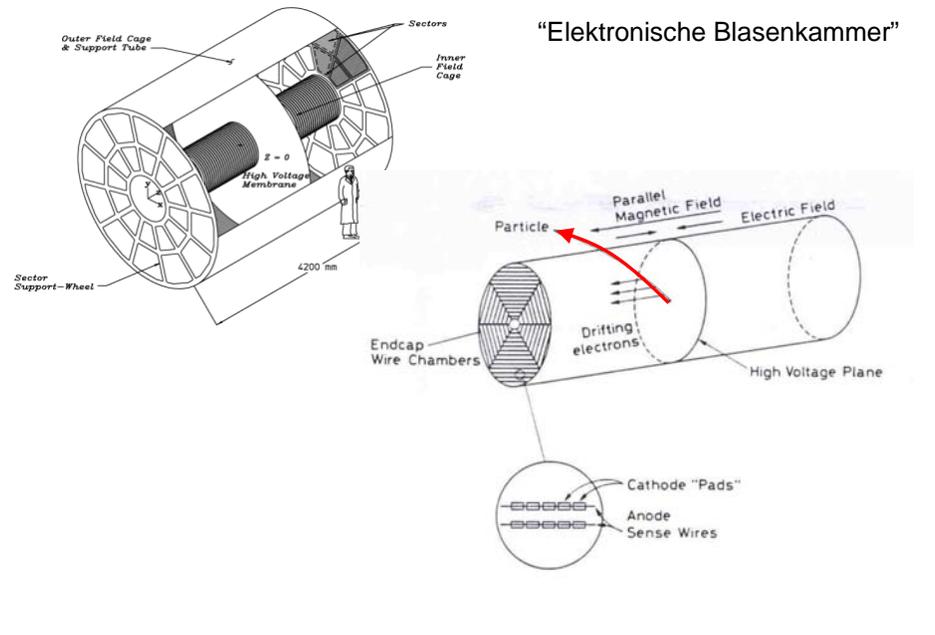
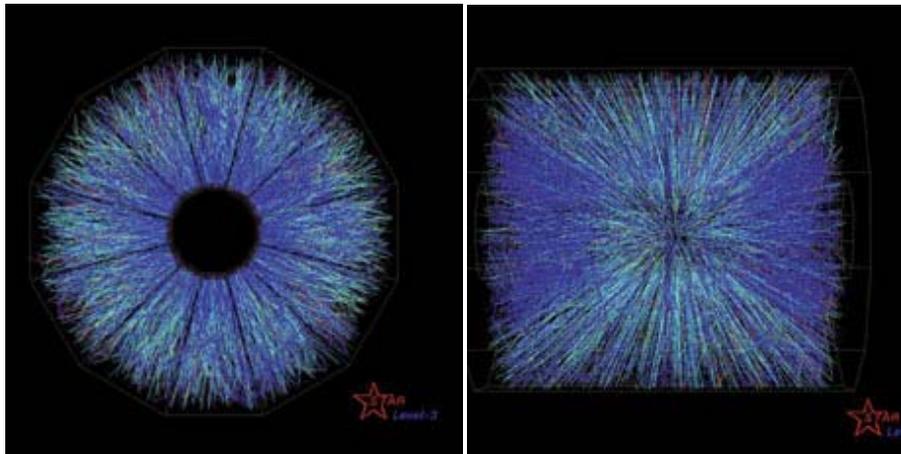


## e) Time-Projektion Chamber (TPC)

“Elektronische Blaskammer”



Au + Au Kollision in der STAR TPC am Relativistic Heavy Ion Collider RHIC



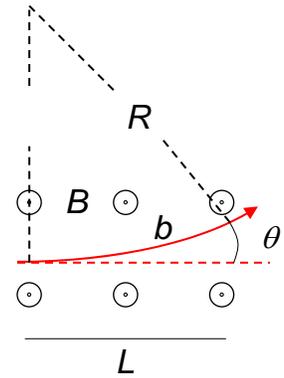
### 3.3 Impulsmessung

Prinzip:

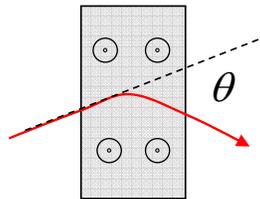
$$p_{\perp} = qBR$$

$$p_{\perp} [\text{GeV}] = 0.3qB[T]R[m]$$

$$\theta = \frac{b}{R} \approx \frac{L}{R} = \frac{qBL}{p_{\perp}}$$



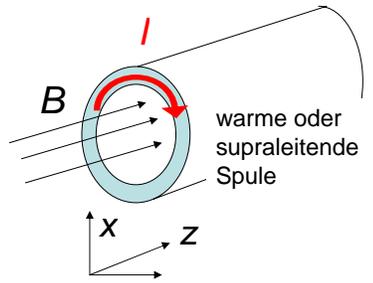
#### (1) Magnetisiertes Eisen



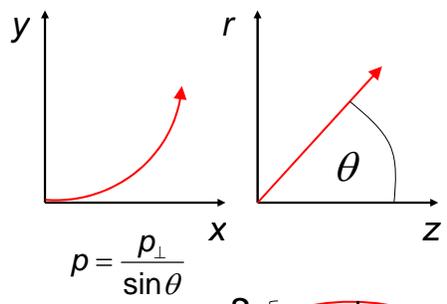
$$p_{\perp} = \frac{q \int B dl}{\theta}$$

Falls Magnetfeld nicht konstant ist.

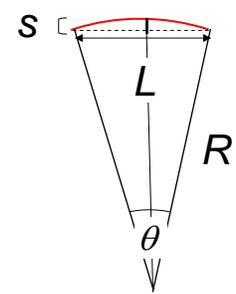
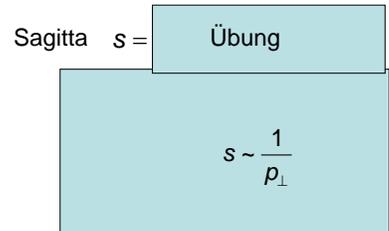
#### (2) Luft-Solenoid



Teilchenspur (geladenes Teilchen)



$$\rho = \frac{p_{\perp}}{\sin \theta}$$



### (3) Impulsauflösung für Spurkammern

Faustformel für erreichbare Impulsauflösung bei einer Messung der Spur mit großen Zahl N von Messpunkten (Ortsauflösung  $\sigma(x)$ ) über eine Länge L senkrecht zum Magnetfeld B

$$\frac{\sigma(p_{\perp})}{p_{\perp}} = \frac{\sigma(x)}{aBL^2} \sqrt{\frac{720}{N+4}} \cdot p_{\perp} \quad \text{mit} \quad a = 0.3 \text{ T}^{-1}\text{m}^{-1}\text{GeV}$$

Glückstern-Formel

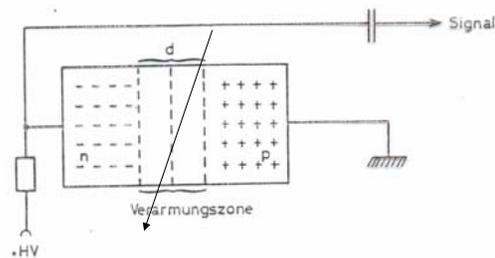


### 3.4 Halbleiterzähler

Prinzip:

In Sperrrichtung betriebene pn-Diode:

**Verarmungszone**



durch ionisierende Teilchen erzeugte Ladungsträger werden abgesaugt

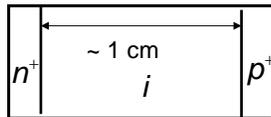
$\Delta E$ pro Ladungsträgerpaar/Photon	
Si Detektoren	3.5 eV
Gas-Detektoren	20-40 eV
Szintillatoren	O(100) eV

Vorteil:

Hohe Zahl von Ladungsträgern, hohe Effizienz, gute Energieauflösung

## a) Germanium Detektoren zur Energiemessung

Hochreines Germanium (p-Typ) erhält durch Kontakt mit Lithium-Bad eine  $n^+$  Dotierung. Durch Anlegen einer Sperrspannung entsteht ein sehr großer Verarmungsbereich mit "intrinsischer" Leitfähigkeit des hochreinen Germaniums.



Exzellente Energieauflösung

### $\gamma$ Spektroskopie mit Ge(Li) Detektor

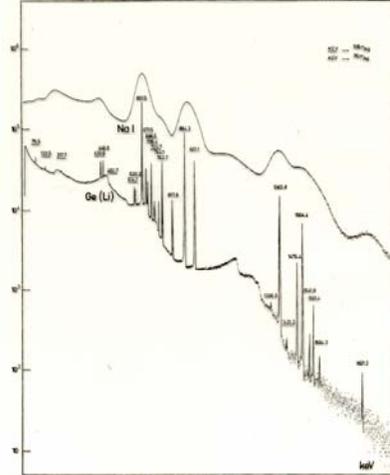
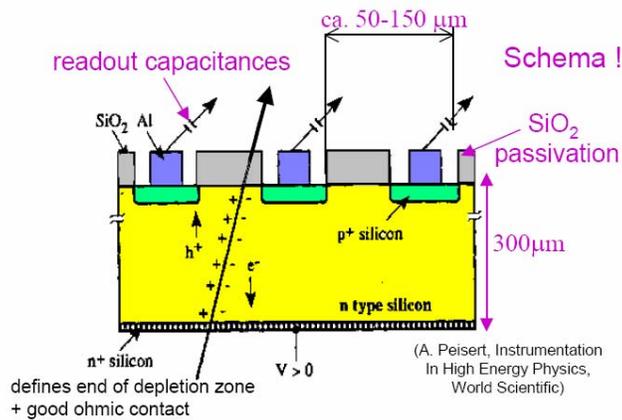
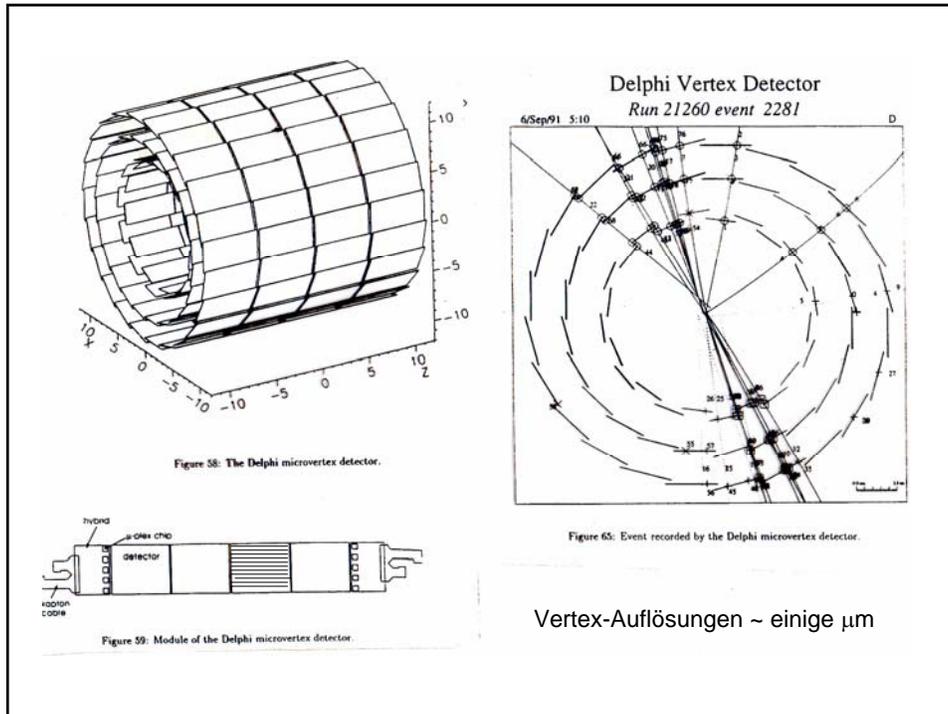


FIGURE 12-4. Comparative pulse height spectra recorded using a sodium iodide scintillator and a Ge(Li) detector. The source was gamma radiation from the decay of  $^{106}\text{Ag}$  and  $^{108}\text{Ag}$ . Energies of peaks are labeled in keV. (From Philippot<sup>12</sup>.)

## b) Streifendetektoren zur Spurrekonstruktion





### 3.5 Kalorimeter zur Energiemessung

In Kernphysik: - Proportionalzähler  
 - Halbleiterzähler  
 O(MeV) - Szintillatoren (NaJ, Plastik, Anthracen)

} Energie wird vollständig im Nachweismedium deponiert, keine Schauerbildung

In Hochenergiephysik:  
 Teilchenenergie  $E \gg \text{MeV}$  ➔ Ausbildung von elektromagnetischen ( $e, \gamma$ ) bzw. hadronischen Schauern

**Homogene Schauerzähler:**  
 Nachweismedium = Absorbermedium

- Szintillierende Kristalle (CsJ,  $\text{PbWO}_4$ , BGO...)
- Bleiglaszähler

**Sampling-Kalorimeter:**  
 Nachweismedium und Absorbermedium getrennt

## Sampling-Kalorimeter

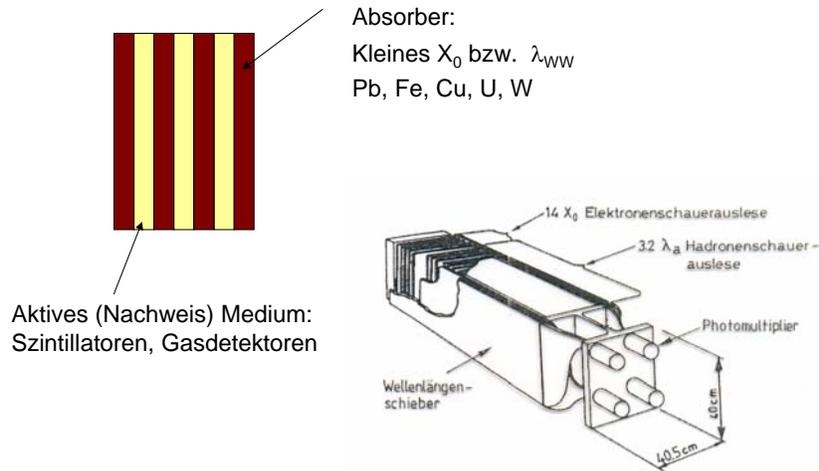


Abb. 7.30 Typischer Aufbau eines Eisen-Szintillator-Kalorimeters mit Wellenlängenschieberauslese [185].

## Energieauflösung von Kalorimetern

$$\frac{\sigma(E)}{E} \sim \underbrace{\frac{a}{\sqrt{E}}}_{\text{Stochastischer Term}} \oplus \underbrace{\frac{b}{E}}_{\text{Detektorrauschen}} \oplus \underbrace{c}_{\text{Konstanter Term: Inhomogenität der Kanäle, Kanalkalibration}}$$

Quadratische Addition

**Stochastischer Term:**

- Homogene Zähler  
Fluktuationen der pro Energie produzierten Ladungen / Photonen
- Sampling-Kalorimeter  
Fluktuationen der Zahl der Schauerteilchen die aktives Medium passieren

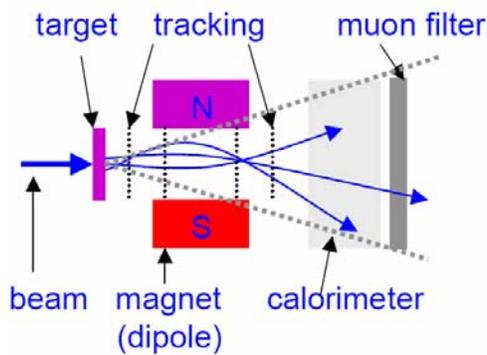
Typische Auflösungen (stochastischer Anteil)	
Elektromagnetische Kalorimeter	$\frac{1.5\% \dots 10\%}{\sqrt{E[\text{GeV}]}}$
Hadronische Kalorimeter	$\frac{50\% \dots 100\%}{\sqrt{E[\text{GeV}]}}$

### 3.6 Detektorsysteme

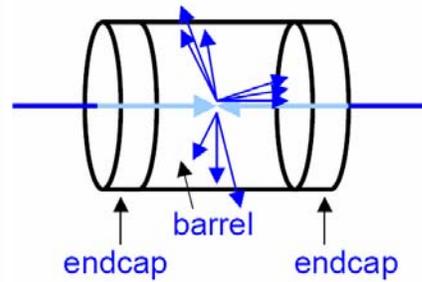
Subkomponenten mit verschiedenen Funktionen

- Spur- und Vertexdetektoren
- E.M Kalorimeter ECAL
- Hadron. Kalorimeter HCAL
- Myonfilter und Myondetektor

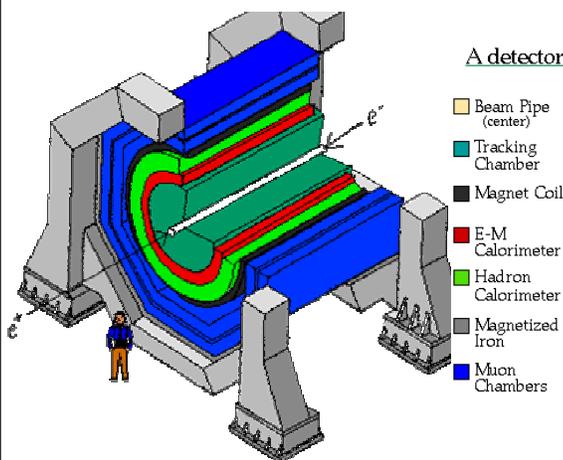
#### Fixed Target Detektor



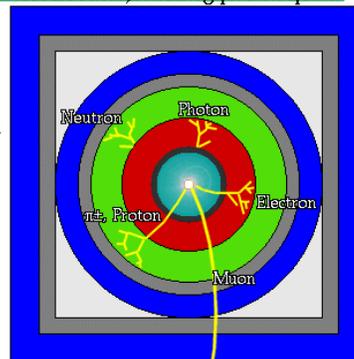
#### 4 $\pi$ Collider-Detektor



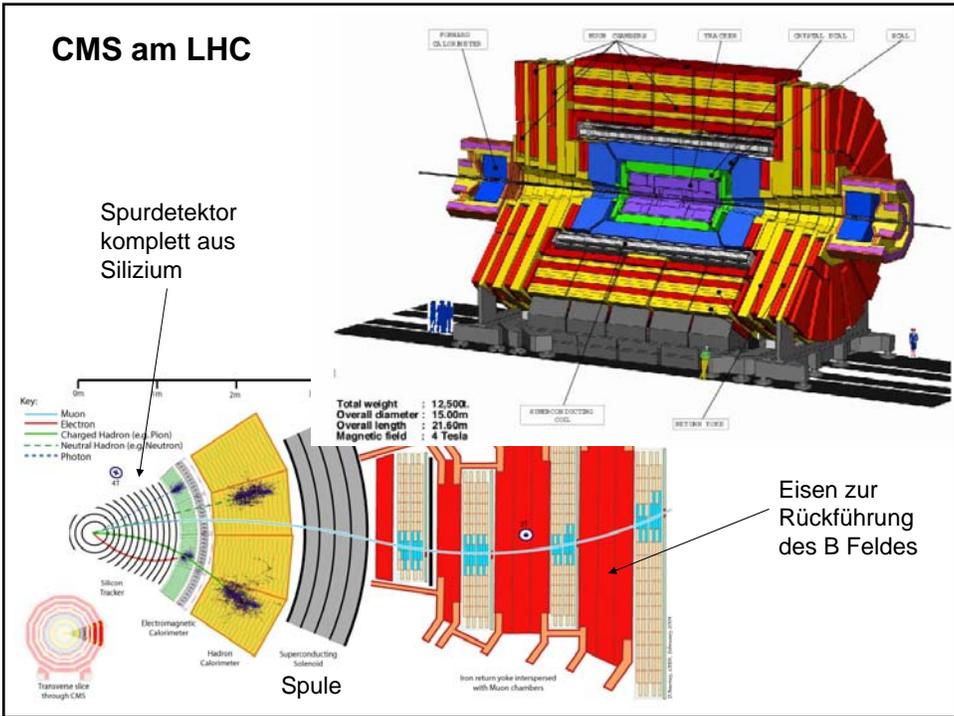
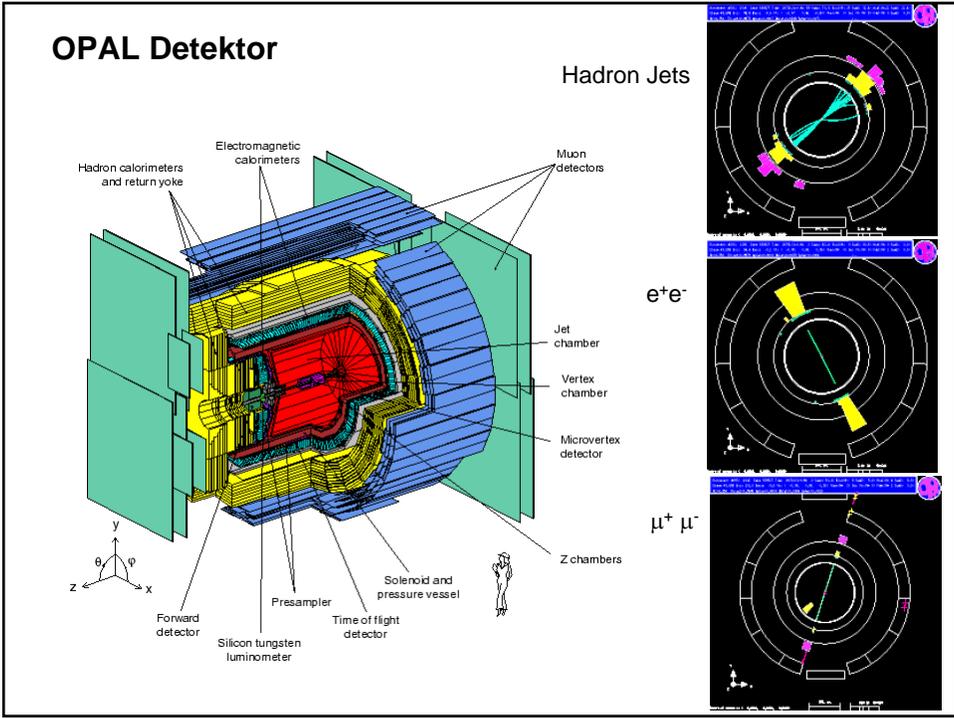
### Prinzip eines Detektors



A detector cross-section, showing particle paths



Hadronische Schauer fangen meist schon im ECAL an !



## LHCb Vorwärtsspektrometer

