
Bachelorseminar: Detektorsysteme des LHCb und Hardwareprojekte

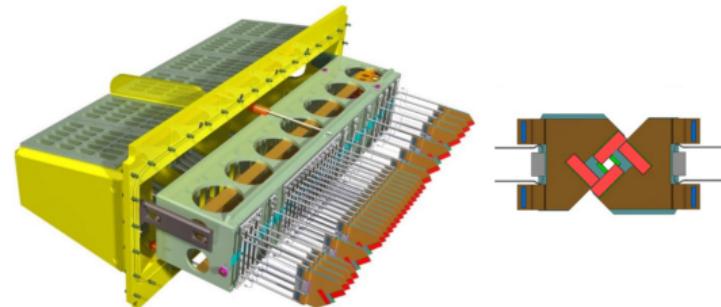
Nils Breer

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

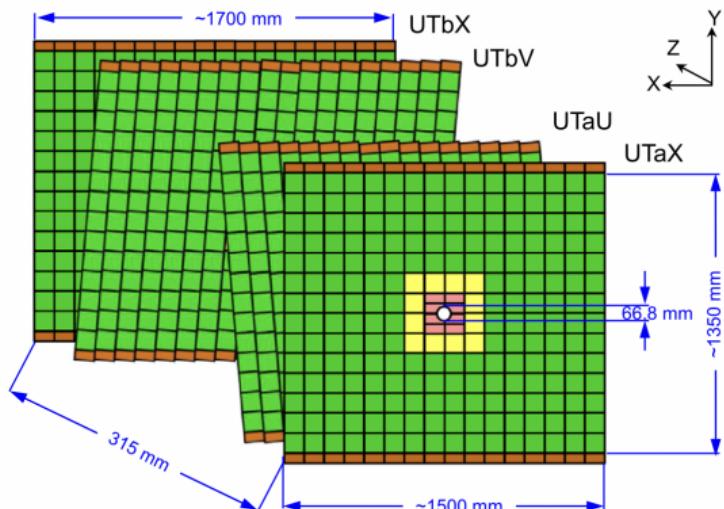
- Vollständige Rekonstruktion von Teilchen Trajektorien
- Upstream vom Magnet → Interessante Wechselwirkungen zur B-Physik können teils vorselektiert werden

RF Folie und ihre Wichtigkeit:

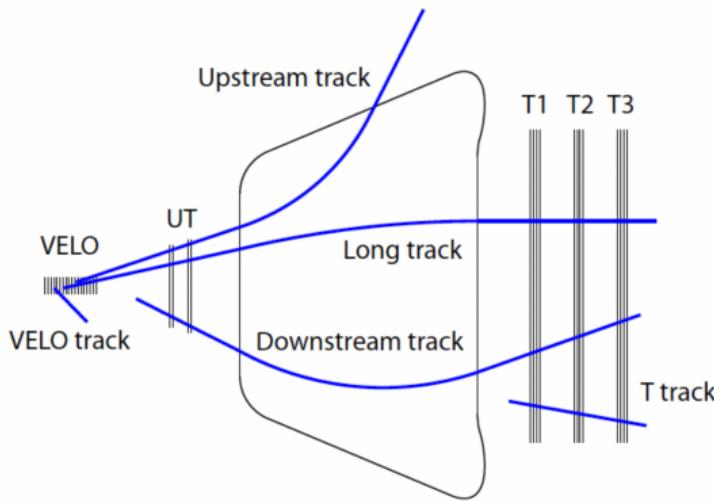
- LHC kann die Elektronik des VELO stören → verhindert Radiofrequenzen
- Störfelder werden abgeleitet um den Strahl nicht zu beeinflussen
- Verhindert "outgassing" aus VELO Bauteilen in das Beam Pipe Vakuum

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



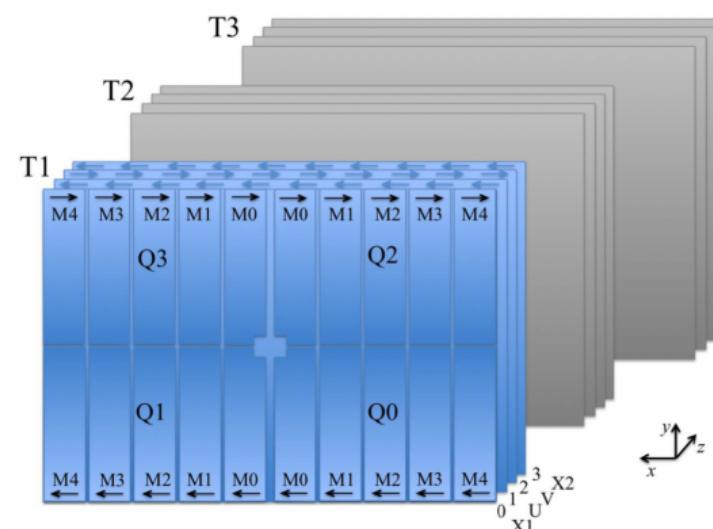
Upstream Tracker importance



- 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

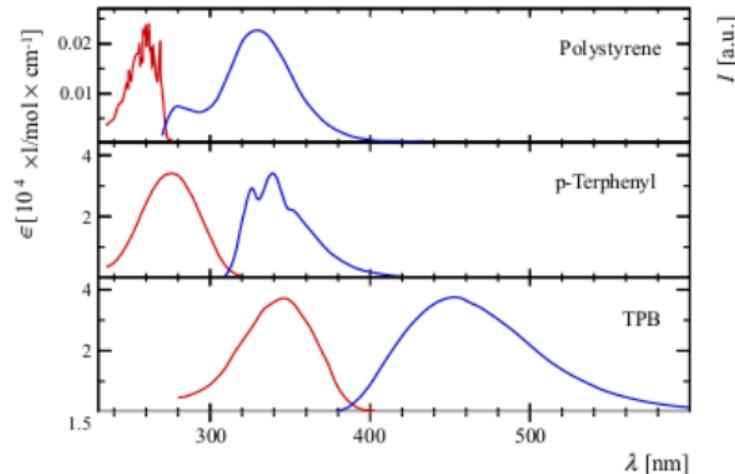
Scintillating Fibre Tracker (SciFi)

- 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

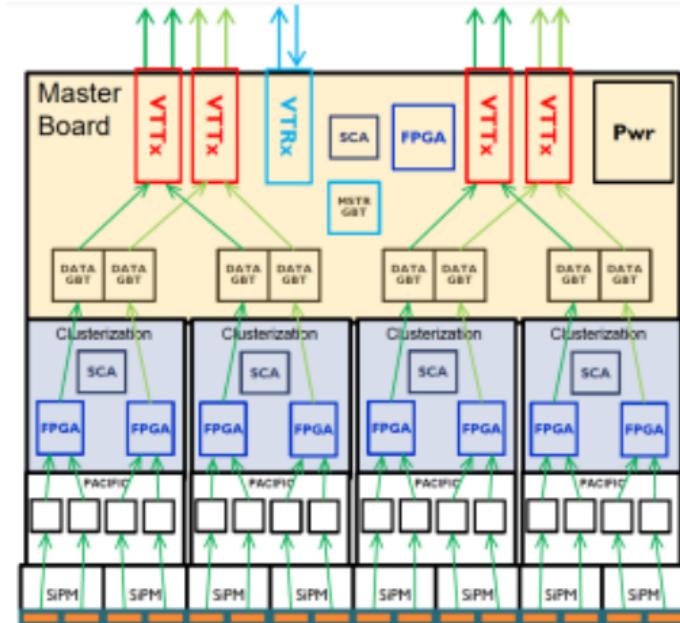
- Produkt: SCSF-78MJ
- gefärbter Styropor Kern und Wellenlängen Shifter
- Ummantelung mit höherem Brechungsindex für Totalreflektion innerhalb der Faser
- Geladene Teilchen regen π orbitale der Benzolringe im Kernmaterial an.
- Relaxation führt zu szintillierendem Licht. Farbe beschleunigt den Prozess! (siehe: Förster-Transfer)
- Absorptions- und Emissionsspektrum
--- möglichst nah aneinander wie möglich!



Auslese Elektronik

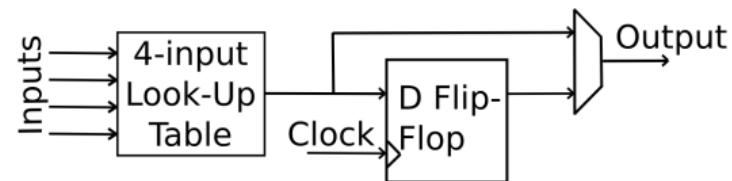
- nur getriggerte Kanäle werden vom frontend zum backend board gesendet
- SiPMs senden Signal zum PACIFIC^a board → digitales Signal
- Signale zum clustern an FPGAs senden
- optische Kabel zum Backend
- Trackbuilding ist Software Part

^aLow Power ASIC for the SCIntillating Fibre TrACker readout

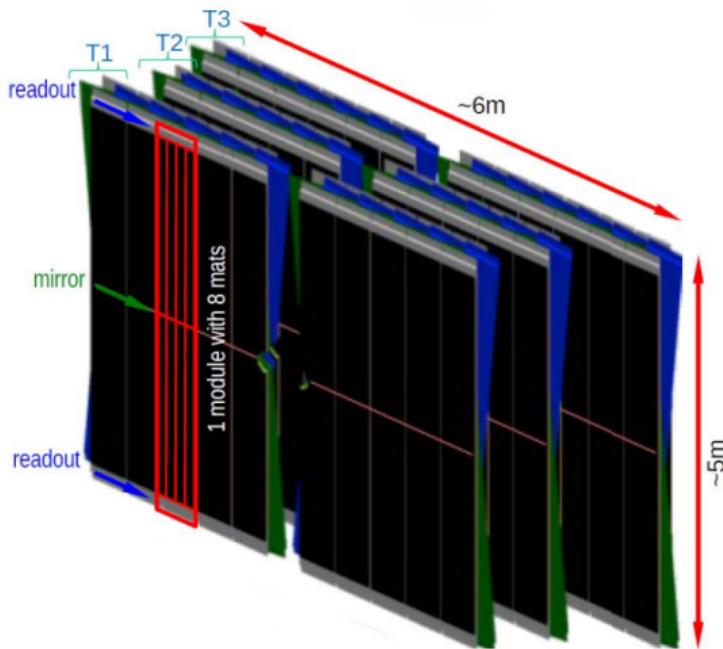


Kurzer Exkurs: FPGAs

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



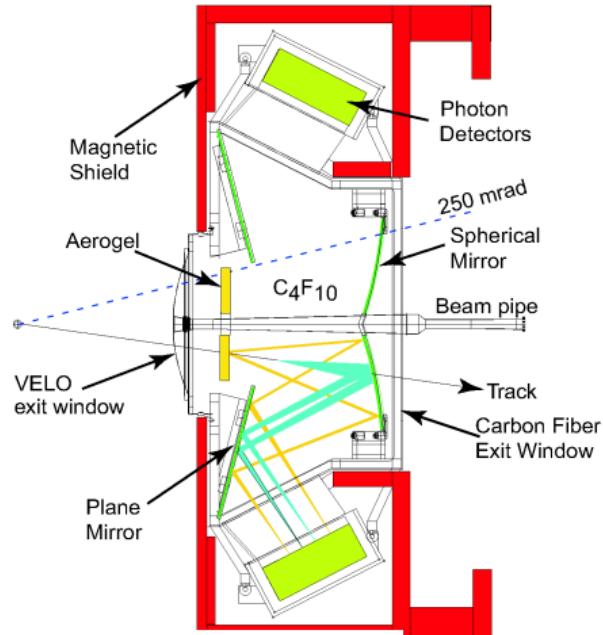
Why SciFi and why Fibres



- 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

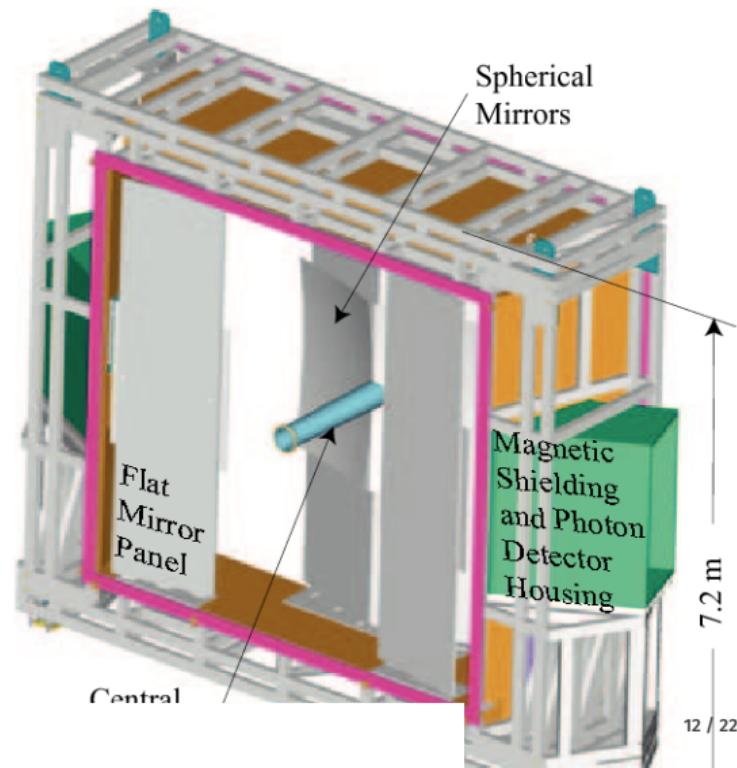
Ring Imaging Cherenkov Detector (RICH)

- PID nötig um Teilchenart zu bestimmen (Spurrekonstruktion allein genügt nicht)
- RICH1 downstream vom VELO, RICH2 downstream vom SciFi
- Cherenkov Strahlung von geladenen Teilchen
- SiPMs → v der Teilchen
→ rekonstruiere Masse → PID
- sehr gut für: Kaonen, Pionen, Protonen
- RICH1 Impulsbereich: 2 - 40 **GeV/c** for high sensitivity



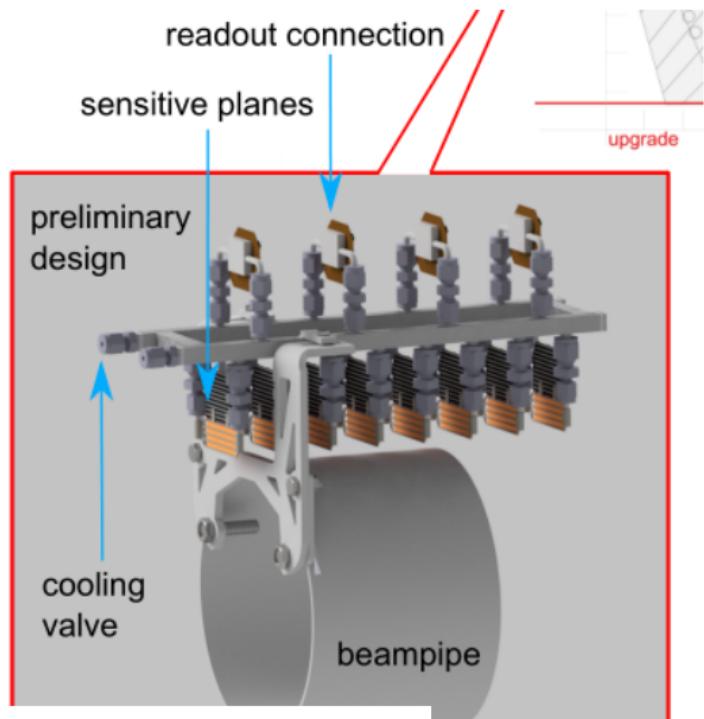
RICH2 Detector

- Kaonen threshold = 9.3 GeV/c
- Aerogel: Trennung Protonen von Kaonen aufgrund von Öffnungswinkel
- $\cos\theta = \frac{m}{n\cdot\beta}$



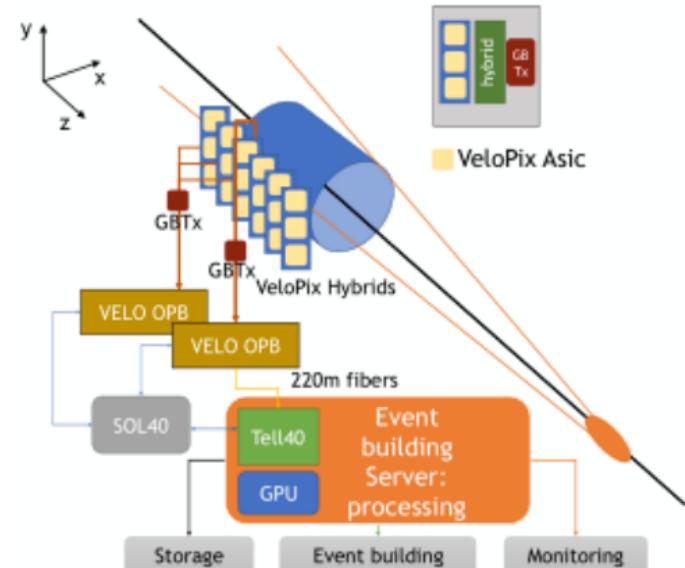
LumiTracker: Funktion

- 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

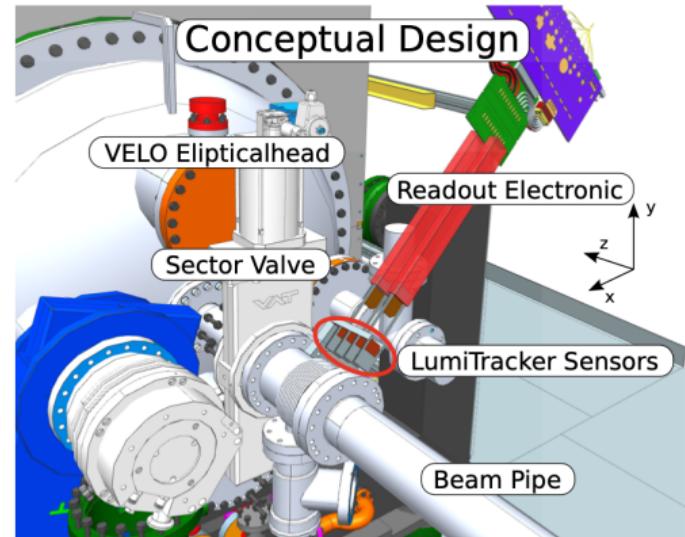
- 1 Siliziumsensor auf 3 ASICs gebaut,
6-8 Sensor Ebenen
- frontend "ASIC triples" mit hybrid
board verkabelt (DAQ)
- Readout: identisch zum VELO readout
- Hybrid speed data links for readout,
GBTx: timing und kontrollsignale
- OPB: für kommunikation zwischen
den readout und monitor komponenten
- Timing Informationen: SOL40 board
benutzt VeloPix ASIC codierung für
software und firmware



LumiTracker: realization

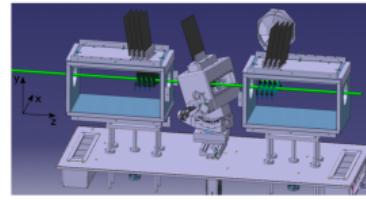
- Messung der Luminosität durch Spurzählungen durch hybrid pixel detector (VELO upgrade)
- $\langle \mathcal{L} \rangle = \frac{A}{\sigma_{\text{vis}}} f_r n_{\text{tracks}}$
- minimum 4 hits pro Spur → linearer fit
- 3-hit-tracks: bessere Rekonstruktionseffizienz aber mehr Beiträge durch WW mit Materie!

→ 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

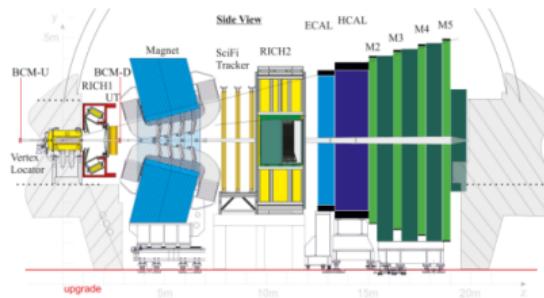


Timepix4 (2019)

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

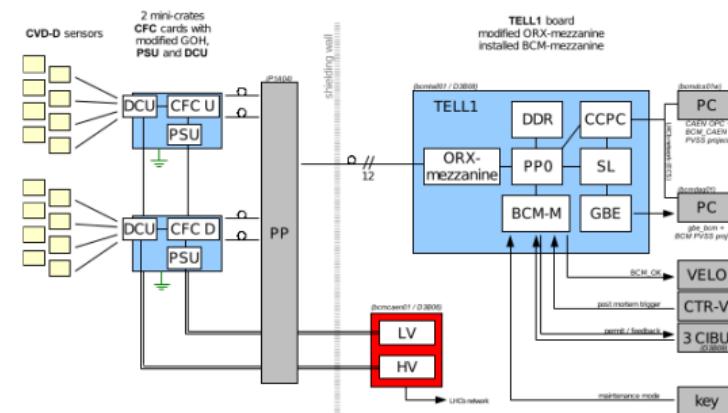


Diamanten als Detektormaterial

- Bethe-Bloch Formel für Energy Deposition
- Kristaliner Kohlenstoff, 2 ineinander verdrehte fcc gitter
- 43 eV um Atom aus Gitter zu entfernen
- Pro: mechanisch hartes Material
- band gap of 5.47 eV indicates insulator but can be semiconductor as well
- large band gap → low number of charge carriers → low dark current
- large band gap + high displacement threshold → very radiation hard
- CCE picture on page 30

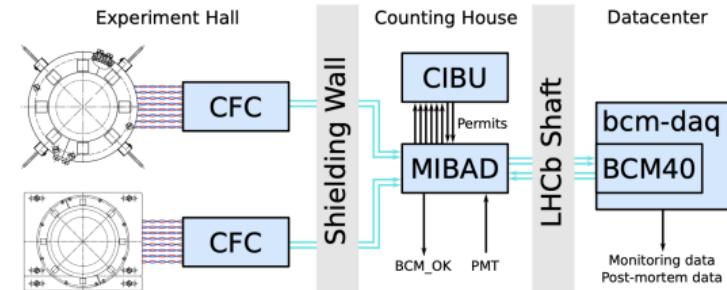
BCM Diamant Readout (pre upgrade)

- Strom ausgelesen mit CFC (current-to-frequency converter) cards
- CFC cards measurement range = (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



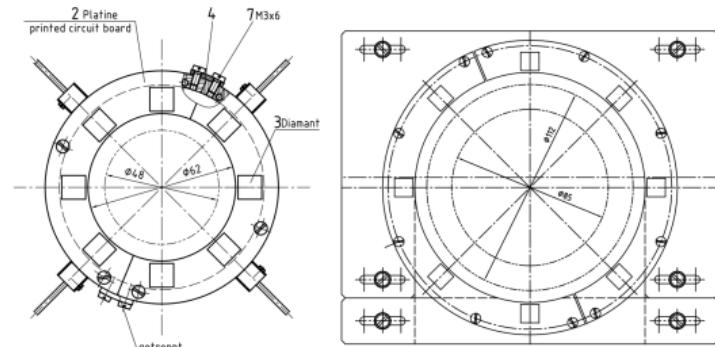
BCM Beam Dump Logic

- 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



BCM upgrade

- 2019 → Heute: neue Readout-Elektronik
- → 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
 - implementierte beam-dump logik



+ Out date + post-mortem

BCM40 boards: Kontrollraum

- BCM40: interface zum MIBAD board
- →Kontrolle und "monitoring" des gesamten BCM

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