Vortrag zum Modul Spezialisierung der Forschungsphase

Johannes Giarra

22. September 2015

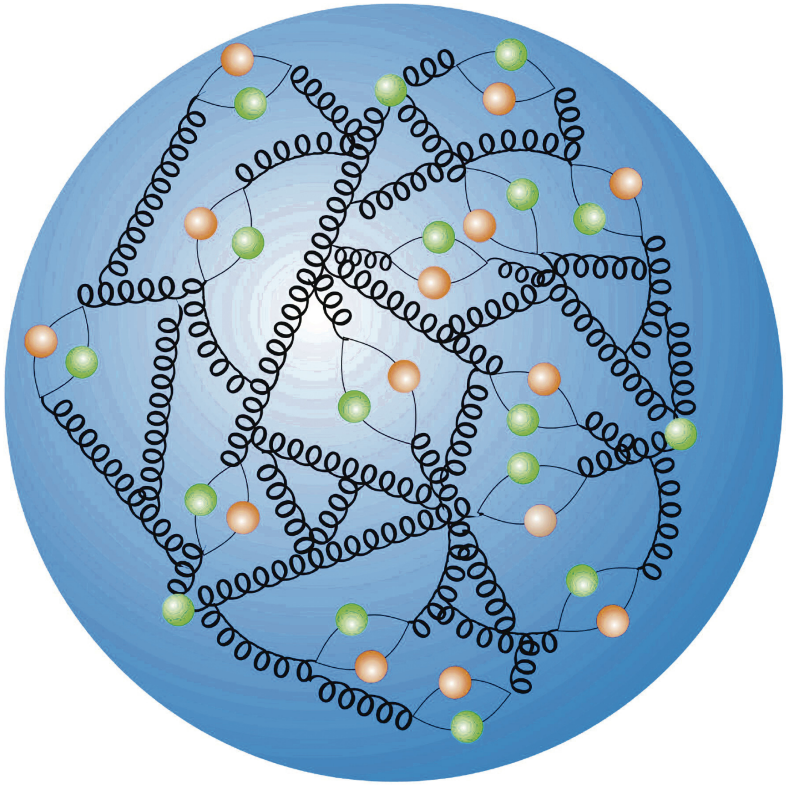
Motivation

Grundlegende Frage:
Aus was setzt sich die uns umgebende Materie zusammen?

$$\text{Atom} \approx 10^{-10}\ \text{m}$$
$$\text{Nukleus} \approx 10^{-14}\ \text{m}$$
$$\text{Nukleon} \approx 10^{-15}\ \text{m}$$
$$\ldots$$

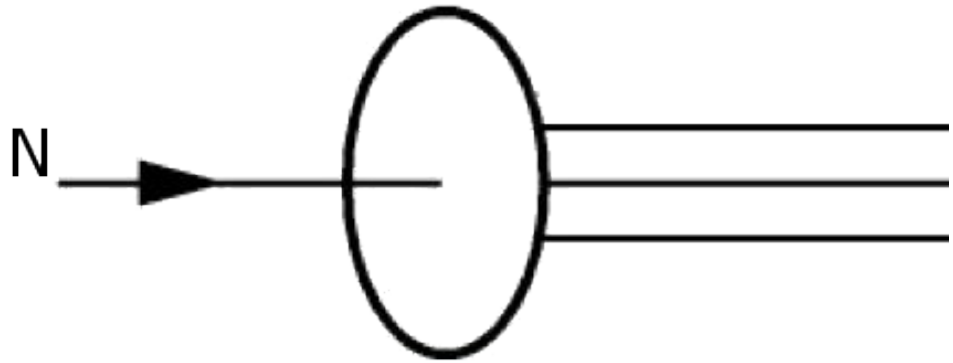
Struktur des Nukleons

- 3 Valenzquarks
- Gluonen
- Seequarks



$\rightarrow$ Beschrieben durch Quark-Parton Modell (QPM)

Quark-Parton Modell (QPM)



Annahmen

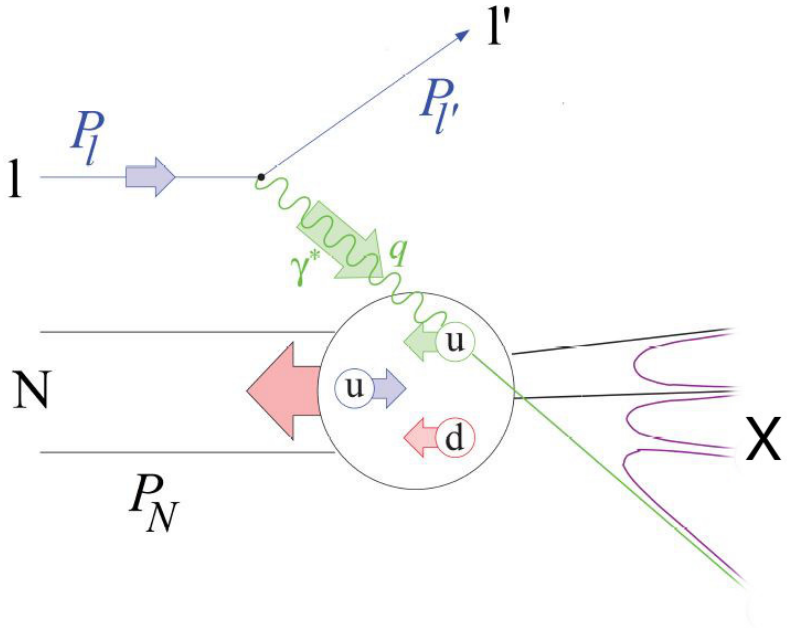
schnelles BZ d.h. p_T und Ruhemasse vernachlässigbar
$\Rightarrow$ innere Struktur durch p_L bestimmt

- Zerlegen in "freie" Partonen
- Struktur durch Strukturfunktionen

$\rightarrow$ Zugang durch tief inelastische Streuung (DIS)

DIS

$$l + N \rightarrow l' + X$$



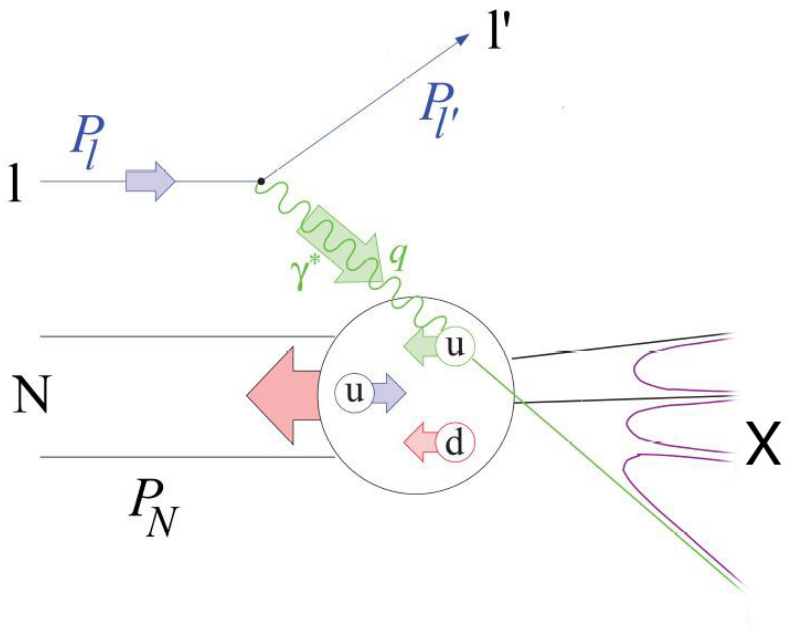
- inklusiv
- semi-inklusiv
- exklusiv

kin. Variablen:

- $y = \frac{\nu}{E}$ mit $\nu = E - E'$
- $q^2 = -Q^2 = (P_l - P_{l'})^2$: Impulsübertrag durch virt. Photon
- $W^2 = (P_N + q)^2 = M^2 + 2M\nu - Q^2$: invariante Masse
  mit $W \geq M$
- $x_{Bj} = \frac{Q^2}{2M\nu}$
  inelastische Streuung $0 < x_{Bj} < 1$

DIS

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE'} = \frac{\alpha_{em}^2}{Q^4}\frac{E}{E'}L_{\mu\nu}W^{\mu\nu}$$



$L_{\mu\nu}$: Leptonischer Tensor
Streuung des Leptons am Nukleon $\rightarrow$ QED

$W^{\mu\nu}$: Hadronischer Tensor
innere Struktur des Hadrons $\rightarrow$ parametrisiert durch Strukturfunktionen: $F_1(x_{Bj})$, $F_2(x_{Bj})$ (unpolarisiert)
$g_1(x_{Bj})$, $g_2(x_{Bj})$ (polarisiert)

unpolarisierte Parton-Verteilungsfunktionen (PDF)

QPM: WQ für em. Streuung am Quark $\propto e_q^2$ (Ladung)

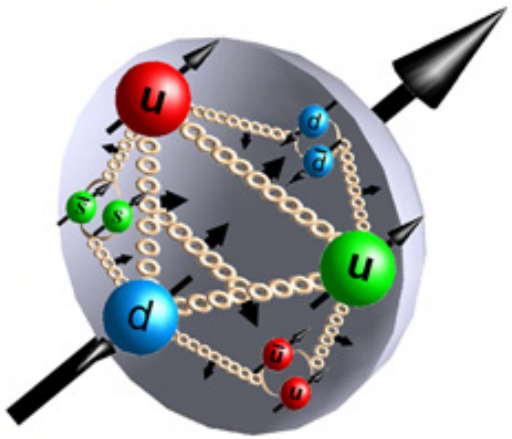
$$F_2(x_{Bj}) = x_{Bj} \sum_f e_q^2 (q_f(x_{Bj}) + \overline{q}_f(x_{Bj}))$$
$$F_1(x_{Bj}) = \frac{1}{2} \sum_f e_q^2 (q_f(x_{Bj}) + \overline{q}_f(x_{Bj}))$$

$q_f(x_{Bj})$: Verteilungsfunktion der Quarkimpulse
$\overline{q}_f(x_{Bj})$: Verteilungsfunktion der Antiquarkimpulse

$\Rightarrow$ $q_f(x_{Bj})dx_{Bj}$: Wahrscheinlichkeit ein Quark des Typs f mit Impulsbruchteil x_{Bj} im Intervall $[x_{Bj}, x_{Bj} + dx_{Bj}]$

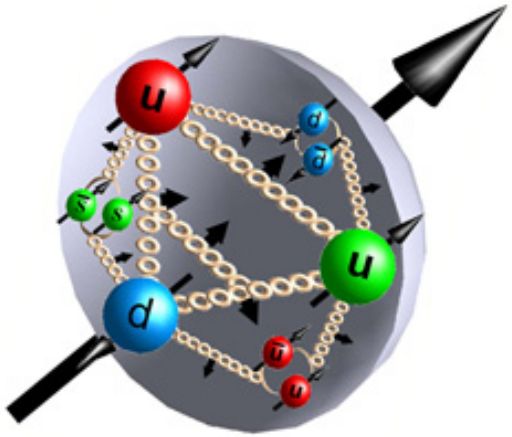
Durch Ermittlung des WQ Zugriff auf PDFs $\rightarrow$ Nukleonstruktur

Spin des Nukleons



Naiv:
Nukleonenspin = Summe der Spins der Valenzquarks

Spin des Nukleons



Nukleonenspin $\neq$ Summe der Spins der Valenzquarks

$\rightarrow$ **SPIN-KRISE**

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2}\sum_q + \sum_g + L_q + L_g$$

$$\sum_q = \sum_f \Delta q_f(x_{Bj})$$

polarisierten PDFs:

$\Delta q_f(x_{Bj}) = q_f^{\uparrow\Uparrow}(x_{Bj}) - q_f^{\uparrow\Downarrow}(x_{Bj}) \rightarrow$ Helizitätsverteilung der Quarks

QPM: polarisierte Strukturfunktionen

$$g_1(x_{Bj}) = \frac{1}{2}\sum_f e_f^2 \Delta q_f(x_{Bj})$$

$g_2(x_{Bj}) = 0 \rightarrow$ nicht durch PDF beschreibbar

Zugriff auf flavourseparierte pol. PDF $\rightarrow$ **SIDIS**

SIDIS

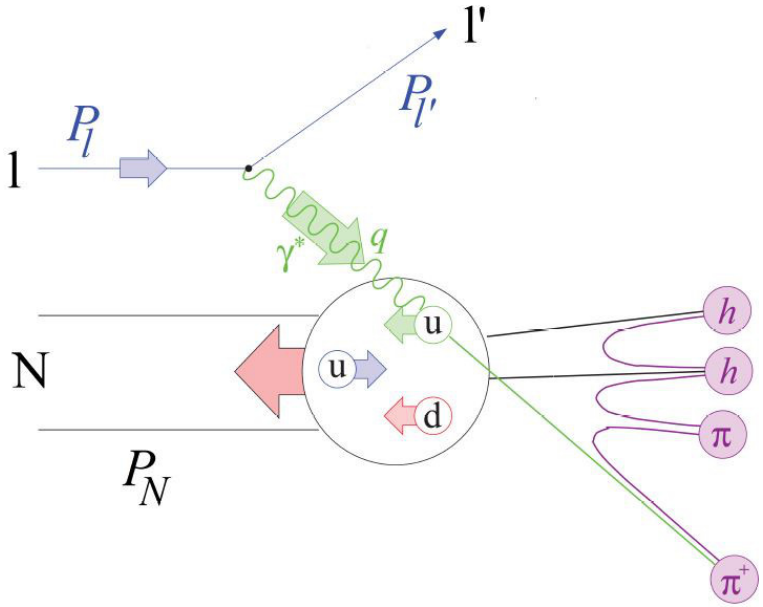
$$l + N \rightarrow l' + h + X$$

zusätzliche kin. Variable:

$$z = \frac{E_h}{\nu}$$

$\rightarrow$ **Hadronisierungsprozess**

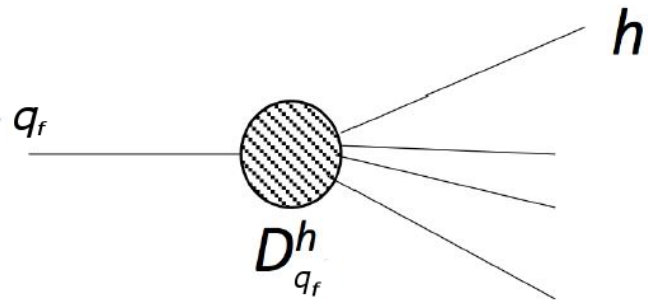
- Hadronen aus Resten des Nukleons
- Hadronisation des Quarks



Hadronisierungsprozess

Prozess (in LO) als Produkt 2er Anteile:

- Absorption des virtuellen Photons durch ein Quark $\propto q_f(x_{Bj})$
- Fragmentation des Quarks $\propto D^h_{q_f}(z)$
  $\rightarrow$ Fragmentationsfunktionen FF



$D^h_{q_f}(z) \rightarrow$ beschreibt die Anzahl der Hadronen h mit dem Impulsbruchteil z die man aus dem Quark q_f erhält

$\rightarrow$ **Faktorisierungsansatz**

$$\sigma^h = \sum_f \sigma^0 \otimes q_f(x_{Bj}) \otimes D^h_{q_f}(z)$$

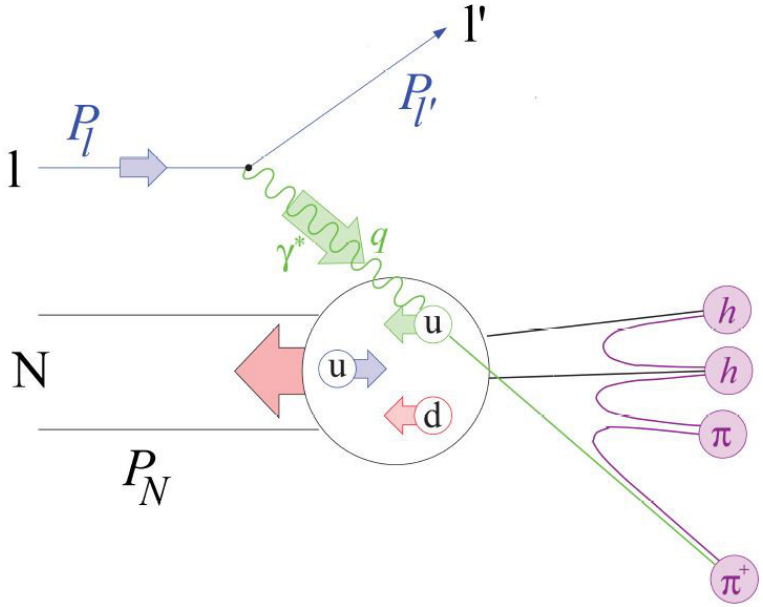
$\rightarrow$ experimenteller Zugang durch Multiplizitäten

$$M^h(x_{Bj}, z) = \frac{N^h(x_{Bj},z)}{N^{DIS}(x_{Bj})} = \frac{1}{\sigma^{DIS}} \frac{d\sigma^h}{dx_{Bj}dz} = \frac{\sum_f e^2_{q_f} q_f(x_{Bj}) D^h_{q_f}(z)}{\sum_f e^2_{q_f} q_f(x_{Bj})}$$

SIDIS

$$l + N \rightarrow l' + h + X$$

zusätzliche kin. Variable:
$$z = \frac{E_h}{\nu}$$



Information über Hadronisierung → Zugriff auf FF (flavoursensitiv)

Zugriff auf flavourseparierte pol. PDF ?

Spinasymmetrie Lepton-Nukleon WQ:

$$A^{lN} = \frac{d\sigma^{\uparrow\Downarrow} - d\sigma^{\uparrow\Uparrow}}{d\sigma^{\uparrow\Downarrow} + d\sigma^{\uparrow\Uparrow}} = \frac{g_1^h}{F_1^h} = \frac{\sum_f e_{q_f}^2 \Delta q(x_{Bj}) D_{q_f}^h(z)}{\sum_f e_{q_f}^2 q(x_{Bj}) D_{q_f}^h(z)}$$

→ Zugriff auf flavourseparierte $\Delta q(x_{Bj})$

Bis jetzt...

Verfahren zur Bestimmung der unpolarisierten und polarisierten PDF
$\rightarrow$ Informationen über Impuls- und Helizitätverteilung der Quarks im Nukleon

Problem: Bisher nur Abhängigkeiten vom longitudinalen Impulsbruchteil x_{Bj} betrachtet

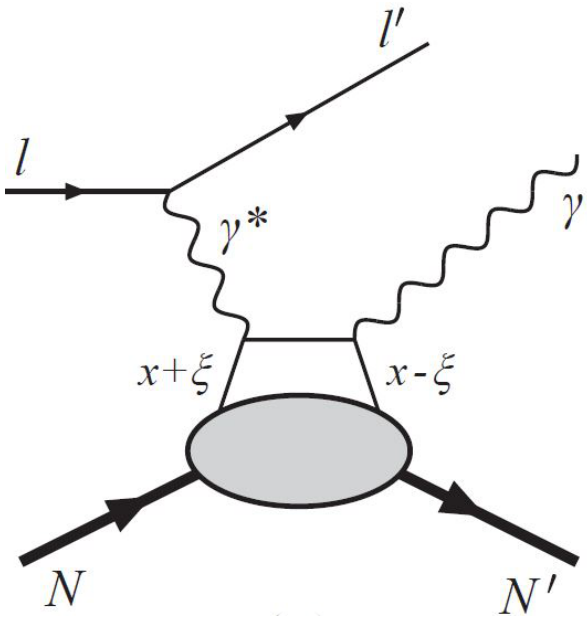
$\rightarrow$ nur 1 dimensionale Abbildung des Nukleons!

Für 3 dimensionales Bild muss auch Verhältnis der Partonen untereinander bestimmt werden

$\rightarrow$ Nur bei Prozess möglich bei dem Nukleon vor und nach der Reaktion intakt ist

Tief virtuelle Compton-Streuung (DVCS)

$$l + N \rightarrow l' + N' + \gamma$$



kin. Variablen:

- $t = -\Delta^2 = (P_N - P_{N'})^2$
- x : mittlere longitudinale Impulsbruchteil des Quarks in der Quarkschleife
- $\xi = x_{Bj} \frac{1+\frac{\Delta^2}{2Q^2}}{2-x_{Bj}+x_{Bj}\Delta^2 2Q^2}$: longitudinale Impulsbruchteil von Δ

Korrelation von Anfangs- und Endzustand des Quarks
$\rightarrow$ generalisierte Parton Verteilungsfunktionen (GPDs)

generalisierte Parton-Verteilungsfunktionen (GPD)

GPDs:

$H^f(x,\xi,\Delta^2)$, $\widetilde{H}^f(x,\xi,\Delta^2)$: Erhalten den Nukleonenspin

$E^f(x,\xi,\Delta^2)$, $\widetilde{E}^f(x,\xi,\Delta^2)$: Umkehren des Nukleonenspin

$\tilde{}$ $\rightarrow$ sind abhängig vom Partonspin

BZ des QPM:

ξ charakteristische Richtung des Impulsübertrags relativ zur Richtung des Nukleonenimpulses

$\xi = 0 \rightarrow$ Beide Impulse $\perp$ d.h. nur transversaler Impulsübertrag auf Nukleon

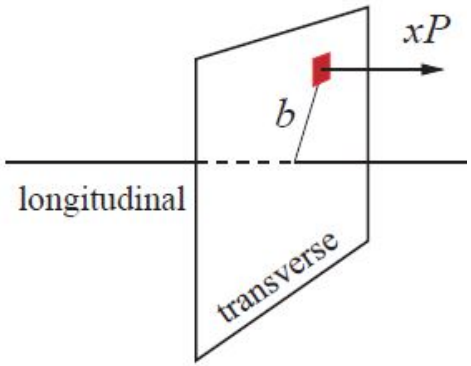
Lässt sich zeigen:

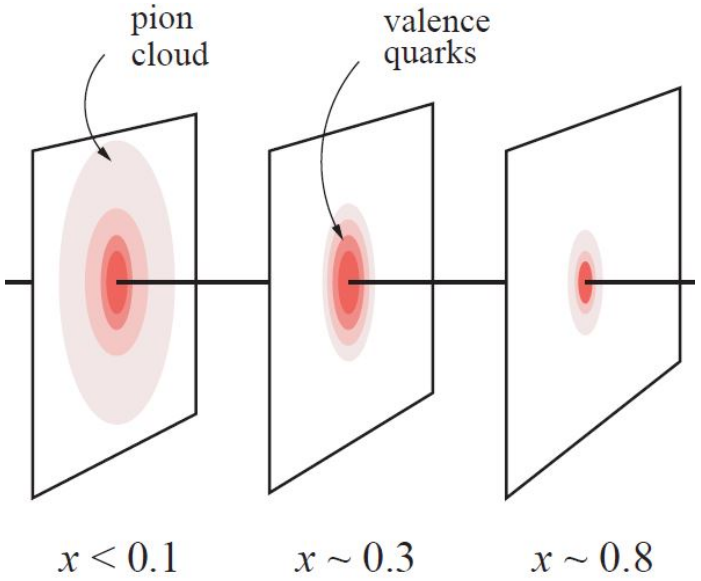
$$q^f(x,\vec{b}_\perp) = \int \frac{d^2\Delta_\perp^2}{(2\pi)^2} e^{-i\Delta_\perp \vec{b}_\perp} H^f(x,\xi,\Delta_\perp^2)$$

$\vec{b}_\perp$:Entfernung vom Impulsschwerpunkt des Nukleons

d.h. FT von $H^f(x,\xi,\Delta_\perp^2)$ gibt räumliche Verteilung der Partonen in Abhängigkeit des Stoßparameters $\vec{b}_\perp$

generalisierte Parton-Verteilungsfunktionen (GPD)





nochmal zurück...

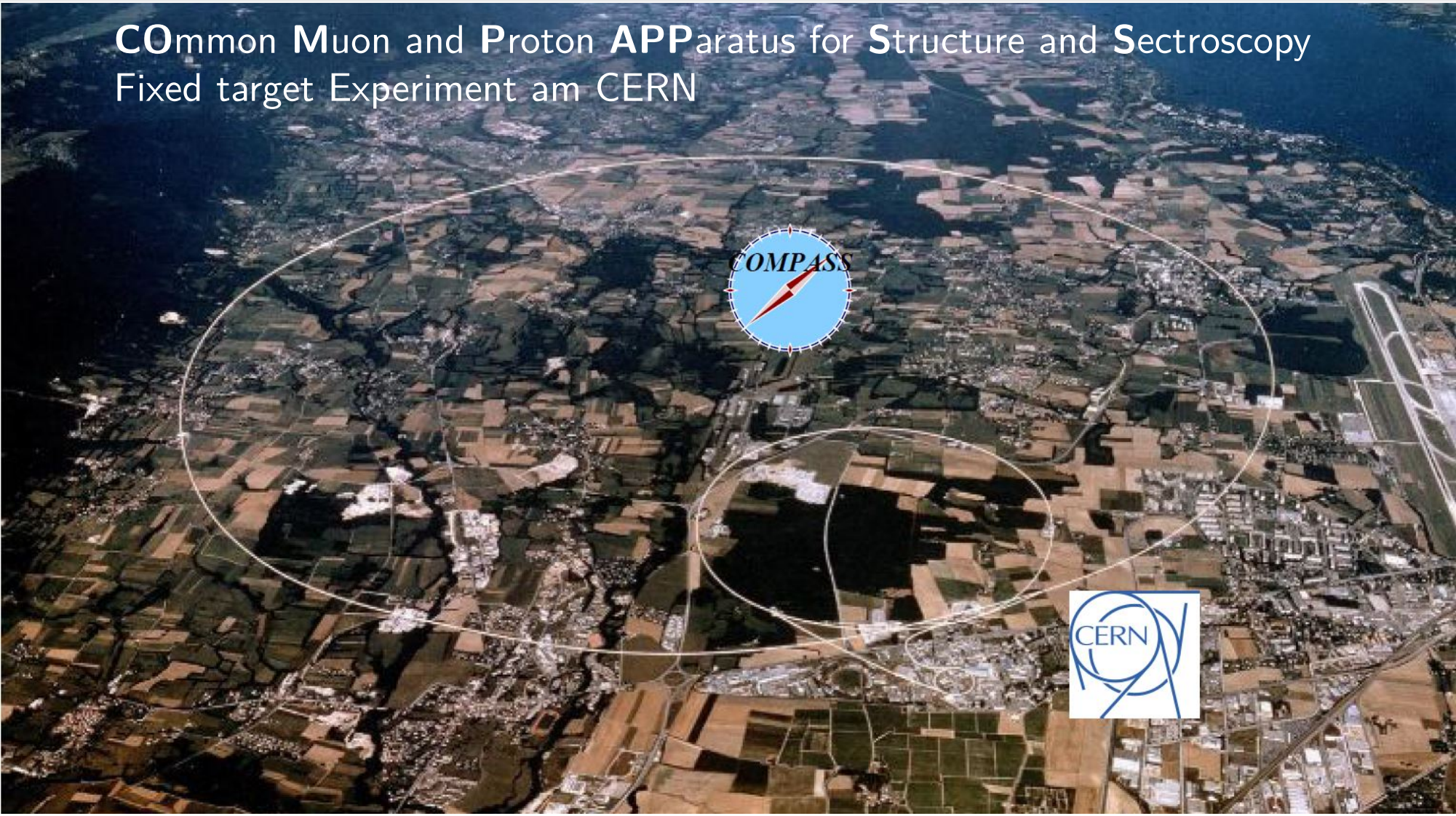
$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2}\sum_q + \sum_g + L_q + L_g$$

Jis-Summenregel:

$$J^f = \frac{1}{2}\lim_{t\to 0}\int_{-1}^{1} dx\; x[H^f(x,\xi,\Delta^2) + E^f(x,\xi,\Delta^2)]$$

$\rightarrow$ Möglichkeit L_q zu bestimmen

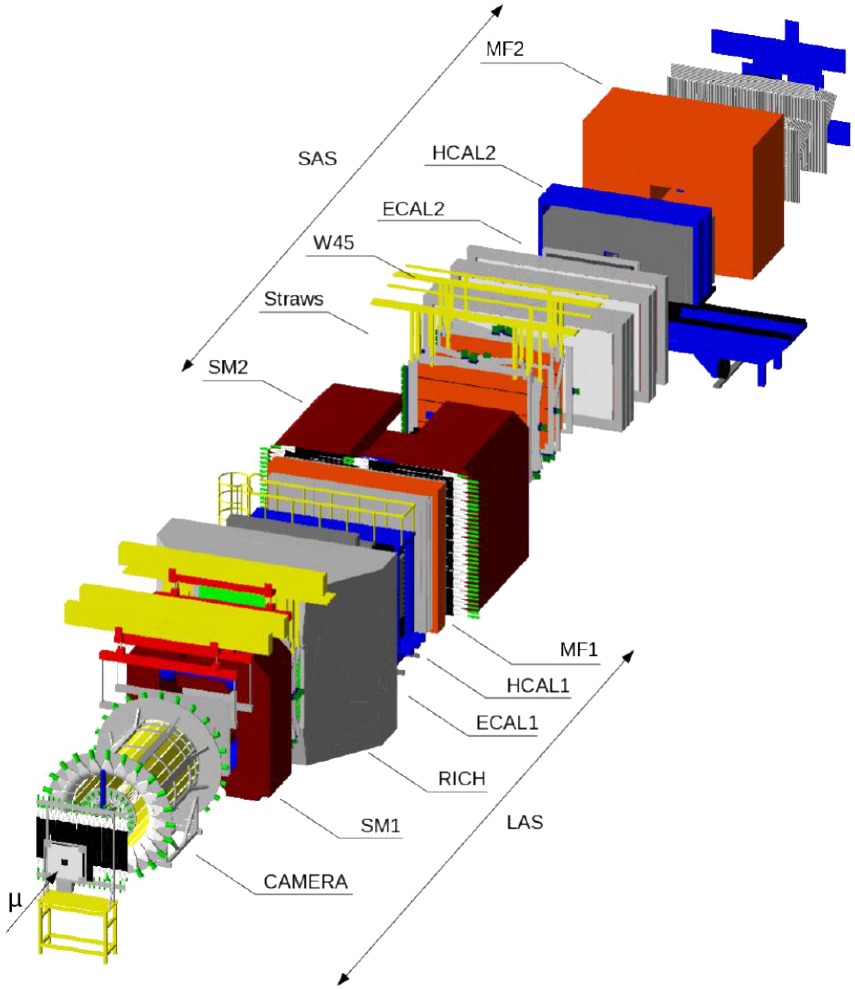
Das COMPASS Experiment



COMPASS Experiment: Übersicht 2012 Setup

Eigenschaften:

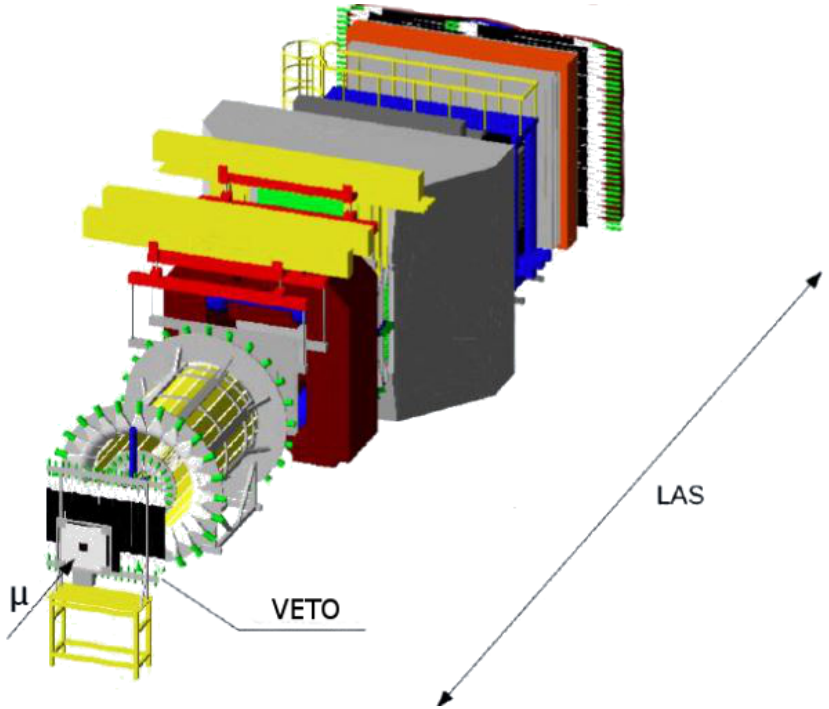
- Polarisierter μ-Strahl (160-200 GeV)
- Polarisierbares Target vorhanden
- Großen Q^2 und x_{Bj} Bereich
- Gute Winkelakzeptanz und Winkelauflösung
  SAS $\leq$ 30 mrad
  LAS bis 180 mrad



Beamline

Impulsbestimmung der μ durch BMS

Nach SPS Halo um Strahl
$\rightarrow$ Veto Trigger
  $\rightarrow$ Outer 30x30 cm^2 Loch
    $\approx$ 7% des Strahls
  $\rightarrow$ Inner 4x4 cm^2 Loch
    $\approx$ 16% des Strahls

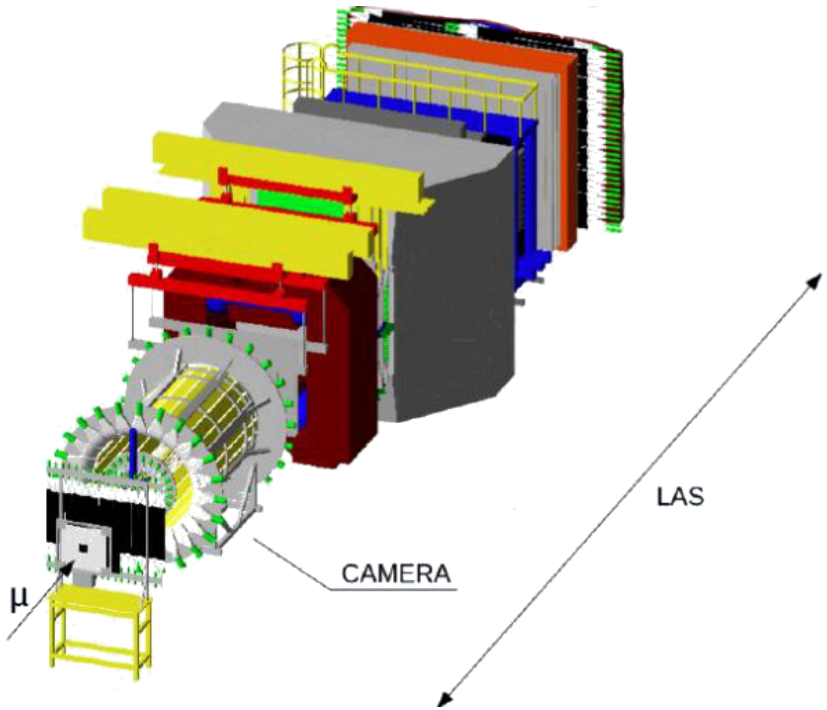


COMPASS Experiment: Target und CAMERA

Target: lH_2
COMPASS **A**pparatus for **M**easurements of **E**xclusive **R**e**A**ctions

Nachweis der Rückstoßprotonen
$\rightarrow$ wesentlich für GPD

Szintillationsstreifen als 2 konzentrische Ringe um Target
$\Rightarrow$ Flugzeit zwischen Ringen
$\rightarrow$ Spurrekonstruktion des Protons
$\rightarrow$ Impulsmessung

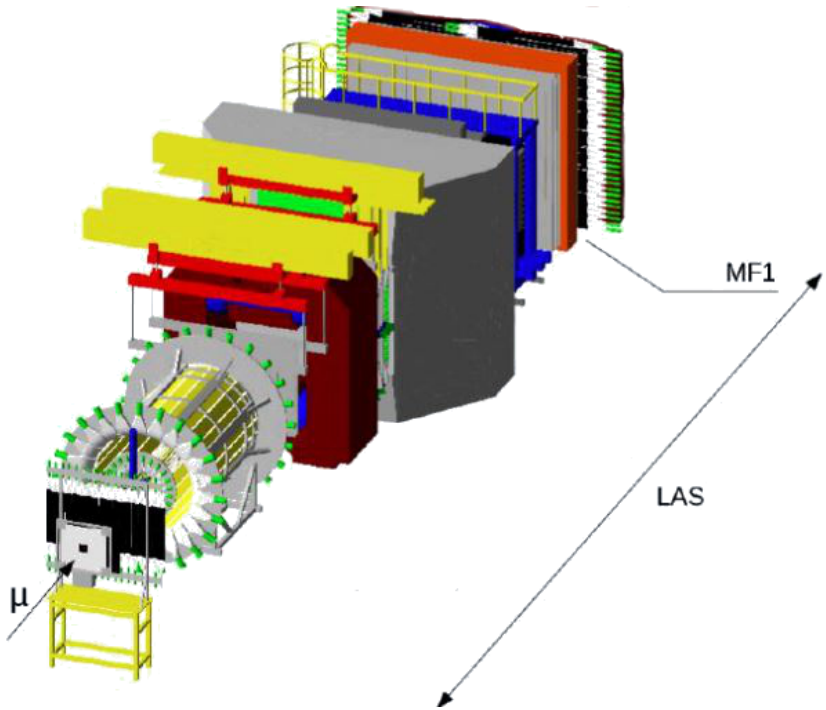


COMPASS Experiment: Muonwall

Aufbau: Detektorstation + 60 cm Eisenabsorber + Detektorstation

Detektorstation:
4 Driftkammern abwechselnd vertikal/horizontal

μ-Identifikation durch rekonstruierte Teilchenspur vor und nach Absorber

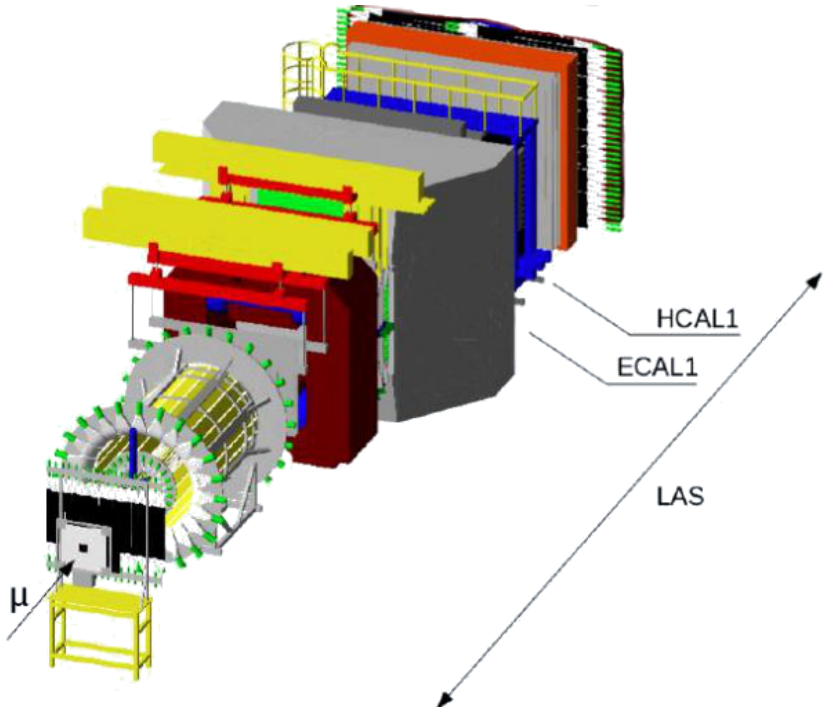


COMPASS Experiment: ECAL und HCAL

ECAL:
Energiemessung von Photonen und Elektronen

- Samplingkalorimeter: abwechselnd Blei-, Plastikszintillatorschichten
- ansonsten Bleiglas + PMTs
  gemessen wird Cherenkovlicht aus e^--e^+-Kaskaden

HCAL:
Energiemessung der Hadronen
abwechselnd Eisen-, Plastikszintillatorschichten
$\rightarrow$Streuung der Hadronen
$\rightarrow$Messung der Hadronschauer

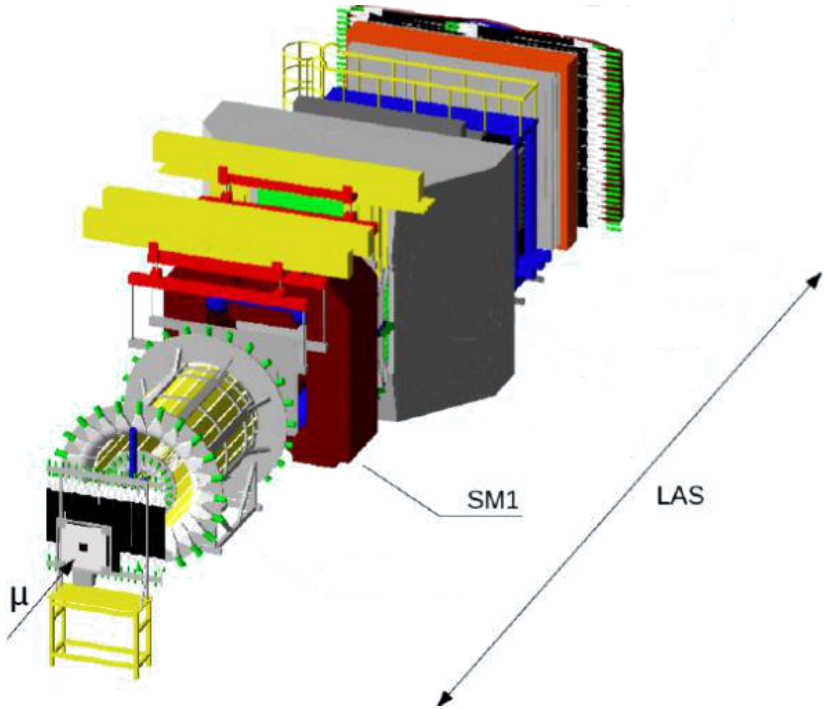


COMPASS Experiment: SM1 und Spurdetektoren

Spurdetektoren:

- VSAT (2.5-3 cm): SciFi, Pixel-GEM
- SAT (2.5-40 cm): Micromegas
- LAT ($\geq$ 40 cm): Straw-Detektoren, MWPC

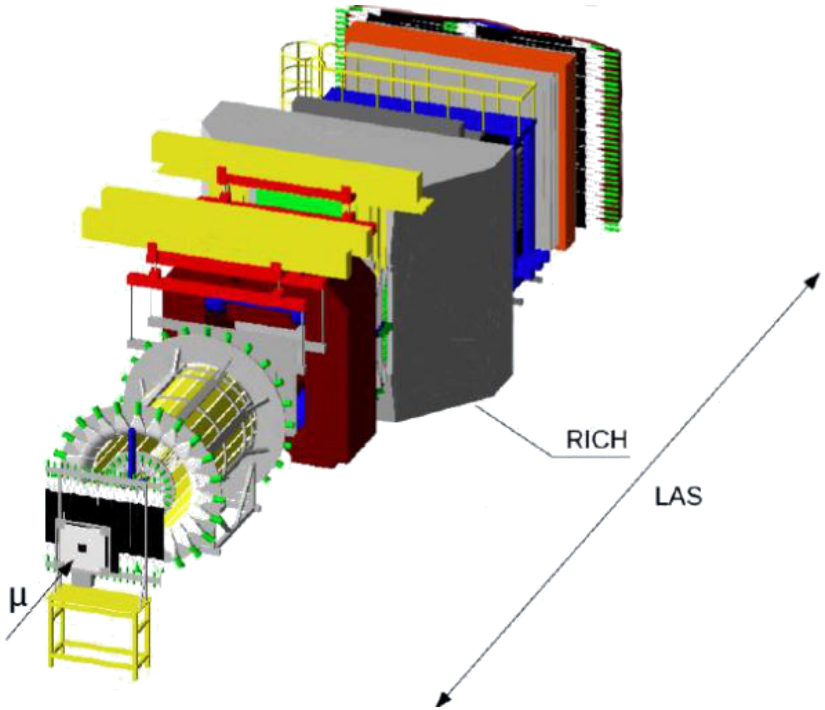
SM1:
Dipol Ablenkmagnet



$\Rightarrow$ **Ablenken + Spurrekonstruktion = Impulsmessung**

COMPASS Experiment: RICH

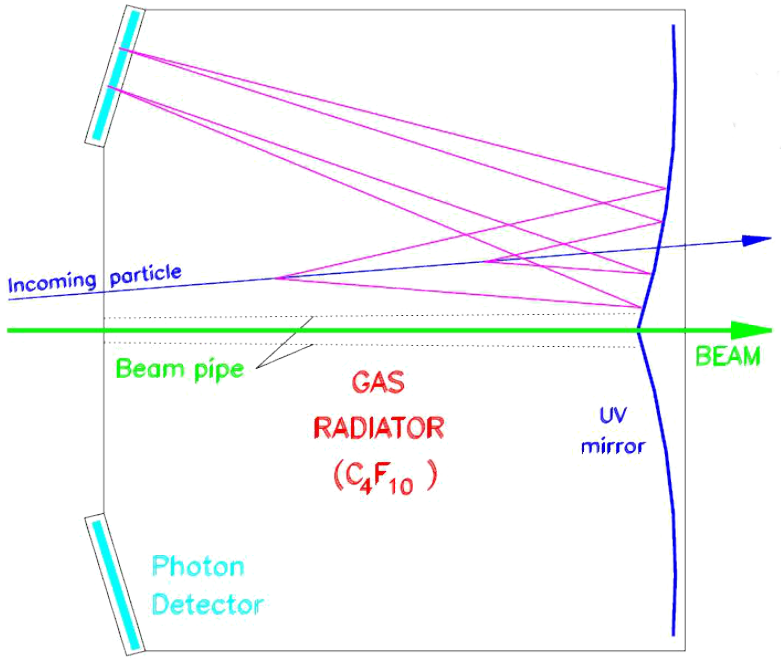
Ring **I**maging **CH**erenkov-Detektor



$\rightarrow$ Hadronenidentifikation

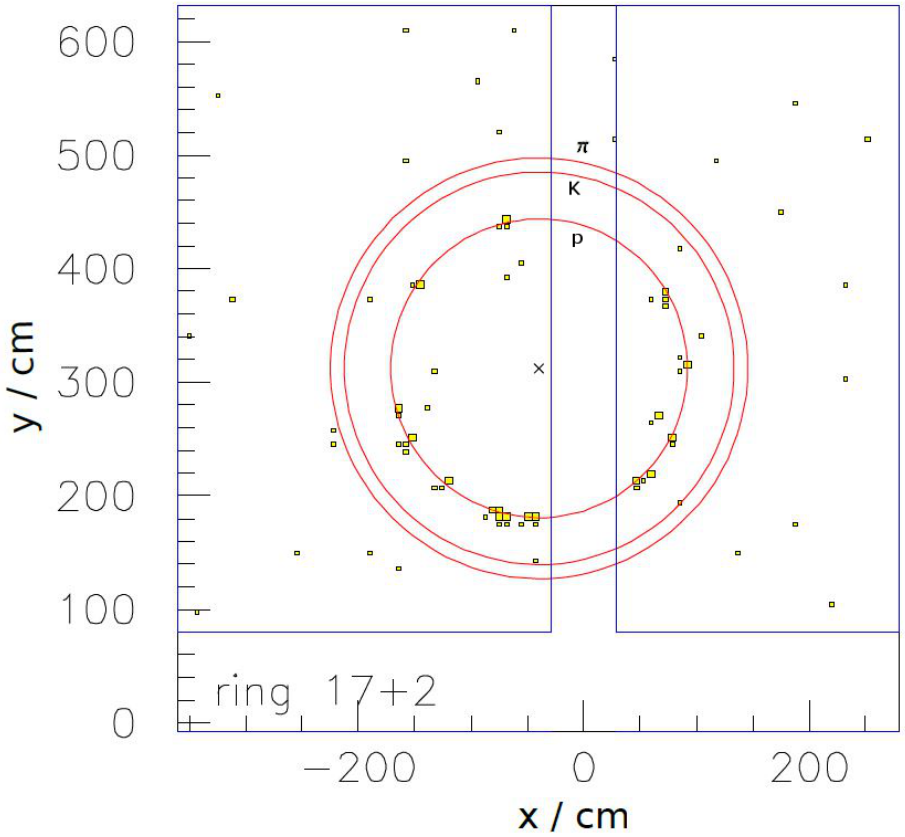
RICH-Funktionsprinzip

- Cherenkoveffekt; Messung des Cherenkovwinkels (Θ_C) $\Rightarrow$ Geschwindigkeitsmessung $\Theta_C = 1/n\beta$
- alle abgestrahlten Photonen entlang der Bahn werden auf Ring projiziert
- jedes einzelne Photon wird durch Photodetektoren nachgewiesen



Likelihood Methode

→ **Grundidee:** Für jede radiale Photonenverteilung eines Teilchen wird eine LH bestimmt

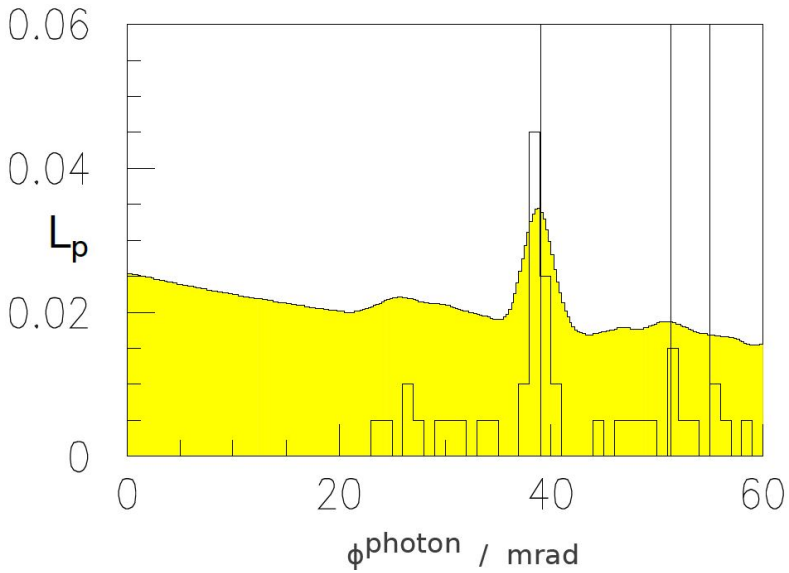


genaueres zur Teilchenidentifikation

Likelihood:

$$L_N = \prod_{k=1}^{N^{photon}} [(1-\epsilon)G(\Theta^{photon}_{rec,k}, \phi^{photon}_{rec,k}) + \epsilon B(\Theta^{photon}_{rec,k})]$$

ϵ: Anteil des Hintergrunds
$G(\Theta^{photon}_{rec,k}, \phi^{photon}_{rec,k})$: Gaußfit des Signals
$B(\Theta^{photon}_{rec,k})$: Fit des Hintergrunds



$\rightarrow$ Vgl. der normierten LH $\rightarrow$ Teilchenidentifikation

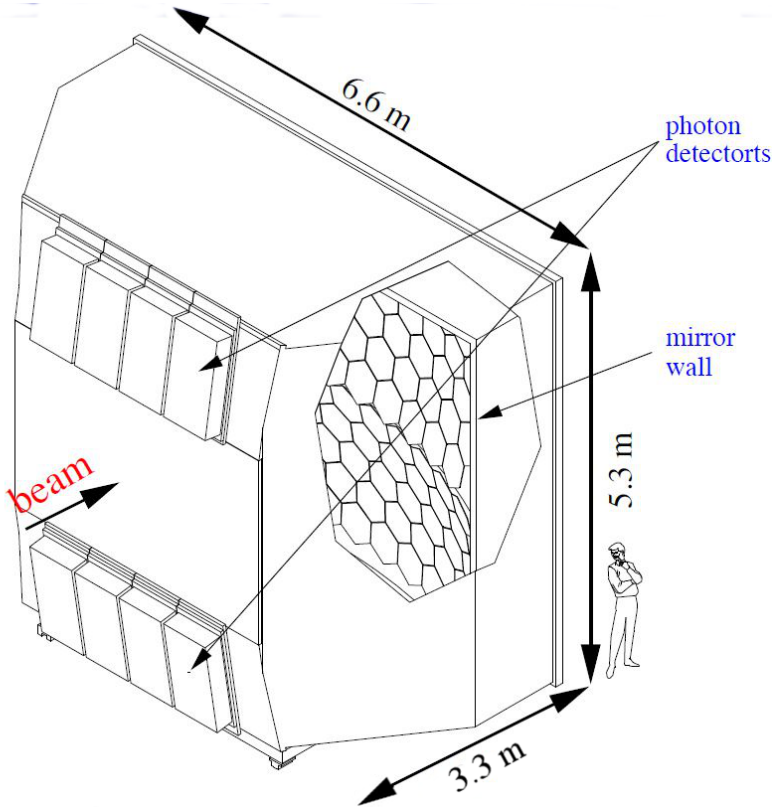
Probleme:

Genaue Kenntnisse des Hintergrunds nötig $\rightarrow$ MC

Ineffizienzen des Detektors d.h LH nicht eindeutig bei wenigen Photonen

technische Details

- Radiatorgas: C_4F_{10} (hochrein)
- Radiatorlänge: 3.3 m
- 21 m^2 sphärische Spiegelfläche aus 116 Einzelspiegeln
- Photodetektoren: MWPCs mit CsI Photokathoden MAPMT (seit Upgrade)



Mein Beitrag

SIDIS
durch Multiplizitäten flavoursensitive Bestimmung der FF

Wesentlich: RICH Effizienzen

$$E(t \to i) = \frac{N^{t \to i}}{N^t} \ (t, i = \pi, K, p)$$

$\to$ lassen sich durch entsprechende Selektion von realen Daten gewinnen

Augehend von 4 Zerfällen:

- $K_0 \to \pi^+\pi^-$
- $\Lambda_0 \to p\pi^-$
- $\overline{\Lambda_0} \to \overline{p}\pi^+$
- $\Phi \to K^+K^-$

$\to$ Teilchenselektion + LH
$\to$ Anzahl der als eine bestimmte Art identifizierten Teilchen durch fit bestimmt

Cuts für K_0 und $\Lambda_0/\overline{\Lambda_0}$ Selektion

Allgemeine Cuts:

- Best prim. Vertex mit ein- und auslaufendem μ
- Vertex innerhalb der Target-Zelle
- $0.1 \leq y \leq 0.9$

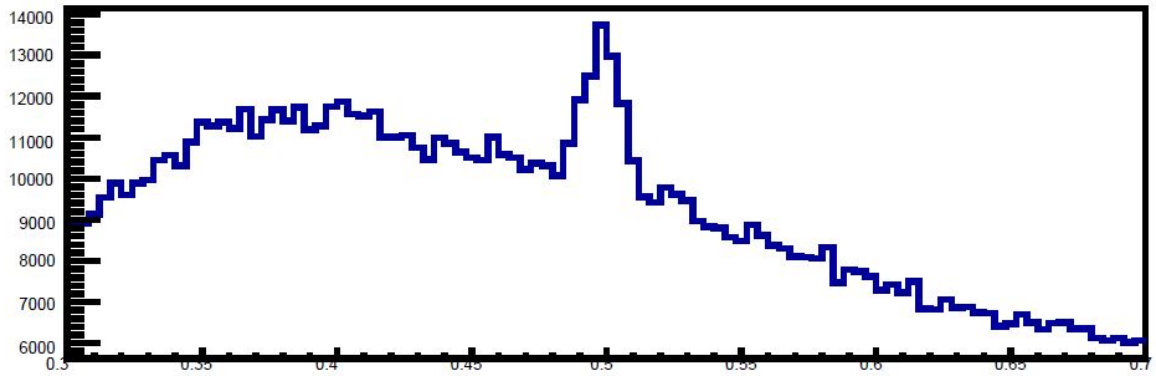
Selektion:

- Vertex is nicht primary
- exakt zwei gegensätzlich geladene auslaufende Teilchen

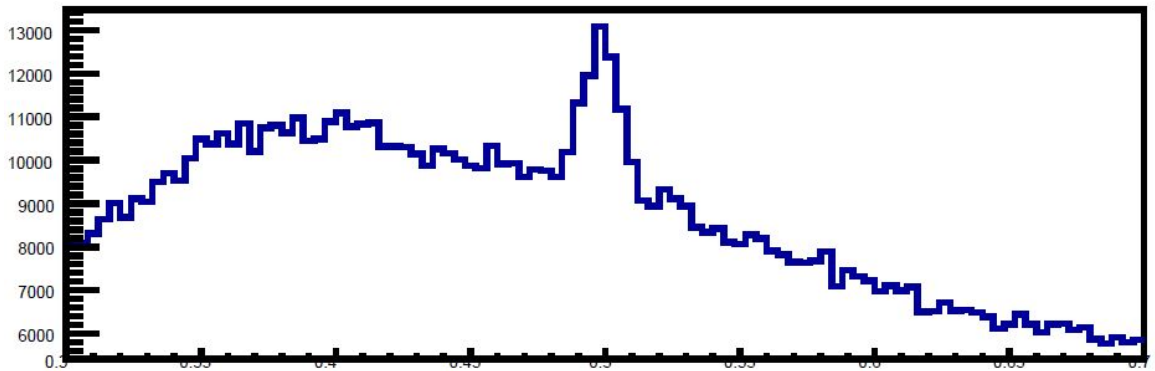
Cuts für K_0 und $\Lambda_0/\overline{\Lambda_0}$ Selektion

Selektion:

- Beide Teilchen haben weniger als 10 Strahlungslängen zurück glegt



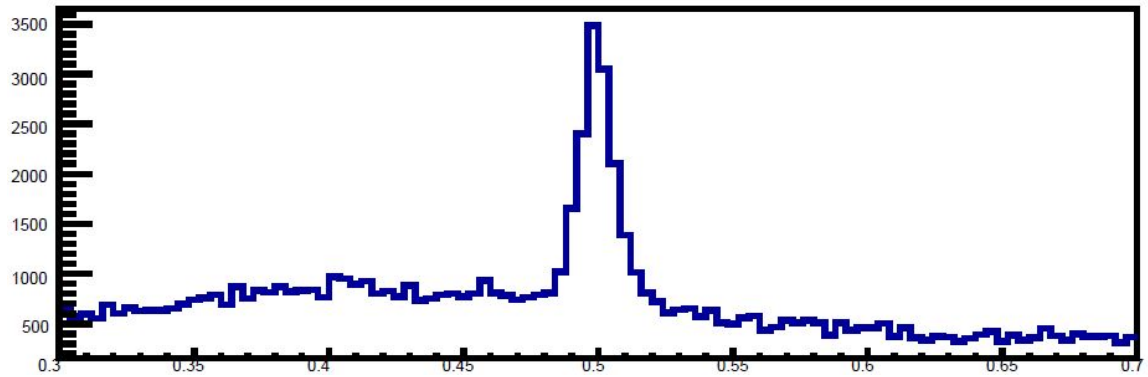
- Impulse sind größer als 1 GeV



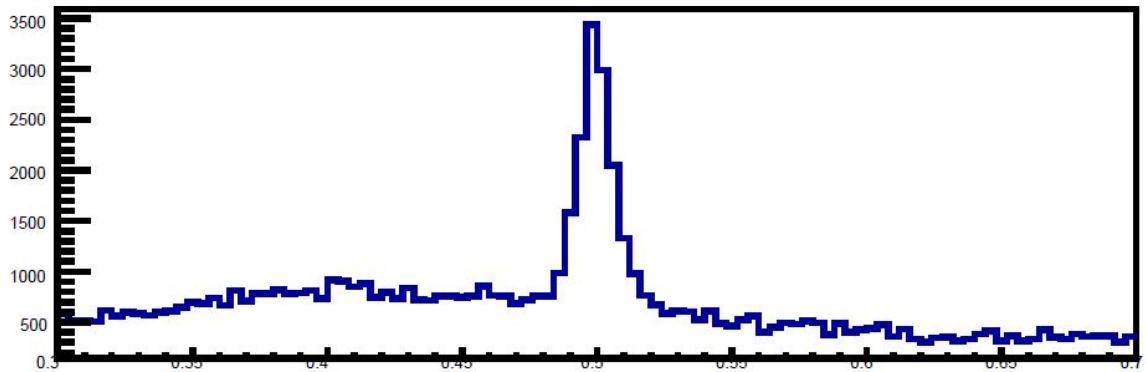
Cuts für K_0 und $\Lambda_0/\overline{\Lambda_0}$ Selektion

Selektion:

- Teilchenspuren nicht mit weiterem prim. Vertex verbunden



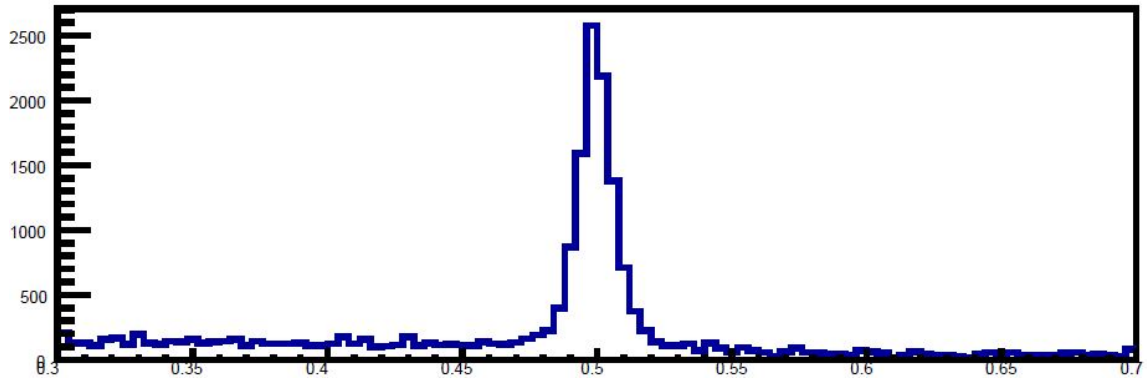
- Letzte gemessene Position hinter SM1



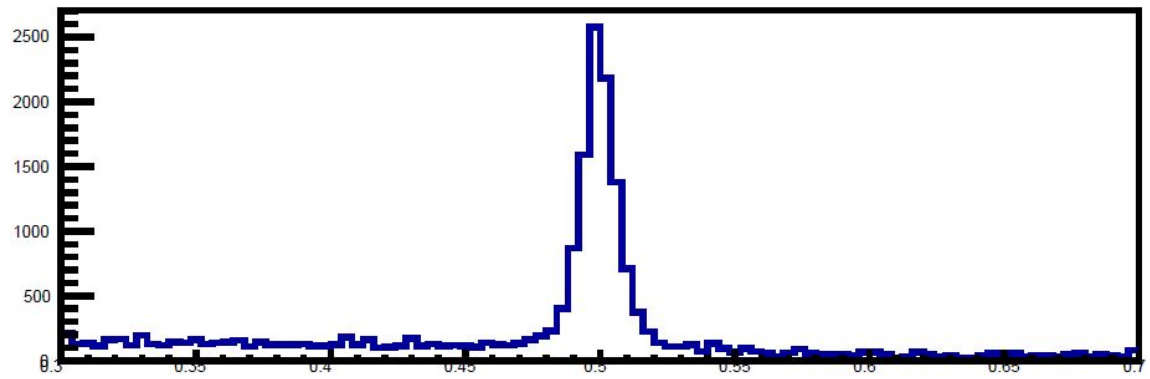
Cuts für K_0 und $\Lambda_0/\overline{\Lambda_0}$ Selektion

Selektion:

- Zerfallenes Teilchen verbunden mit prim. Vertex



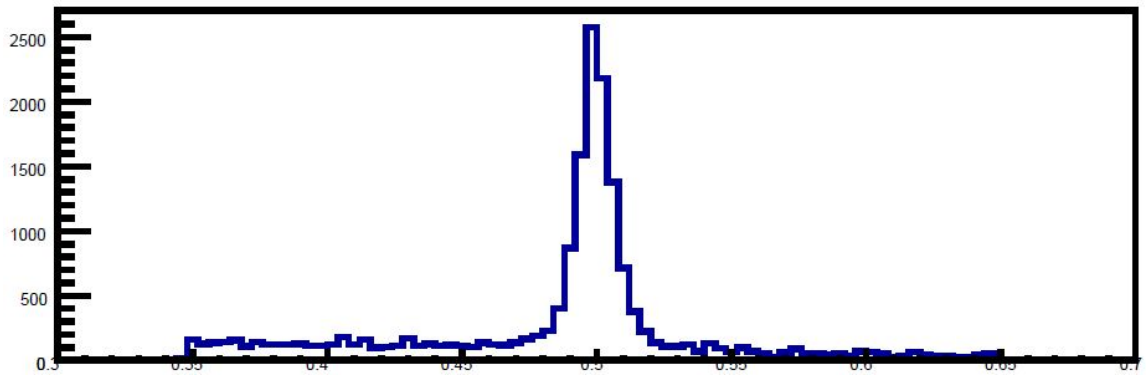
- Prim. und Sec. Vertex sind durch mehr als 2σ getrennt



Cuts für K_0 und $\Lambda_0/\overline{\Lambda_0}$ Selektion

Selektion:

- Massendifferenz zwischen rekonstruiertem und theoretischem Teilchen ist kleiner als 150 MeV/c^2



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!