

Messungen und Simulationen für das Strahlverlust-Monitor-System des LHC

M. Stockner und das Beam Loss Monitoring Team

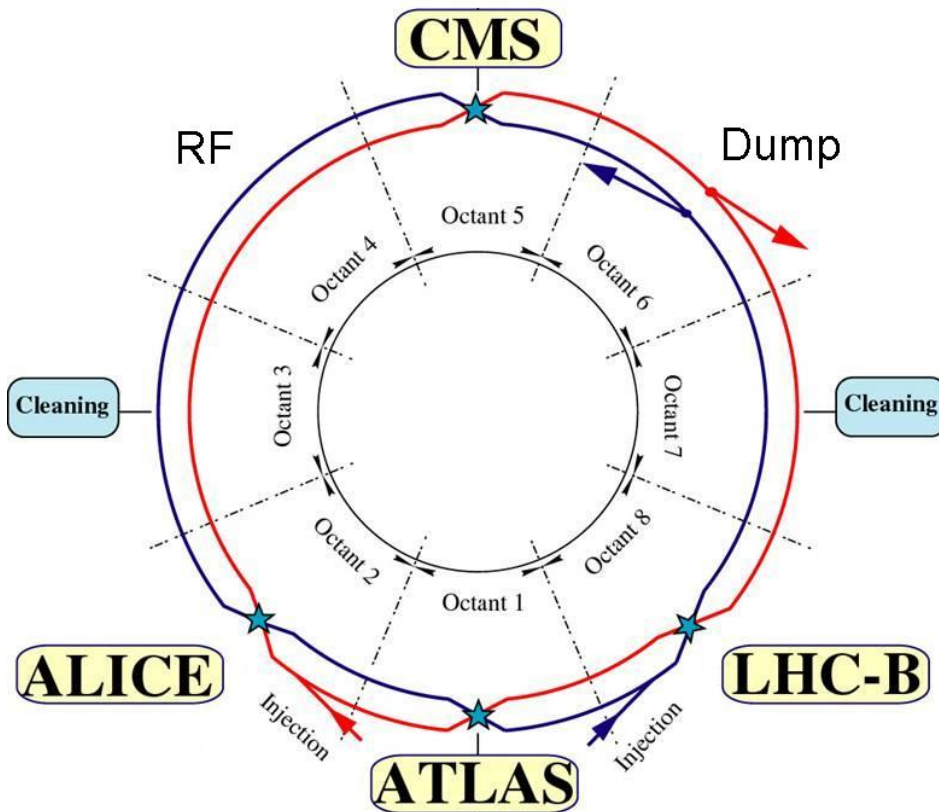
Inhalt:

- Large Hadron Collider (LHC)
 - Strahlverlust-Monitor-System
 - Aufgaben
 - Geant4 & Simulierter Detektorrespons
 - 400 GeV Protonenstrahl Vergleichsmessungen
 - Testmessung in gemischtem Strahlungsfeld
 - Ausblick
 - Zusammenfassung
-

OEPG-FAKT 2006

17 – 19 September, Maria Lankowitz, Steiermark

Large Hadron Collider (LHC)



- 350 MJ im Strahle gespeichert
- LHC Protonenimpuls Faktor 7 höher
- Intensität Faktor 100 höher als bei bisherigen Beschleunigern
- supraleitenden Magnete (8.3 T) 4÷20-fach sensibler auf Strahlverluste

Teilchenverluste müssen minimiert und gemessen werden

=> Strahlverlust-Monitor System (BLM, Beam Loss Monitoring)

- Messung der Strahlverluste außerhalb der Magneten
- Wird der Grenzwert für Strahlverluste überschritten → Dump Signal generiert.

Strahlverlust Monitor System

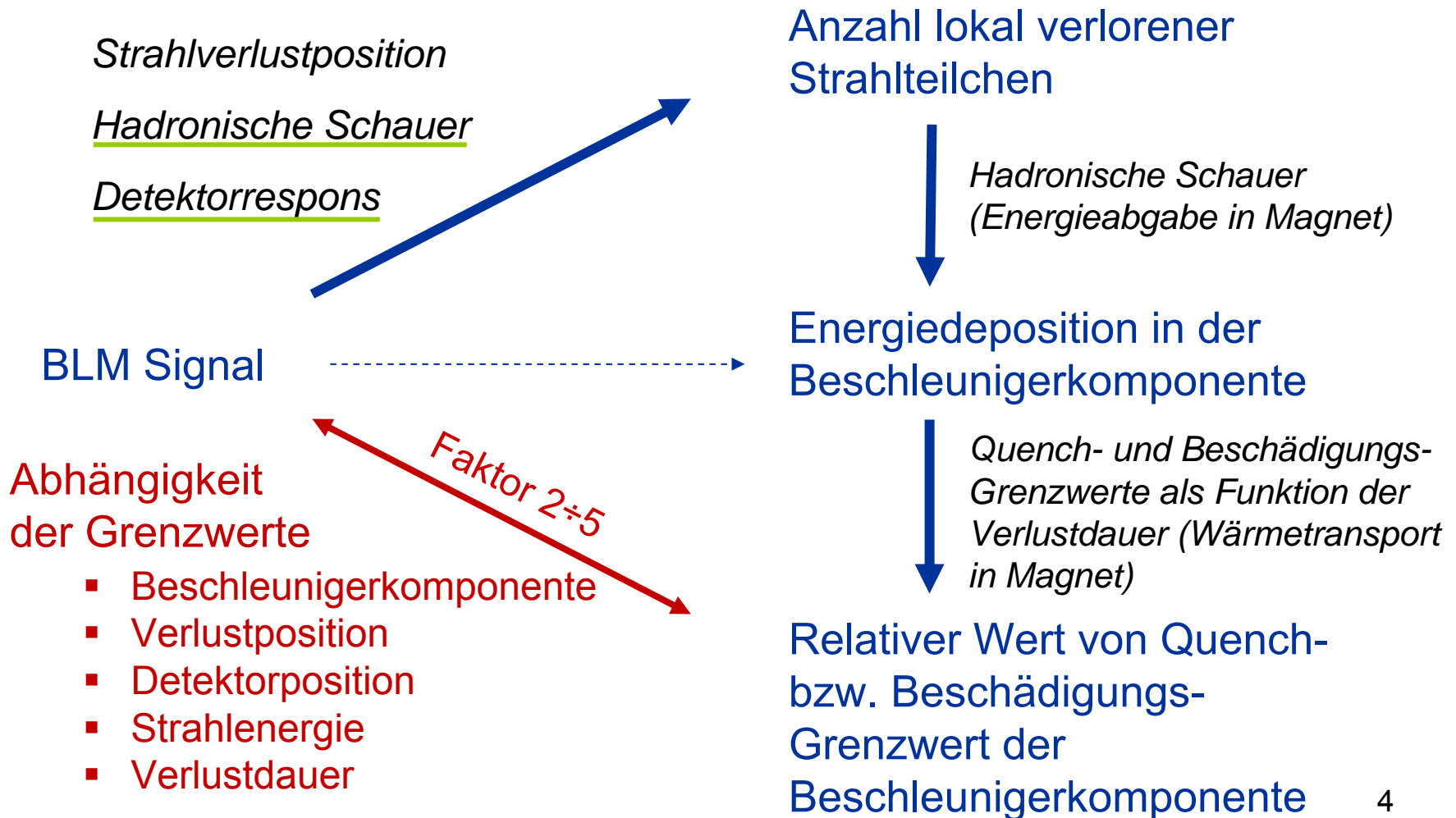
- **Aufgaben:**

- Bei zu hohen Strahlverlusten → Signale zur Extraktion des Strahles um Beschleunigerkomponenten vor Beschädigung und die Magneten vor Verlust der Supraleitung („quenched“) zu schützen.
- Justierung der Kollimatoren
- Lokalisieren von Strahlverlusten und Charakterisierung der Verlustmechanismen

- **Herausforderungen:**

- Einzigartige Kalibrierung mittels Simulationen (bei Inbetriebnahme Faktor 5 an Genauigkeit, später Faktor 2)
- Hohe Zuverlässigkeit (tolerierbare Fehlerrate 10^{-7} pro Stunde, robuster und strahlungsresistenter Detektor)
- Großer dynamischer Arbeitsbereich (10^8 , pA – mA)
- Kurze Ansprechzeit (Abortsignal innerhalb eines Umlaufs, 100 μ s)

Kalibrierung des BLM Systems



Aufgaben

1. Simulieren des **Detektorresponses** (Geant4)
 - Überprüfung mit Testmessungen (T2, H6)
2. Simulation des Detektorsignals in **transversalen** hadronischen **Schauerausläufern**
3. **Messung** von transversalen hadronischen Schauerausläufern (HERA Protonen Beam Dump)
4. **Vergleich** von Dump Simulation und Messung

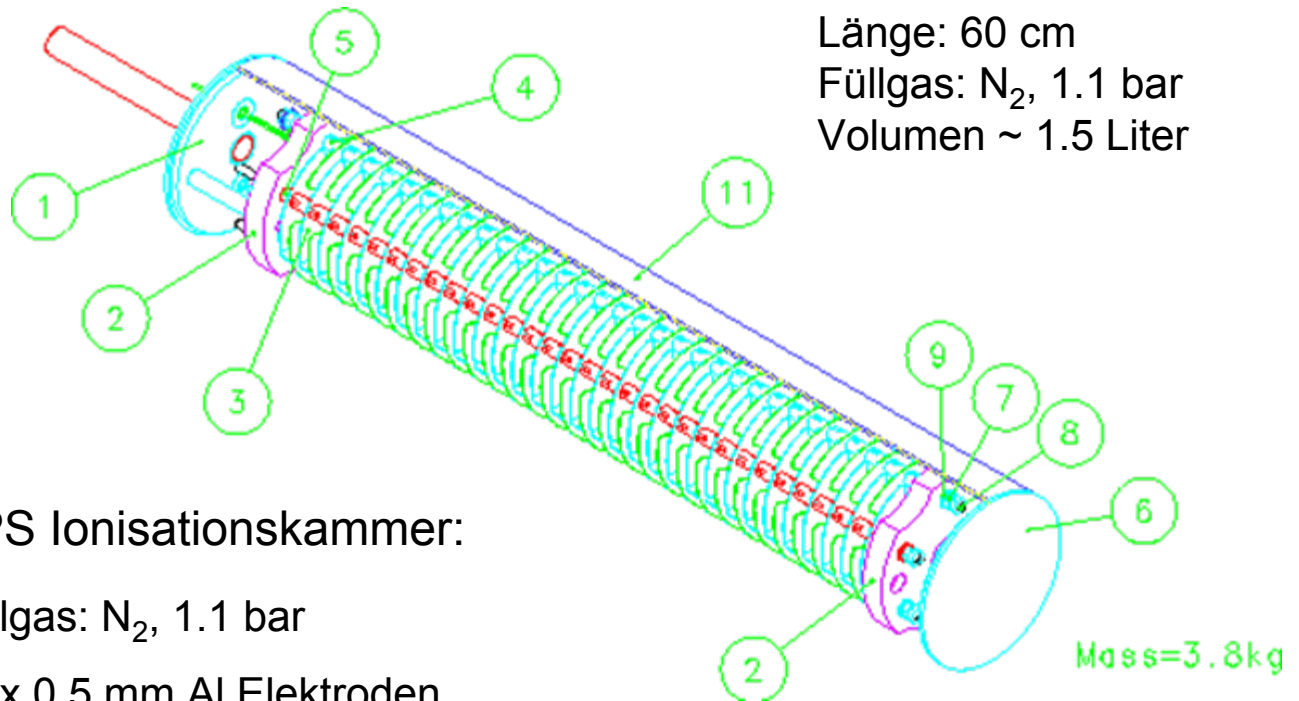


Bestimmung des Fehlers der transversalen Schauer-Ausläufer-Simulationen (Geant4)

Ionisationskammer

Neues Design der LHC Ionisationskammer:

Durchmesser: 9 cm
Länge: 60 cm
Füllgas: N₂, 1.1 bar
Volumen ~ 1.5 Liter



SPS Ionisationskammer:

Füllgas: N₂, 1.1 bar

30 x 0.5 mm Al Elektroden

Volumen ~ 1 Liter

Betriebsspannung: 1500V

4000 Detektoren in Summe



L ≈ 20 cm, Ø ≈ 12 cm

GEANT4

Geant4: Simulationscode für Teilchentransport in Materie

Anwendungen:

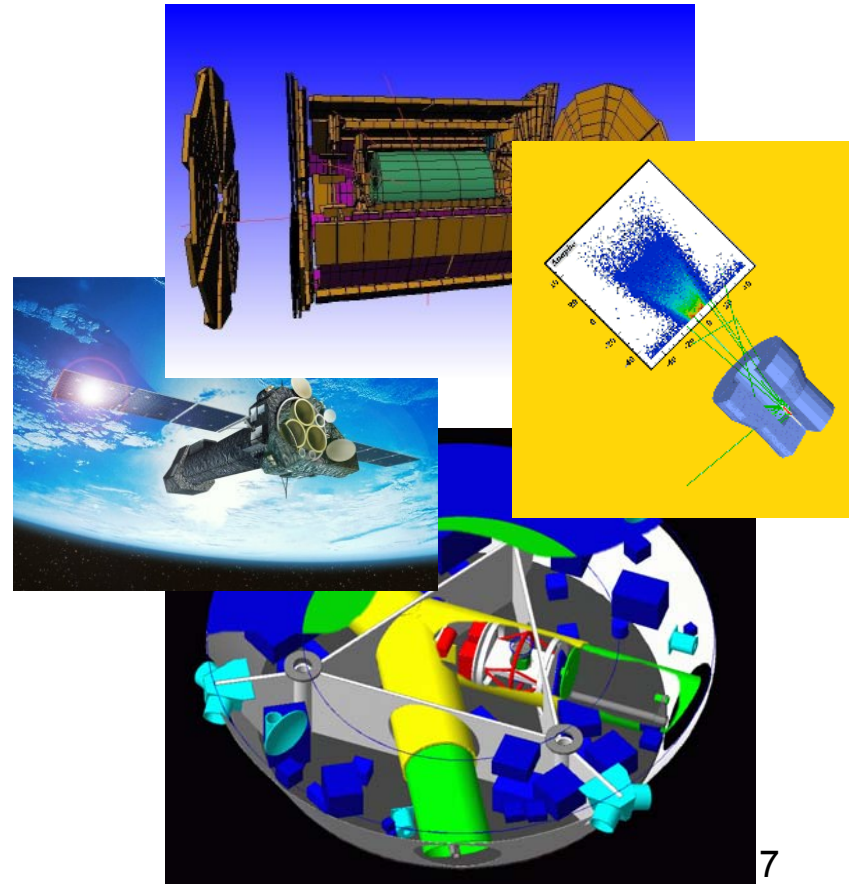
- Hochenergiephysik
- Experimente für Nuklearphysik
- medizinische Beschleuniger
- Raumfahrt

Weltweit Kollaboration von
über 100 Wissenschaftlern

Objektorientiert C++

Acronym GEANT von GEometry ANd Tracking

<http://geant4.web.cern.ch/geant4/index.shtml>



7

Simulierter Detektorrespons

Detaillierte Detektorsimulation mit Geant4:

Charakterisierung des Detektors

Falten mit Spektren → Detektorsignal

- 9 verschiedene Teilchenarten (p, e⁻, ...)
- Teilchen Energien: 1 keV – 10 TeV
- transversale und longitudinale Bestrahlung

Überprüfung der Simulation:

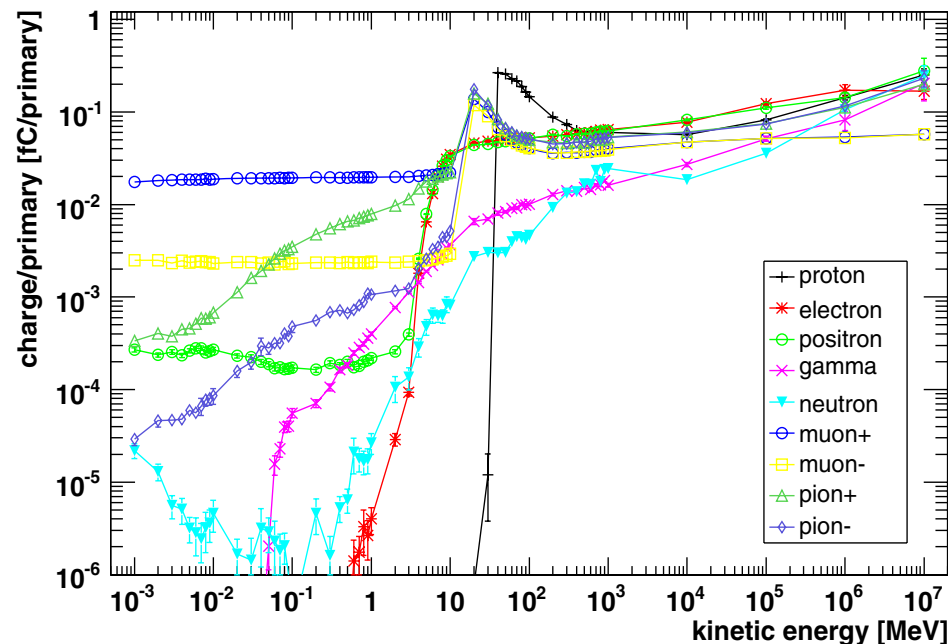
1. Analytischer Vergleich mittels
Bethe-Bloch Formel für Muonen

Übereinstimmung;

- 1 GeV mu⁺ : 95 %
- 35 MeV mu⁺ : 75 %

2. T2 – 400GeV Protonen

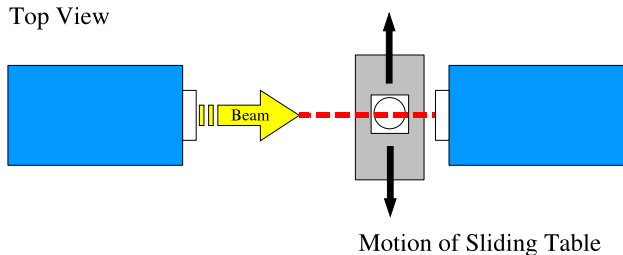
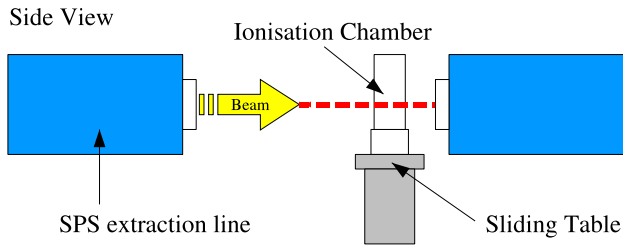
3. H6 – gemischtes Strahlenfeld



Transversaler Detektorrespons

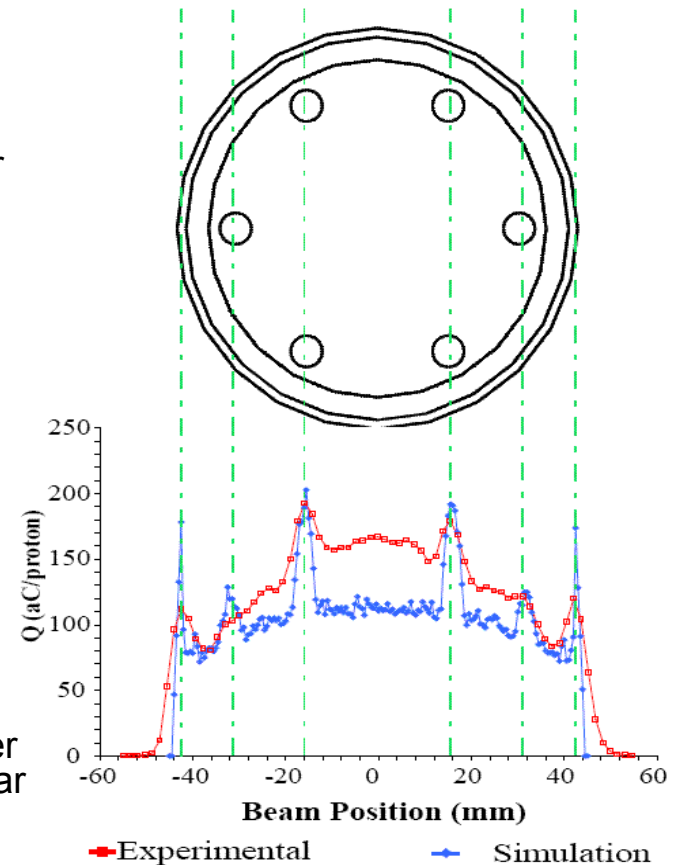
400 GeV Protonenstrahl Vergleichsmessungen

Transversales Scann-Experiment (SPS-T2):



Ort	North Area – T2
Teilchenart	Protonen
Energie	400 GeV
Intensität	$30.0 \pm 0.1 \times 10^{11}$
Strahlgröße	$\sigma_h = 2.5 \text{ mm}; \sigma_v = 1.25 \text{ mm}$

- Vertikale Kammer Ausrichtung
- Horizontale Bewegung durch den Strahl
- Vergleich von Simulation mit Messung
- Innere Struktur der Kammer erkennbar



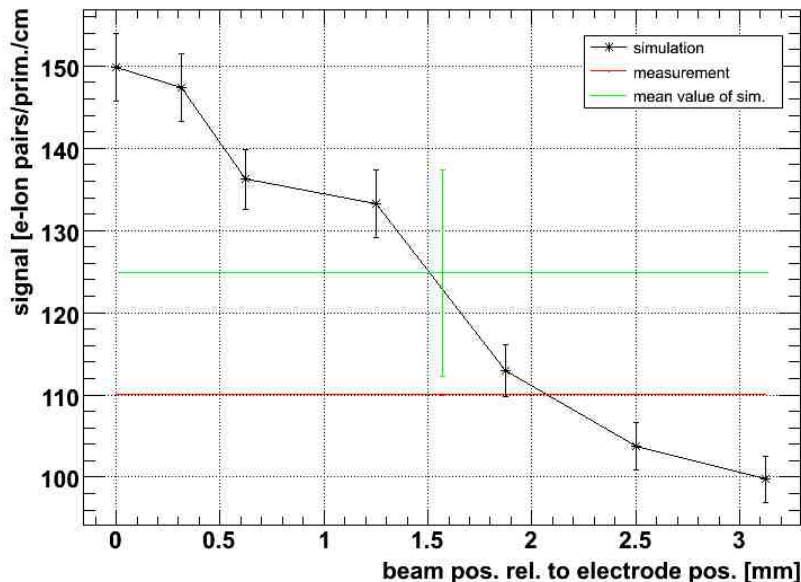
M. Hodgson,
Beam Loss Monitor Design Investigations for Particle Accelerators,
 Thesis, Department of Physics, University of Surrey, 25 April 2005

9

Ergebnisse

Simulation:

- Strahl parallel zu Elektroden
- **Verschiebung** des Strahls **normal** zu Elektroden
- Strahlgröße: parallel = 1cm, normal = 0.5cm



	Position [mm]	e-Ion p-1 cm-1	Stat. Fehler
Messung	---	110.06	0.06
Simulation	0	149.9	4.13
	3.13	99.7	2.79
Mittelwert		124.84	12.53

Ergebnis:

- Bestrahlung von Elektrode liefert höheres Signal (Protonen gehen durch viel Materie)
- Zwischen 2 Elektroden wenig Materie (Gas) → niedrigstes Signal
- Grosse systematische Unsicherheit der Messung aufgrund der unbekanntnen Strahlposition relative zu den Elektroden
- Messwert liegt innerhalb der Simulationsergebnisse

Testmessung in gemischtem Strahlungsfeld

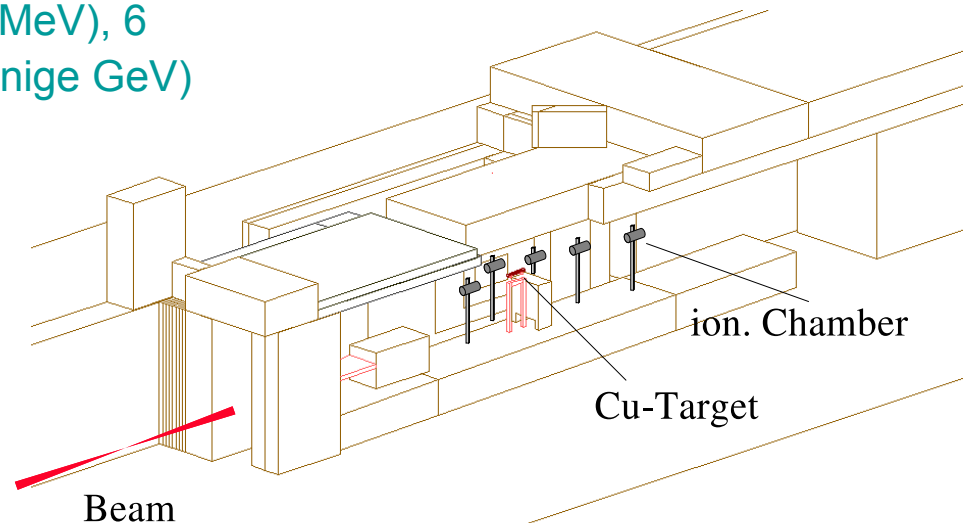
CERF Experimentierhalle (H6): (CERN-EU High Energy Reference Field Facility)

- früheres Experiment mit PMI (Kunststoff-Ionisationskammer) Detektoren (FLUKA, H. Vincke)
- 5 Ionisationskammern um Kupfertarget (L = 50 cm, $\varnothing = 7$ cm)
- jede Kammer sieht anders Strahlungsfeld

1 Kammer im niederenergetischen (einige MeV), 6 Kammer im hochenergetischen Bereich (einige GeV) des Energiespektrums

Strahlparameter:

Impuls	120 GeV/c		
Intensität	Bis 9.5×10^7 Hadronen pro 16.8 s		
Gaußsches Strahlprofil	$\sigma_{\text{horizontal}}$	1.3 cm	
	σ_{vertikal}	1.0 cm	
Strahlzusammensetzung	π^+	Protonen	K^+
	60.7	34.8	4.5



Ergebnisse

Simulation:

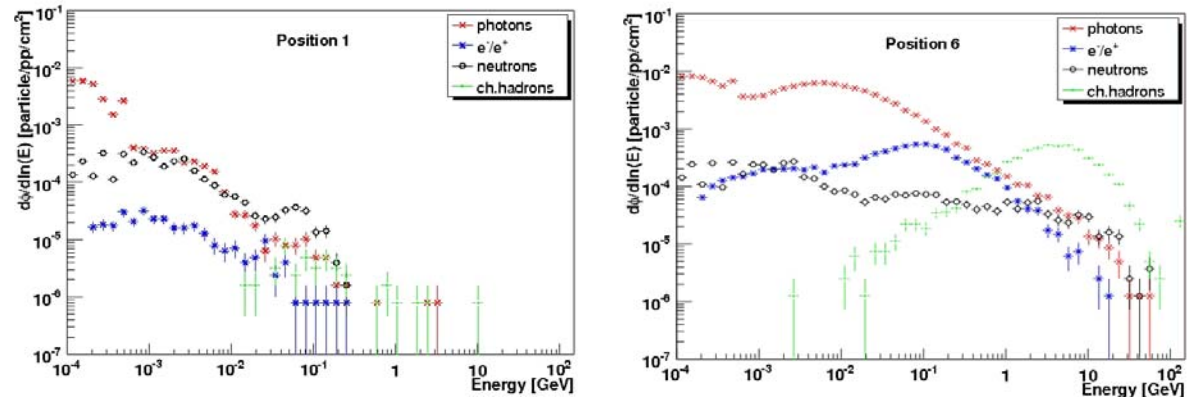
- FLUKA Spektren als Input in Geant4
- Detektoren einzeln simuliert

Ergebnis:

- Abweichung **FLUKA – Messung** $\approx 8\%$
- Abweichung **Geant4 – Messung** $\approx 12\%$, liegt innerhalb des Fehlers
- größte Abweichung bei Position 1 $\approx 21\%$

Erklärung: Anzahl und Energie der Teilchen im Vergleich sehr nieder (Kunststoffwand - Stahlwand)

Beispiele für Spektren (Position 1 und 6):



position	Geant4 simulation [pC]		measurement [pC]		ratio	
	SPS BLM	error	SPS BLM	error	sim/meas.	error
1	91.13	0.35	115.33	11.66	0.79	0.08
2	281.22	5.98	—	—	—	—
3	1656.38	18.21	1577.75	162.59	1.05	0.11
4	2386.62	21.53	2121.52	230.69	1.12	0.12
5	3943.99	23.12	3531.98	370.42	1.12	0.12
6	6495.5	17.54	7091.16	1096.82	0.92	0.14

Ausblick

HERA Protonen Beam Dump

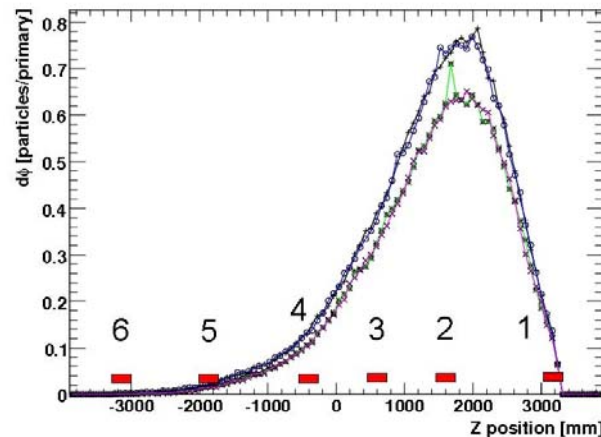
Kalibrierung des BLM Systems für die LHC Inbetriebnahme durch Geant4 Simulationen

Verifizierung **transversaler** hadronischer Teilchenschauer-Ausläufer-Simulationen

Test der **Elektronik**

Testinstallation:

- 6 SPS-BLM Detektoren
- longitudinale Anordnung
- LHC-BLM Elektronik



Energie:

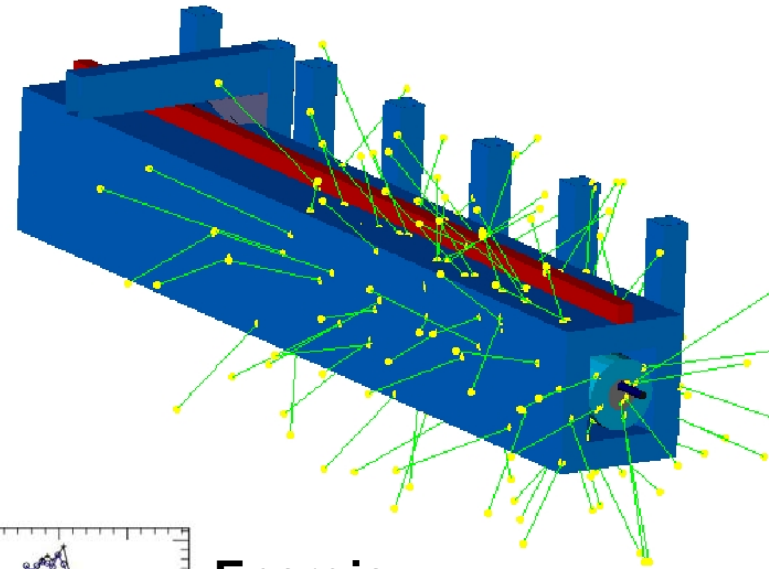
40 GeV & 920 GeV

Intensität:

von: 10^{11} Protonen

bis: 10^{13} Protonen

13



Zusammenfassung

- Simulation des **Detektorresponses** und Verifizierung durch Vergleichsmessungen:
 - Testmessungen mit 400 GeV Protonen - T2
 - Messung in gemischtem Strahlungsfeld - H6

➔ **Teil der Kalibrierung des LHC BLM Systems**
- Transversale **Teilchenschauer-Ausläufer-Simulation** und Auswertung der **HERA Proton Beam Dump Messung** nahezu abgeschlossen
- Abweichung von Dump Simulation zu Messung

➔ **Teil der Fehlerbestimmung der Kalibrierung des LHC BLM Systems**
- Die gesamte Anfangskalibrierung (Faktor 5) soll bis Ende 2007 bei der in Betriebnahme des LHC abgeschlossen sein

Fragen ?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Für weitere Informationen:

<http://cern.ch/blm>

15

