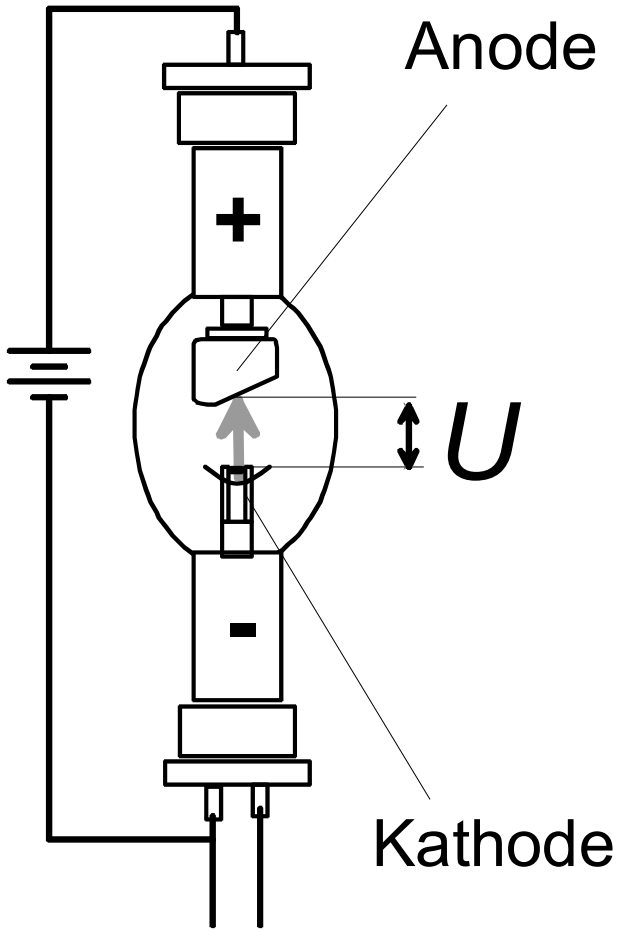
Erzeugung ionisierender Strahlung
Apparate und Röntgentechnik

Stephan Scheidegger
ZHAW School of Engineering

Lernziele

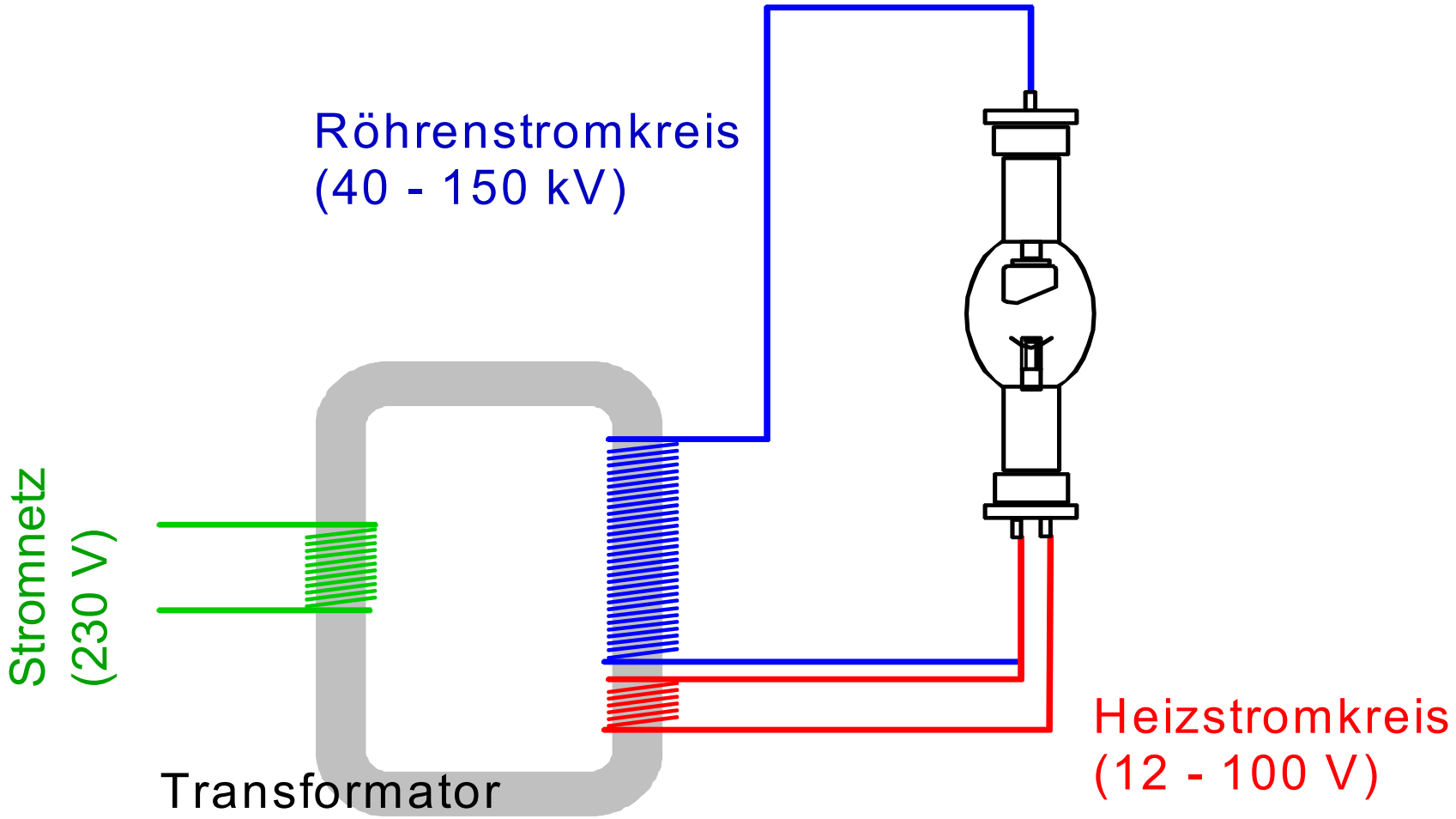
- Funktion & Aufbau von Röntgengenerator & Röntgen-röhre in eigenen Worten beschreiben können
- Begriffe mAs & kV und deren Einfluss auf die Dosisleistung verstehen
- Auswirkung von Heel-Effekts & Eigenfilterung auf Bildqualität & Patientendosis beschreiben können
- Funktion und Aufbau eines LINAC erklären können

Röhrenspannung (kV)

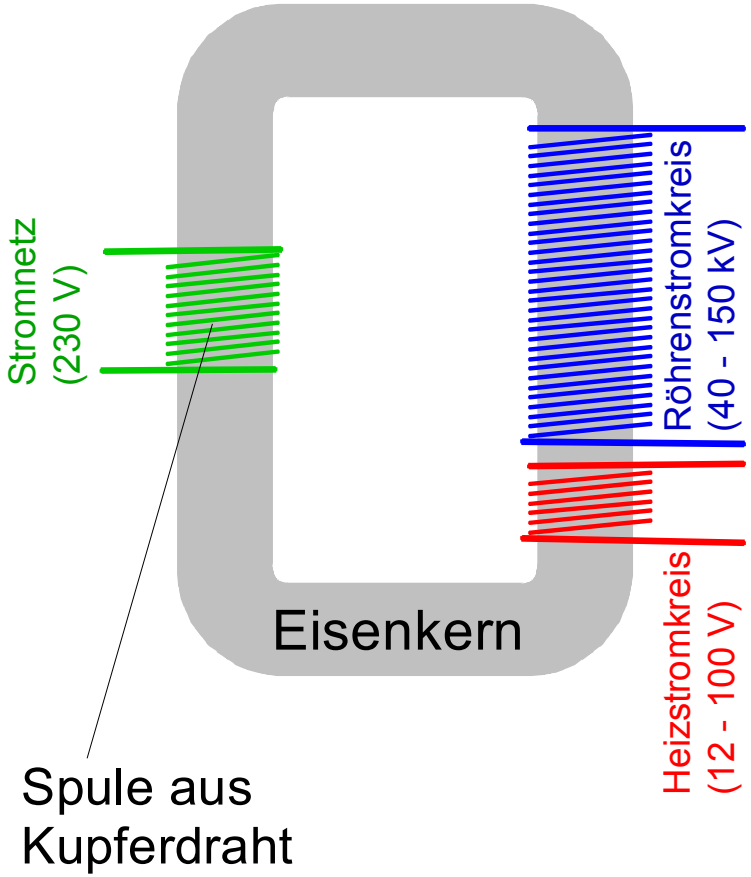


- Hochspannung *U* zwischen Anode und Kathode (40 - 300 kV)
- Elektronentransport zwischen Kathode und Anode → Röhrenstrom *I* (mA)
- Heizstrom für Kathode

Stromkreise



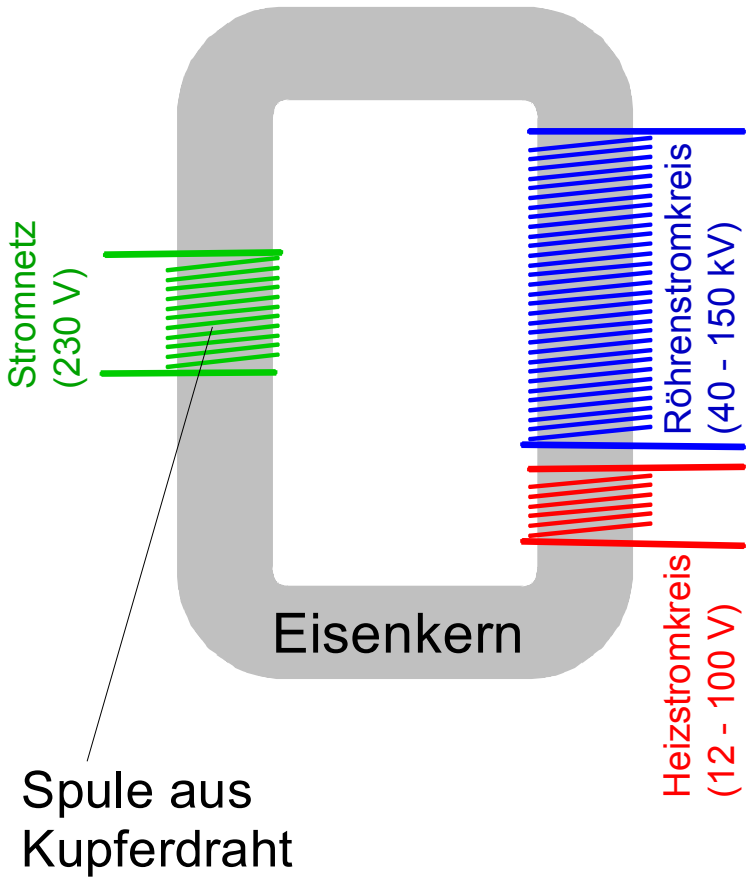
Transformator



Induktion:

- Wechselstrom erzeugt durch Primärspule ein zeitlich moduliertes magnetisches Feld
- zeitlich moduliertes magnetisches Feld induziert in Sekundärspule eine Wechselspannung

Transformator



- Es gilt für das Verhältnis der Spannung U_1 auf der Primär- und U_2 auf der Sekundärseite:

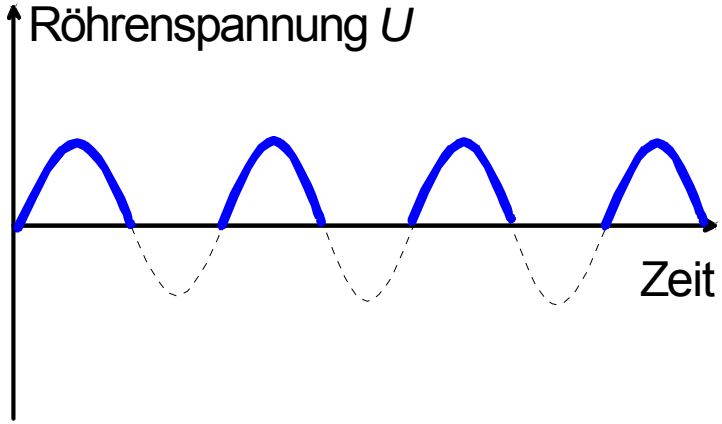
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Röntgengenerator

Anno dazumal & Heute

- Funkeninduktor (Rühmkorff, 1851)
- Einpuls-Generatoren
- Zweipuls-Generatoren
- Multipuls- & Hochfrequenz-Generatoren

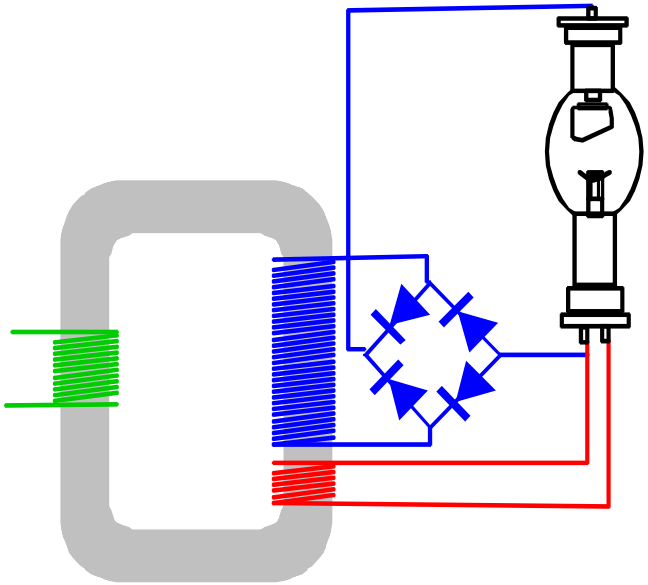
Einpulsgenerator



- Entstehung von Röntgenstrahlung nur, wenn Anode **+** und Kathode **-**

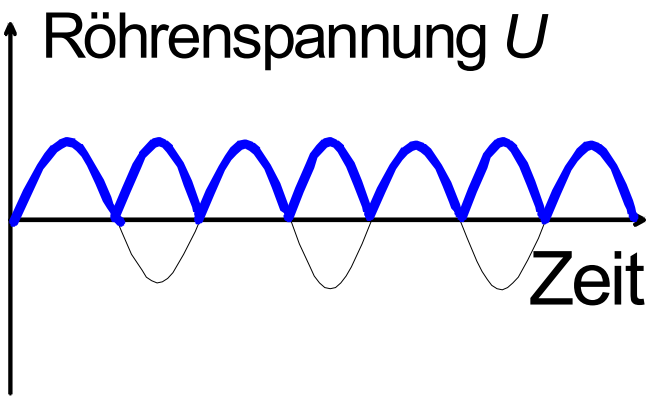
→ bei einer Wechsel-spannungs-Schwingung nur während der halben Zeit Strahlung

Zweipulsgenerator



- mit Hilfe einer speziellen Gleichrichterschaltung Pulsumkehr

  → pro Wechselspannungs-Schwingung zwei Pulse

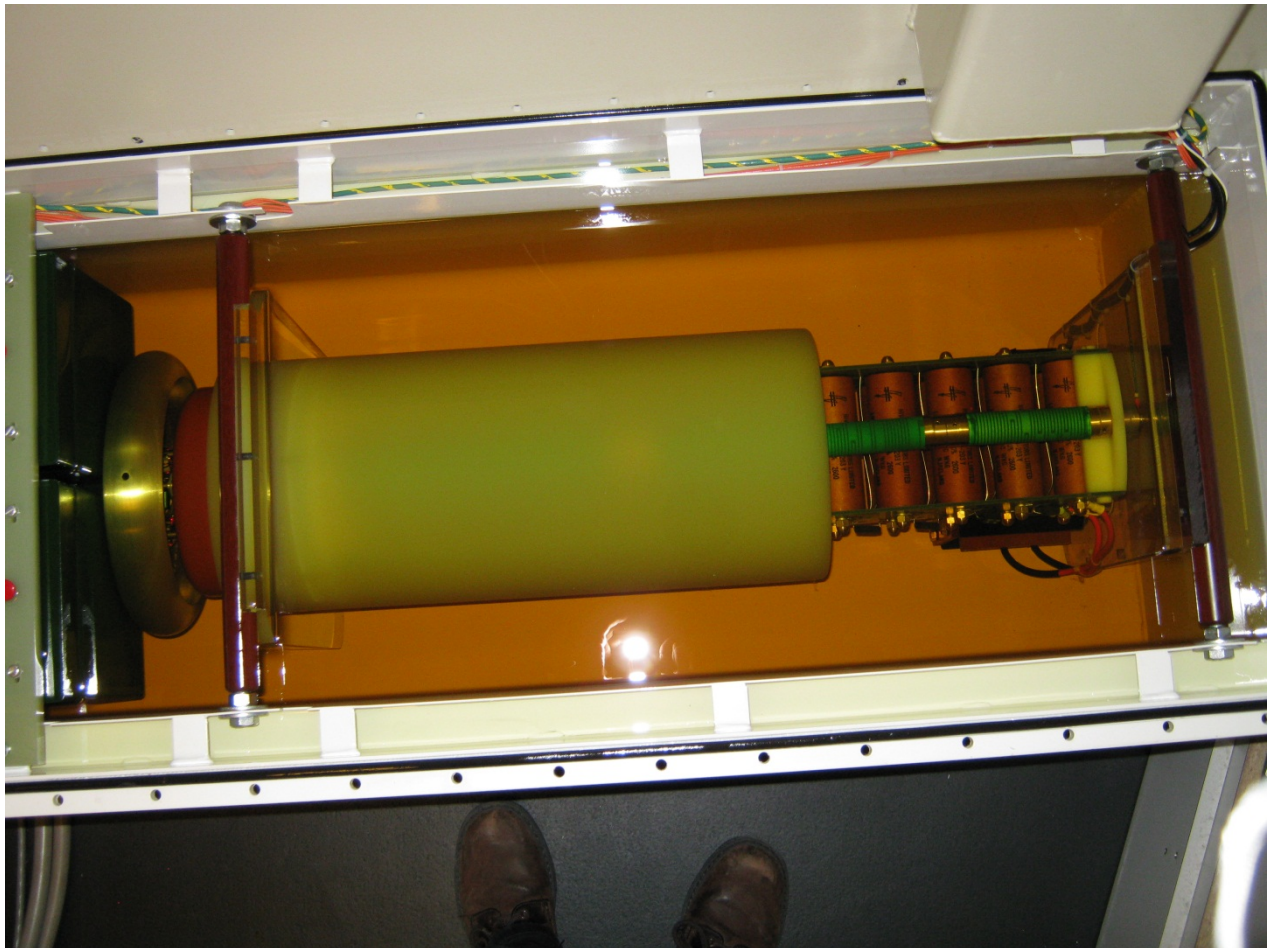


Ein Nachteil bleibt:

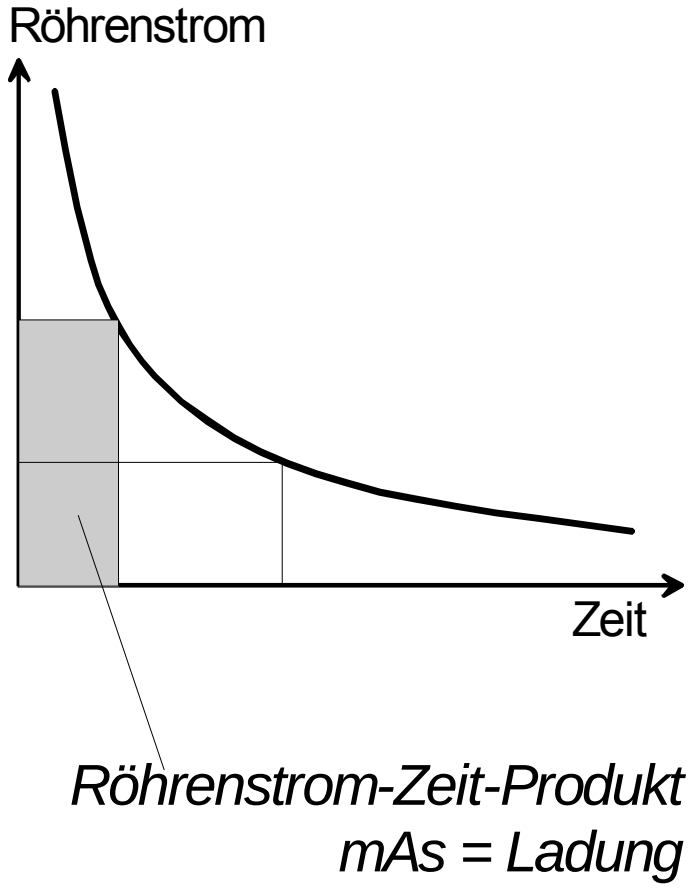
Welcher?

HF-Generatoren

- HF-HV-Trafo
- Cockroft-Walton-Kaskade

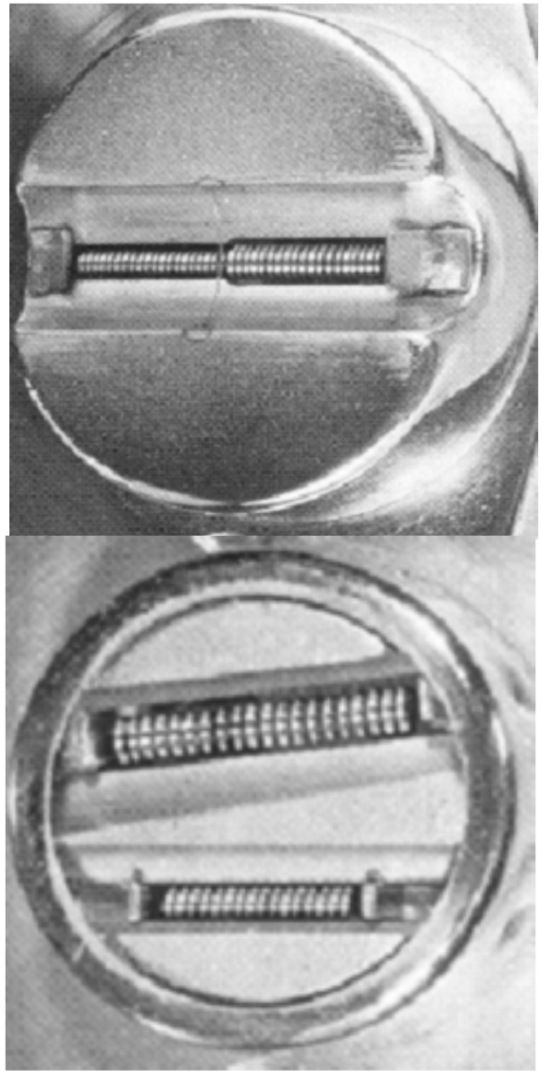


Lastdiagramme



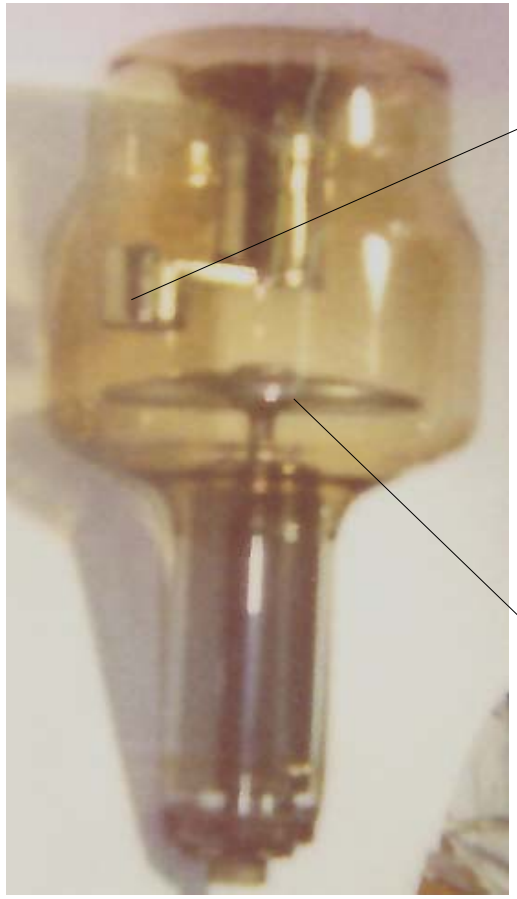
- bei grossem Röhrenstrom (mA) nur kurze Expositionszeit (s) möglich
- bei grosser Expositionszeit (s) nur kleiner Röhrenstrom (mA) möglich
- Röhrenstrom-Zeit-Produkt (mAs) ist limitiert

Grosser & kleiner Fokus



- grosser Fokus: belastbar (viel mAs), aber weniger scharfe Bilder
- kleiner Fokus: weniger belastbar, dafür schärfere Bilder als mit grossem Fokus

Rotierende Anode

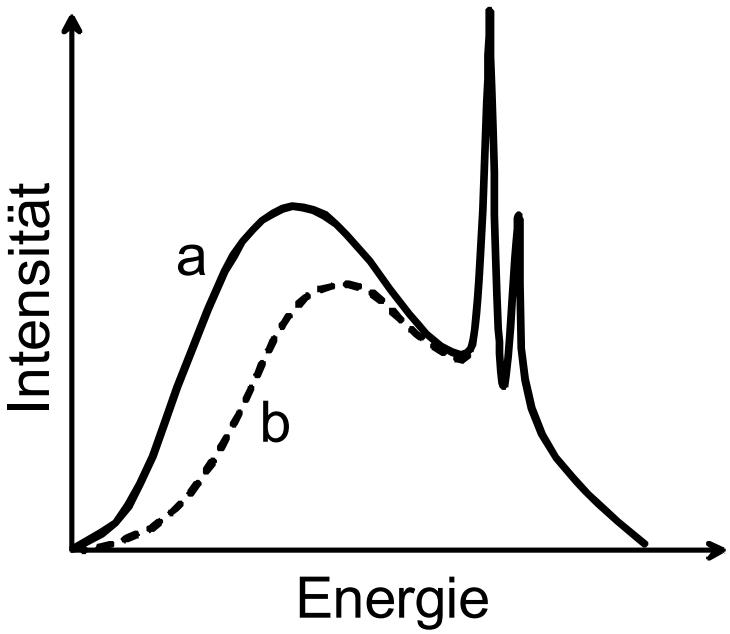


- hohe thermische Belastung der Anode:

  → Wolfram-Anode

  → rotierender Anodenteller

Filterung

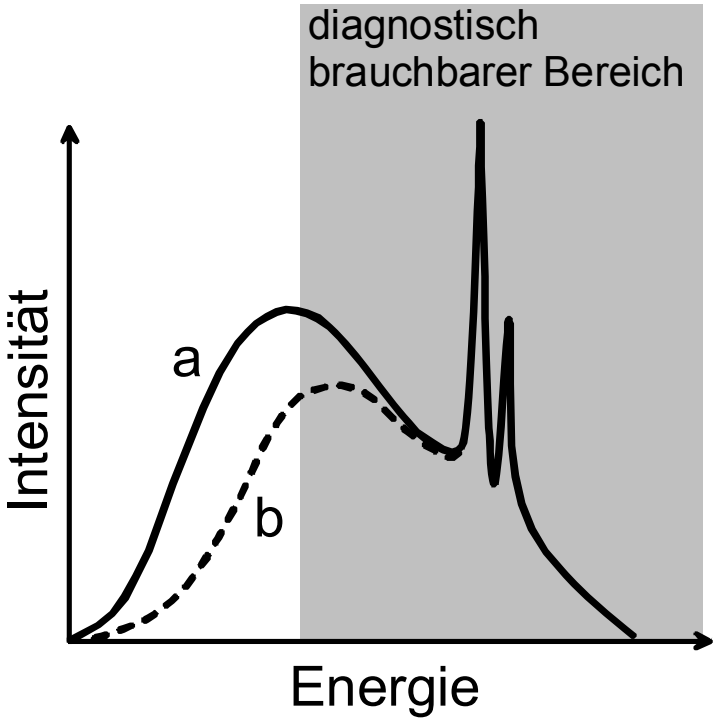


- Effekt der Filterung:

  nieder-energetische Photonen werden stärker absorbiert als hoch-energetische

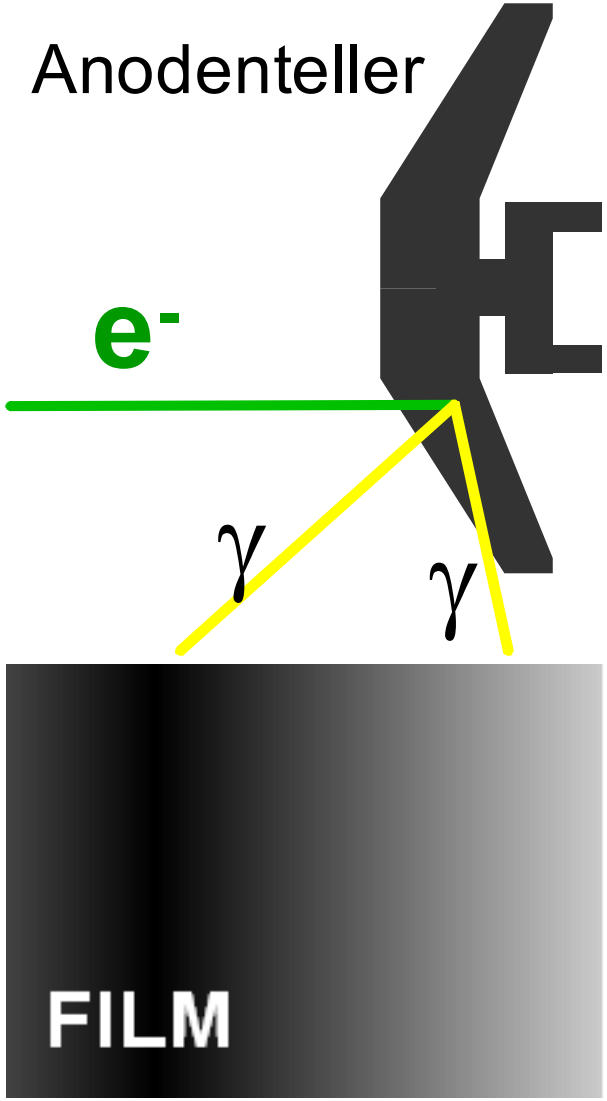
  → Reduktion der Intensität bei tiefen Energien

Filterung



- Photonen unter 30 keV tragen wenig zum Röntgenbild bei, aber:
- Photonen unter 30 keV tragen viel zur Patienten- & Hautdosis bei!

Heel-Effekt



- unterschiedliche Weg-längen der Röntgenstrahlen führen zu unterschiedlicher Absorption

→ Schwärzungsgradient auf Film / Röntgenbild

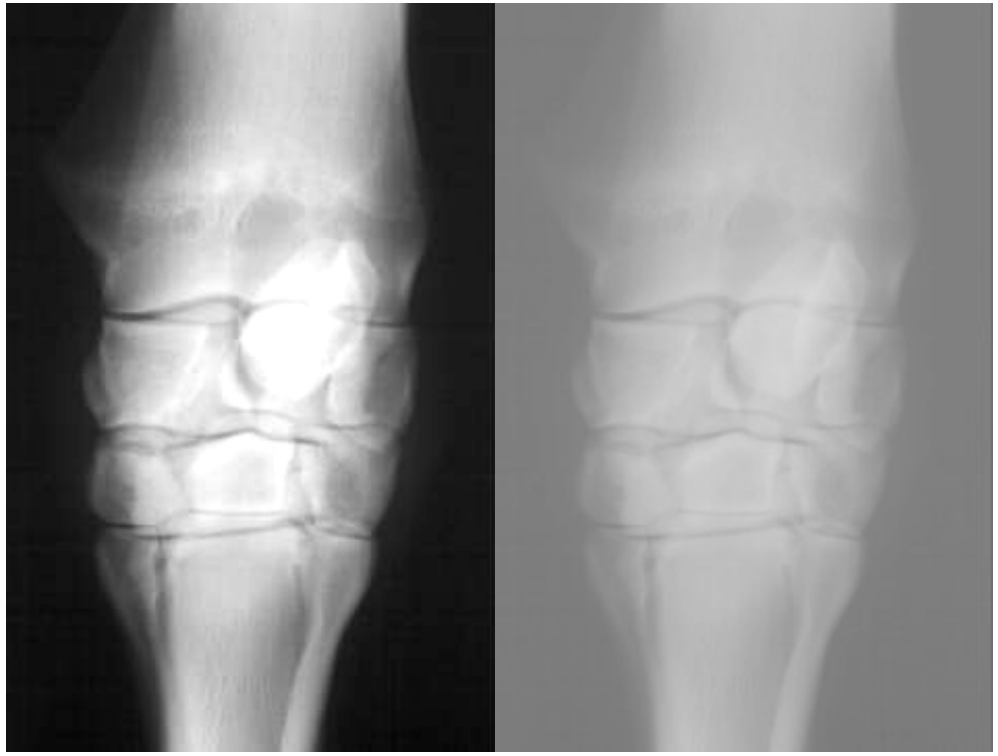
Inhalt

- Der Röntgengenerator
- Die Röntgenröhre
- Beeinflussung der Strahlenqualität & Strahlenquantität

Steuerung der Bildqualität

- Schwärzung: mAs
- Kontrast (& Schwärzung): kV

Bildkontrast



Erhöhung der kV

Steuerung der Dosis

$$D = g \cdot \frac{U^2 \cdot I}{r^2} \cdot \Delta t$$

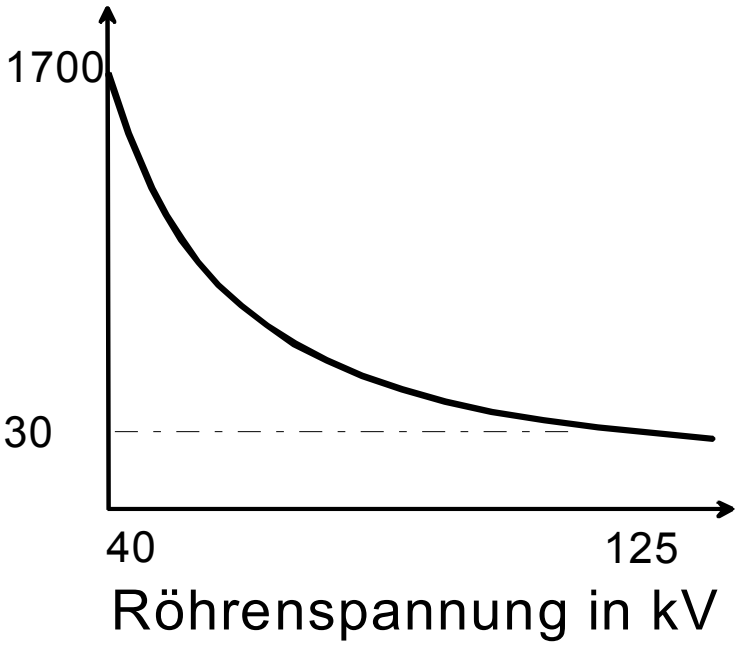
- Dosis linear zu mAs (= $I \cdot \Delta t$)
- Dosis stark abhängig von kV (= U)
- quadratisches Abstandsgesetz

Qualität & Quantität

Patientendosis

Eintrittsdosis

Austrittsdosis

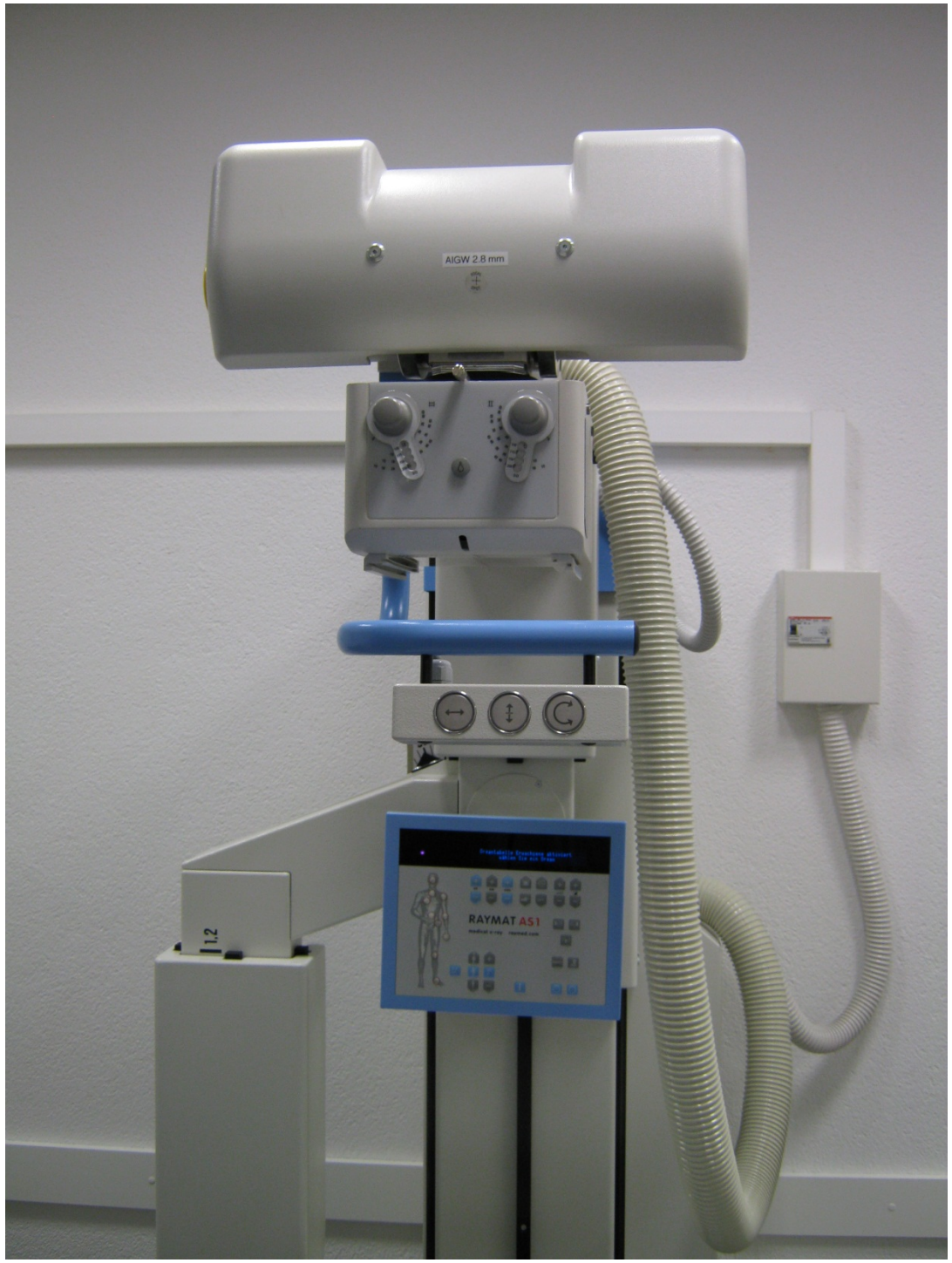


- hohe Eintrittsdosis bei kleiner Austrittsdosis: effektive Dosis hoch
- günstig ist: möglichst kleine Eintrittsdosis bei möglichst grosser Austrittsdosis

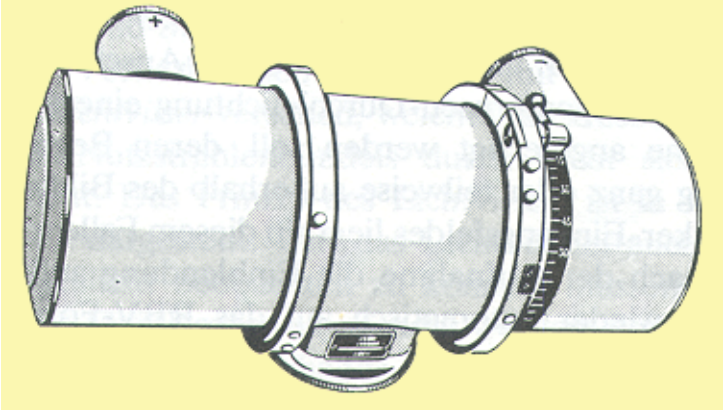
Aufbau des Röntgenapparates

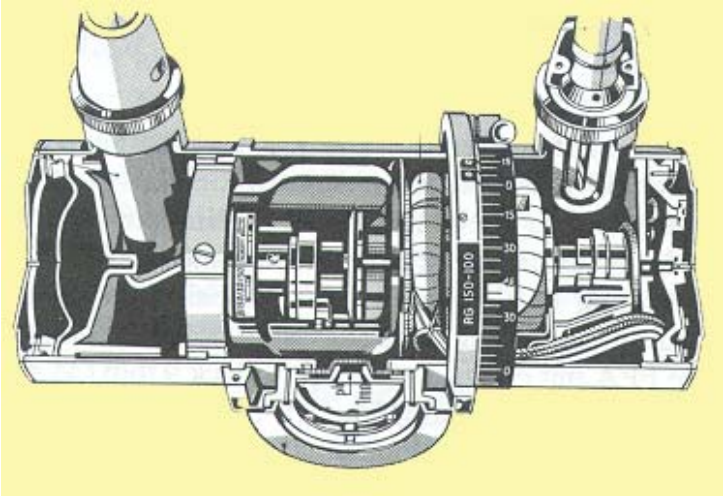
Bestandteile

- Röntgenröhre
- Röntgengenerator
- Röhrenschutzgehäuse
- Kühlung
- Tiefenblende
- Filterung
- Bedienungseinrichtung
- Röntgentisch mit Streustrahlenraster


AIGW 2.8 mm
RAYMAT AS1
1.2

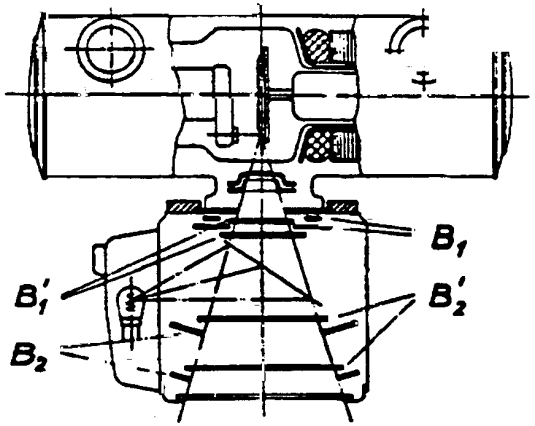
Röhrenschutzgehäuse



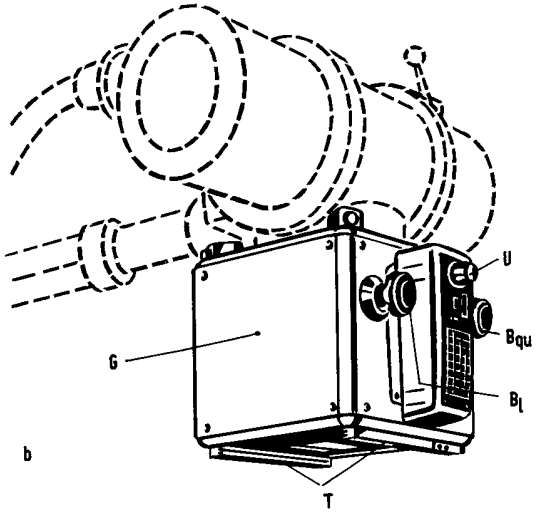


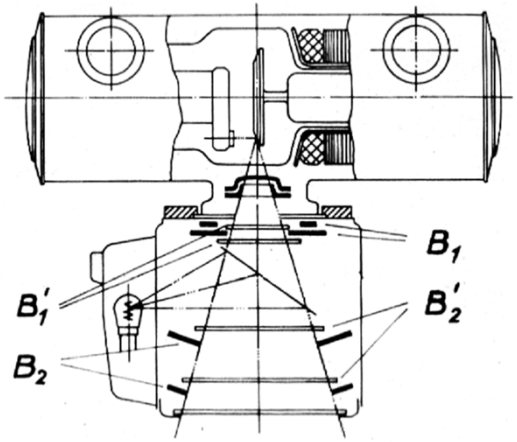
- Strahlenschutz
- Kühlmechanismus
- Hochspannungsschutz

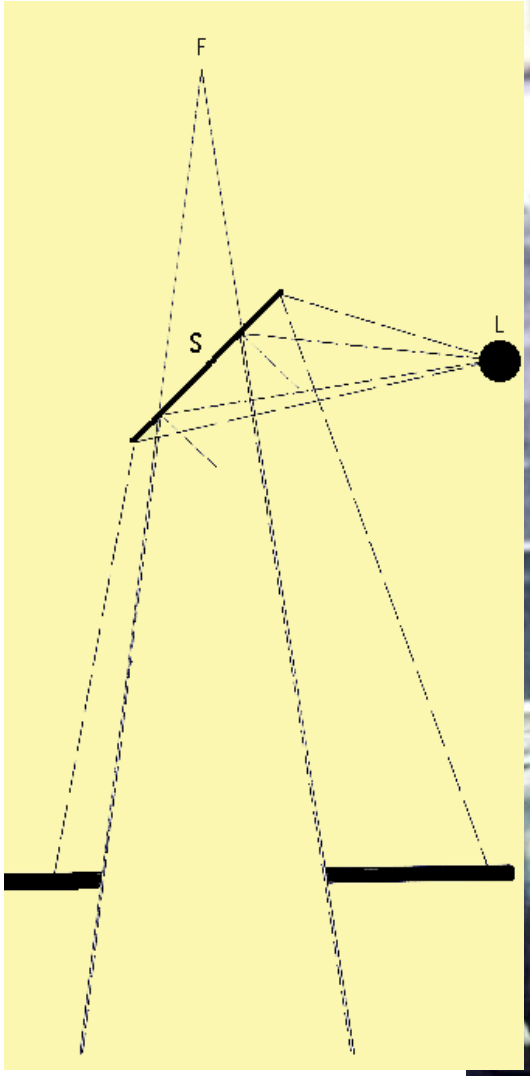
Tiefenblende

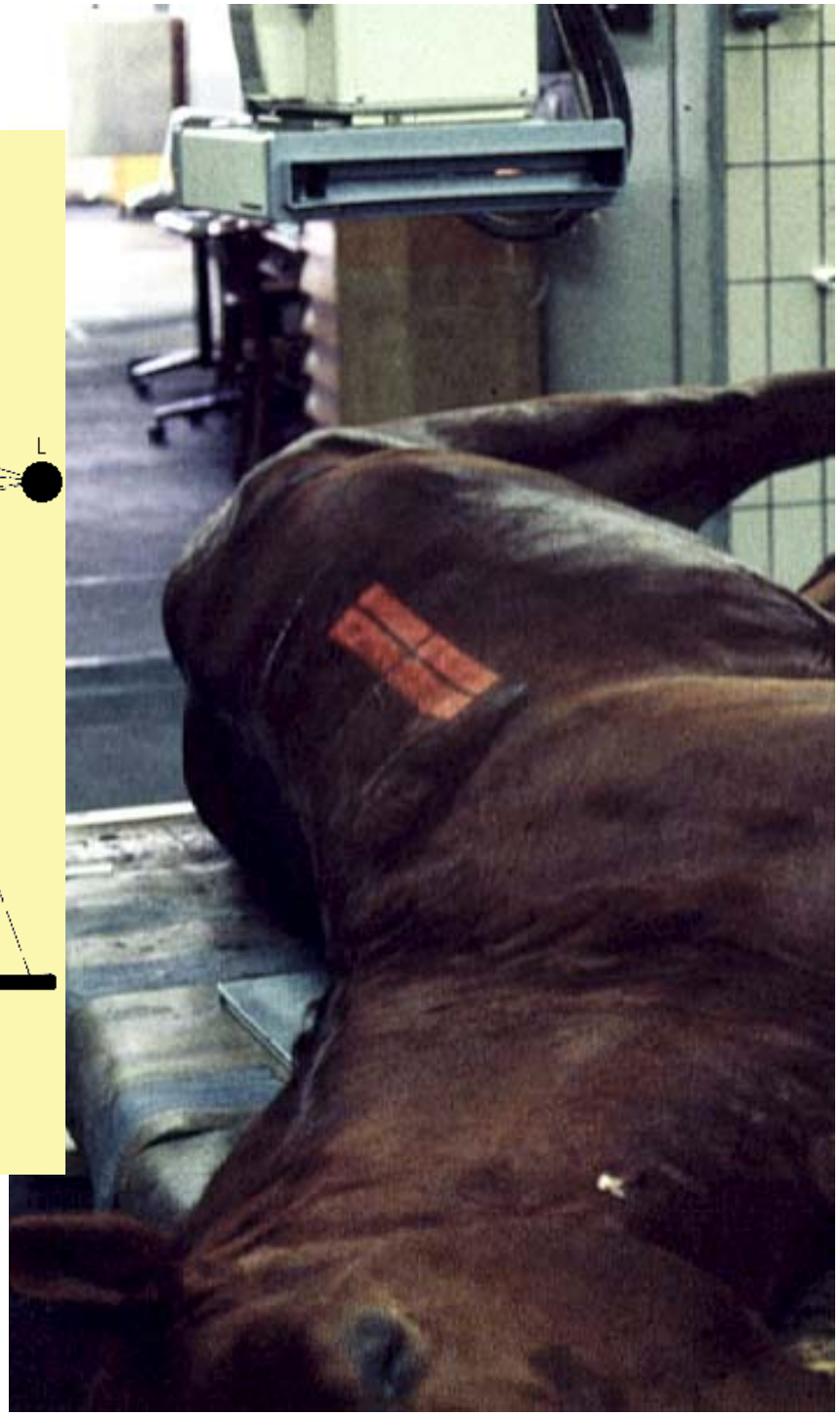


- Bleilamellen
- Einblendung des Nutzstrahlenfeldes
- Lichtvisier
- Röntgendurchlässiger Spiegel

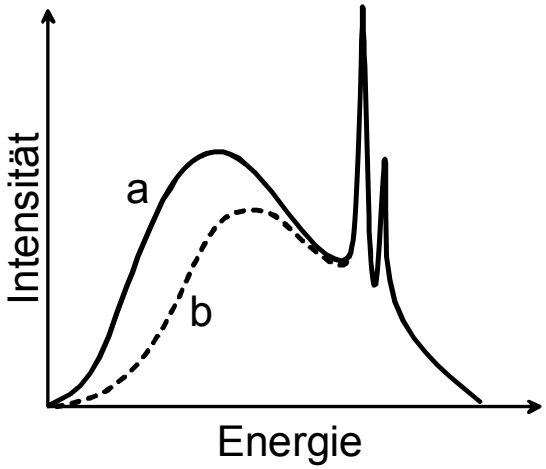

U
Bqu
G
BL
b
T

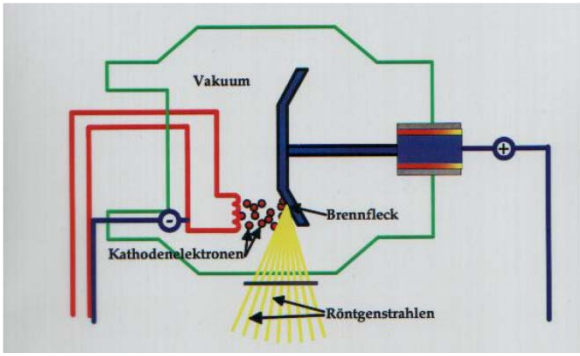

B1
B'1
B'2
B2


F
S
L



Filterung

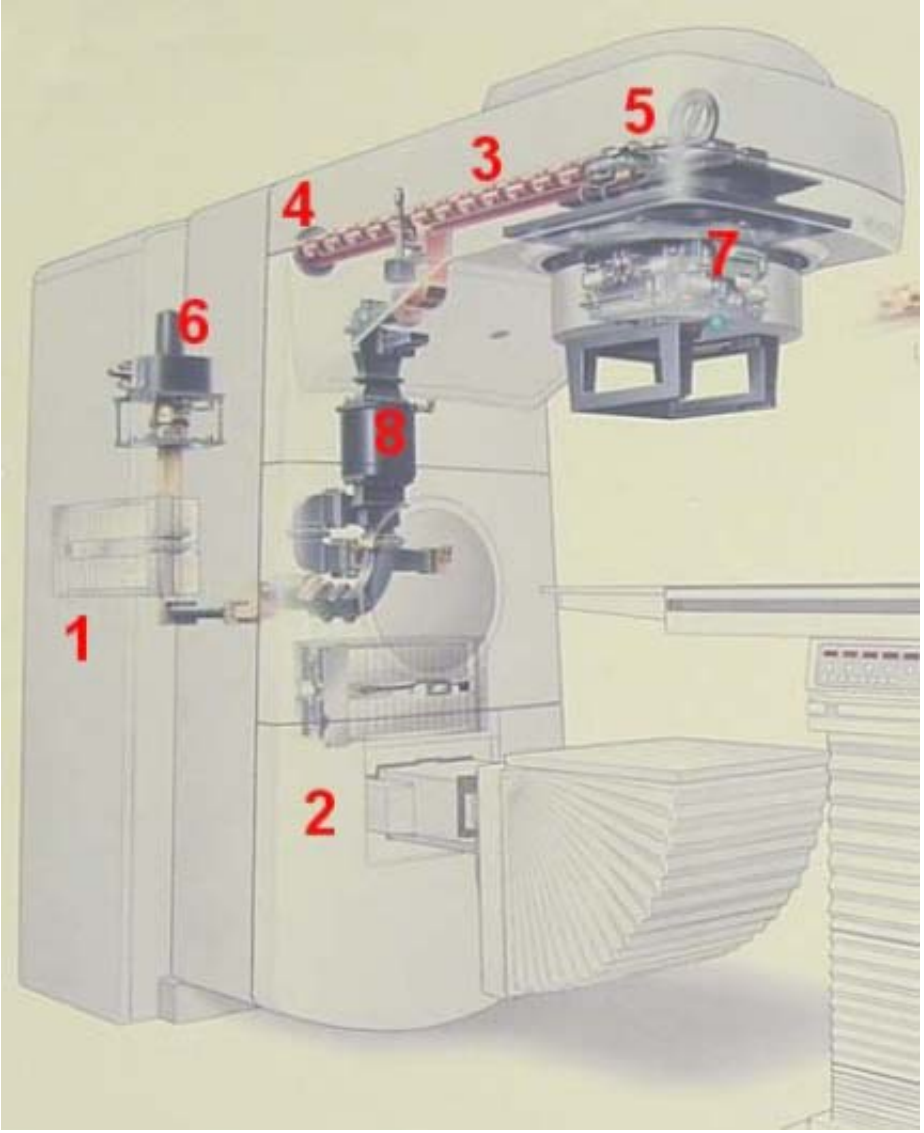




- Eigenfilterung + zusätzliche Filter
- Gesamtfilterung
- Aufhärtung der Strahlung
- Strahlenschutz des Patienten
- 2.5 – 3 mm Al (Äquivalent)

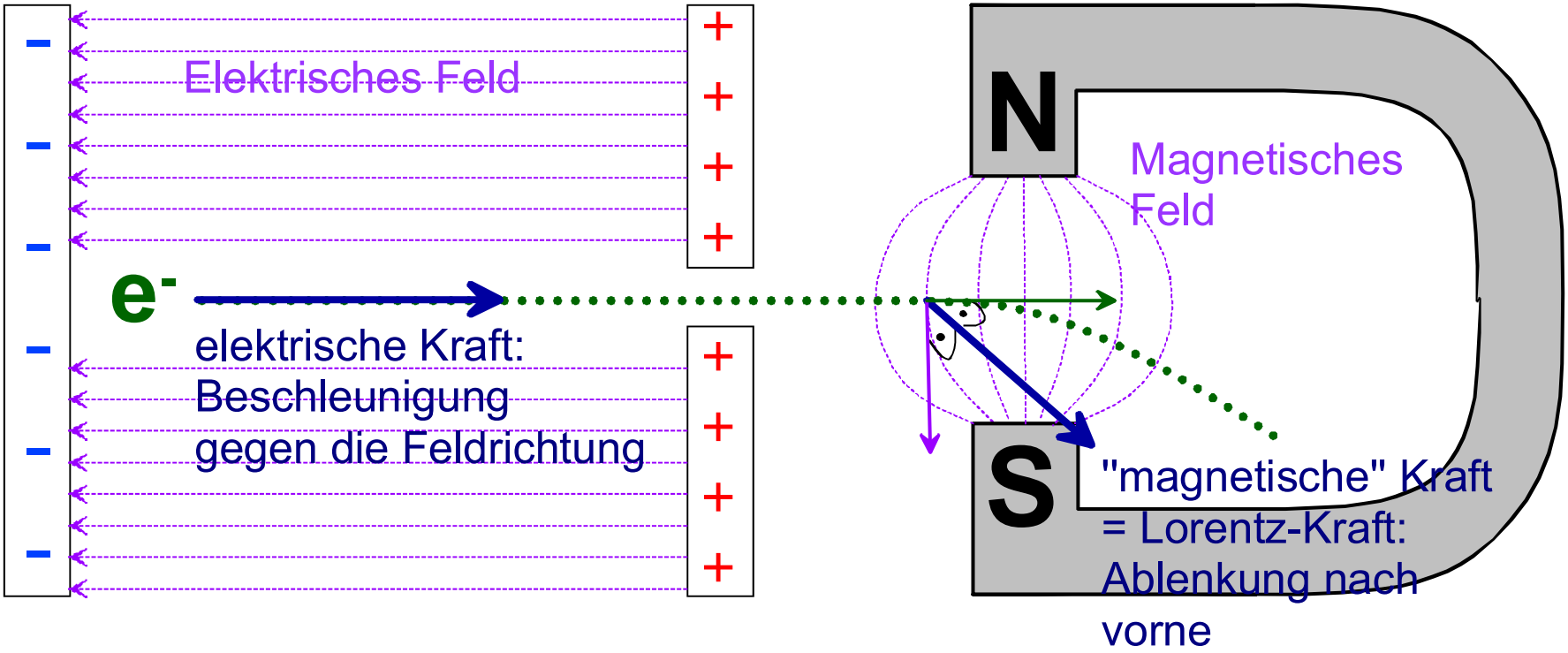
Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

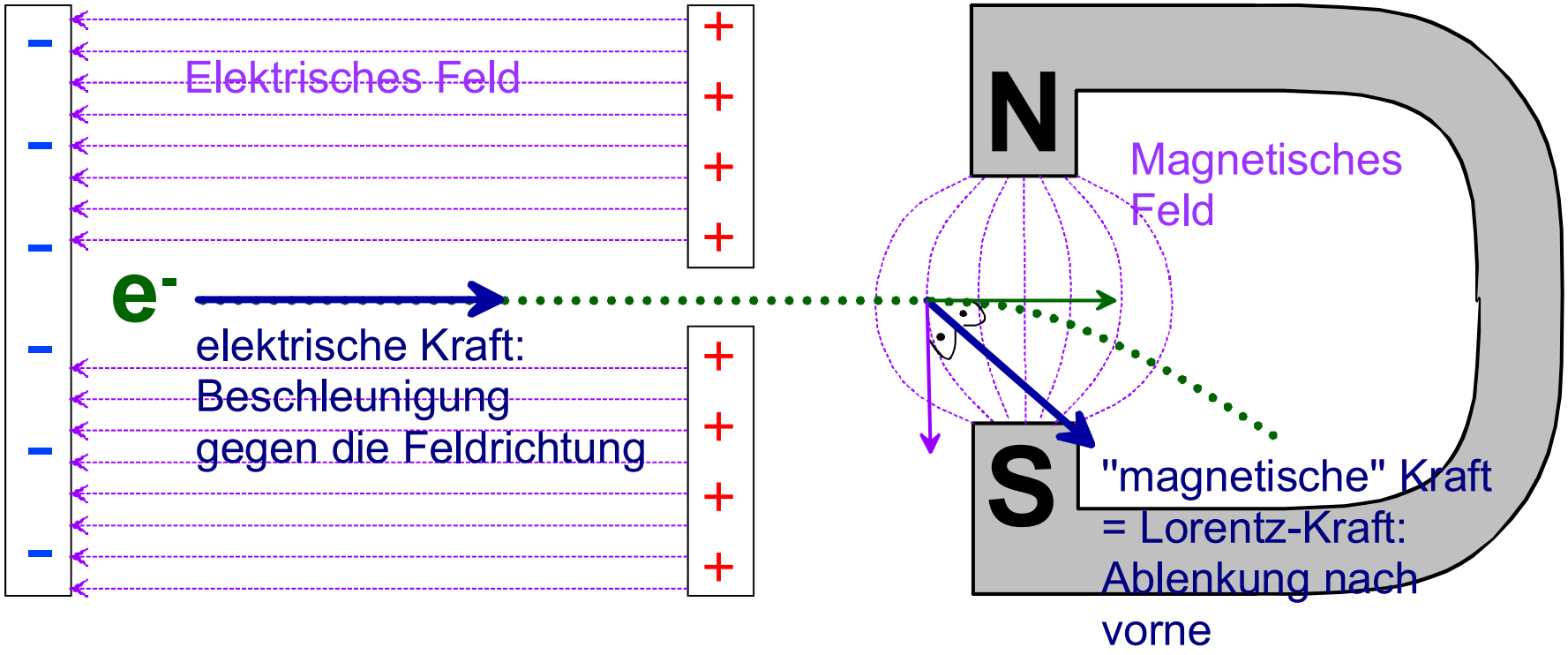


(1) Feststehender Teil mit RF-Erzeugung (6)
(2) Rotierbare Gantry
(3) Beschleuniger-Rohr
(4) Kathode (Electron Gun)
(5) Bending Magnet
(7) Kollimator

Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

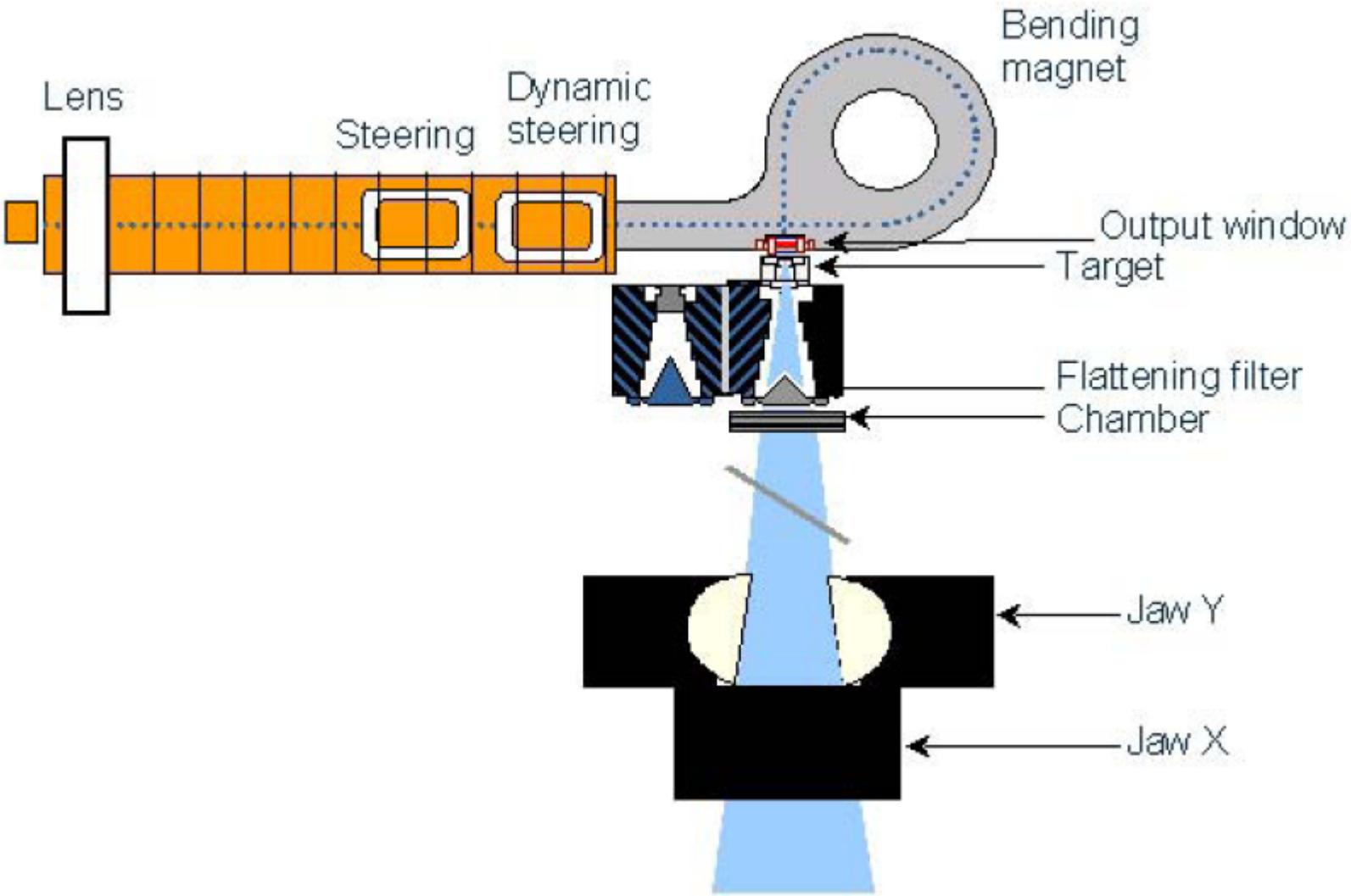


Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

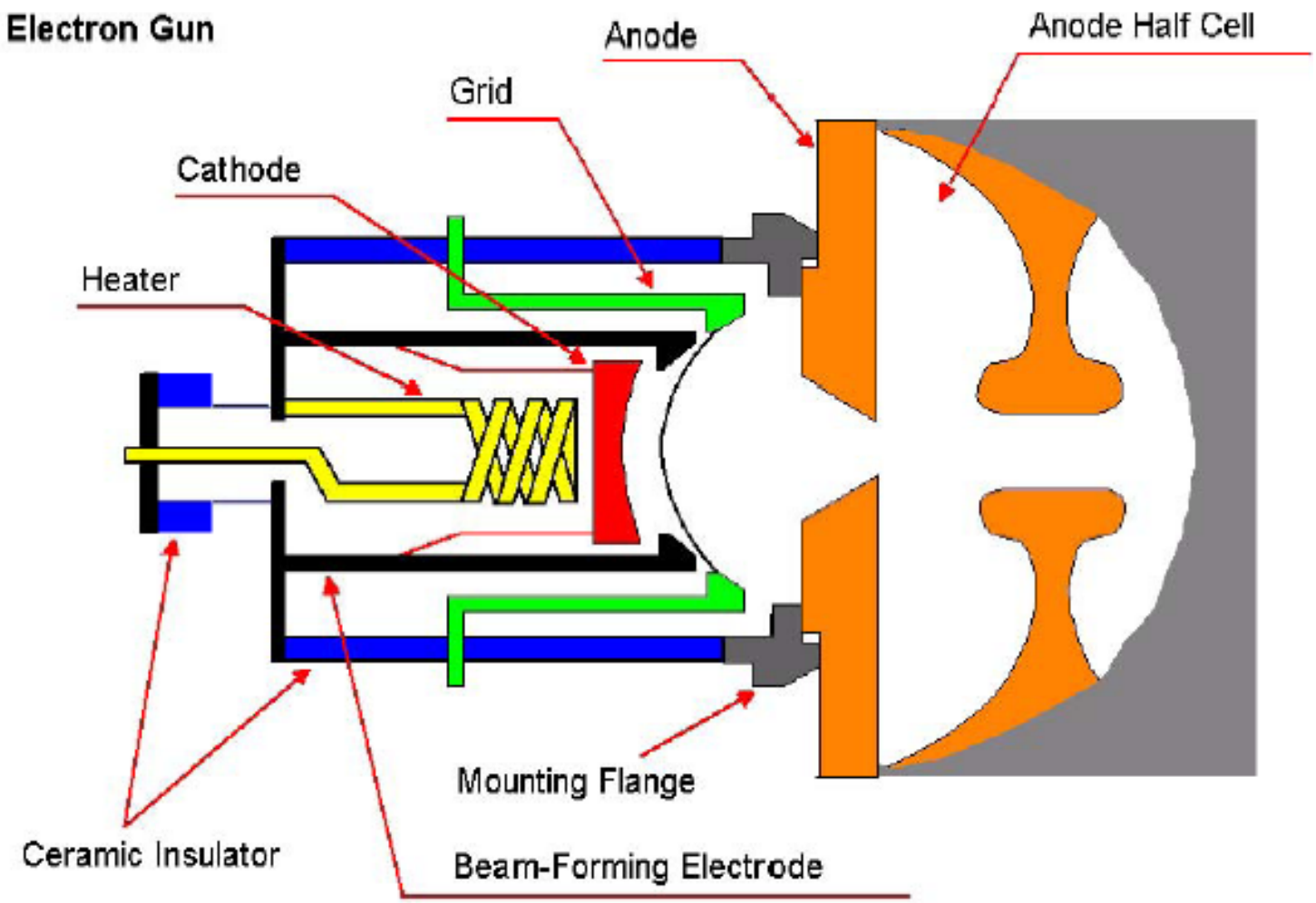


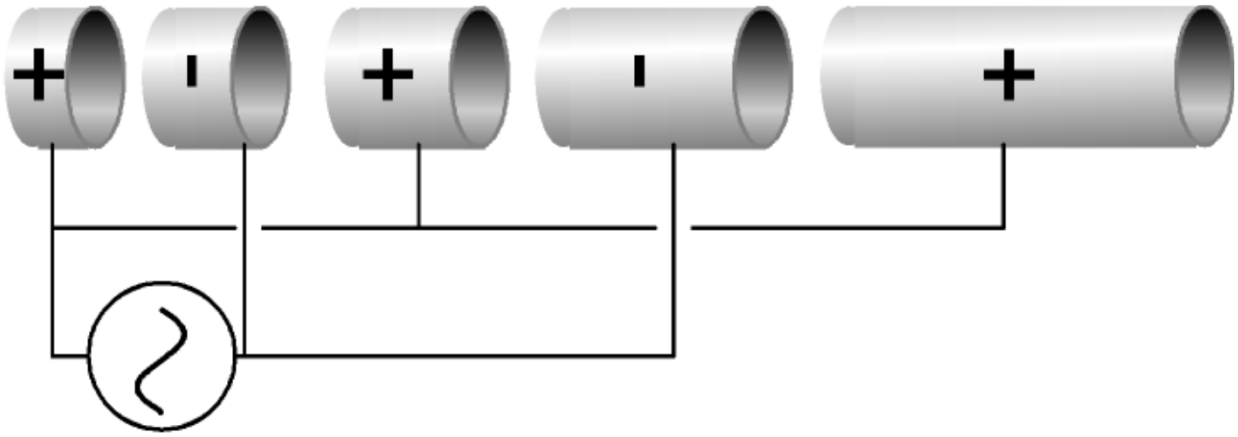
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = q \cdot \left(\vec{E}(\vec{r}) + \vec{v} \times \vec{B}(\vec{r}) \right)$$

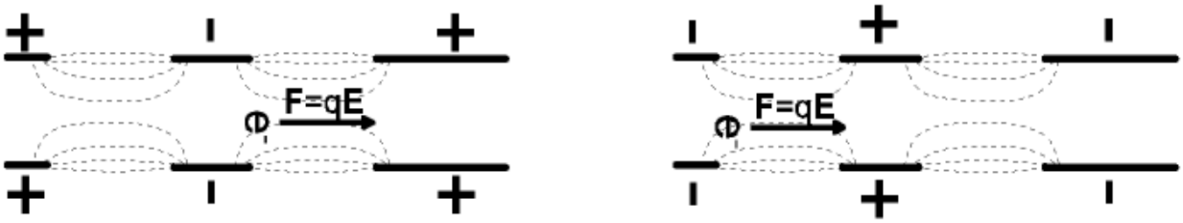
Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

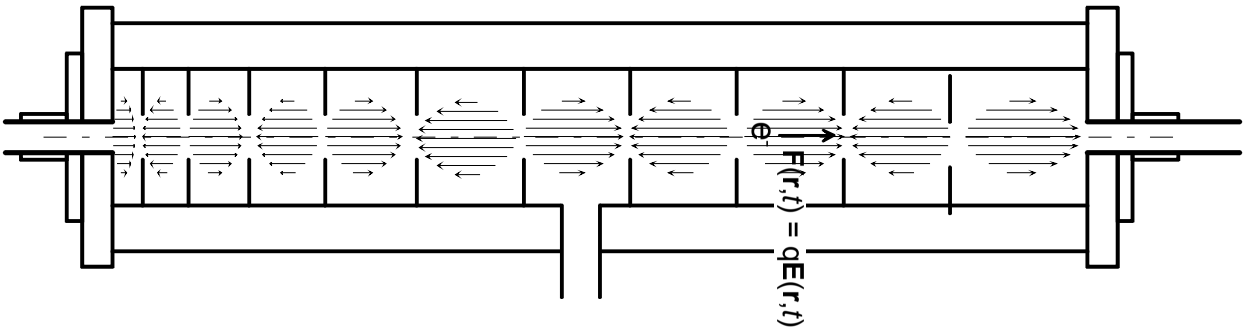


Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

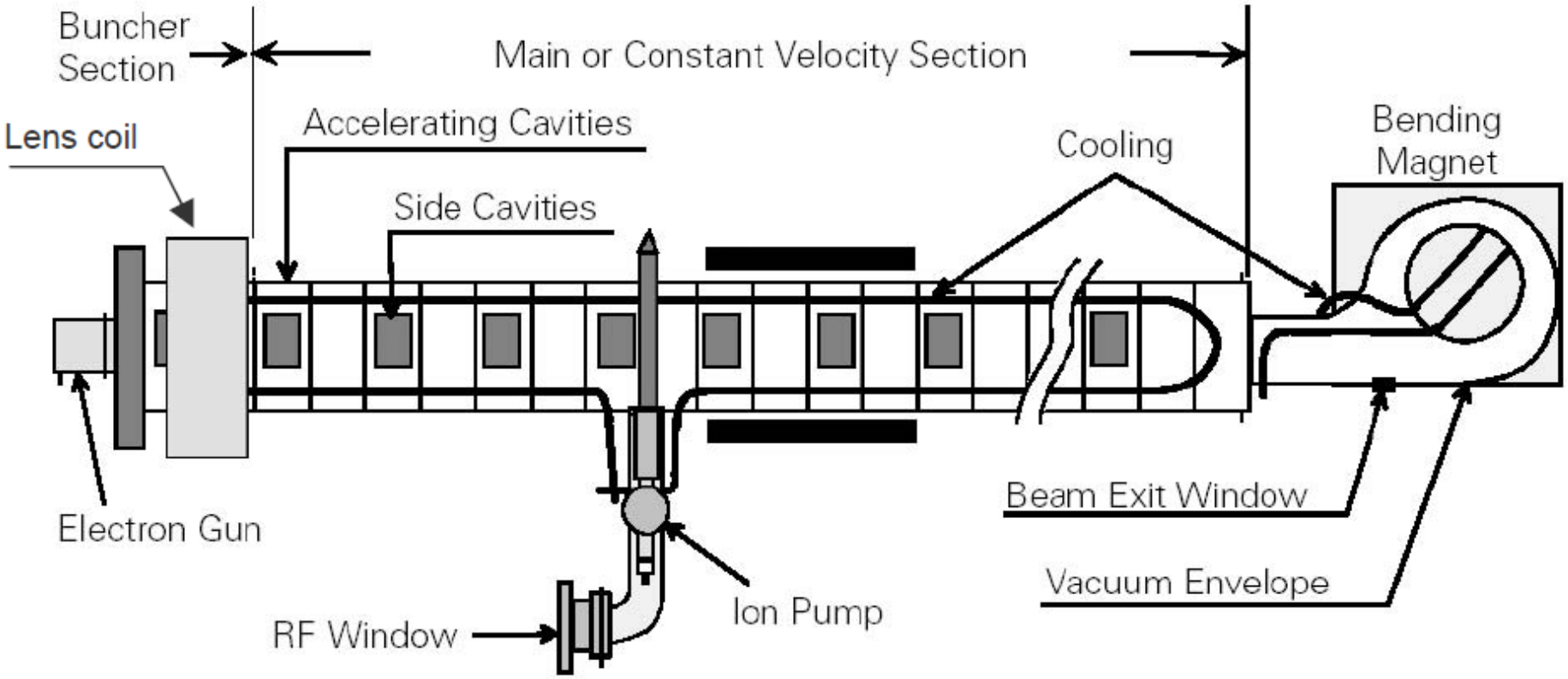



+
-
+
-
+

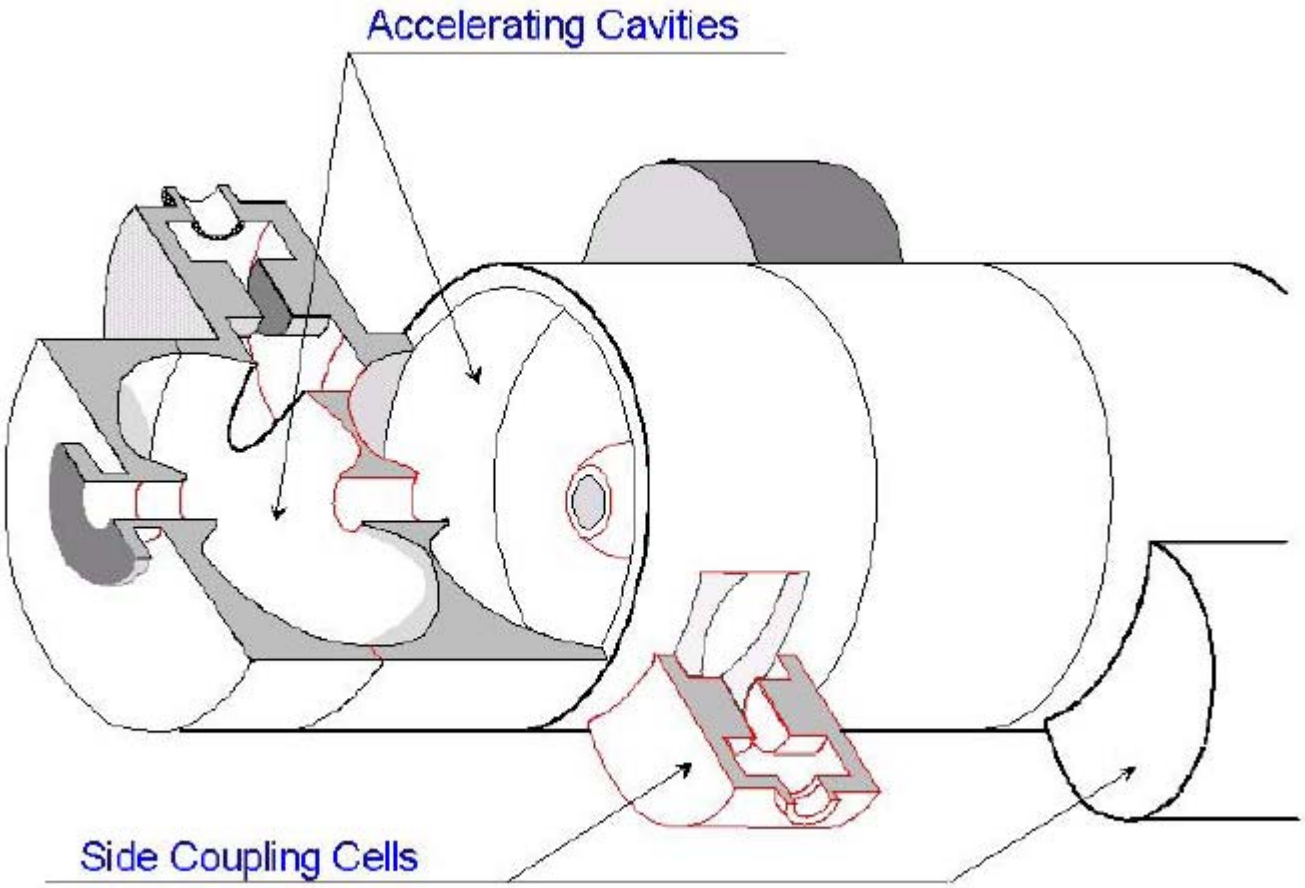

+
-
+
F=qE
e-
-
+
-
-
+
-
F=qE
e-
-
+
-


e-
F(r,t) = qE(r,t)

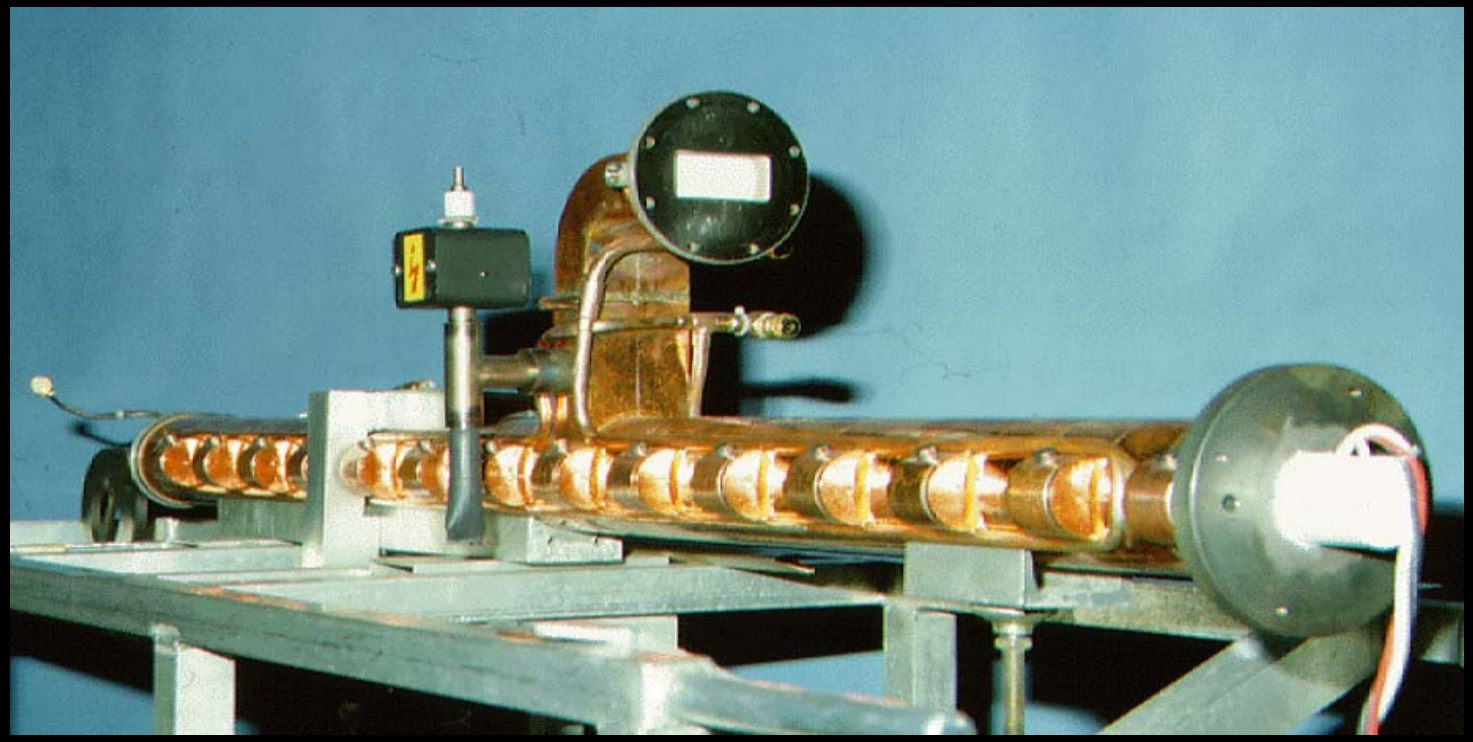
Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger



Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

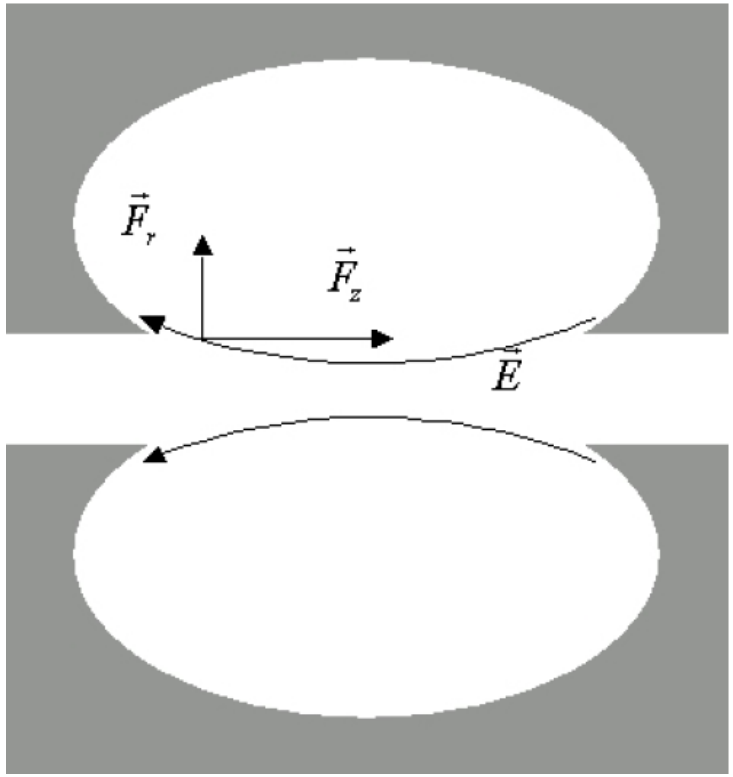


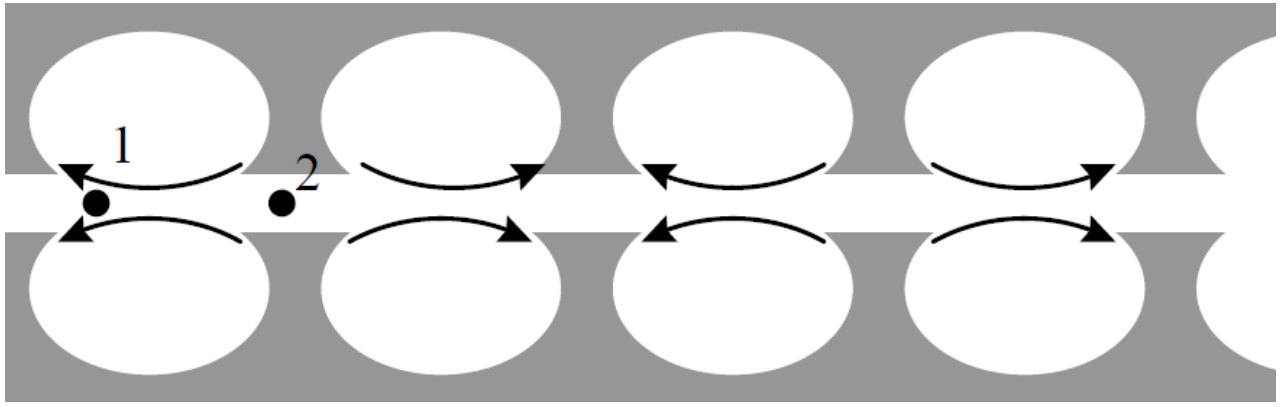
Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger



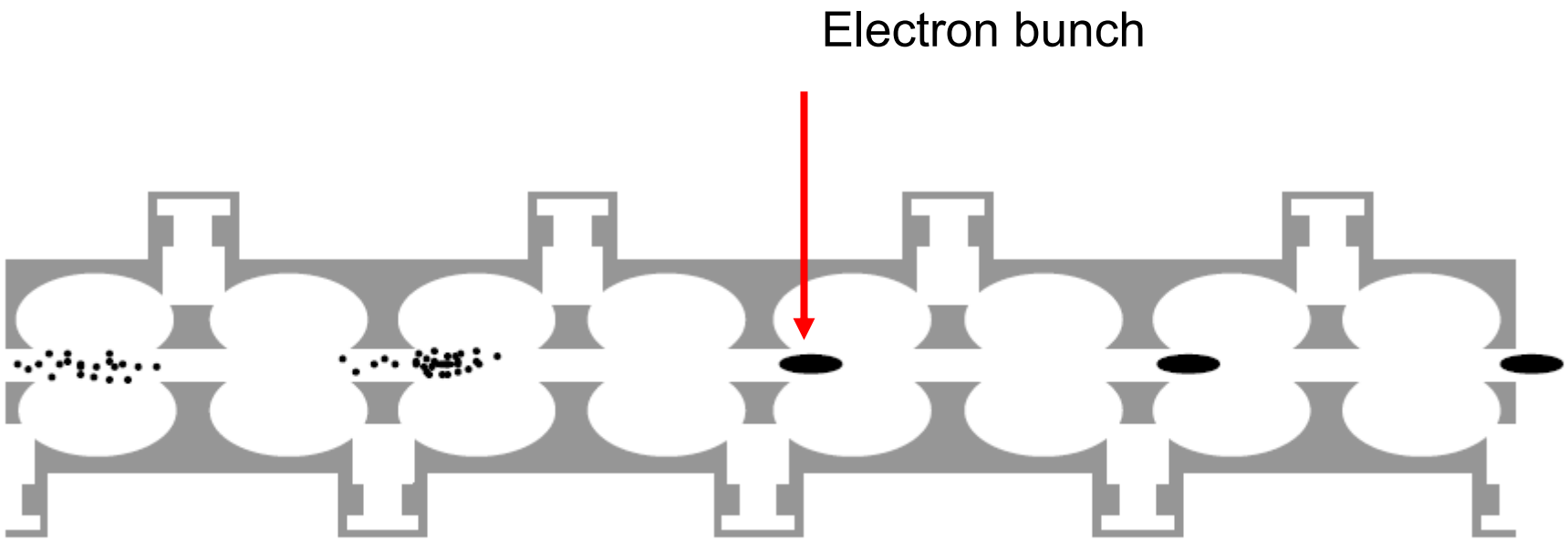
Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger

Cavity

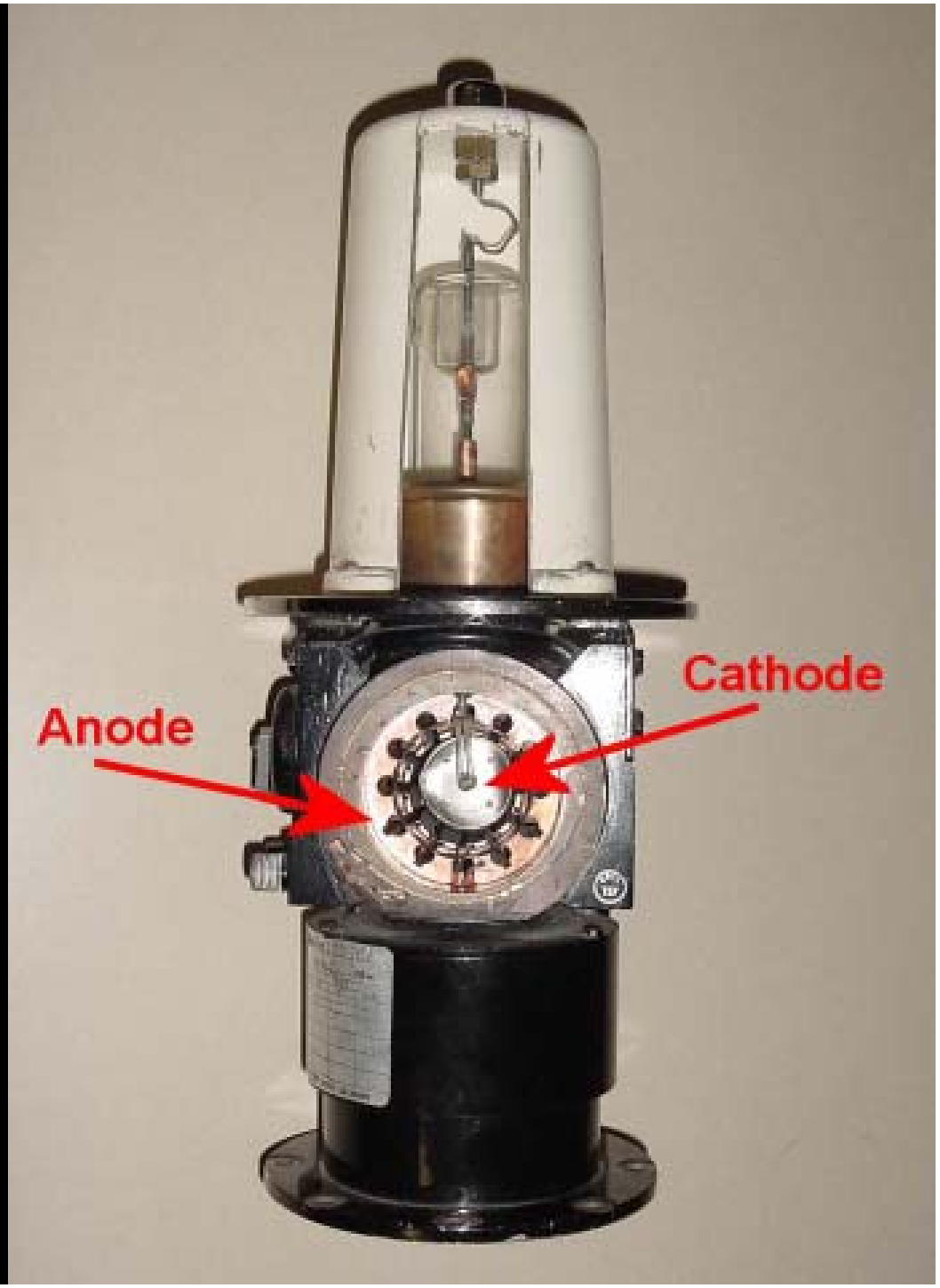




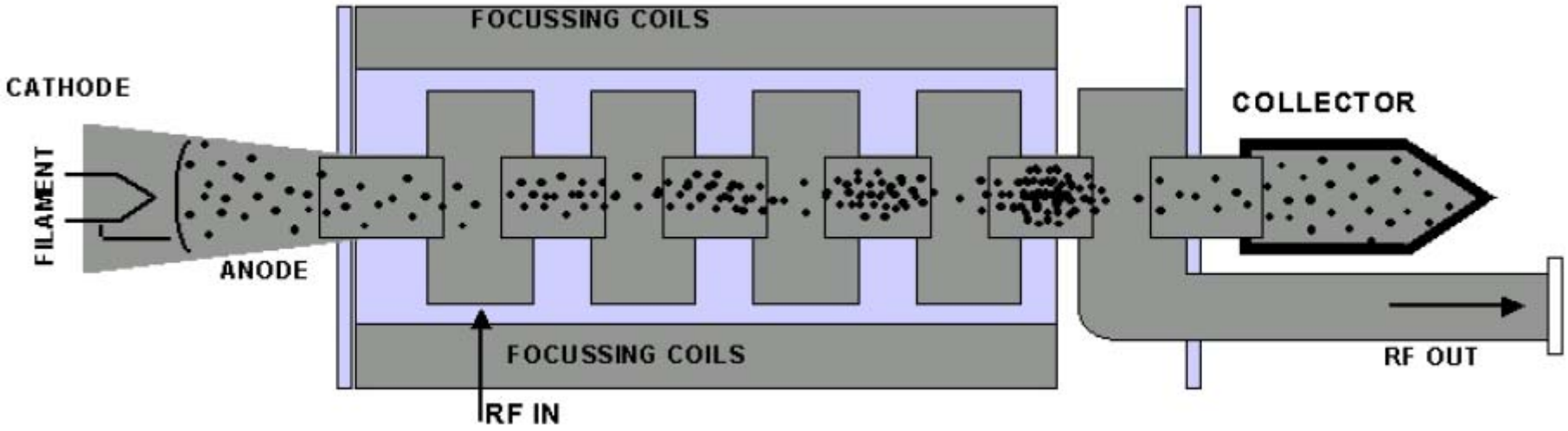
Aufbau und Funktion eines Linearbeschleuniger



Mikrowellen-Erzeugung:
Magnetron

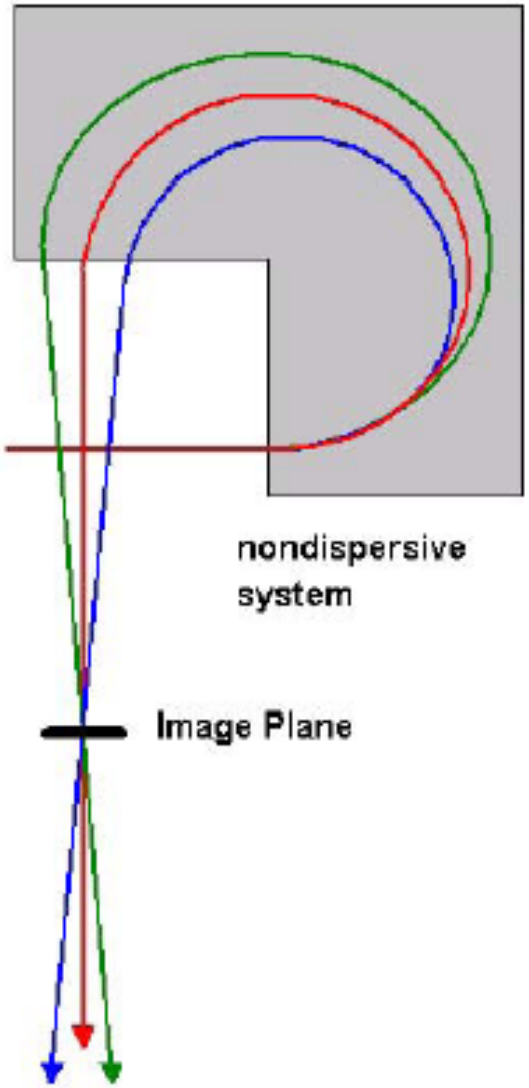


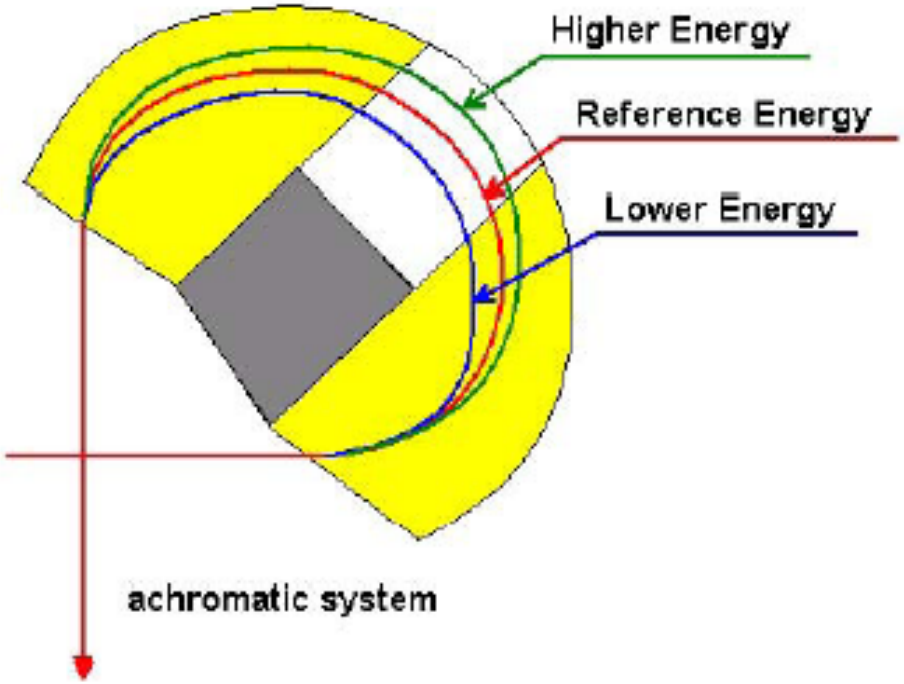
Mikrowellen-Erzeugung / Verstärkung: Klystron



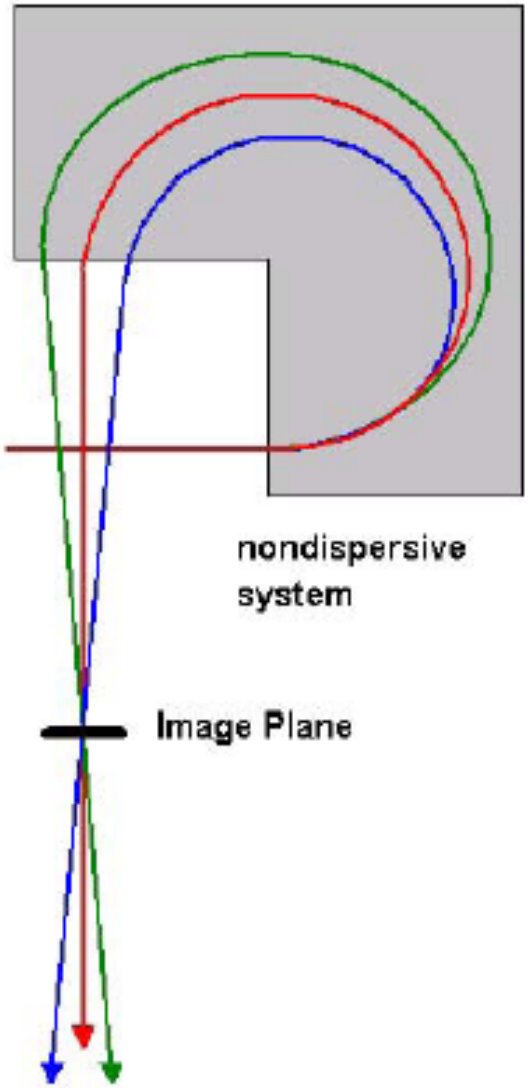
Mikrowellen-Erzeugung /
Verstärkung:
Klystron

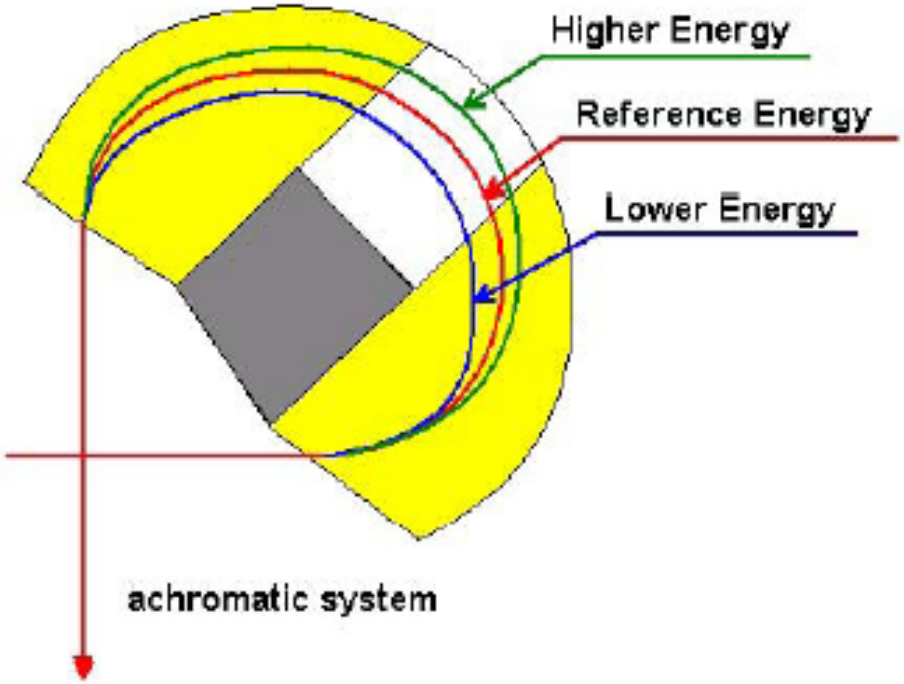
Bending Magnet





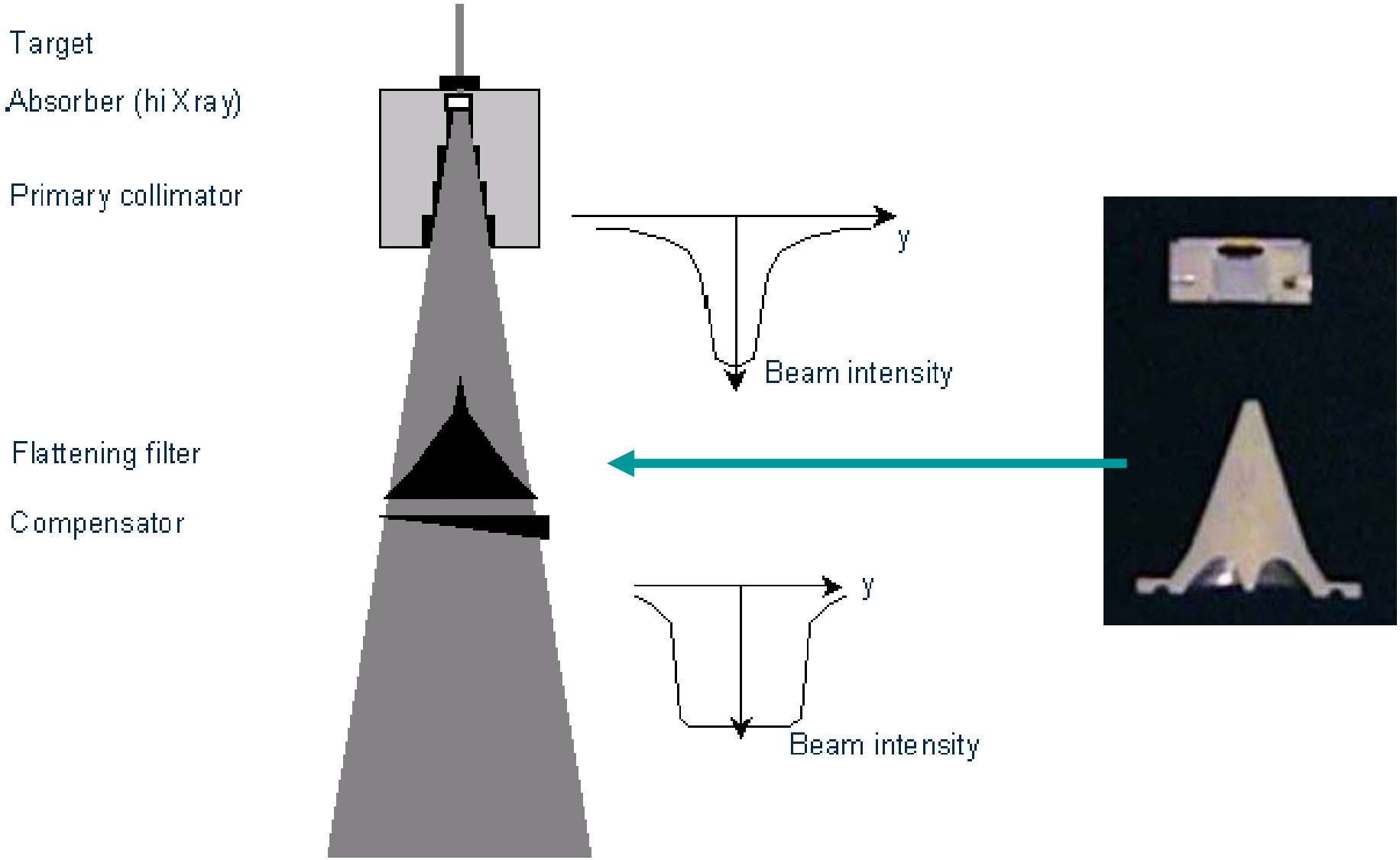
Bending Magnet





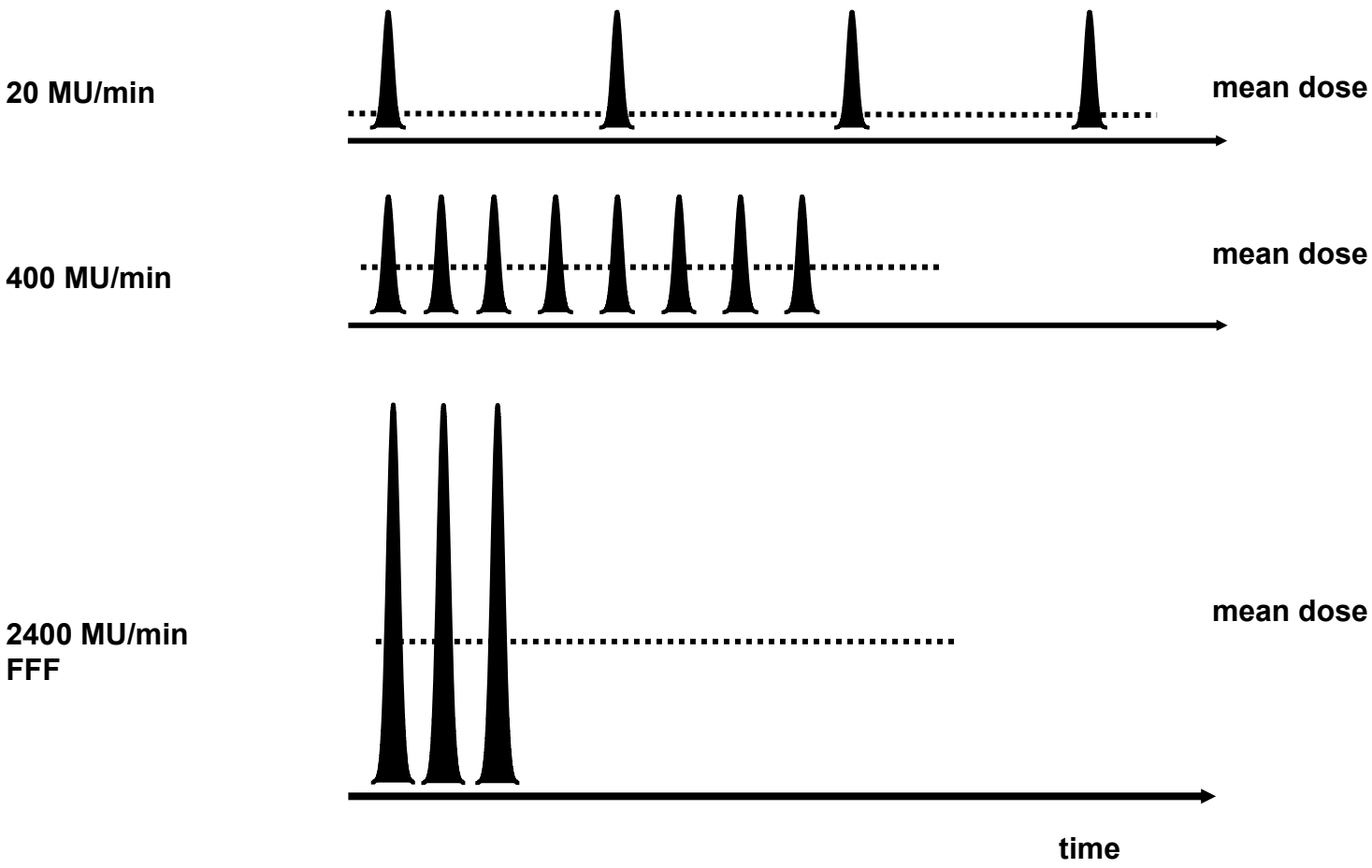
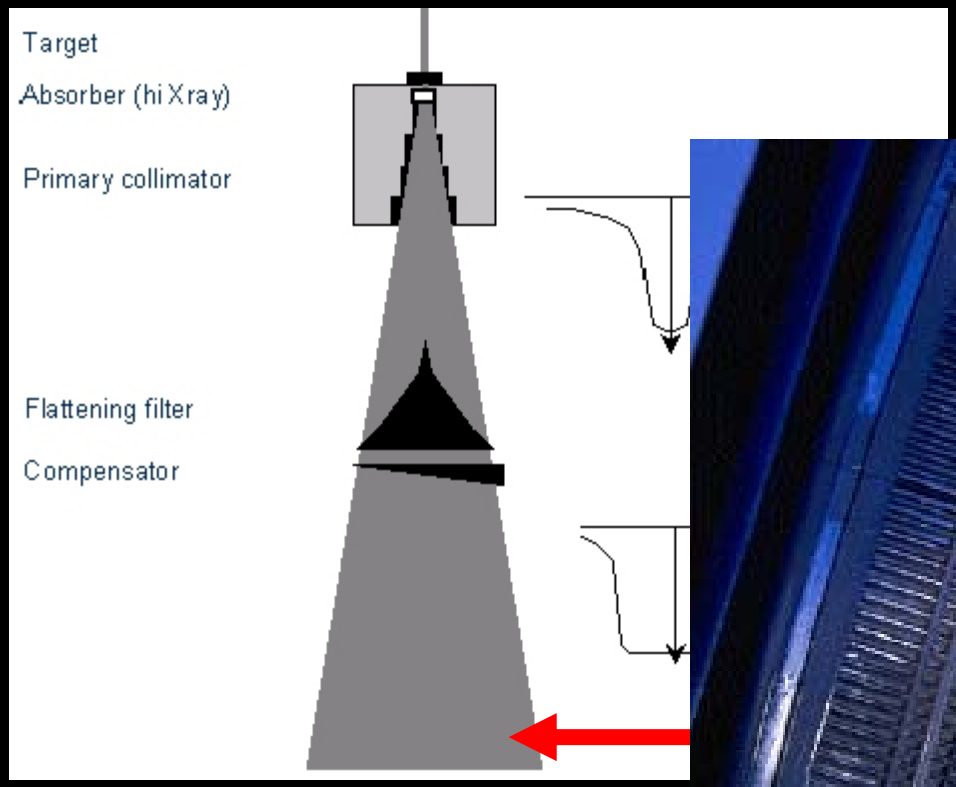
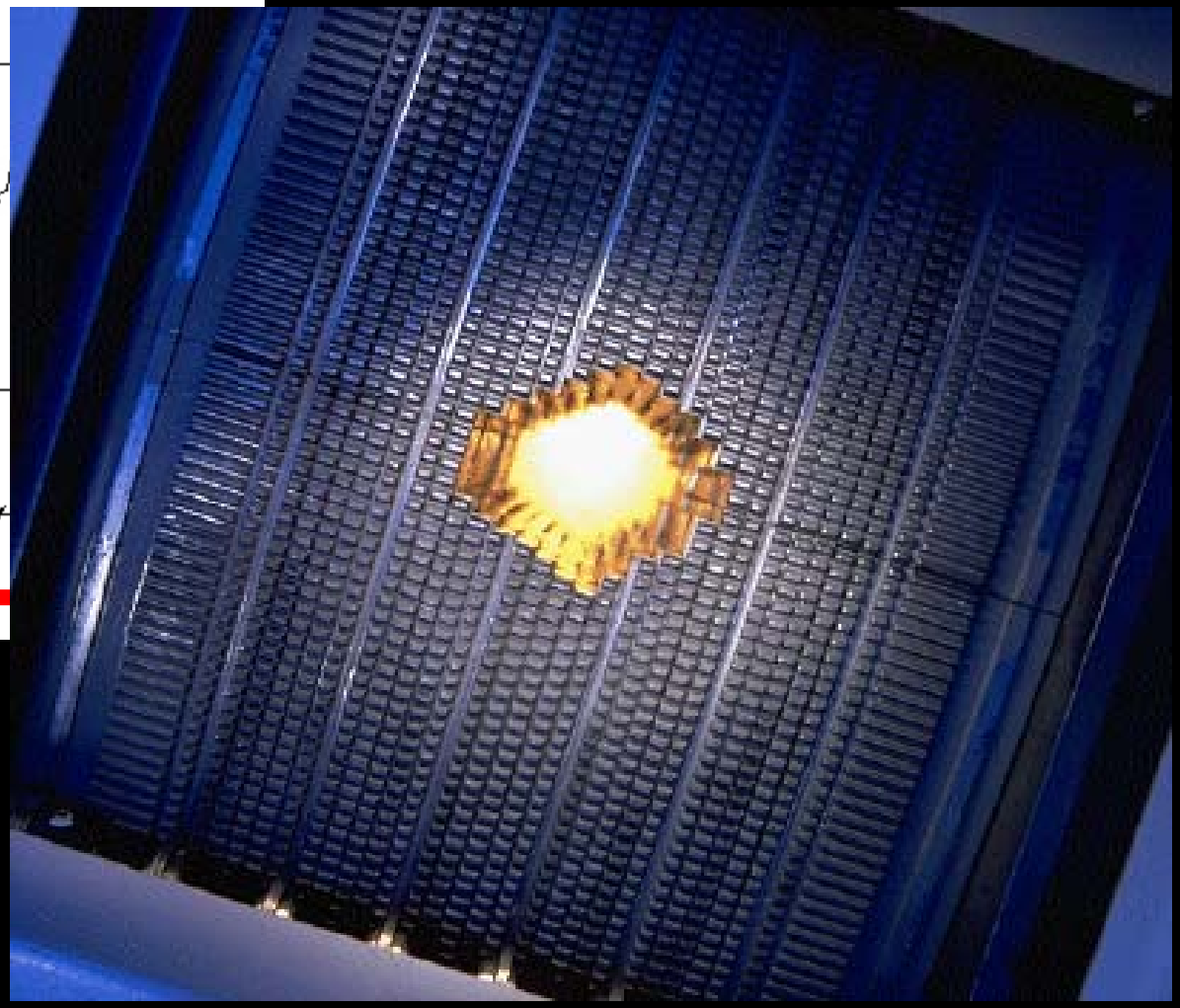
$$eBv = \frac{m_p v^2}{r} \rightarrow r = \frac{m_p v}{eB}$$

Target und Flattening Filter



Flattening Filter

Flattening Filter Free Beams



Multi Leaf Collimator (MLC)