

Aufbau eines UV-Laser-Systems für eine Zeit-Projektions-Kammer

Markus Ball
DESY

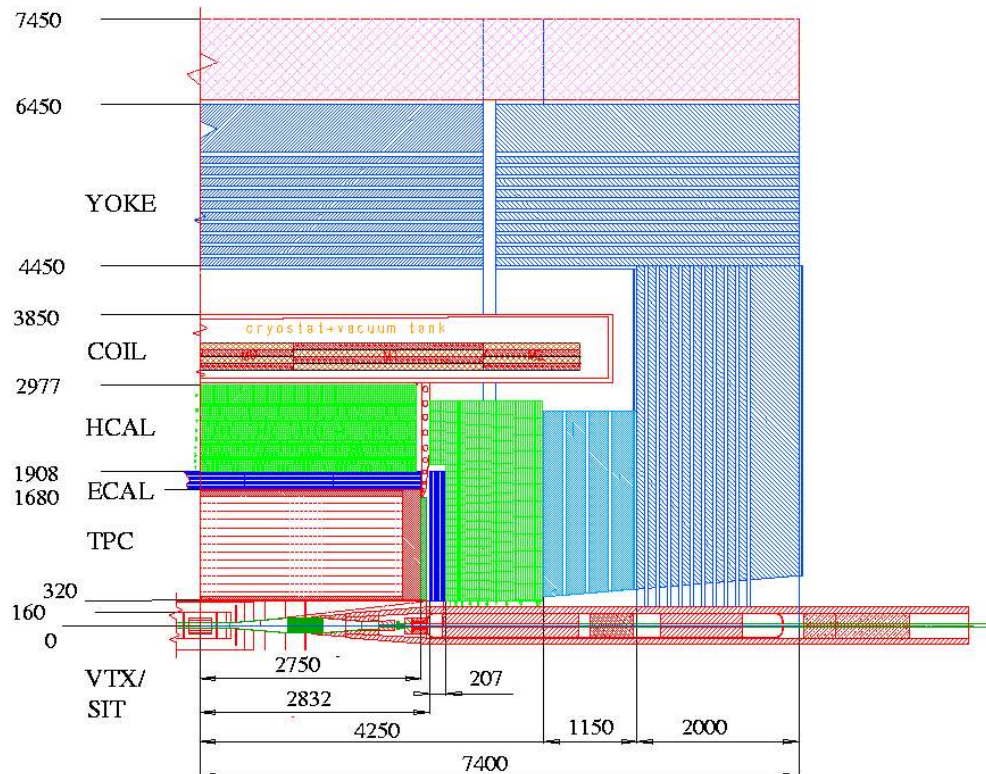
Universität Hamburg / DESY TPC Gruppe:
M. B., T. Behnke, M. Hamann, M. Janssen,
A. Kaukher, T. Kuhl, T. Lux, P. Wienemann

Herbstschule für
Hochenergiephysik
7-17 September, 2004
Maria Laach

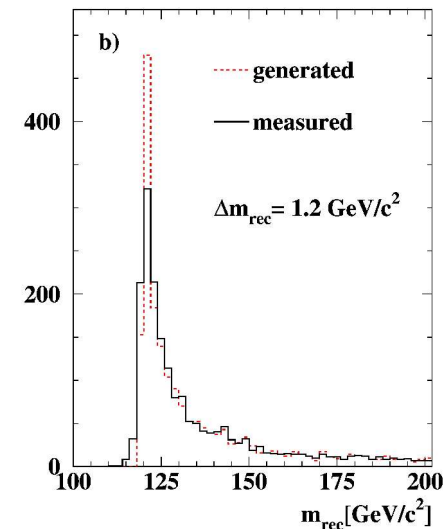
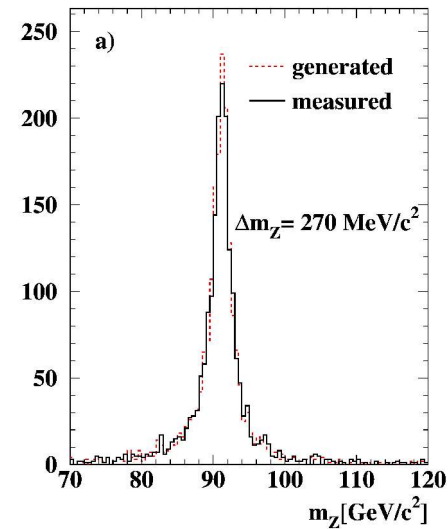
Ein Detektor für einen Linearbeschleuniger

LC: e^+e^- -Beschleuniger, $m_Z \leq \sqrt{s}$
 $\leq 1 \text{ TeV}$, $L \leq 5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Das LC-Detektor-Konzept optimiert für **Präzisionsmessungen**



Higgs-Strahlung $e^+e^- \rightarrow HZ \rightarrow Hl^+l^-$



Die Rekonstruktion der Higgs Eigenschaften bedarf:

- Hohe Impulsauflösung
- Gute Teilchenidentifikation

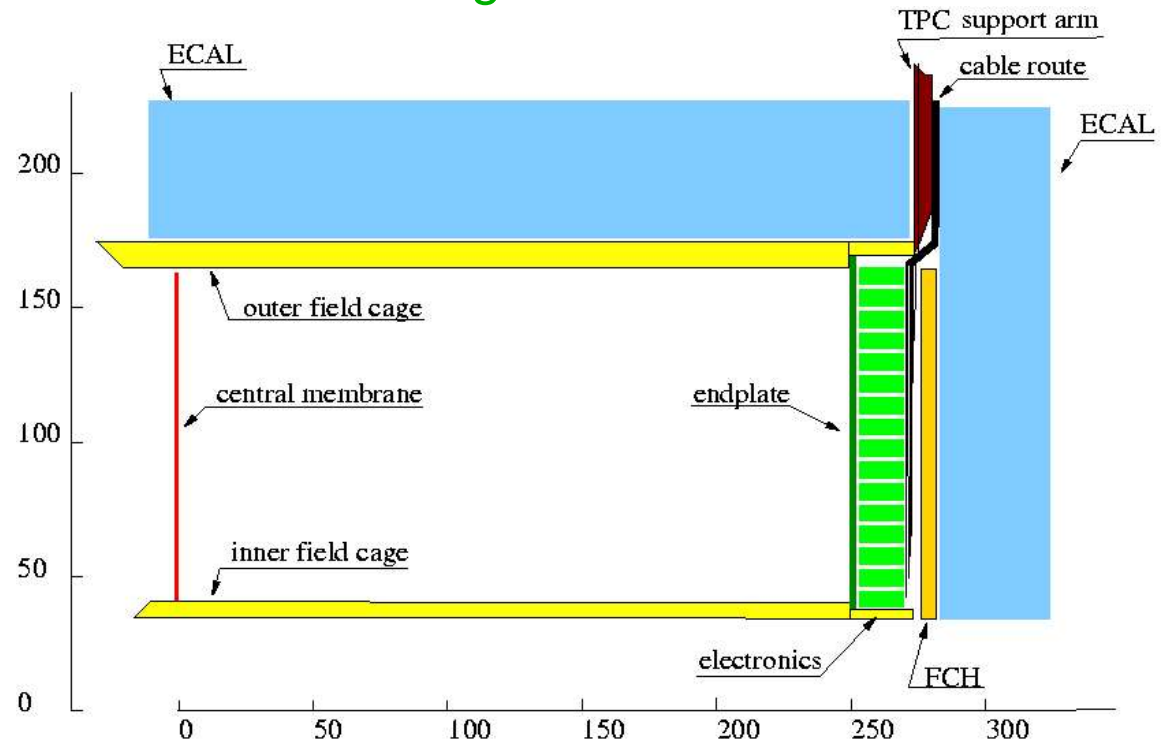
→ Hohe Auflösung der zentralen Spurkammer bzw. des Vertexdetektor

Zeit-Projektions-Kammer (TPC)

Eine TPC besteht aus einem großen gasgefüllten, zylindrischen Volumen mit minimalen "toten" Material, welches eine gute 3 dim. Rekonstruktion und eine gute Teilchenidentifikation mittels dE/dx ermöglicht.

Zum Beispiel: TESLA TPC

- Länge 5.46 m, \varnothing 3.4 m
- Magnetfeld 4 T
- Feldkäfig 0.03 X_0
- 1.2×10^6 Kanäle
- 200 Punkte pro Spur



Angestrebte Auflösung:

→ Impulsauflösung: $\Delta p_t / p_t^2 = 1.5 \times 10^{-4} \text{ GeV}^{-1}$ (1/10 x LEP)

→ Einzelpunktauflösung: 100 μm

→ dE/dx Genauigkeit: 5 %

Neue Gasverstärkungssysteme

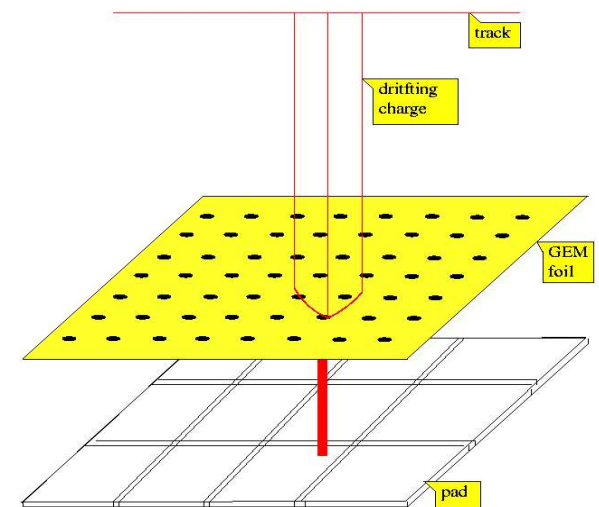
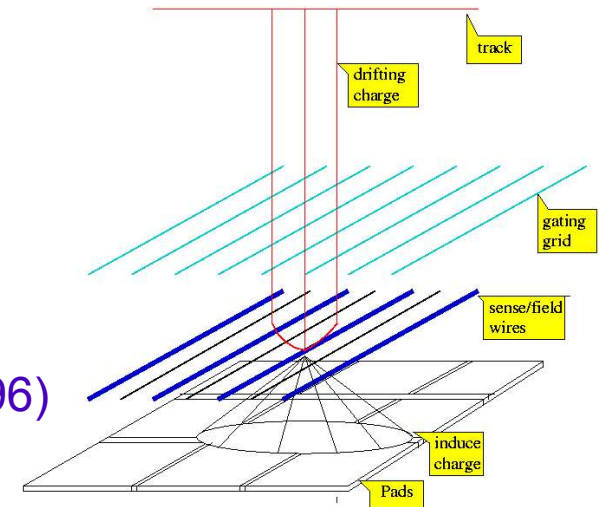
Neue Gasverstärkungssysteme sollen die konventionelle Gasverstärkung mittels Drähte ersetzen.

Vielversprechende Kandidaten:

- **Gas Electron Multiplier (GEM)** (F. Sauli, 1996)
- **Micromegas** (Y. Giomataris *et. al.*, 1996)

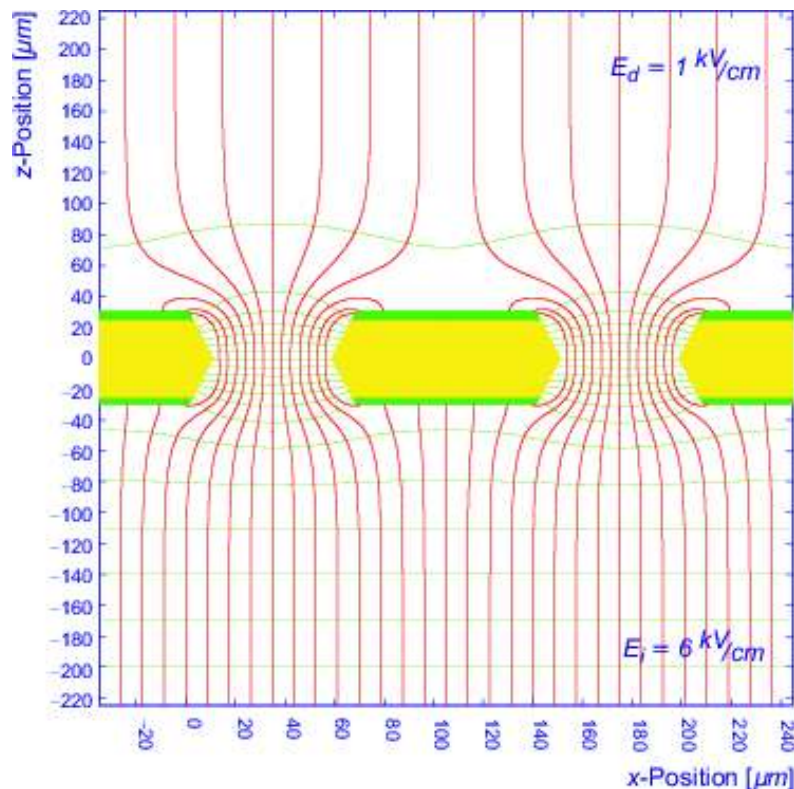
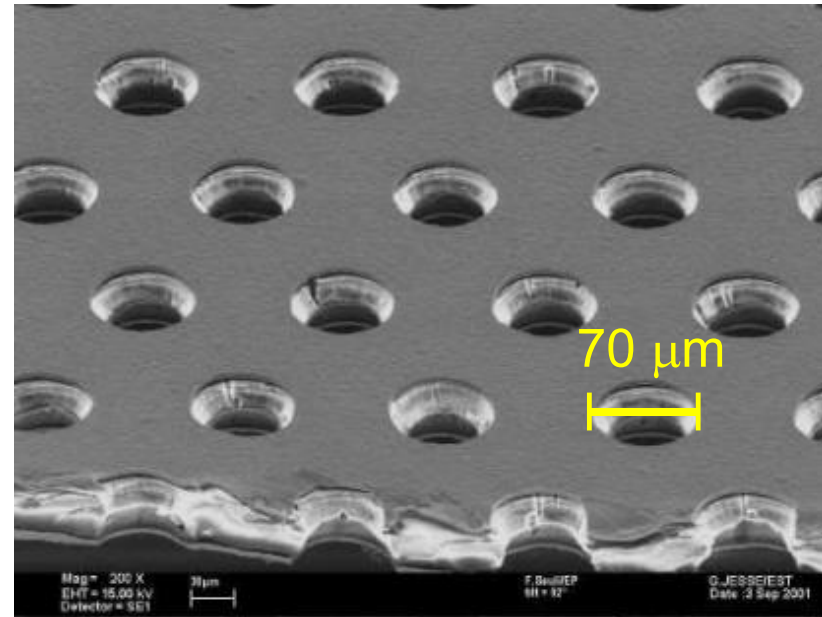
Vorteile:

- Zweidimensionale Symmetrie
- Verstärkungsstruktur von Grössenordnung $100 \mu\text{m}$ \rightarrow Auflösung
- Schnelles Elektronensignal
- Intrinsische Unterdrückung des Ionenrückdrifts



Gas Electron Multiplier (GEM)

- 50 μm dicke Kaptonfolie
- Beidseitige 5 μm Kupferschicht
- hexagonal angeordnete Lochstruktur
 \varnothing 70 μm , 140 μm Pitch



Mehrfach GEM-Struktur:

- Sicherer Betrieb
- Hohe Flexibilität zur Optimierung des Ladungstransfers

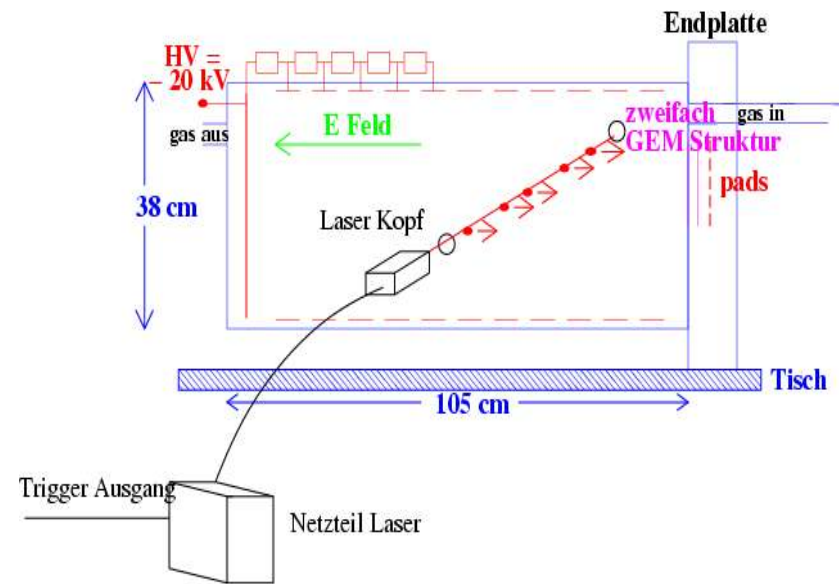
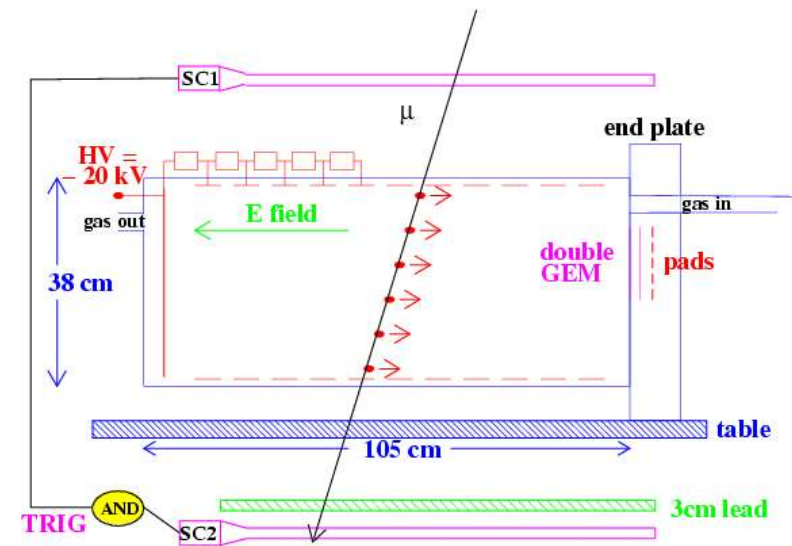
TPC-Aufbau

Aufbau des Hamburger TPC-Prototypen:

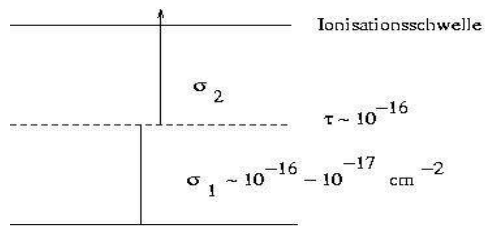
- Länge: 105 cm, \varnothing 38 cm
- Gasverstärkungssystem: 2 GEM Struktur
- 5x14 mm Padstruktur mit 13 Spalten, 6 Reihen
- Gas: Ar-CH₄-CO₂-Mischung (93:5:2)
- Datenauslese: Ladungsempfindliche FADC's (Aleph)

Möglichkeiten der Spurproduktion

1. kosmische Myonen
2. Teststrahl
3. Laser



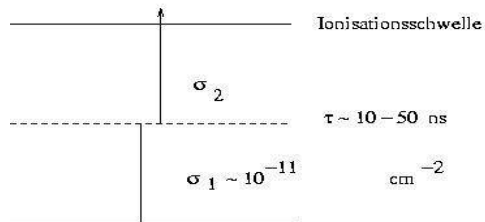
Laser-System



Mechanismus der Zwei-Photon-Ionisation

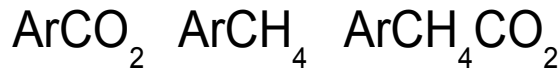
- a) Zwei-Stufen-Prozess über kurzlebige virtuelle Zwischenniveaus
- b) Zwei-Niveau-Prozess über ein existierendes reelles Zwischenniveau (Vibrations- oder Rotationszustand) des Moleküls

Energie des Lasers: $h\nu = 4.66 \text{ eV}$



Gas	Ionisationspotential[eV]
Argon Ar	15.76
Methan CH ₄	12.7
Kohlendioxid CO ₂	13.77
Iso-Butan i-C ₄ H ₁₀	10.57

→ Geringe Gasverunreinigungen des Kammergases ermöglichen 2 Photon-Ionisation.



Drift field[cm/μs]	250	95	240
Trans. Diff. [μm/√cm]	160	720	455
Long. Diff. [μm/√cm]	158	440	279
Driftgeschwindigkeit [cm/μs]	0.55	4.03	4.55

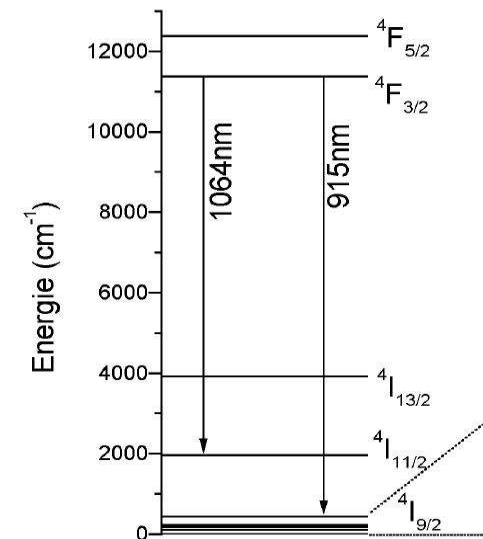
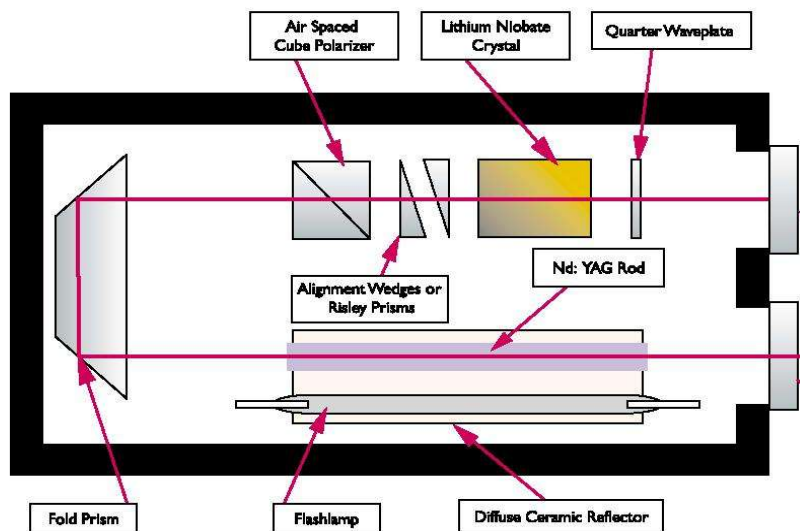
Motivation für ein Laser-System:

- Messung von Gaseigenschaften (Driftgeschwindigkeit, Diffusion)
- Messung der Doppelspurauflösung in rφ- und z-Richtung
- Messung der Doppelspurauflösung in einem 5 T Magneten

Laser-System

Eigenschaften des NdYAG-Lasers:

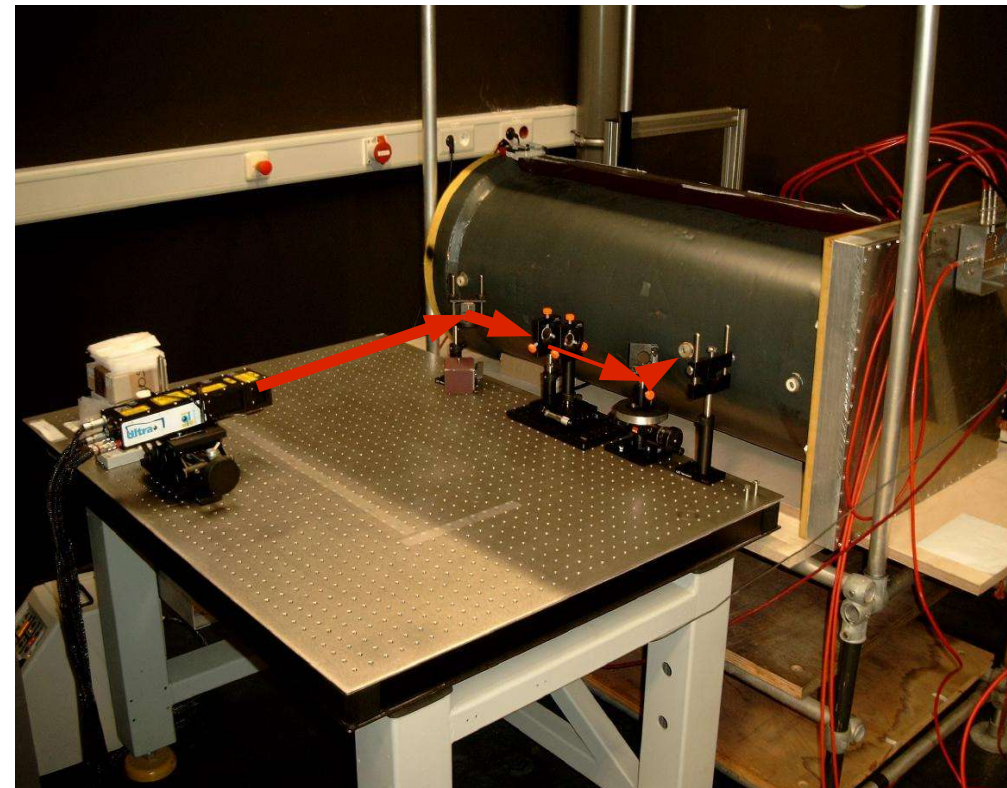
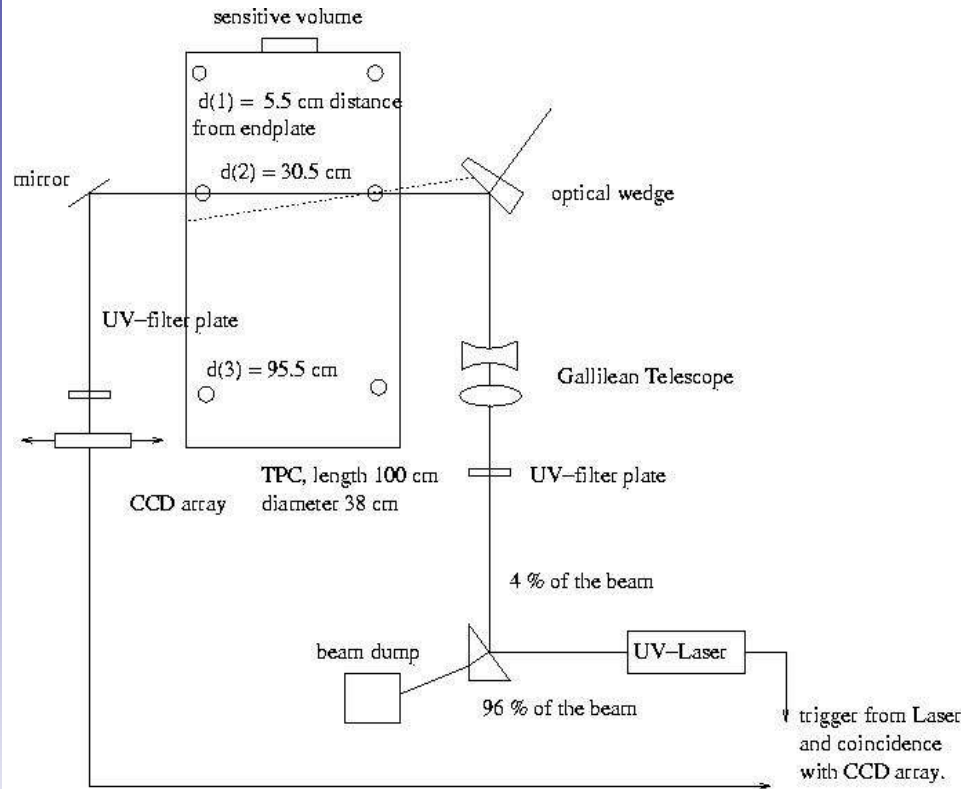
- Wellenlänge: $\lambda = 266 \text{ nm}$
→ $h\nu = 4.66 \text{ eV}$
- Max. Frequenz d. Lasers 20 Hz
- Max. Pulsenergie 3 mJ
- Pulslänge $< 6 \text{ ns}$
- \varnothing des Laserstrahls ca. 1.5 mm
- Divergenz $< 1 \text{ mrad}$



Aufbau des Laser-System

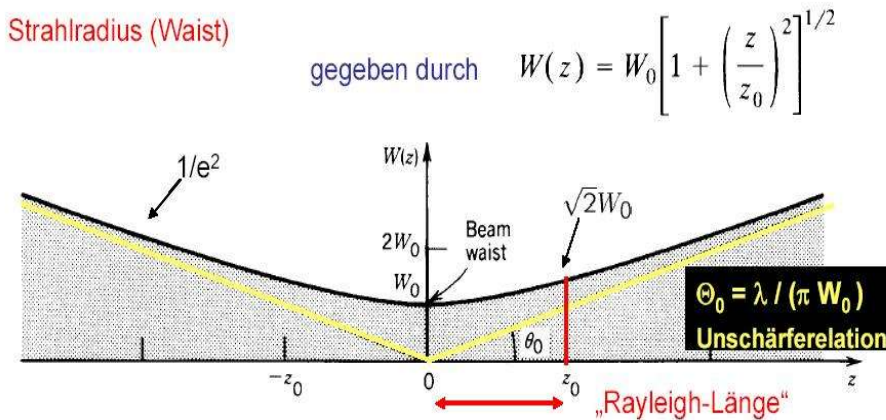
Anforderungen an den Aufbau:

1. Strahldurchmesser des Teilches sollte vergleichbar einem kosmische Teilchen sein (ca. $100 \mu\text{m}$) => Strahlteleskop
2. Produktion von Doppelspuren
3. Deutliche Abschwächung der Laserleistung

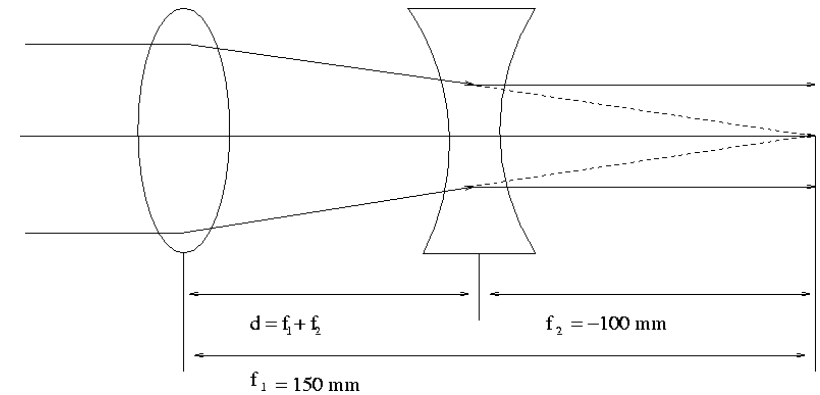


Das galileische Strahlteleskop

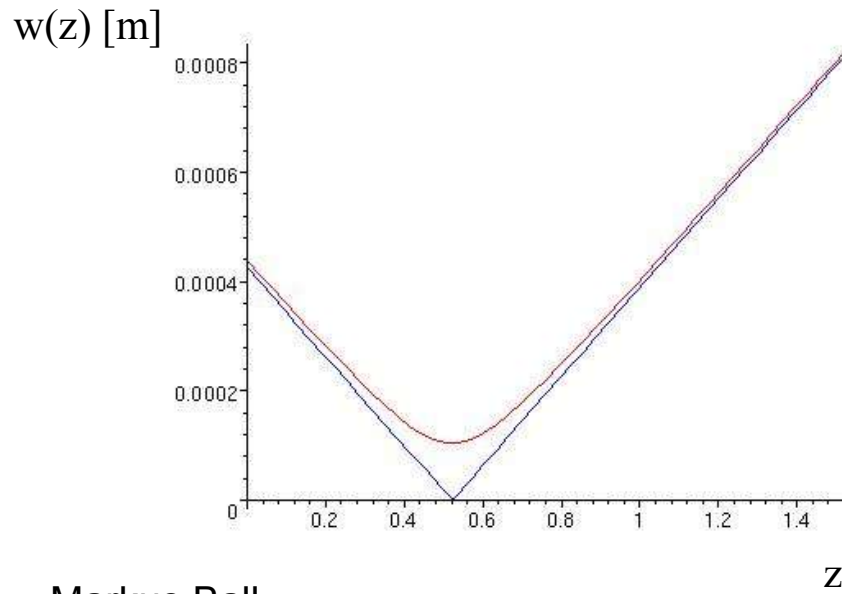
Gauss'sche Strahloptik:



Prinzip des galileischen Teleskop



Verlauf des Laserbreite

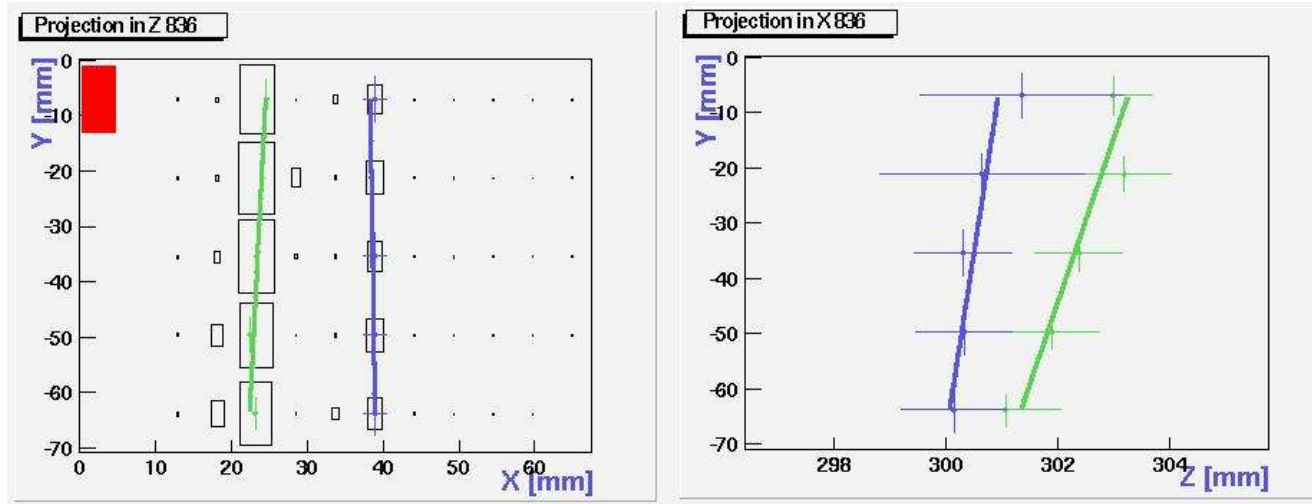


Parameter des Teleskops:

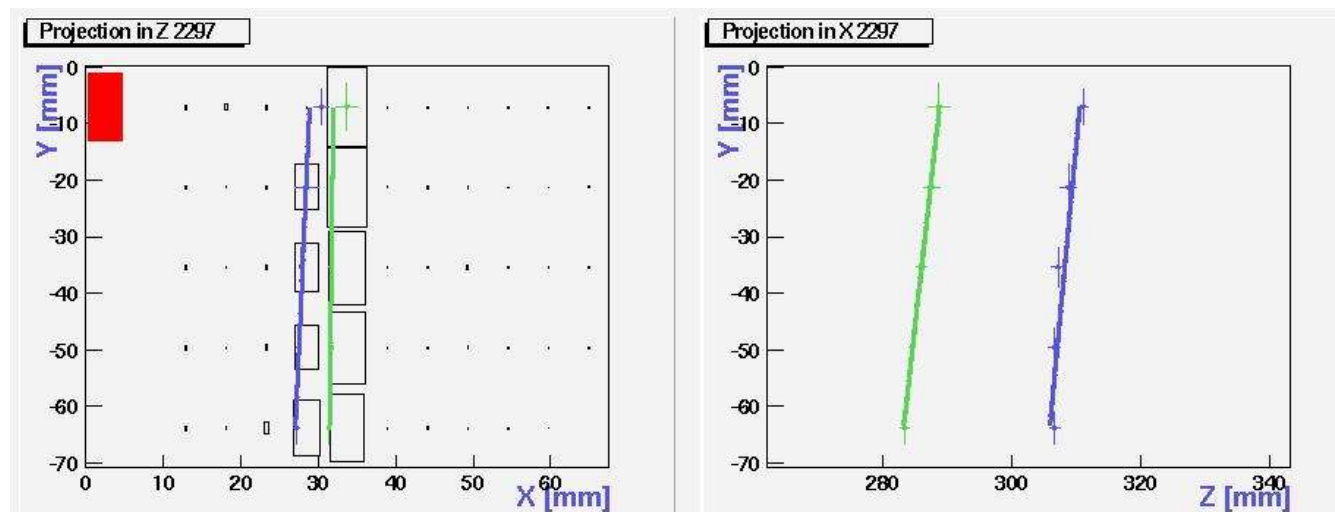
$f_1 = 15 \text{ cm}$, $f_2 = -10 \text{ cm}$
 $d = 72.5 \text{ cm}$
 $w_0 \approx 100 \text{ } \mu\text{m}$, $z_0 \approx 12 \text{ cm}$
 focus $\approx 50 \text{ cm}$

Vorläufige Ergebnisse

Spuren in $r\phi$ -Richtung mit einem 1° Keilprisma

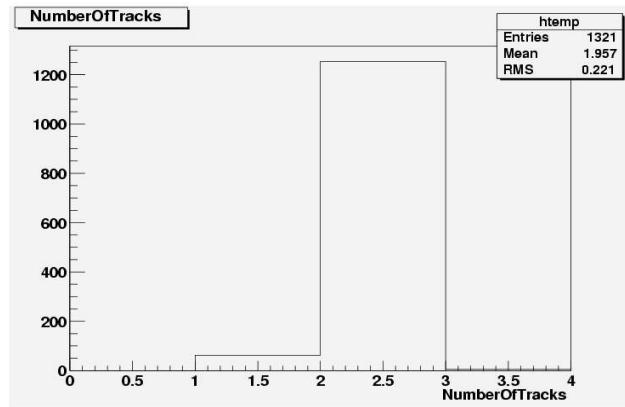


Spuren in z-Richtung mit einem 1° Keilprisma

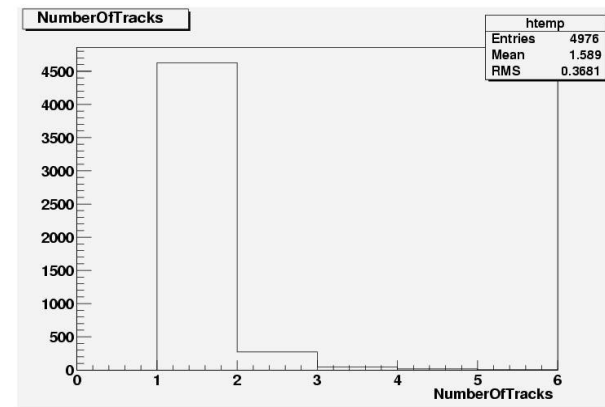


Vorläufige Ergebnisse

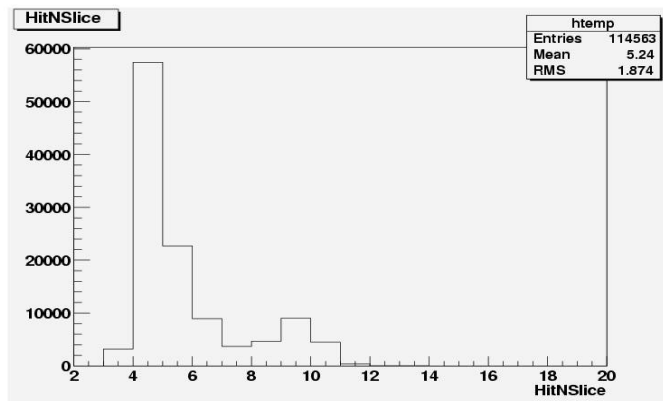
Anzahl der erkannten Spuren
(Laser)



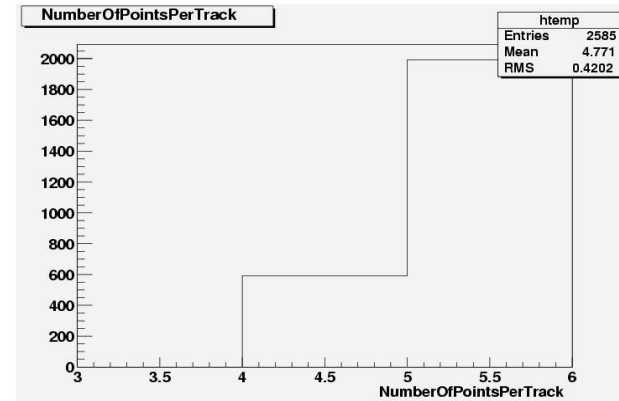
Anzahl der erkannten Spuren
(kosmische Myonen)



Anzahl der time-slices pro
Hit (Laser)



Anzahl der Punkte pro Spur
(Laser)



Zusammenfassung und Ausblick

- Laser ideales Werkzeug zur Produktion von Doppelspuren in einer TPC.
- Erste Doppelspuren beobachtet.
- Optimierung des Laser-Aufbaus zur Messung der Doppelspurauflösung.
- Vorbereitungen für einen Laser-Aufbau an einem 5 T Magneten mit TPC-Prototypen.