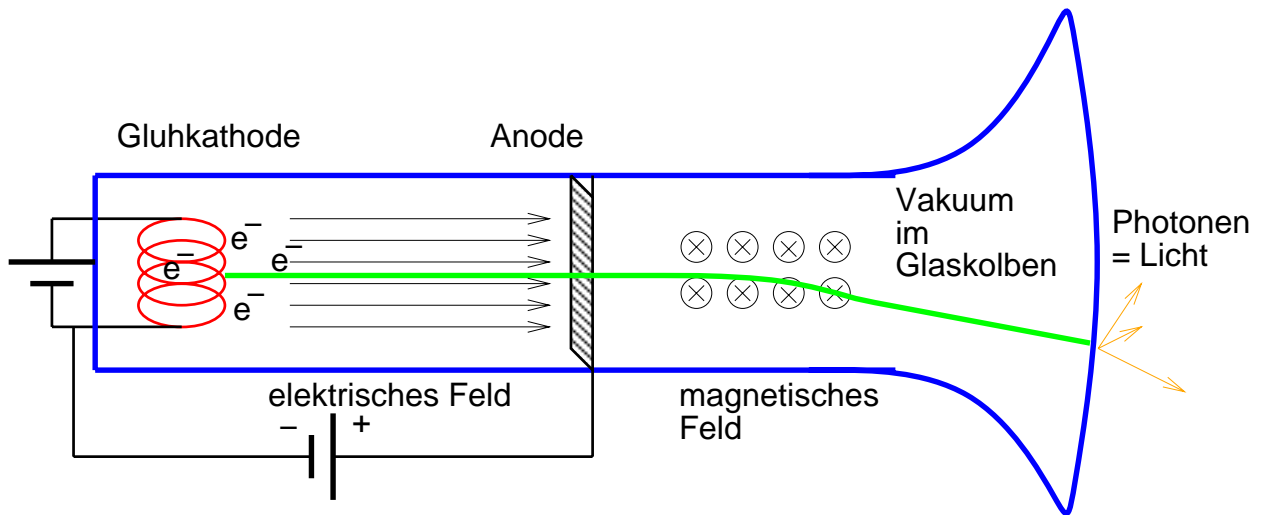
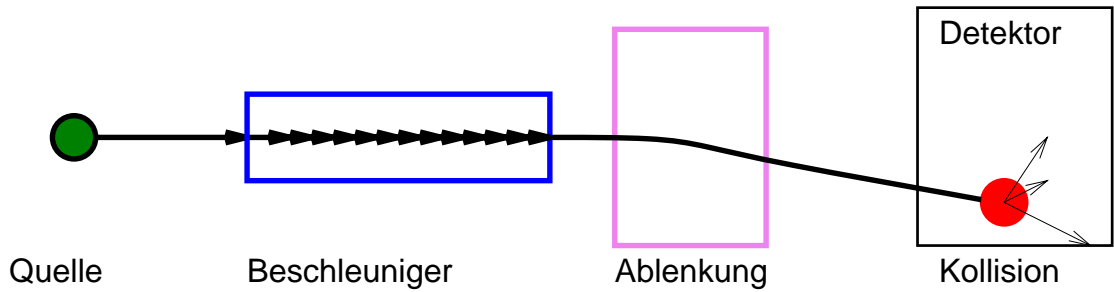


# **PITZ: Technische Fragen bei Erzeugung, Manipulation und Nachweis des Elektronenstrahles**

## Inhalt

1. Einleitung
2. Der Photoinjektor
3. Fokussierung und Ablenkung
4. Nachweismethoden
5. Ausblick

# 1 Einleitung



Fernseher:

20 keV = 20 000 eV

Physik am DESY:

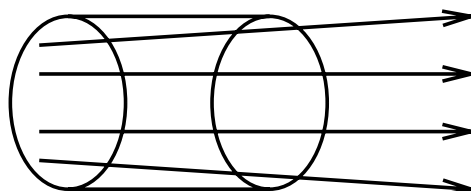
1 GeV = 1 000 000 000 eV

## Die Lorentz-Kraft:

$$\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \tag{1}$$

Was ist die Emittanz  $\epsilon$ ?

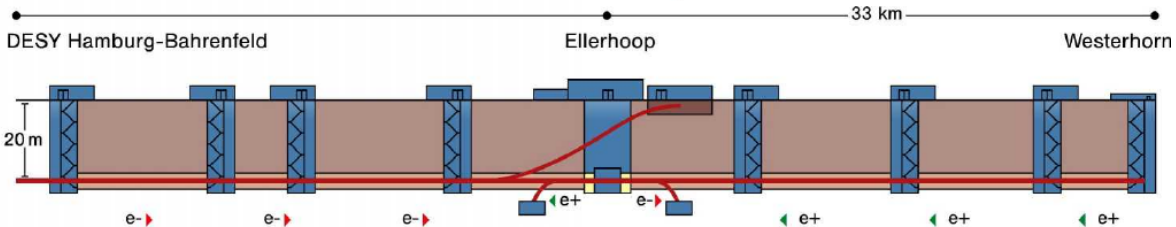
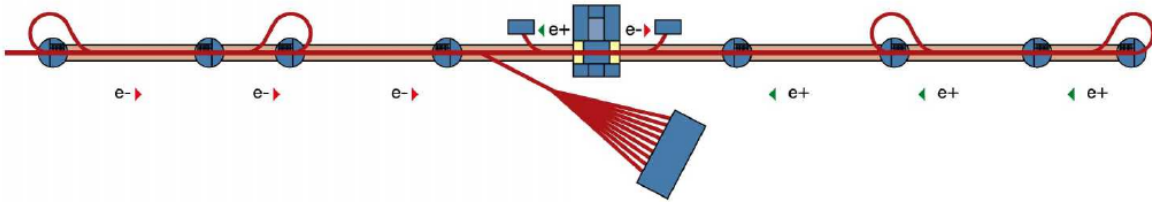
$$\epsilon \sim (\text{Strahlgröße}) \cdot (\text{Winkeldivergenz}) \tag{2}$$



# Zukunftsprojekt TESLA

- $e^+e^-$ -Linearbeschleuniger

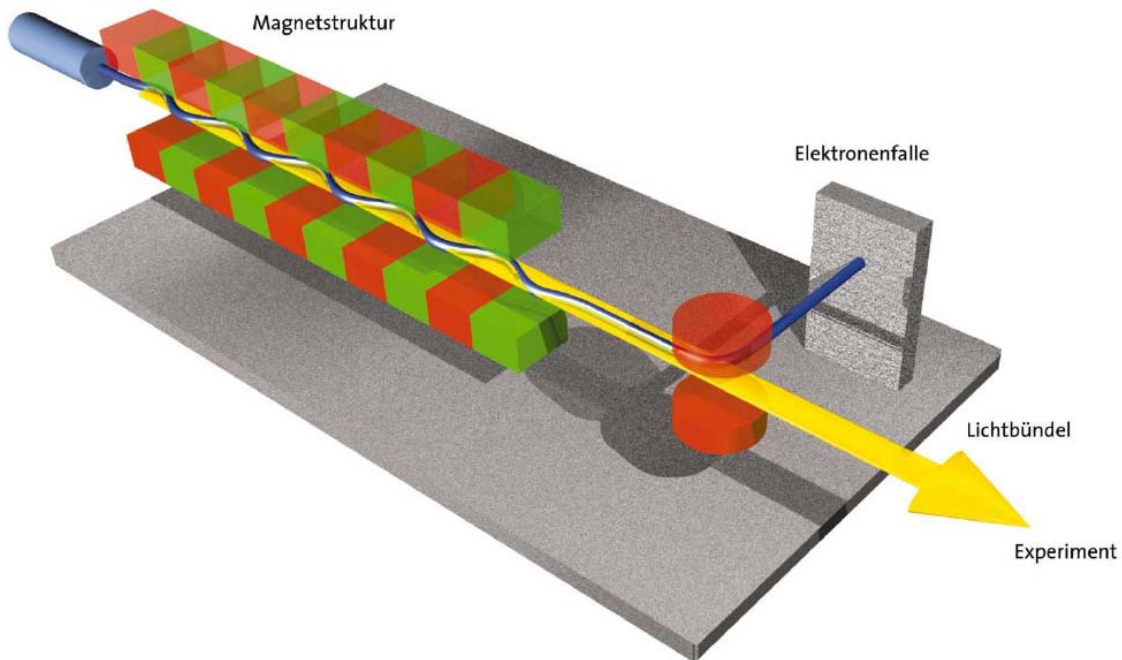
Aufsicht



Seitenansicht

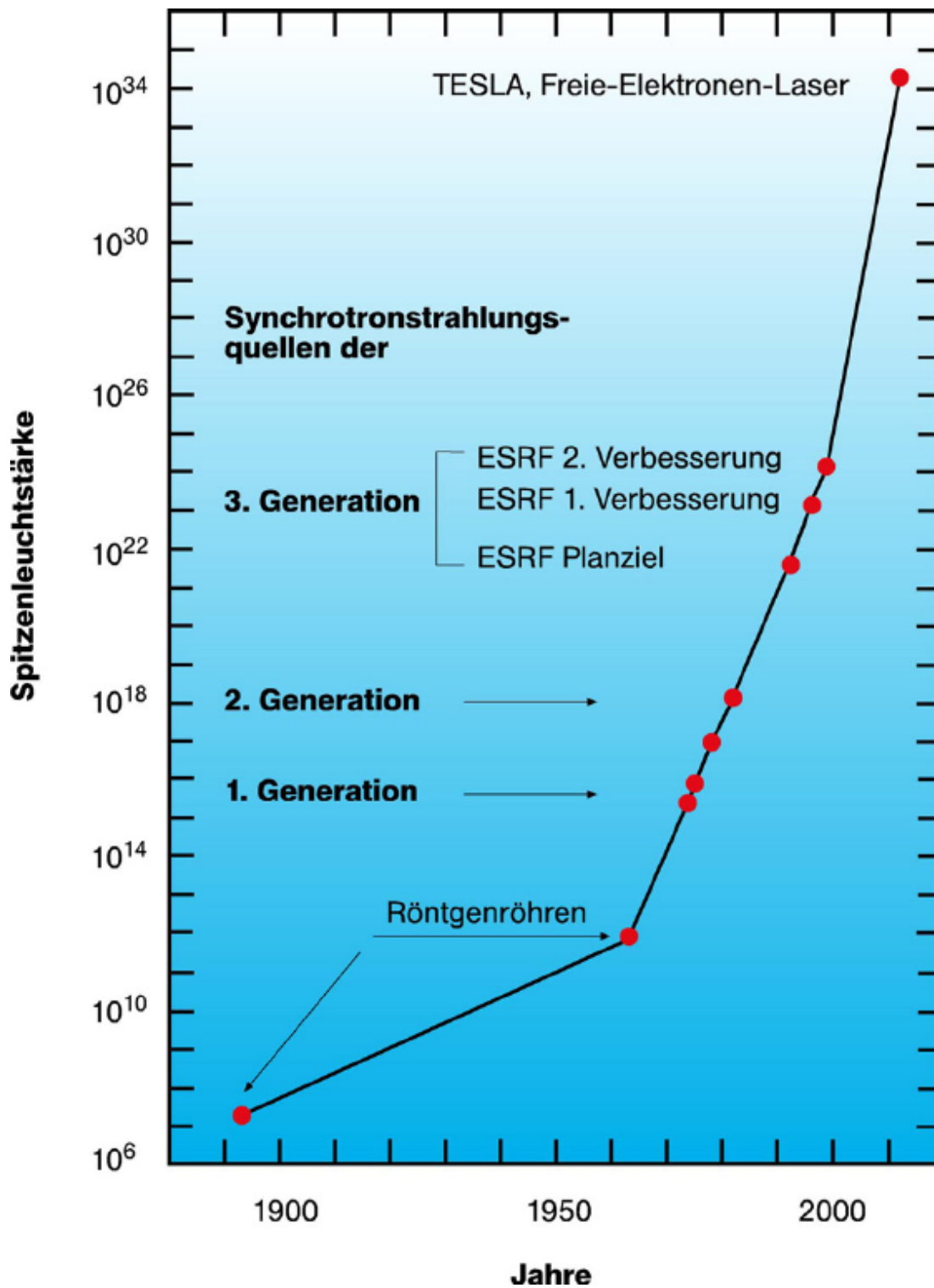
- FEL (Freie-Elektronen-Laser)

Elektronenquelle  
und Beschleuniger



⇒ Elektronenquelle mit kleinster Emittanz notwendig!

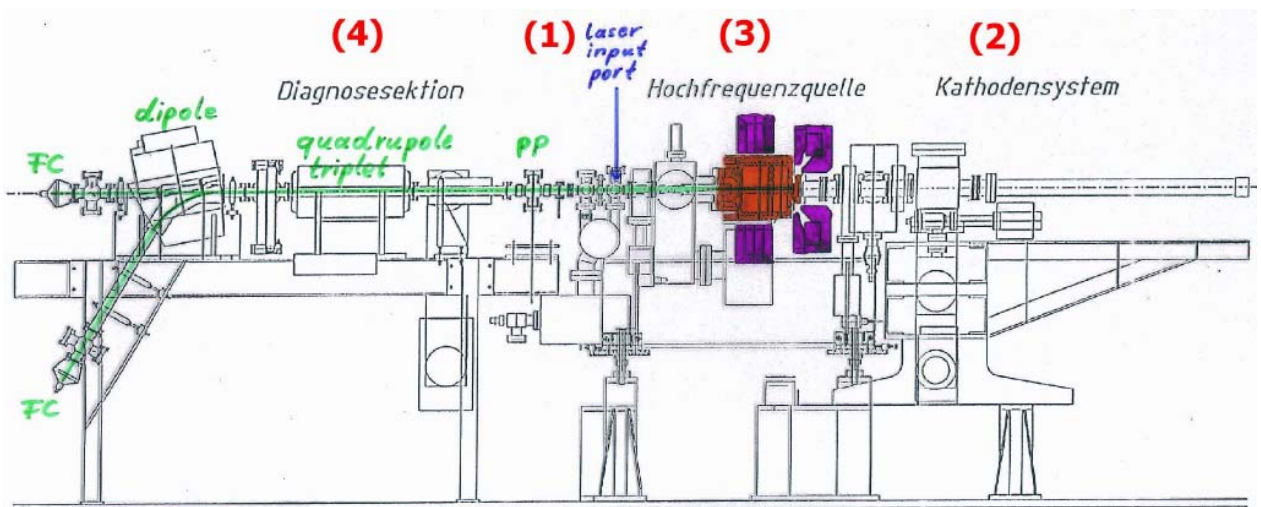
## Zukunftsprojekt TESLA-FEL



## 2 Der Photoinjektor

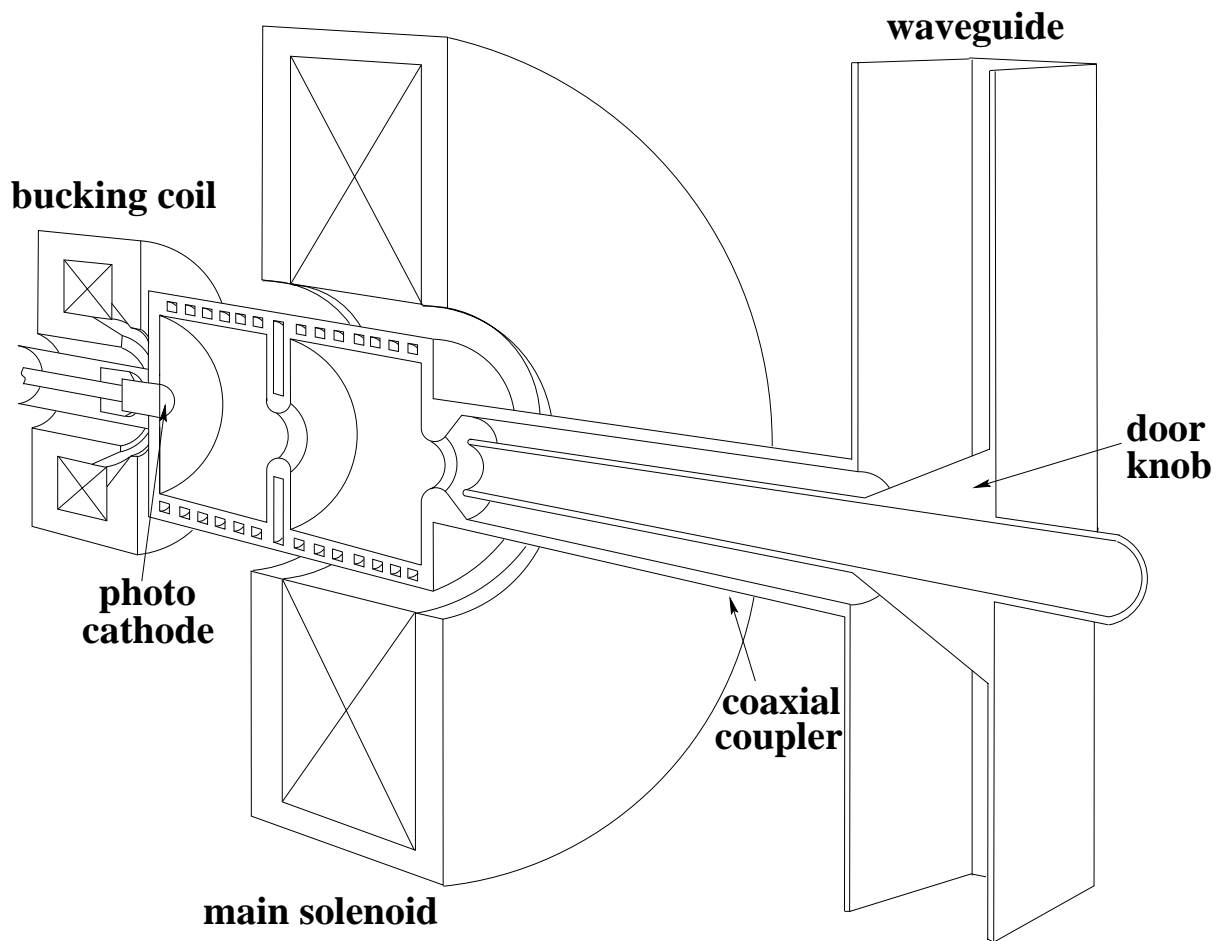
Photoinjektor-Teststand in Zeuthen (PITZ)

⇒ Elektronenquelle für FEL und TESLA



1. UV-Laserlicht (Wellenlänge ca. 263 nm)
2. Photokathode (Produktion von Elektronen durch *Photoeffekt*)
3. Hohlraumresonator (Kavität) mit hochfrequentem el.magn.Feld (RF) und Fokussierungsmagneten (Solenoiden)
4. Fokussierungsmagnete (Quadrupol-Triplett) und Ablenk magnet (Dipol)

## RF Gun for the TTF FEL



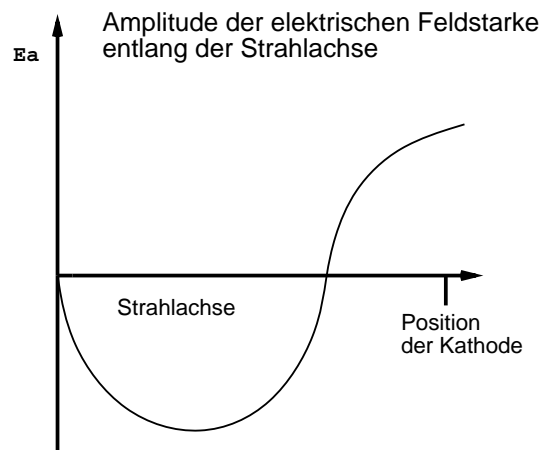
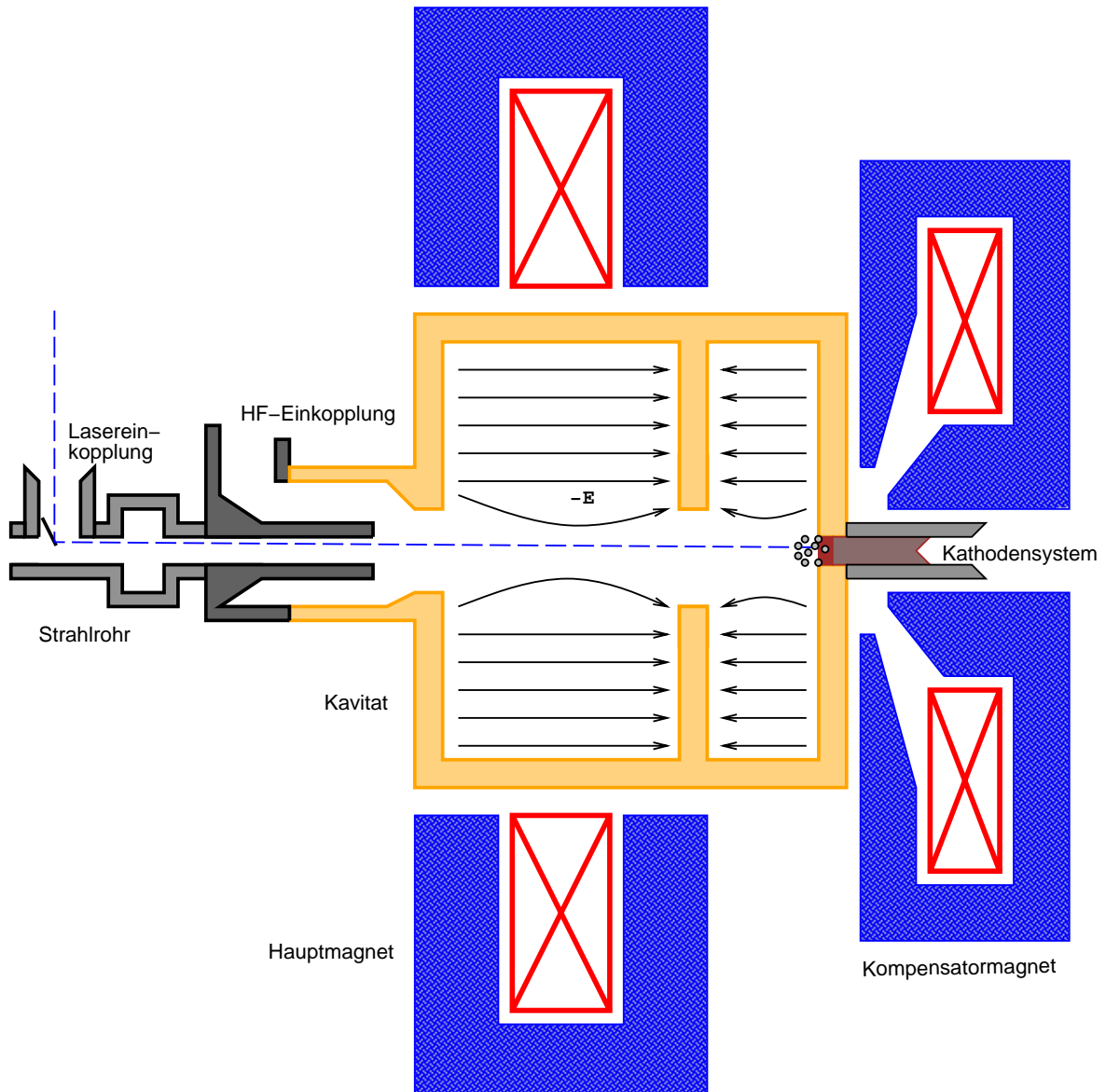
<b>Betriebsparameter des Photoinjektors</b>	
Beschleunigte Teilchen	Elektronen
Energie der Teilchen	5 MeV bzw. 20-30 MeV
Mittlerer Strom	maximal $75\mu\text{A}$
Maximale mittlere Strahlleistung während des Betriebes	bis 3,0 kW

<b>Betriebsparameter des Klystrons</b>	
Gepulste Hochfrequenzleistung ca.	10 MW
Beschleunigungsspannung ca.	117 kV
Kathodenstrom ca.	139 A
Pulsdauer bis ca.	$800\mu\text{s}$
Wiederholfrequenz bis	10 Hz
Maximale mittlere Strahlleistung während des Betriebes	80,0 kW

<b>Parameter des Lasers</b>	
Klasse	3B
Wellenlänge ca.	263 nm
Energie pro Mikropuls ca.	$20\mu\text{J}$
Wiederholfrequenz des Mikropulses bis	9 MHz
Länge des Makropulszuges bis ca.	$800\mu\text{s}$
Wiederholfrequenz des Makropulszuges bis	10 Hz
Mittlere Leistung bis ca.	1,6 J/s

# Die RF-Gun

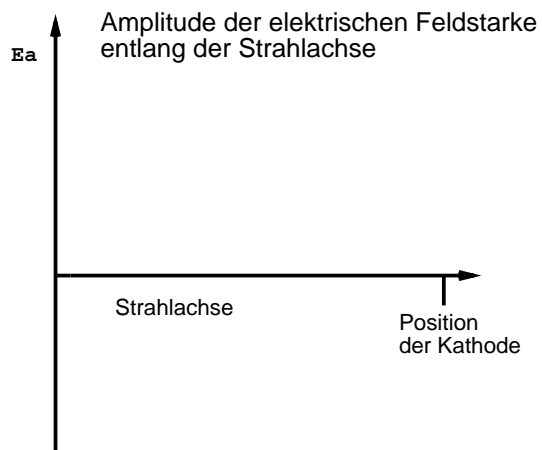
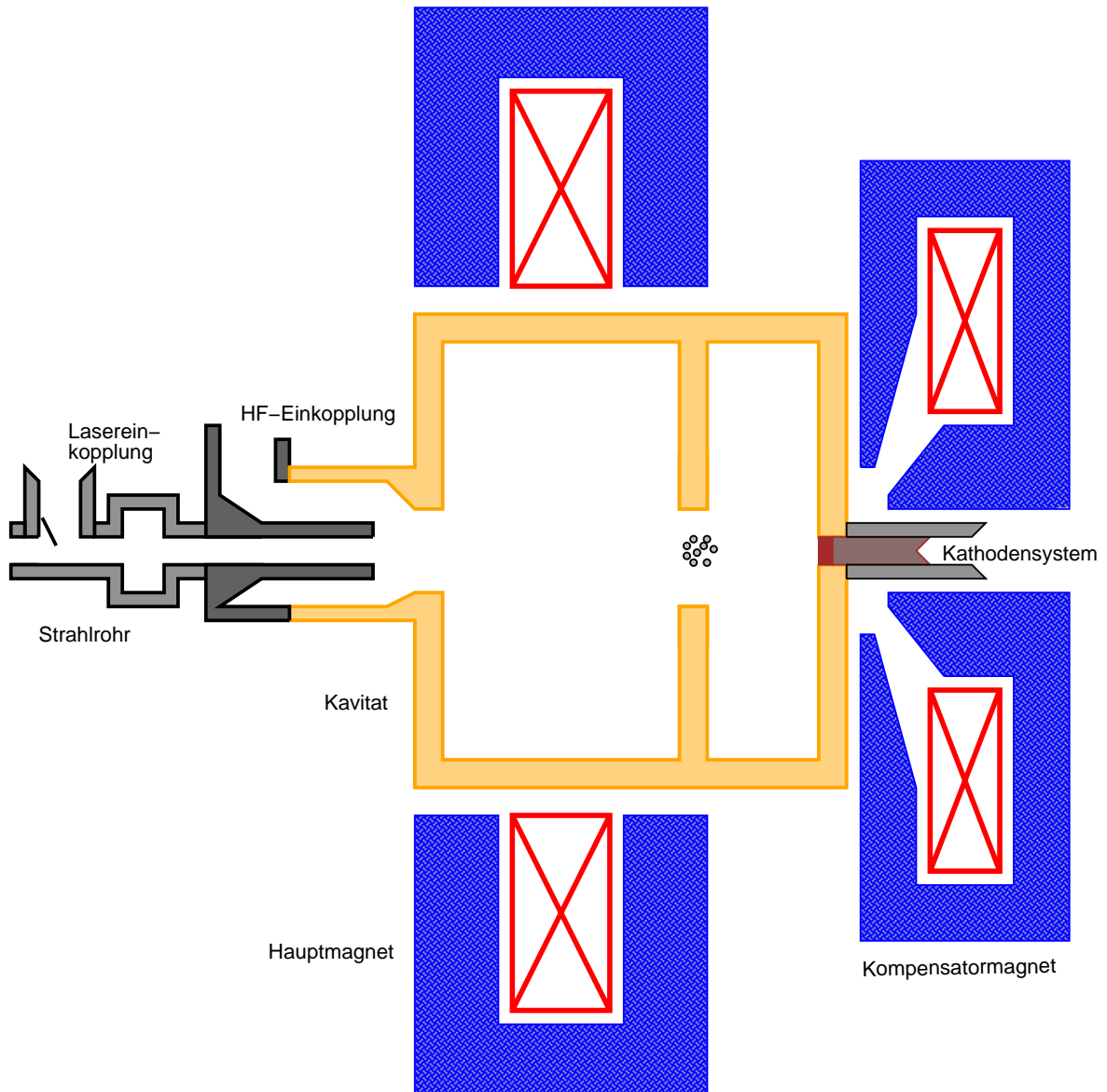
Zeitpunkt  $t_0$ :





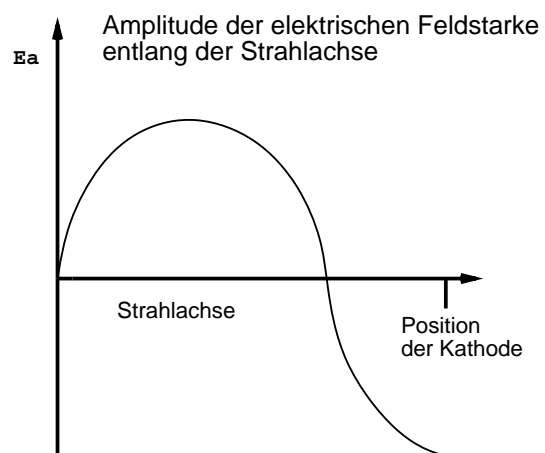
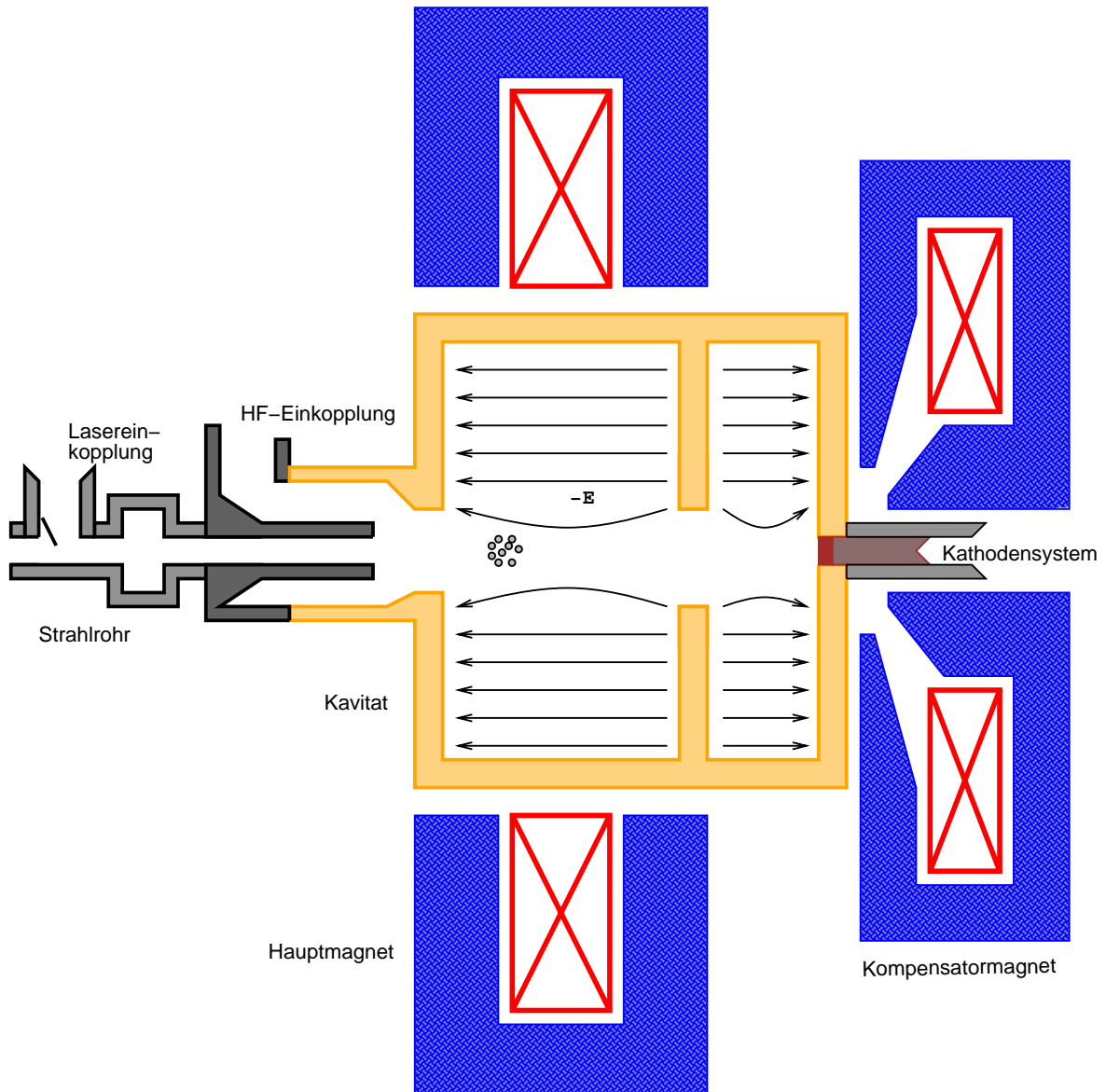
# Die RF-Gun

Zeitpunkt  $t_1$ :

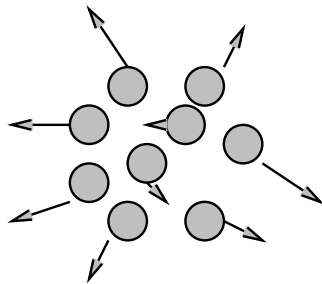


# Die RF-Gun

Zeitpunkt  $t_2$ :

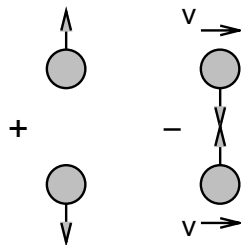


## Warum Beschleunigung an der Photokathode?



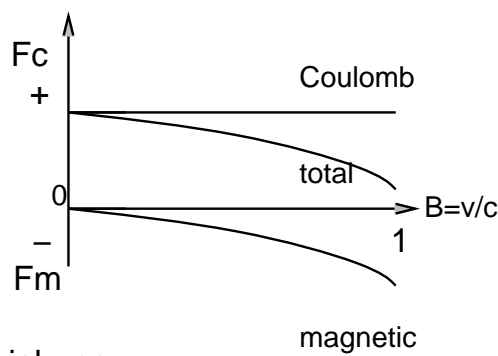
Raumladungs-Kraft =>  
gleichnamig gel. Teilchen  
stossen sich ab!

2 Teilchen:



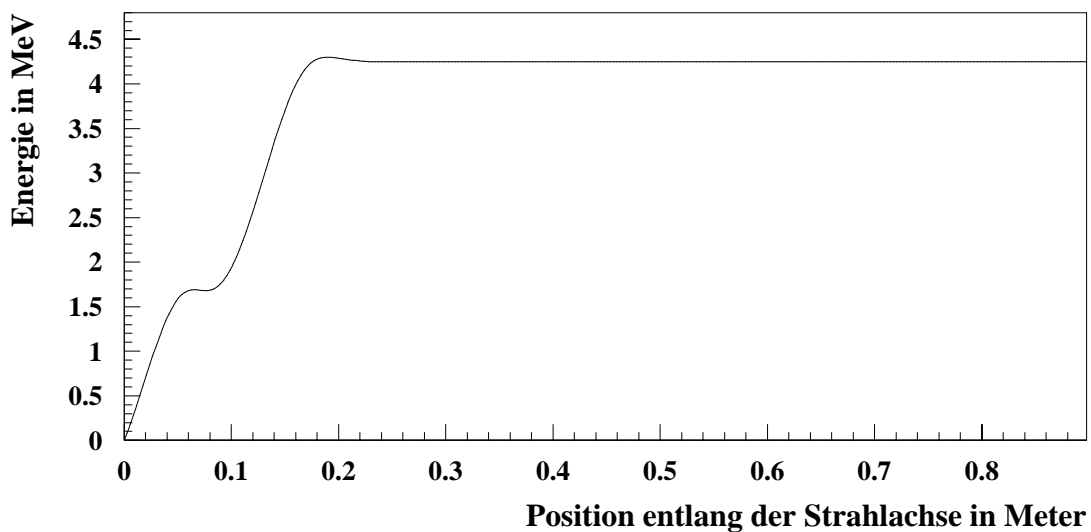
Coulomb  
Abstossung

Magn. Anziehung



Raumladungskräfte sind zu kompensieren!

⇒ Teilchen so schnell wie möglich auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigen!

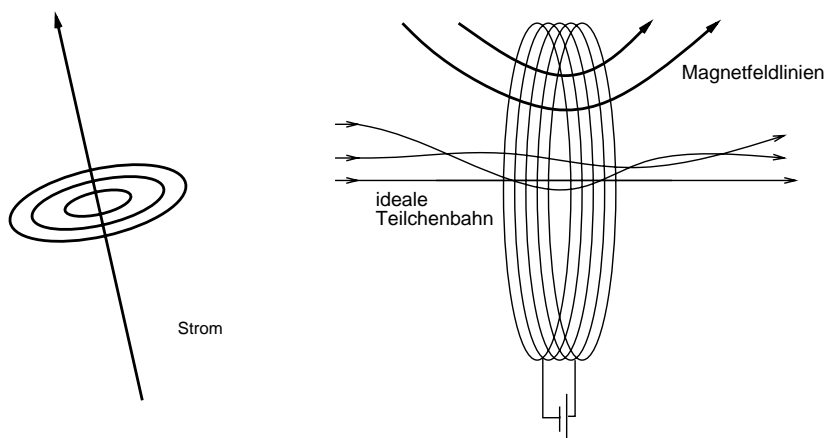


# 3 Fokussierung und Ablenkung

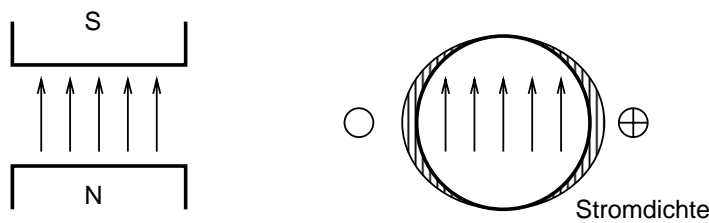
## Fokussierung und Ablenkung durch die Magnetkraft

$$\vec{F}_M = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (3)$$

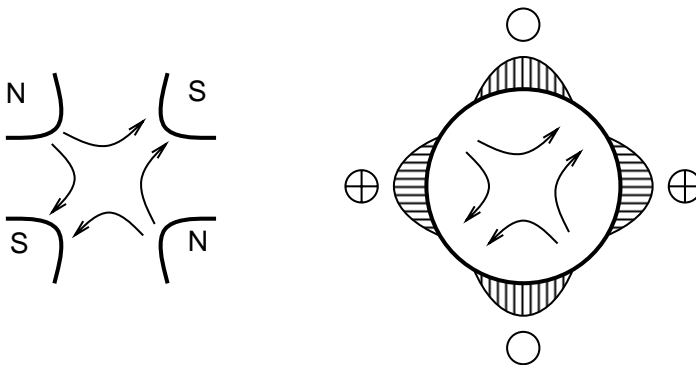
### Solenoid (radiale Fokussierung):



### Dipolmagnet (Ablenkung):



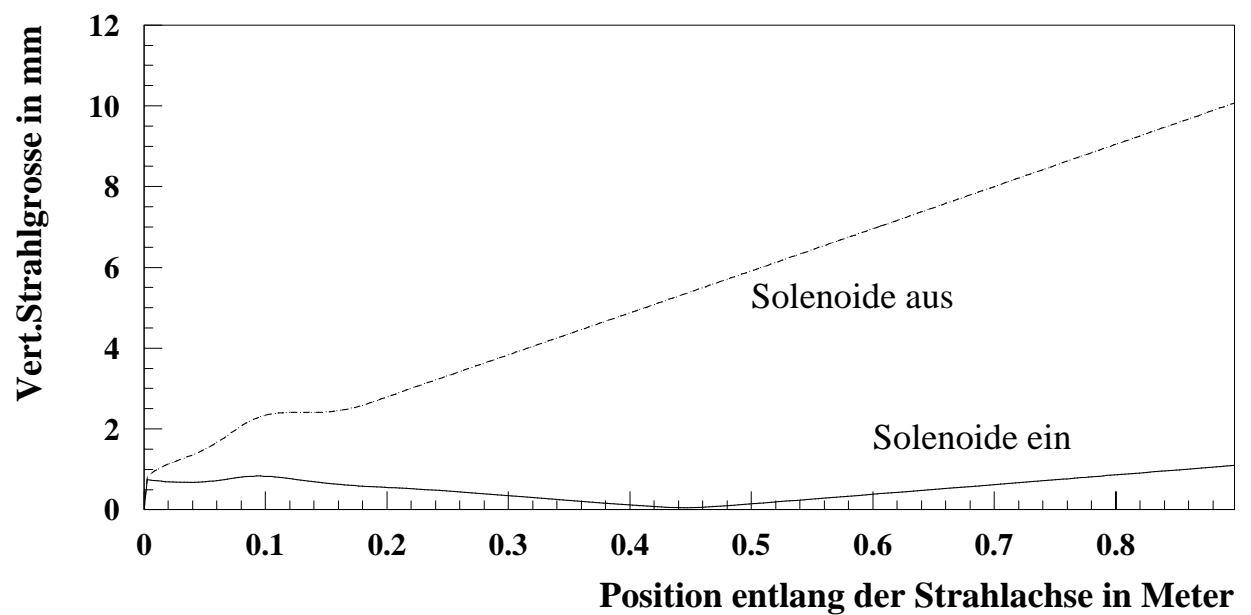
### Quadrupolmagnet (Fokussierung in einer Ebene):



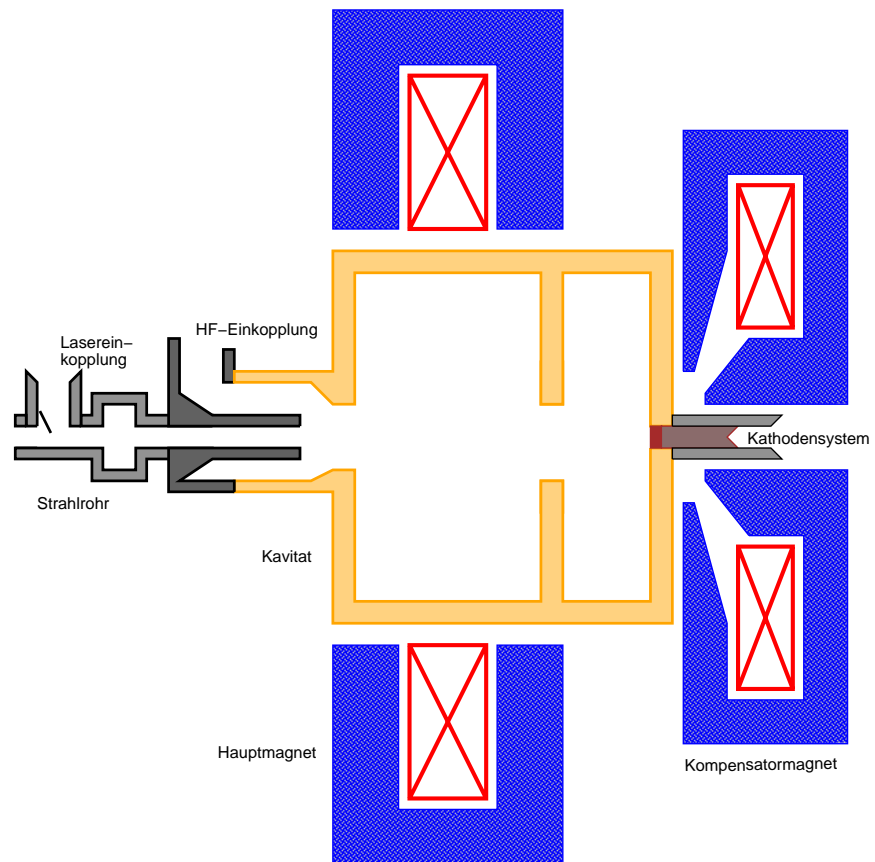
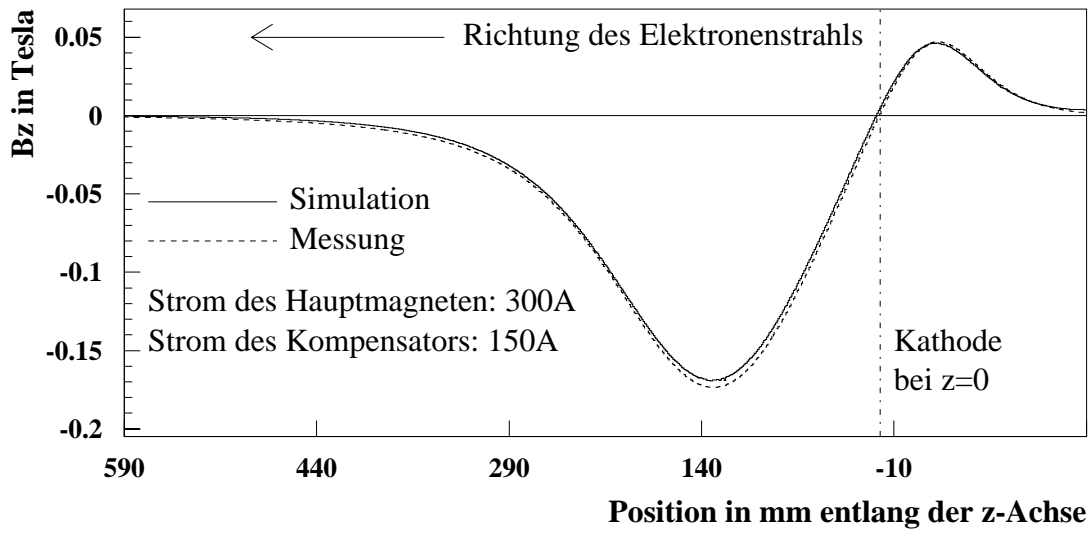
## Solenoid

### Warum Fokussierung?

Strahl driftet ohne Fokussierung auseinander!



# Solenoid



## Dipol

### Magnetic Rigidity:

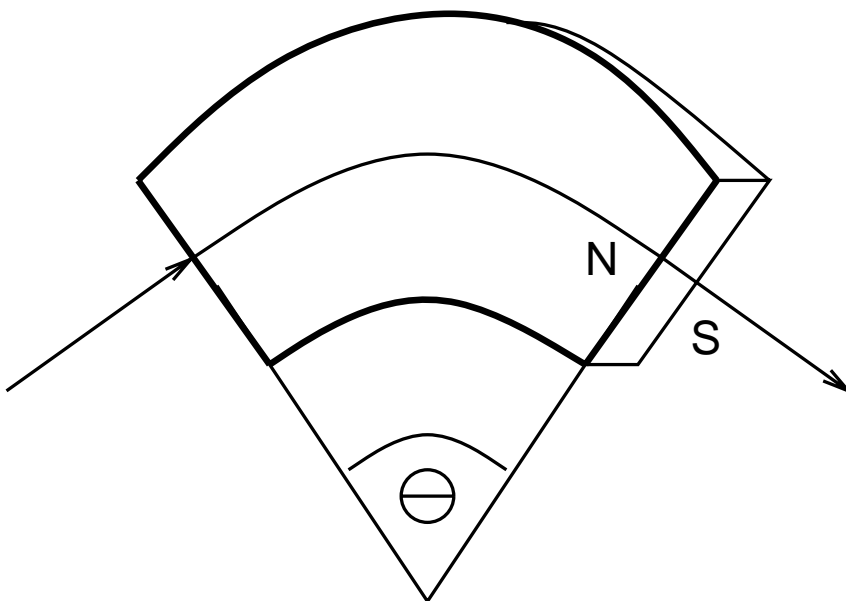
$$\vec{F}_L = evB = \frac{mv^2}{\rho} \quad (4)$$

$$B\rho = \frac{mv}{e} = \frac{p}{e} \quad (5)$$

**Dipole:** Effekt eines homogenen Dipol-Feldes der Länge  $L$  und der Feldstärke  $B \Rightarrow$  Der Strahl wird um einen Winkel  $\theta$  abgelenkt:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{L}{2\rho} = \frac{1}{2} \frac{LB}{(B\rho)} \quad (6)$$

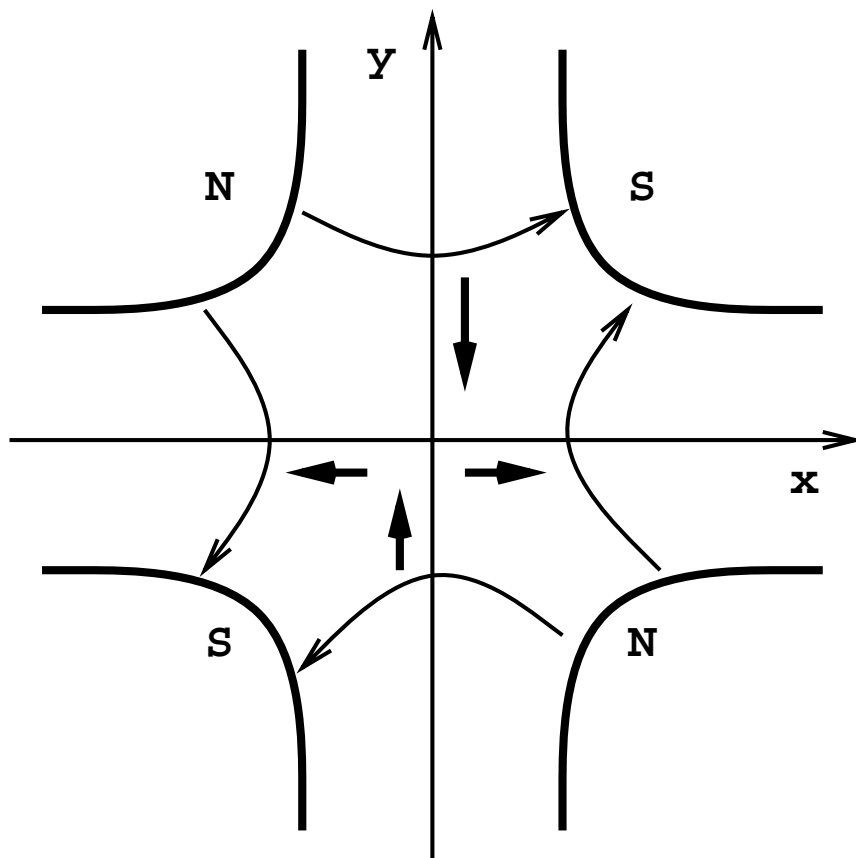
$$\theta = \frac{LB}{(B\rho)} \quad (7)$$



## Quadrupol

### Quadrupol-Magnete:

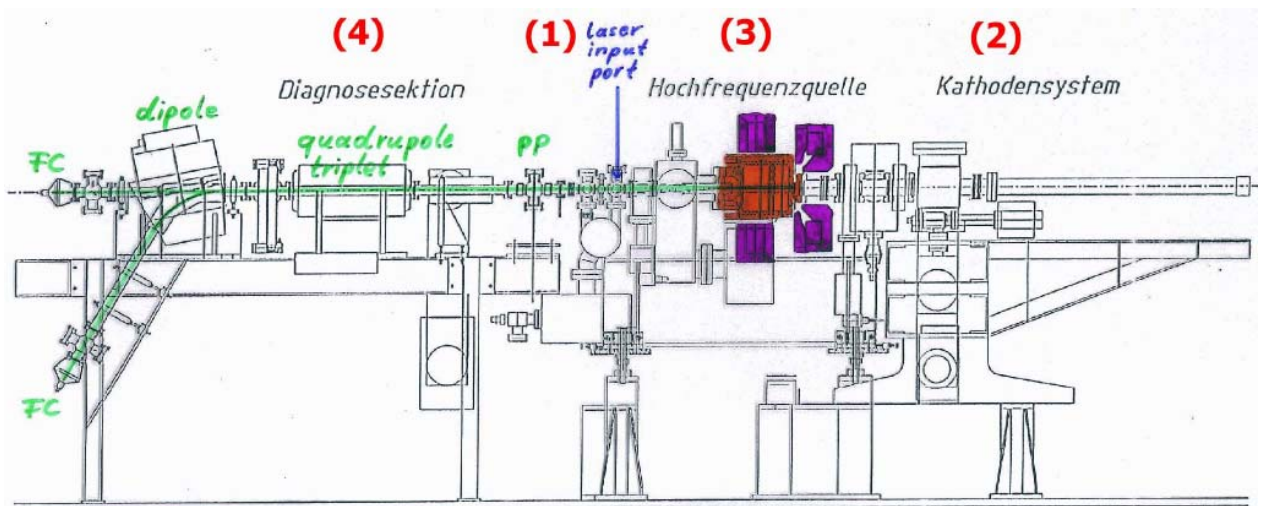
4 symmetrisch arrangierte Pole, die den Strahl umgeben:  
Fokussierung in einer Richtung, Defokussierung in der anderen.





## 4 Nachweismethoden

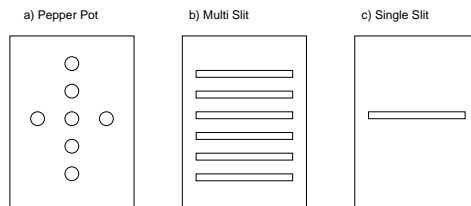
Nachweismethoden  $\Rightarrow$  Diagnose-Sektion



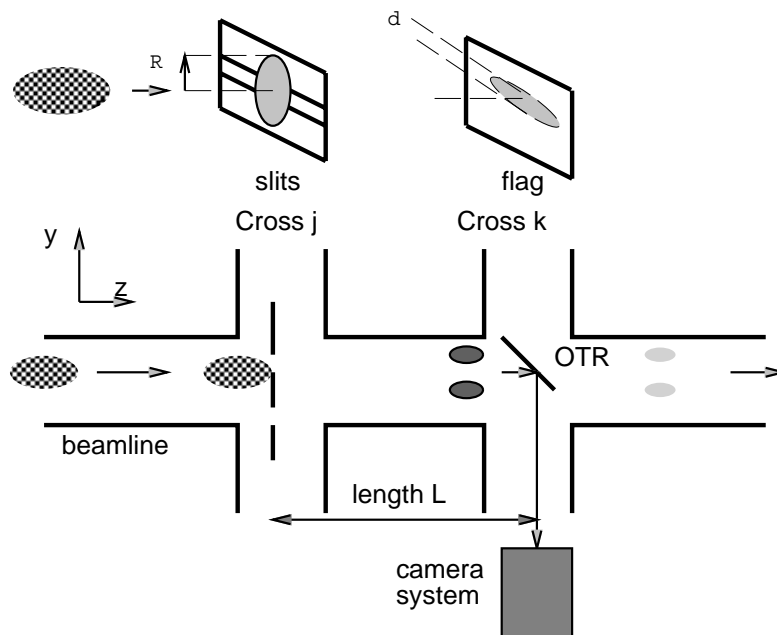
- Schirm  $\Rightarrow$  YAG Pulver, OTR (*Optical Transition Radiation*)  $\Rightarrow$  Größe des Strahlflecks
- EMSY (*Emittance Measurement System*)  $\Rightarrow$  Emitanz
  1. Pepper Pot
  2. Single-Slit
  3. Multi-Slit
- Streak-Kamera mit Čherenkov-Strahler
- Faraday Cup
- Dipol mit Schirm

# EMSY

Emittance Measurement System: Messung der Emittanz mit Pepper Pot, Multi Slit und Single Slit.



⇒ Messung der Strahlprofile  $\sigma_{i,j}$ .

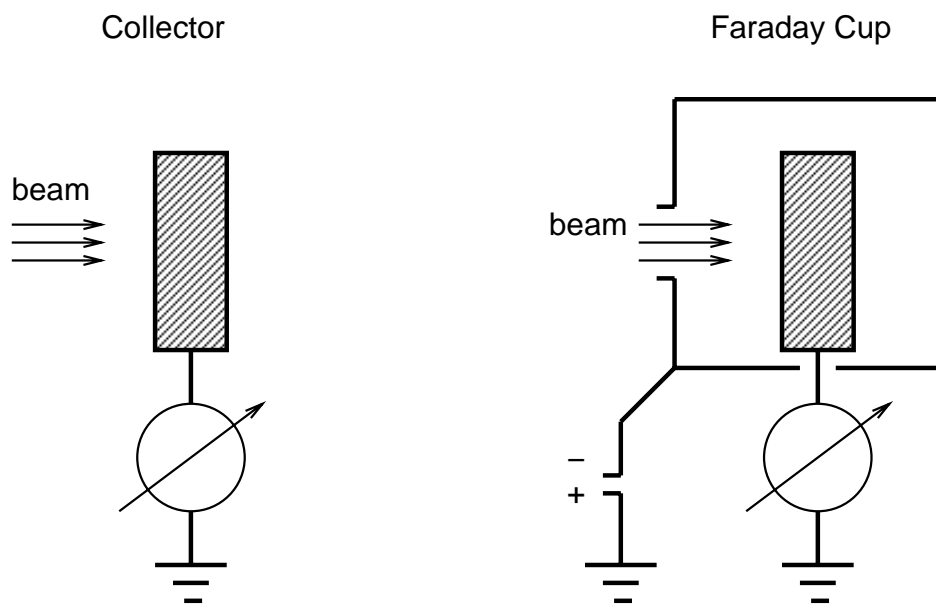


$$\epsilon_i = \beta \cdot \gamma \cdot \frac{\sigma_{ij} \cdot \sigma_{ik}}{L_j k} \left\{ \begin{array}{l} \beta \cdot \gamma : \text{const.} \\ \sigma_{i,j} : \text{Strahlgröße } R \\ \sigma_{i,k} : \text{Breite } d \\ i : x, y, \\ j : \text{cross } j, \\ k : \text{cross } k. \\ [\epsilon_i] : \mu\text{m} = \text{mm} \cdot \text{mrad} \end{array} \right. \quad (8)$$

$\approx (\text{Strahlgröße}) \cdot (\text{Winkeldivergenz})$

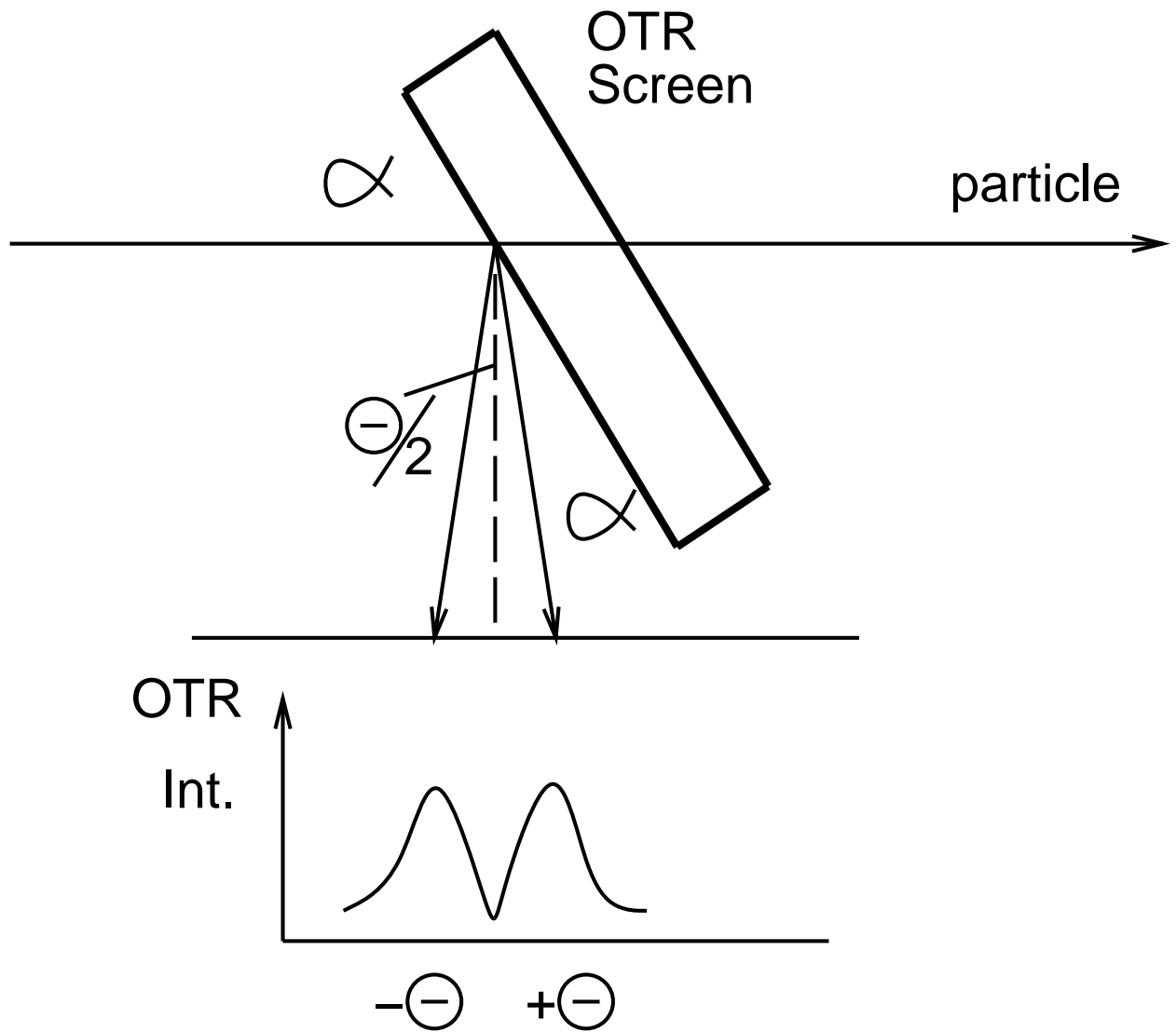
## Faraday Cup

Messung der Ladung:



**OTR**

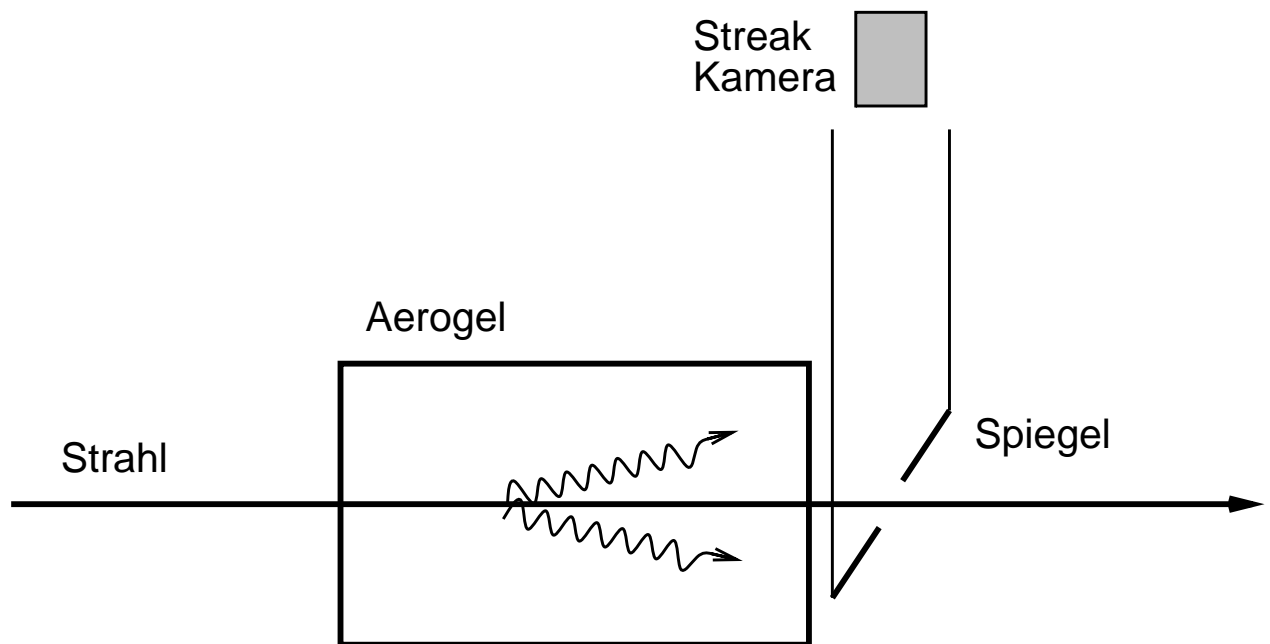
Optical Transition Radiation  $\Rightarrow$  Messung des Strahlflecks:



$$\theta \sim \frac{1}{E} \quad (9)$$

## Streak-Kamera

Bunch Length Measurements  $\Rightarrow$  Messung der Länge des Elektronenpaketes:



$e^- \rightarrow \check{C}herenkov\text{-Licht}$

## 5 Ausblick

- Aspekte zur Erzeugung, Manipulation und Nachweis des Elektronenstrahles  
⇒ weitere Vorträge:
- das Klystron und die Hochfrequenz  
(R.Wenndorff, 17.04.01)
- der Laser (J.Baehr, 22.05.01)
- PIZ - Status (F.Stephan, voraussichtlich 26.06.01)