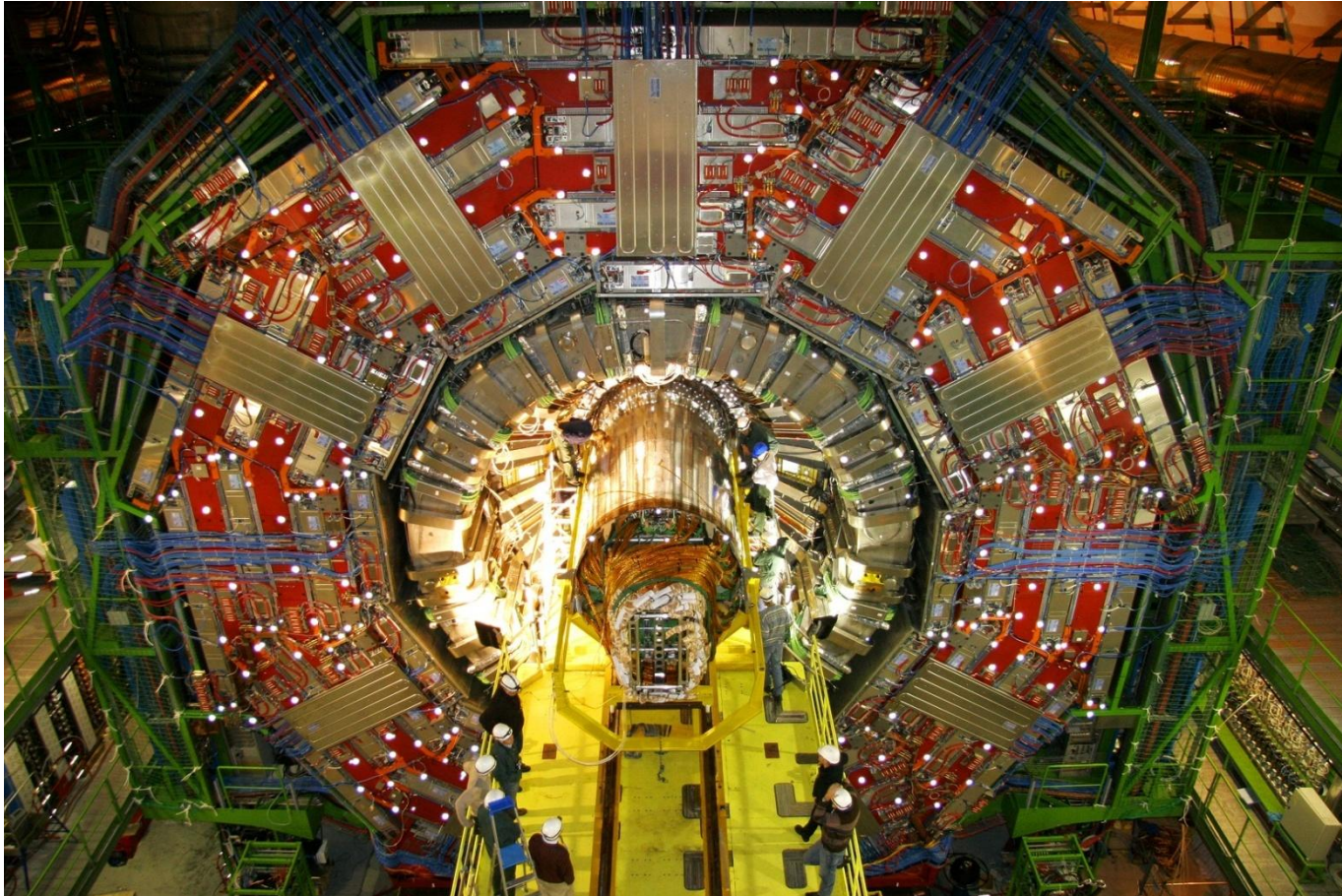


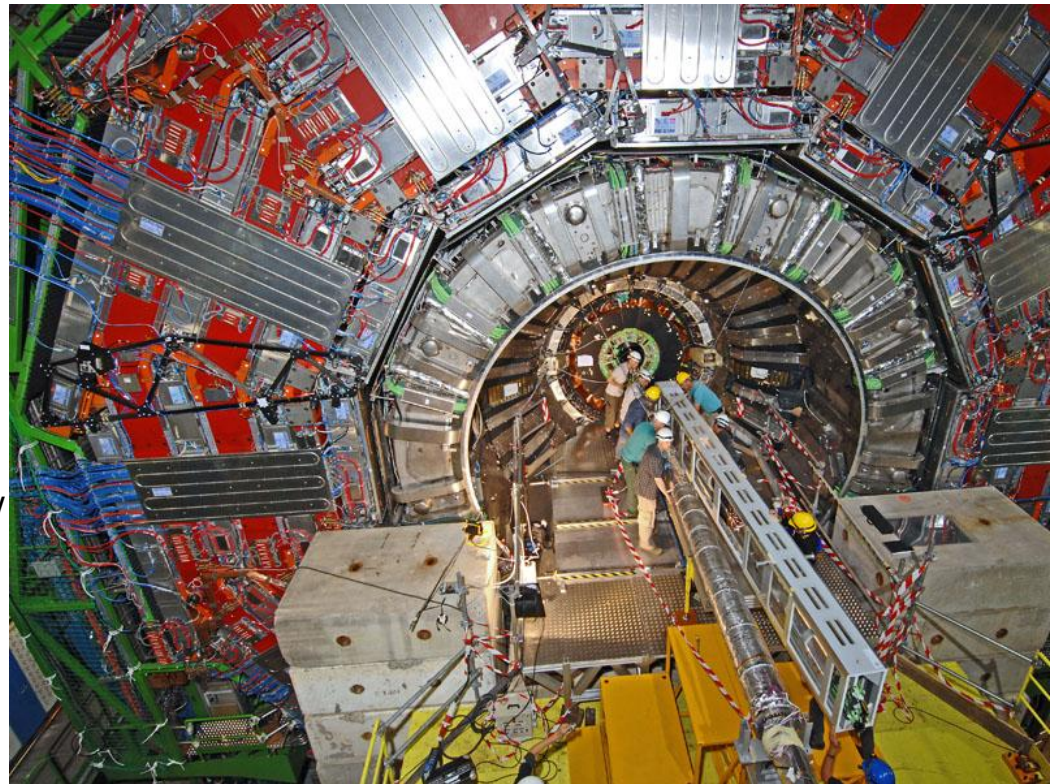
Teilchendetektor-Konzepte an Hand des CMS-Detektors



Vortragender: Christian Lüdtké

Inhalt

1. Einführung
2. CMS-Detektor
3. Die Subdetektoren
 - 3.1. Halbleiterdetektoren
 - 3.2. Kalorimeter
 - 3.3. Myon-Detektorsystem/
Gasdetektoren
4. Teilchen im CMS



Einführung

Teilchendetektor-Konzepte

Nutzen: Bestimmung physikalischer Eigenschaften von Teilchen

Detektion durch **Wechselwirkung mit Materie**

geladene Teilchen: Ionisation, Anregung, Bremsstrahlung

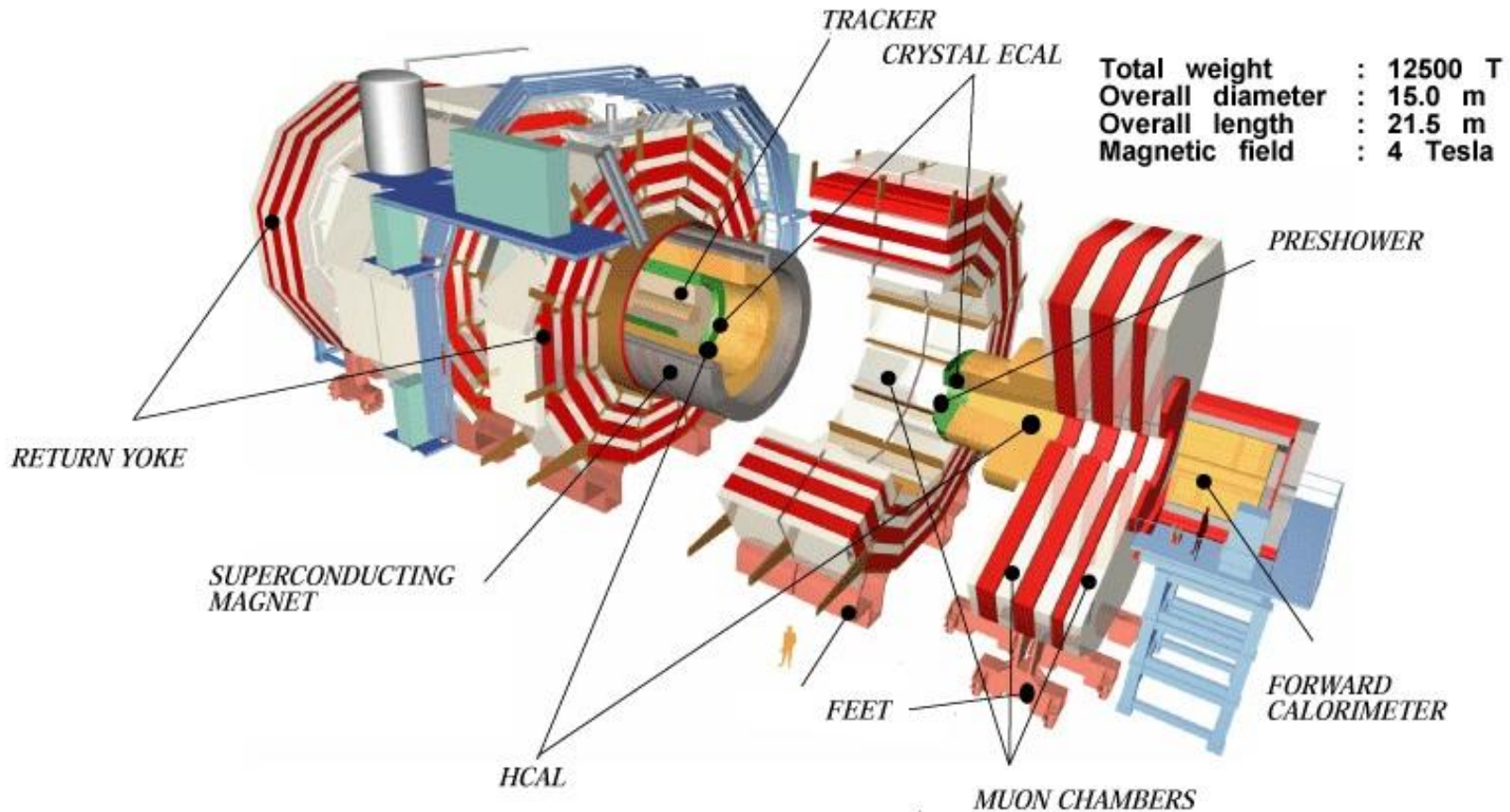
Photonen: photoel. Effekt, Compton-Effekt, Paarbildung

Hadronen: elastische oder inelastische Streuung bei starker Wechselwirkung

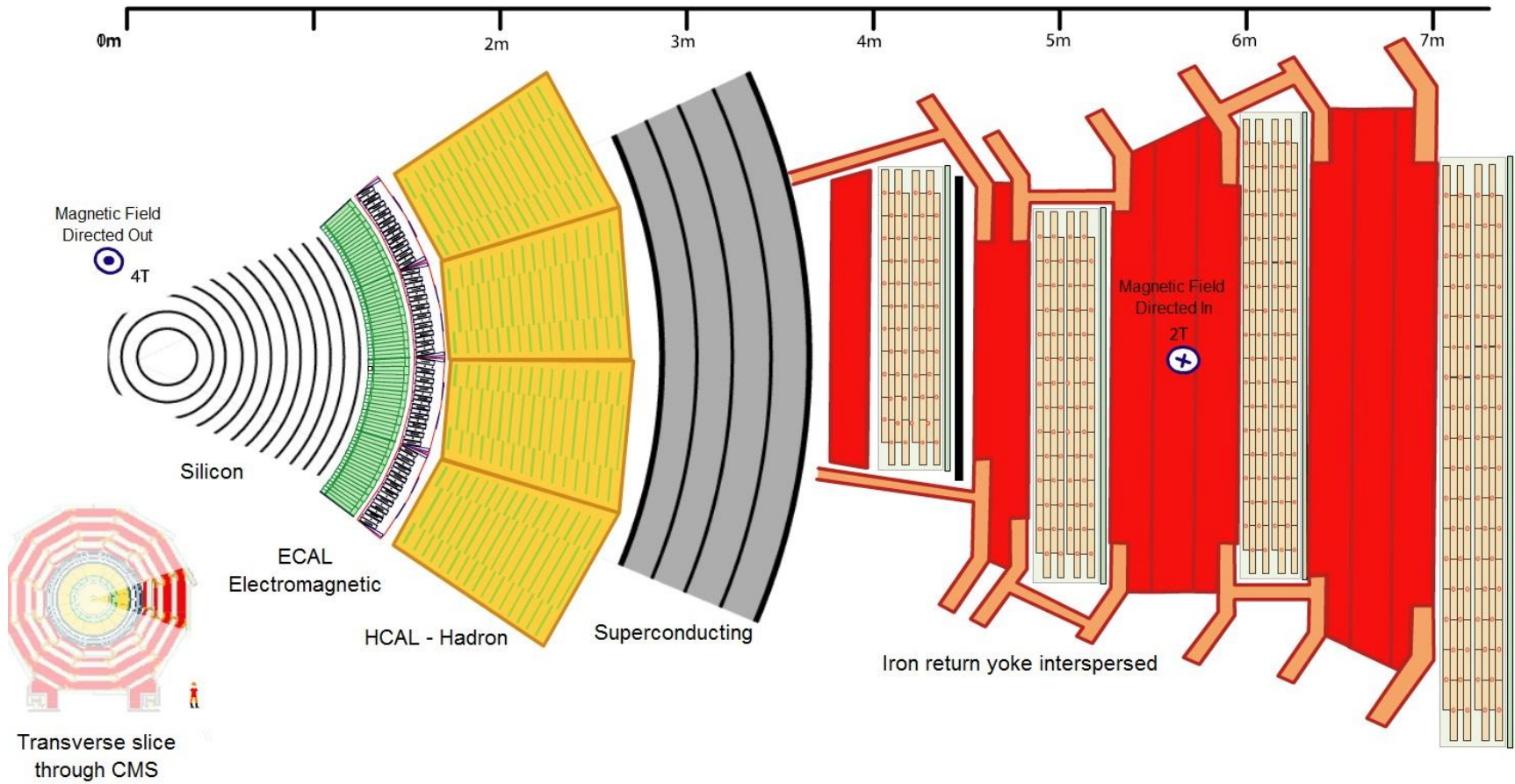
Ziel des CMS-Experiments

- Experimenteller **Nachweis der Existenz des Higgs-Bosons**
- Bestimmung der Masse des H
- Hinweise für Theorien jenseits des Standardmodells erlangen (z.B. SUSY)

CMS-Detektor



CMS-Detektor



Halbleiterdetektoren

Anwendung: Positionsmessung

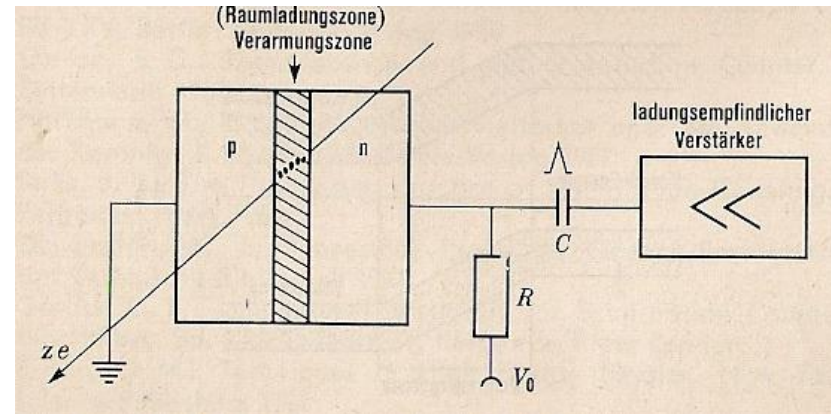
pn -Übergang in Sperrrichtung

In Verarmungszone Einfallendes
geladenes Teilchen erzeugt

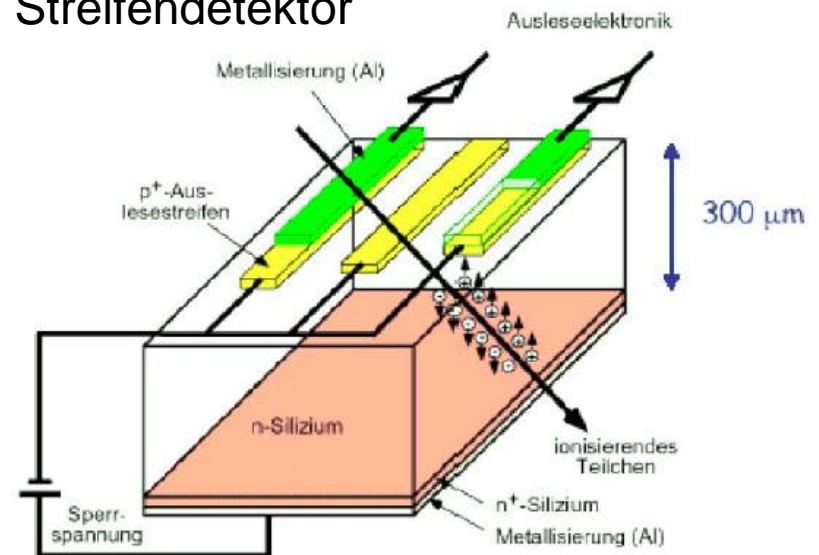
Elektron-Loch-Paar

→ Elektronen wandern zur
Anode, Löcher zur Kathode

Abgegebene Energie proportional
zum Ausgangsimpuls



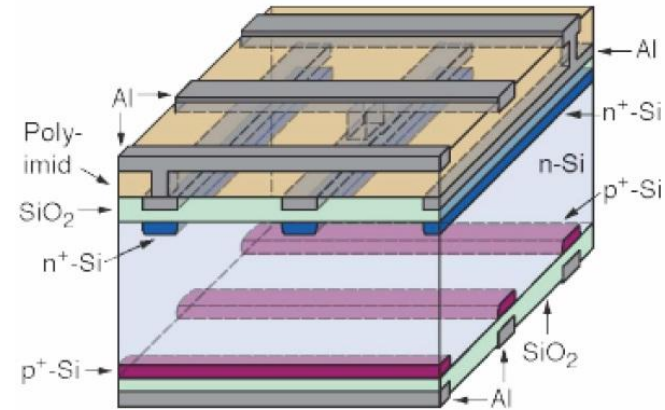
Streifendetektor



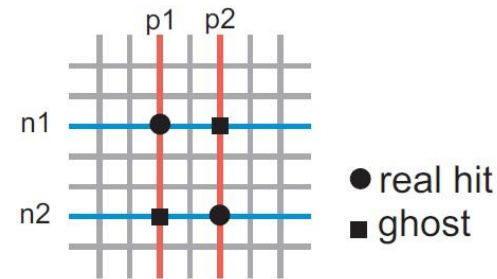
Halbleiterdetektoren

Alternativ doppelseitige
Streifenauslese
→ 2-dim. Auflösung

Zusätzliche Streifen, die nicht
ausgelesen werden, verbessern
die Auflösung.



Aber: Auftreten von „Ghosts“,
wenn mehrere Teilchen
gleichzeitig den Detektor
durchqueren



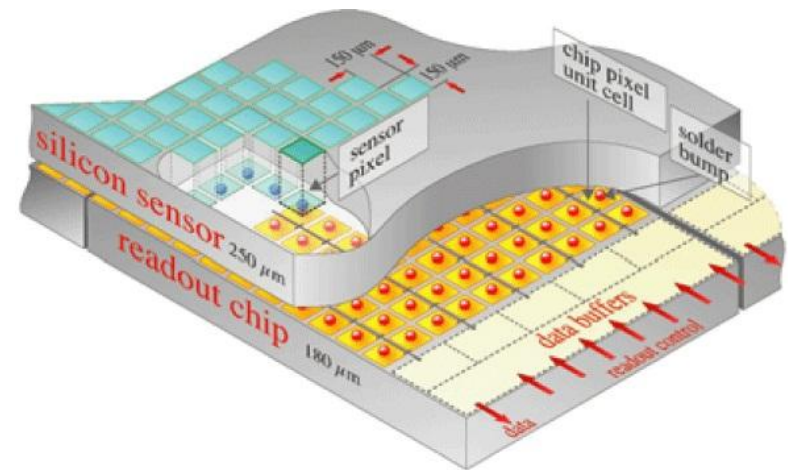
Halbleiterdetektoren

Pixeldetektoren:

Bessere Auflösung als
Streifendetektor, echte 2-dim.
Information

Viele Kanäle müssen ausgelesen
werden, hoher Leistungsbedarf

Am CMS werden beide Layouts
verwendet.



Halbleiterdetektoren

Warum Silizium?

Anforderung: hohes Signal (viele erzeugte Paare)
→ kleine Bandlücke
niedriges Rauschen (wenige freie Ladungsträger)
→ große Bandlücke

Ideal wäre Diamant mit $E_{\text{gap}} = 6 \text{ eV}$

Benötigte Energie W pro erzeugtem Ladungsträger-Paar:

$$W(\text{Si}) = 3,6 \text{ eV}$$

$$W(\text{Gase}) = 30 \text{ eV}$$

$$W(\text{Szintillator}) = 700 \text{ eV}$$

Kalorimeter

Elektromagnetisches

Kalorimeter – Energiemessung

Energie des einfallenden Teilchens (Elektron oder Photon) wird durch Schauerbildung absorbiert

Durch Szintillation wird Energie der Schauerteilchen in Lichtsignale umgewandelt.

Anschließend folgt Umwandlung der Lichtsignale in elektrische durch Photodiode/Photomultiplier

Kalorimeter

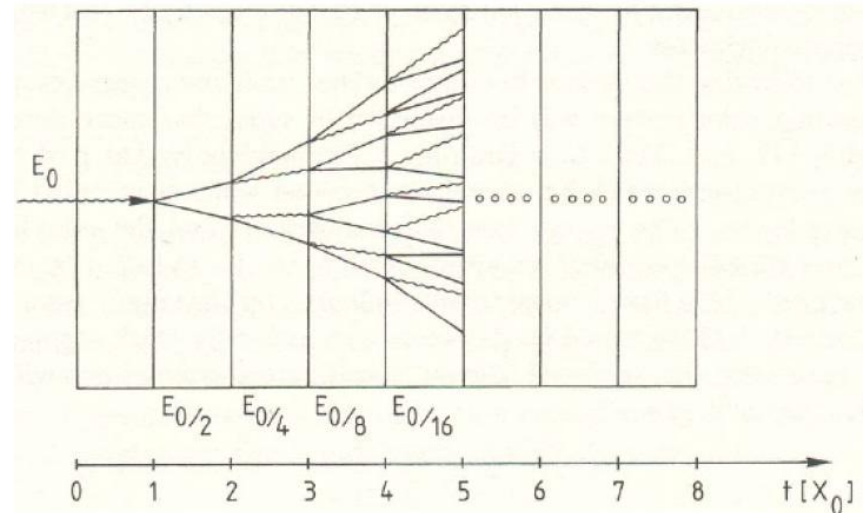
Bremsstrahlung und Paarbildung
bewirken Teilchenschauer

Einfaches Modell: Nach einer
Strahlungslänge X_0 wird eine
neue Generation erzeugt.

Abbruch, wenn Teilchenenergie $< E_C$
→ Ionisation

Transversale Schauerentwicklung
durch Molière-Radius beschrieben

$$R_m = \frac{21 \text{ MeV}}{E_C} X_0$$



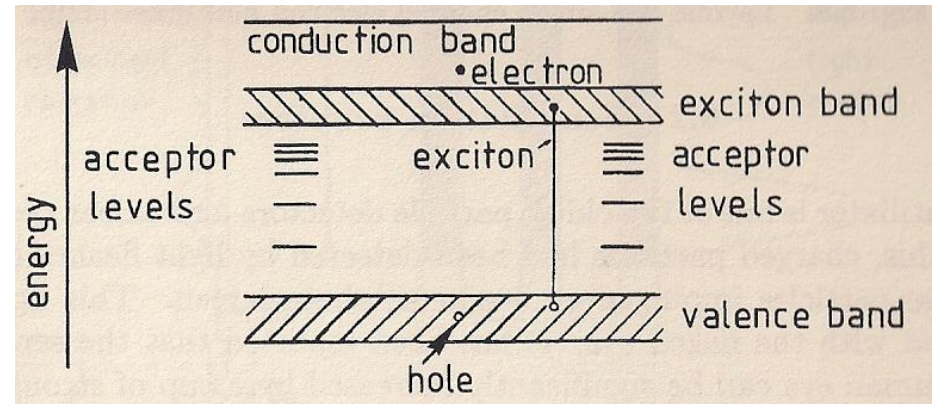
Kalorimeter

Anorganische Szintillatoren:

Elektron wird in das Leitungsband gebracht und wird frei beweglich. Ein Loch entsteht.

Rekombination → freiwerdende Energie als Licht emittiert

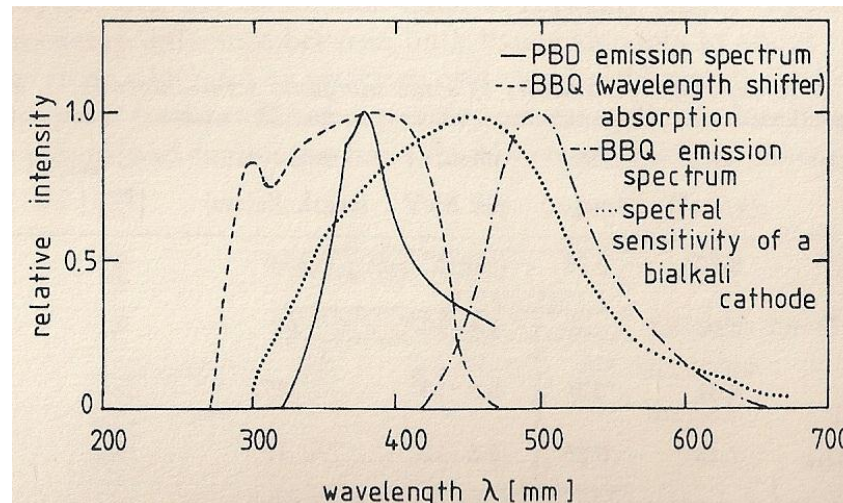
Falls Elektron nicht das Leitungsband erreicht: „Exziton“
Diese geben Energie ab, sobald sie ein Aktivatorzentrum treffen.
→ wird als Licht emittiert



Kalorimeter

Anorganische Szintillatoren:

- Bestehen aus Polymeren, Flüssigkeiten oder Kristallen
- Primärer Fluoreszenzstoff wird angeregt. Bei Zerfall: Lichtemission
- Sekundärer Stoff („Wellenlängenschieber“) absorbiert Licht und emittiert Photonen größerer Wellenlänge
- Zerfallszeit \sim ns



Kalorimeter

Im CMS-ECAL:

Kristalle aus $PbWO_4$ als Szintillatoren

Eigenschaften:

kleine Strahlungslänge $X_0 = 0,89$ cm

kleiner Molière-Radius $R_m = 2,19$ cm

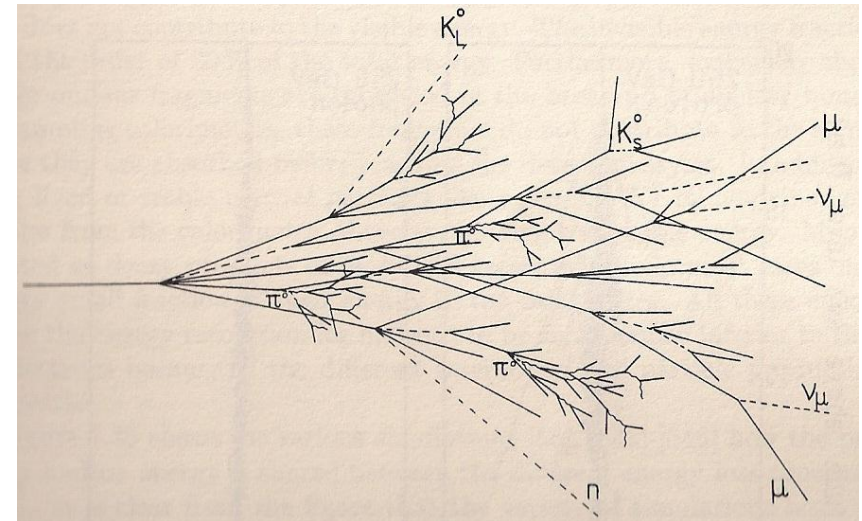
kurze Szintillationszeit

Kalorimeter

Hadronische Kalorimeter

Hadronische Schauer durch inelastische Stöße von stark wechselwirkenden Teilchen

Räumliche Schauerentwicklung durch Absorptionslänge charakterisiert



Kalorimeter

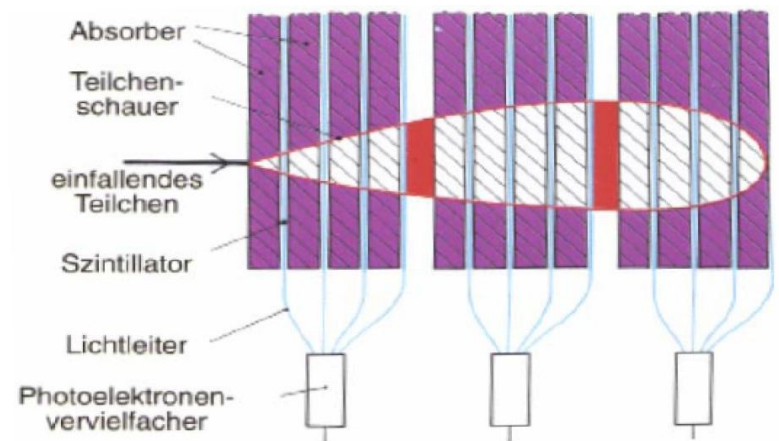
CMS-HCAL ist ein sampling calorimeter

Messingabsorber zur Aufschauierung und Plastikszintillator zur Messung

Energieverluste, da einige
Schauerteilchen dem Kalorimeter
Entweichen (z.B. Myonen und
Neutrinos vom Pionzerfall)

Manche Teilchen bleiben im Absorber stecken und gelangen nicht zur
Detektorschicht.

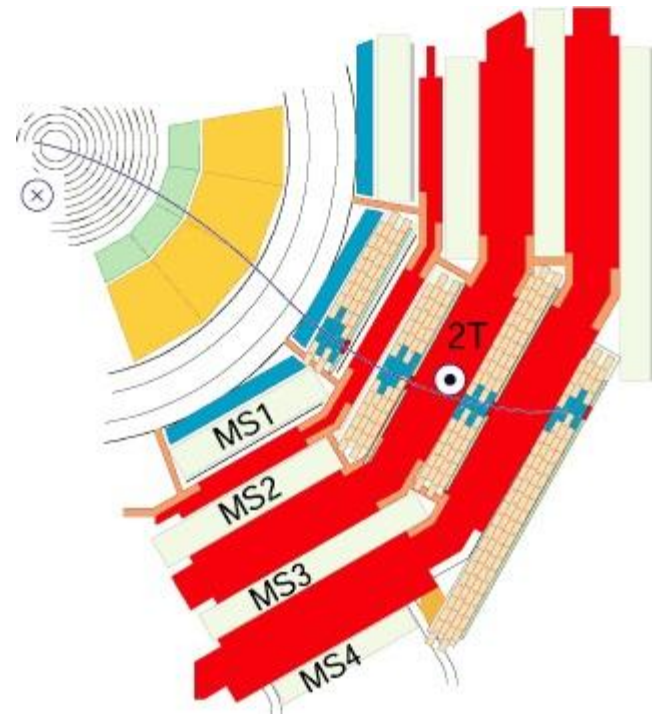
Energiefluktuationen durch π^0 - Komponente



Myonsystem

Zweck: Muonidentifizierung,
Impulsmessung und Triggerung

Darin enthalten: Driftkammern,
Kathodenstreifenkammern und
resistive plate chambers

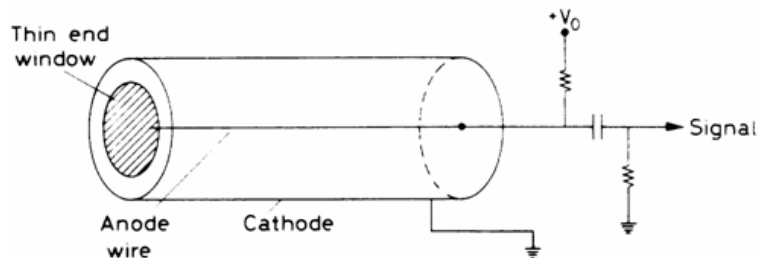
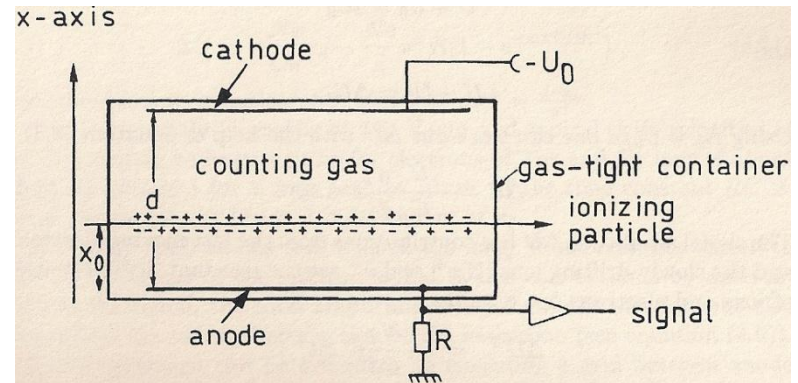


Myonsystem

Ionisationskammer:

Einfallendes Teilchen ionisiert Gasatome

Ladungsträger wandern zu den Elektroden → elektrisches Signal

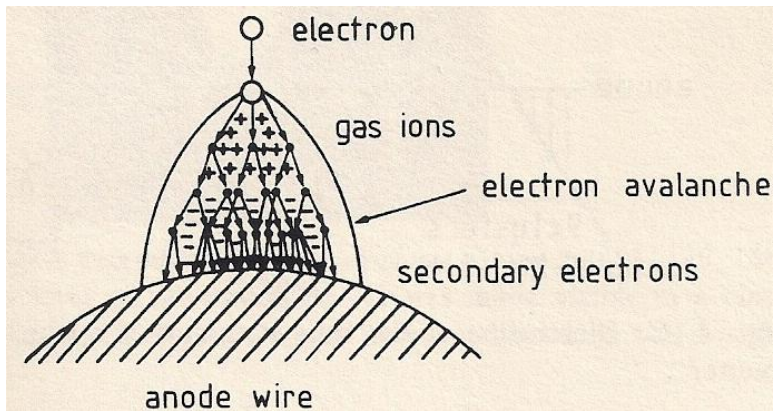


zylindrische Anordnung der Elektroden

Myonsystem

zylindrische Anordnung der Elektroden bewirkt Feldverstärkung im Anodenbereich → Primärelektronen werden beschleunigt und lösen weitere Sekundärelektronen aus

Gasverstärkungsfaktor $A = \text{const.}$



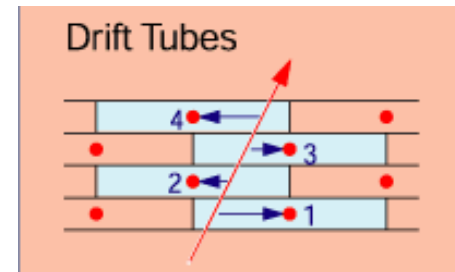
photoelektrischer Effekt führt zu $A_\gamma = \frac{A}{1 - \gamma A}$

Myonsystem

Selbes Prinzip bei vielen Detektor-Varianten angewandt:
Proportionalkammer, Jet-Driftkammer, Zeitprojektionskammer,
Mikrostreifen-Gaszähler, ...

Im CMS: Kammern mit Drähten in 4 cm
Abstand

Abstand des Teilchens von Anode aus
Driftgeschwindigkeit und Zeit des
Teilcheneinfalls berechenbar



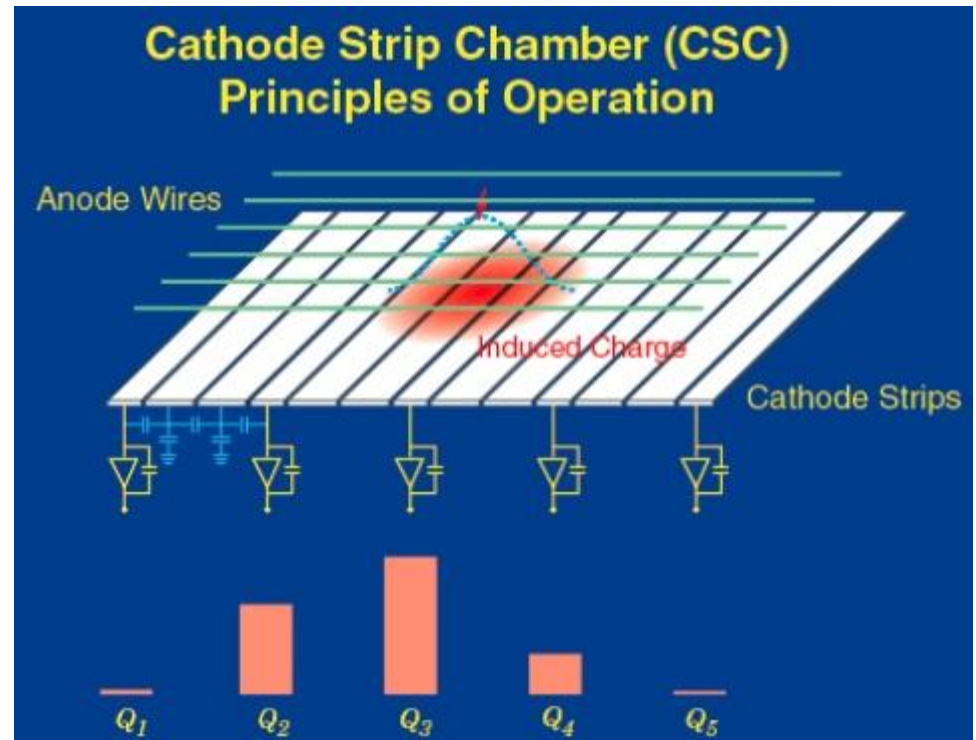
Myonsystem

Kathodenstreifenkammern

Messung auch hier durch
Gasionisation

Positionsbestimmung durch
Schwerpunktbildung

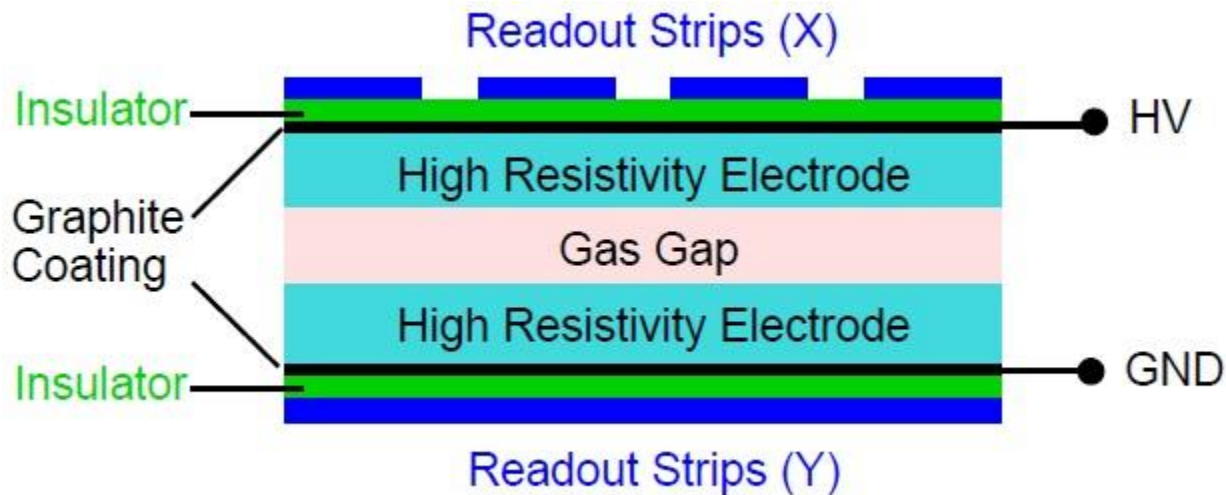
Ladungsmessung durch
Bahnkrümmung im Magnetfeld



Myonsystem

Resistive Plate Chambers

Verwendung: Triggerung

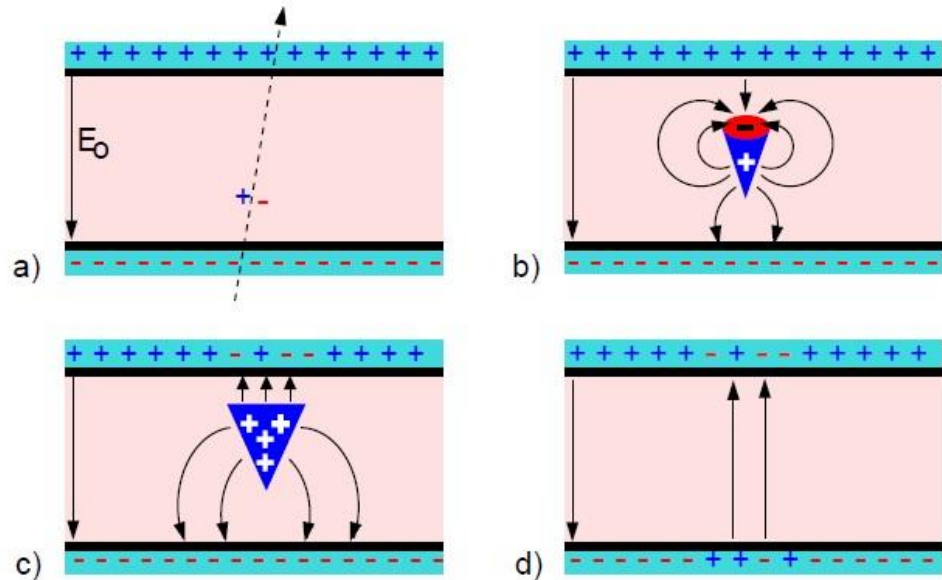


zwei Modi: Avalanche- und Streamer-Modus

Myonsystem

Avalanchemodus

- Einfallendes Teilchen löst Lawine aus
- E-Feld bewirkt Ladungsträgertrennung
- Die Ionen driften langsamer als die Elektronen
- Ladungsträger in der Widerstandsschicht beeinflussen das angelegte E-Feld



Myonsystem

Streamermodus

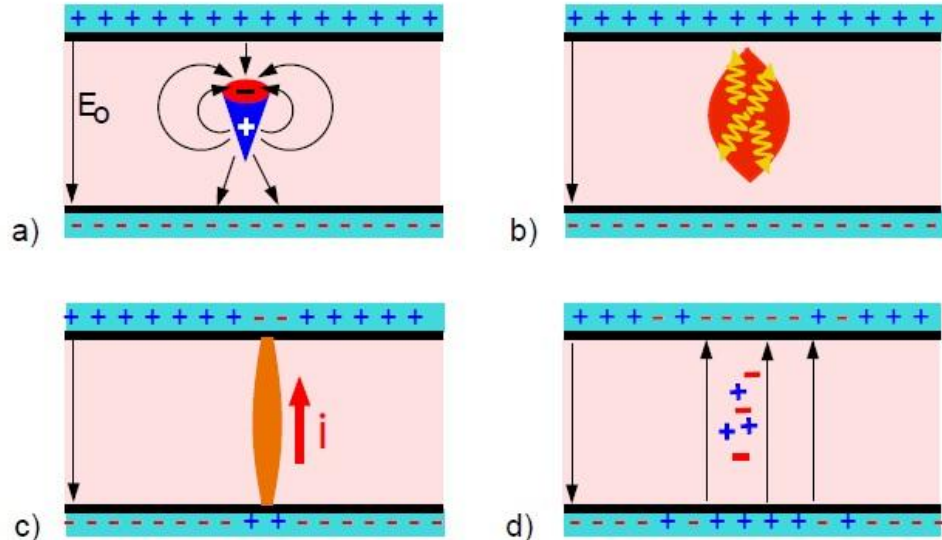
Stärkere Gasionisation als
im Avalanchemodus

a) Ladungstrennung nach
Lawinenbildung

b) Starke Feldentartung

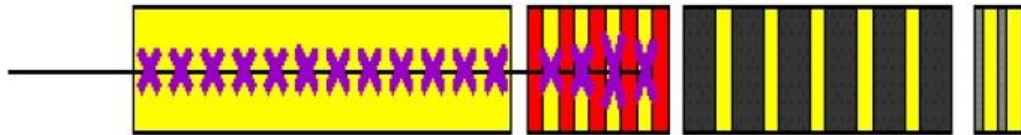
c) Bildung eines leitenden Kanals zwischen den Elektroden. Die
Elektroden entladen sich

d) Starke Verminderung des E-Felds, Detektor hat hier einen blinden
Fleck

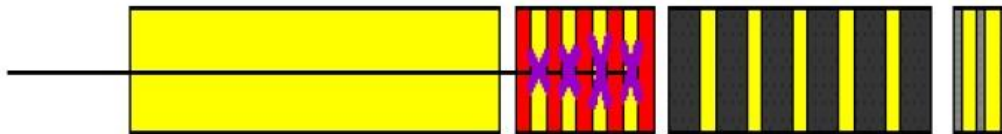


Teilchen im CMS

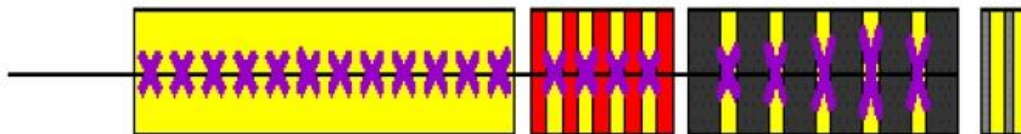
Elektronen: Signal im Spurdetektor, vollständige Energieabgabe im ECAL



Photonen: keine Spur im Tracker, weil ungeladen, Vernichtung im ECAL

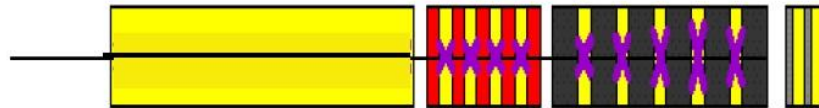


Geladene Hadronen: Spur sichtbar, kaum Signal im ECAL, Vernichtung im HCAL

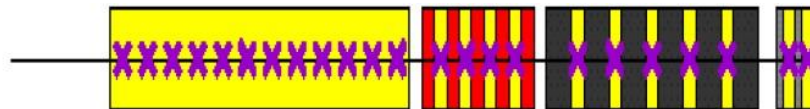


Teilchen im CMS

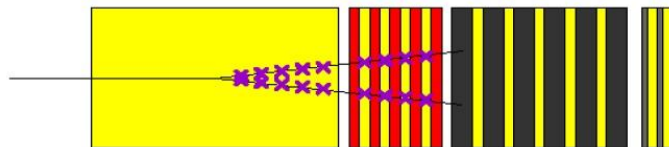
Neutrale Hadronen: keine Spur, schwaches Signal im ECAL, Vernichtung im HCAL



Myonen: Signale in allen Subdetektoren



Kurzlebige Teilchen: Zerfallen in langlebige, Rekonstruktion der Ruhemasse aus Zerfallorte und Impulse der Zerfallsprodukte



Quellen

- Particle Detectors / Gruppen, Claus, 2008
- Detektoren für Teilchenstrahlung / Kleinknecht, Konrad, 2005
- Teilchen-Detektoren / Allkofer, Otto C., 1971
- <http://www.hephy.at/project/halbleiter/VOSkriptum/VO-4-Halbleiterdetektoren.pdf>
- <http://cmsinfo.web.cern.ch/cmsinfo/Detector/>
- Folien der Physik VI Vorlesung der Universität Karlsruhe WS08/09
- CMS Physics Technical Design Report Volume 1, 2006

Eindringtiefe

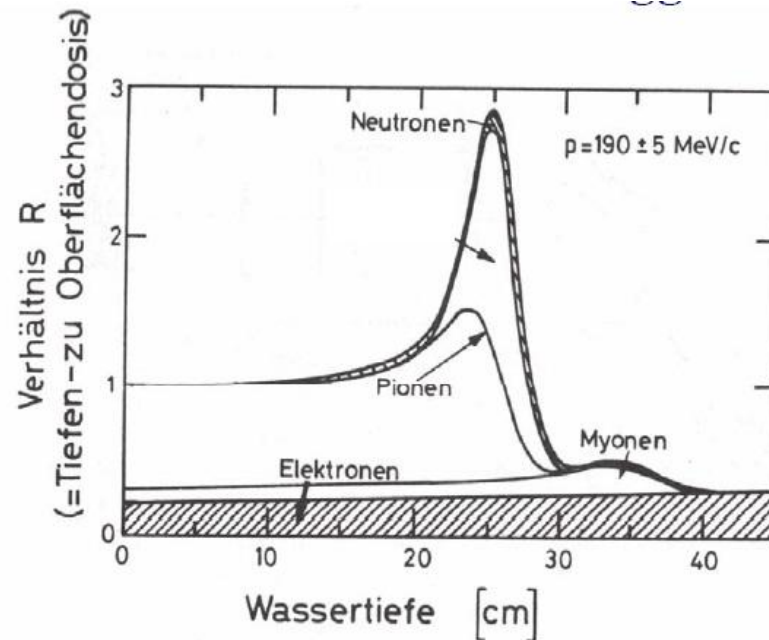


Abb. 9.5 Tiefenprofile der Energieabgabe von negativen Pionen, Myonen, Elektronen und Neutronen [216].