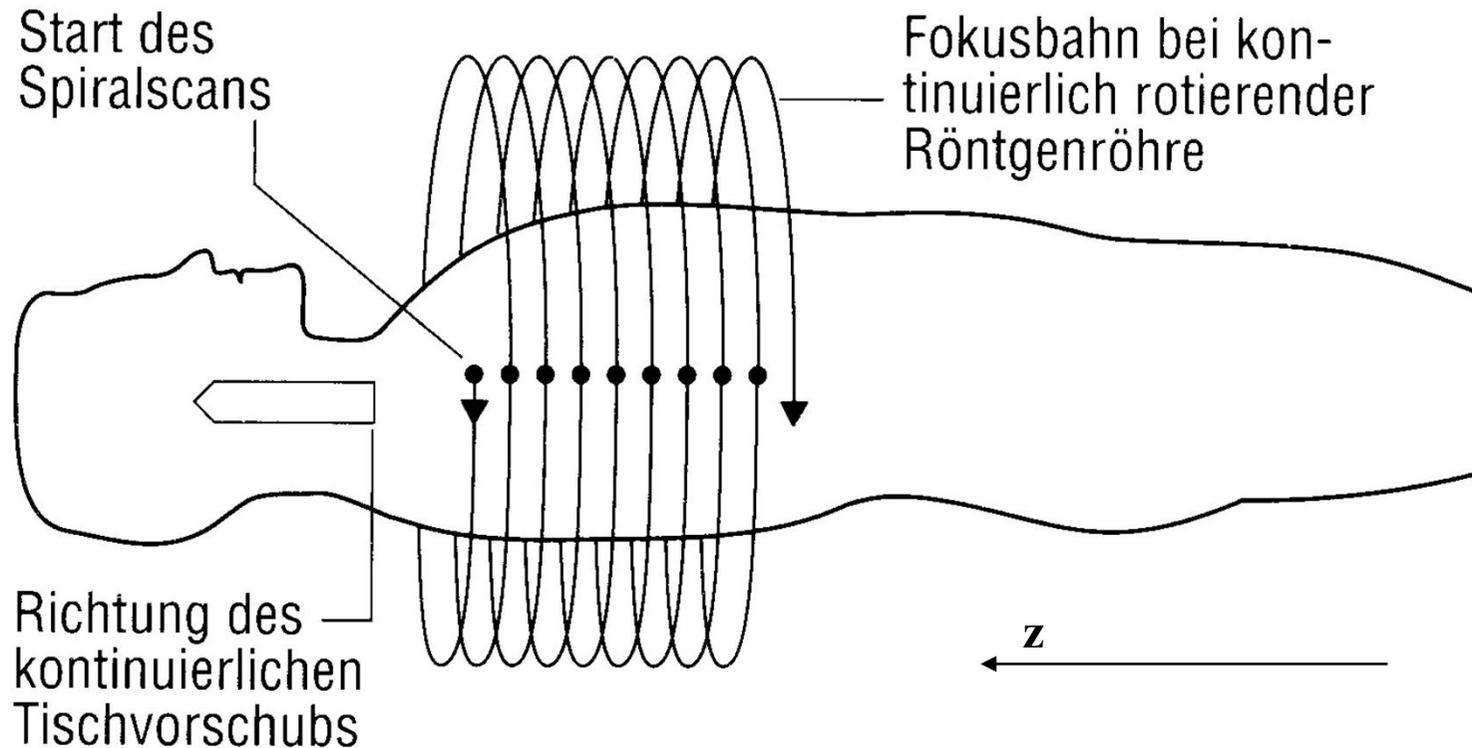
(-165 ...235)



# Doppelfenster



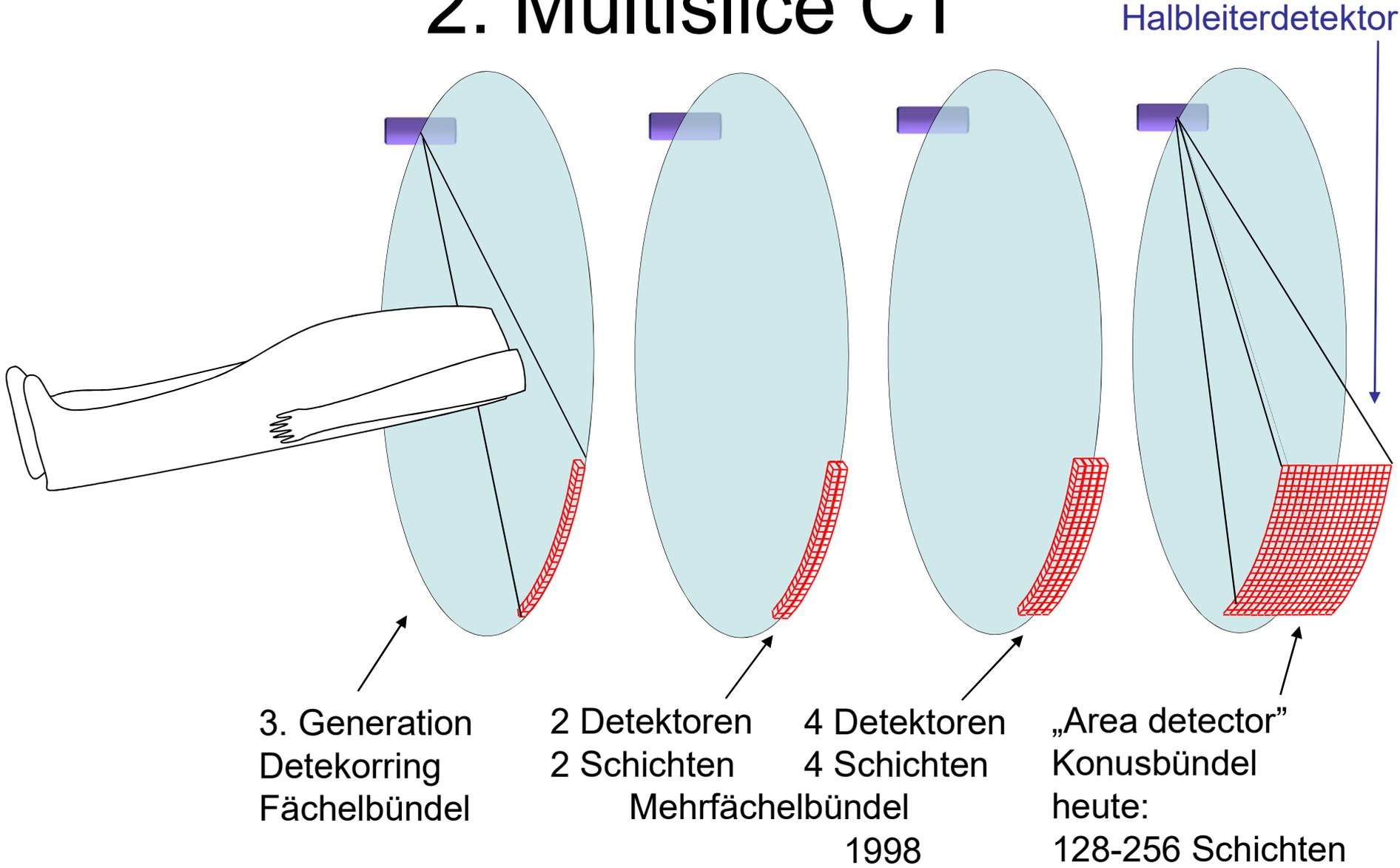
# Moderne CT Verfahren: 1. Spiral CT



Das schichtbild kann man in einem beliebigen  $z$  Position gerechnet werden.

# Moderne CT Verfahren:

## 2. Multislice CT



# Entwicklung der CT-Aufnahmen

Jahr	Zeit (s)/ Schicht	Schicht- dicke (mm)	Anzahl d. Schichten
1980	10	10	25-30
2020	0,08	0,0-0,75	600-2500

# 3D Darstellung

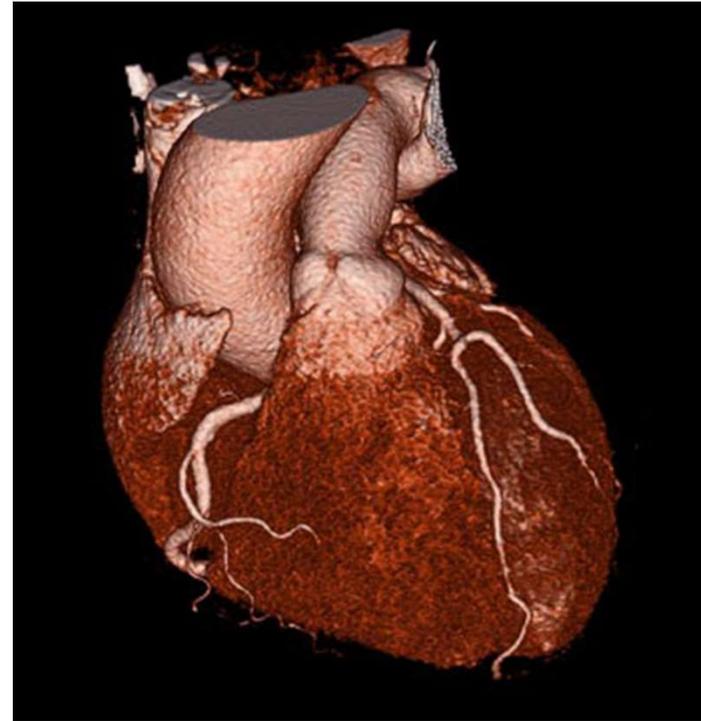
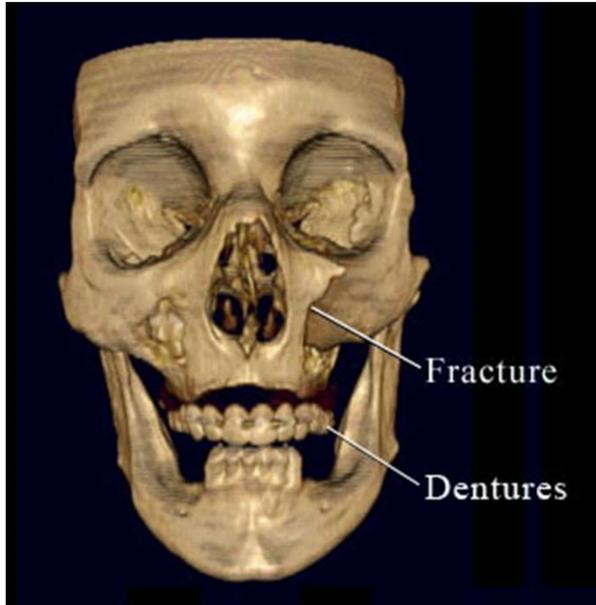
Bei einem modernen multislice CT:  
einige 100 Schichtaufnahmen !!

Große Datenmenge!

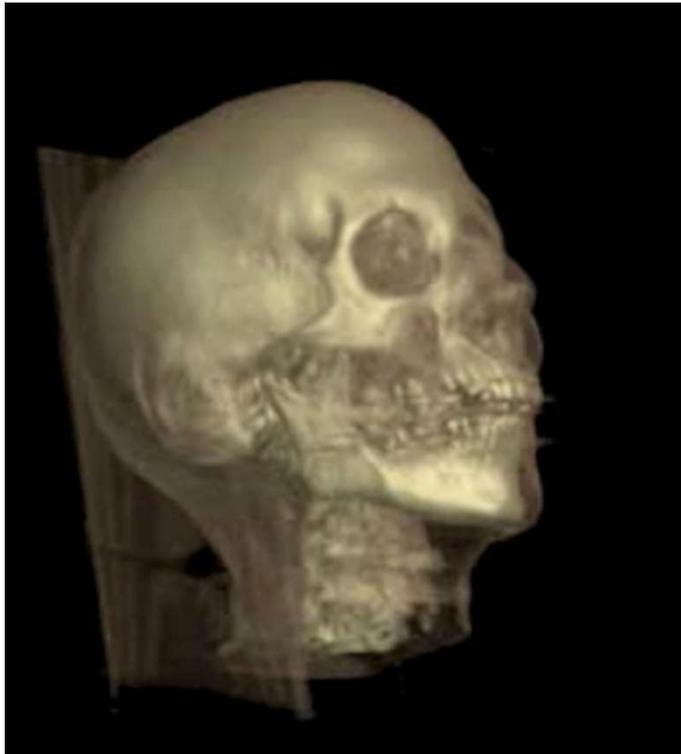
Es kann nicht Schicht zu Schicht betrachtet  
werden =>

Dreidimensionale (3D) Darstellung

# Surface rendering



# Volume rendering



Eine drehende Version findet  
man hier:  
[http://www-  
graphics.stanford.edu/software/  
volpack/movies/colorhead.mpg](http://www-graphics.stanford.edu/software/volpack/movies/colorhead.mpg)

# Strahlenbelastung der CT Untersuchung



„...survey in the UK, CT scans constituted 7% of all radiologic examinations, but contributed 47% of the total collective dose from medical X-ray examinations in 2000/2001 (Hart & Wall, European Journal of Radiology 2004;50:285-291).”

47% der Strahlenbelastung kam aus der CT Aufnahmen die nur 7% der radiologischen Aufnahmen gaben. 2000/2001

# Weitere Literatur

- Siemens: Bildgebende Systeme für medizinische Diagnostik (3. Ausgabe)  
Publicis MCD Verlag 1999
- G. N. Hounsfield: Computed Medical Imaging (Nobel Lecture 1979)  
[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1979/hounsfield-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/hounsfield-lecture.pdf)
- Földes Tamás CT vizsgálatok alapjai (előadásjegyzet) (Ungarisch)  
[http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/CT\\_SPCEKOLL/CT\\_alap.pdf](http://www.sci.u-szeged.hu/foldtan/CT_SPCEKOLL/CT_alap.pdf)
- C. J. Garvey, R. Hanlon: Computed tomography in clinical practice BMJ  
(2002) 324 1077-1080
- H. D. Nagel: Multislice Technology  
[http://www.multislice-ct.com/www/media/introduction/msct\\_technology\\_2004\\_06\\_01\\_v02.pdf](http://www.multislice-ct.com/www/media/introduction/msct_technology_2004_06_01_v02.pdf)
- Hart & Wall, European Journal of Radiology (2004) 50 285-291.
- E. K. Fishman: Multidetector-row computed tomography to detect coronary artery disease: the importance of heart rate. Eur. Heart J. Suppl. (2005)  
Suppl.G pages: G4-G12

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

