

# Experimentelle Techniken des Teilchennachweises

Rasmus Ischebeck

## Anwendungen

Teilchenphysik

Astrophysik

Medizin

...

## grundlegende Wechselwirkungen

Gravitation

schwache WW

elektromagnetische WW

starke WW

## Charakteristische Eigenschaften

Ortsbestimmung

Energieauflösung

Geschwindigkeit

## Durchgang geladener Teilchen durch Materie

wahrscheinlichster Energieverlust

Spektrum

## Detektortypen

Gasdetektoren

Halbleiterdetektoren

Szintillationszähler

Čerenkov-Zähler

# Elementare Wechselwirkungen

Teilchen	Beispiel	Wechselwirkung			
		Stark	Schwach	El-Mag.	Gravit.
Hadronen	$p, n, \dots$ $\pi, \rho, K$				
Leptonen	$e, \mu$ $\nu$				
Eichbosonen	$\gamma$				

# Durchgang geladener Teilchen durch Materie

Für schwere geladene Teilchen ergibt sich folgender Energieverlust durch Ionisation (BETHE-BLOCH-Gleichung)

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{e^4}{4\pi\epsilon_0^2 m_e c^2} \frac{NZz^2}{\beta^2} \left[ \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{I} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right]$$

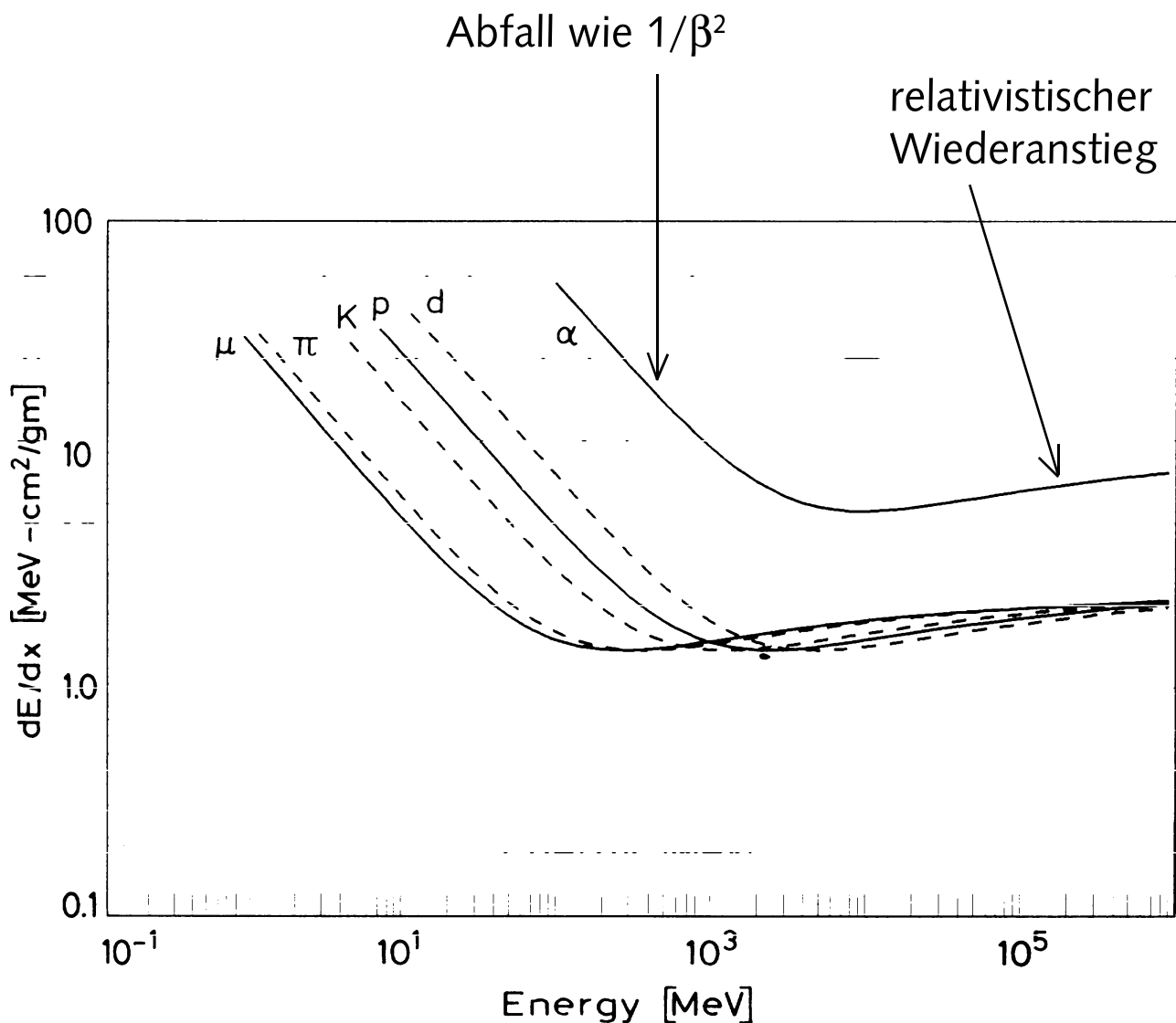
Für Elektronen hat man, allein durch Ionisation:

$$\begin{aligned} -\frac{dE}{dx} = & \frac{e^4}{4\pi\epsilon_0^2 m_e c^2} \frac{NZ}{\beta^2} \\ & \cdot \left[ \ln \left( \frac{m_e c^2}{\sqrt{2}I} \beta \gamma \sqrt{\gamma - 1} \right) + \frac{1}{2} (1 - \beta^2) \right. \\ & \left. - \frac{2\gamma - 1}{2\gamma^2} \ln 2 + \frac{1}{16} \left( \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

Wegen der geringen Masse spielt hier allerdings schon bei mäßigen Energien von 10 MeV die Bremsstrahlung eine Rolle.

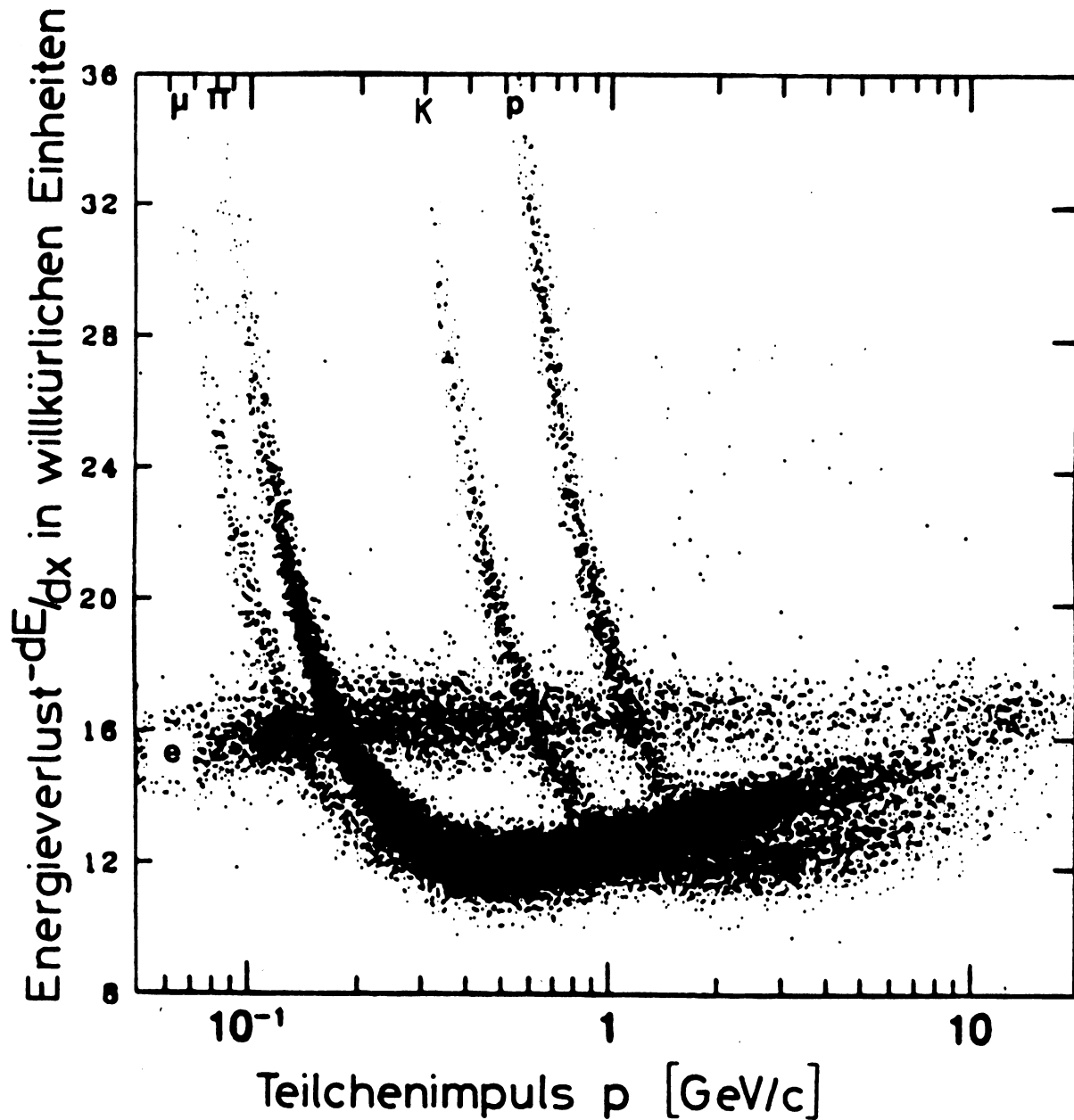
# Energieverlust durch Ionisation

Theoretische Kurven für verschiedene Teilchen



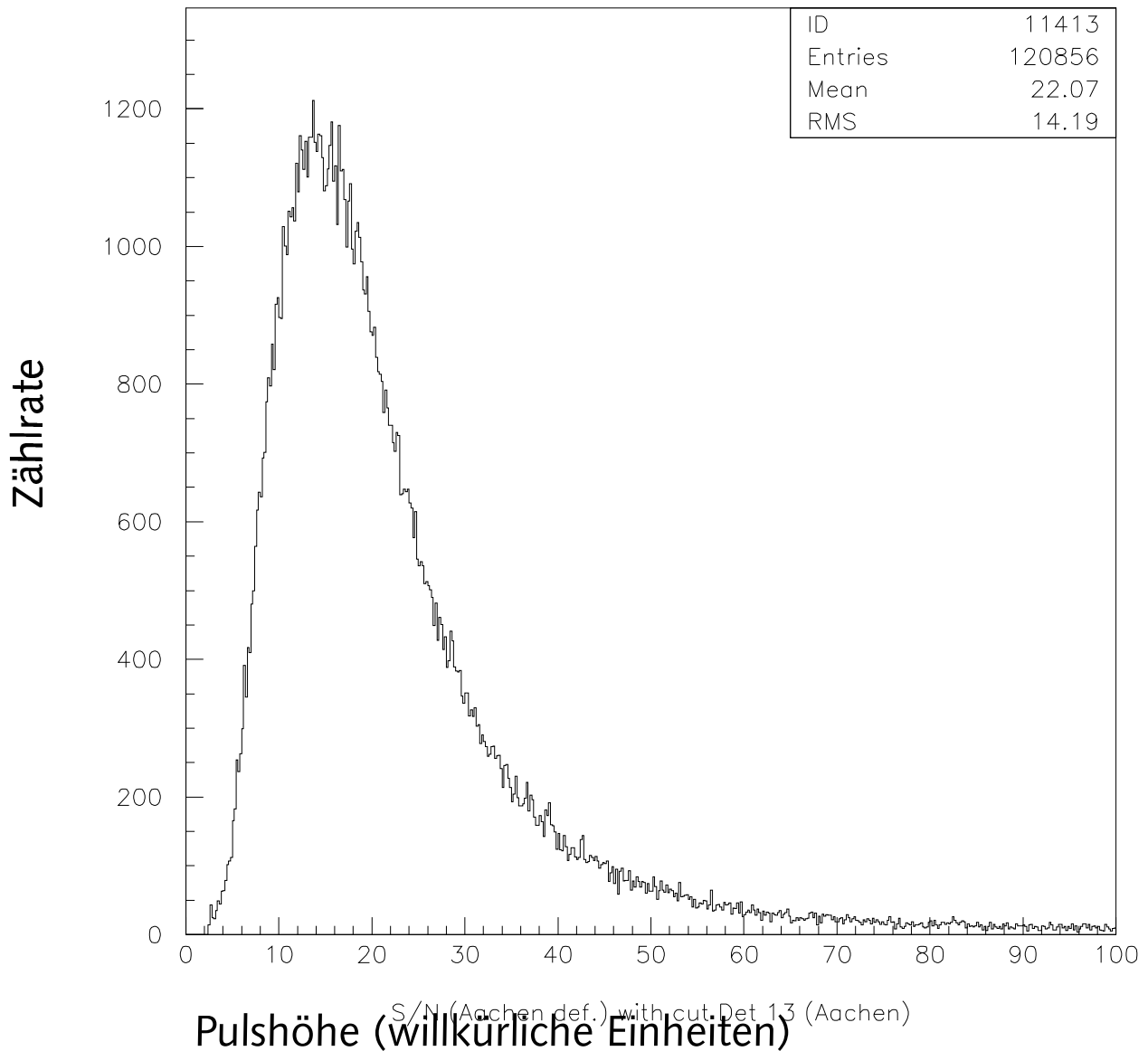
Quelle: W. R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer Verlag 1994

# Messung des Energieverlustes

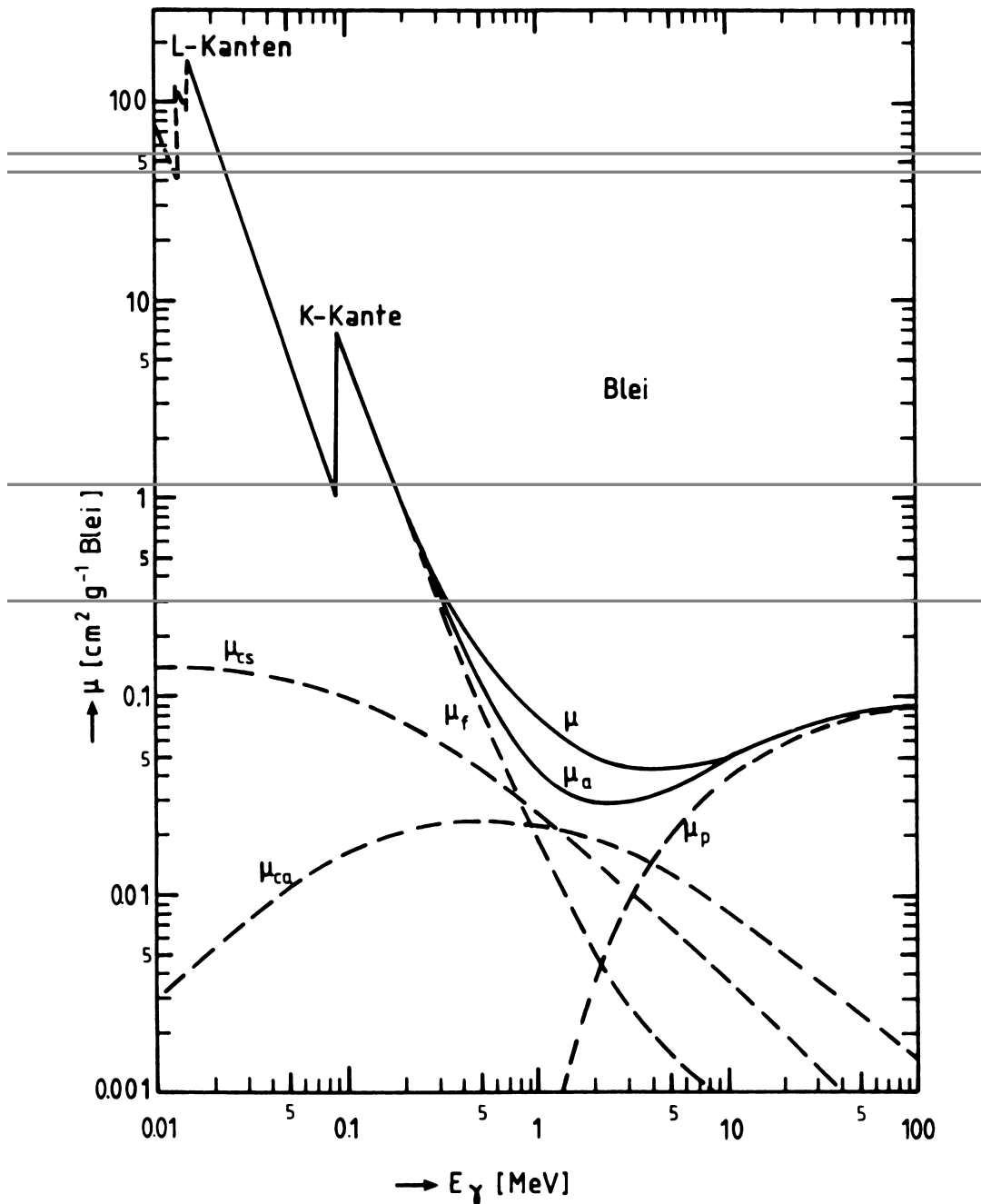


Quelle: F. Sauli, CERN-EP/89-74 (1989)

# Spektrum des Energieverlustes



# Wechselwirkung von Photonen mit Blei



Quelle: G. Hertz, „Lehrbuch der Kernphysik“, Bd. 1, Teubner (1966)

# Wie wirkt sich die Energieübertragung auf die Materie aus?

Dies hängt u.a. vom Aggregatzustand der Materie ab:

- Gas: **Ionisation**  
Anwendung: Proportionalzähler
- Flüssigkeit: lokale **Erhitzung**  
Anwendung: Blaskammer
- Festkörper: **Anregung** der Elektronen  
Anwendung: Szintillatoren

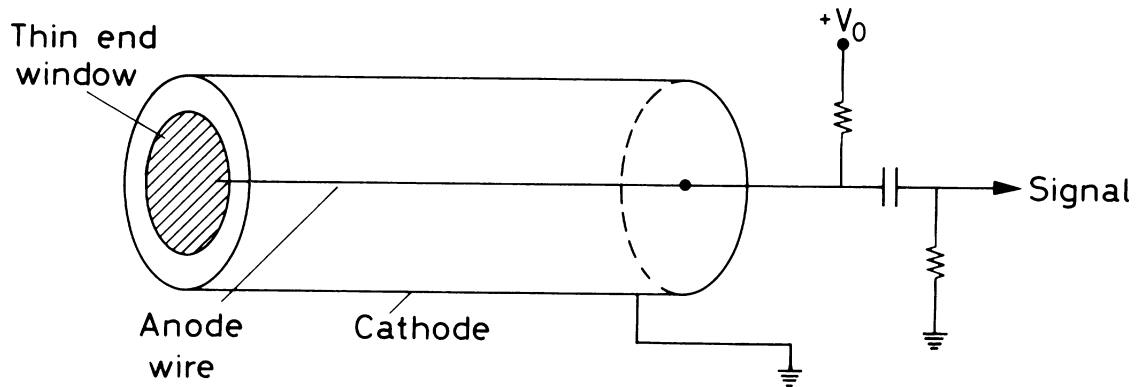
Bildung von **Elektron-Loch-Paaren**  
Anwendung: Halbleiterdetektoren

# Übersicht: Detektortypen

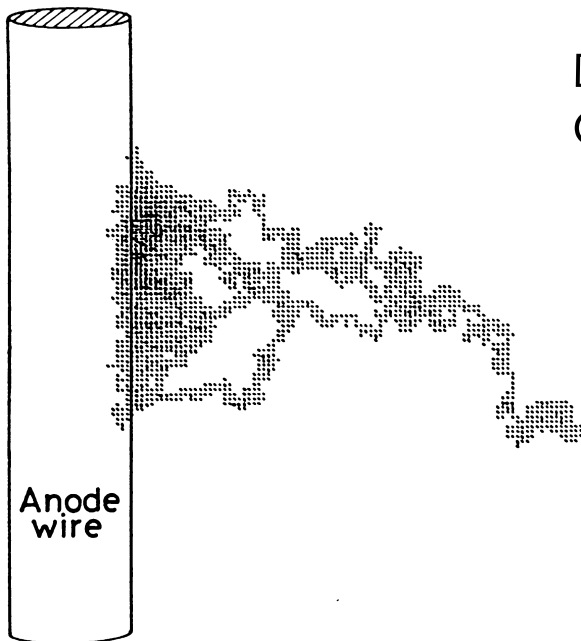
- Nebel- und Blasenkammern
- Gasdetektoren
  - Geiger-Müller-Zähler
  - Funken- und Streamerkammern
  - Proportionalzähler
  - Viendrahtproportionalkammer
  - Mikrostreifengasdetektor
  - Driftkammer
- Halbleiterdetektoren
  - Silizium-Detektor
  - Gallium-Arsenid-Detektor
- Szintillationszähler
  - anorganische Kristalle
  - organische Szintillatoren
- Čerenkov-Detektoren
- Übergangsstrahlungsdetektoren
- Silberhalogenid-Emulsionsen
- Radiophotolumineszenz

# Proportionalzählrohr

Aufbau (schematisch)



25  $\mu\text{m}$



Bildung einer Elektronen-Lawine  
nahe des Anodendrahtes.

Das Bild wurde durch eine Monte-  
Carlo-Simulation gewonnen.

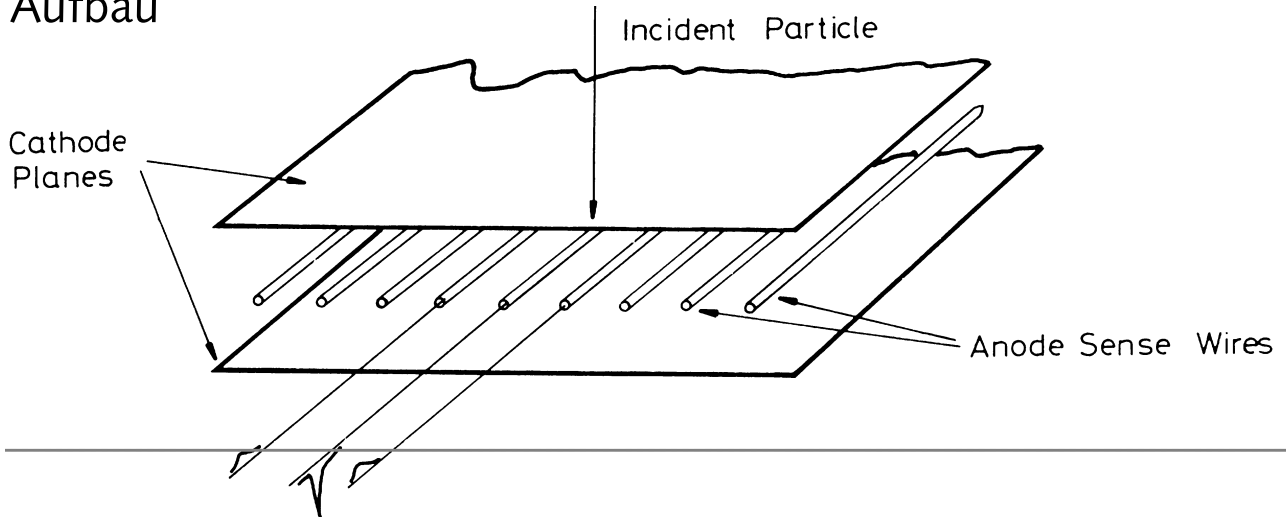


Quellen: W. R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments,  
Springer Verlag (1994)

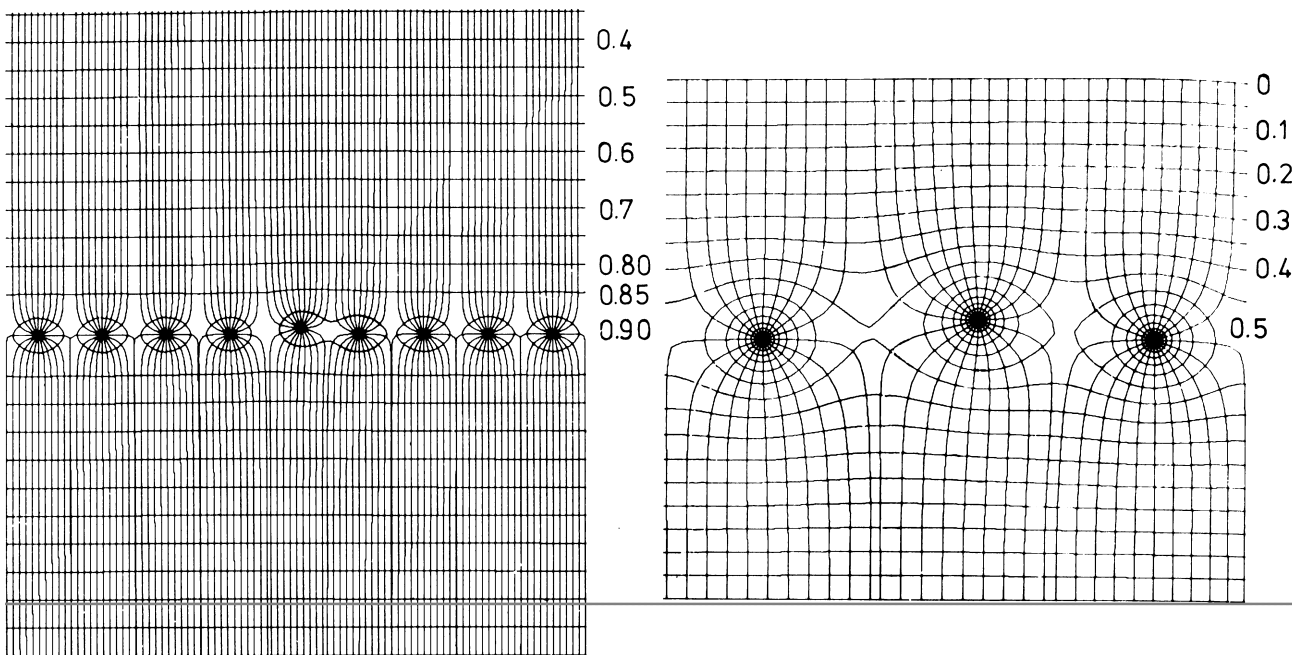
M. Matoba et al., IEEE Trans. Nucl. Sci.  $\ddot{\text{I}}\text{NS-32}\ddot{\text{I}}(1)$ , 541 (1985)

# Vieldraht-Proportionalkammer

## Aufbau

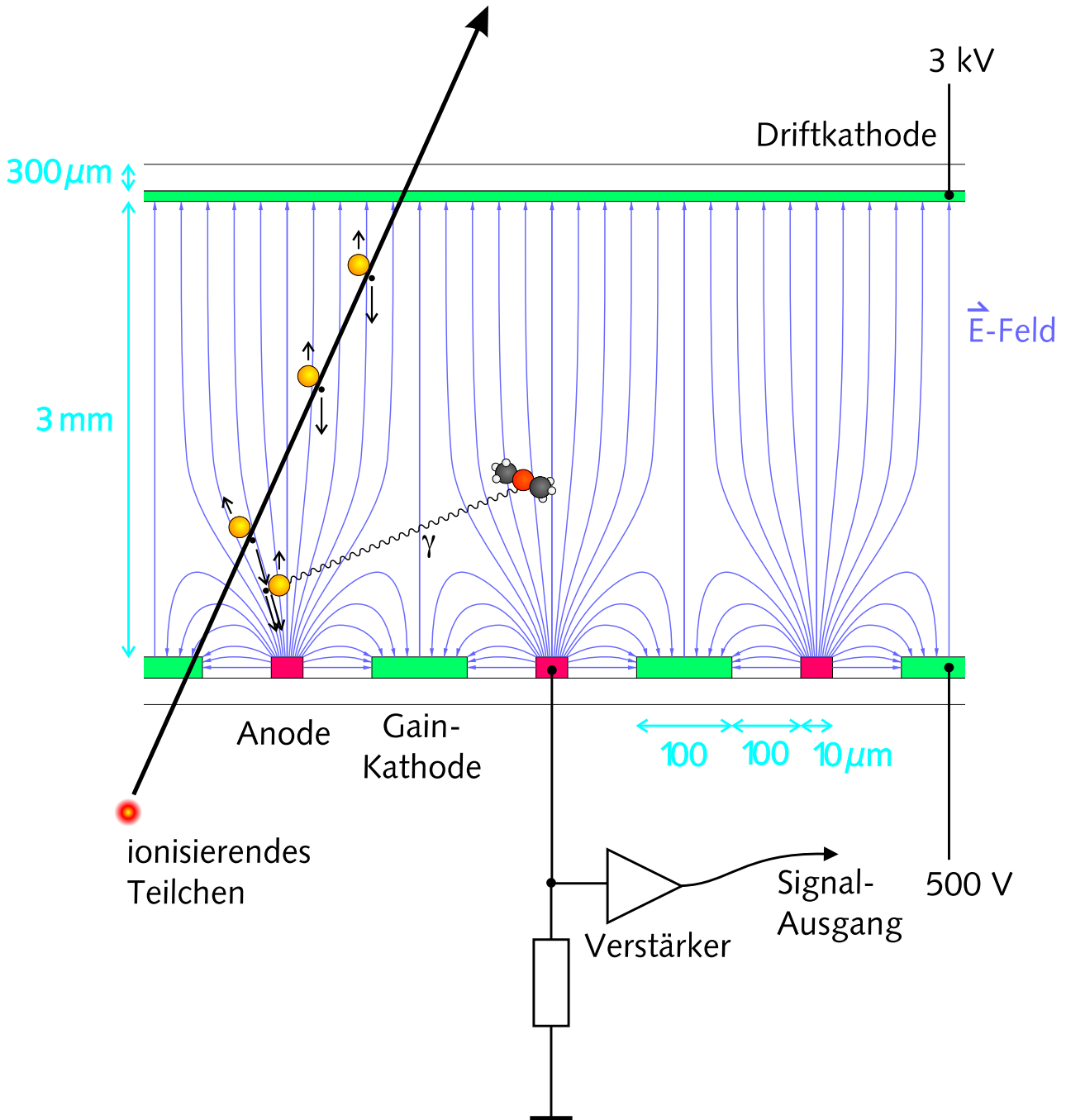


Elektrisches Feld. Der Effekt der Verschiebung eines Drahtes auf das elektrische Feld wird auch gezeigt.



Quelle: G. Charpak, D. Rahm, M. Steiner: Nucl. Instr. and Meth. **80**, 13 (1970)

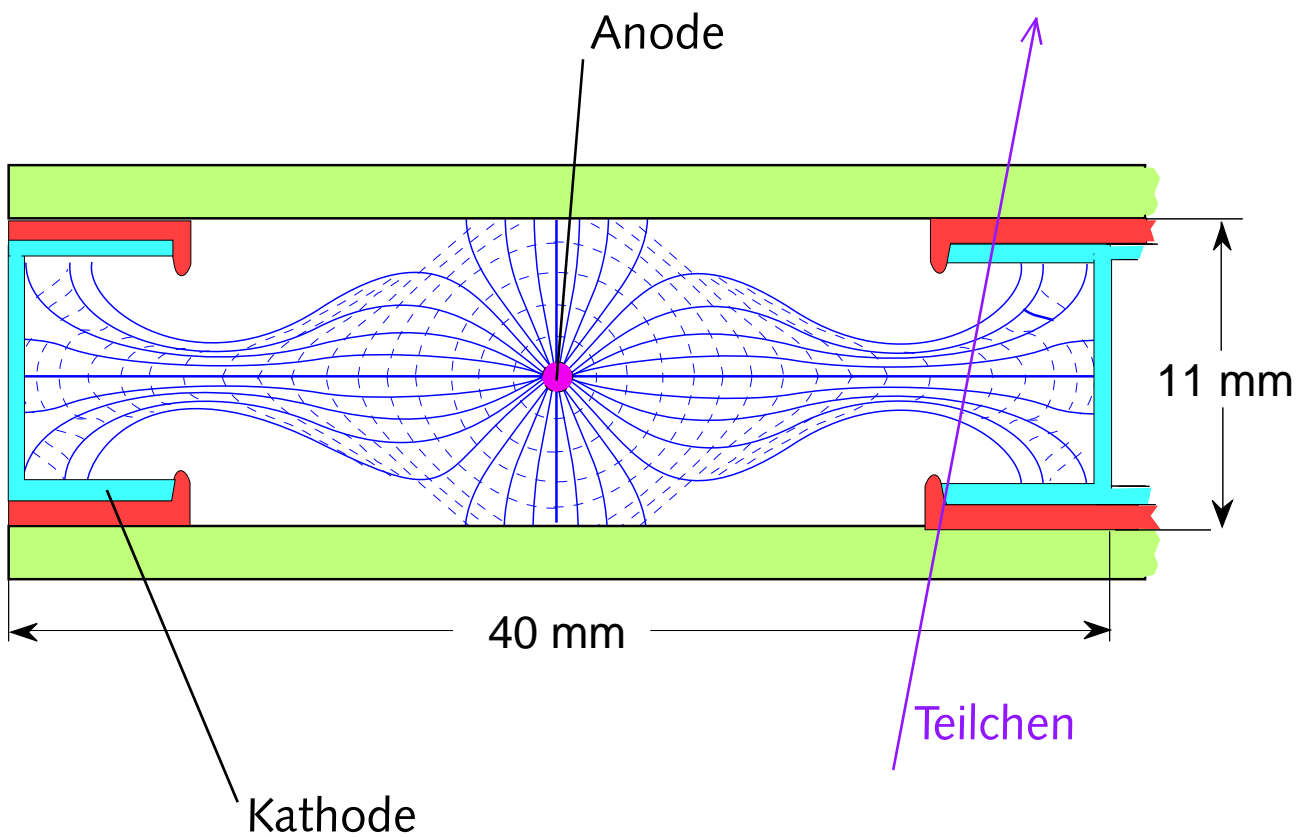
# MSGD (schematisch)



# Driftkammer

Aufbau der Myonen-Spurkammer des CMS

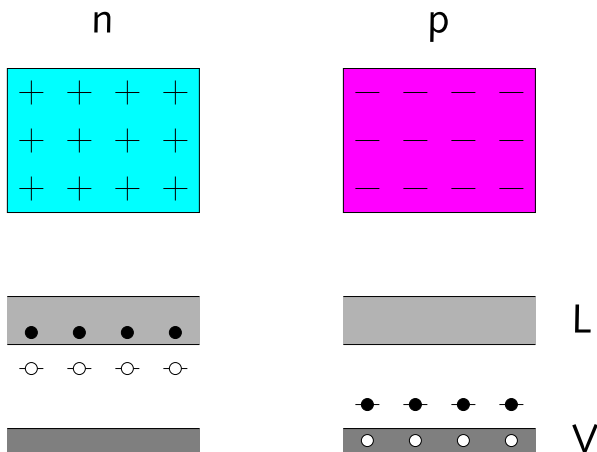
Das elektrische Feld ist **blau** eingezeichnet.



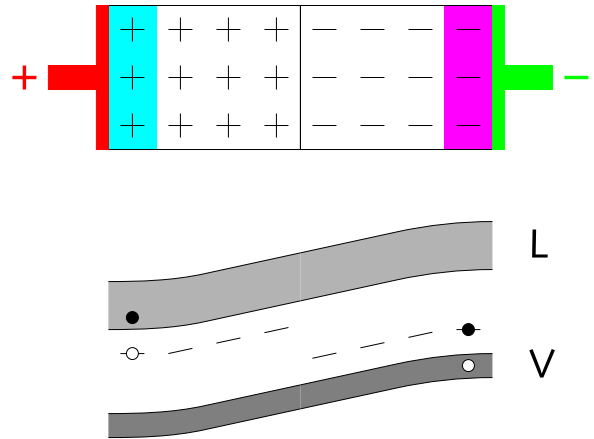
Quelle: CMS Technical Proposal CERN/LHCC 94-38, LHCC/P1 (1994)

# Halbleiterdetektor

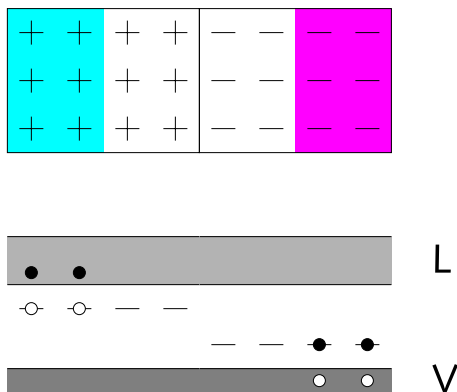
1 Zwei Halbleiter werden unterschiedlich dotiert



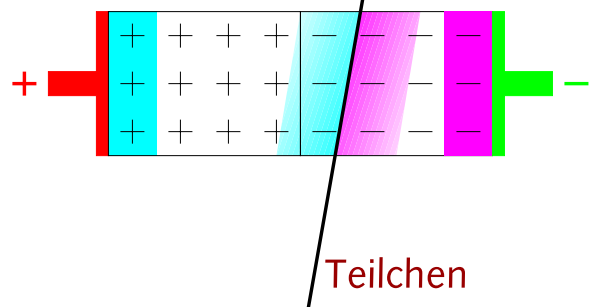
2 Das Anlegen einer Spannung verschiebt die Energiebänder und bildet eine Sperrschicht



3 Bringt man diese in Kontakt, so findet ein Ladungsträgeraustausch statt

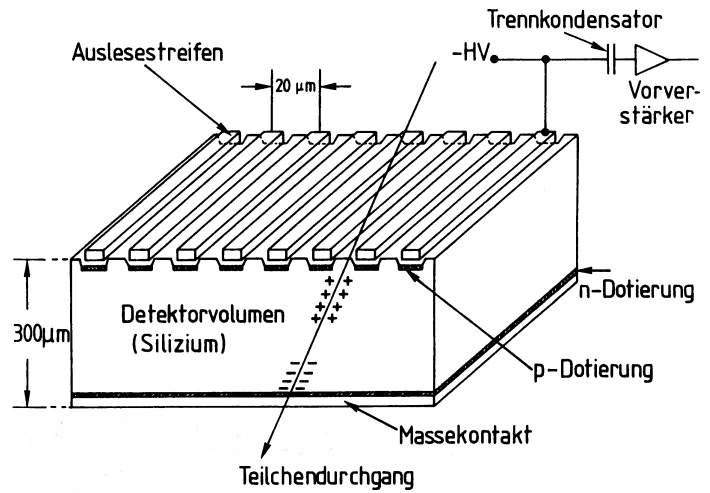


4 Ein energiereiches Teilchen bildet Elektron-Loch-Paare, die durch das Feld getrennt werden

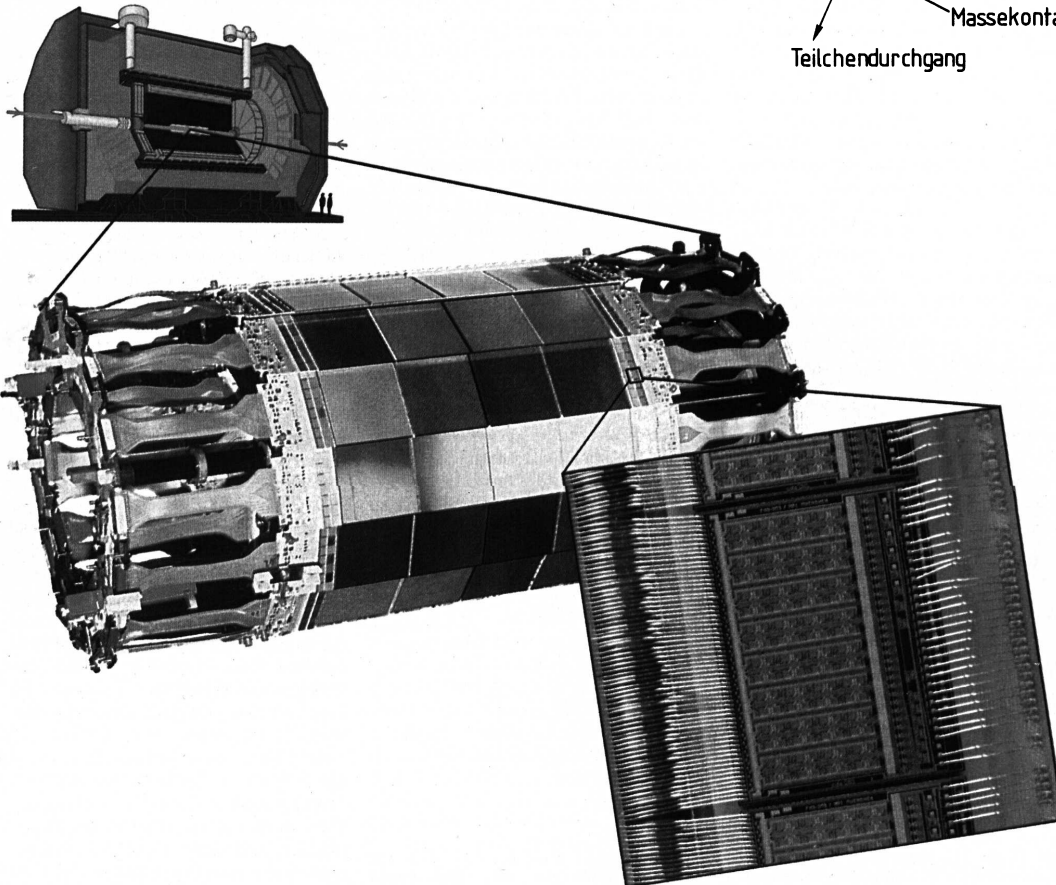


# Halbleiterdetektoren

## Aufbau



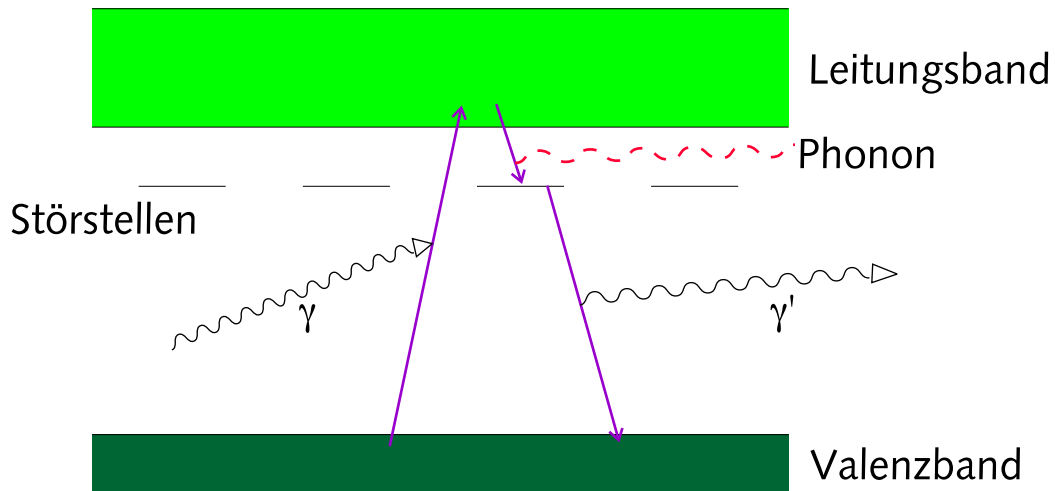
## Einsatz im ALEPH-Detektor



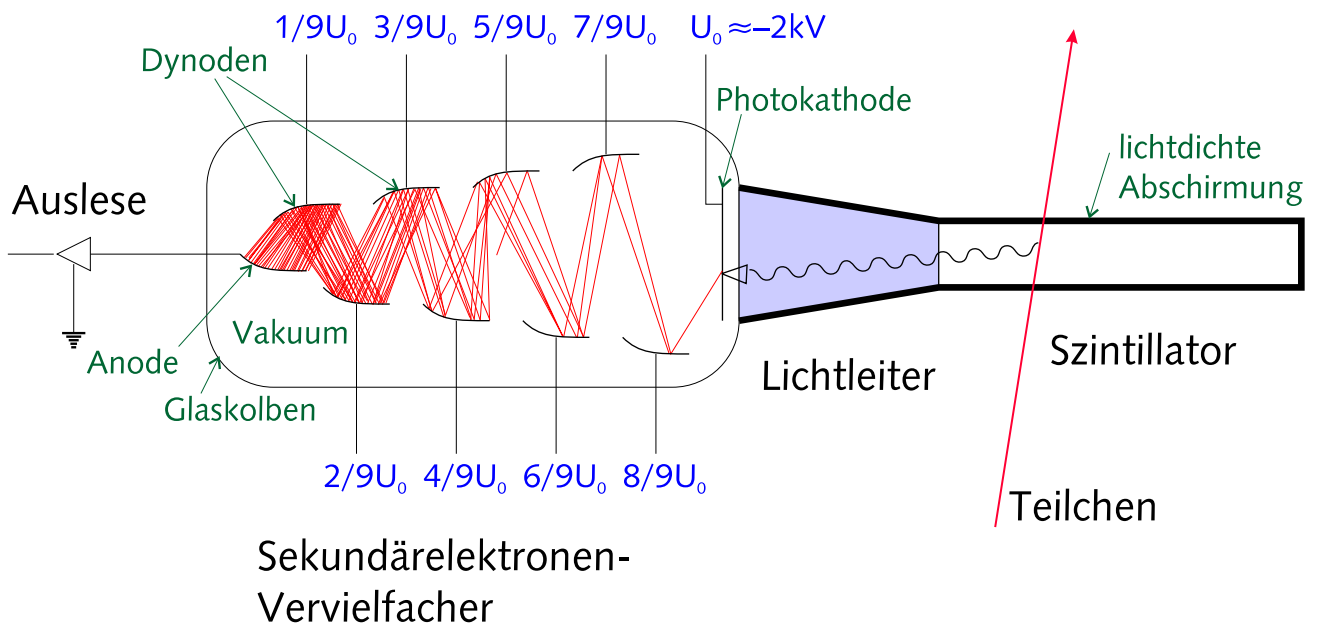
Quellen: R. Hoisberger, PSI-PR-91-38 (1991)  
Spektrum der Wissenschaft, August 1995

# Szintillationszähler

## Energiebänder im Szintillator



## Aufbau mit SEV



# Szintillatormaterialien

## Kristalle

**Beispiele:** NaI (Tl), BGO,  $\text{PbWO}_4$

**Vorteile:** gute Energieauflösung

**Nachteile:** relativ langsam, schwer zu bearbeiten

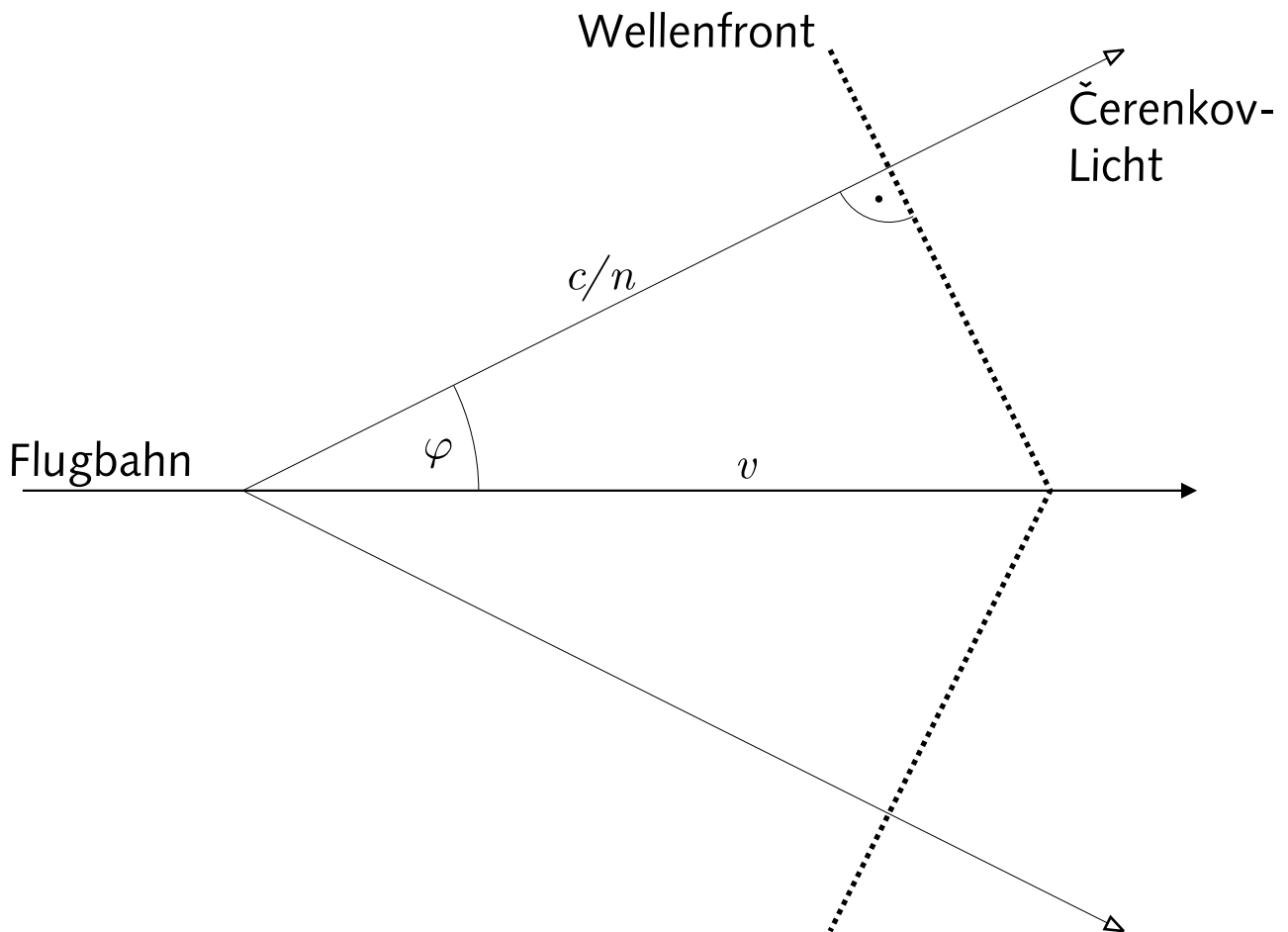
## Organische Materialien

**Beispiele:** Plexiglas, Anthrazen

**Vorteile:** sehr schnell, preiswert, beliebig formbar

**Nachteile:** schlechte Energieauflösung

# Čerenkov-Zähler



für  $v > c/n$  gilt:

$$\cos \varphi = \frac{c/n}{v}$$

# Zusammenfassung

Wir haben verschiedene Detektortypen kennengelernt:

Detektor	Orts- auflösung	Totzeit	Energie- auflösung	Bemerkungen
	$\mu\text{m}$	ms		
MWPC				
MSGD				
Driftkammer				
Blasenkammer				
Halbleiter				
BGO				