Teststrahlergebnisse eines Siliziumdetektor-Prototyps für AMS-02

DPG Frühjahrstagung
Bonn, März 2001

Markus Cristinziani
DPNC, Université de Genève

Inhalt

- AMS Einführung
  - AMS-01 Testflugergebnisse
  - AMS-02 Ausblick
  - Der Spurdetektor
- Teststrahlergebnisse September 2000
  - Modul-Kalibrierung
  - Alignment
  - Ortsauflösung
  - Signal-Stör Verhältnis
  - Ladungsmessung
  - η-Funktion
  - Winkelabhängigkeit

Der AMS-01 Testflug

Der AMS Detektor (Alpha Magnetic Spectrometer) soll kosmische Strahlen ab Herbst 2003 auf der Internationalen Raumstation ISS drei Jahre lang messen.

Im Juni 1998 erfolgte ein zehntägiger Testflug: auf dem Space Shuttle mit hervorragenden Physik-Ergebnissen:

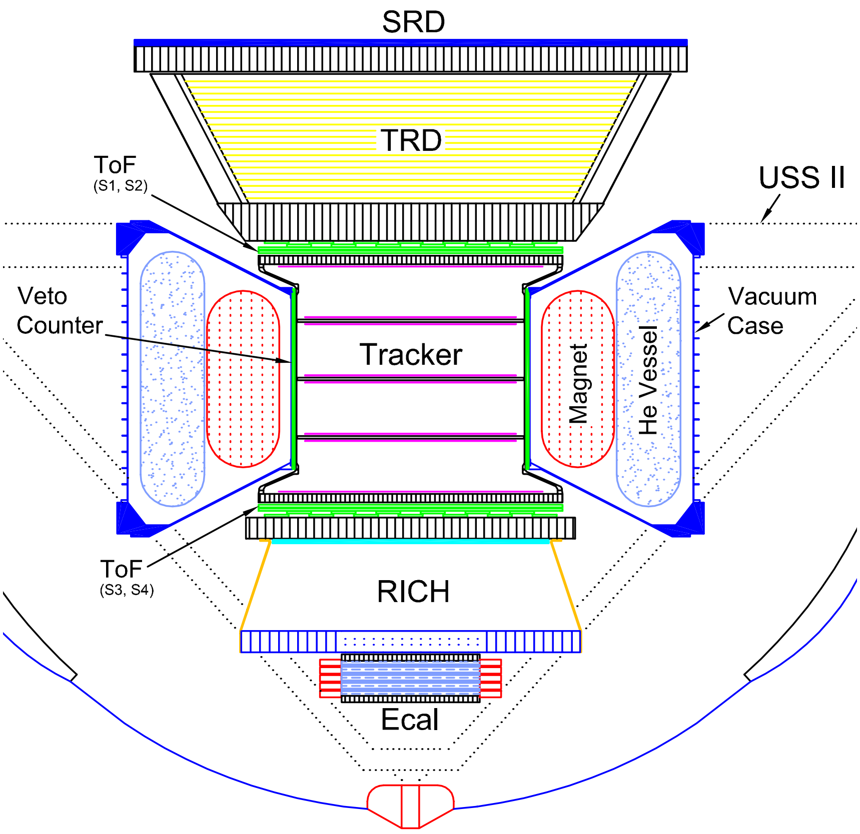
- Neue obere Grenze für Antihelium in kosm. Strahlen:
  `(cfr. Phys. Lett. B461 (1999) 387-396)`

  $$\frac{N_{\overline{\mathrm{He}}}}{N_{\mathrm{He}}} < 1.1 \times 10^{-6}\ 95\%\ \mathrm{C.L.}$$

- Protonenspektrum im Bereich $E_{\mathrm{k}in} \in [0.2; 200]$ GeV
  `(cfr. Phys. Lett. B472 (2000) 215-226)`
  `(cfr. Phys. Lett. B490 (2000) 27-35)`
- Elektronenspektrum im Bereich $E_{\mathrm{k}in} \in [0.2; 40]$ GeV
- Positronenspektrum im Bereich $E_{\mathrm{k}in} \in [0.2; 3]$ GeV
  `(cfr. Phys. Lett. B484 (2000) 10-22)`
- Heliumspektrum im Bereich $E_{\mathrm{k}in} \in [0.1; 100]$ GeV$/n$
  `(cfr. Phys. Lett. B494 (2000) 193-202)`
- Niederenergetische gefangene Teilchen
  im Magnetfeld der Erde
  ($\rightarrow$ Beitrag zu athmosphärischen Neutrinomodellen)

AMS-02 Ausblick

- Die Empfindlichkeit für die Suche nach Antimaterie wird wesentlich erhöht:
  $\sim 10^9$ Heliumkerne mit R bis zu $1\mathrm{T}V$
- Genaue Messung von D, B/C und $^{10}\mathrm{Be}/^{9}\mathrm{Be}$ wird dem Verständnis von Ursprung und Ausbreitung von kosm. Strahlen helfen
- Suche nach Dunkler Materie:
  Neutralino-Zerstrahlung im galaktischen Halo ergibt Signatur im $\overline{p}/p$ oder e^+/e^- Spektrum
- γ-Physik im Bereich zwischen EGRET $\sim 30\mathrm{GeV}$ und Bodenexperimente $\sim 200\mathrm{GeV}$ ist möglich



Der Spurdetektor

- 8 Layer doppelseitige Siliziumstreifen-Module
- Verteilt auf 5 Ebenen
  - Je eine über- und unterhalb des Magneten
  - Drei innere Ebenen mit zweifacher Redundanz

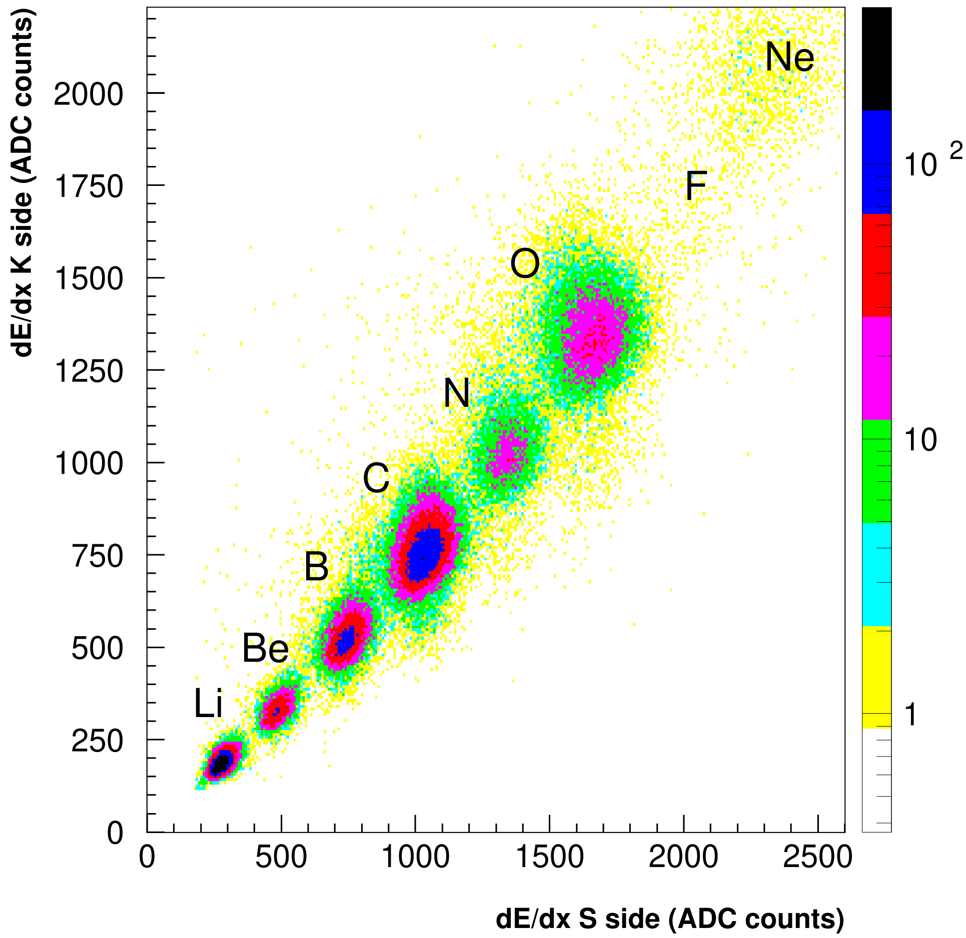
- 192 Module bestehend aus 7 bis 15 Sensoren $\rightarrow$ 5m^2
- $\Longrightarrow$ knapp 200,000 Auslesekanäle
- Ortsauflösung AMS-01: 10μm und 30μm (p und n)
- Energieverlust wird im Spurdetektor 16mal gemessen

- Konstruktion der Module seit Januar u.a. in Genf
- Prototyp E12GT010 September 2000 getestet
- Geänderte Streifenkonfiguration auf der n-Seite: Ausleseabstand 208 μm mit einem intermediären Streifen
- Verdopplung der Breite der Metallbeschichtung

Parameter der Ausleseelektronik

- Vorverstärker ist der VA_HDR der Viking-Familie
- Höhere Verstärkung, um $\sim$ 100 MIP Signale messen zu können

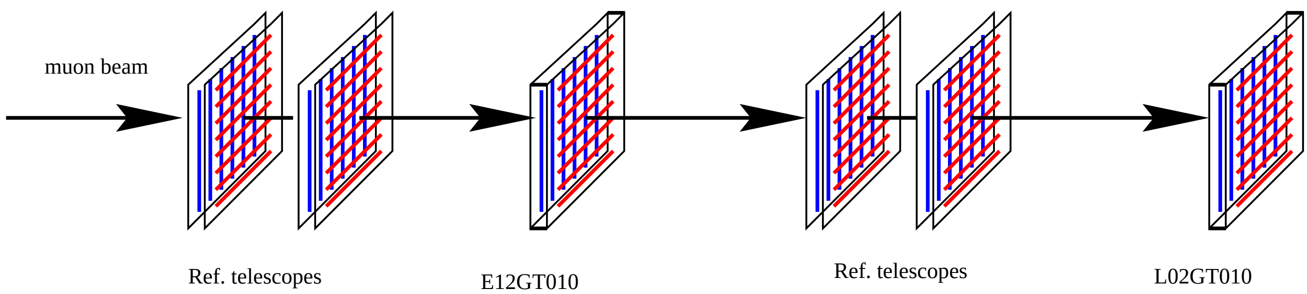
AMS-01 Tracker Charge Identification Z>2



- Triggerrate ist relativ gering (max 1kHz), abhängig vom magnetischem Breitengrad
- Trigger-to-Hold $\tau = 5 - 6\mu s$ (bei $C_{in} = 1.2$ pF/cm)

Messung am Teststrahl

- Das Modul E12GT010 wurde im September 2000 getestet
- μ-Strahl E=120 GeV am X5 Arm (WA) am SPS (CERN)
- 200,000 events mit unterschiedlichen
  - Positionen
  - Einfallswinkeln
- Als Trigger und Referenzdetektor diente das "Aachener Teleskop"
  - 4 Plastikszintillatoren
  - 8 einseitige Siliziumstreifenmodule
  - Streifenabstand: 50μm, 2 Sensoren
  - Ortsauflösung 15μm



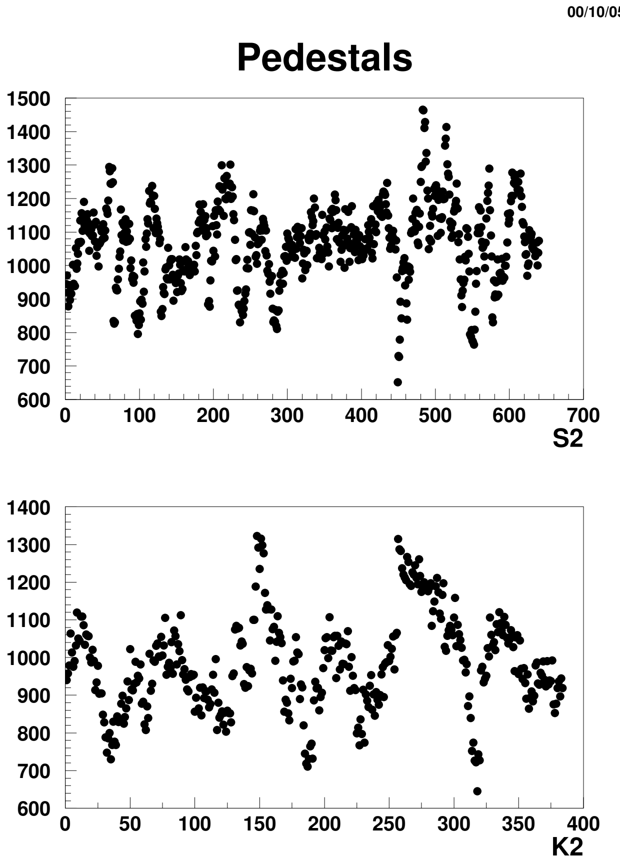
- Nur Events mit 1! Cluster in jedem Teleskopmodul wurden benutzt

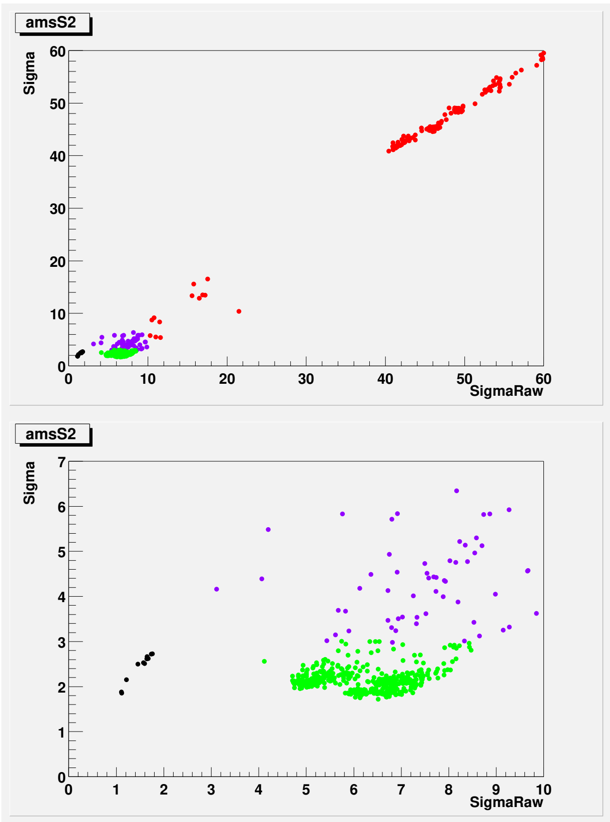
Kalibrierung

- Mit etwa 3000 zufällig getriggerten Events wird eine Kalibrierung durchgeführt.
- Ein Run ($\sim$ 1 Stunde) besteht typischerweise aus 6000 Events
- PEDESTALS
  - Pedestals werden in einer ersten Iteration unter Benutzung aller Events berechnet $\longrightarrow \sigma_{\text{ped}}(\text{first})$
  - Danach werden Events ausserhalb 3 $\sigma_{\text{ped}}(\text{first})$ verworfen und Pedestals erneut berechnet
- COMMON NOISE
  - "Tote" und "heiße" Streifen werden durch $2 < \sigma_{\text{ped}}(\text{raw}) < 10$ eliminiert
  - Common Noise ohne diese Streifen berechnet
  - Common Noise vom Signal abgezogen
  - $\sigma_{\text{ped}} < 3$ für mehr als 95% der Events, sonst nicht-gausssches Verhalten $\rightarrow$ ausgeschlossen
- Pedestals driften nicht merkbar $\longrightarrow$ keine dynamische Korrektur nötig

Kalibrierungsergebnis

Rauschen auf Seite p



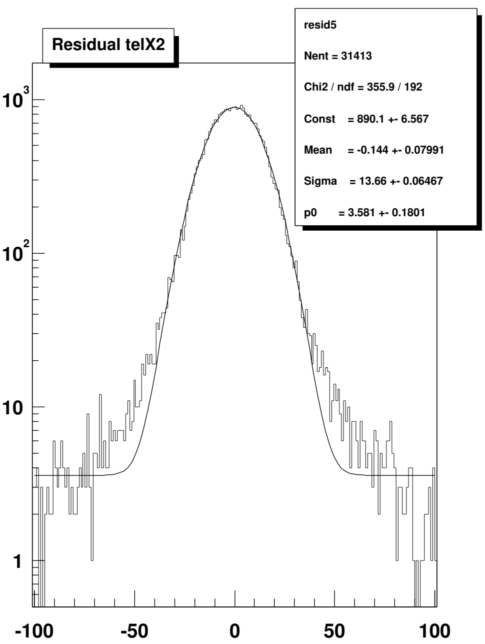


- Pedestal-Werte : 1100 ± 300 ADC-Einheiten auf “S” und “K” Seite
- Streifen mit hohem Rauschen sind mit (bekannten) defekten im Kondensator identifiziert worden
- In der Teststrahlkonfiguration waren typische Werte für Common Noise $\sigma^S_{\text{CN}} = 6$, $\sigma^K_{\text{CN}} = 8$

Alignment-Prozedur

- verlange 1! Cluster oberhalb des Rauschniveaus (10 ADC-Einheiten) in jedem Teleskopmodul
- Translation zum gemeinsamen Ursprung
  - $<$200 μm in x Koordinate
  - $<$80 μm in y Koordinate
- erste Schätzung der Spurparameter
  - Strahldimension: $7mm \times 7mm$
  - Strahldivergenz: $\sim$ 0.9 mrad ($\sigma = 0.6$)
- Rotation der Module um die Strahlachse
  - betrachte $\Delta x(y) \longrightarrow \phi_z(x) < 4$ mrad
  - betrachte $\Delta y(x) \longrightarrow \phi_z(y) < 5$ mrad

- Spur wird erneut angepasst mit korrigierten Positionen
- Die Ortsauflösung der Teleskope wird bestimmt: $\sigma = 15\mu$m



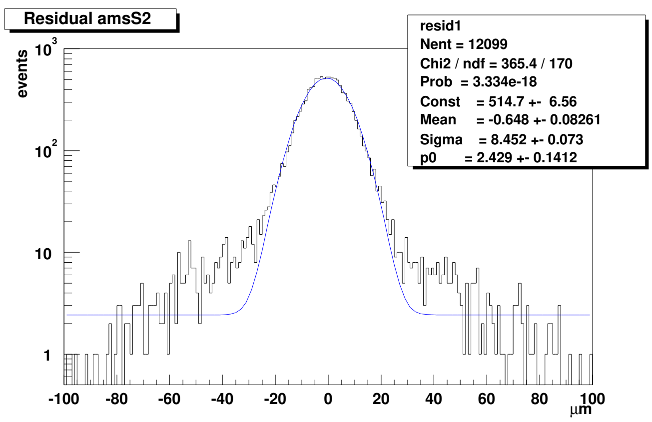
Clusterbildung und Ortsauflösung

CLUSTERBILDUNG

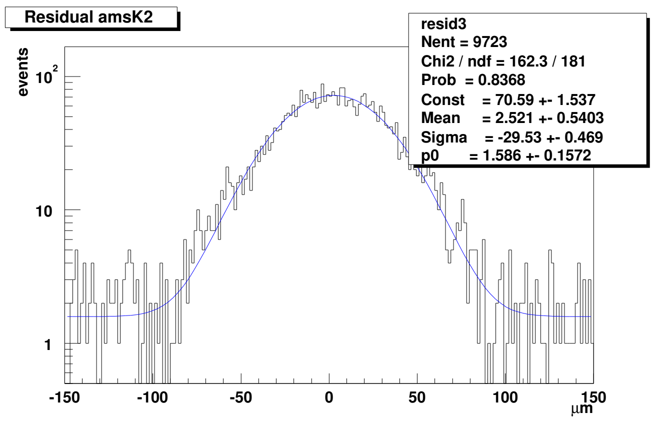
- Um ein Cluster zu triggern benötigt man
  - $(S/N)_{S(K)} >$ 3.5 (2.75)
- dazu werden alle Nachbarn einbezogen solange
  - $(S/N)_{S(K)} >$ 2.0 (1.0)

ORTSAUFLÖSUNG

S SEITE: 8.4 μm



K SEITE: 30 μm



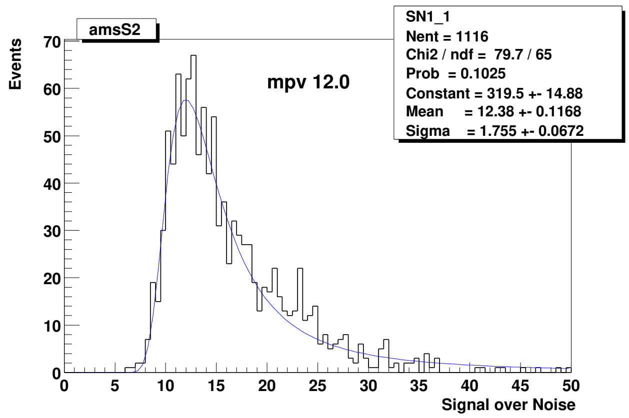
- Alignment für Testmodul wie für Teleskop
- Nur Cluster der Länge zwei und Events mit 1! Cluster werden berücksichtigt
- Bedingung: Gesamtladung S(K) $>$ 24 (7)
- Bedingung: $(S/N)_{S(K)} >$ 9.5 (2)
- σ(Residuen) wird als Funktion von z minimiert

Signal-Stör Verhältnis

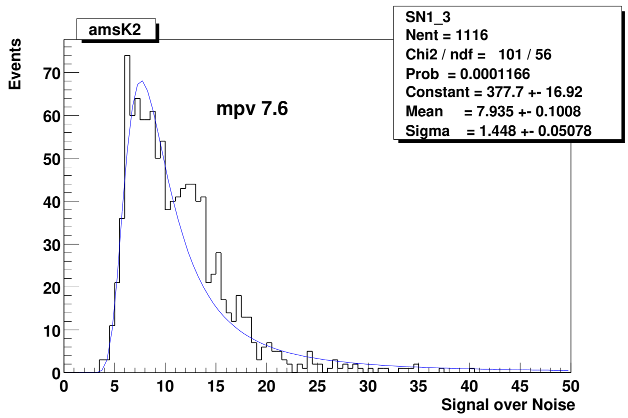
- Cluster, wenn Spurinterpolation mindestens einen Streifen von toten und heissen Streifen entfernt ist
- S- und K-Information müssen vorhanden sein
- Signal-Stör Verhältnis S/N definiert als

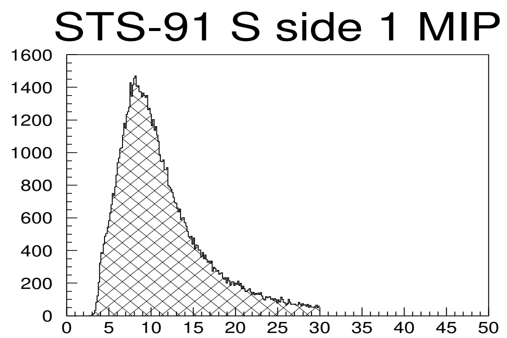
$$S/N = \frac{\Sigma\, Q_i}{\sqrt{\Sigma_i\, \sigma_i^2}}$$

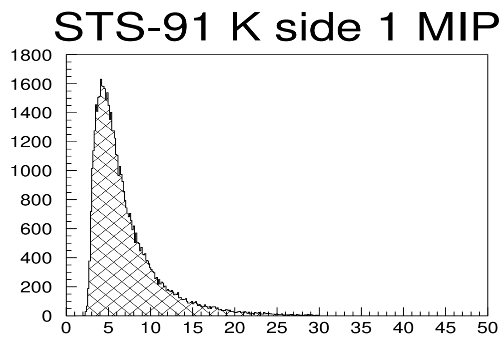
S SEITE: 12.0



K SEITE: 7.6

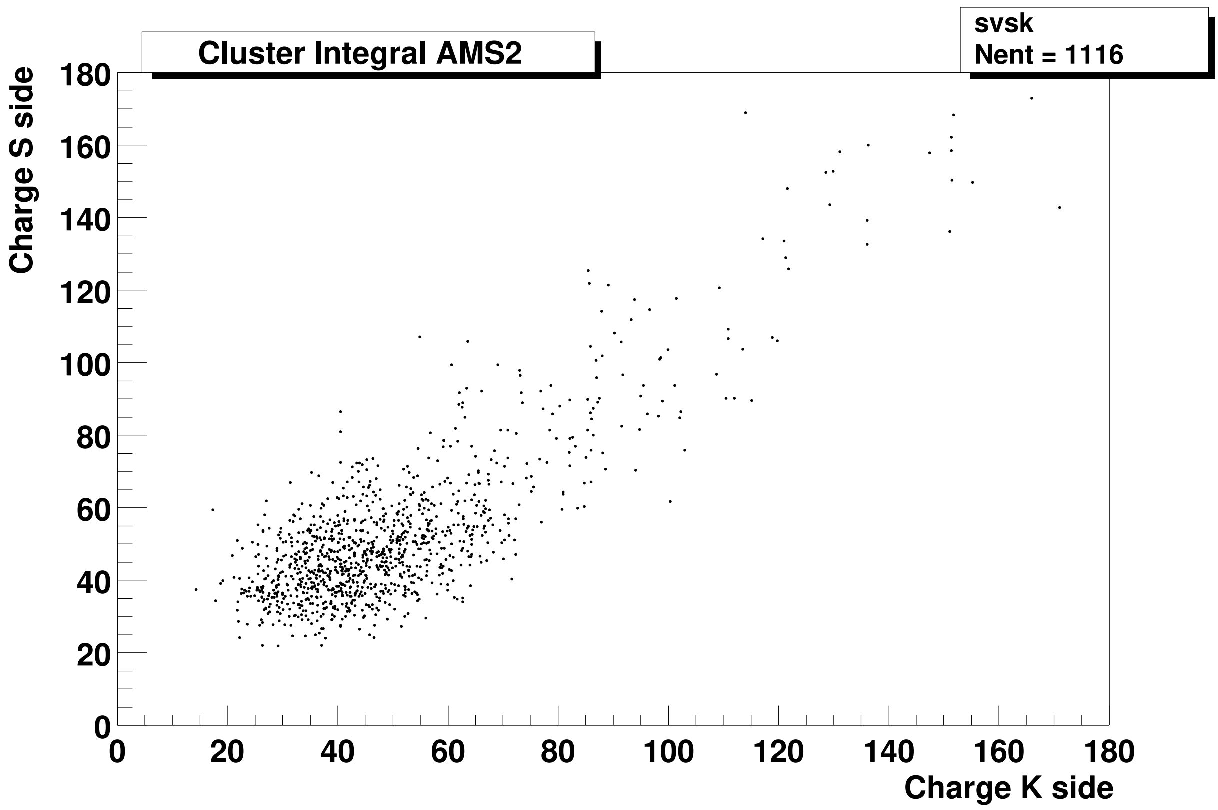






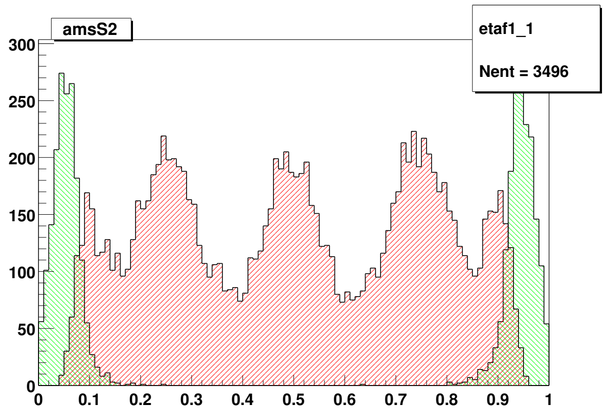
Ladungsmessung

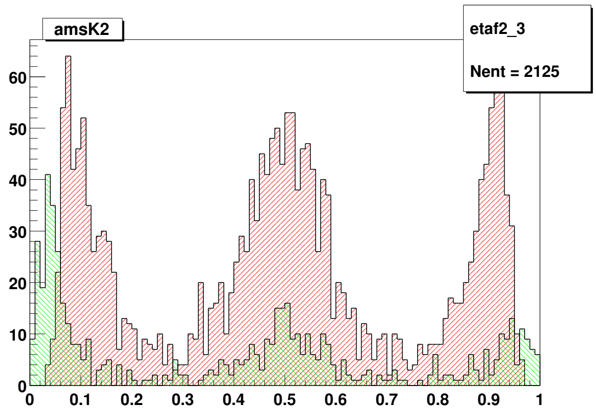
- die K-Seite (n) hat während AMS-01 Ladungsverluste aufgewiesen
- Teststrahlmodul zeigt eine gute Ladungskorrelation
- der Durchschnittsladungsverlust auf der K Seite beträgt 3.6%



Eta-Funktion

η–Funktion S SEITE	η–Funktion K SEITE





- Die η-Funktion is folgendermassen definiert:

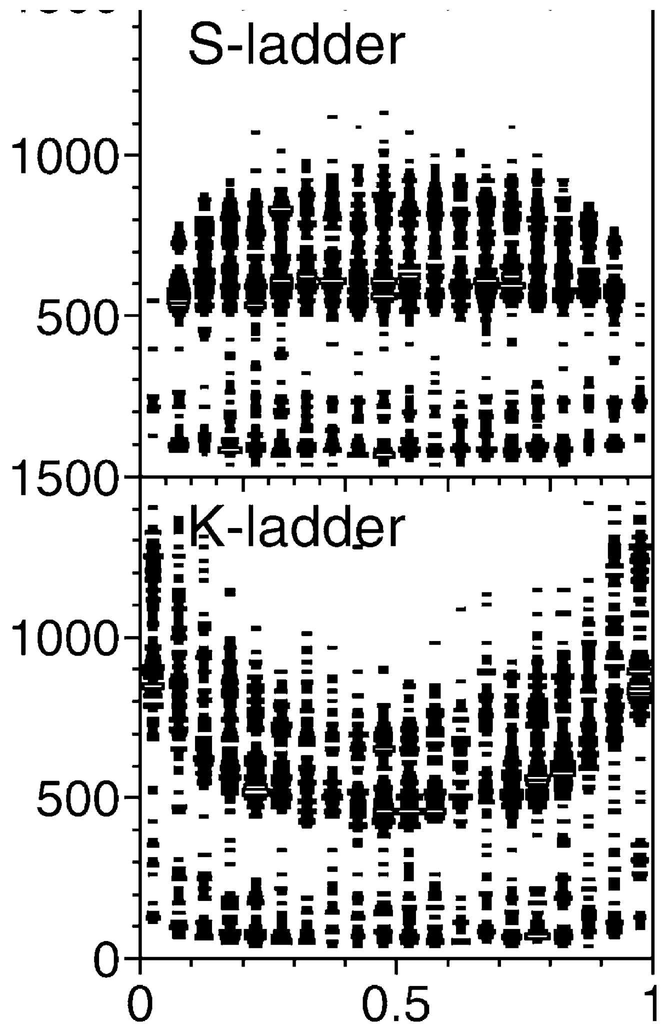
$$\eta = \frac{Q_{\text{links}}}{Q_{\text{links}} + Q_{\text{rechts}}}$$

- Die roten Histogramme stellen 2-Streifen Cluster dar
  - Struktur drei intermediärer Streifen auf S und
  - eines intermediären Streifens auf K ist sichtbar
  - der Bereich für η ist limitiert $0.05 < \eta < 0.95$
- Die grünen Histogramme stellen 1-Streifen Cluster dar
  - Der Nachbarstreifen mit dem höheren Signal wird bei der Berechnung von η mit einbezogen
  - Dieser Streifen wurde wegen hohem Rausch-niveau nicht zur Clusterbildung benutzt
  - Der Bereich um $\eta = 0$ und $\eta = 1$ wird aufgefüllt

Ladungsmessung als Funktion von η

- AMS-01 had a problem with the K-Seite charge collection
- At the preflight He- and C- test beam at GSI the ”banana-shape” charge collection was observed

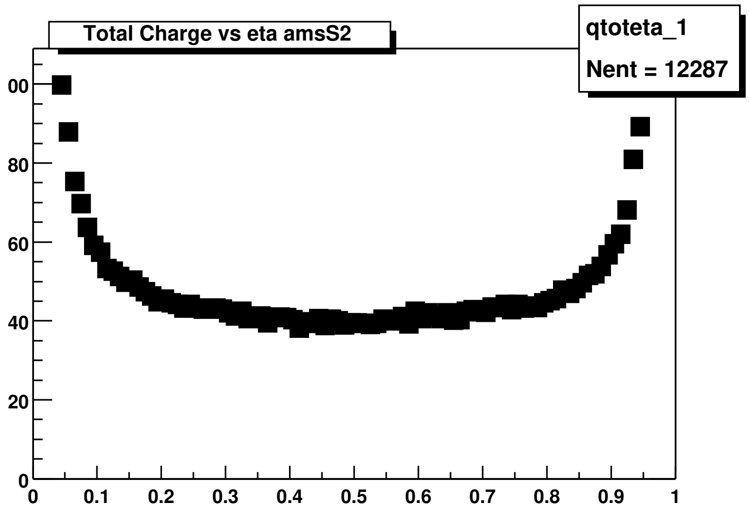
GSI testbeam NIM paper

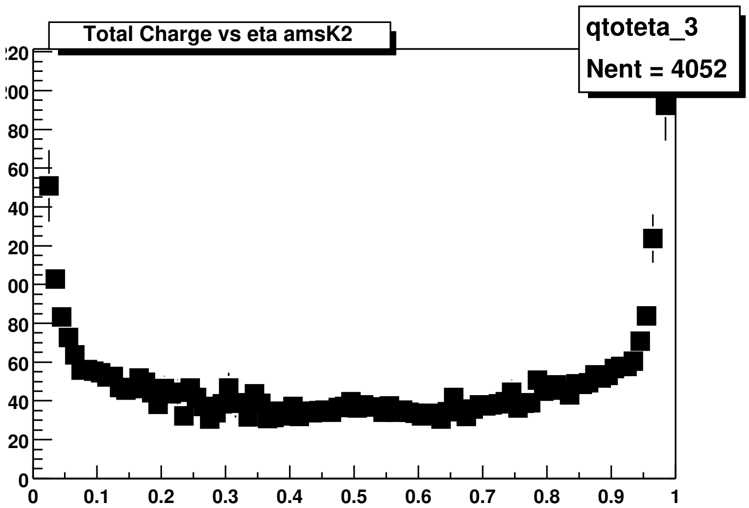


Ladungsmessung als Funktion von η

- Die K-Seite des Teststrahl-Moduls weist einen ausgedehnten η-Bereich auf, bei dem Q_{tot} konstant ist

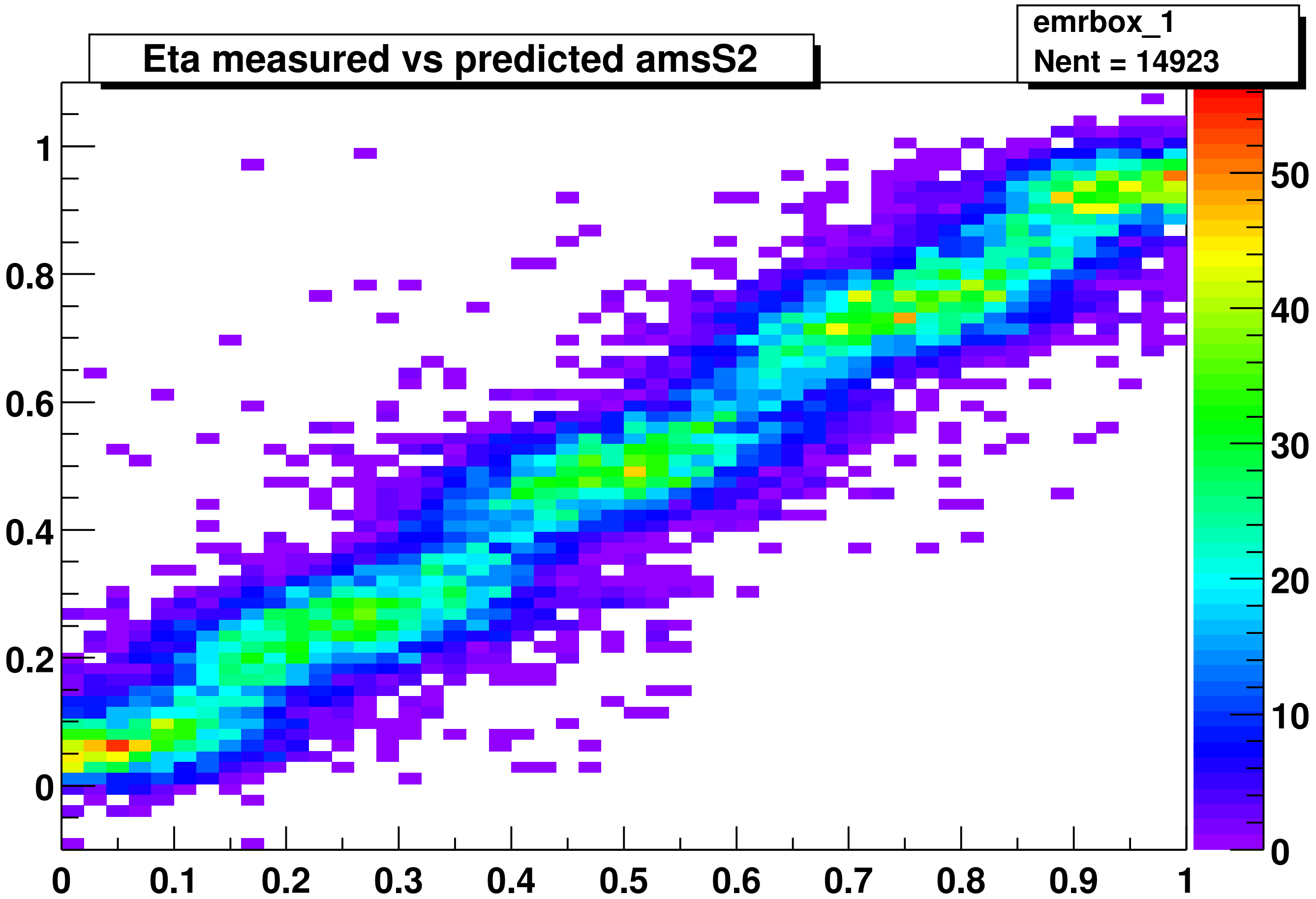
$\boxed{Q_{tot}(\eta) \text{ für 2-Streifen Clusters}}$





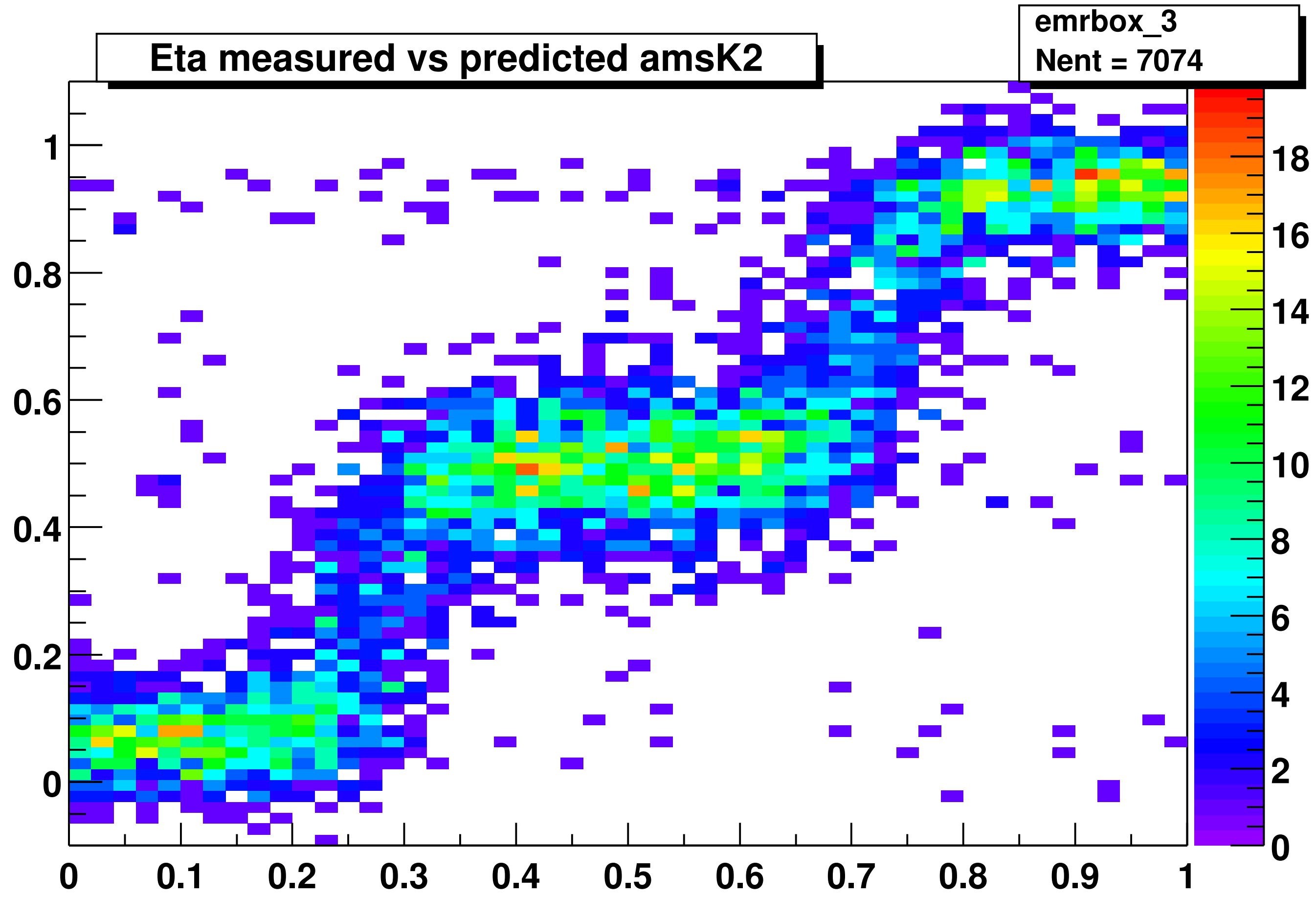
$\Longrightarrow$ Verbesserung im Vergleich zu AMS-01

Ortsauflösung(η) – S Seite



- Die rekonstruierte Position ist von der wahren Position praktisch linear abhängig
- Die Lage der drei intermediären Streifen ist erkennbar
- Eine eventuelle Korrektur kann die Auflösung nicht verbessern

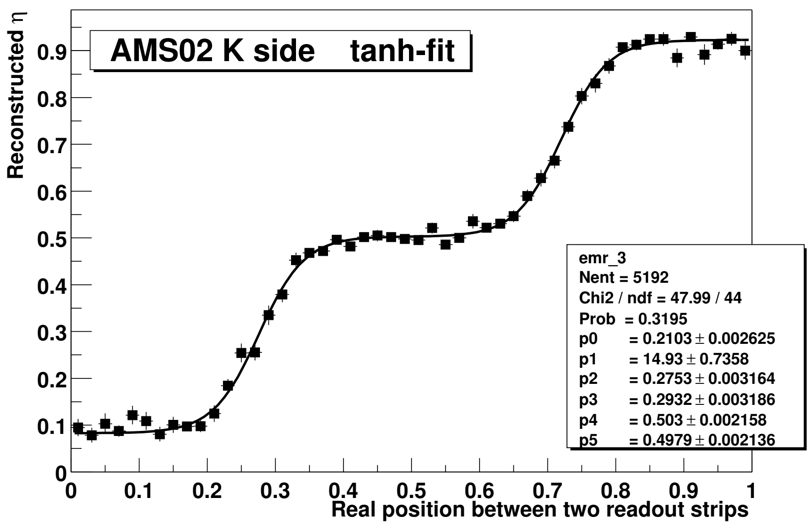
Ortsauflösung(η) – K Seite



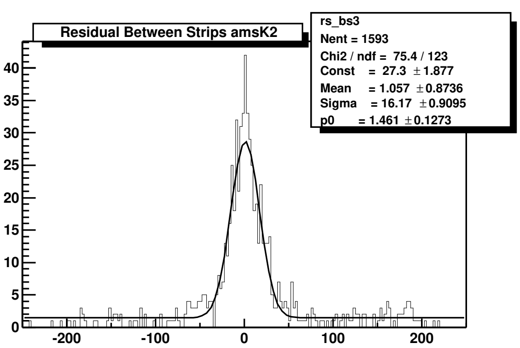
- Auf der K Seite (nunmehr ein intermediärer Streifen) wird die gesamte Ladung von einem Streifen gesammelt
- Im Falle des Mittelstreifens werden gleich hohe Signale auf die zwei Auslesestreifen induziert
- Die Ladung wird nur für $\eta \sim 0.25$ und ~ 0.75 von zwei Streifen gemessen

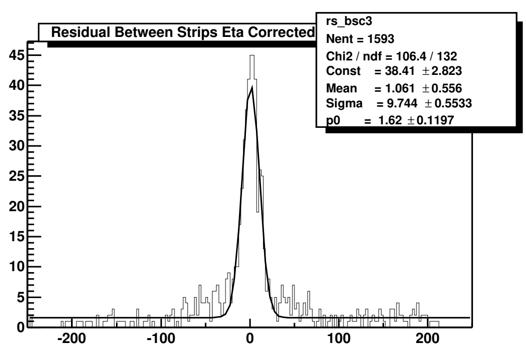
Ortsauflösung – K Seite

- Parametrisierung der Antwort als Funktion von η
- Zwei Bereiche mit unterschiedlichen Auflösungen:
  - in der Nähe eines Streifens: ($104/\sqrt{12}$)
  - zwischen zwei Streifen (15 μm)



- im Bereich 2 kann die Auflösung weiterhin verbessert werden: (15 μm $\longrightarrow$ 9 μm)





Winkelabhängigkeit

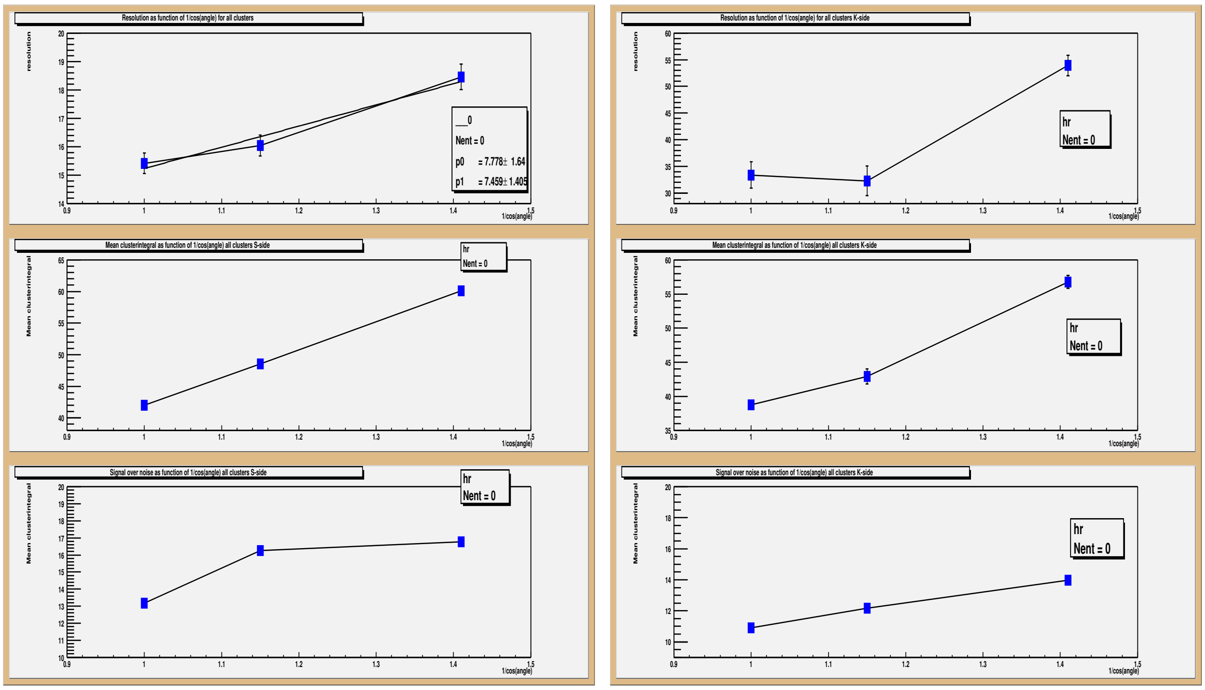
- Detaillierte Analyse der Winkelabhängigkeit ist aufgrund unzureichender Statistik nur begrenzt möglich

S Seite K Seite

1)

2)

3)



- 1) Auflösung, 2) Q_{tot} und 3) S/N als Funktion von $1/\cos\alpha$ (das Modul wurde um eine Achse parallel zu den S Streifen rotiert)
- Ortsauflösung wird schlechter
- Gesammelte Ladung nimmt linear zu
- S/N nimmt nicht so stark zu, da Ladung von mehreren Streifen gesammelt wird

Markus Cristinziani
Université de Genève

Ergebnis

- **Der erste Teststrahl eines AMS-02 Siliziummoduls zeigt verbessertes Verhalten für:**
  - **Signal-Stör Verhältnis S/N für beide Seiten, S und K**
  - **Ladungsmessung auf K Seite ist im Wesentlichen unabhängig von η**

- **Qualitative Ergebnisse für Winkel$\neq 0$ sind im Einklang mit den Erwartungen**

- **Das Entfernen zweier von drei intermediären Streifen auf der K Seite zeigt:**
  - **ein verbessertes S/N Verhältnis bei**
  - **der gleichen Ortsauflösung**

- **zur vollständigen Qualifikation der Siliziummodule ist ein Teststrahl mit $Z > 1$ erforderlich**