

# Röntgenstrahlung

Spezielle Verfahren

Minimalisierung der Strahlenbelastung

Erhöhung der Bildqualität

Röntgentomographie (CT)

# Medizinische Biophysik II.

## Röntgenstrahlung II.

### IV. Spezielle Röntgenverfahren

1. Fluoroskopie
2. Direkte digitale Röntgentechnik
3. Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)
4. Tomosynthese

### V. Einige technische Aspekte der Röntgendiagnostik

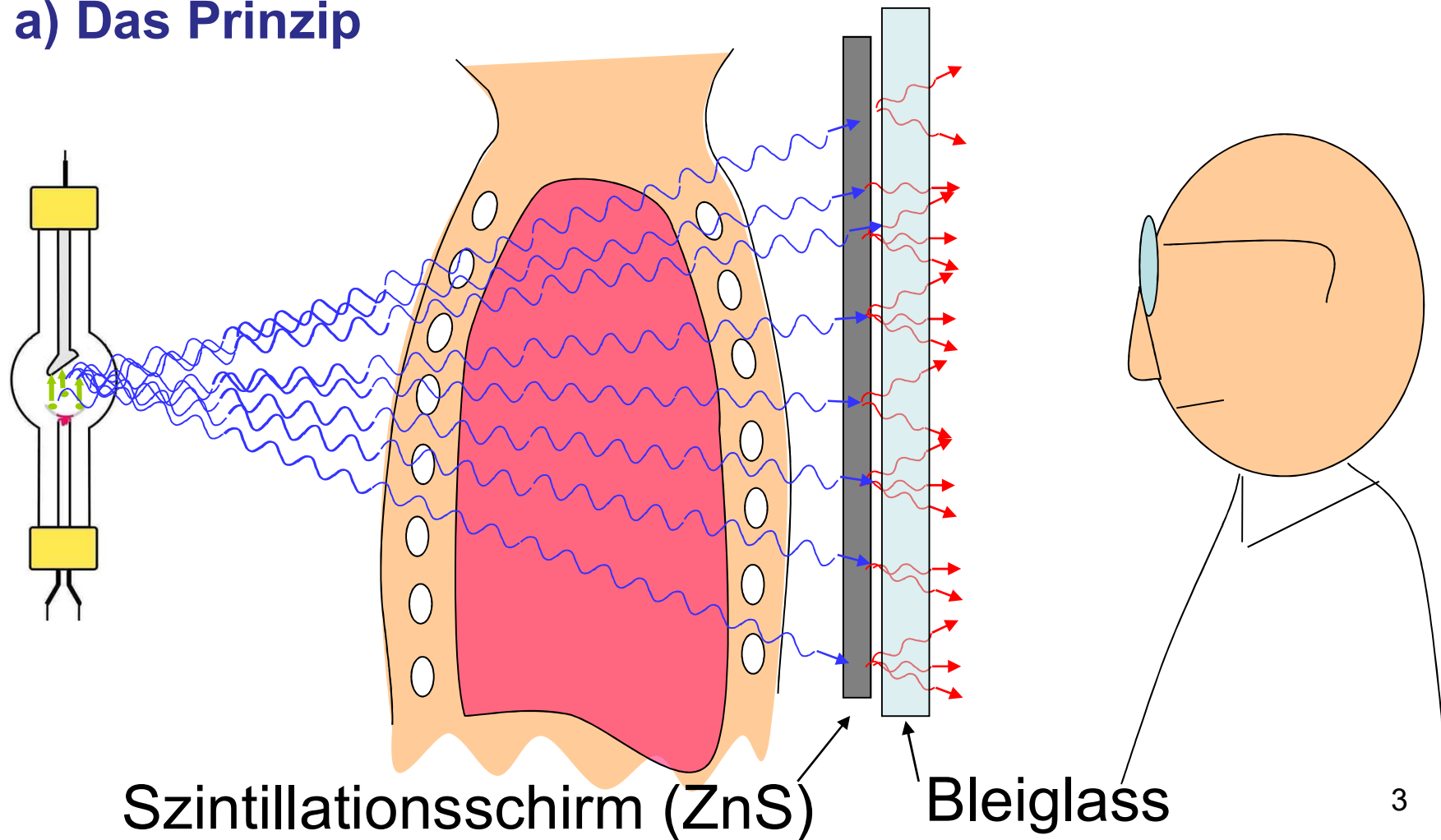
1. Einfluss der Photonenenergie auf die Bildqualität
2. Anwendung eines Filters
3. Kollimator
4. Abstand und Strahlenbelastung
5. Abstand und Bildqualität
6. Fokus der Röntgenröhre
7. Minimalisierung der Streustrahlung
6. Rolle der Schichtdicke

### VI. Röntgentomographie (CT)

# IV. Spezielle Röntgenverfahren

## 1. Fluoroskopie

### a) Das Prinzip



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

Fluoroskopie heute ausschließlich mit:

⇒ Bildverstärker

⇒ Digitale Detektoren

## b. Bildverstärker



# 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)

## 2. Direkte digitale Röntgentechnik



# 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!)

C-Arm Gerät  
mit digitalem  
Detektor

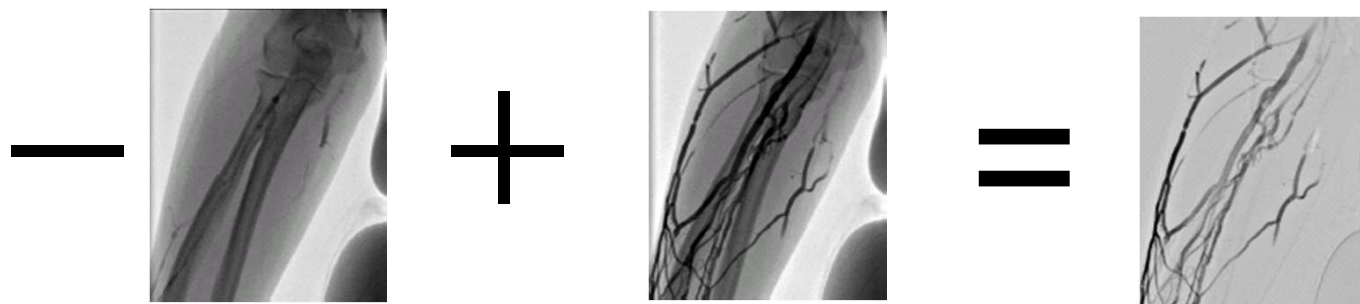


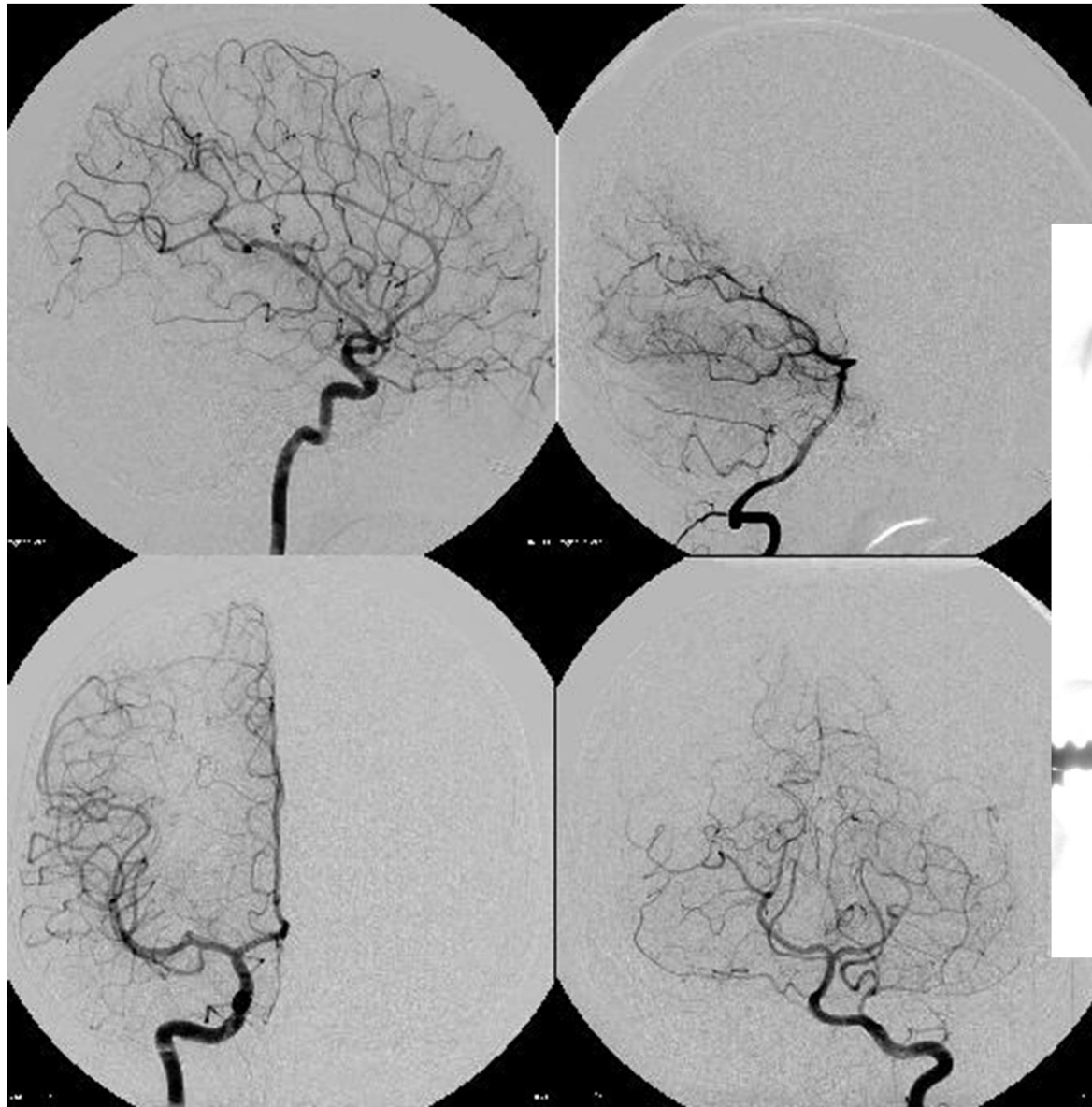
Digitaler  
Detektor

Röntgenröhre

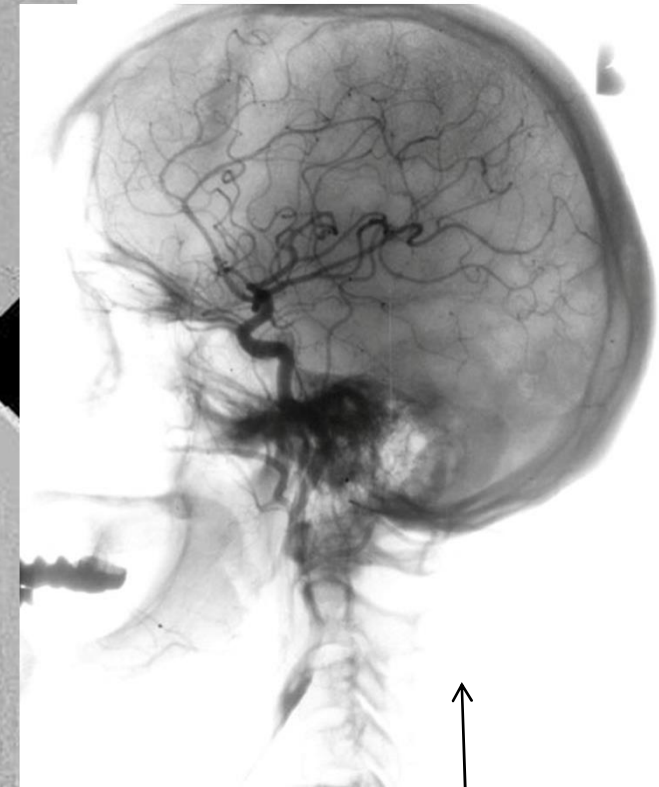
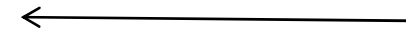
### 3. Digitale Subtraktionsangiographie (DSA)

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





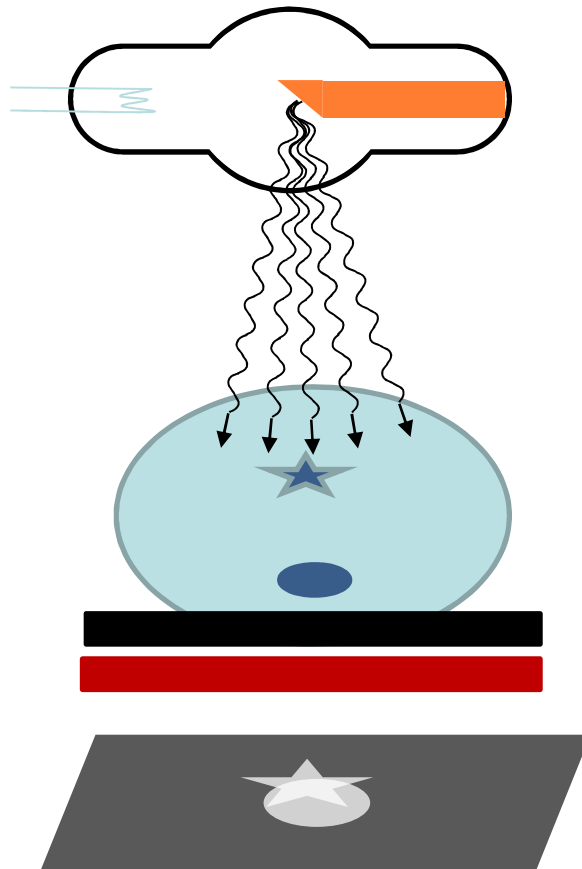
DSA Bilder



Summationsbild

## 4. Tomosynthese

≠ CT !!



Körper

Tisch

Detektor

Summationsbild

# Tomosynthese

## Aufnahme1

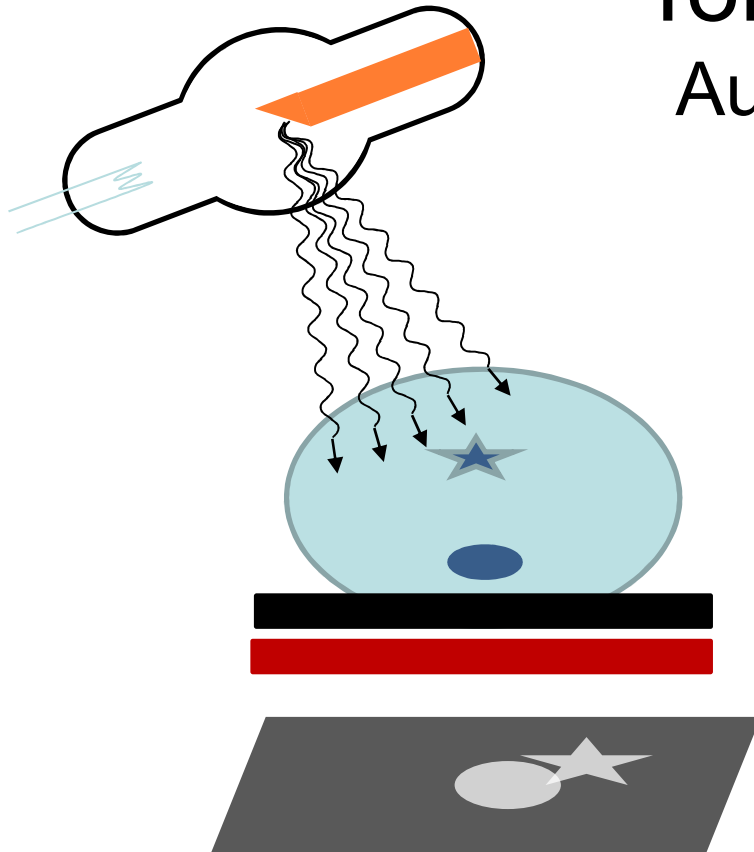


Bild1

Körper

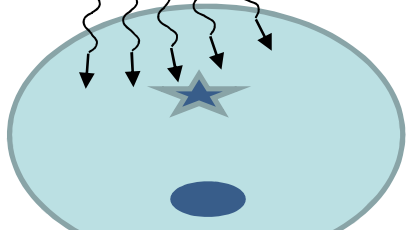
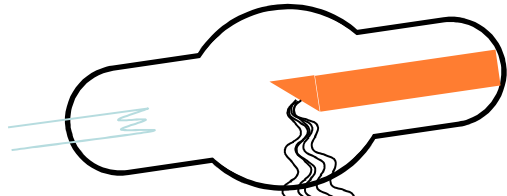
Tisch

Detektor

Bild1

# Tomosynthese

Aufnahme2



Körper

Tisch

Detektor

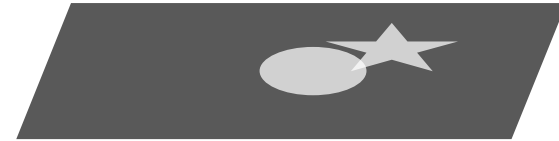


Bild1

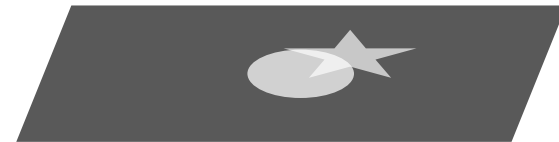
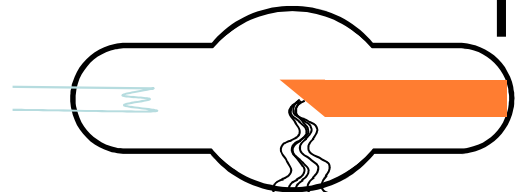


Bild2



Bild2

# Tomosynthese



Aufnahme3

Körper

Tisch

Detektor

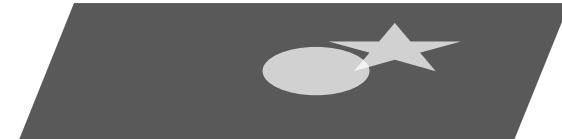


Bild1



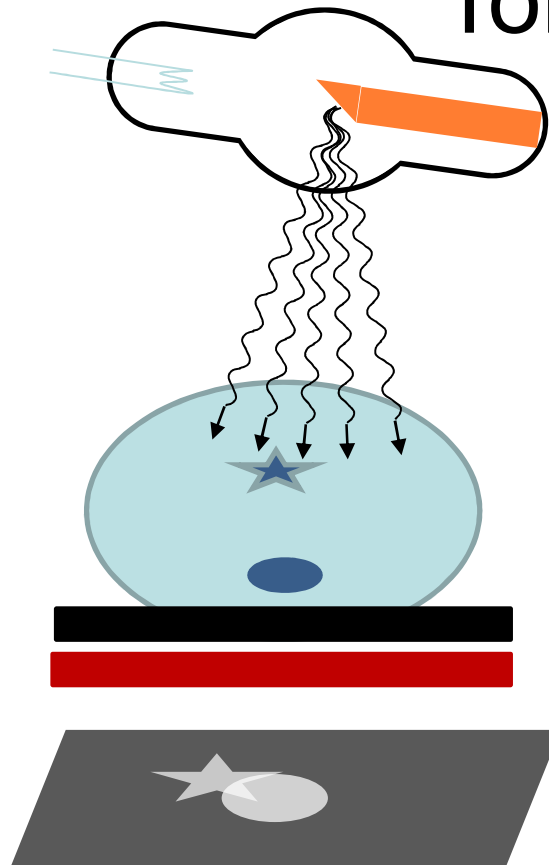
Bild2



Bild3

Bild 3

# Tomosynthese



Aufnahme4

Körper

Tisch

Detektor

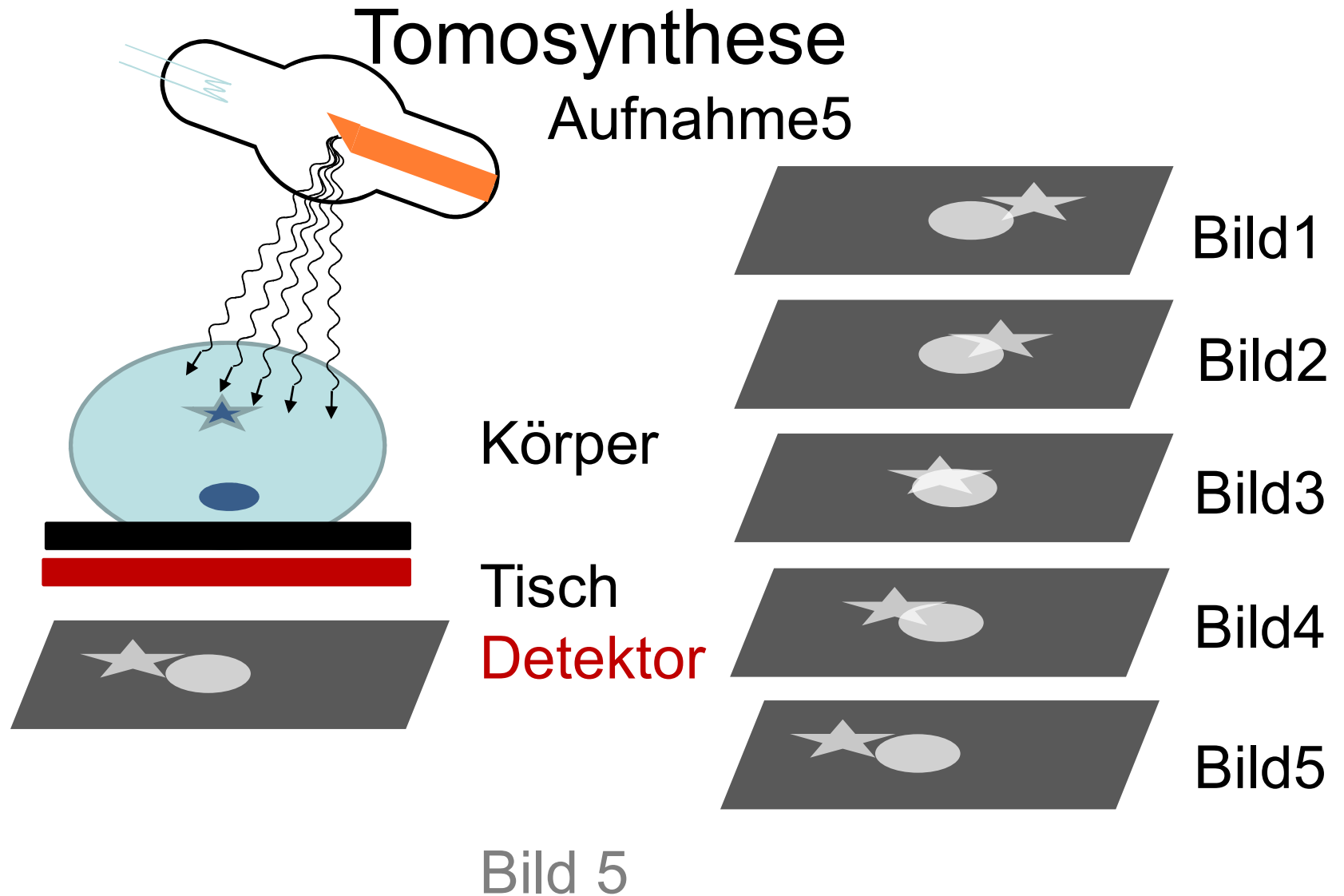
Bild1

Bild2

Bild3

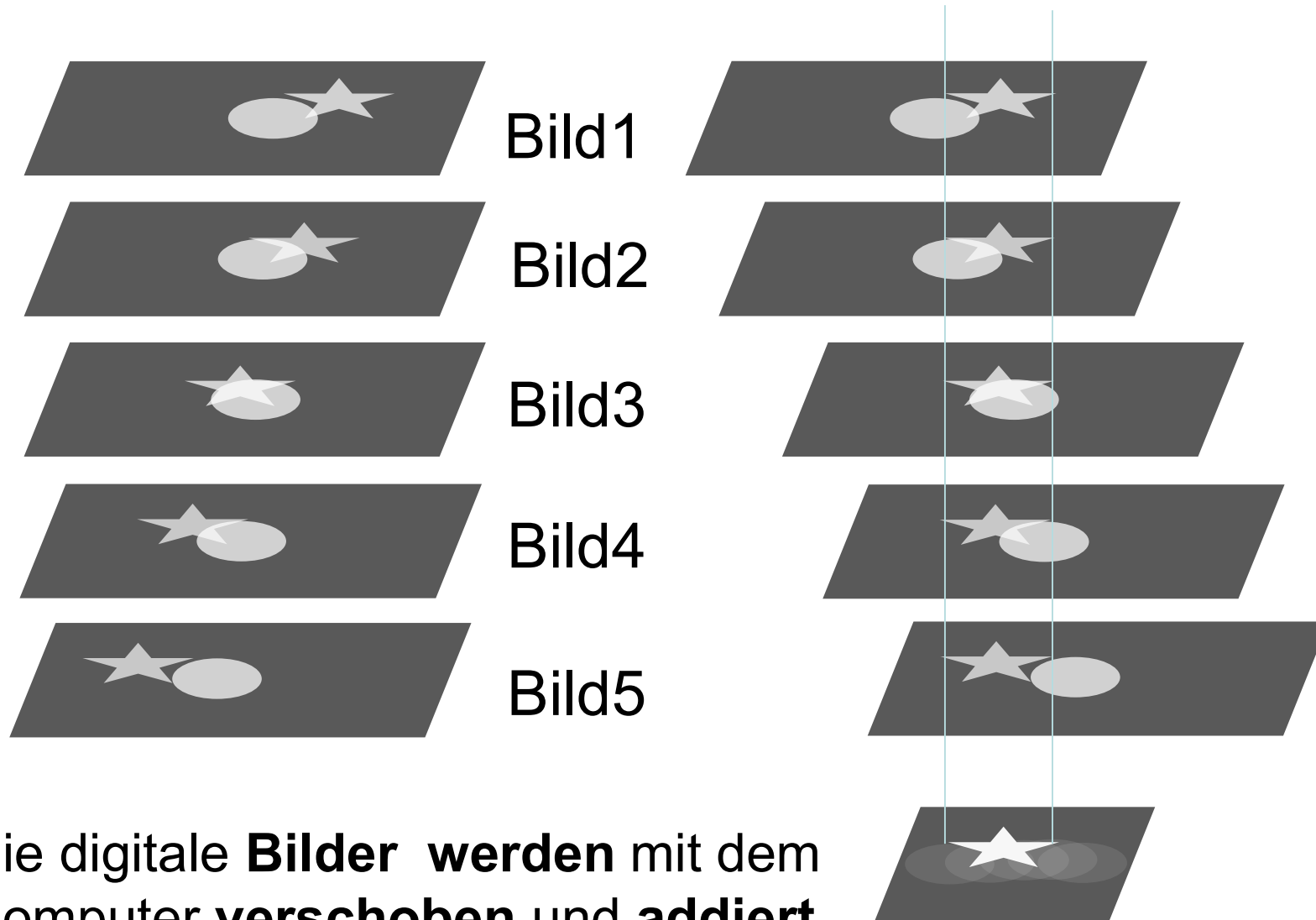
Bild4

Bild 4

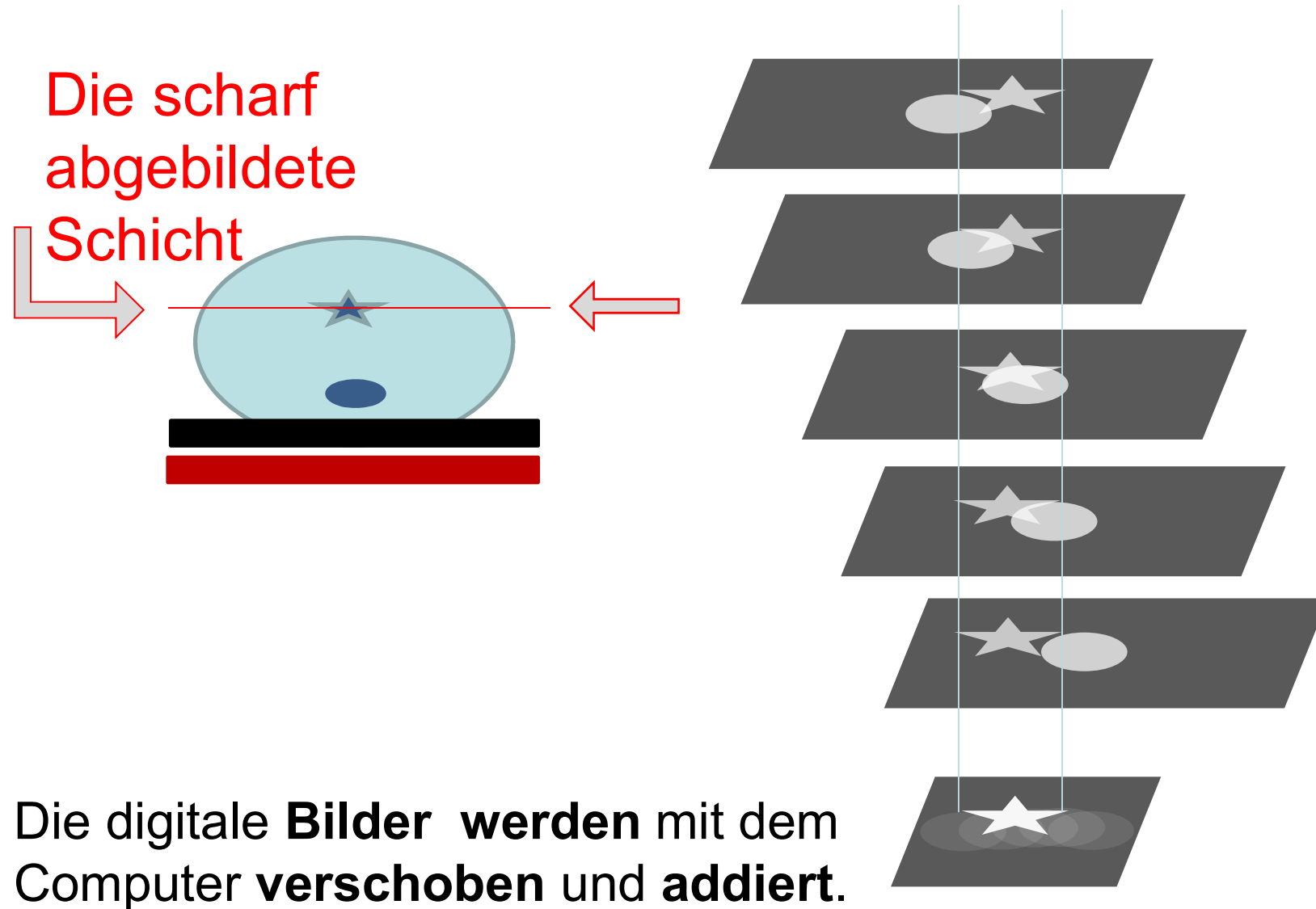


Die Schatten verschieben sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit

# Tomosynthese: Berechnung des Schichtbildes

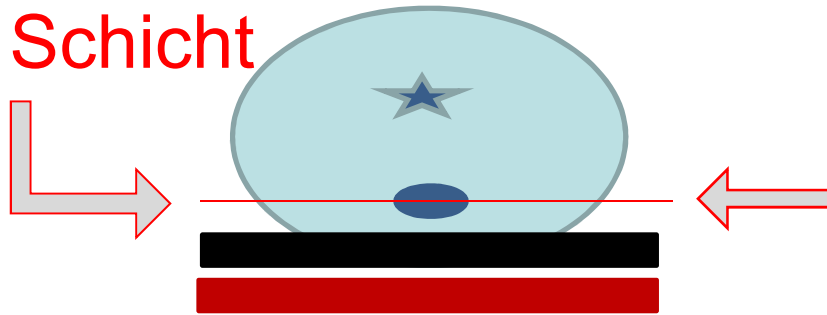


# Tomosynthese: Berechnung des Schichtbildes

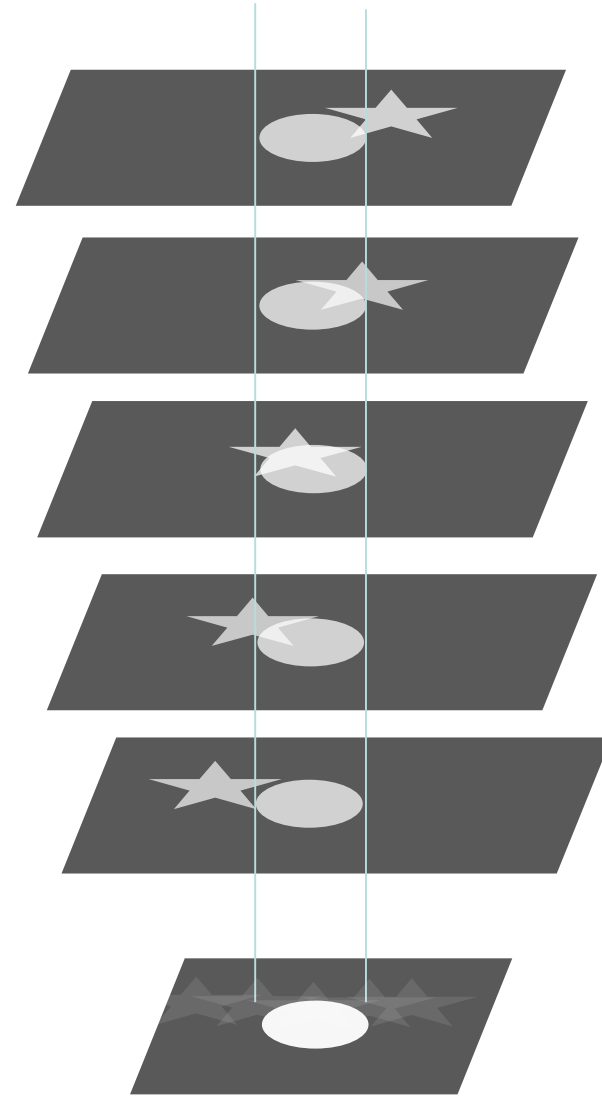


# Tomosynthese: Berechnung des Schichtbildes

Die scharf  
abgebildete  
Schicht



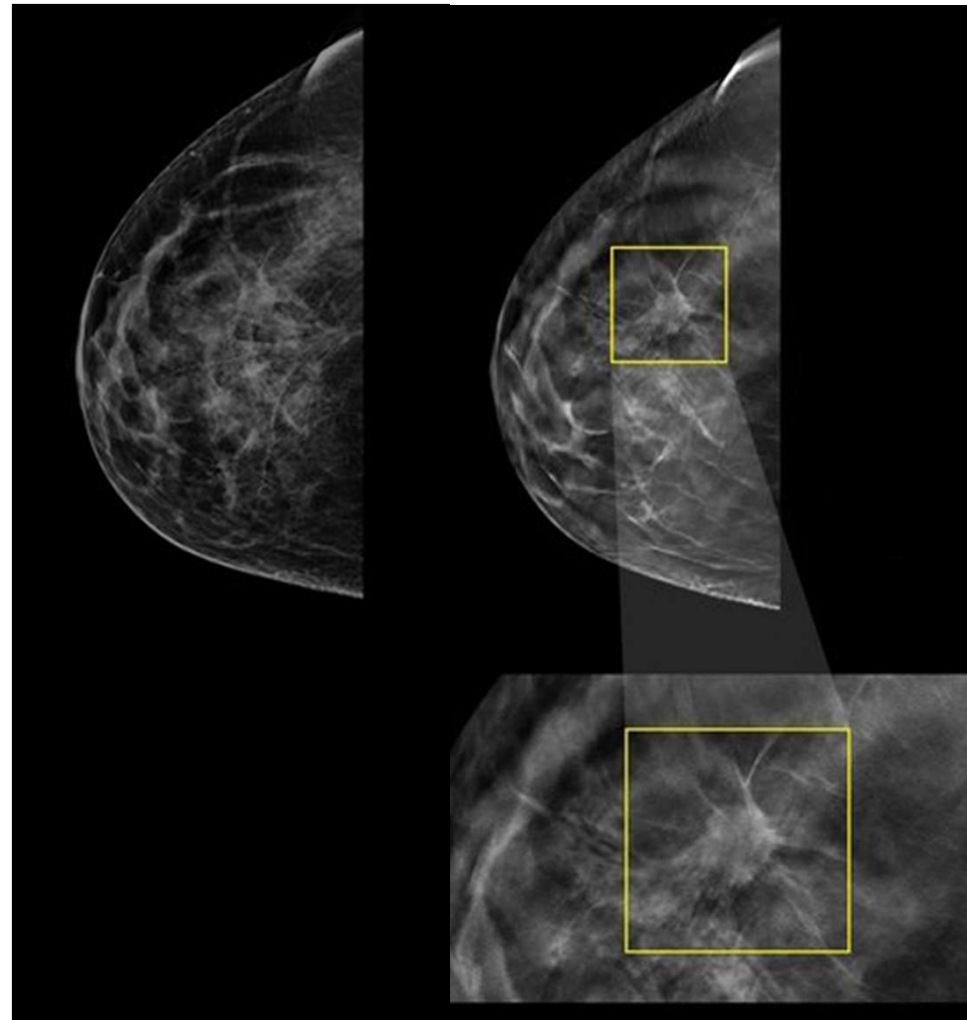
Eine andere Verschiebung  
führt zur Abbildung einer  
anderen Schicht



# Tomosynthese

Summationsbild

Tomosynthese



# V. Einige technische Aspekte der Röntgendiagnostik

Minimalisierung  
der Strahlendosis

Filter

Kollimator

Optimale  
Härte der  
Strahlung

Abstand

Erhöhung der  
Bildqualität  
(Bildschärfe)

Fokus

Streustrahlungsraster

# 1. Einfluss der Photonenenergie auf die Bildqualität

weiche Str.

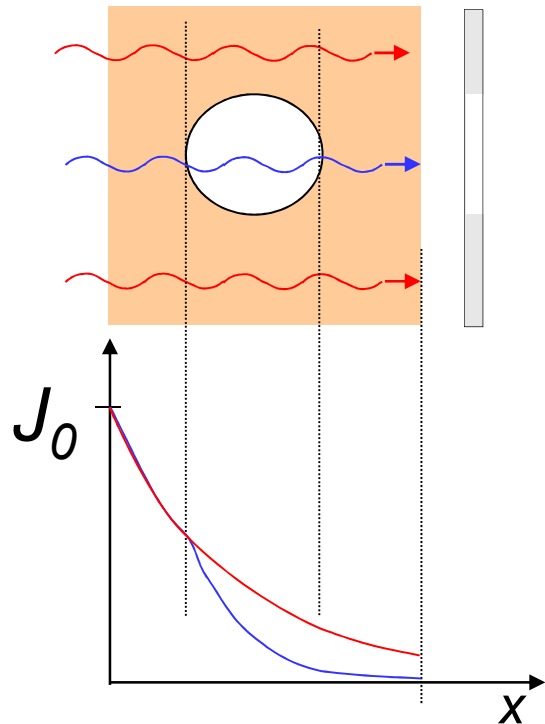


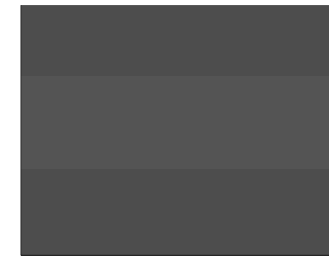
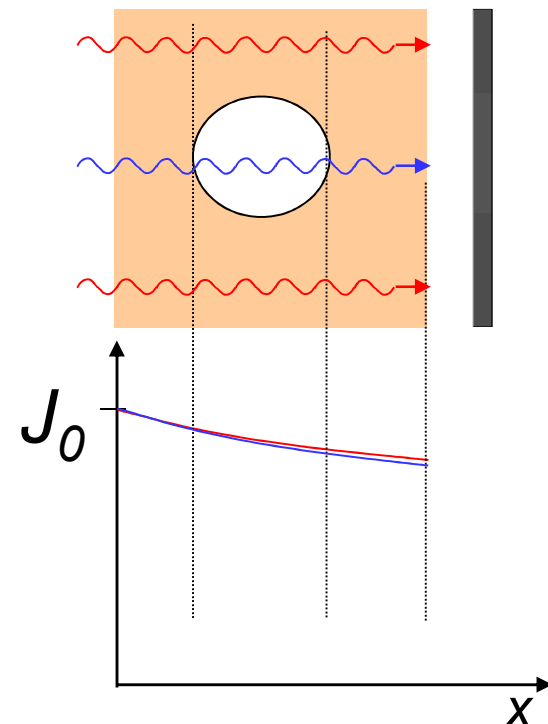
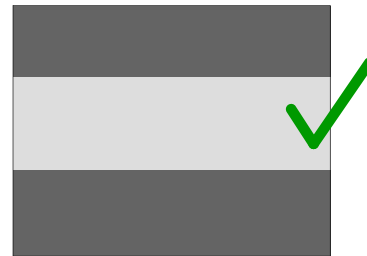
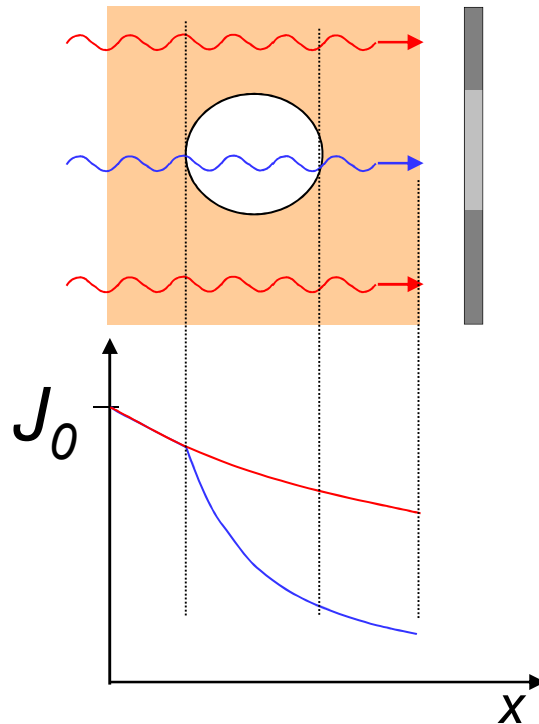
Bild:



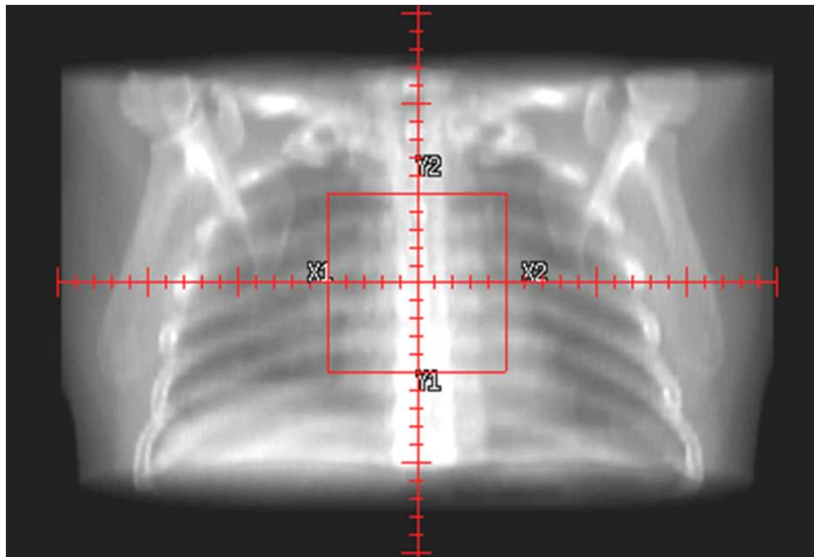
Dosis:



harte Str.

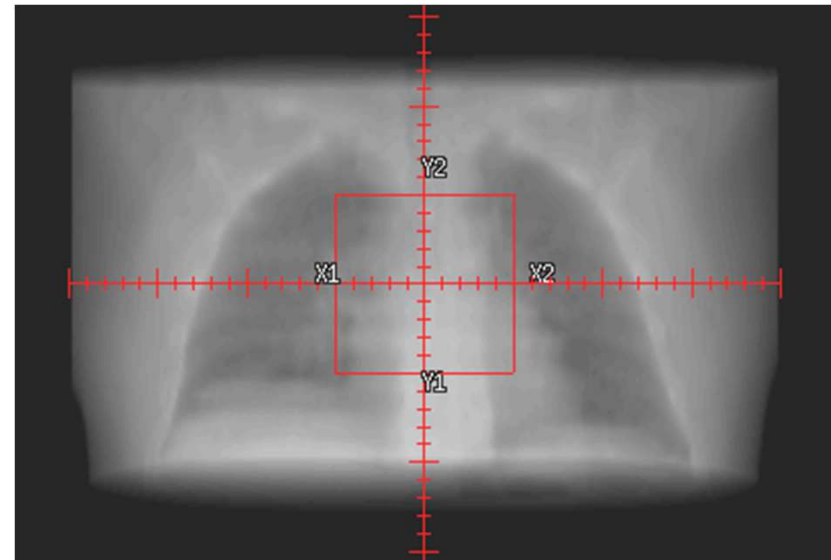


# Einfluss der Photonenenergie auf die Bildqualität: Beispiel



30 keV

Photoeffekt: 36 %  
Compton: 51 %  
Paarbildung: 0 %



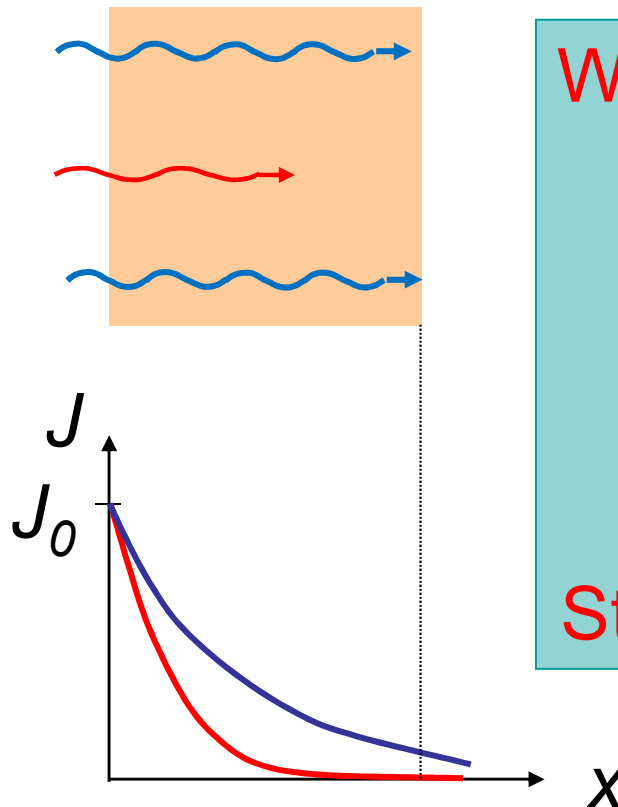
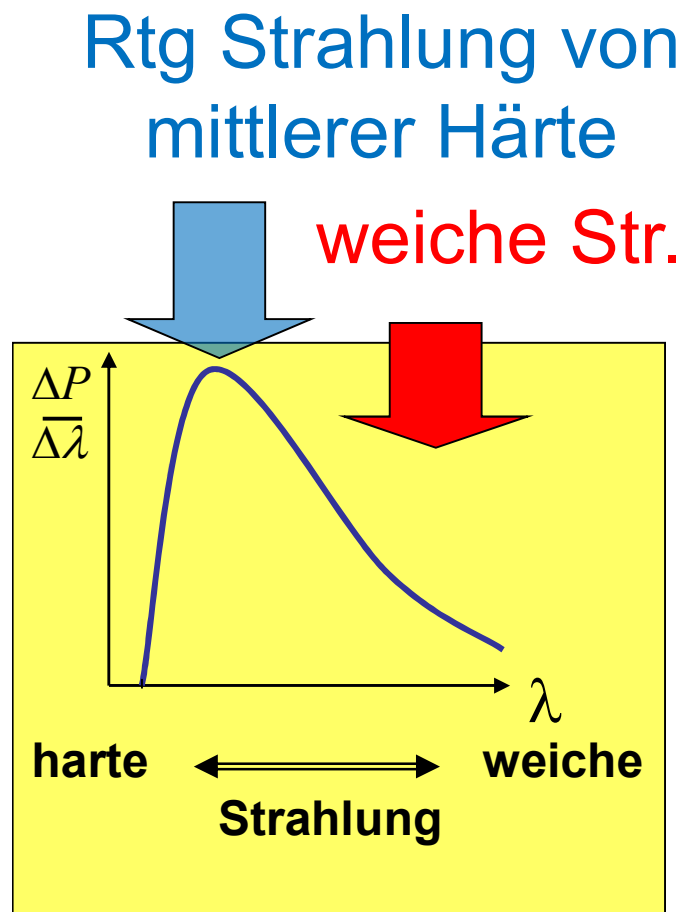
2 MeV

Photoeffekt: 0 %  
Compton: 99 %  
Paarbildung: 1 %<sub>24</sub>

## 2. Anwendung eines Filters

Schwächung der weichen und harten Röntgenstrahlung:

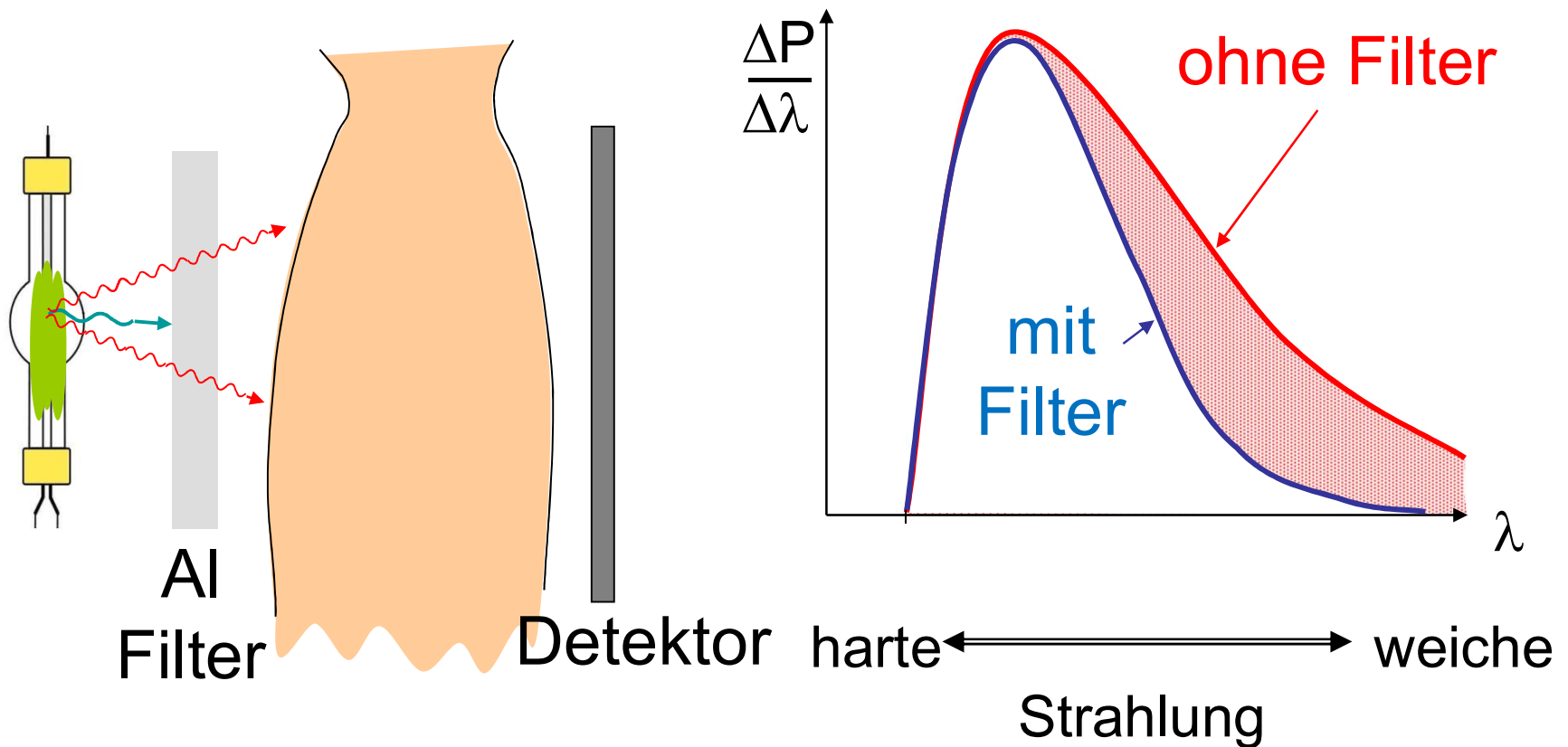
Kontinuierliches Emissionsspektrum  $\Rightarrow$  Photonen mit unterschiedlicher  $E_{\text{Photon}}$  unterschiedlicher  $\mu$



**Weiche Strahlung:**  
 $\mu$  ist hoch  $\Rightarrow$   
fast keine  
austretende  
Strahlung  
 $\Rightarrow$  **hohe**  
**Strahlenbelastung**

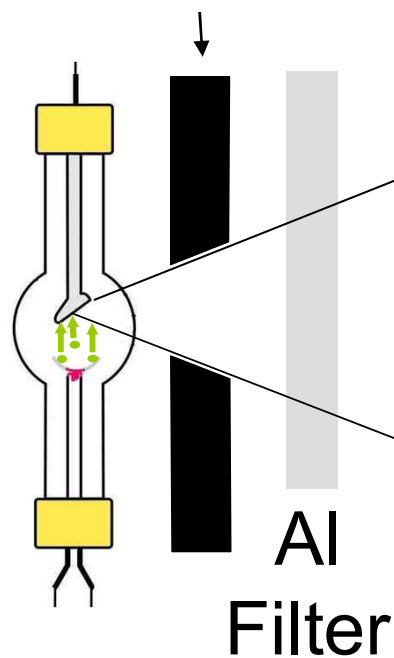
# Anwendung eines Filters

Die weiche Röntgenstrahlung muss vor dem Patient ausgefiltert werden!



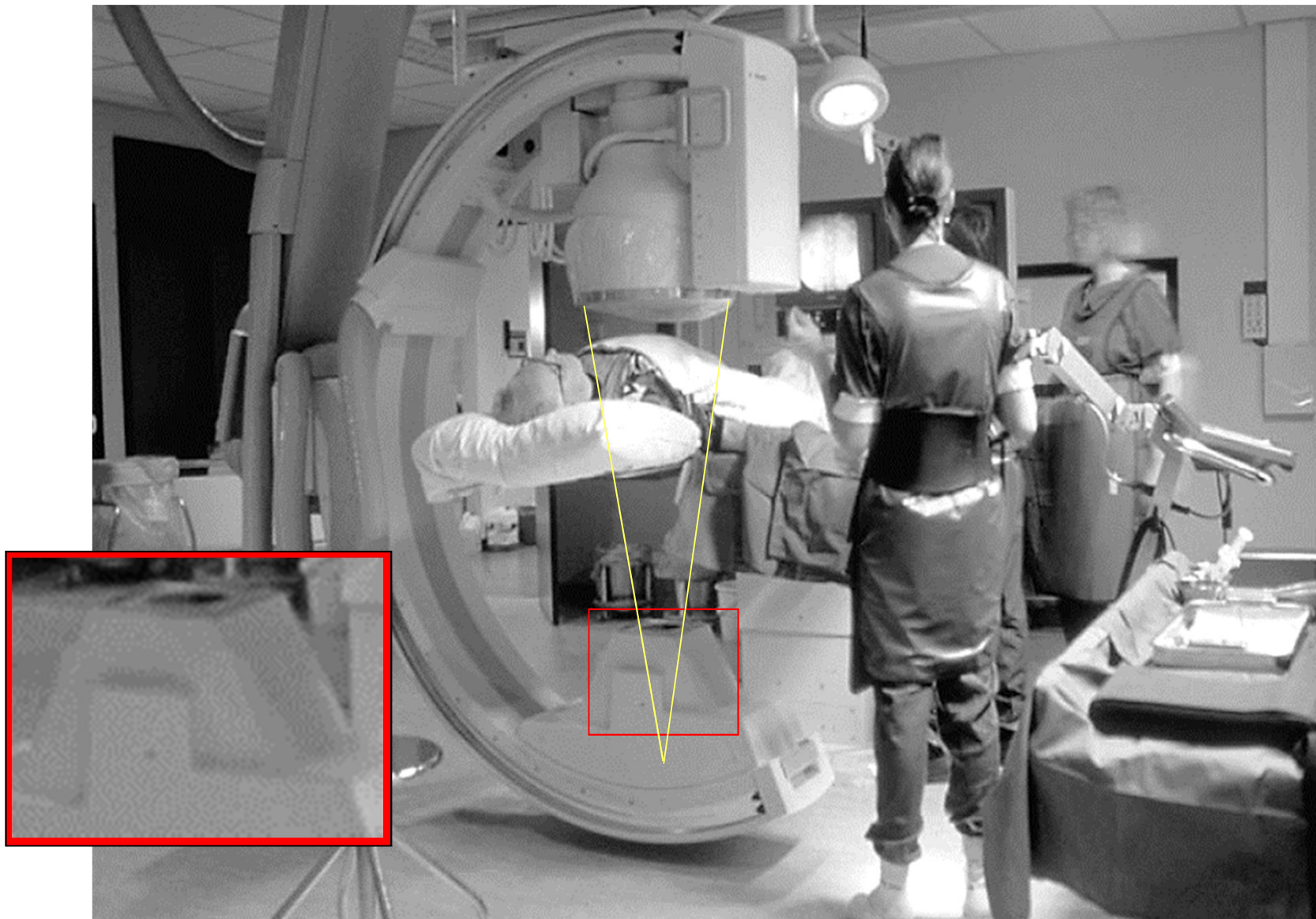
### 3. Kollimator

Bleikollimator



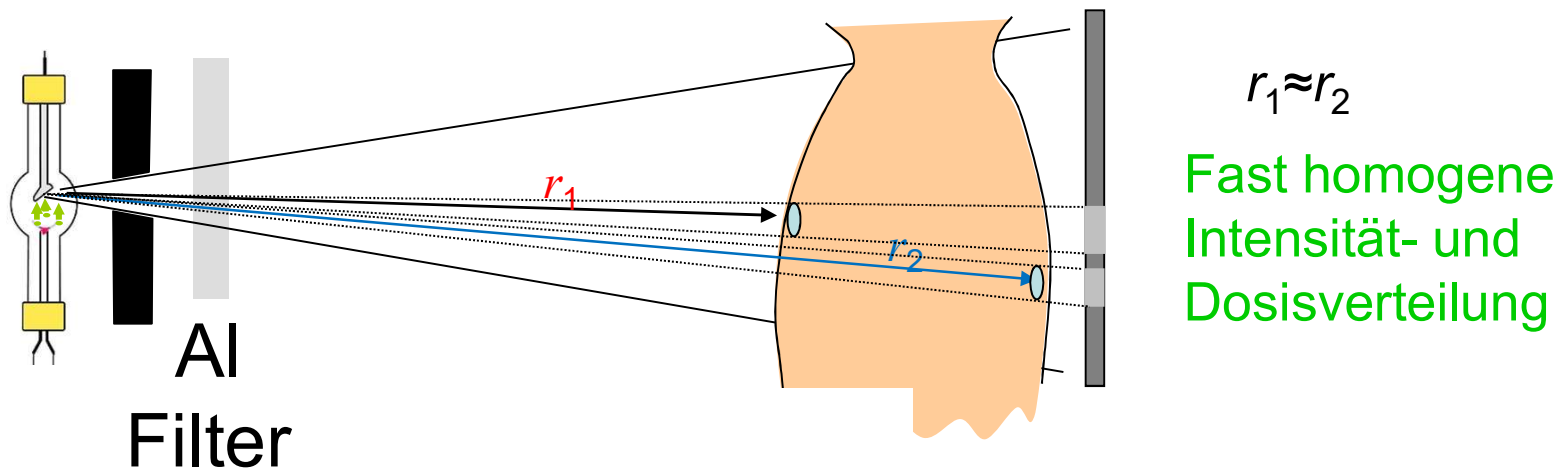
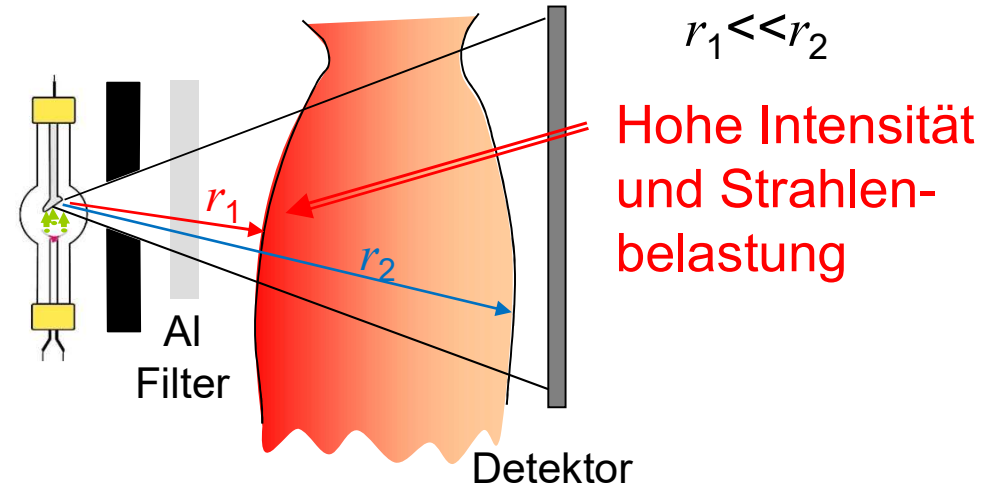
Nur die zu untersuchende Körperteile dürfen bestrahlt werden:  
-Strahlenschutz  
-Reduzierung der Streustrahlung

Detektor



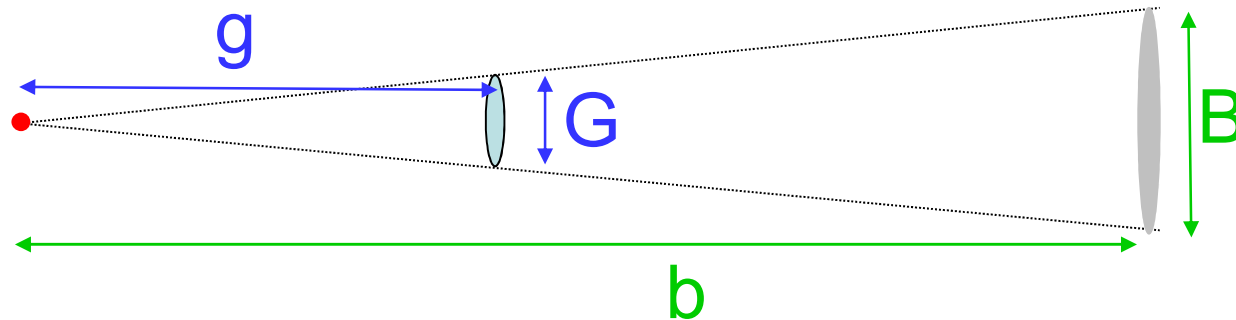
## 4. Abstand und Strahlenbelastung

$$J = \frac{P_{Rtg}}{A} = \frac{P_{Rtg}}{2\pi r^2}$$



## 5. Abstand und Bildqualität

### Vergrößerung des Schattenbildes

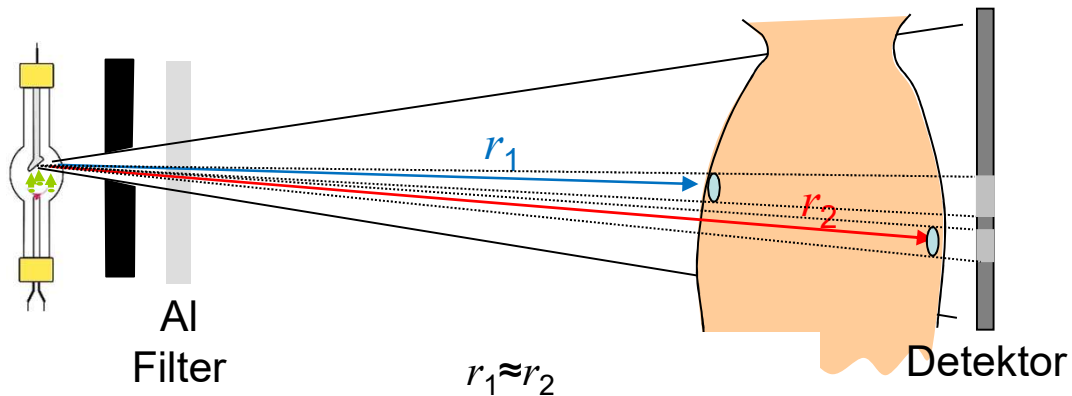
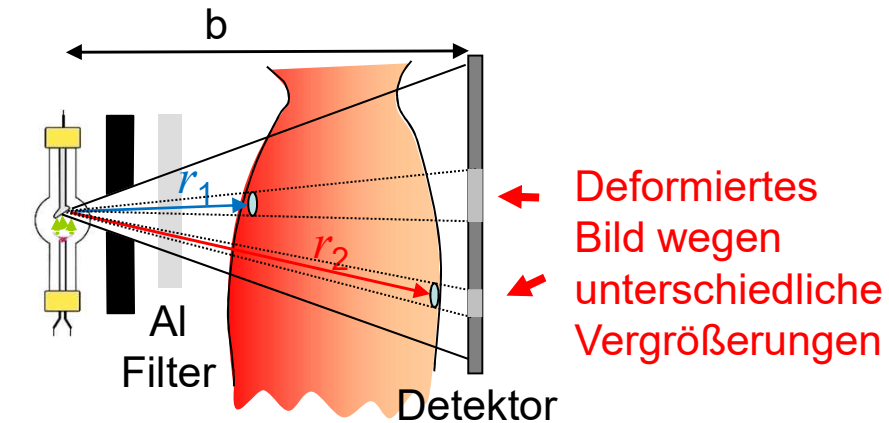


(Punktförmige) Gegenstand  
Quelle

Schattenbild

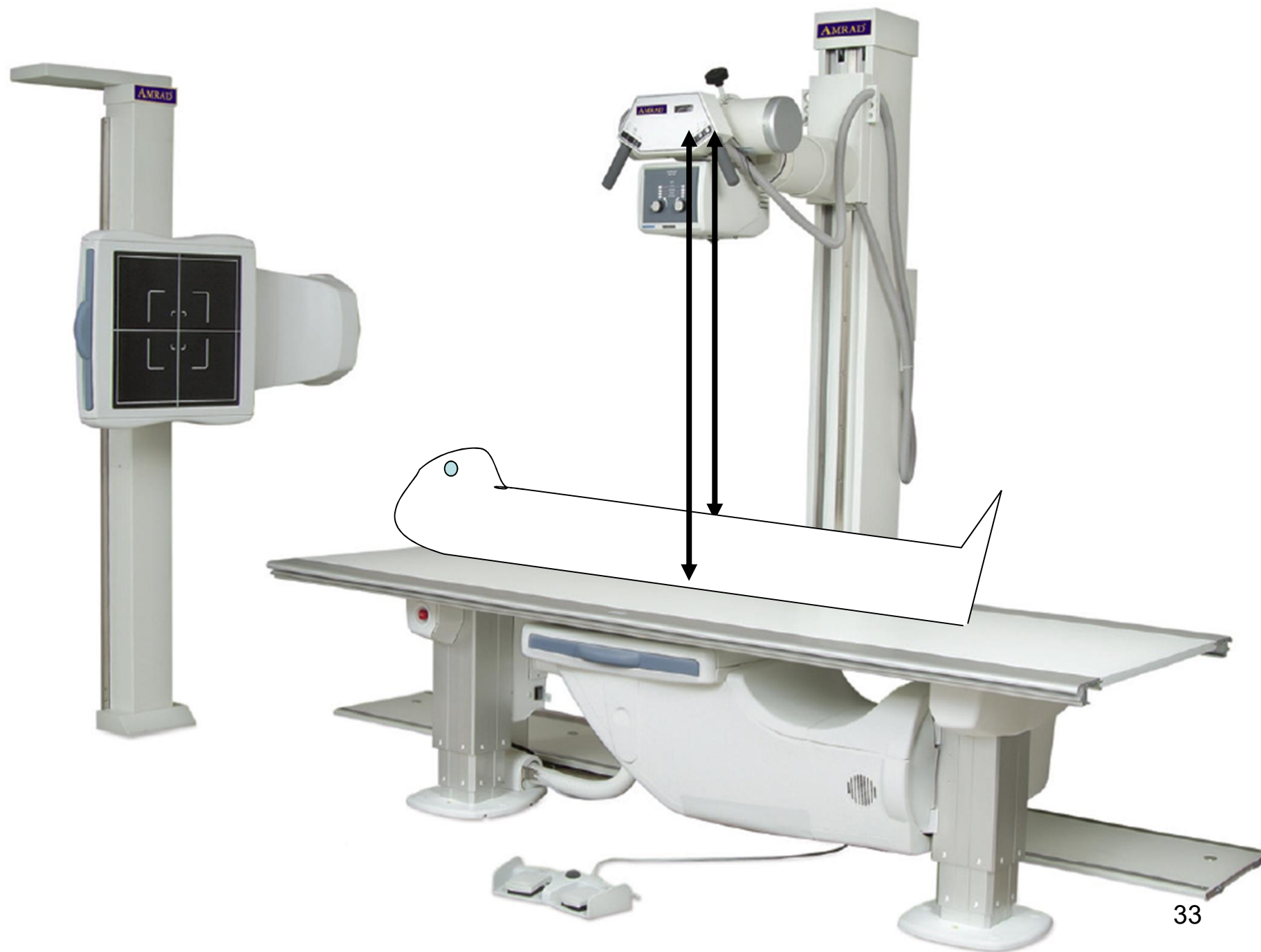
$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

# Abstand und Bildqualität



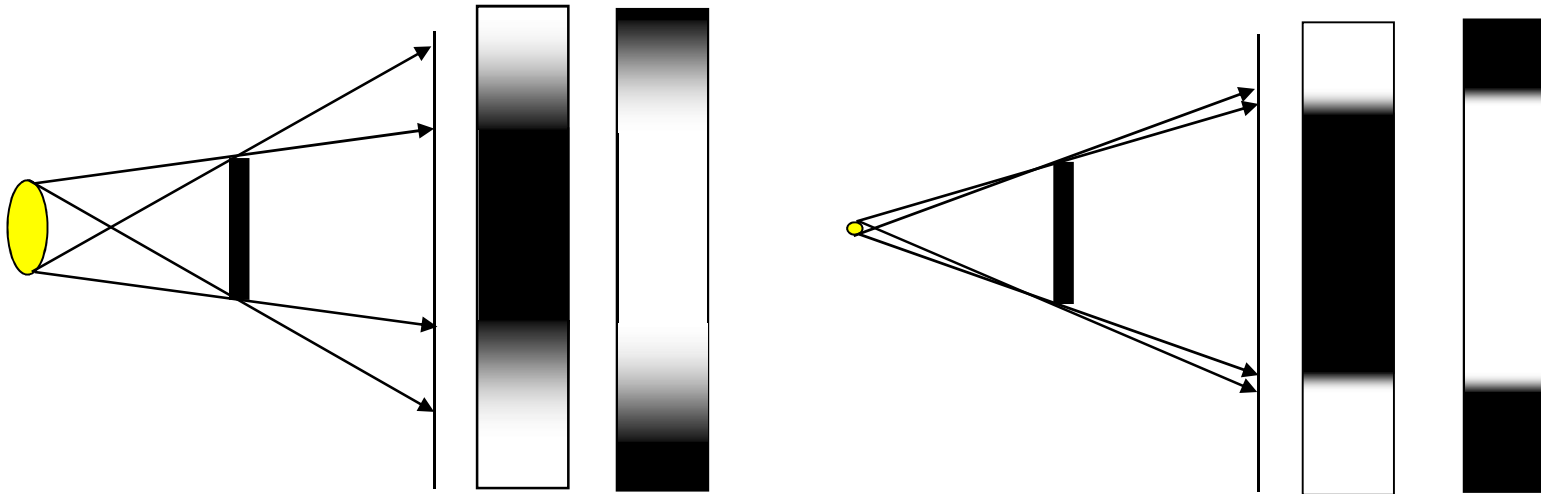
Fast gleiche  
Vergrößerungen  
K(l)eine  
Deformation





## 6. Fokus der Röntgenröhre

Bildschärfe: Schatten und Größe der Strahlungsquelle

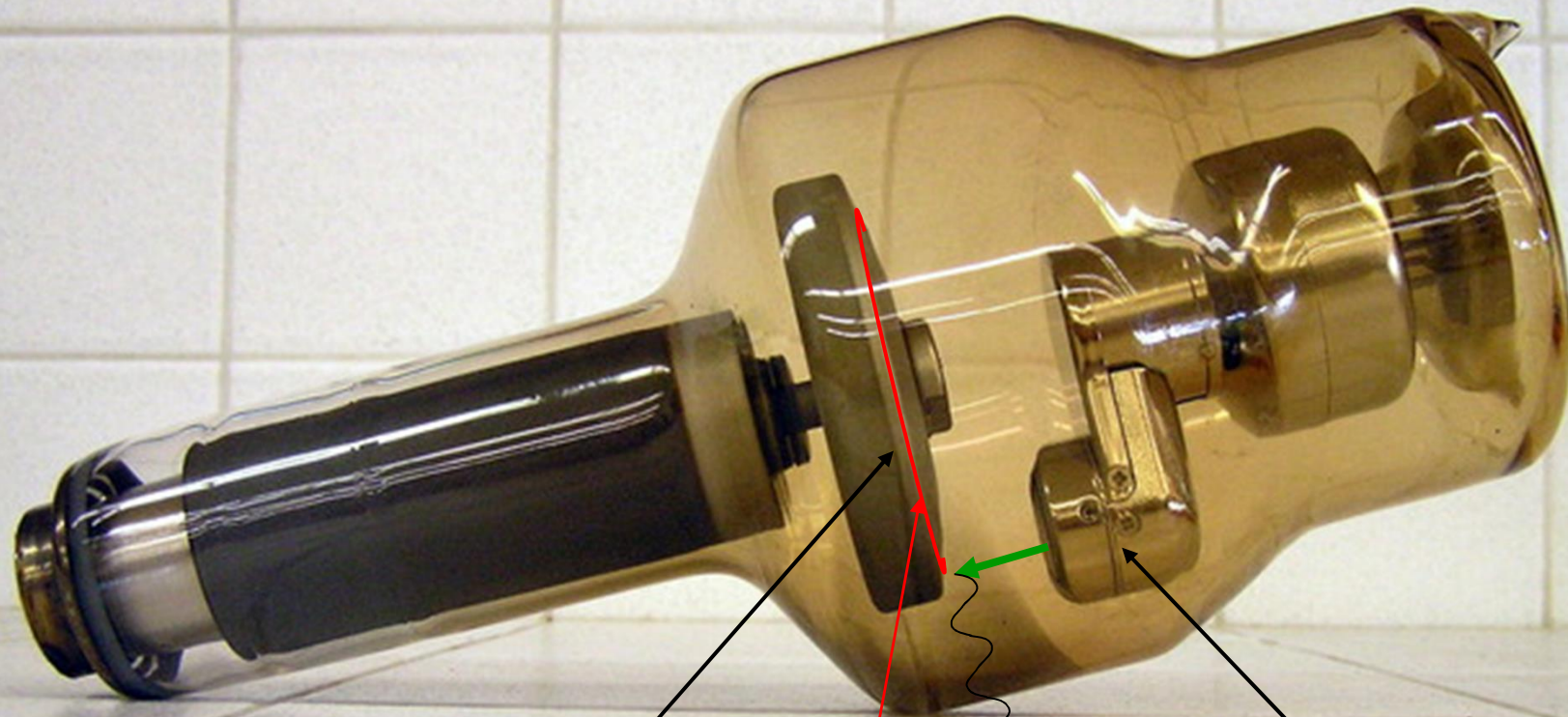


Bildschärfe erfordert eine kleine Strahlungsquelle  
(Fokus)

kleinerer Fokus  $\Rightarrow$  konzentrierte Wärmebelastung  
der Anode

$\Rightarrow$  Kühlung, Drehanode

# Drehanode-Röntgenröhre



Drehanode

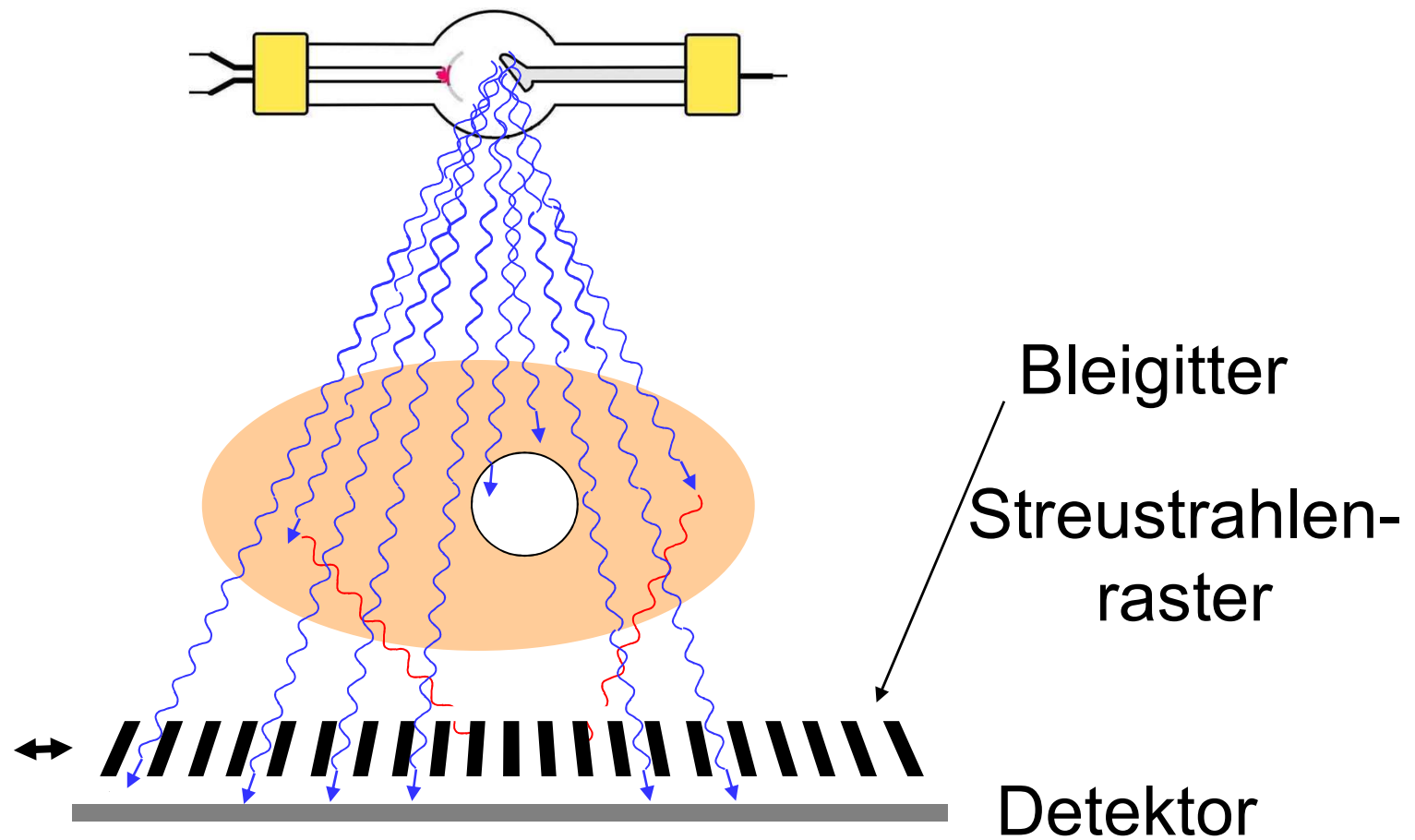
Kathode

Wärme ist verteilt

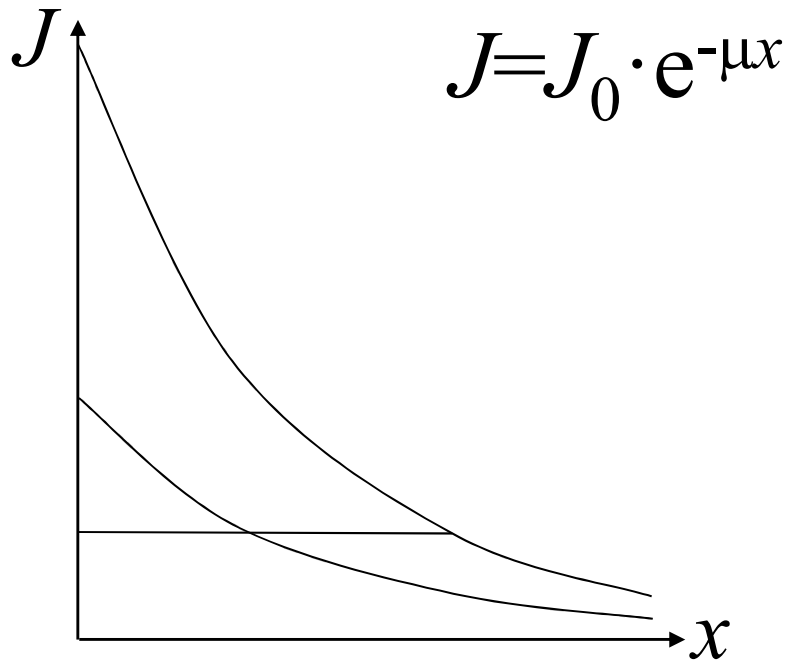
Kühlung!

Rtg-Strahlung

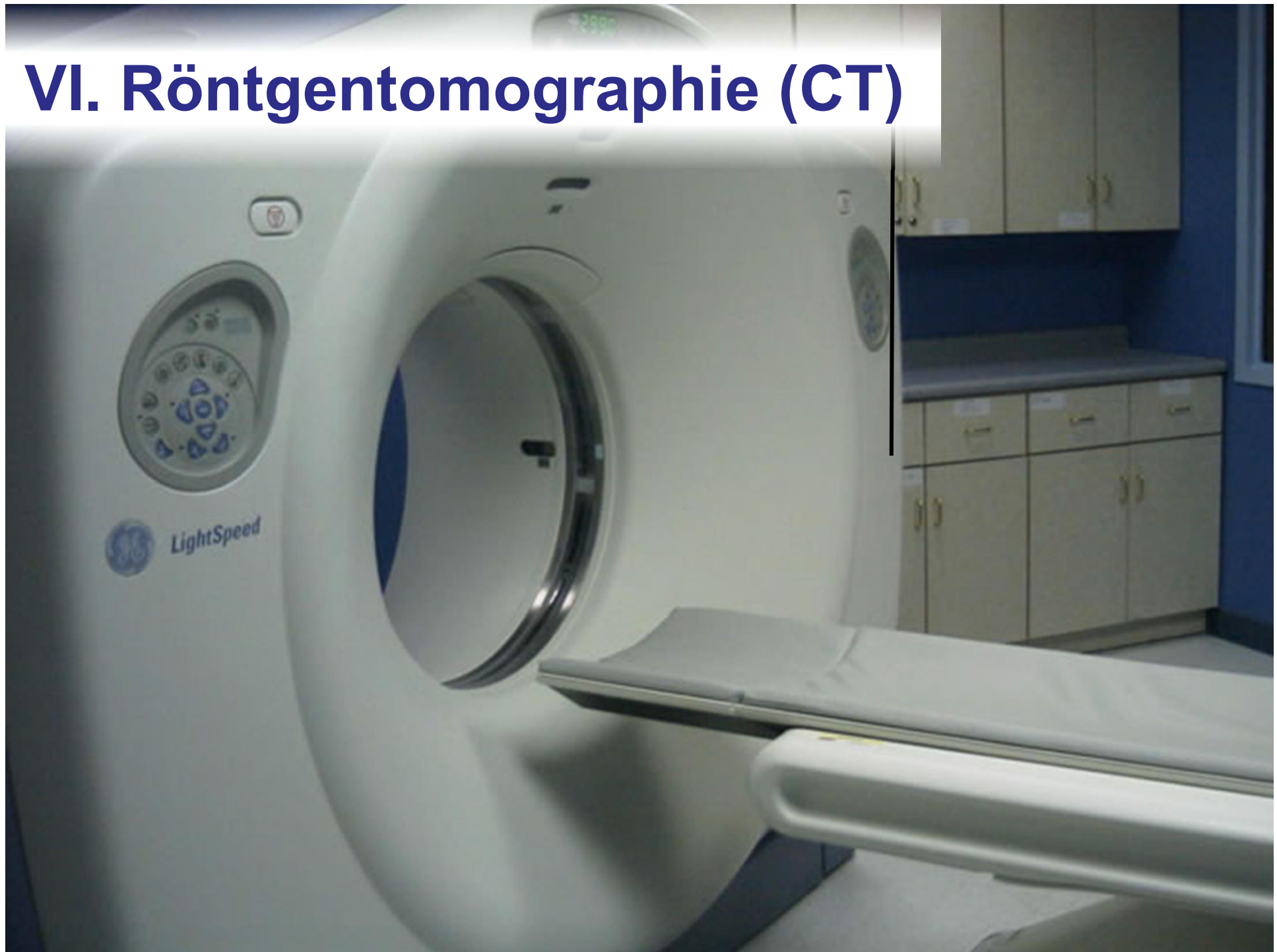
## 7. Minimalisierung der Streustrahlung



## 8. Rolle der Schichtdicke



## VI. Röntgentomographie (CT)



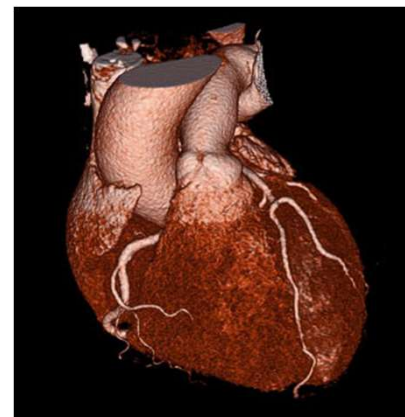
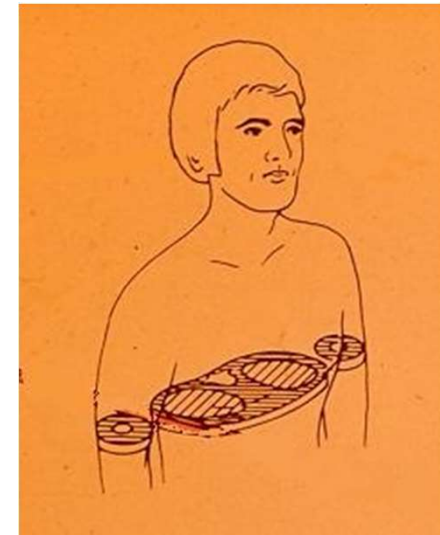
- Computed tomography  
(Computer-Tomographie)  
tomos=Schicht (griechisch)

Τομος

=> Tomographie =Schichtaufnahme

Auf der Körperachse senkrecht stehende  
Schicht wird abgebildet.

- Heute 3D Bild aus  
mehreren 2D Bilder:

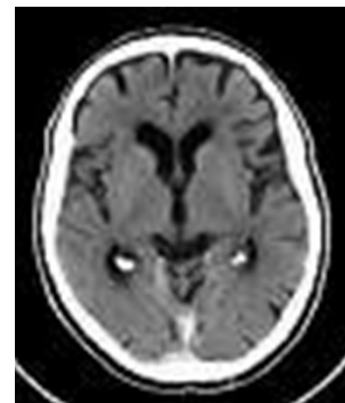
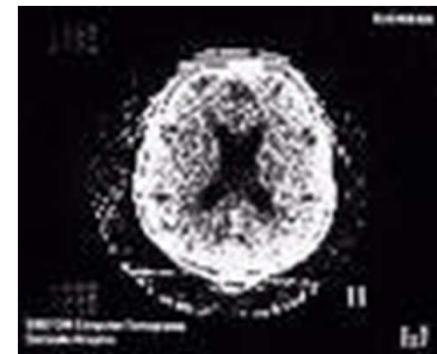


# 1. Geschichte der Tomographie

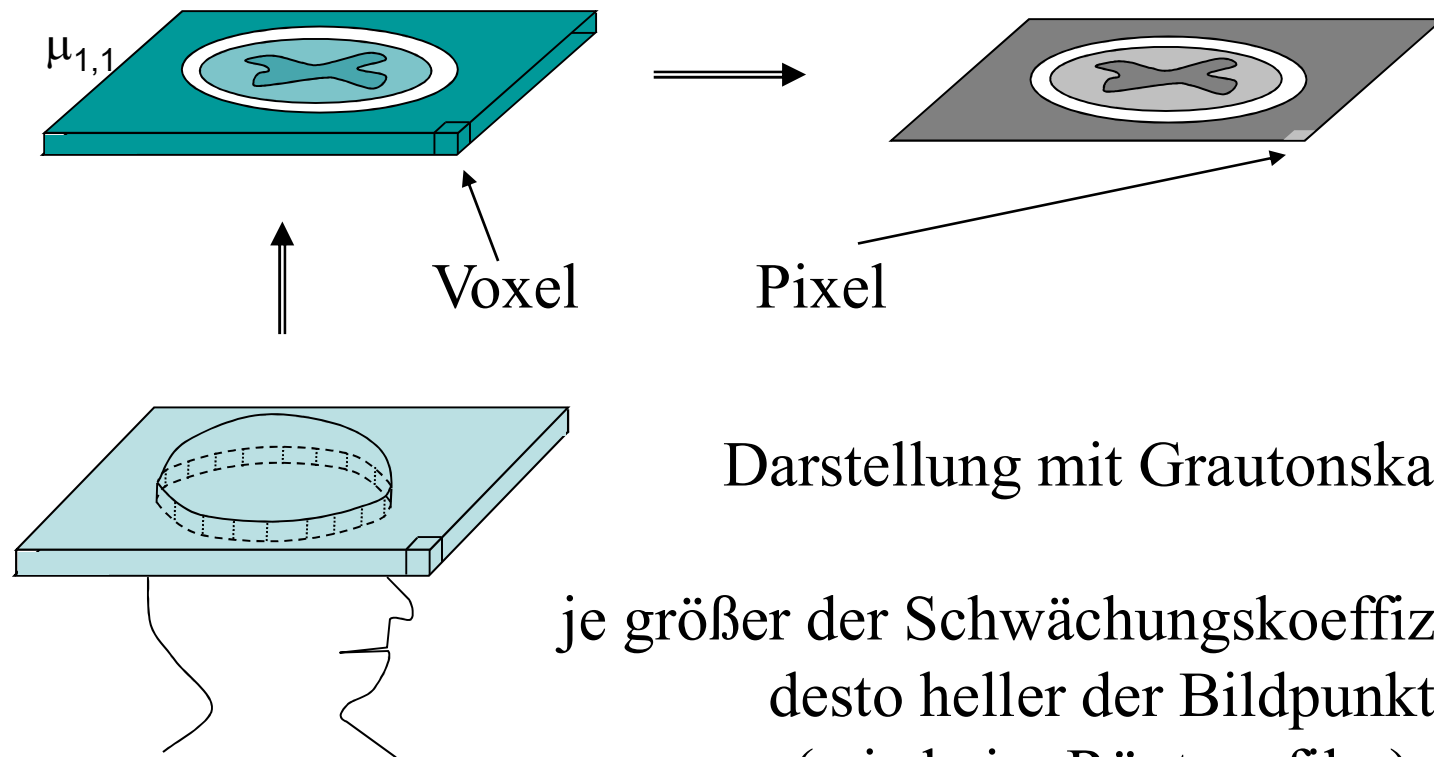
Godfrey N. Hounsfield  
und Allan M. Cormack



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



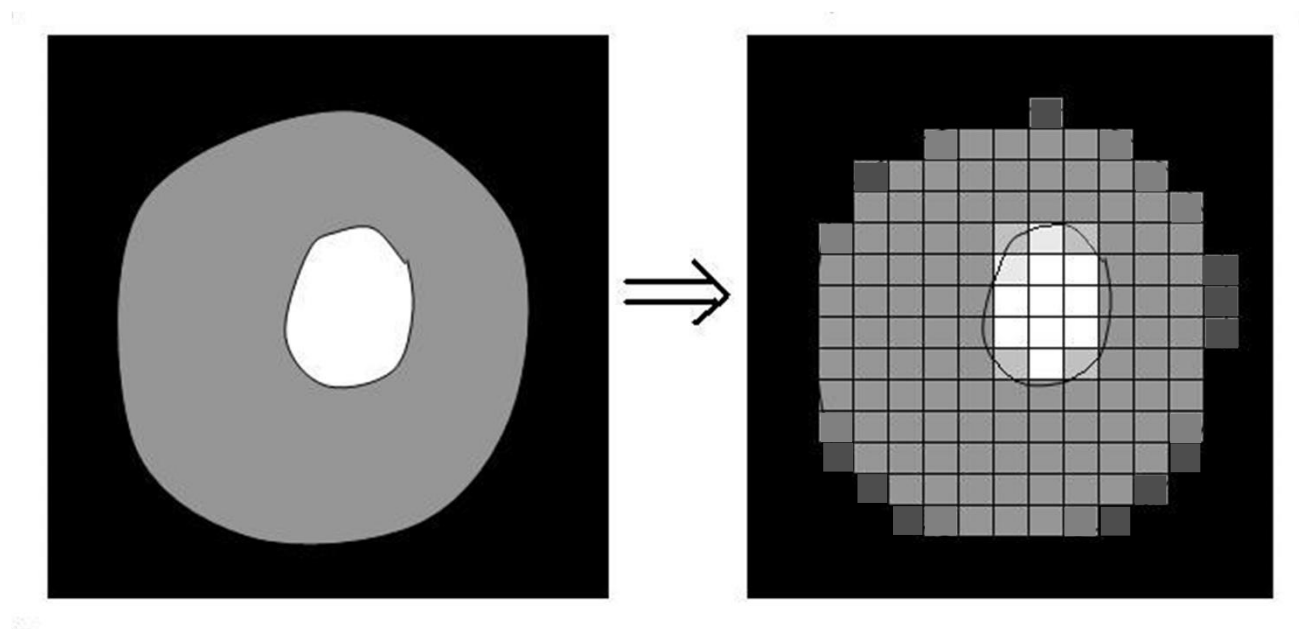
## 2. Voxel-Pixel



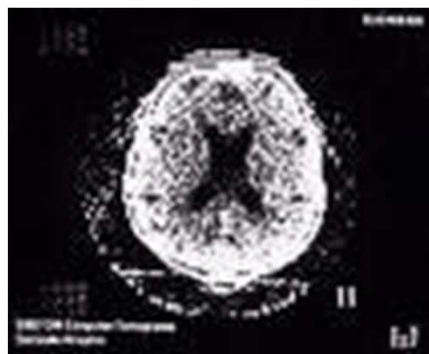
Darstellung mit Grautonskala

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

### 3. Auflösung

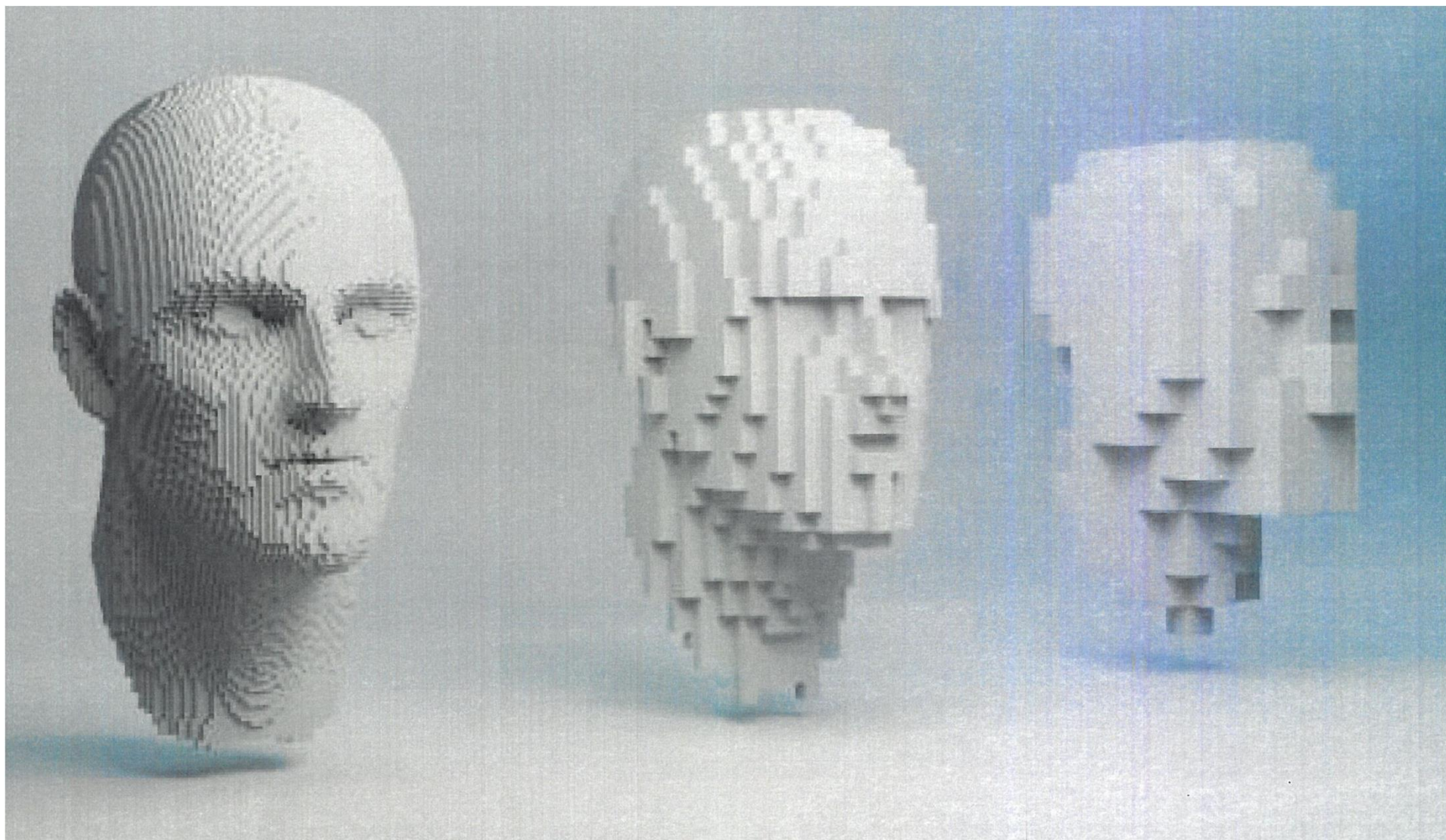


128x128

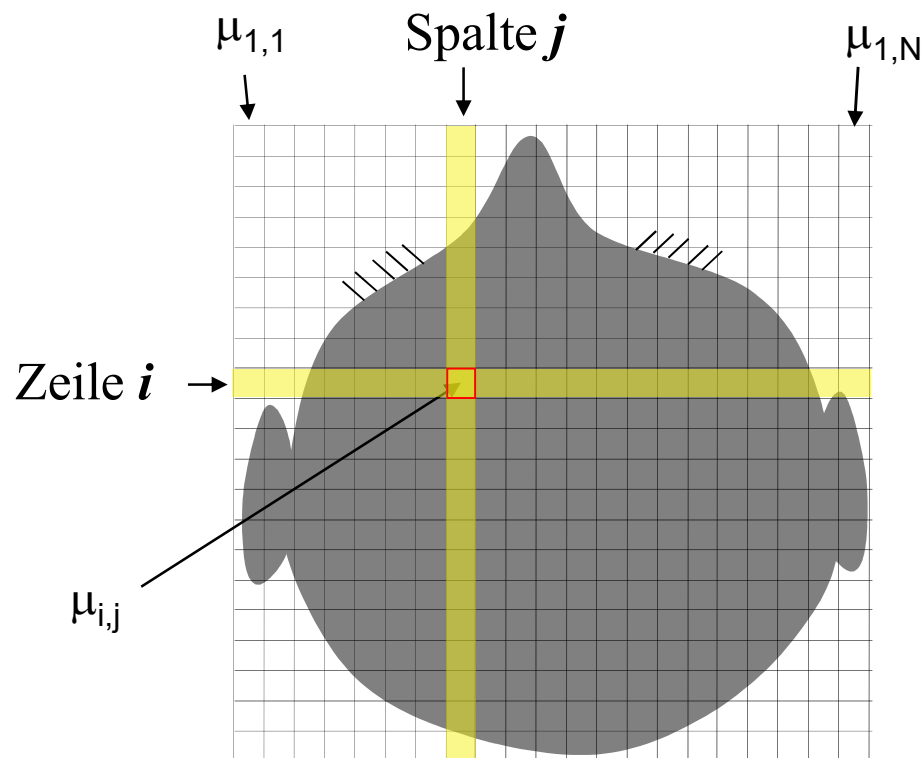


512x512





## 4. Grundprinzip der Computertomographie



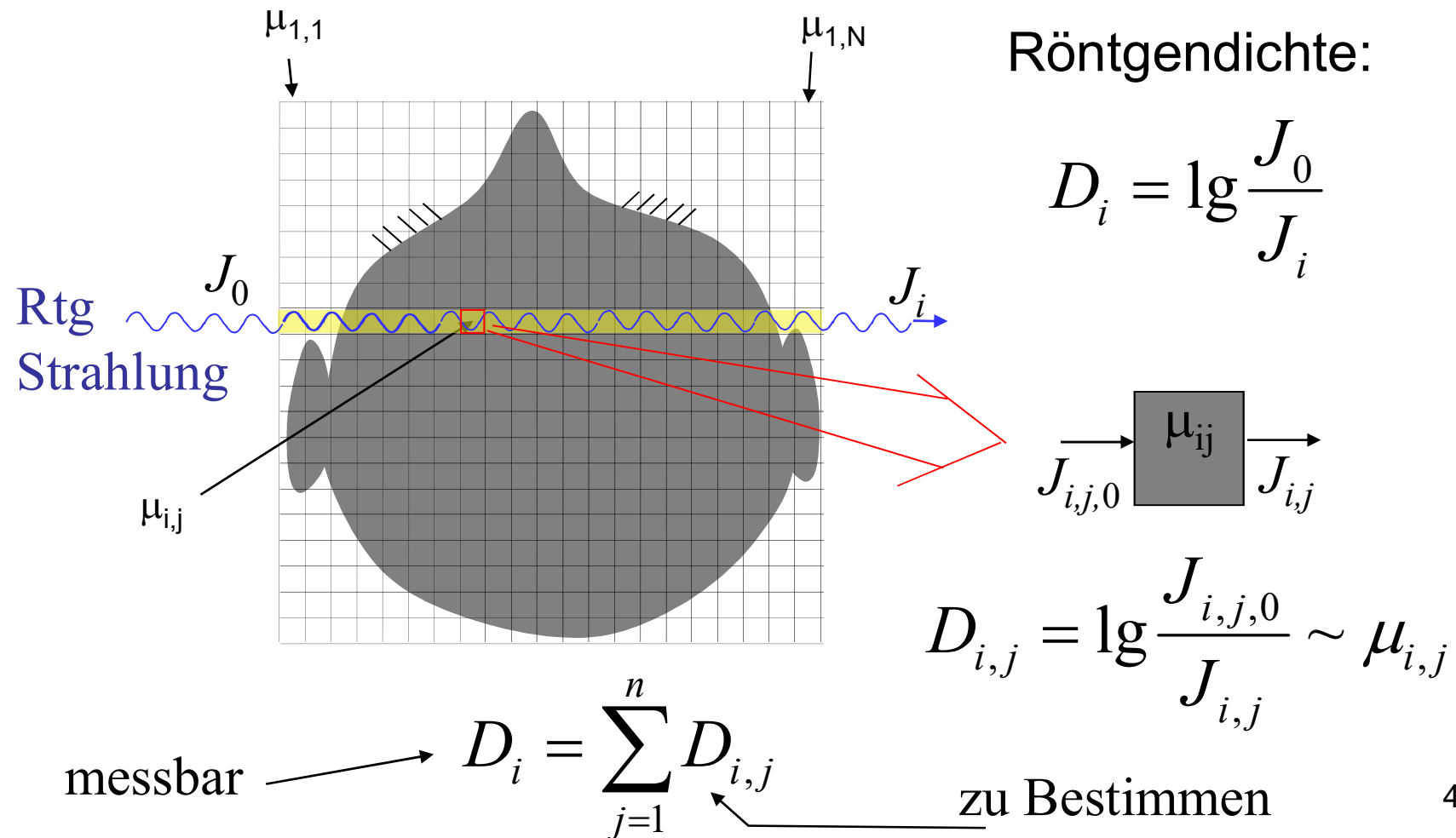
In einem Kästchen ist der Schwächungskoeffizient ( $\mu$ ) als konstant betrachtet.

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

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

$N \times N$  Tabelle (Matrix)

# 5. Messung und Bildrekonstruktion



# Messung und Bildrekonstruktion

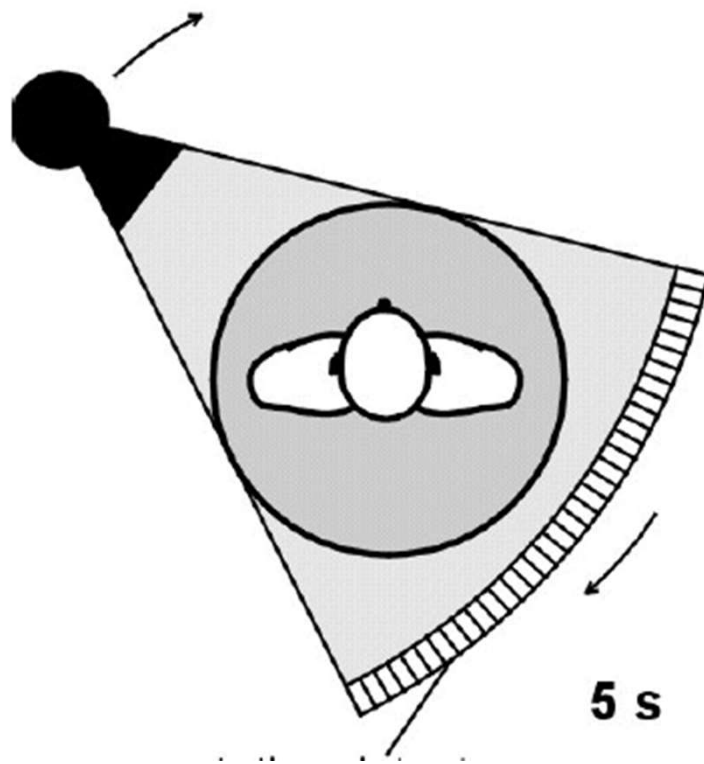
$N \times N$  unbekannte Werte ( $D_{i,j}$  oder  $\mu_{i,j}$ )

In einer Durchleuchtung:  $N$  Messwerte

um  $N \times N$  unbekannte Werte zu bestimmen  
sind  $N \times N$  Messwerte notwendig

$\Rightarrow$  Aufnahmen aus mehreren Richtungen

## a) Messung



Die Röntgenröhre  
und der Detektor  
umkreisen den  
Patient  
synchronisiert.



Aufnahmen aus  
vielen Richtungen.

## b) Bildrekonstruktion

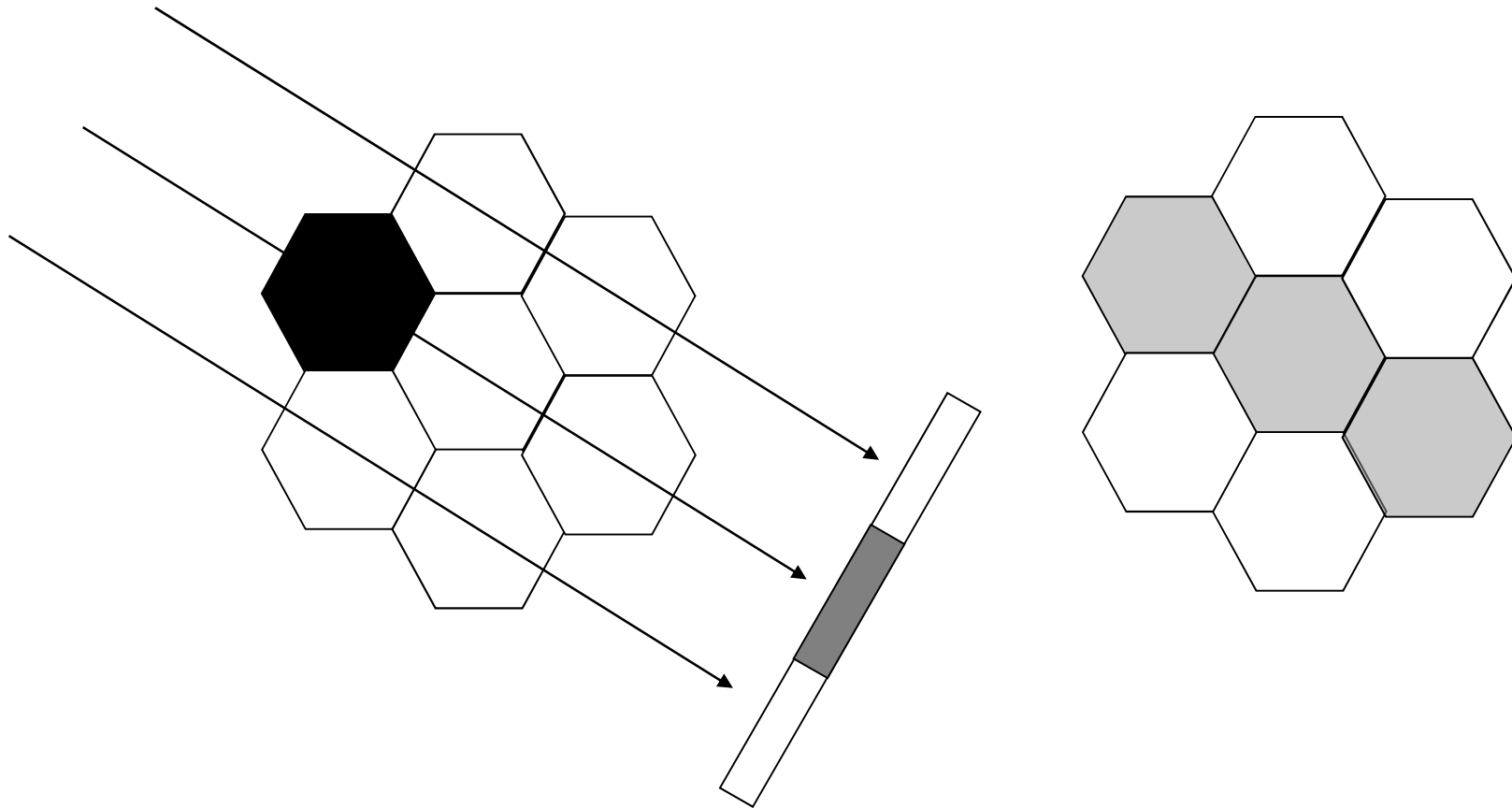
Gleichungssystem? Praktisch unlösbar!

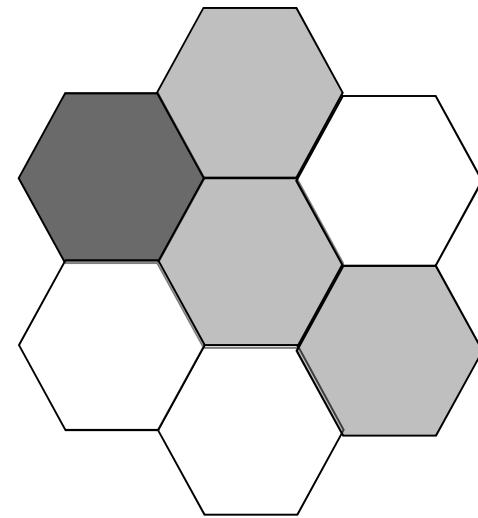
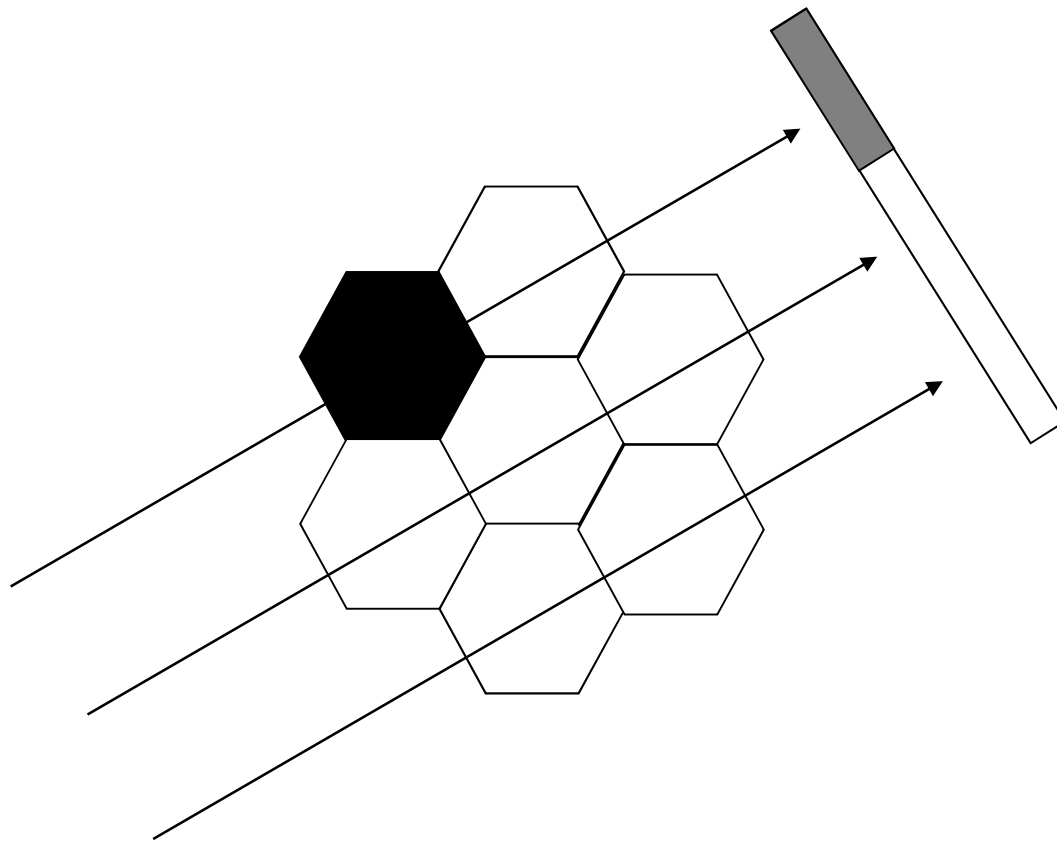
zB: 512x512 Bildpunkte:  $\approx 250\,000$  Unbekannte!

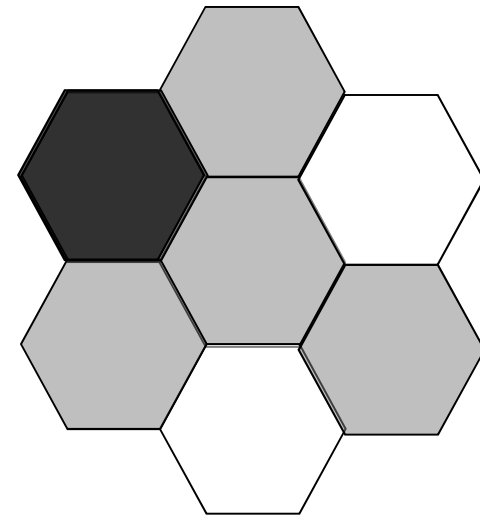
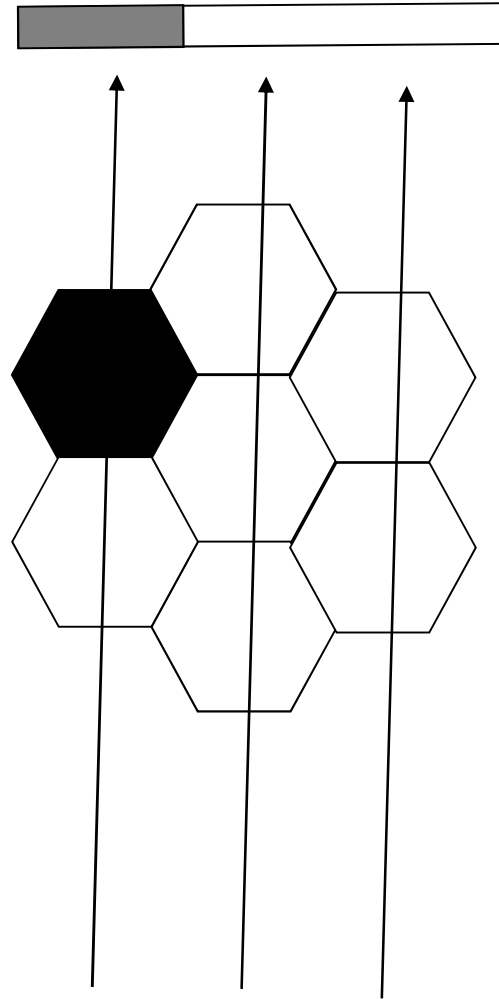
Ein einfaches Annäherungsverfahren:

Rückprojektion

## c) Prinzip der Rückprojektion



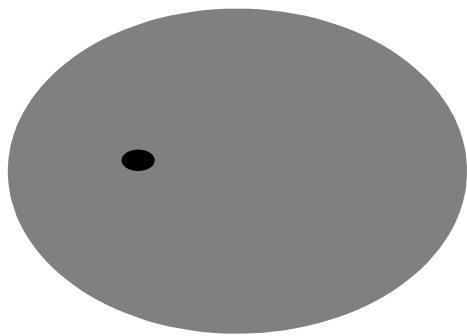




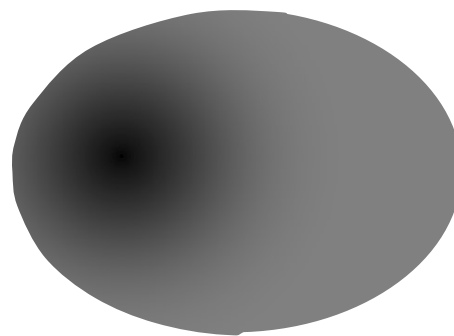
## d) Bild der Rückprojektion

Das Bild wird verwischt.

Die Bildschärfe muss mit einem mathematischen Prozess erhöht werden: Filtrierung



Objekt



Mit Rückprojektion  
rekonstruiertes Bild

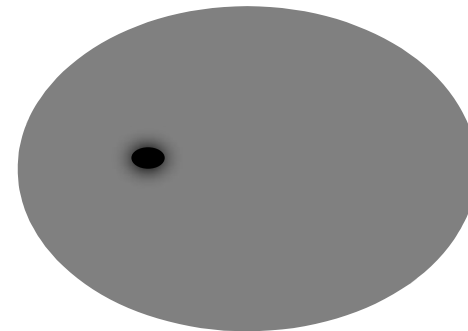


Bild nach  
Filtrierung

Filtrierung und Rückprojektion in einem mathematischen Schritt: ***Filtrierte Rückprojektion***

## 6. Darstellung mit Grautöne: Hounsfield Skala (CT Wert)

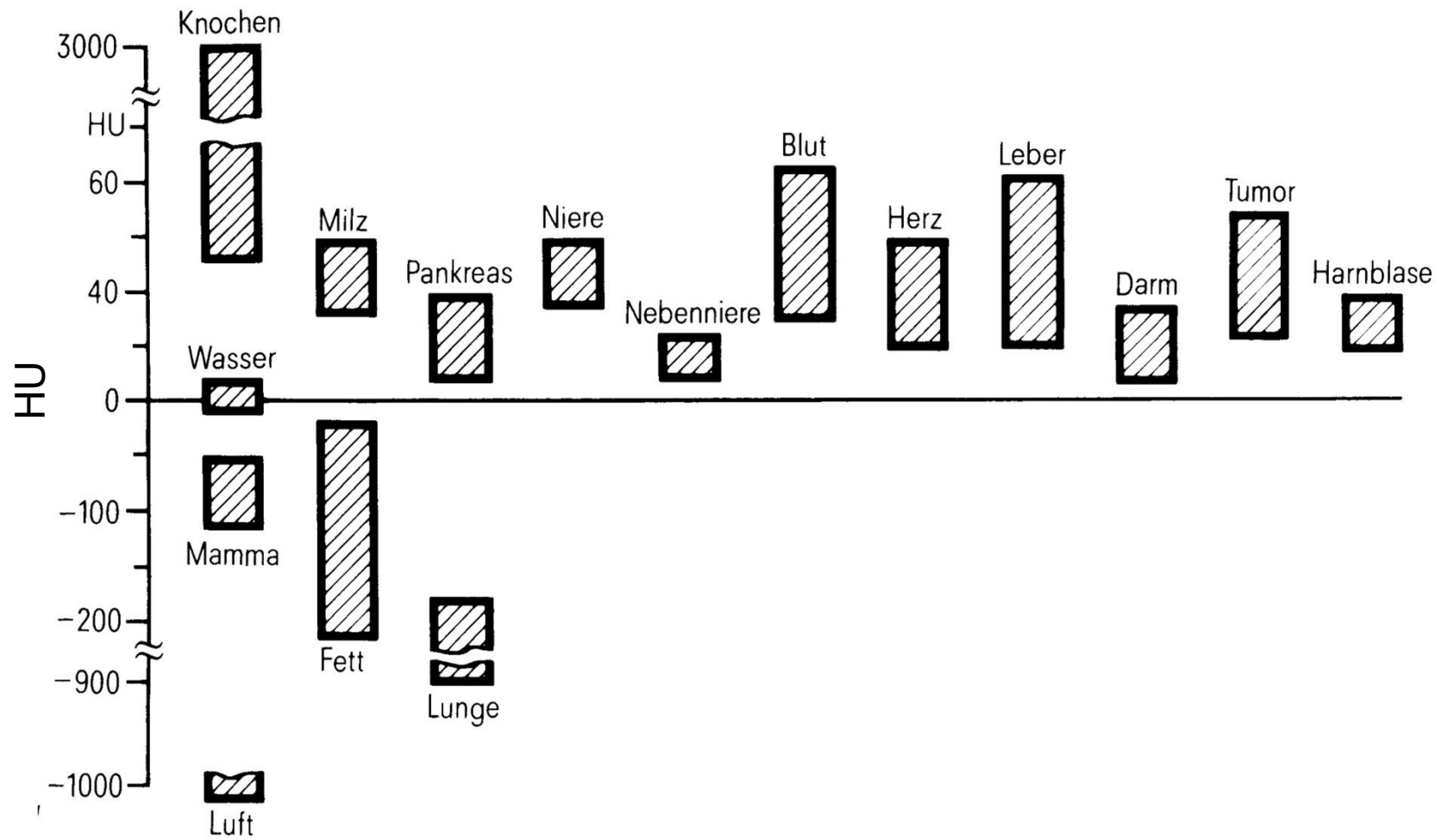
### a) Definition der Hounsfield Skala

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

relative Skala  
für  $\mu$

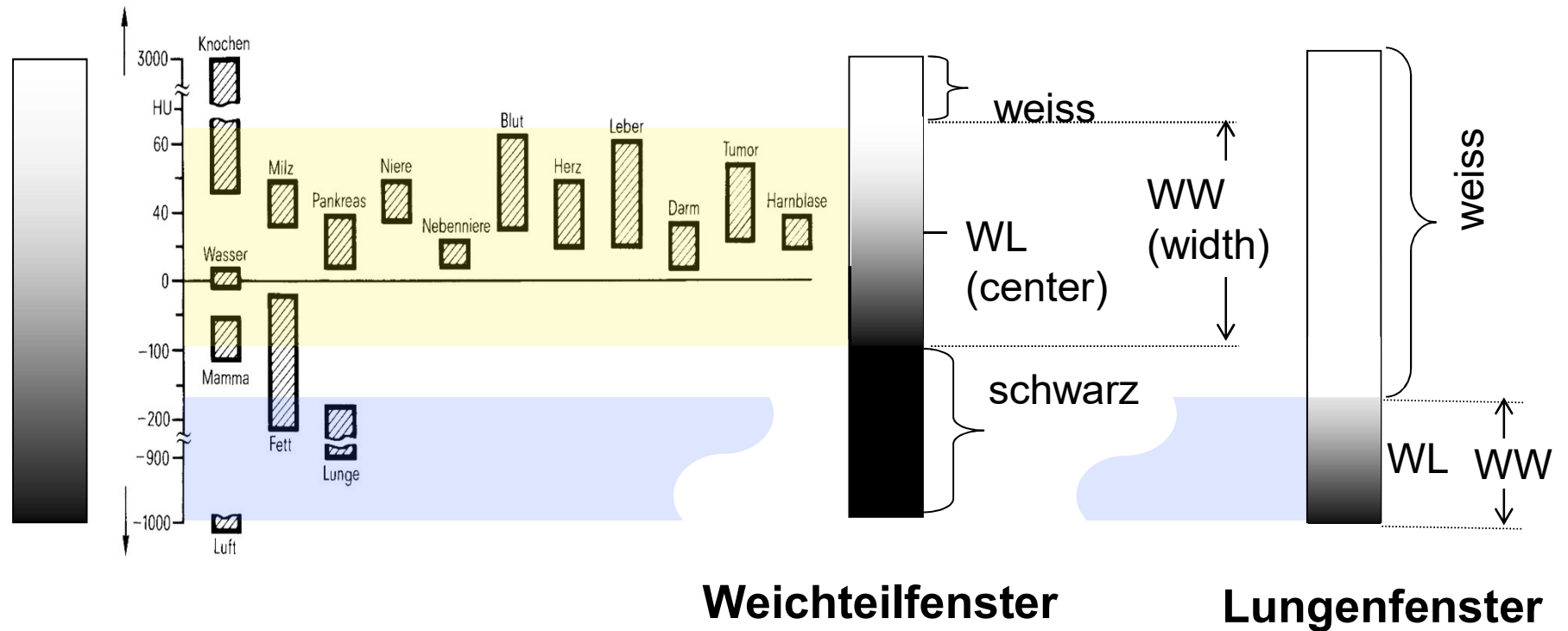
Wasser	= 0
Luft	= -1000
Knochen	100-1000
Weichteilgewebe	$\approx 0$
Lunge	<0

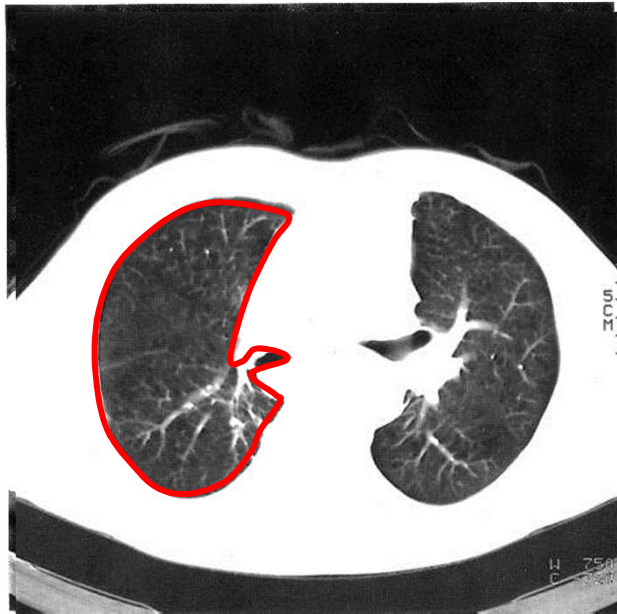
## b) CT Werte von einigen Gewebe



## c) Fensterung

### Grautonskala



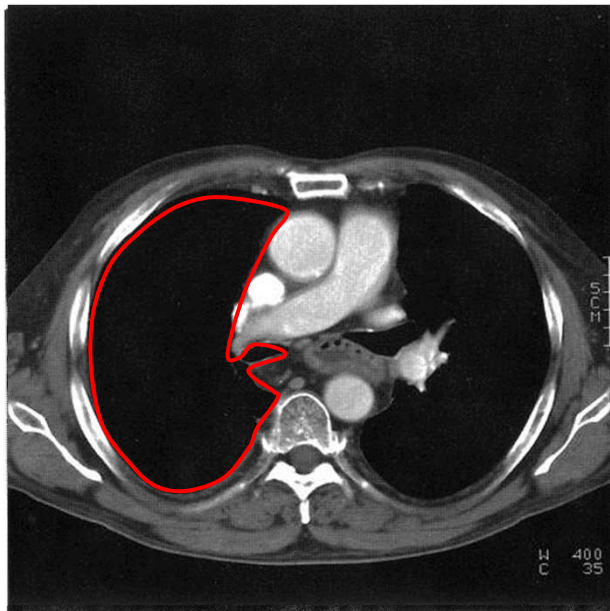


## Lungenfenster

Mitte = -720

Breite = 750

(-1095 ...-345)

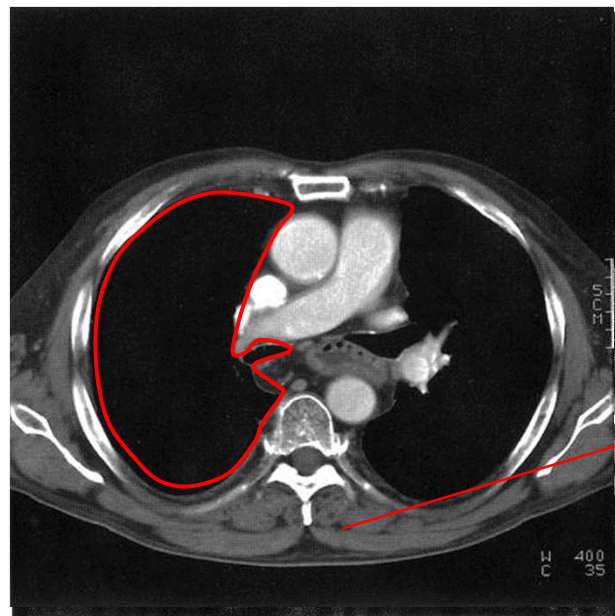
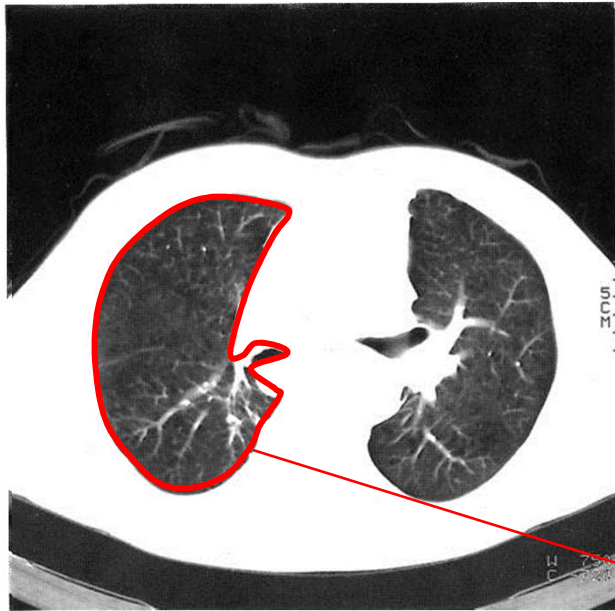


## Weichteilfenster

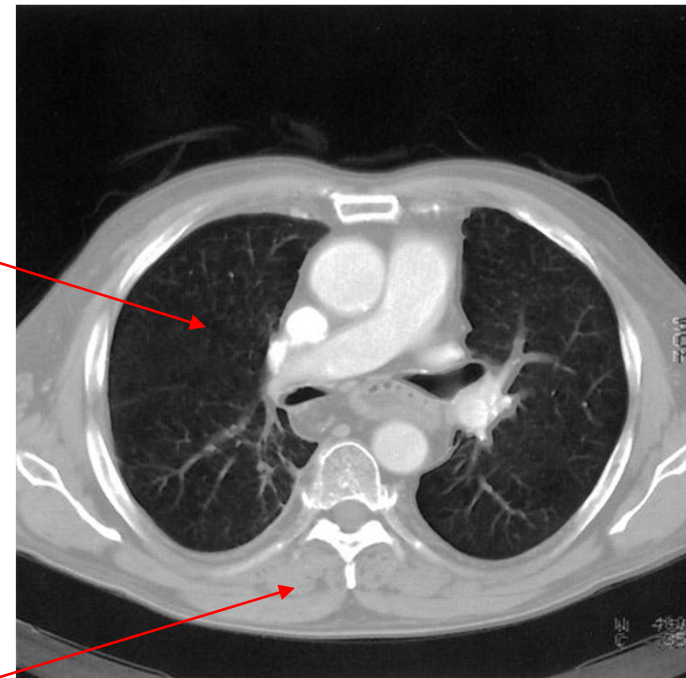
Mitte = 35

Breite = 400

(-165 ...235)



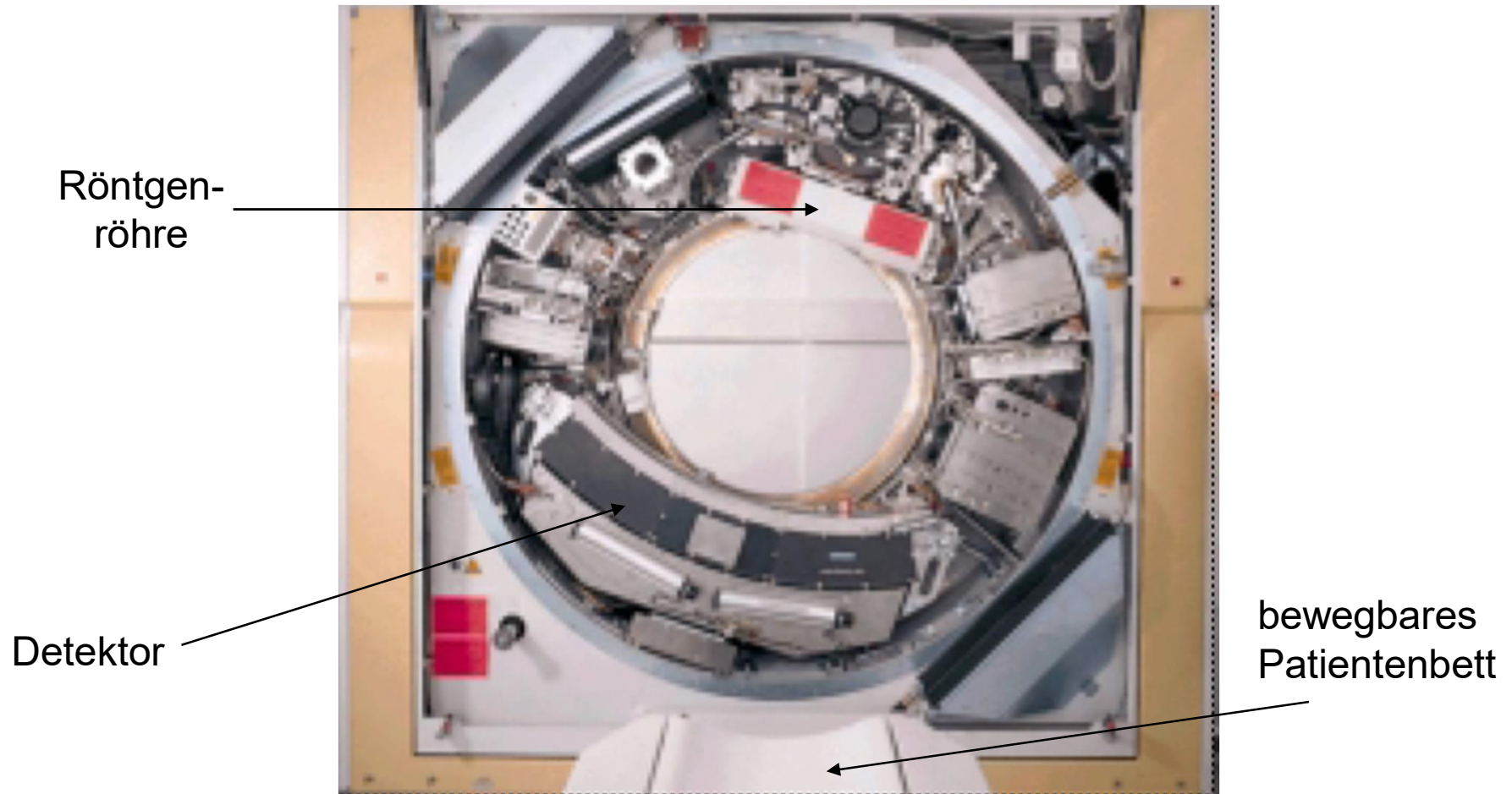
## Doppelfenster



## 8. CT Geräte

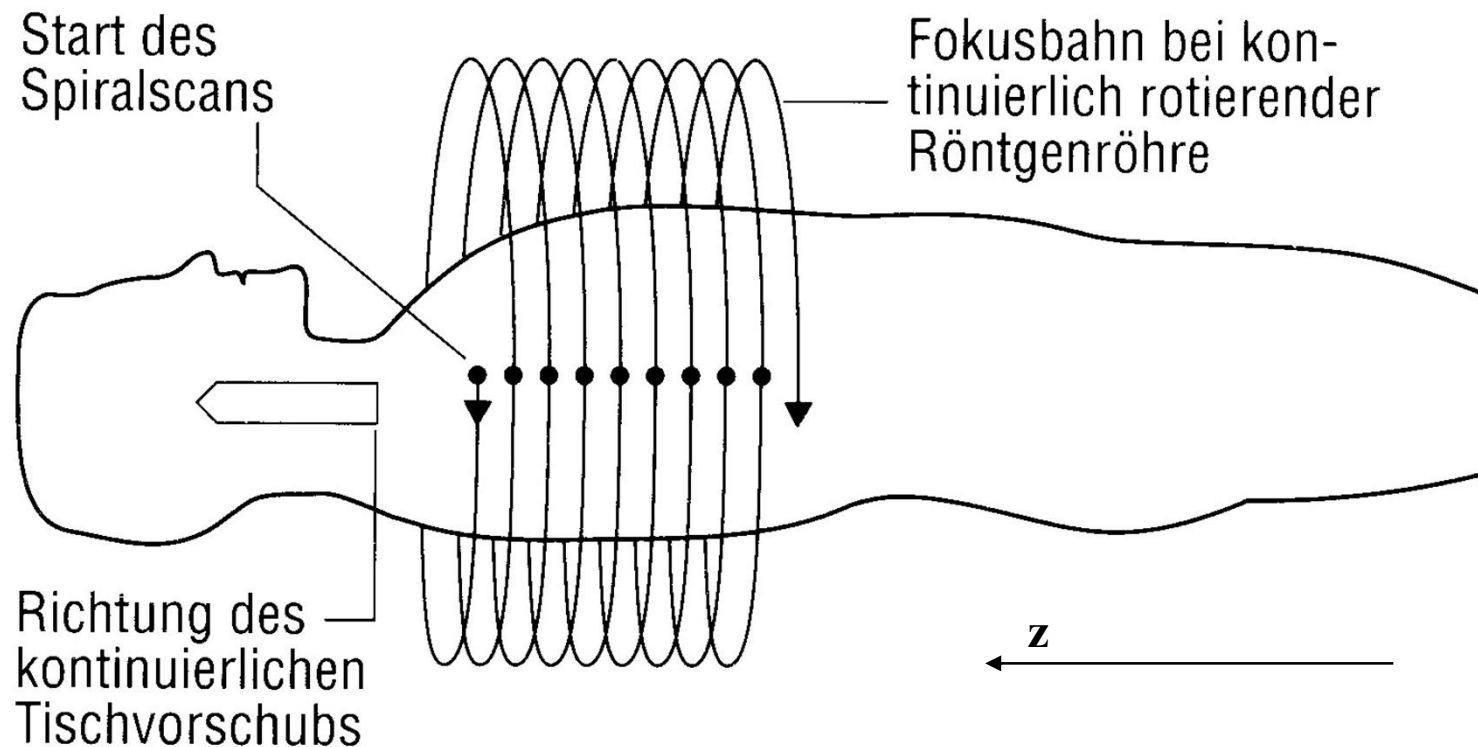


# Aufbau eines CT-Gerätes (3. Gen.)



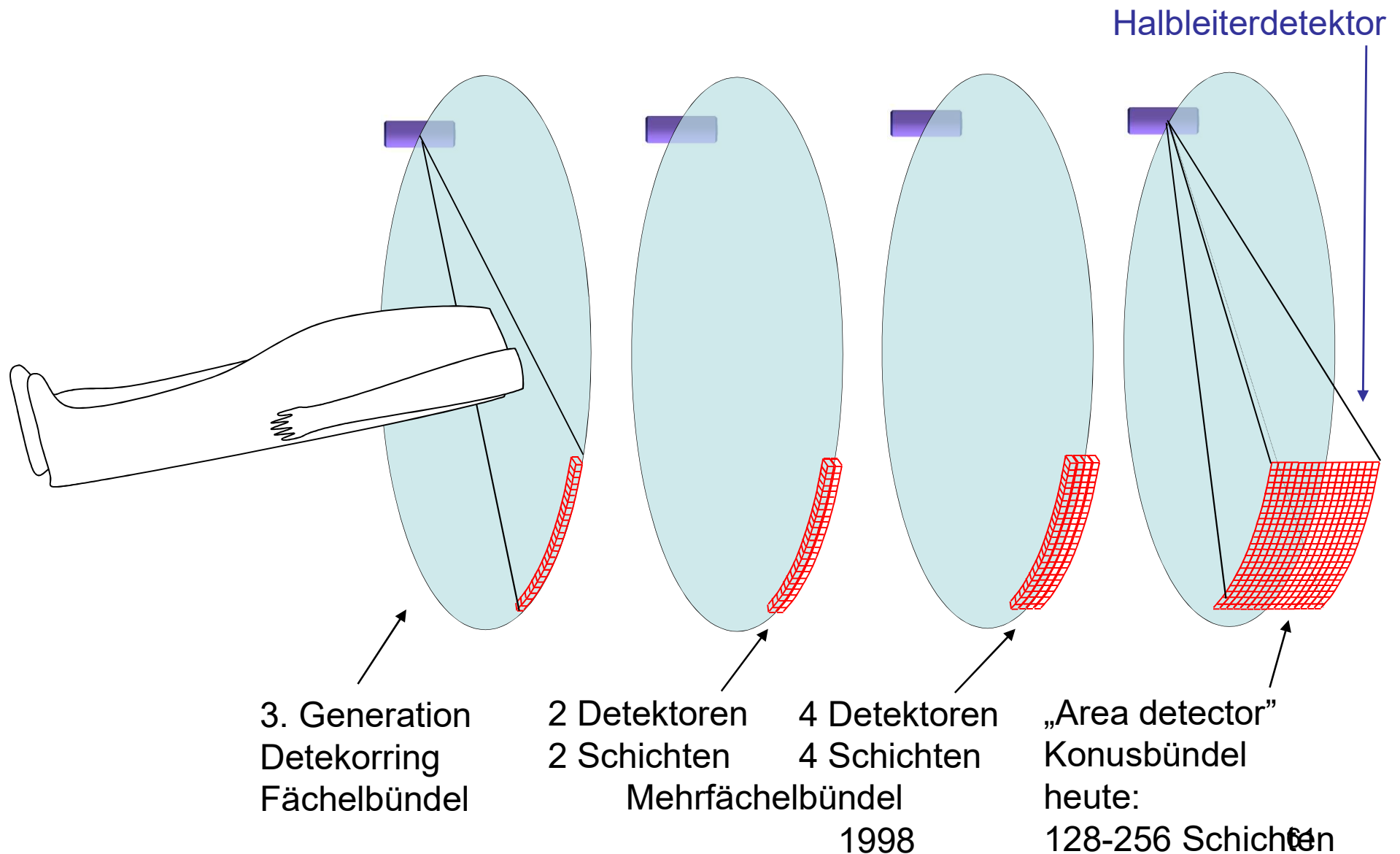
## 9. Moderne CT techniquen

### a) spiral CT



Das schichtbild kann in einem beliebigen  $z$  Position berechnet werden.

## b) Multislice CT (Mehrschicht CT)



# 16 Schichten-CT

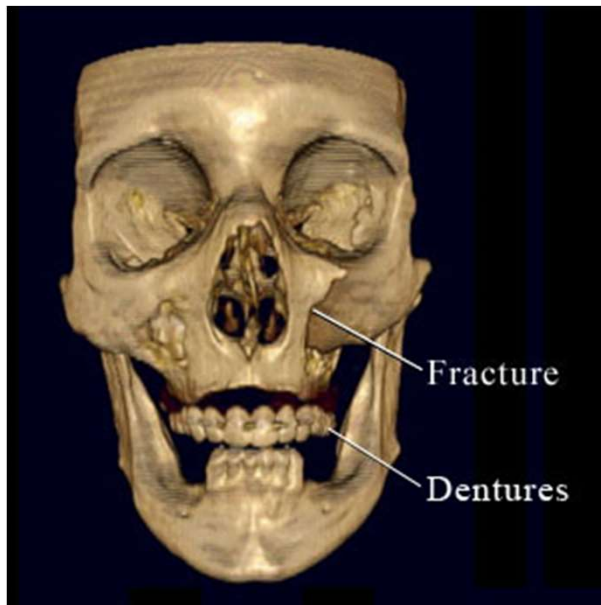


## 10. Dreidimensionale Visualisierung

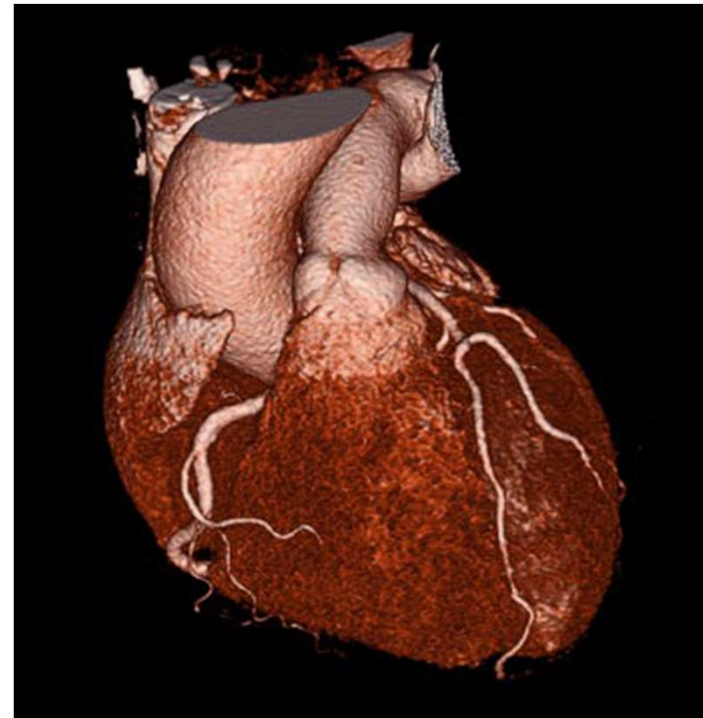
Bei einem modernen multislice CT:

mehrere 100 Schichtaufnahmen !!

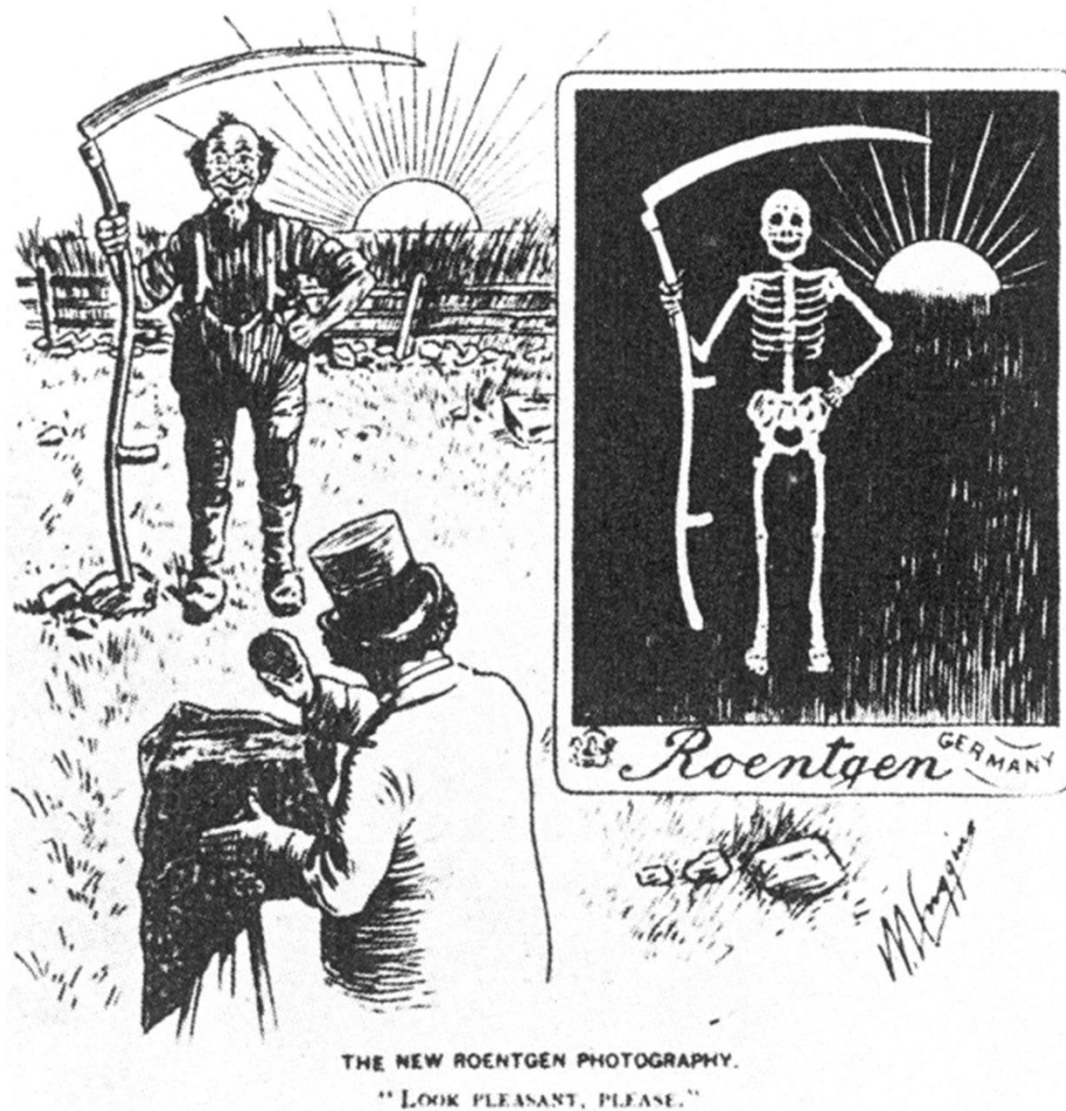
Es kann nicht Schicht zu Schicht betrachtet werden =>  
Dreidimensionale (3D) Darstellung



„Die Figur war schon in dem rohen Stein drin.  
Ich musste nur noch alles Überflüssige wegschlagen.“  
*Michelangelo*



# 11. 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

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Hausaufgaben:  
7.13, 8.1-4