
Bachelorseminar: Detektorsysteme des LHCb und Hardwareprojekte

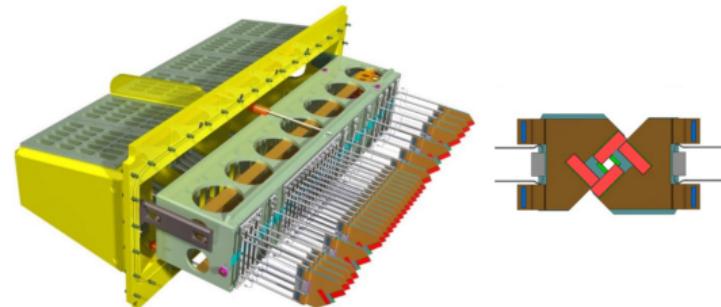
Nils Breer

18.04.2023

TU Dortmund

Vertex Locator (VELO)

- 30 µm räumliche Auflösung
- Effizienz zur PV Findung $\approx 90\%$
- 52 Module, 4 Hybride Pixel Sensoren,
26 pro Seite
- mechanische Verschiebung der Seiten
möglich je nach Beam Qualität
- RF Folie separiert Vakuum der
Strahlröhre vom VELO
- Vertexauflösung maximal bei
minimalem Abstand zur Strahlröhre



Warum ist der VELO so interessant/wichtig

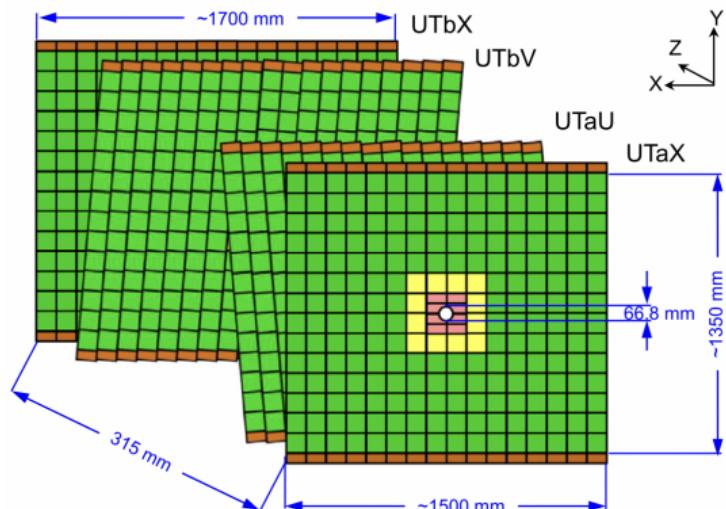
- Vollständige Rekonstruktion von Teilchen Trajektorien
- Upstream vom Magnet → Interessante Wechselwirkungen zur B-Physik können teils vorselektiert werden

RF Folie und ihre Wichtigkeit:

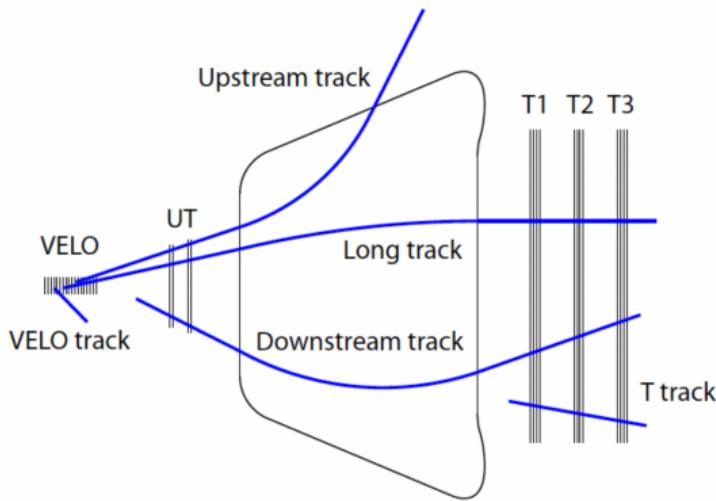
- LHC kann die Elektronik des VELO stören → verhindert Radiofrequenzen
- Störfelder werden abgeleitet um den Strahl nicht zu beeinflussen
- Verhindert "outgassing" aus VELO Bauteilen in das Beam Pipe Vakuum

Der Upstream Tracker (UT)

- 4 Silizium Detektorplatten
- X - U - V - X stereo Aufbau
- U, V um ± 5 grad gedreht \rightarrow räumliche 2D Auflösung wichtig für Auflösung in y + Unterdrückung von "ghost hits" welche nicht zuzuordnen sind
- integrierte B-feldstärke: 4 Tm \rightarrow Impulsebestimmung zur Spurrekonstruktion und Triggerentscheidungen



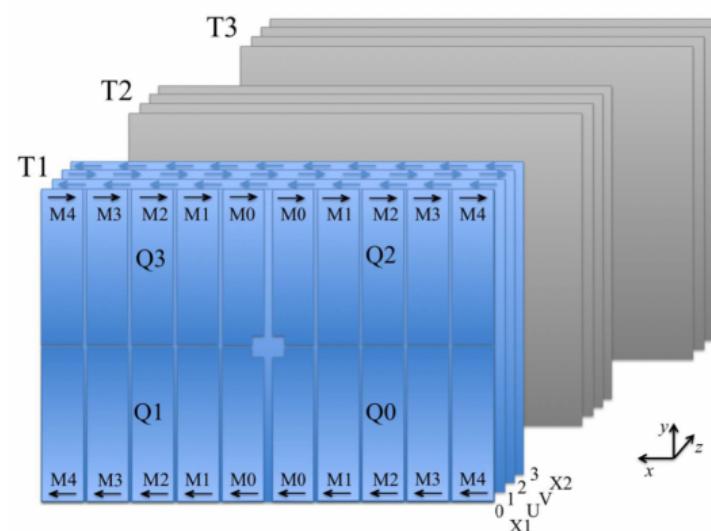
Upstream Tracker importance



- Echtzeit Eventselektion
- Reduziert die Anzahl an fake Spuren deutlich durch matching von VELO und SciFi Spuren
- →reduziert ghost Rate
- verbesserte Auflösung für Spuren mit kleinem Impuls →keine oder wenige Treffer im SciFi

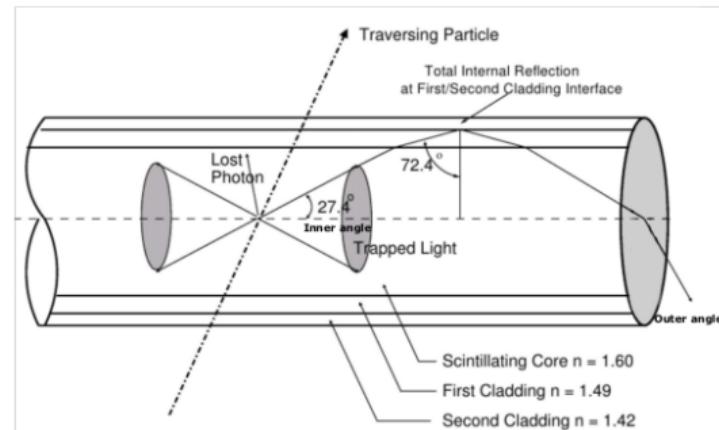
Scintillating Fibre Tracker (SciFi)

- Letzte Element im Tracker System von LHCb
- 3 Stationen, 4 Schichten pro Station, 10 (12) Module pro Schicht
- Szintillierenden Fasern also Detektormaterial
- $X_1 - U - V - X_2$ Schema with $U - V$ sterewinkel wie beim UT
- räumliche Auflösung: 100 μm
- Detektorfläche von 360 m^2



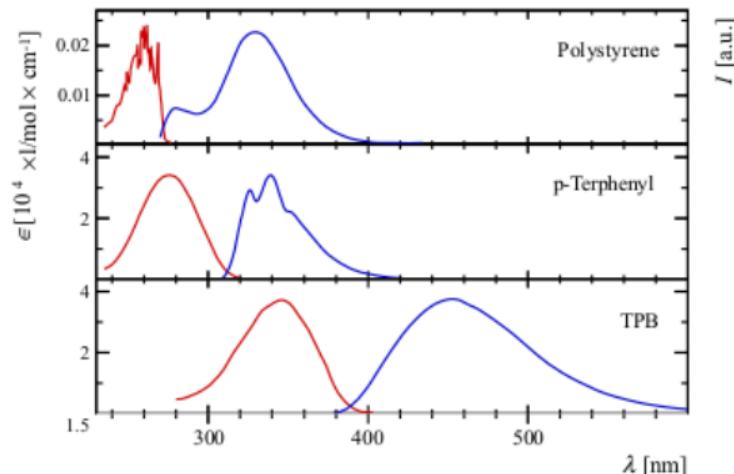
Scintillierende Fasern

- Produkt: SCSF-78MJ
- gefärbter Styropor Kern und Wellenlängen Shifter
- Ummantelung mit höherem Brechungsindex für Totalreflektion innerhalb der Faser



Scintillierende Fasern

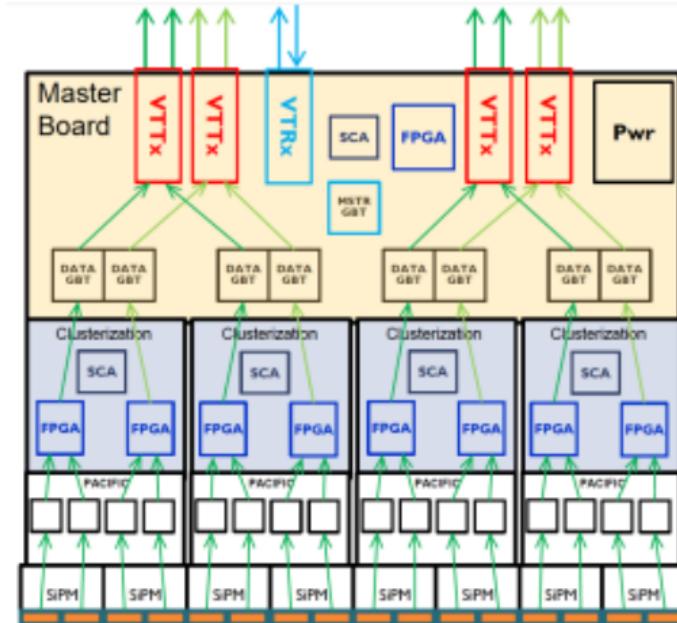
- Geladene Teilchen regen π orbitale der Benzolringe im Kernmaterial an.
- Relaxation führt zu szintillierendem Licht. Farbe beschleunigt den Prozess! (siehe: Förster-Transfer)
- Absorptions- und Emissionsspektrum so verschieden wie möglich!
- →Photonen direkt wieder absorbiert
→Wellenlängenverscheiber nötig



Auslese Elektronik

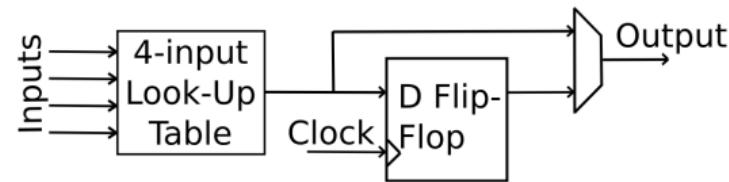
- nur getriggerte Kanäle werden vom frontend zum backend board gesendet
- SiPMs senden Signal zum PACIFIC^a board → digitales Signal
- Signale zum clustern an FPGAs senden
- optische Kabel zum Backend
- Trackbuilding ist Software Part

^aLow Power ASIC for the SCIntillating Fibre TrACker readout



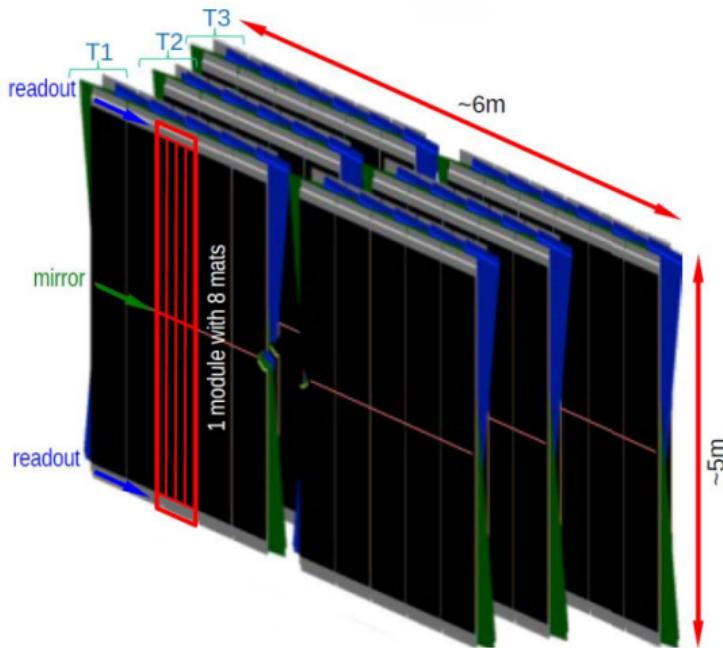
Kurzer Exkurs: FPGAs

- Field Programmable Gate Arrays
- Integrierter Schaltkreis welcher mit logischen Schaltungen geladen werden kann.
- leicht rekonfigurierbar
- preisgünstig
- kurze implementierungszeiten



- IO, LUT → laufzeitverringern
- Flip-Flop: Datenspeicher von 1 bit über unbegrenzte Zeit (RAM)

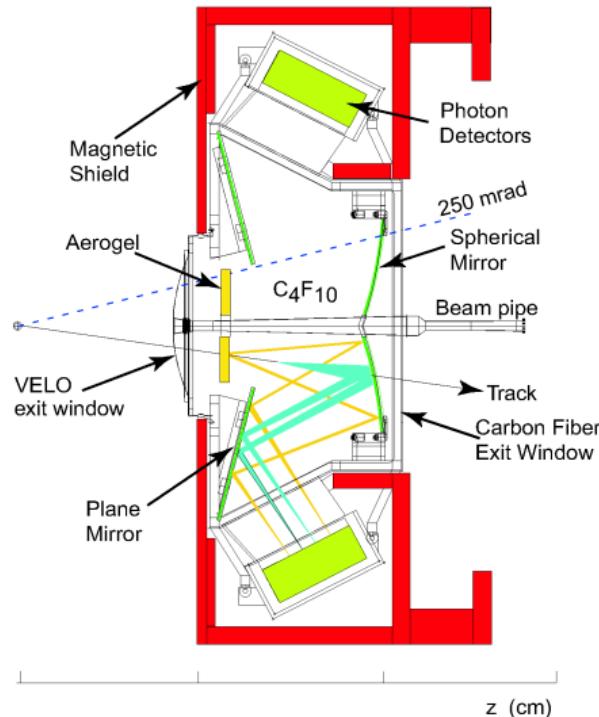
Why SciFi and why Fibres



- szintillierende Fasern fortschrittlicher als Silizium Streifen (IT, OT)
- Szintillator: extrem kurze Relaxationszeit: 1 - 2 nanoseconds
- Ein Detektorbauteil ggü IT + OT, schnellere Rekonstruktion für erhöhte Anforderungen
- weniger Material → weniger Mehrfachstreuung und WW mit Materie
- SiPM schneller und bessere Auflösung

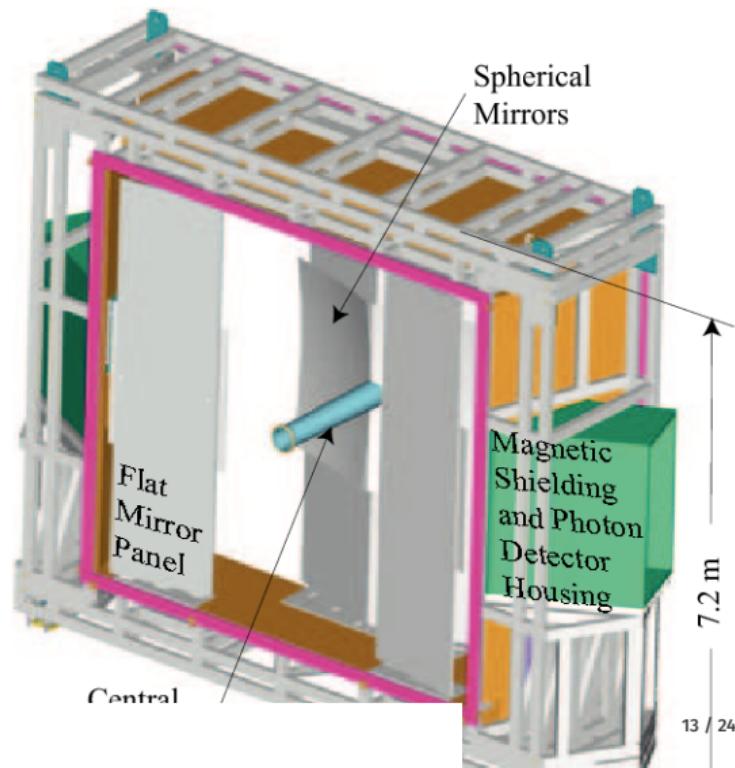
Ring Imaging Cherenkov Detector (RICH)

- PID + Spurrekonstruktion
→ Teilchenart
- RICH1 downstream vom VELO, RICH2 downstream vom SciFi
- Cherenkov Strahlung von geladenen Teilchen
- SiPMs → Teilchen \vec{v} → rekonstruierte Masse → PID
- sehr gut für: Kaonen, Pionen, Protonen
- RICH1 Impulsbereich: 2 - 40 GeV/c for high sensitivity



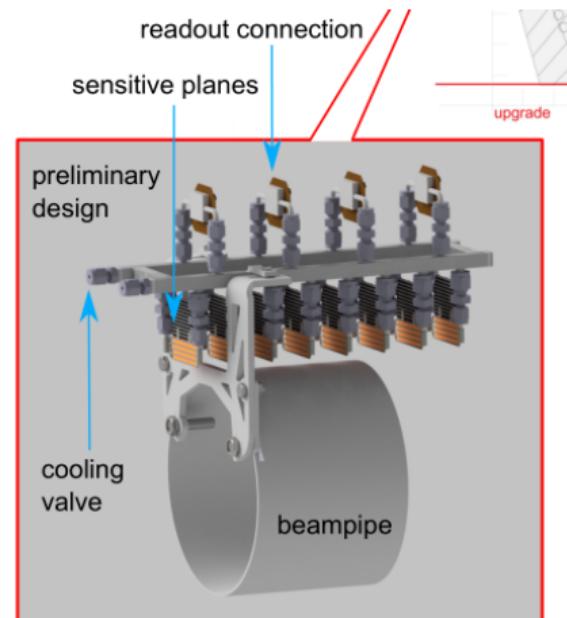
RICH2 Detector

- Kaonen threshold = 9.3 GeV/c
- Aerogel: Trennung Protonen von Kaonen aufgrund von Öffnungswinkel
- $\cos\theta = \frac{m}{n \cdot \beta}$
- RICH2 Impulsbereich: 150 - 100 GeV/c
- weiter downstream: Teilchen mit hohem Impuls weniger stark abgelenkt



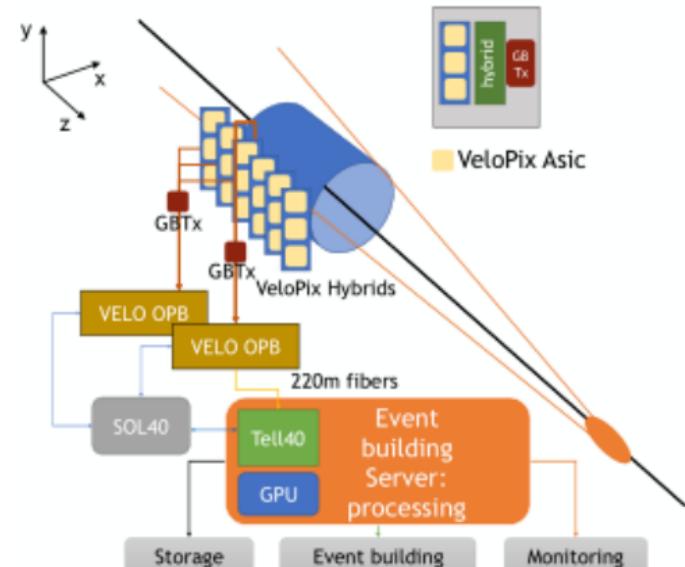
LumiTracker: Funktion

- upstream vom VELO positioniert
- Messung der Luminosität alle paar Sekunden benötigt
- muss für jeden Bunch bestimmt werden aufgrund von Variationen zwischen Bunches
- Precision der Ordnung 10% minimum
- Maß für Detektorperformance



LumiTracker: Hardware

- 1 Siliziumsensor pro 3 ASICs, 6-8 Sensor Ebenen
- frontend "ASIC triples" mit hybrid board verkabelt (DAQ)
- Readout: identisch zum VELO readout
- Hybrid speed data links für readout, GBTx: timing und kontrollsignale
- OPB: für kommunikation zwischen den readout und monitor komponenten
- SOL40, TELL40: readout und monitoring



TELL40 und SOL40

TELL40:

- readout board der PCIe40 express karte (behaust TELL40, FPGAs, GBP protocoll, PCIE spuren → 100Gbps daten transfer)

Aufgaben:

- sammelt daten der frontend Elektronik
- prozessieren zu MEPs (multi-event packets)
- sende MEPs durch PCIe zum DAQ Netzwerk zum weiter prozessieren (e.g. eventbuilding)

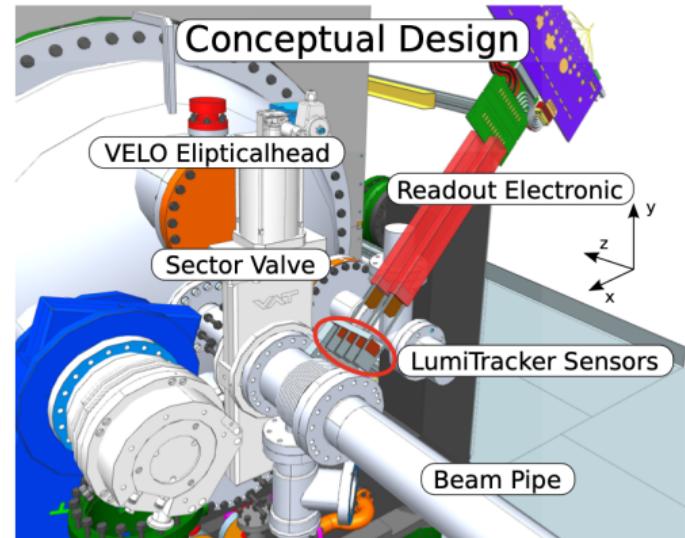
SOL40 - interface board:

- bietet interface für frontend der Subdetektoren
- bietet volles monitoring und Kontrolle über die frontend Elektronik

LumiTracker: realization

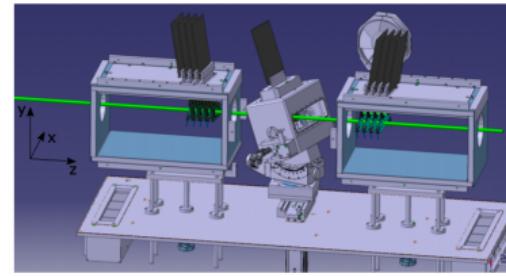
- Messung der Luminosität durch Spurzählungen durch hybrid pixel detector (VELO upgrade)
- $\langle \mathcal{L} \rangle = \frac{A}{\sigma_{\text{vis}}} f_r n_{\text{tracks}}$
- minimum 4 hits pro Spur → linearer fit
- 3-hit-tracks: bessere Rekonstruktionseffizienz aber mehr Beiträge durch WW mit Materie!

→ Vollen Detektorüberlapp mit VELO: wichtig für alignment und Kalibration → online bunch luminositäts Messungen: kleine Unsicherheiten (< 1%)



TimePix4 Telescope

- 4 Silizium Detektorplatten pro Seite
- TimePix4 basierend auf readout ASIC (Art FPGA aber spezifischer auf Anwendung bezogen)
- Detektorplatten gegeneinander gedreht für hervorragende Ortsauflösung
- →präzise Teilchenspur Rekonstruktion
- ≈200 ps Zeitauflösung

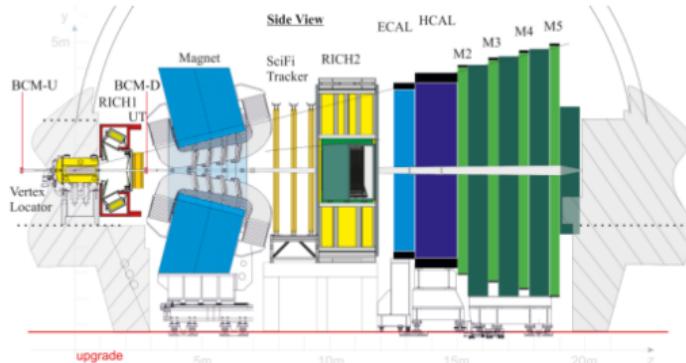


Timepix4 (2019)

Technology	65 nm
Pixel size	55×55 μm^2
Pixel matrix	512×448
Sensitive area	6.94 cm^2
Max rate	$3.58 \times 10^6 / (\text{mm}^2 \text{ s})$
Max rate per pixel	10.8 kHz/pixel
ToT energy resolution	<1 keV
ToA binning resolution	195 ps
ToA dynamic range	1.638 μs
Readout bandwidth	≤164 Gbps

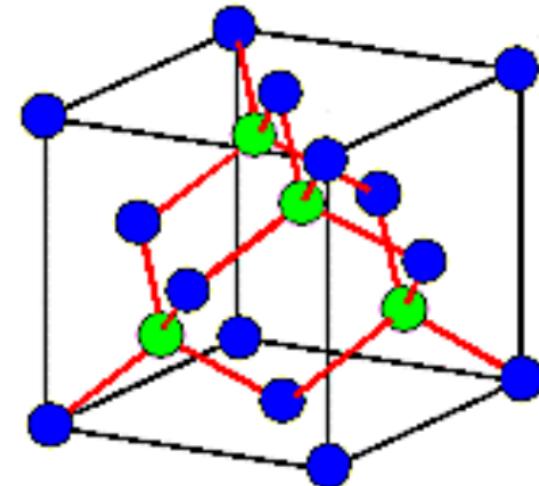
Beam Conditions Monitor (BCM)

- original: 2009 → 2018
- Sicherheitsmechanismus für kritische Strahl Szenarien
- 2 Stationen upstream vom Magnet
- 8 Diamant Sensoren pro Station
- Simulationen nötig um kritische Situationen zu testen



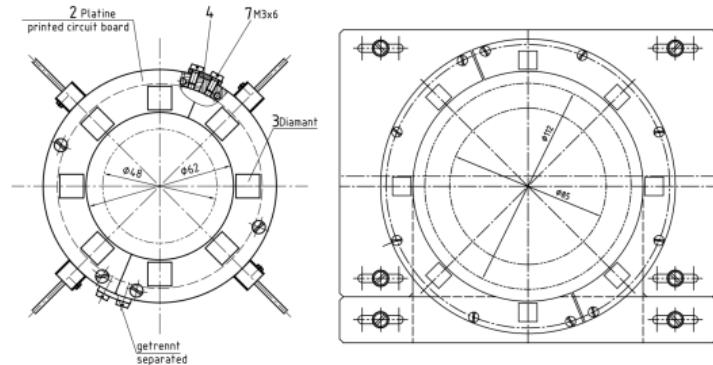
Diamanten als Detektormaterial

- Bethe-Bloch Formel für Energy Deposition
- Kristaliner Kohlenstoff, 2 ineinander verdrehte fcc gitter
- Pro: mechanisch hartes Material
- bandlücke: 5.47 eV, isolator aber kann als halbleiter operieren
- große bandlücke →wenig ladungsträger →low dark current
- große bandlücke →sehr strahlungshart



BCM Diamanten Readout (pre upgrade)

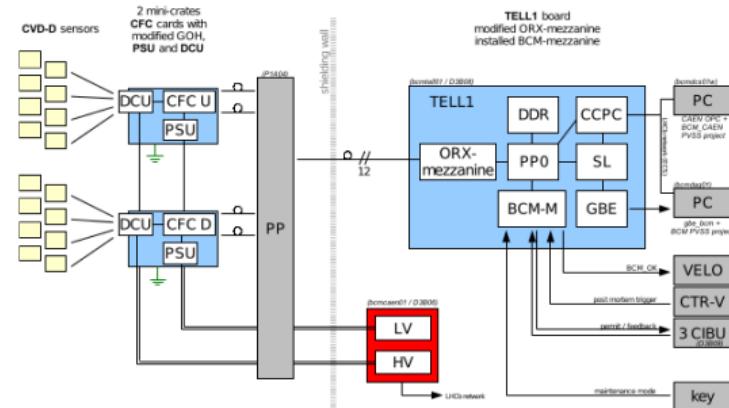
- Strom ausgelesen mit CFC (current-to-frequency converter) cards
- CFC cards Messungsbereich = [2.5 pico Amp (pA), 1 milli Amp (mA)]
- gut für BCM Diamanten: Dunkelstrom (spontane freie Ladungsträger durch Wärme in lichtempfindlichen Halbleitern) in pico Amp Bereich und dump threshold in micro Amp Bereich
- digitized signal sent through redundant optical fibres with rate of 125kHz to TELL1 readout board



BCM Beam Dump Logic

- TELL1 board: "Beam dump" wenn threshold überschritten
- → langsames und schnelles Abbruchkriterium
- TELL1 in D3 rack hinter shielding wall in der Kaverne (CIBU interface)
- 2 Funktionen:
 - Beam dump anfragen bei kritischen konditionen
 - zusätzliche Bunches injizieren

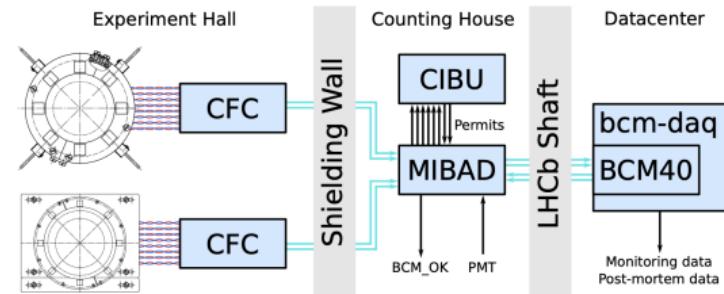
- post-mortem trigger: snapshot der aktuellen daten im System um nach Fehlerquellen zu suchen
- Signal zum VELO wenn beam kritisch



BCM upgrade

- →PCIe40 (BCM40 wird es für BCM genannt)
- BCM40 im Kontrollraum, CIBU Kaverne
→Transfer Bauteil nötig
- →MIBAD board: Machine Interface and Beam Abort Decision board
- MIBAD: nutzt FPGAs für low-level Aufgaben
 - beam-dump logik
 - read-out data + post-mortem trigger
 - VELO OK Signal

- 2019 →Heute: neue Readout-Elektronik



Diamantmessungen

- beam loss observations at injection region
- um das CMS: beam halo rate observation
- Im CMS: luminositätsmessung und beam halo messung

→ sensible Bauteile in strahlungsbelasteter Umgebung → durchgehend unter Beobachtung
→ BCM extrem wichtig!