

Vortrag zum Modul Methodenkenntnis der Forschungsphase:

Bestimmung von Multiplizitäten in Muon-Nukleon-Streuung bei COMPASS

Johannes Giarra



16.12.2015

- keine freien Quarks beobachtbar (Confinement)
- Hadronisierung durch Fragmentationsfunktionen (FF) beschrieben

Quarks \longleftrightarrow Hadron

Wie lassen sich die FF bestimmen?

- Information über Hadron
 - semiinklusive tiefinelastische Lepton-Nukleon Streuung (SIDIS)
- experimenteller Zugriff
 - Hadronmultiplizitäten

Inhalt

- 1 Physikalischer Hintergrund
 - SIDIS
 - FF und Multiplizitäten
- 2 COMPASS Experiment
 - 2012 COMPASS Aufbau
 - RICH-Detektor
 - LH-Methode
 - Teilchenidentifikation am RICH
 - LH Vergleich
- 3 RICH Effizienzen
 - Definition und Methode
 - Datenselektion
 - Teilchenidentifikation in Abhängigkeit vom Impuls und Winkel
 - Fit
 - Berechnung der RICH Effizienzen
- 4 Zusammenfassung und Ausblick

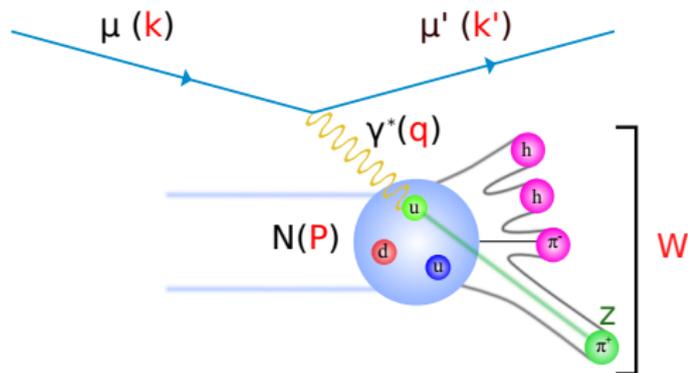
SIDIS

Messmethode der DIS
 → Nachweis von Hadronen

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

kin. Variablen:

- $y = \frac{\nu}{E}$ mit $\nu = E - E'$
- $q^2 = -Q^2 = (k - k')^2$
- $x_{Bj} = \frac{Q^2}{2M\nu}$
- $W^2 = (P_N + q)^2 = M^2 + 2M\nu - Q^2$
- $z = \frac{E_h}{\nu}$

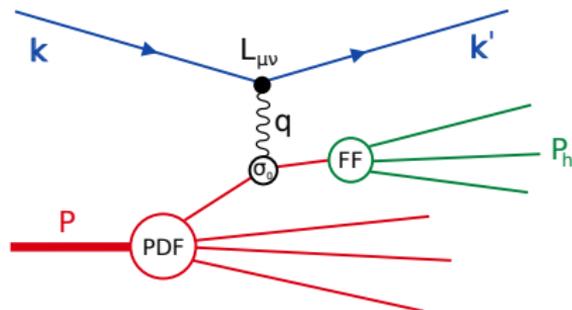


FF und Multiplizitäten

Fragmentationsfunktionen:

$D_{q_f}^h(z)$ → Anzahl der Hadronen h mit Energiebruchteil z aus dem Quark q_f

$$\sigma^h \propto \sigma_0 \otimes q_f(x_{Bj}) \otimes D_{q_f}^h(z)$$

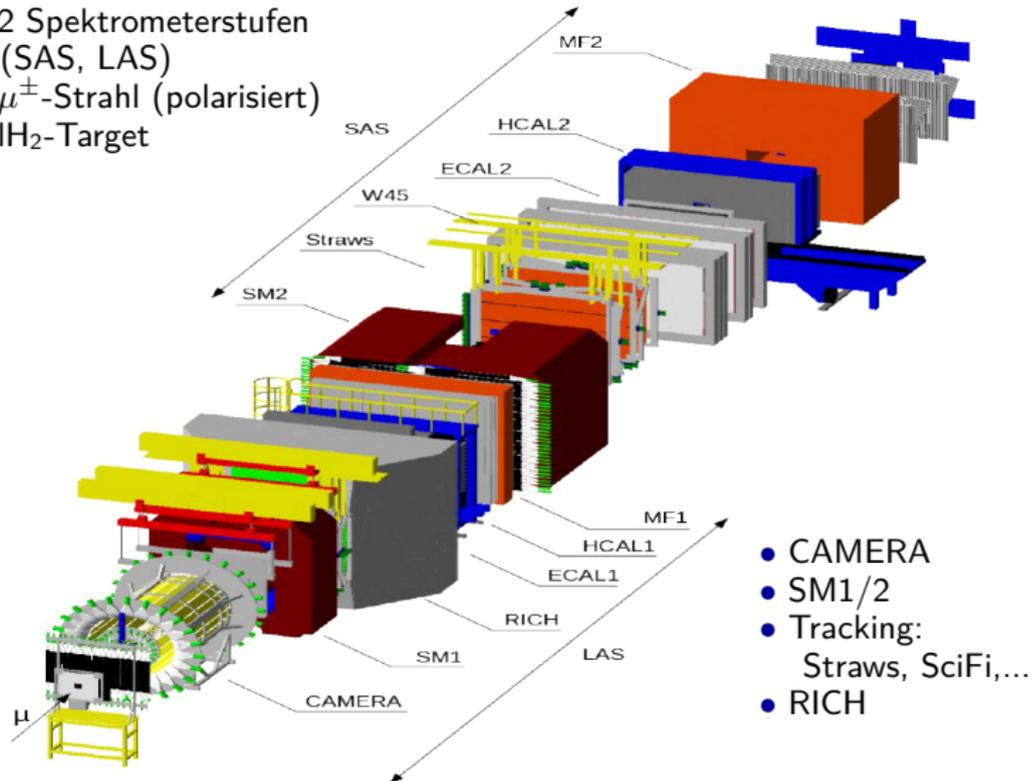


$$M^h(x_{Bj}, z) = \frac{1}{\sigma_{DIS}} \frac{d\sigma^h}{dx_{Bj} dz} \stackrel{LO}{=} \frac{\sum_f e_{q_f}^2 q_f(x_{Bj}) D_{q_f}^h(z)}{\sum_f e_{q_f}^2 q_f(x_{Bj})} = \frac{N_h(x_{Bj}, z)}{N_{DIS}(x_{Bj})}$$

⇒ experimenteller Zugang durch **Hadronmultiplizitäten**

COMPASS Aufbau 2012

- 2 Spektrometerstufen (SAS, LAS)
- μ^\pm -Strahl (polarisiert)
- IH_2 -Target

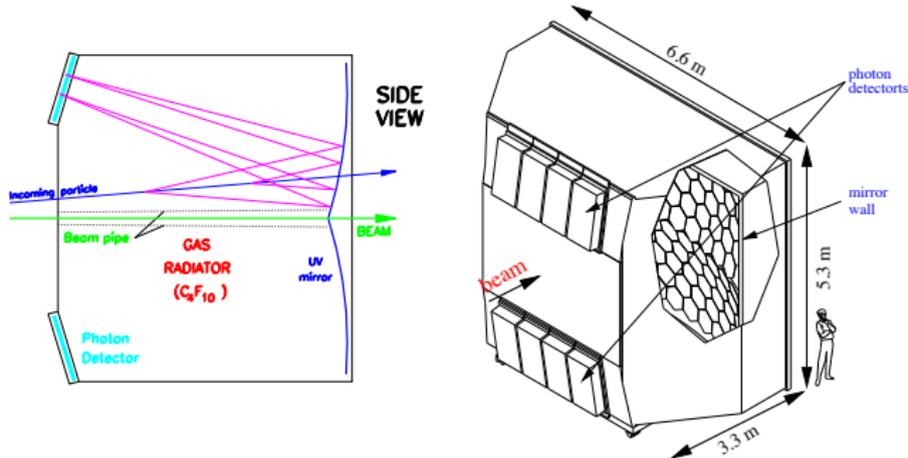


- CAMERA
- SM1/2
- Tracking:
Straws, SciFi,...
- RICH

RICH-Detektor

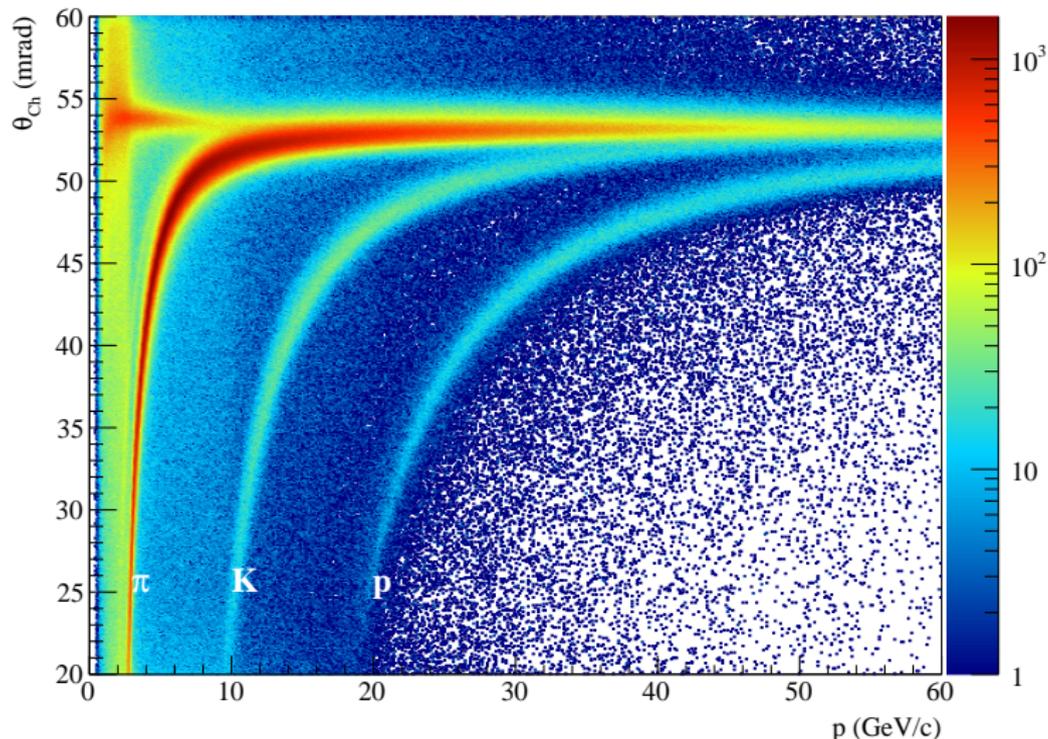
Ring Imaging CHerenkov-Detektor

- Basiert auf Cherenkoeffekt
- Photonen auf Photodetektoren projiziert → Ring Abbildung



radiale Photonenverteilung einer Teilchenart zuweisen → Likelihood Methode

Cherenkov Winkel als Funktion des Impulses



LH-Methode oder auch Maximum LH-Methode

Vorgehen:

- Aufstellen der **LH-Funktion**

z.B. Stichprobe $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$ x_i : Elemente der Probe

→ x_i sind unabhängig

→ x_i folgen Wahrscheinlichkeitsdichte der Grundgesamtheit $f(x|\theta)$

$\theta = \theta_1, \dots, \theta_m$: Satz von Parametern

d.h. z.B. Normalverteilt mit Parametern μ und σ^2

$$\text{LH-Funktion: } L(x_1, \dots, x_n|\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\theta)$$

d.h. Wahrscheinlichkeit für auftreten der Stichprobe gleich Produkt der Wahrscheinlichkeiten für Auftreten jedes Elements

- **Maximum LH-Prinzip:** Wähle aus allen Parametersätzen θ den Satz $\hat{\theta}$ aus, für den gilt

$$L(x_1, \dots, x_n|\hat{\theta}) \geq L(x_1, \dots, x_n|\theta) \quad \forall \theta$$

d.h. bestimmung des Maximums → beste Abschätzung der Parameter

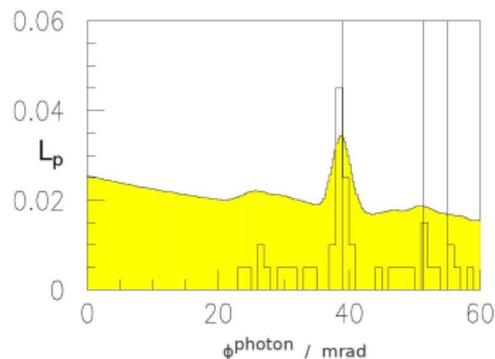
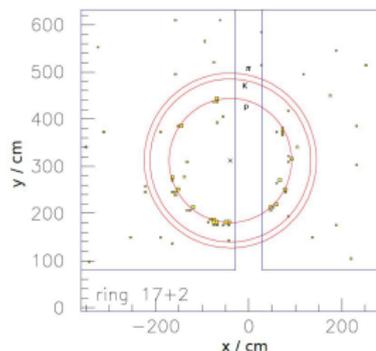
Teilchenidentifikation am RICH

genaue Kenntnisse des Modells und Parameter d.h. Parameter vorgegeben

→ LH-Funktion für jede Teilchenart

→ Werte der LH-Funktionen abh. von Photonverteilung

$$L_N = \prod_{k=1}^{N_{\text{photon}}} [(1 - \epsilon)G(\Theta_{\text{rec},k}^{\text{photon}}, \phi_{\text{rec},k}^{\text{photon}}) + \epsilon B(\Theta_{\text{rec},k}^{\text{photon}})]$$



⇒ durch vgl. der Werte der LH-Funktionen → Teilchenart

Problem: LH nicht immer eindeutig → Teilchen falsch identifiziert

⇒ RICH Effizienzen

LH Vergleich

π

$$p_h > p_{\pi,thr}$$

$$LH(\pi) > LH(K)$$

$$LH(\pi) > LH(p)$$

$$LH(\pi) > LH(bg)$$

K

$$p_h > p_{K,thr}$$

$$LH(K) > 1.08LH(\pi)$$

$$LH(K) > LH(p)$$

$$LH(K) > 1.24LH(bg)$$

p

$$p_h > p_{p,thr}$$

$$LH(p) > LH(\pi)$$

$$LH(p) > LH(K)$$

$$LH(p) > LH(bg)$$

$$p_h \leq p_{p,thr}$$

$$LH(bg) > LH(\pi)$$

$$LH(bg) > LH(K)$$

RICH Effizienzen

Definition:

$$E(t \rightarrow i) = \frac{N^{t \rightarrow i}}{N^t} \quad (t = \pi, K, p; i = \pi, K, p, \text{unk})$$

N^t : Gesamtzahl der Teilchen t

$N^{t \rightarrow i}$: Anzahl der Teilchen t vom RICH als i identifiziert

⇒ aus gemessenen Daten

Methode:

- 1 Wissen welche Teilchenart in RICH einfällt
→ durch Datenselektion
- 2 Annahme: Effizienzen abhängig von Impuls und Winkel
→ N^t und $N^{t \rightarrow i}$ durch erweiterten LH-Fit

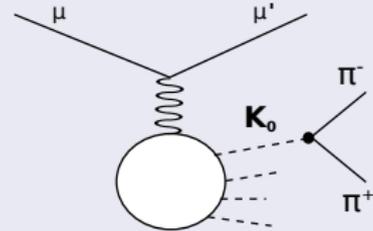
Datenselektion

K_0 - und $\Lambda_0/\bar{\Lambda}_0$ -Zerfall

- $K_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$
- $\Lambda_0/\bar{\Lambda}_0 \rightarrow \pi^- p / \pi^+ \bar{p}$

Zerfälle der schwachen WW

⇒ Entstehungs- (p) und Zerfallsvertex (s)
auflösbar
→ feine Schnitte

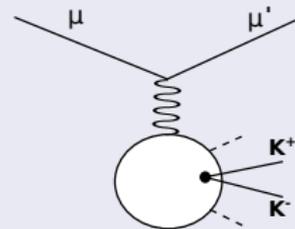


Φ -Zerfall:

- $\Phi \rightarrow K^+ K^-$

Zerfall der starken WW

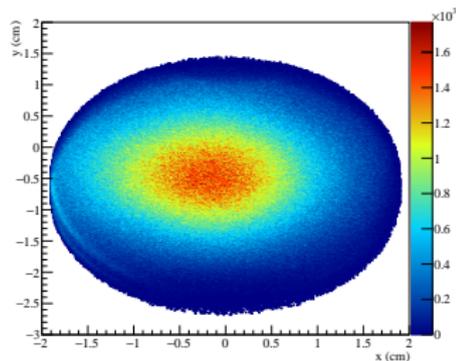
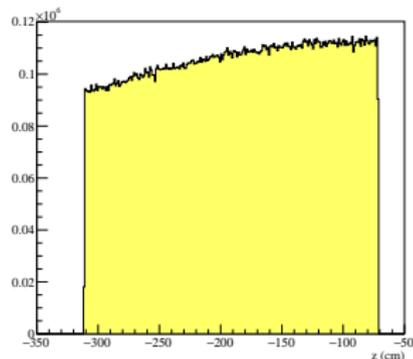
⇒ Entstehungs- und Zerfallsvertex
ununterscheidbar
→ grobe Schnitte



Daten: Jahr: 2012; Woche: 44 - 48; μ^\pm -Strahl (160 GeV); IH₂-Target

Allgemeine Schritte:

- Entstehungsvortex mit ein- und auslaufendem μ
- Entstehungsvortex innerhalb des Targets
- $0.1 < y < 0.9$

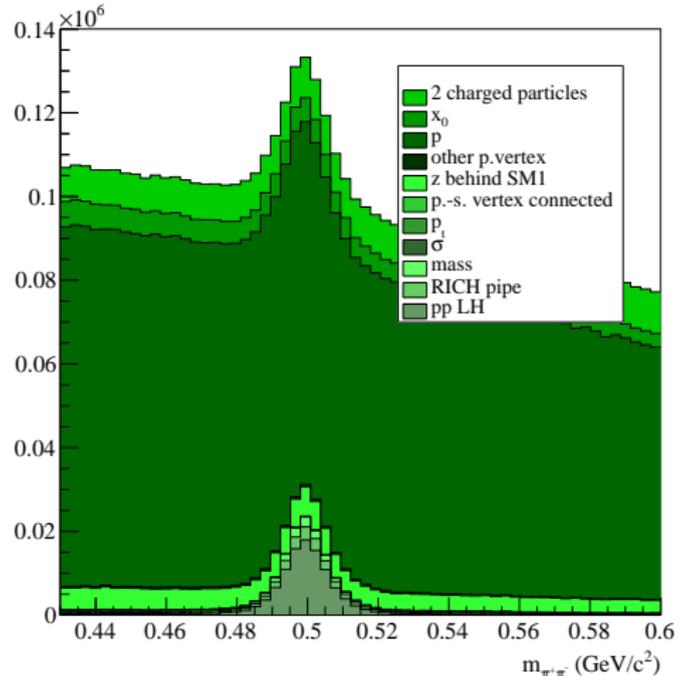


Schnitte für K_0 -Zerfall:

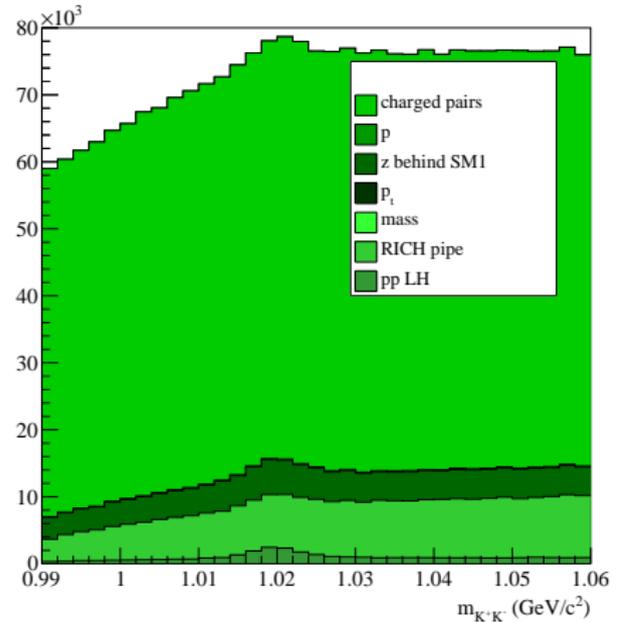
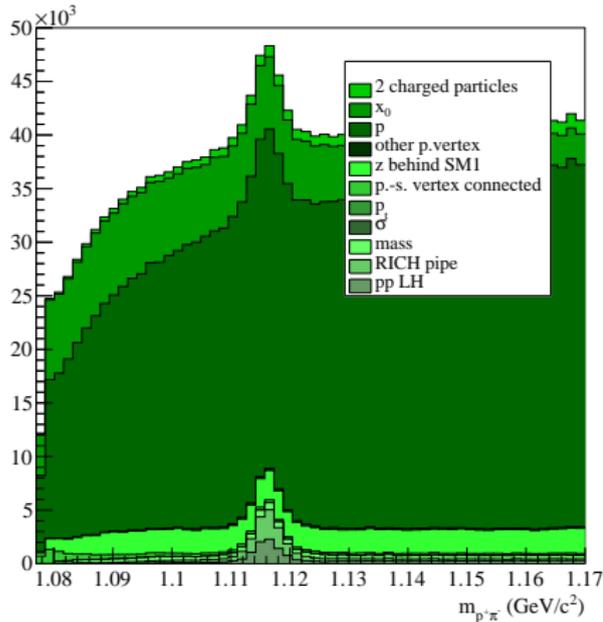
Schnitte → Reduktion des Untergrunds

wichtige Schnitte:

- "other p. vertex"
→ Spuren aus sek. Vertex
- "p.-s. vertex connected"
→ K_0 aus p. Vertex
- " σ "
→ Vertices unabhängig aufgelöst



Vergleich Schnitte für Λ - und Φ -Zerfall:



Teilchenidentifikation in Abhängigkeit vom Impuls und Winkel

Annahme: Effizienzen abhängig von Winkel und Impuls

13 Impulsintervalle: 10 - 50 (GeV/c)

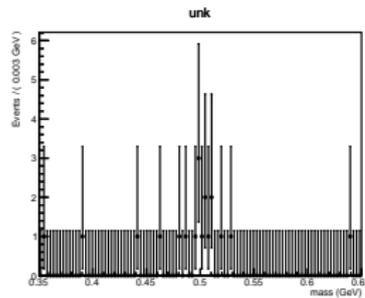
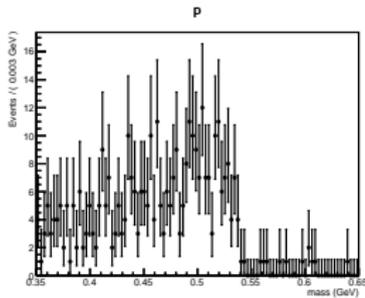
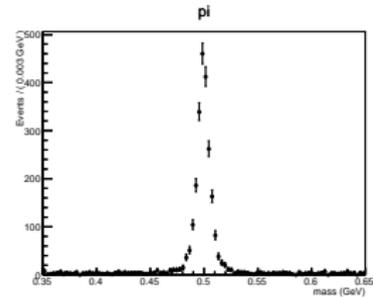
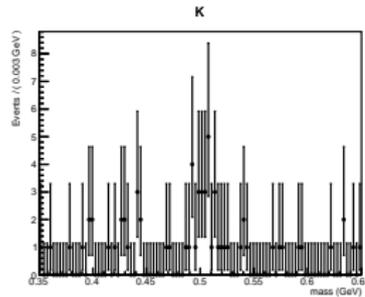
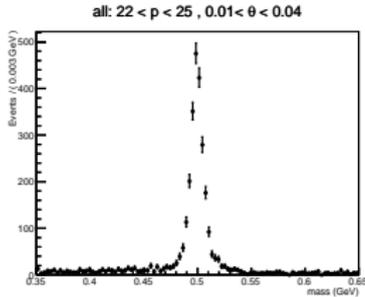
3 Winkelintervalle: 0.0 - 0.12 (rad)

Bsp.: $K_0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

- Teilchenwahl z.B. π^+
→ RICH (LH vgl.) korrekt identifiziert
⇒ N^t
- zugehöriges π^- in Impuls- und Winkelintervall
→ als π^- , K^- , \bar{p} oder unk^- identifiziert
⇒ $N^{t \rightarrow i}$

⇒ analog für anderes Teilchens, sowie Λ_0 , $\bar{\Lambda}_0$ und Φ

Bsp. K_0 ; Impuls: $22 < p < 25$; Winkel: $0.01 < \theta < 0.04$



Fitmodelle

- K_0 :
 - Signal: 2 Gauß
 - Hintergrund: Polynom
- $\Lambda_0/\bar{\Lambda}_0$:
 - Signal: 2 Gauß
 - Hintergrund: $(x - t)^n e^{-a(x-t)}$ $t = m_p + m_\pi$
- Φ :
 - Signal: Breit-Wigner \otimes Gauß
 - Hintergrund: $(x - t)^n e^{-a(x-t)}$ $t = 2m_K$

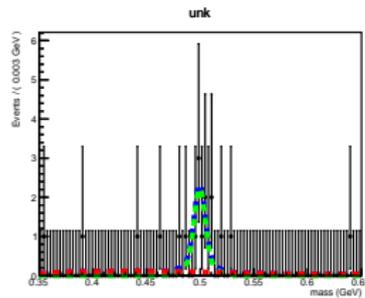
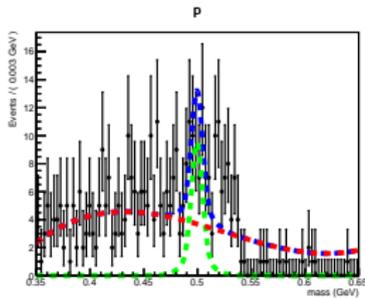
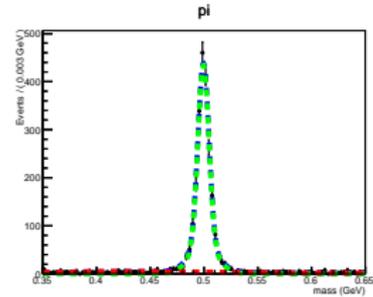
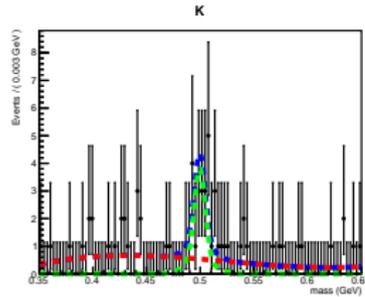
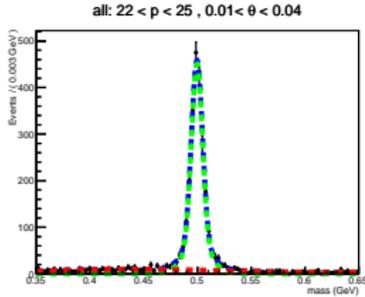
Modell Parameter \rightarrow Anzahl der Hintergrund- und Signalereignisse

Zwangsbedingung: $N^t = \sum_i N^{t \rightarrow i} \rightarrow$ RICH eff. auf 1 normiert

Einbinden der Zwangsbedingung in LH-Funktion \rightarrow erweiterte LH-Funktion
 \Rightarrow Kombierter Fit pro Impuls- und Winkelintervall

Guter Fit wenn Kovarianzmatrix erfolgreich bestimmt

Fitresultat Bsp. K_0 ; Impuls: $22 < p < 35$; Winkel: $0.01 < \theta < 0.04$



Berechnung der RICH Effizienzen

⇒ **RICH Effizienzen berechnen**

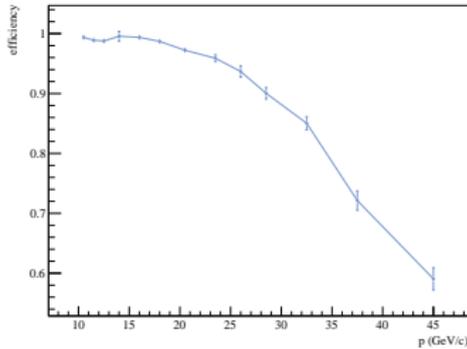
$\Delta E(t \rightarrow i)$ aus Fehlerfortpflanzung mit $N^t = \sum_i N^{t \rightarrow i}$

$$E(t \rightarrow i) = \frac{N^{t \rightarrow i}}{N^t} = \frac{N^{t \rightarrow i}}{\sum_j N^{t \rightarrow j}} = \frac{N^{t \rightarrow i}}{N^{t \rightarrow \pi} + N^{t \rightarrow K} + N^{t \rightarrow p} + N^{t \rightarrow unk}}$$
$$\Rightarrow \Delta E(t \rightarrow i) = \sqrt{\sum_j \left(\frac{\partial E(t \rightarrow i)}{\partial N^{t \rightarrow j}} \right)^2 \sigma_j}$$

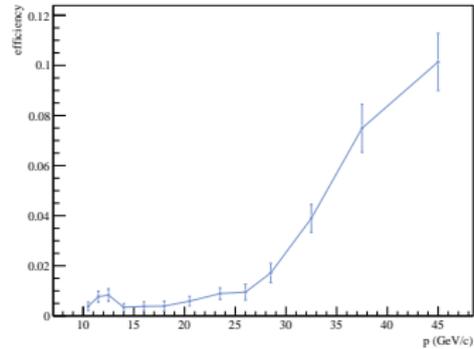
⇒ Darstellung als Funktion des Impulses für jeweilige Winkelintervalle

RICH Effizienzen $\pi^+ \rightarrow i$ ($0.01 < \theta < 0.04$)

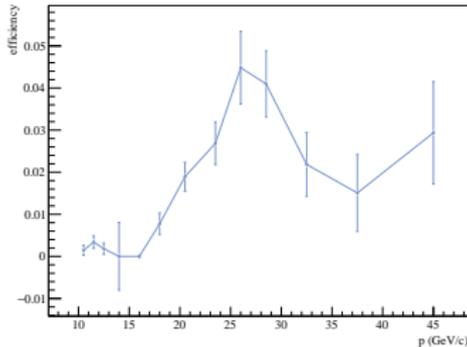
$\pi^+ \rightarrow \pi^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



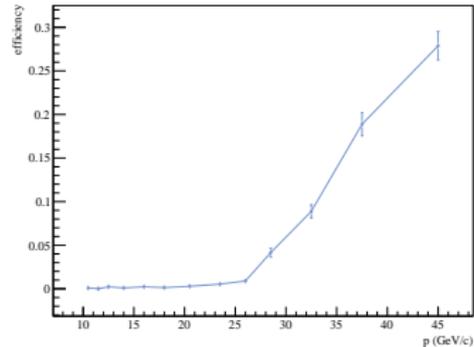
$\pi^+ \rightarrow K^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



$\pi^+ \rightarrow p^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)

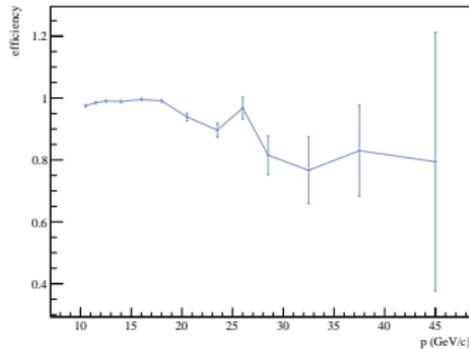


$\pi^+ \rightarrow \text{unk}^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)

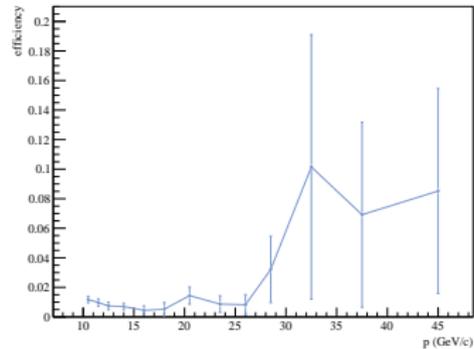


RICH Effizienzen $\pi^+ \rightarrow i$ ($0.4 < \theta < 0.12$)

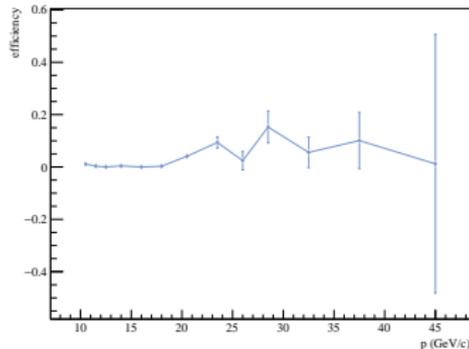
$\pi^+ \rightarrow \pi^+$ ($0.04 < \theta < 0.12$)



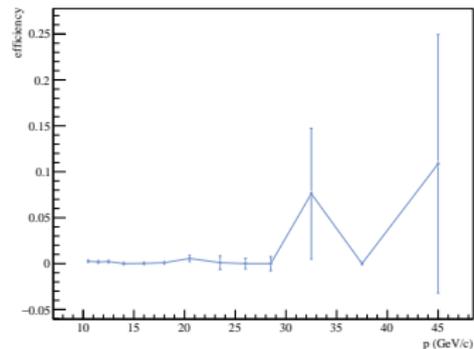
$\pi^+ \rightarrow K^+$ ($0.04 < \theta < 0.12$)



$\pi^+ \rightarrow p^+$ ($0.04 < \theta < 0.12$)

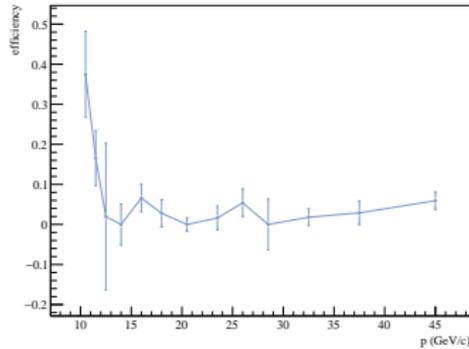


$\pi^+ \rightarrow \text{unk}^+$ ($0.04 < \theta < 0.12$)

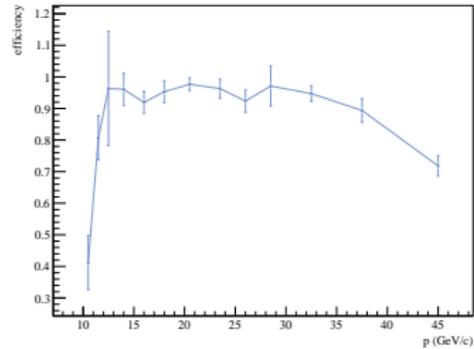


RICH Effizienzen $K^+ \rightarrow i$ ($0.01 < \theta < 0.04$)

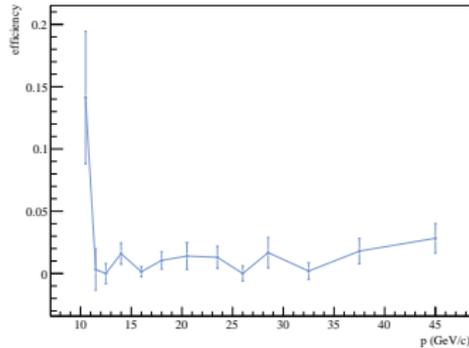
$K^+ \rightarrow \pi^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



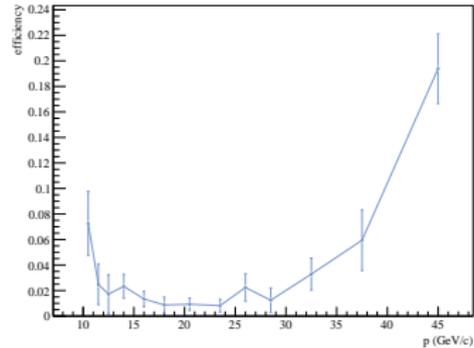
$K^+ \rightarrow K^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



$K^+ \rightarrow p^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)

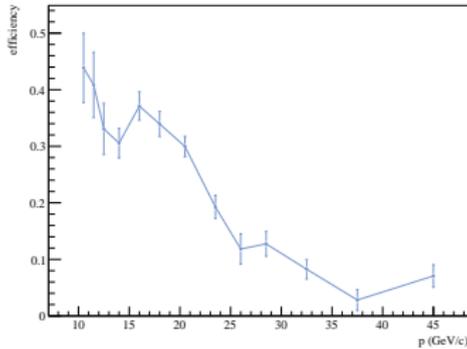


$K^+ \rightarrow \text{unk}^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)

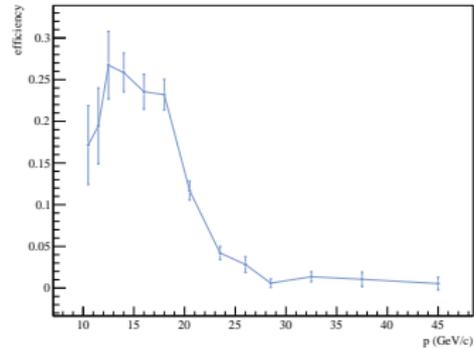


RICH Effizienzen $p \rightarrow i$ ($0.01 < \theta < 0.04$)

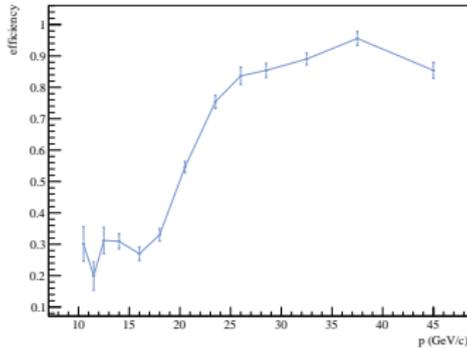
$p^+ \rightarrow \pi^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



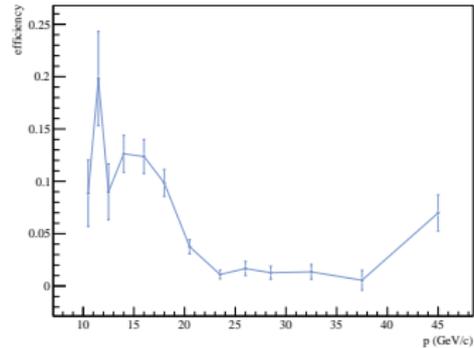
$p^+ \rightarrow K^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



$p^+ \rightarrow p^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



$p^+ \rightarrow \text{unk}^+$ ($0.01 < \theta < 0.04$)



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- wichtige Zusammenhänge für die Bestimmung der FF
SIDIS → Multiplizitäten → flavourseparierte FF
- korrekte Teilchenidentifikation sehr wichtig
- RICH und Verfahren zur Bestimmung der RICH Effizienzen

Ausblick:

- Bestimmen der Spektrometerakzeptanz
→ vgl. MC Daten und Experiment
- Bestimmung der roh Multiplizitäten $\frac{N_h}{N_{DIS}}$
→ Korrektur auf RICH Effizienzen
→ Akzeptanzkorrektur
→ Strahlungskorrekturen