

# Anwendungen von Diamantdetektoren am LHC und CMS

## Kurzbericht des Arbeitsgebietes



Maria Hempel

Herbstschule für Hochenergiephysik

Kloster Maria Laach, 03.09.-13.09.2013

- Large Hadron Collider und dessen Herausforderungen
- Herausforderungen und Strahlverluste des LHCs
- Teilchenbewegung im LHC
- Ionisationskammern und Diamantdetektoren
- Unidentified Falling Objects UFOs
- Injektionsverluste
- Luminositätsmessungen



# Large Hadron Collider

## > LHC der Teilchenbeschleuniger:

- Ort: Genf
- Umfang: 27km
- 100m im Untergrund

## > Beschleunigung von Teilchen

- Protonen oder schwere Ionen

## > Verwendeter Teilchenimpuls: 4TeV/c

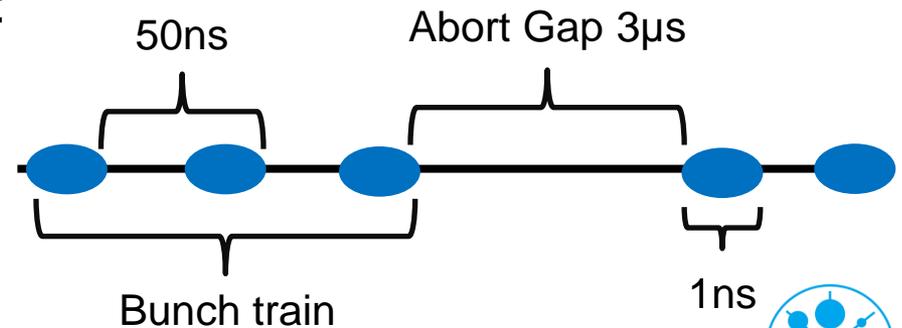
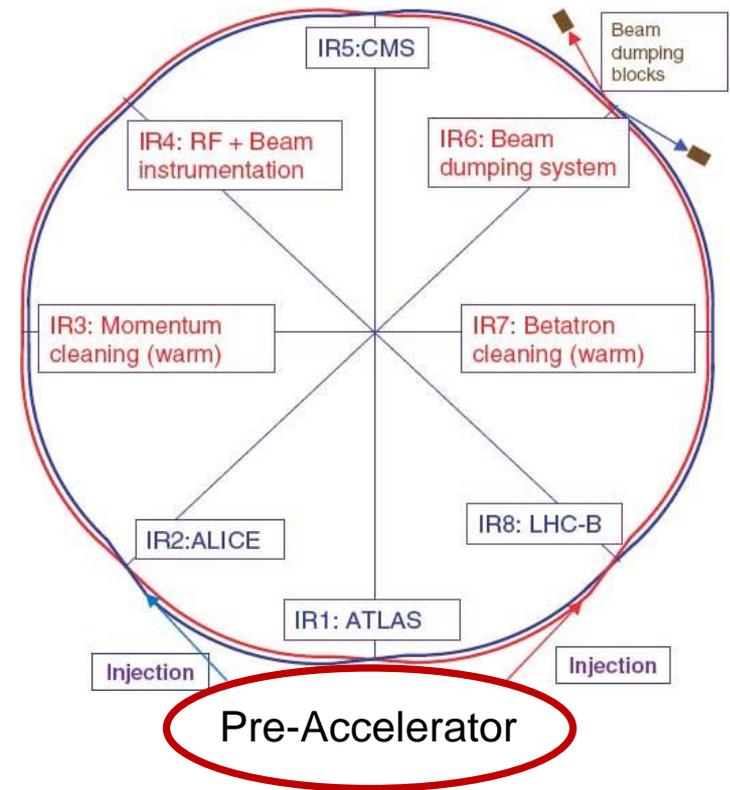
## > $1.15 \cdot 10^{11}$ in einem Paket (bunch)

## > Anzahl der Teilchenpakete (2012): 1380

## > Abstand der Teilchenpakete (2012): 50ns

## > Umlaufzeit: 89 $\mu$ s

## > Abort Gap für Strahlabbruch: 3 $\mu$ s



# Herausforderungen am LHC

- > Gespeicherte Energy pro Strahl in 2012: 130MJ
  - 35kg TNT oder 3kg Schweizer Schokolade
- > Strahlverluste lagern die Energie in Anlagenteile ab
  - $\text{mJ/cm}^3$  quenchen von supraleitenden Magneten (Übergang von Supraleitung zu normal leitenden Material)
  - Große Strahlverluste zerstören Materialien
- > Schutz der Anlagenteile
- > Abfangen der Strahlverluste
- > Zu große Strahlverluste führt zum Strahlabbruch



# Strahlverluste im LHC

## > Ursachen der Strahlverluste:

- Während Injektion vom Vorbeschleuniger zum LHC und Strahlabbruch
- Streuprozesse mit Restgasteilchen
- Streuprozesse mit Staubteilchen (Unidentified Falling Objects UFOs)
- Kollisionsprodukte

## > Beobachtung der Strahlverluste

## > Abfangen der Strahlverluste



# Teilchenbewegung im Ringbeschleunigern

- Teilchen werden durch Magnet gesteuert (Dipole und Quadrupole)
- Teilchen bewegen sich auf Trajektorien um den Ring

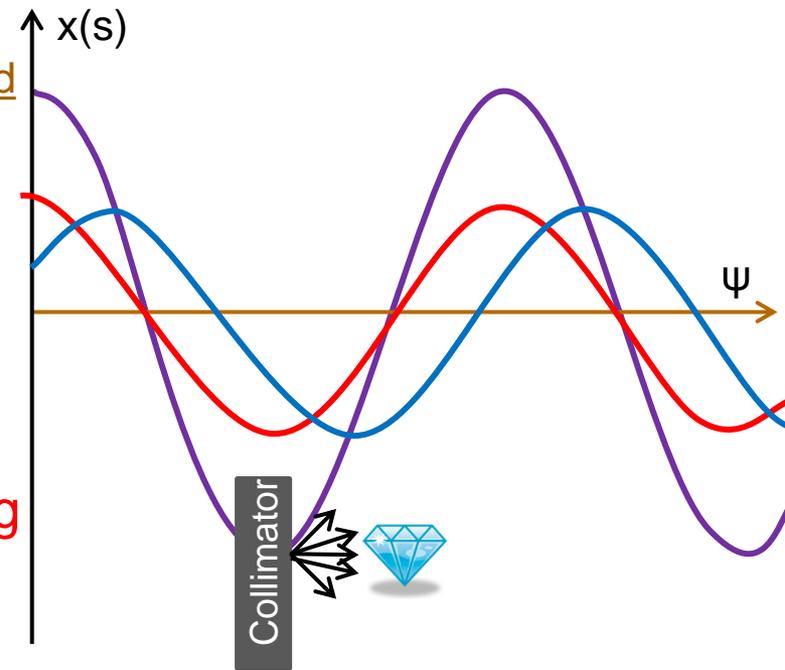
- Ideale Trajektorie ist eine geschlossene Kurve (closed orbit)

- Magnetische Felder mit Abweichungen

- Abweichung vom closed orbit
- Teilchen oszillieren um den closed orbit (Betatronoszillation)

- Streuprozesse führen zu Amplitudenerhöhung

- Abfangen der Teilchen mit zu großen Amplituden



Betatron Oszillation

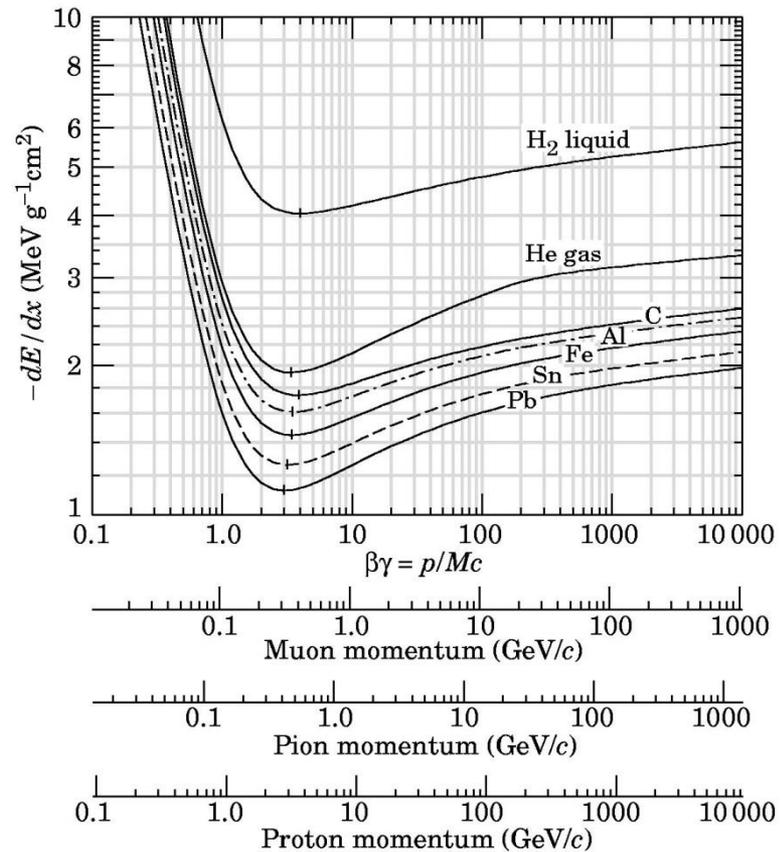
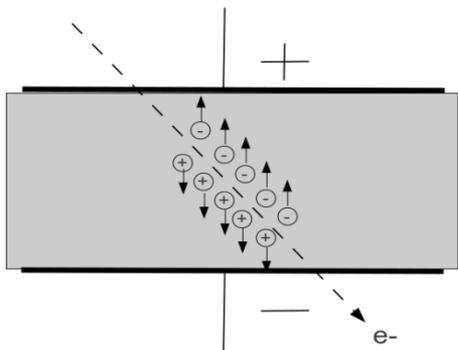
Amplitude (abhängig von Magnetstruktur)

Phase

$$x(s) = u(s) \cos(\Psi(s) + \Phi)$$

# Beobachtung der Strahlverluste

- Beobachtung der Verluste im gesamten LHC Ring
- Bei zu hohen Verlusten folgt Strahlabbruch
- Zwei verschiedene Monitore:
  - Ionisationskammern (Gas)
  - Diamantsensoren (Festkörper)
- Signalentstehung durch Ionisationprozess im Festkörper oder Gas
  - Bethe-Bloch Gleichung

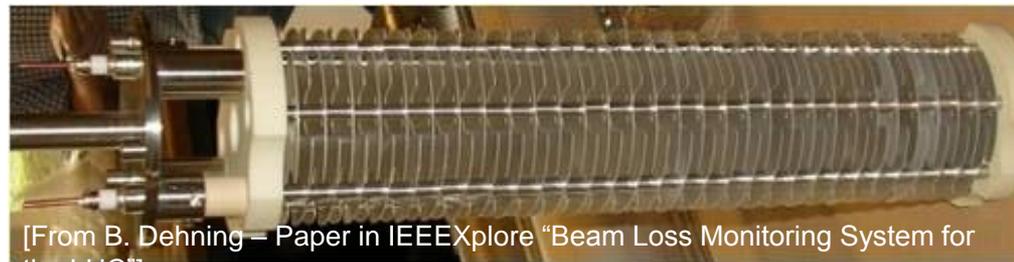
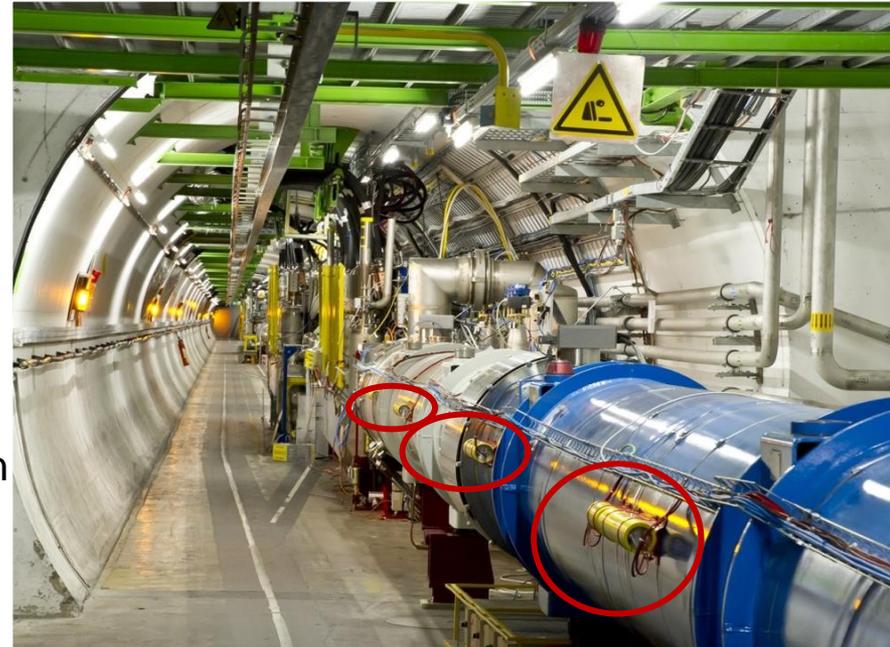


$$-\left(\frac{dE}{dx}\right) = Kz^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[ \frac{1}{2} \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} \right) - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right]$$



# Ionisationskammern

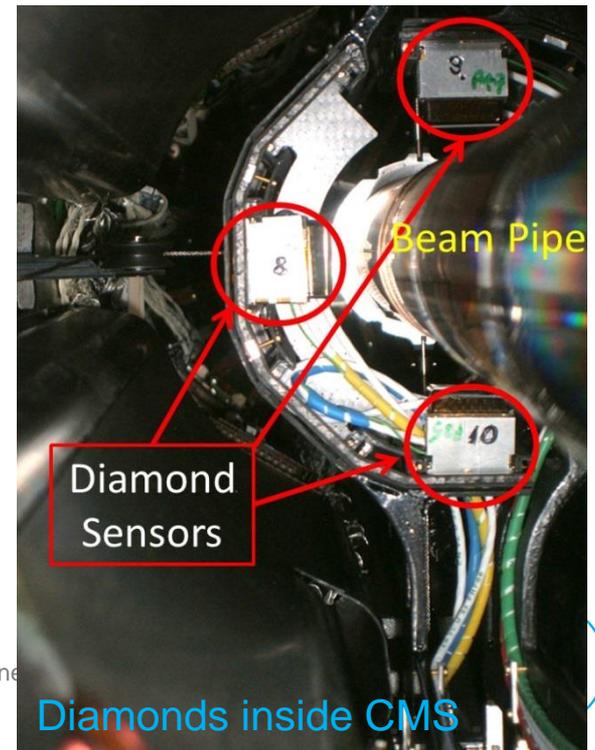
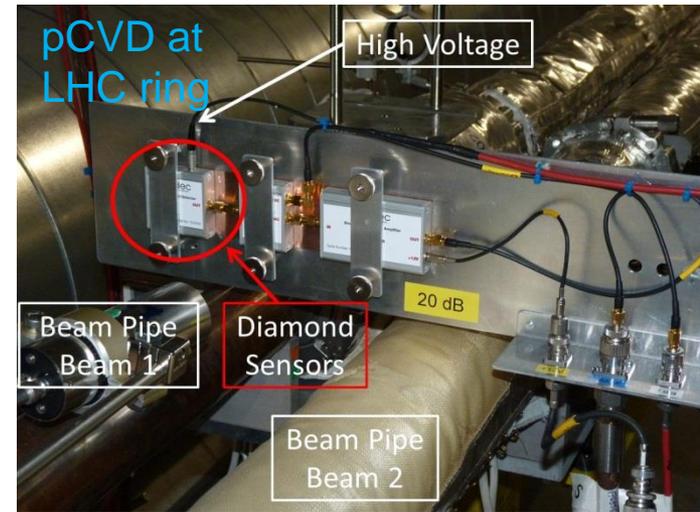
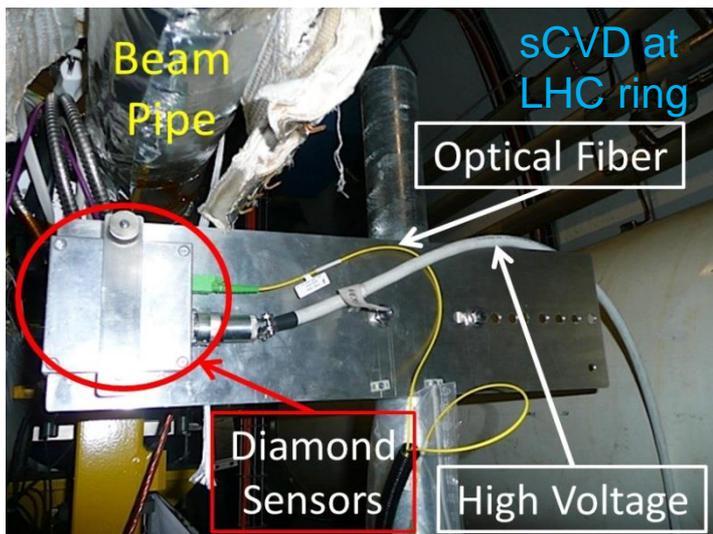
- 3600 Ionisationskammern um den LHC Ring
- Gefüllt mit Stickstoff
- Besitzt Aluminium Elektroden
- Größe: 50cm x 9cm
- Zeitauflösung: 40 $\mu$ s
  - Keine Information zu Verlusten bei einzelnen Teilchenpaketen
- Signalmessung
  - Vergleich mit einer Grenzwelle
  - Strahlstop bei Überschreitung



[From B. Dehning – Paper in IEEEExplore “Beam Loss Monitoring System for the LHC”]

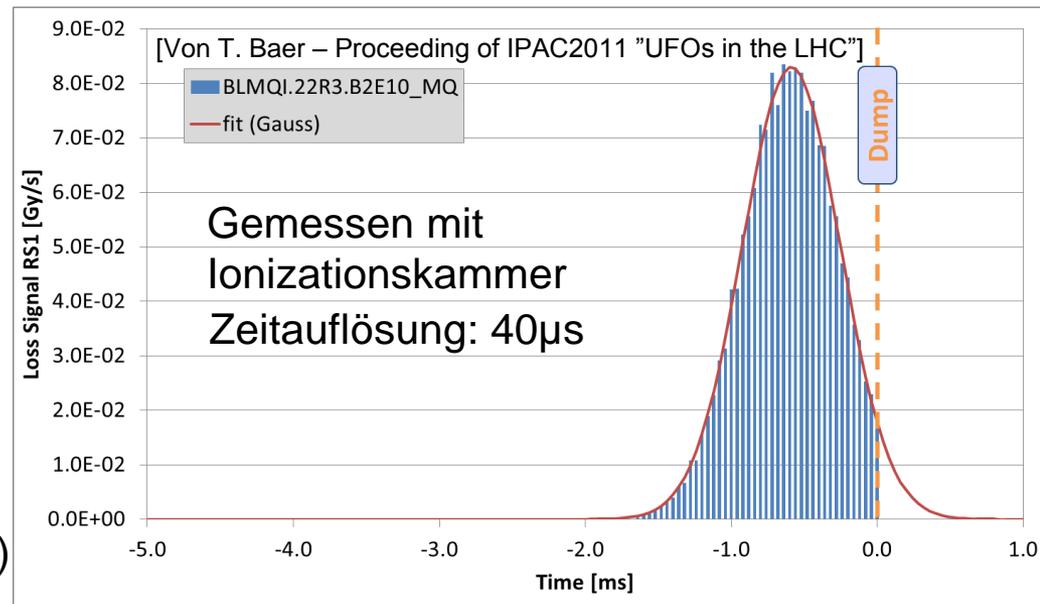
# Diamantdetektoren

- Festkörperionisationskammer
- Basierend auf Ein- und Mehrkristallinen CVD Diamanten (sCVD und pCVD)
- Größe: 5mm x 5mm (sCVD) oder 5cm x 5cm (pCVD)
- Zeitauflösung: 1ns
  - Verluste pro Teilchenpaket messbar
- Strahlungshart und kaum Leckströme



# Strahlverluste durch UFOs

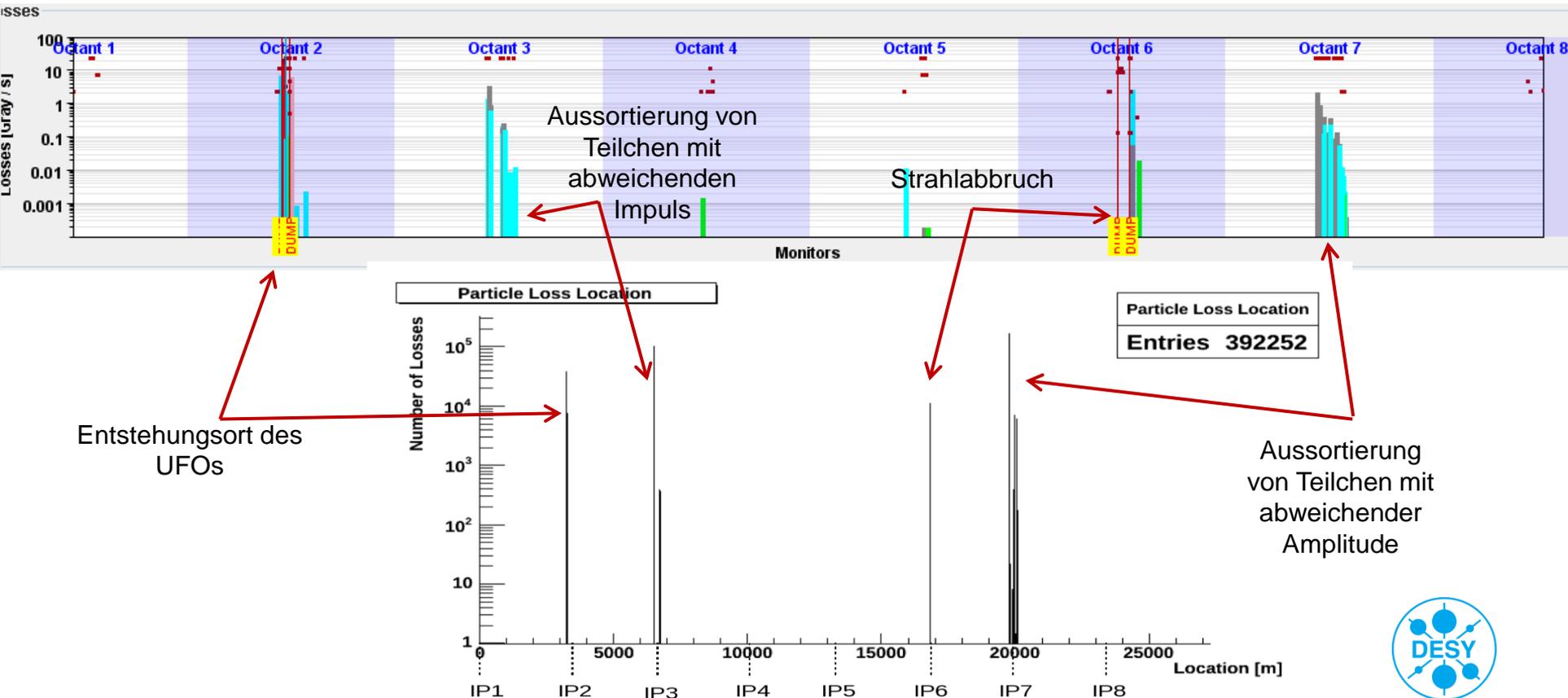
- UFOs sind Staubteilchen
- Größe: 10- 100 $\mu\text{m}$
- UFOs fallen von oben in den Strahl
- Streuprozesse zwischen Protonen und UFOs
  - Inelastisch (lokalisierte Strahlverluste)
  - Elastisch (Strahlverluste über mehrere LHC runden)
- Verluste sind gaußförmig
  - Über mehrere LHC Runden
- Verluste können zu Strahlabbruch führen



Eine Auflösung der Verluste pro Bunch (50ns Abstand) ist nicht möglich mit Ionisationskammern!

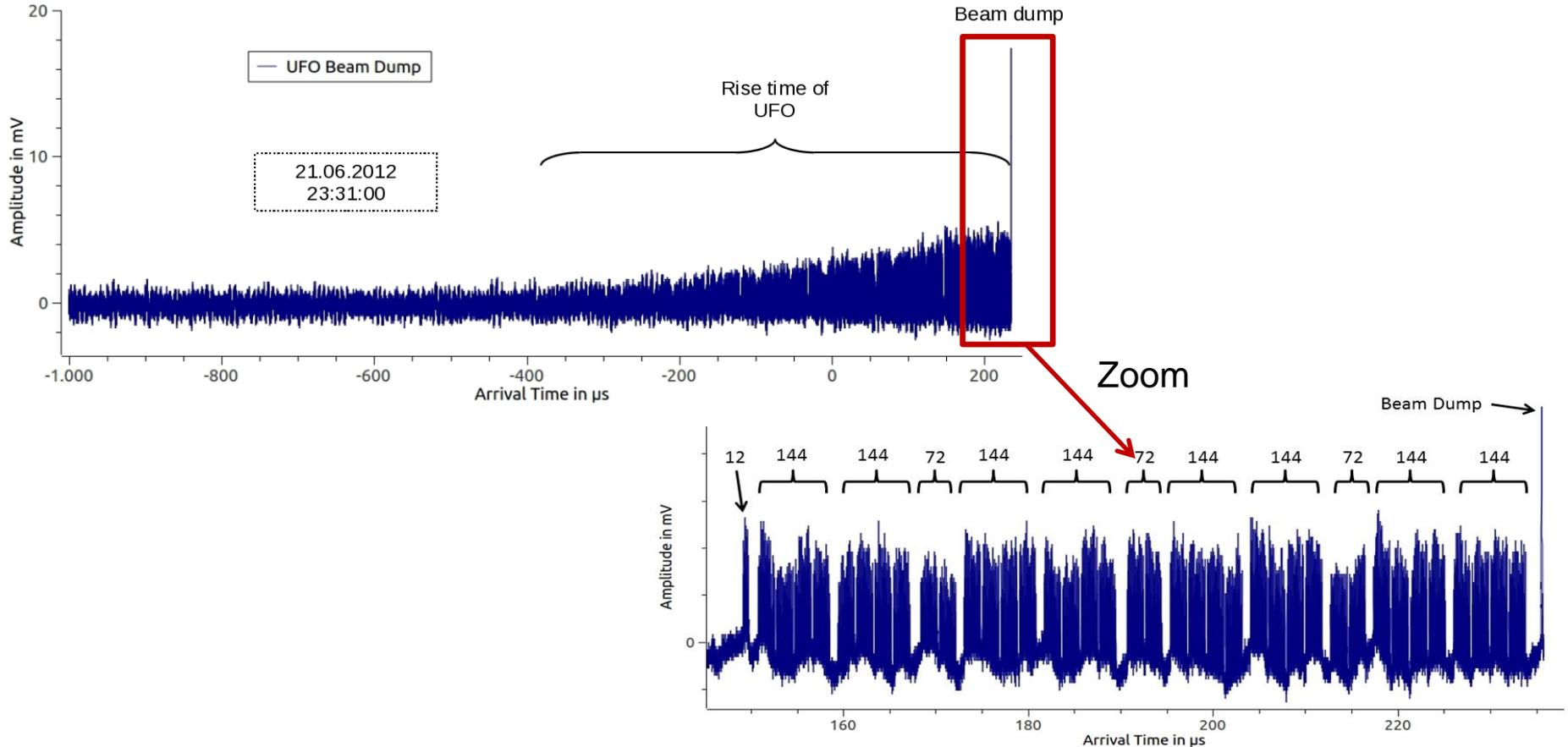
# UFO Simulationen

- UFOs erzeugen Verluste an verschiedenen Punkten im LHC
  - Unter kleinen Winkel elastisch gestreute Teilchen
- Simulation der elastischen Streuung und der Verlustpositionen
- Simulation durch Messung mit Ionisationskammern bestätigt

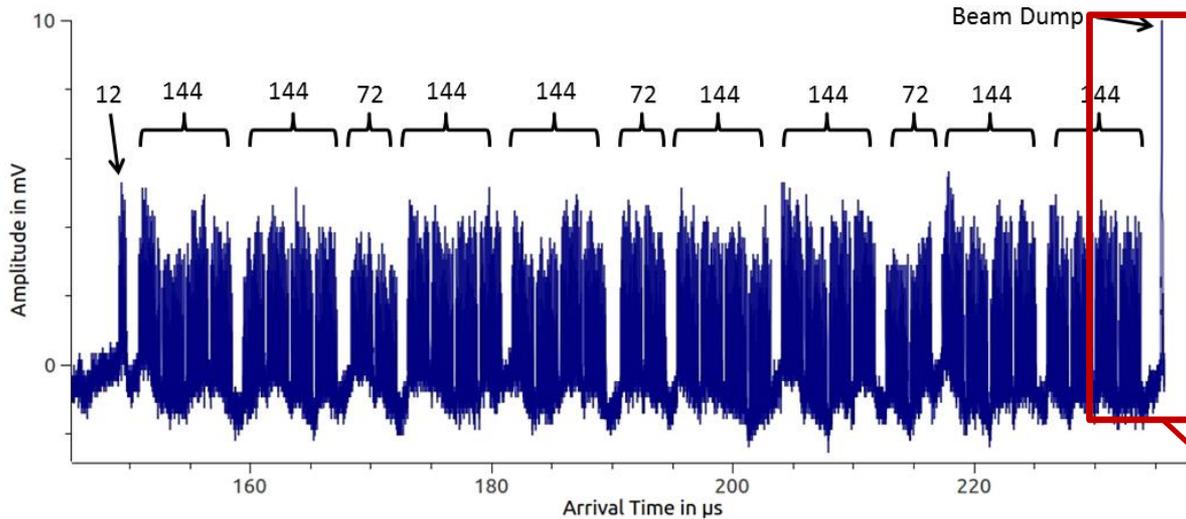


# UFO Messungen mit Diamant

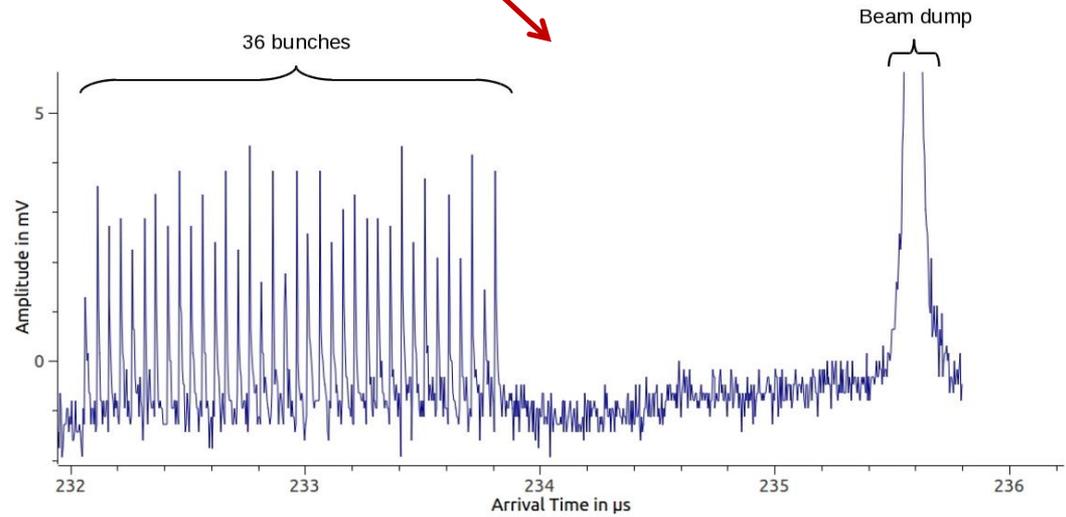
- Beobachtung eines großen UFOs mit Diamanten
  - Strahlabbruch
- Mit Diamanten werden Verluste pro Bunch zeitl. aufgelöst
- Die Bunch Konfiguration ist sichtbar



# UFOs Gemessen mit Diamant

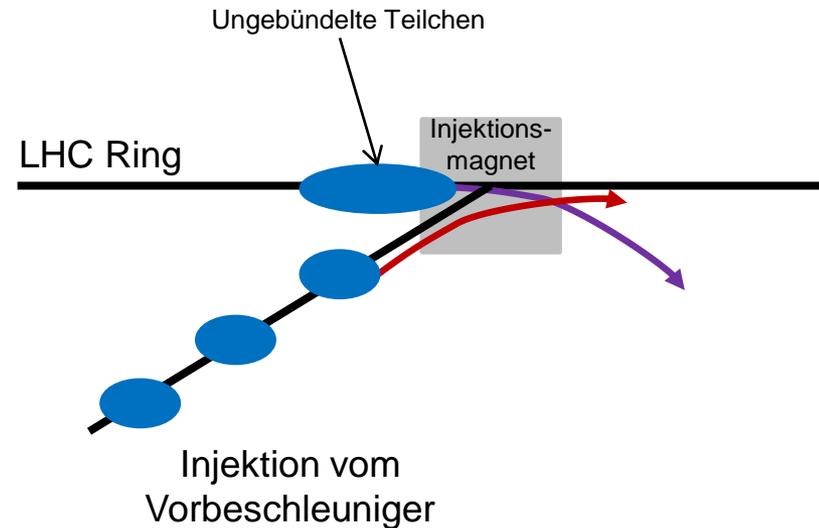
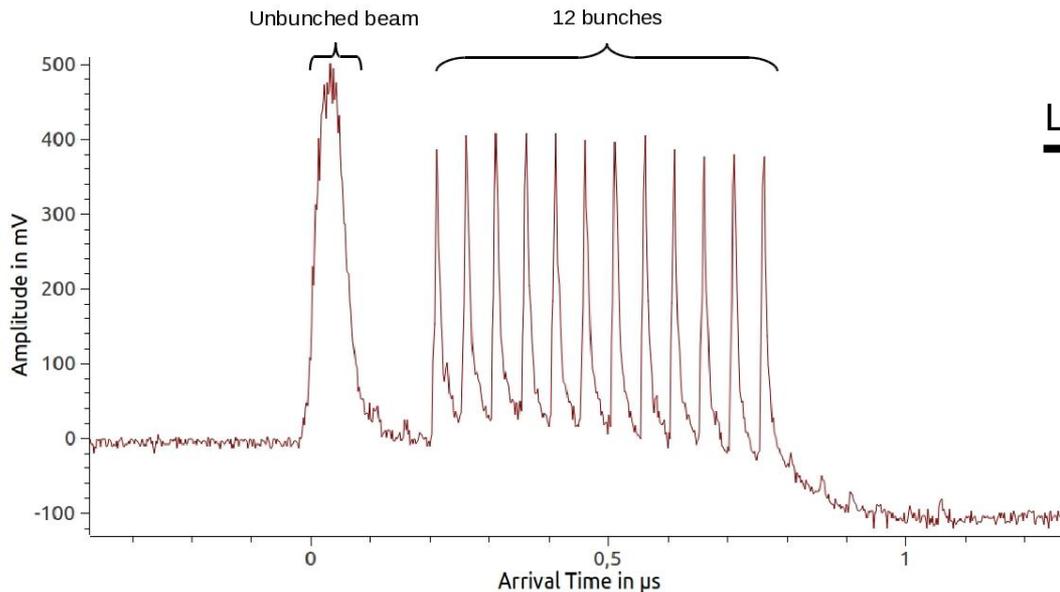
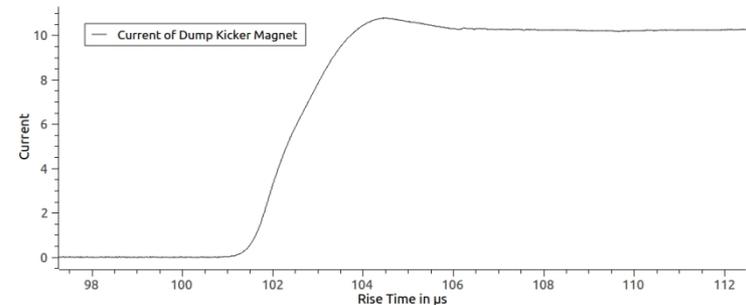


- Klare Bunch Struktur sichtbar
- Verluste in jedem Bunch
  - In Simulationen vorhergesagt
- Zusätzliche Verluste bei Strahlabbruch



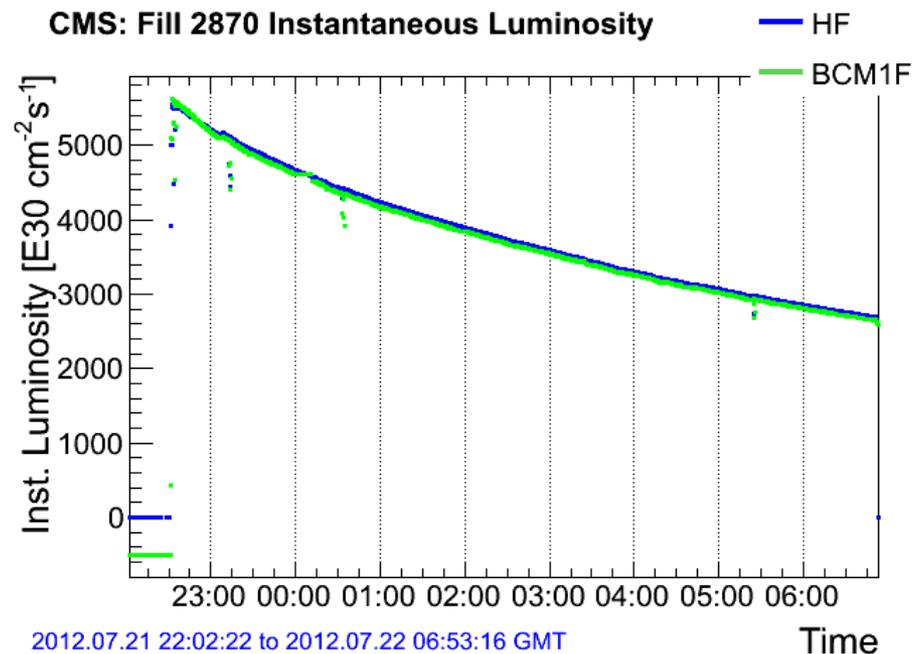
# Injektionsverluste Gemessen mit Diamant

- Injektion von 12 Bunches vom Vorbeschleuniger zum LHC
- Strahlverluste durch Injektion
  - Ursache: InjektionsOszillationen
  - Teilchen befinden sich nicht auf dem closed orbit
- Ungebündelte Teilchen gehen verloren
  - Ursache: Anlaufzeit vom Injektionsmagneten
  - Stammen aus dem Pilotstrahl/Teststrahl



# Luminositätsmessungen mit Diamant

- Luminosität in CMS durch HF gemessen
- Diamant innerhalb von CMS können auch Luminosität messen (BCM1F)
  - Zusätzlicher Lumi Monitor
  - Unabhängig von der CMS Datenauslese und Datennahme
- Sehr gute Übereinstimmung
- Vielseitige Einsatzmöglichkeit von Diamant
- Plan: Bunch für Bunch Lumi



# Zusammenfassung

- > Diamanten werden für verschiedene Messungen verwendet
- > Zeitauflösung liegt im Nanosekundenbereich
- > Strahlverlust können pro Bunch bestimmt werden
  - Besseres Verständnis der Mechanismen
- > UFOs führen oft zu Strahlabbruch
  - Simulation von örtlichen Verlusten
  - Übereinstimmung mit Messung
- > UFOs führen zu Bunchverlusten
  - Bestätigung der Simulationen
- > Die Verlustmessungen während Injektion zeigten das erste Mal ungebündelte Teilchenverluste
- > Auch Luminositätsmessungen sind mit Diamanten möglich

