

die deutschen Beiträge zu den LHC Experimenten

die deutschen Gruppen in Universitäten und Forschungsinstituten leisten substantielle und sehr wichtige Beiträge

- zum Bau aller 4 LHC Experimente,
- zur Entwicklung der Software für Kontrolle, Betrieb und Analyse
- sowie zur Entwicklung und zum Betrieb der GRID Infrastrukture

Finanziell gefördert durch

- BMBF Verbundforschung (3 Forschungsschwerpunkte)
- Forschungs-Institute (GSI, DESY und Max-Planck Inst.)
- und Universitätsinstitute (Länder)
- DFG Graduiertenkollegs

Investitionen in Experimente: 62 MEuro und 2000 Mann-Jahre für etwas über 10 Jahre \Leftrightarrow eine ganz erhebliche Anstrengung und Konzentration der deutschen Kern- und Teilchenphysiker



bmb+f - Förderschwerpunkt

ATLAS

Großgeräte der physikalischen Grundlagenforschung



bmb+f - Förderschwerpunkt

CMS

Großgeräte der physikalischen Grundlagenforschung



bmb+f - Förderschwerpunkt

ALICE

Großgeräte der physikalischen Grundlagenforschung

Die deutsche ALICE Beteiligung



Gruppen von TU Darmstadt, U. Frankfurt, GSI Darmstadt,
U. Heidelberg PI und KIP, FH Köln, U. Münster, FH Worms
total 53 Wissenschaftler und 27 Doktoranden

Grosse Verantwortung für zentrale Komponenten des Experiments:

- **Time Projection Chamber TPC**: Projektleiter P. Braun-Munzinger (GSI),
Tech. Koord. P. Glässel (PI U. Heidelberg)
- **Transition Radiation Detector TRD**: Projektleitung J. Stachel (PI U. Hei-
delberg, Tech. Koord. J.P. Wessels (U. Münster)
- **High Level Trigger HLT**: Projektleitung V. Lindenstruth (KIP U. Heidel-
berg) /D. Röhrich (U. Bergen)

die Projekte oben sind dominant oder größtenteils
deutsch finanziert
deutsches Investitionsmittel ca. 18 M Euro
500 Mann-Jahre



bmb+f - Förderschwerpunkt
ALICE
Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung

ALICE – Experiment schematisch



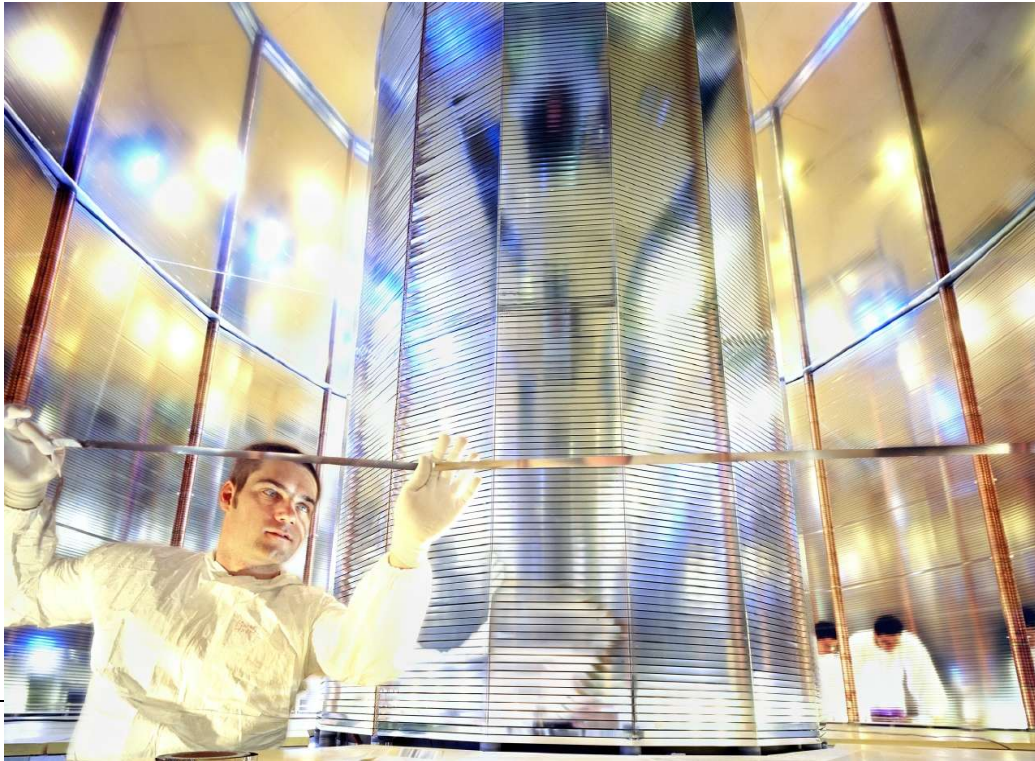
- 1• L3 MAGNET
- 2• HMPID
- 3• TOF
- 4• DIPOLE MAGNET
- 5• MUON FILTER
- 6• TRACKING CHAMBERS
- 6• TRIGGER CHAMBERS
- 7• ABSORBER
- 8• TPC
- 9• PHOS
- 10• ITS



die TPC (Time Projection Chamber) - 3D Rekonstruktion von bis zu 15 000 Spuren geladener Teilchen pro Ereignis



mit 95 m³ größte je gebaute TPC
zentrale HV Elektrode
Feldkäfig: Spannungsteiler mit
E-Feld Homogenität auf 10^{-4}
in den Endkappen:
72 Vieldrahtproportionalkammern
mit Kathodenpadauslese



560 Millionen Pixel!

Präzision besser als $500 \mu\text{m}$ in allen
3 Dimensionen, je Spur 180 Punkte

Bau der Vieldrahtproportionalkammern 3 Drahtebenen plus Kathodenpadauslese

GSI

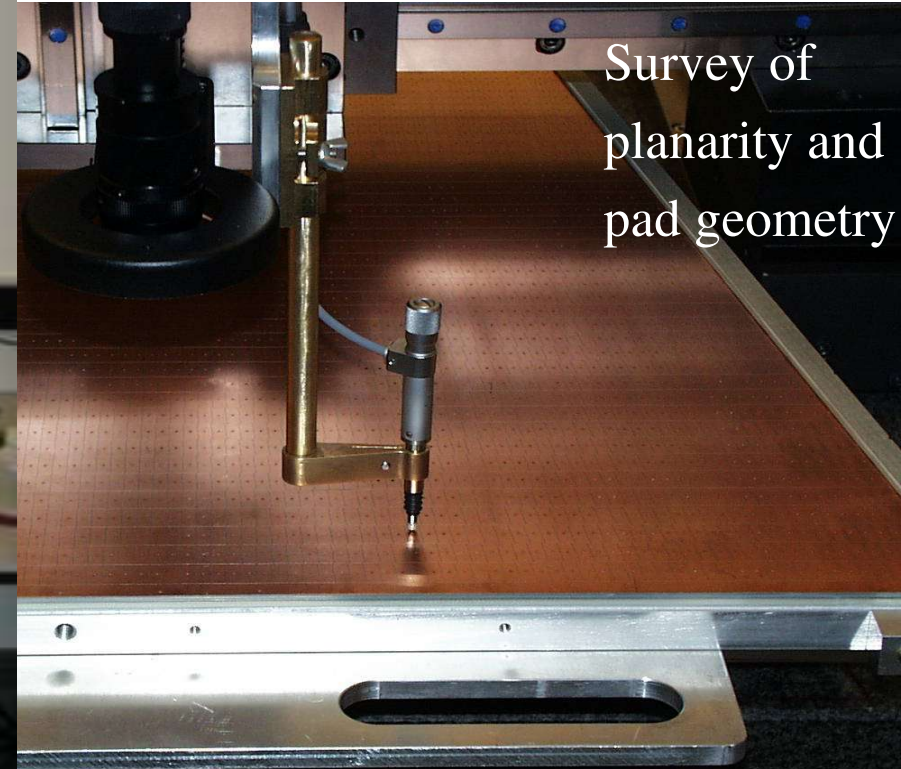
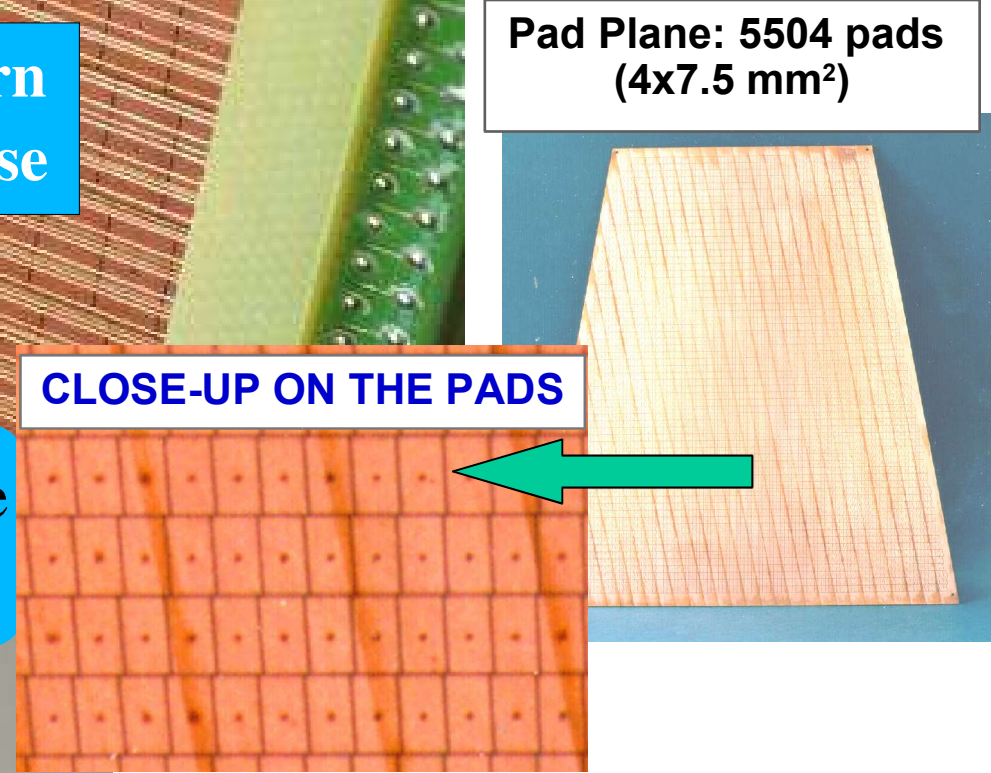
PI U. Heidelberg

U.Bratislava

Herausforderung: kleine Abstände, hohe Gasverstärkung, hohe geom. Präzision)

Pad Plane: 5504 pads
(4x7.5 mm²)

CLOSE-UP ON THE PADS

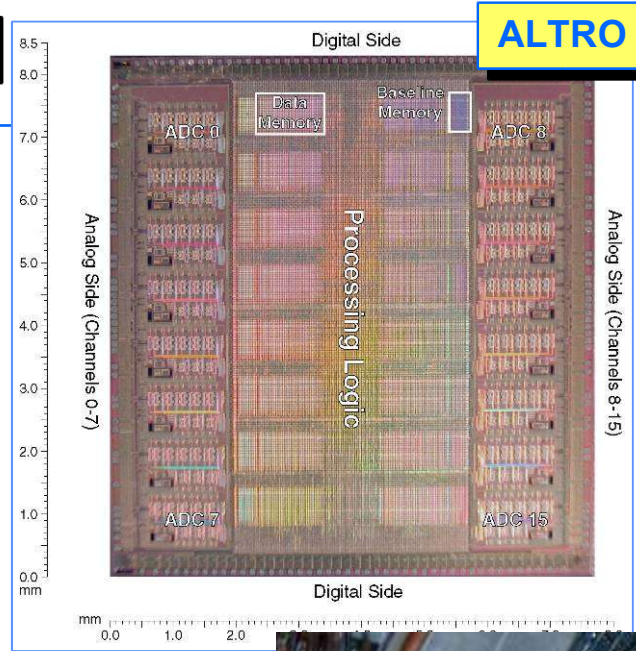
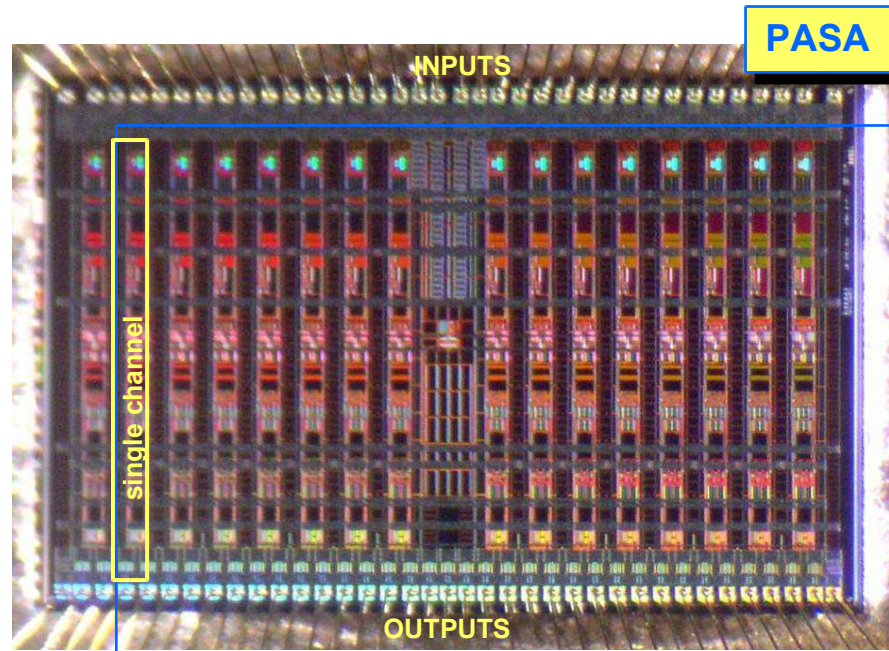




TPC Front End Elektronik – 2 ASICS entwickelt von PI Heidelberg und CERN, Kooperation ST Microelectronics, deutsch finanziert

U. Heidelberg PI,
TU Darmstadt
GSI, CERN, Lund U.

exzellentes Verhalten
(gerade auch an STAR
bei RHIC verkauft)



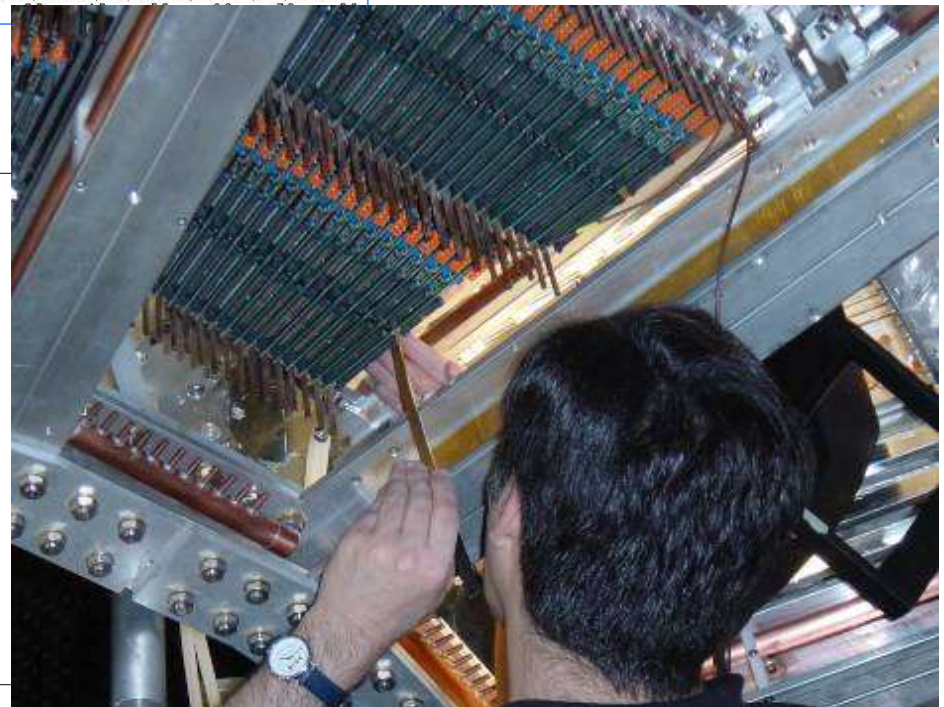
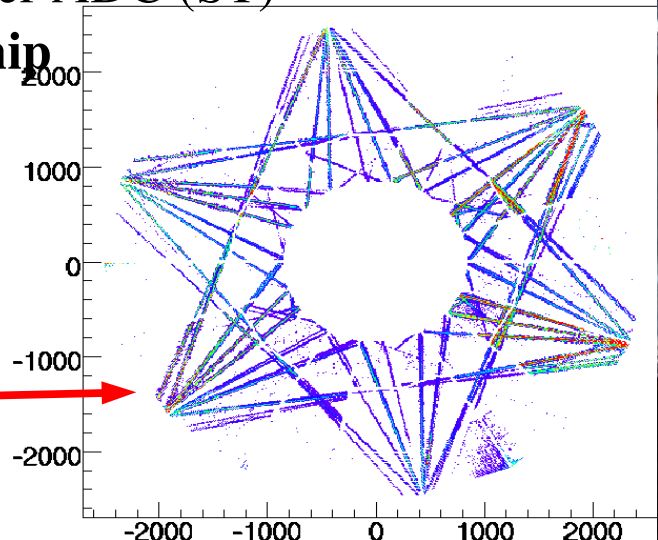
PASA: rauscharmer Vorverstärker/Shaper

ALTRO: kommerzieller ADC (ST)

im selben custom Chip

mit digitaler
Signalverarbeitung

**TPC voll
instrumentiert
Laserspuren**



der TRD (Transition Radiation Detector) identifiziert Elektronen auf dem Triggerniveau in $6.5 \mu\text{s}$

540 Kammern (Radiator + Drift+
Vielfrahtproportionalkammer+
Auslese segmentierter Kathode)

typische Dimensionen

$1.45 \times 1.20 \times 0.12 \text{ m}^3$

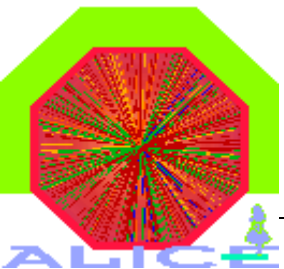
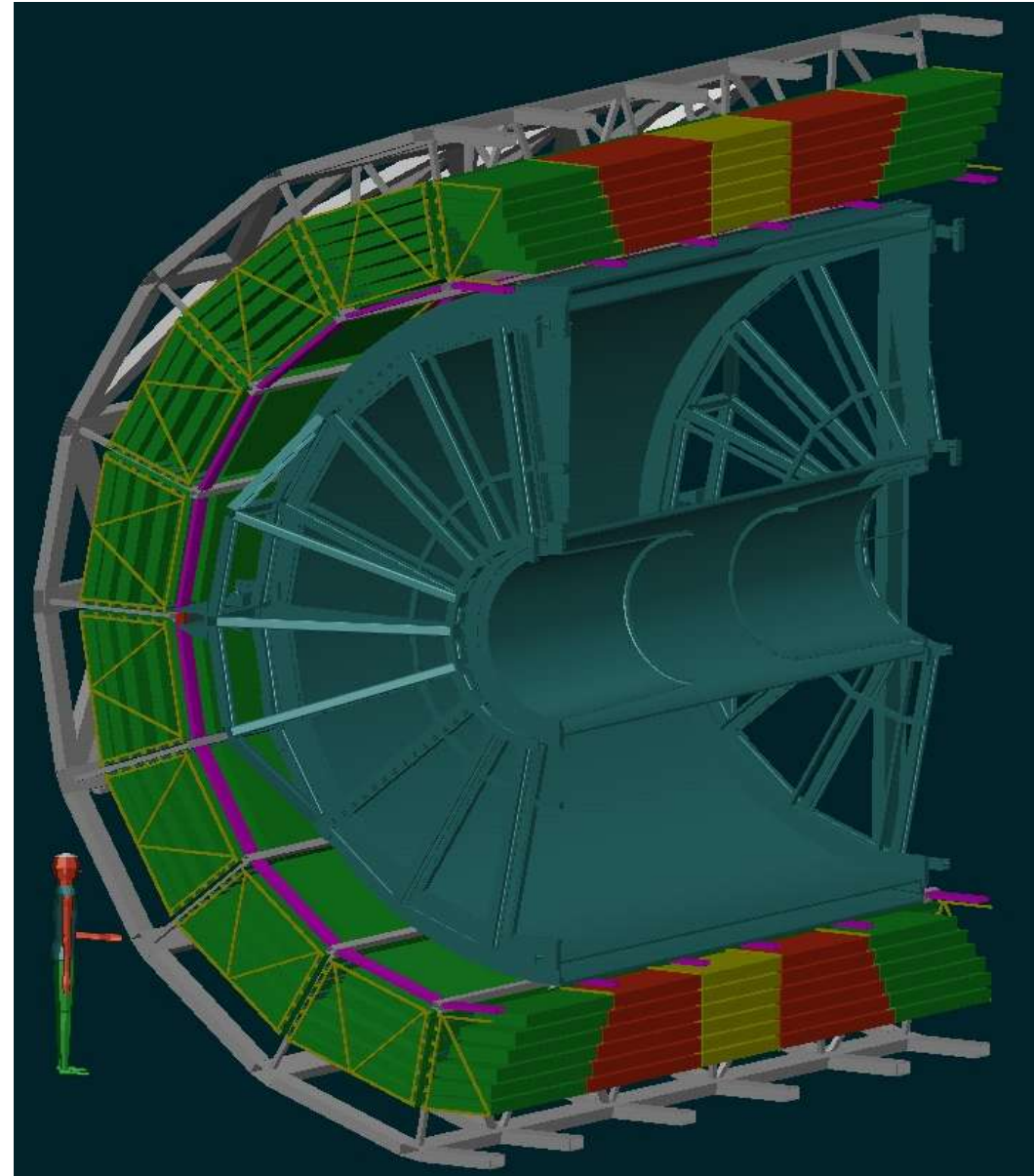
Detektorfläche 750 m^2

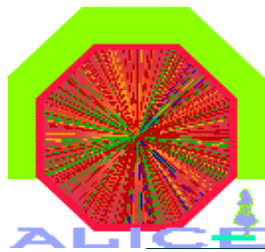
gefüllt mit 28 m^3 Xenon

arrangiert in 6 Lagen und
18 Supermodulen (8m lang)
total 30t

1.16 Millionen Auslesekanäle

30 Millionen Pixel





TRD Radiatoren und Kammern

Radiatoren: U. Münster

Kammern: PI Heidelberg (Entwicklung)

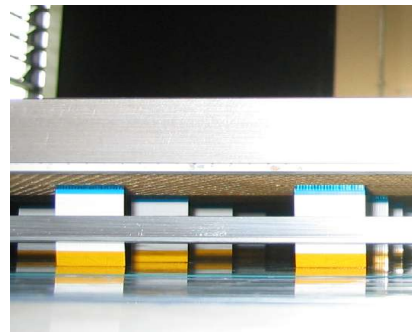
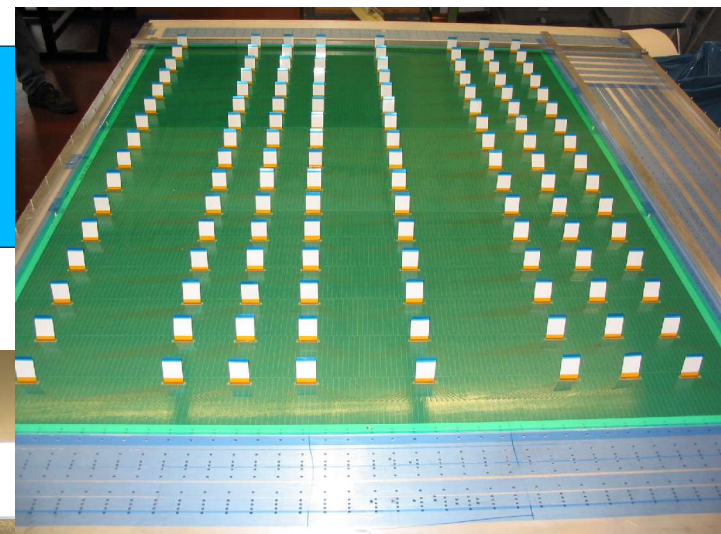
JINR Dubna

NIPNE Bucharest

GSI Darmstadt

IKF Frankfurt

im Schnitt je 1 Kammer pro Woche

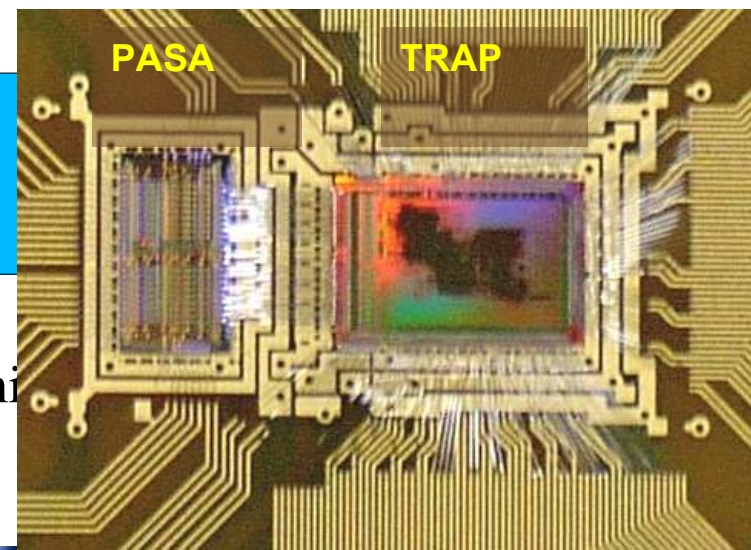


Herausforderung: Kammern bestehen aus praktisch nichts und müssen über ganze Fläche sehr plan ($200\mu\text{m}$) und stabil sein (1mbar entspricht 20 kg auf Kammer)





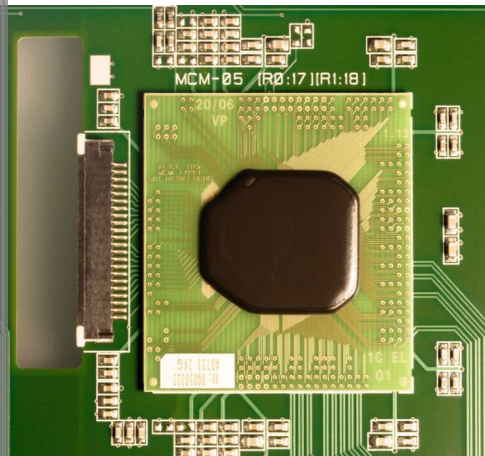
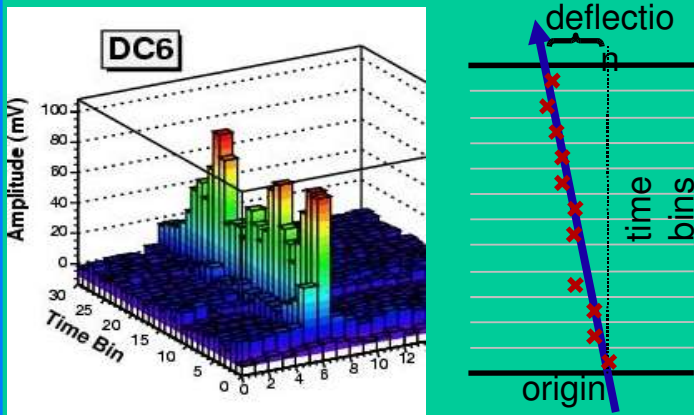
TRD FEE: 2 custom Chips auf Multichipmodulen (MCM)



PASA und TRAP – entwickelt im PI und KIP U. Heidelberg
in jedem MCM werden für 18 Kathodenpads Spursegmente mit
25 Punkten rekonstruiert - auf einer Kammer 500 CPU's

von Ladungs-Clustern zu Spur-Segmenten

- Lokale Tracking Unit auf dem Detektor:

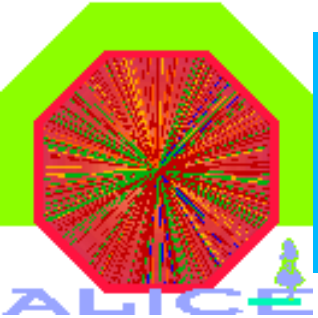


Global Tracking

- GTU (Global Tracking Unit) fügt Spur-Segmente in 6 Lagen in 1.5 μ s zu Spuren zusammen

Elektronik sitzt direkt auf Detektor
muss dünn sein
70 kW müssen gekühlt werden!

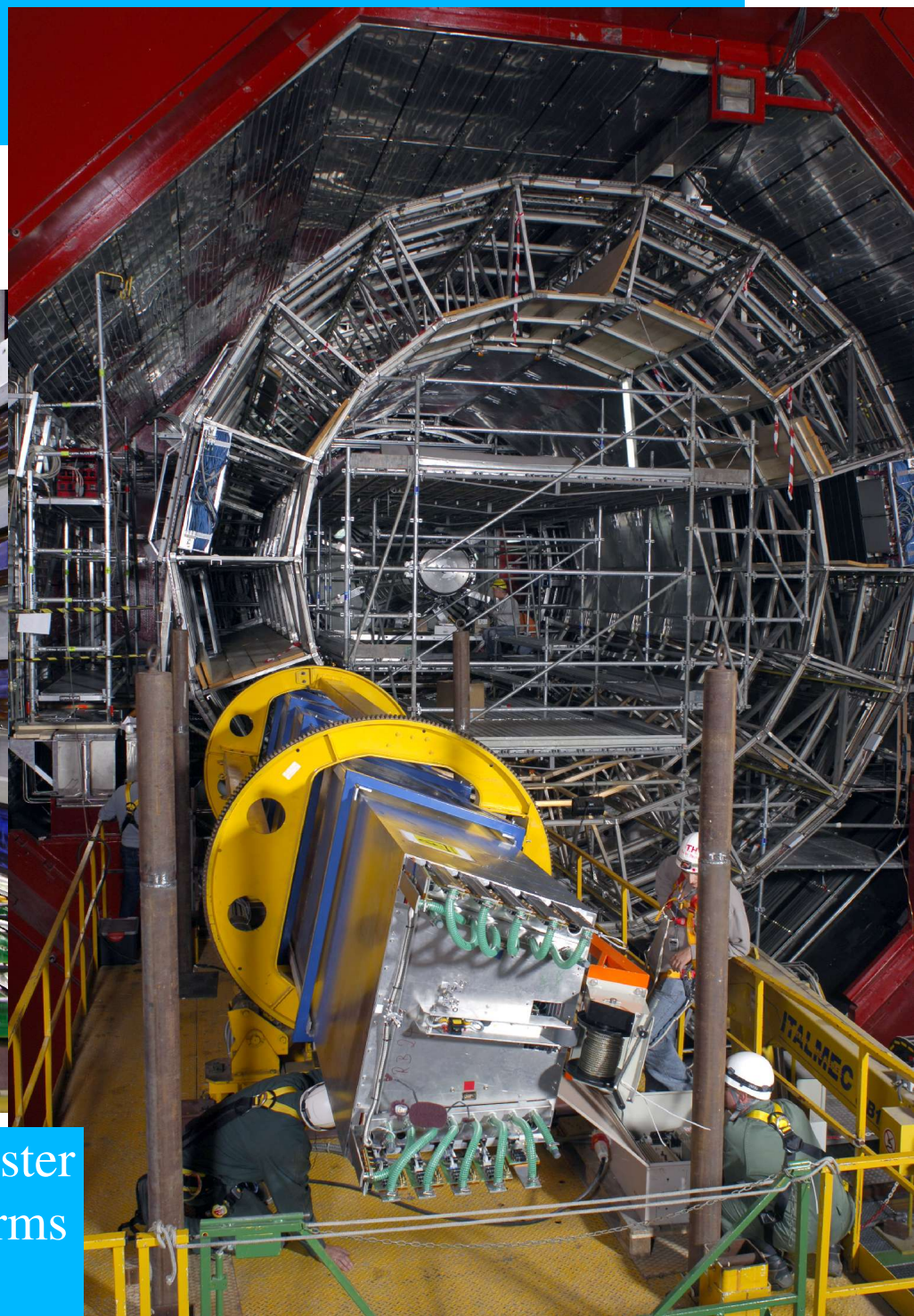
im ganzen Detektor verarbeiten 275 000
CPU's Rohdaten von 65 MByte um in
6.5 μ s Spuren zu rekonstruieren und
Triggerentscheidung zu liefern:
Elektronenpaar mit hohem Impuls



Aufbau u. Einbau eines TRD Supermoduls



zweite Lage von Kammern komplett mit
Elektronik im Supermodul

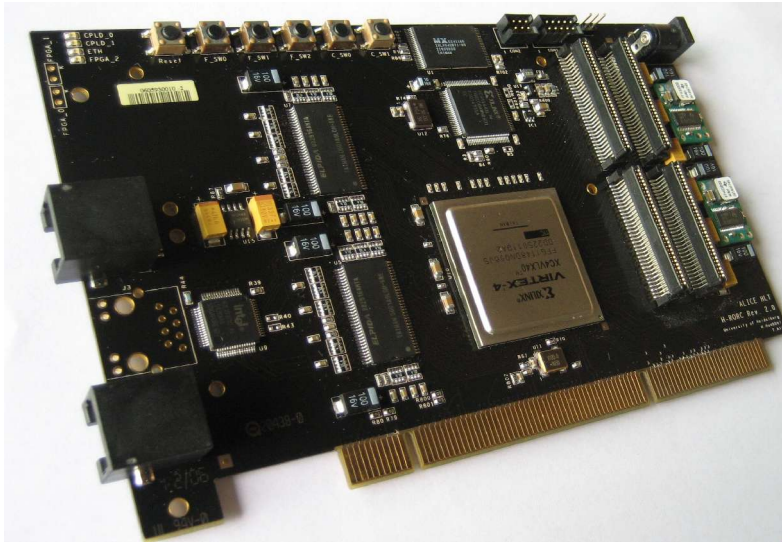


Kontrolle des Detektors: 540 CPU Linux Cluster
PI und KIP U. Heidelberg, FH Köln, FH Worms
U. Münster, GSI

der ALICE High Level Trigger (HLT)

KIP U. Heidelberg

Ereignisselektion und Kompression
(Bandbreite Archivierung 1.2 Gbyte/s)
Methode: komplette on-line Analyse der Daten
bis zu 2 Millionen Spuren – 360 Millionen Spurpunkte

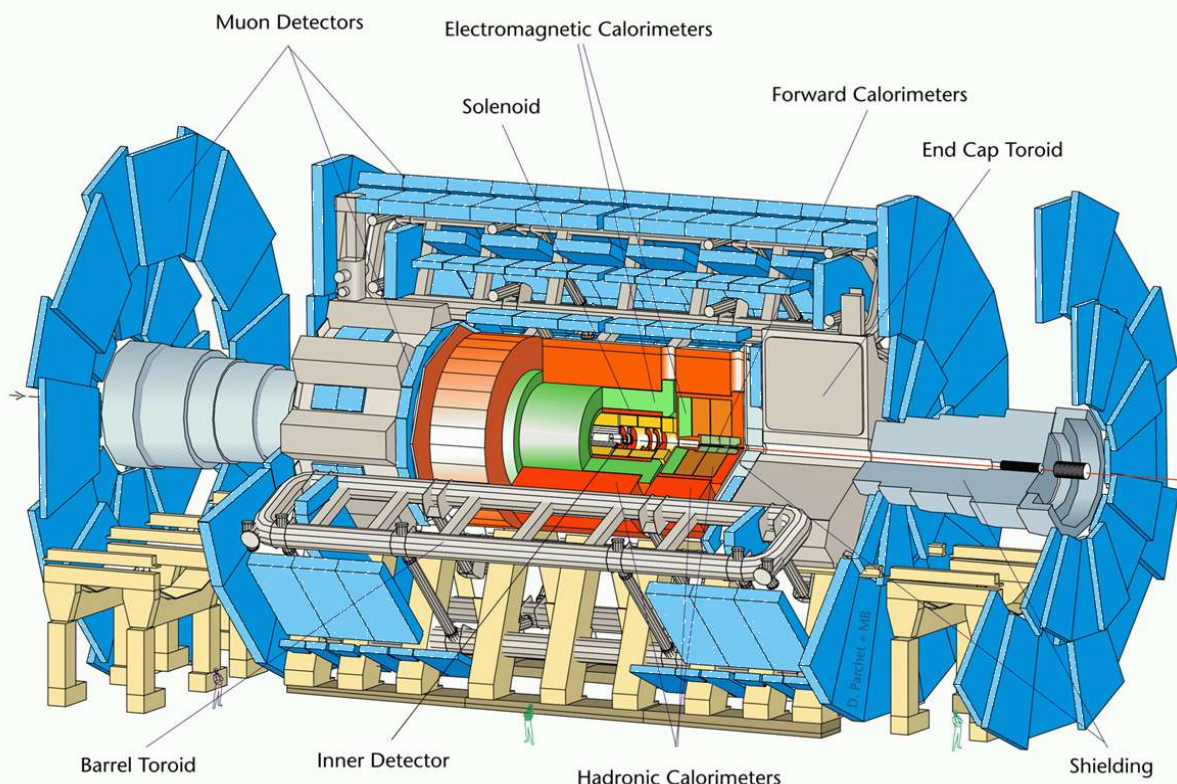
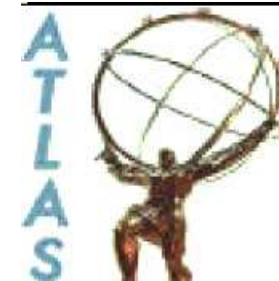


1600 Prozessoren in
400 Rechnerknoten
mit je 4 CPUs
GRID-fähig
FPGA Koprozessoren

simulierte pp Kollision
Ziel: PbPb online mit 200 Hz

Beiträge deutscher Gruppen zu ATLAS

ATLAS - D



Länge ~ 46 m
Durchmesser ~ 12 m
Gewicht ~ 7000 t
~ 100 Millionen elektronische Kanäle

Arbeitsgruppen an 12 Instituten

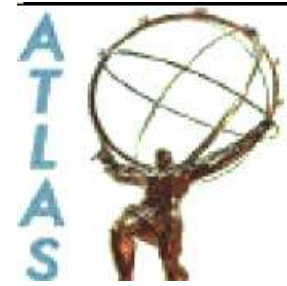
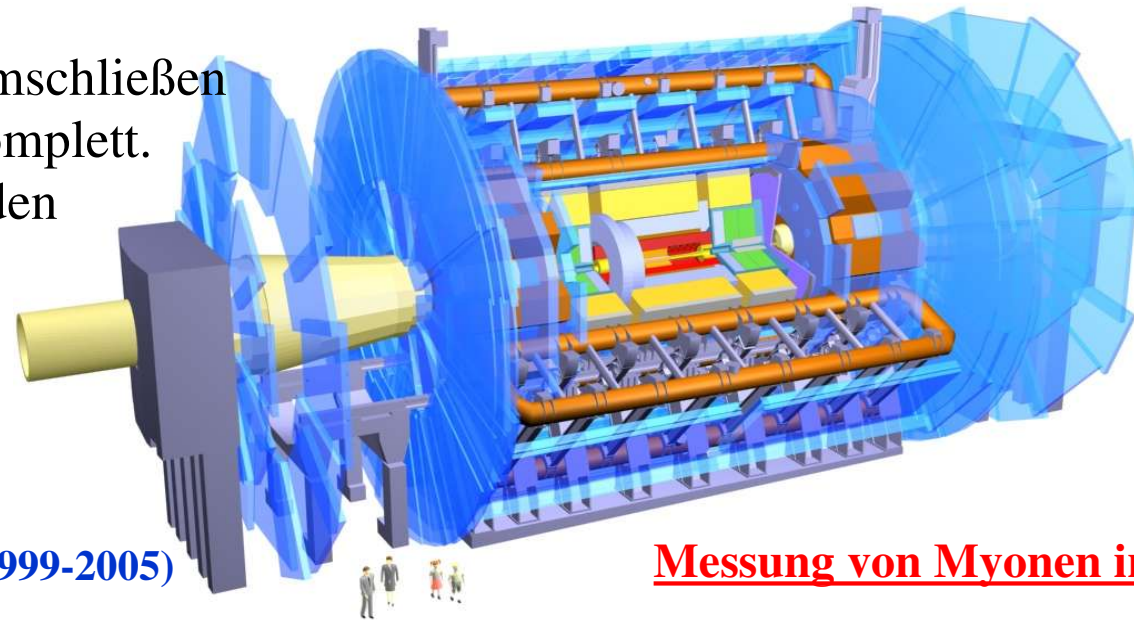
100 Wissenschaftler
75 Doktoranden

dt. Beitrag zum Bau des Detektors

ca. 1996 - 2006
900 Personenjahre
27 M€ reine Baukosten
> 10 M€ weitere Beiträge

knapp 10 % von ATLAS deutsch

Myonkammern (blau) umschließen den ATLAS Detektor komplett. 10 große Räder decken den vorderen und hinteren Bereich ab.



Freiburg (G. Herten Projektleiter 1999-2005)
LMU München
MPI München

Messung von Myonen in ATLAS

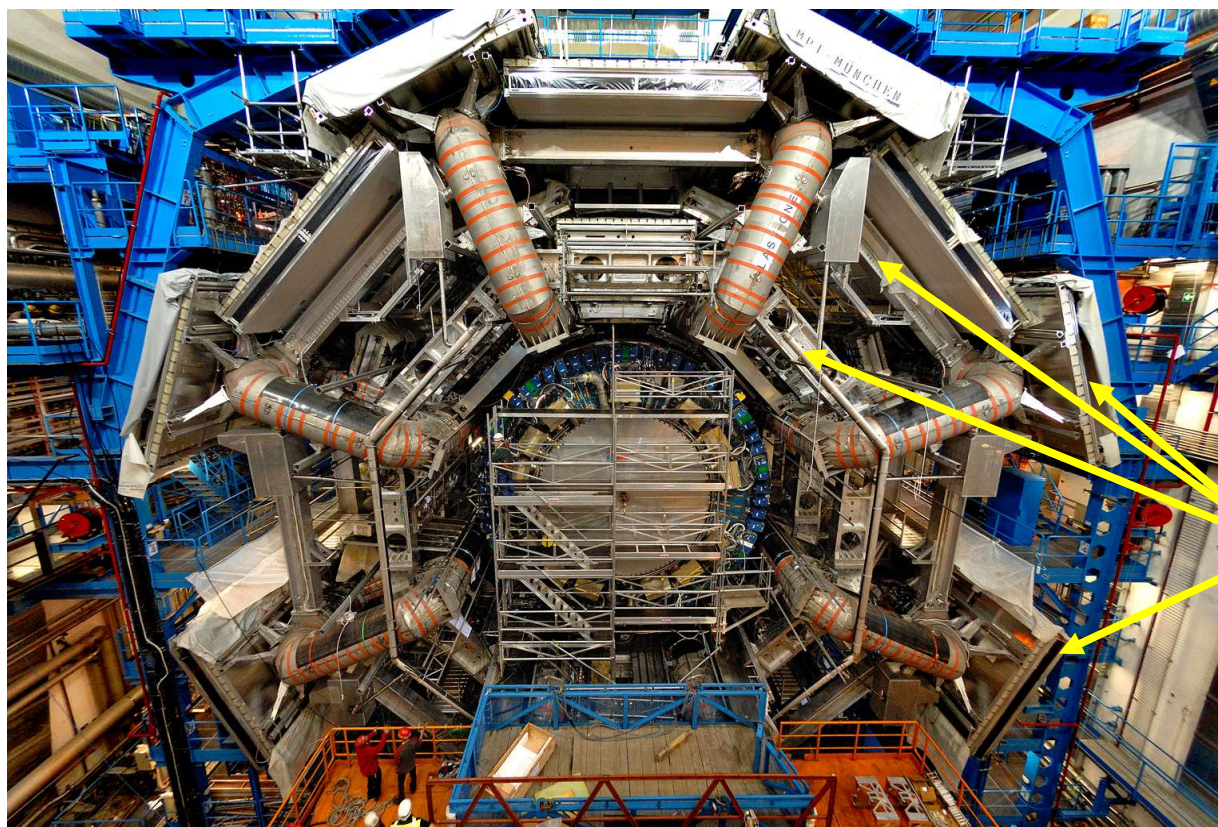
Myonen (schwere Elektronen) sind wichtig für die Entdeckung des Higgs-Bosons

sie fliegen durch den Detektor und erreichen als einzige Teilchen die Myonkammern (blau) und sind so zu identifizieren

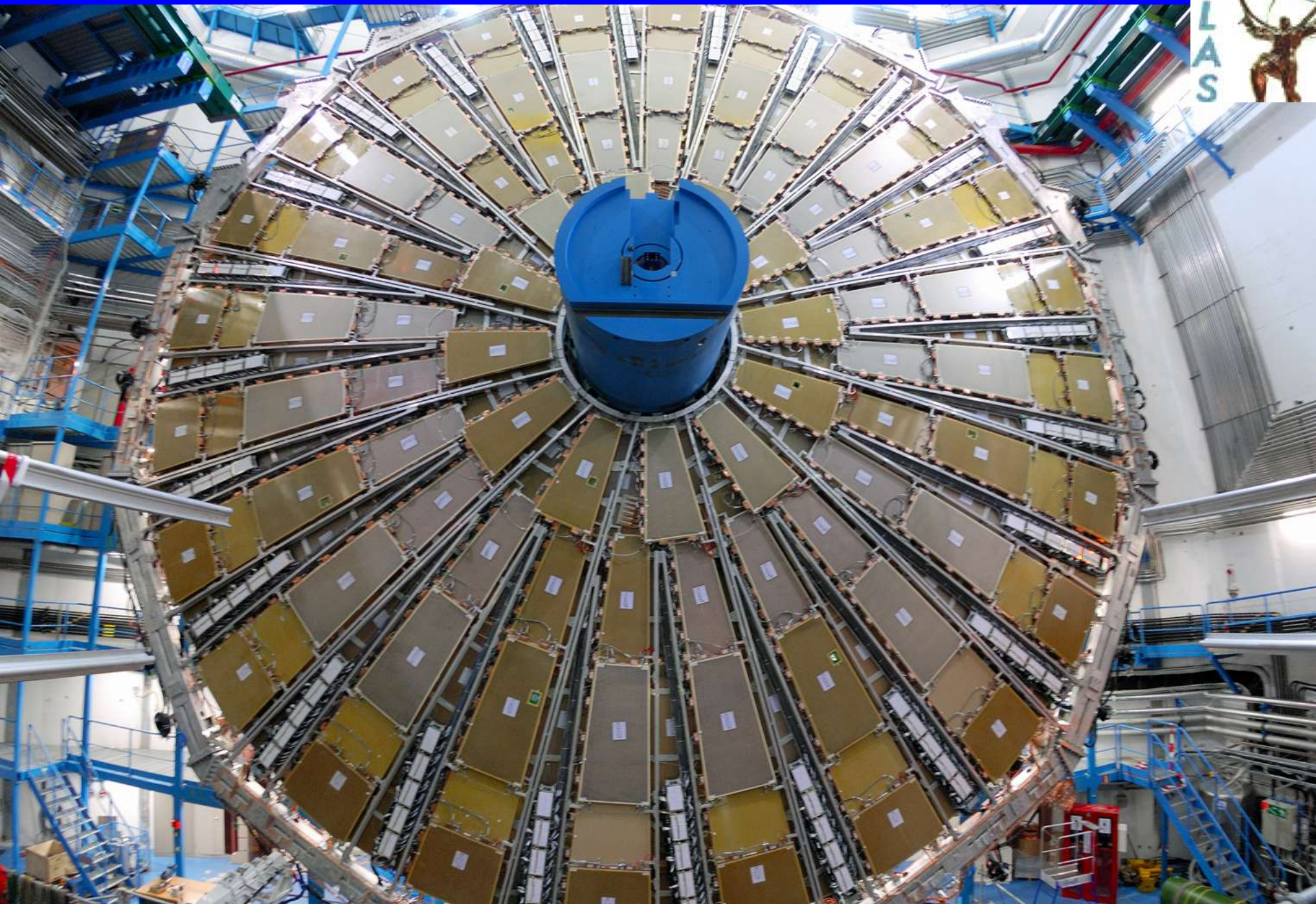
Impulsmessung erfolgt durch Ablenkung im Magnetfeld.

Herausforderung:

- 1200 Myonkammern (ca. 2 m x 3.5 m)
- 2700 Triggerkammern
- 13 000 Kameras
- Messgenauigkeit der Spur: 0.05 mm
- Positionierung der Kammern: 0.02 mm

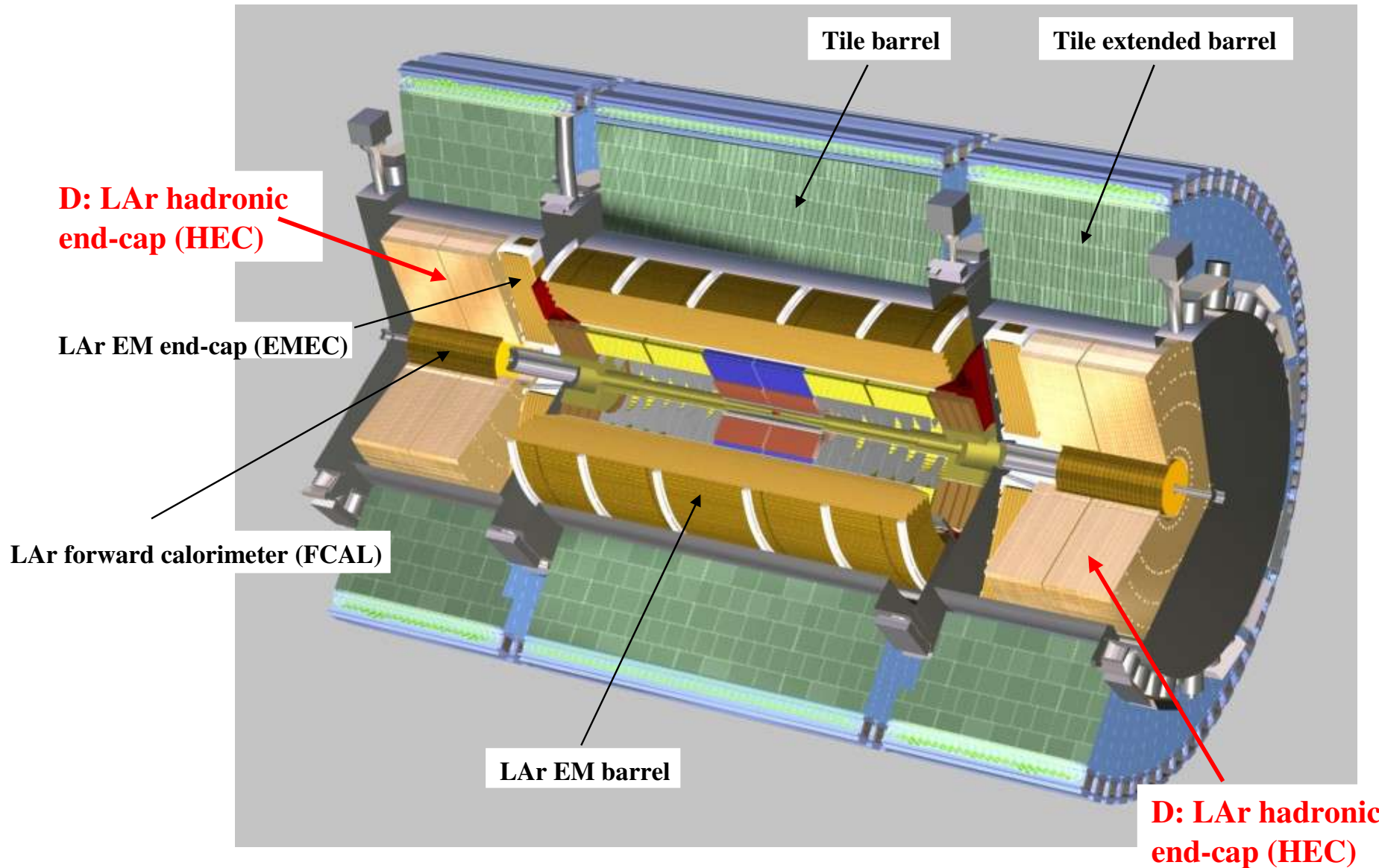


Großes Rad aus Myonkammern - Durchmesser 25 m.

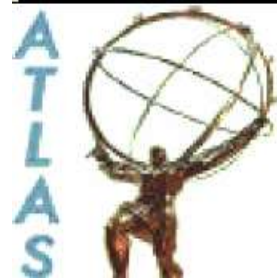


Die Kalorimeter in ATLAS

Energiemessung von Teilchen

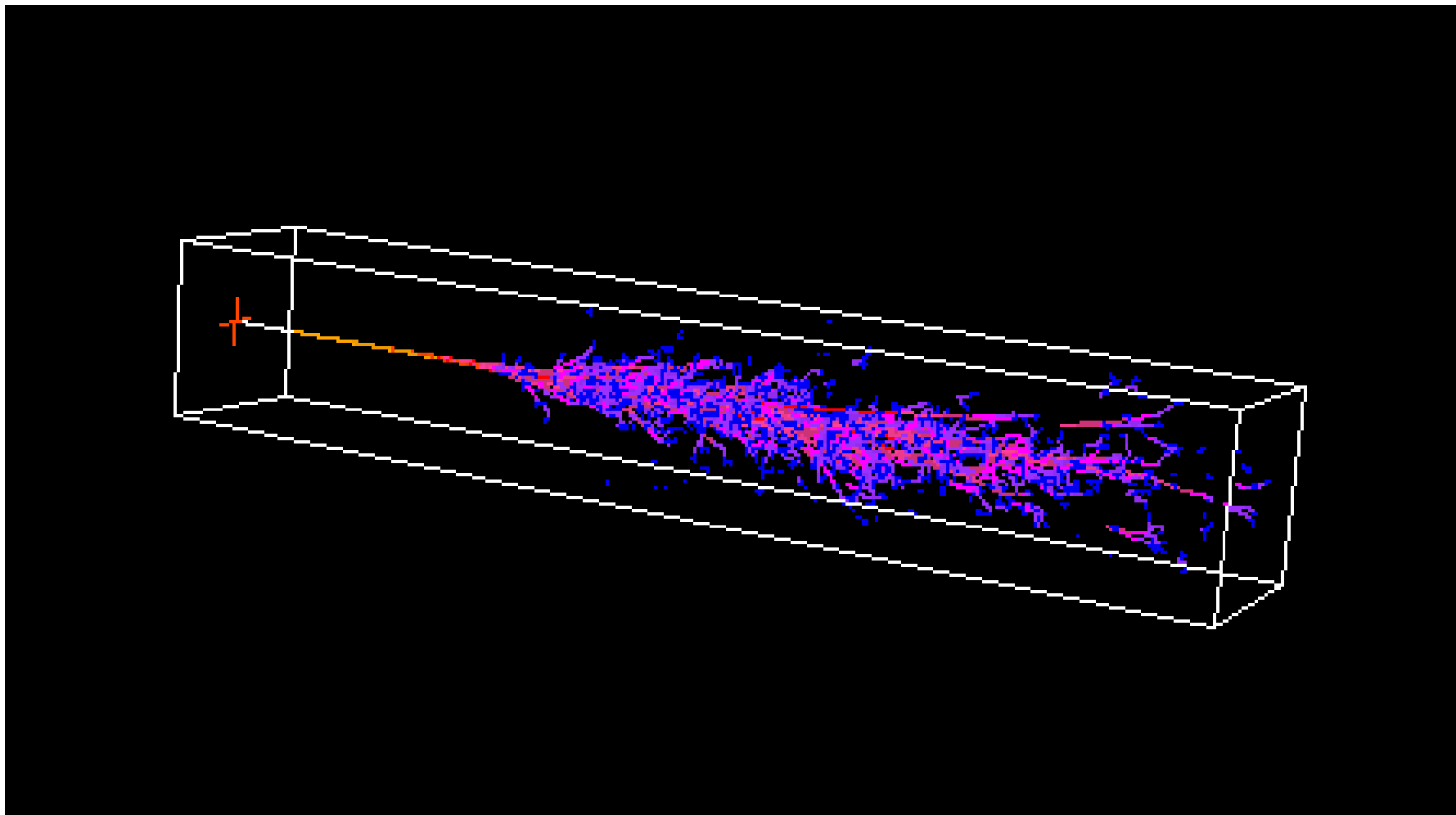


MPI München, Dresden, Mainz, Wuppertal

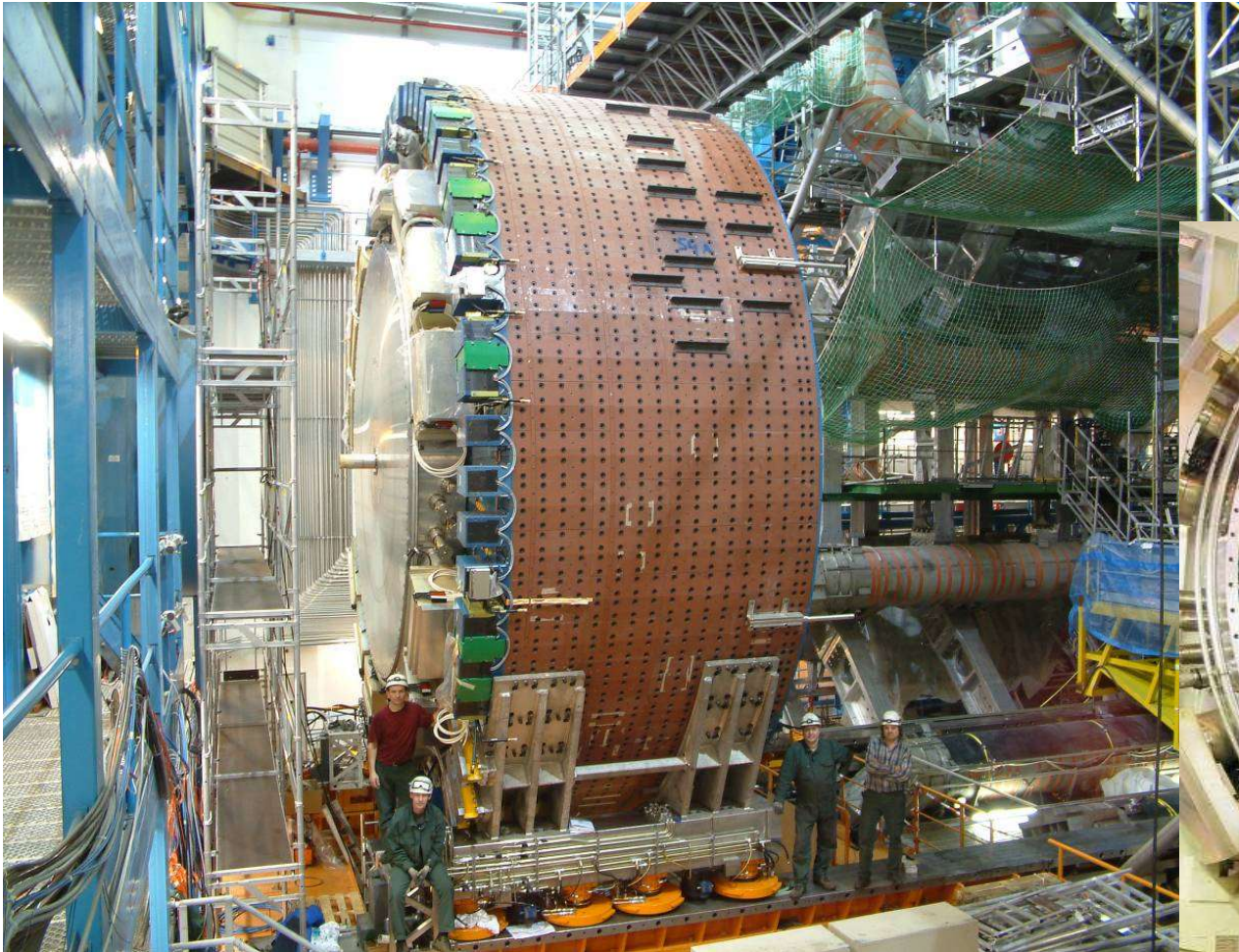
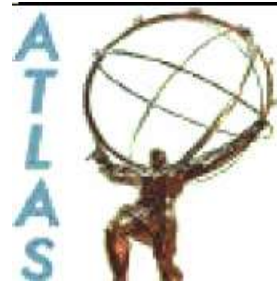


Energiemessung von Teilchen

Teilchen “schauern auf” und hinterlassen ihre gesamte Energie in massiven Detektoren, die Kalorimeter genannt werden.



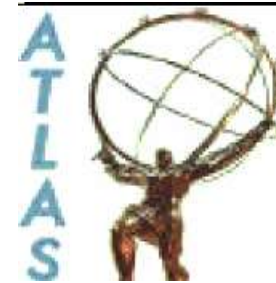
Das ATLAS Endkappen-Kalorimeter (HEC)



MPI München, Dresden, Mainz, Wuppertal
(H. Oberlack, MPI München, Projektleiter)

Messung von Teilchenspuren

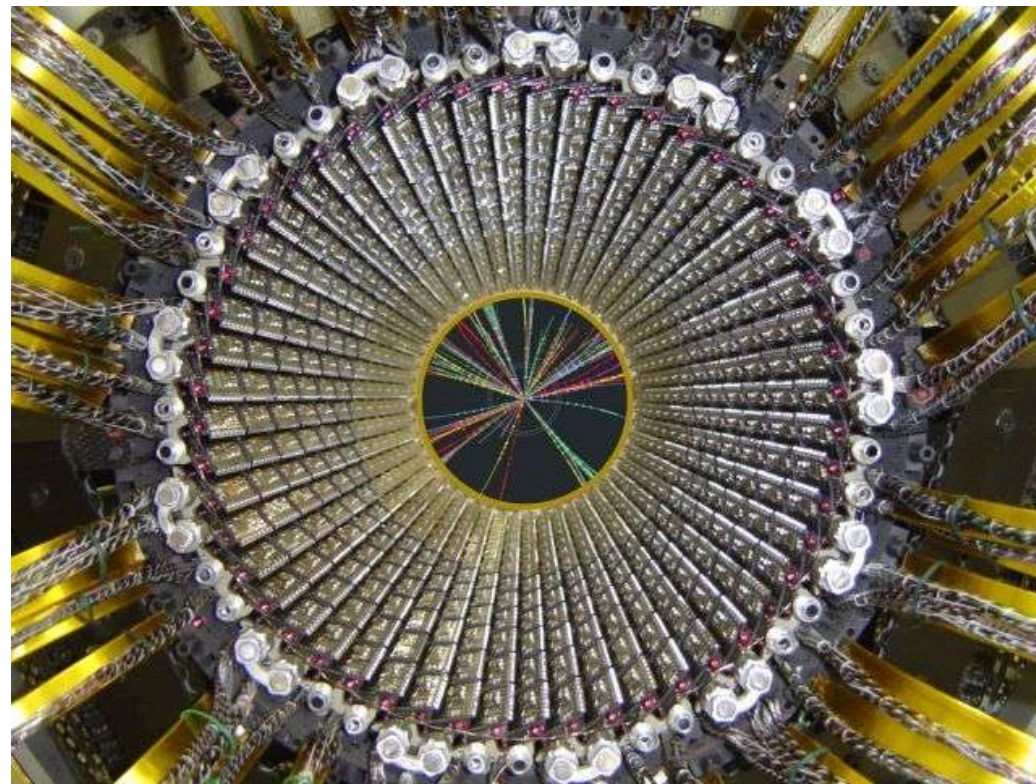
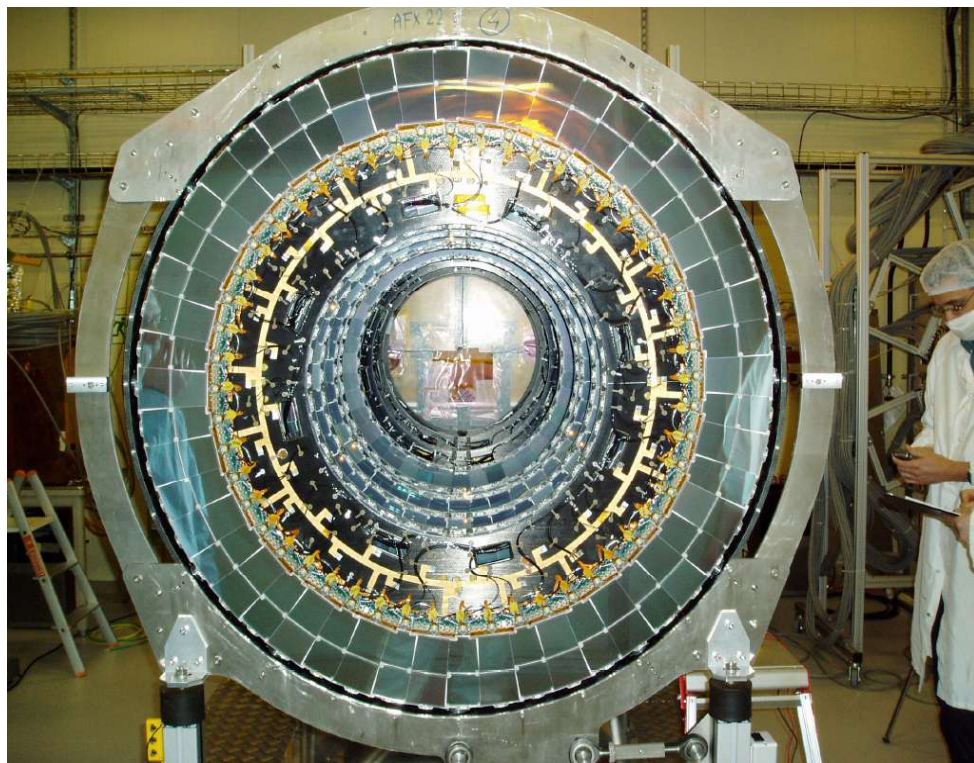
Dünne Siliziumdetektoren messen sehr genau den Durchstoßpunkt der Teilchen, die in der Kollision der LHC-Protonen emittiert werden.



größter Pixeldetektor je!

Mikrostreifendetektor (15 Millionen Streifen)

Pixeldetektor (80 Millionen Pixel)

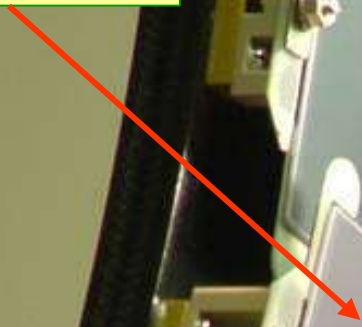


Freiburg, MPI München

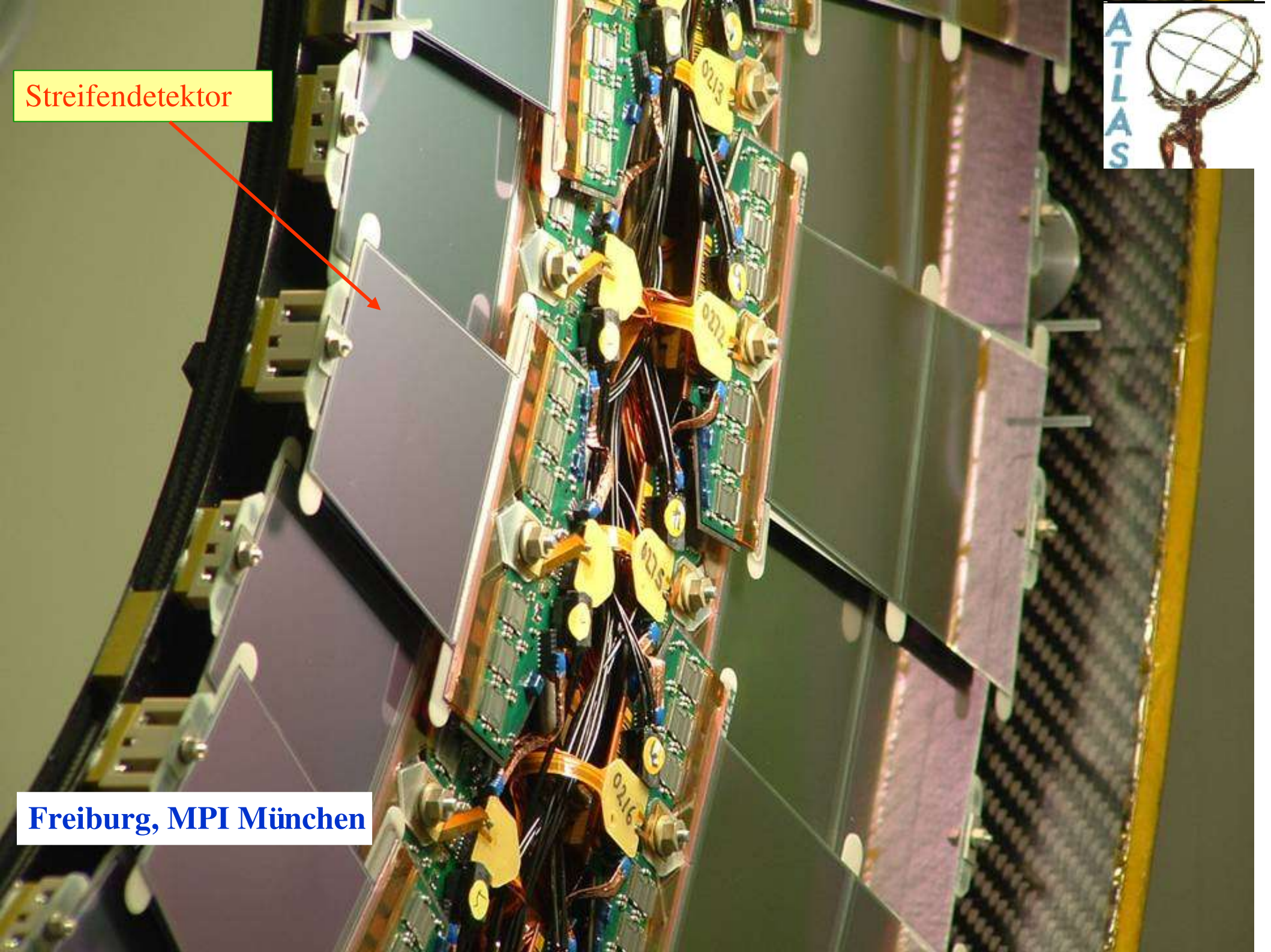
Bonn, Dortmund, Siegen Wuppertal



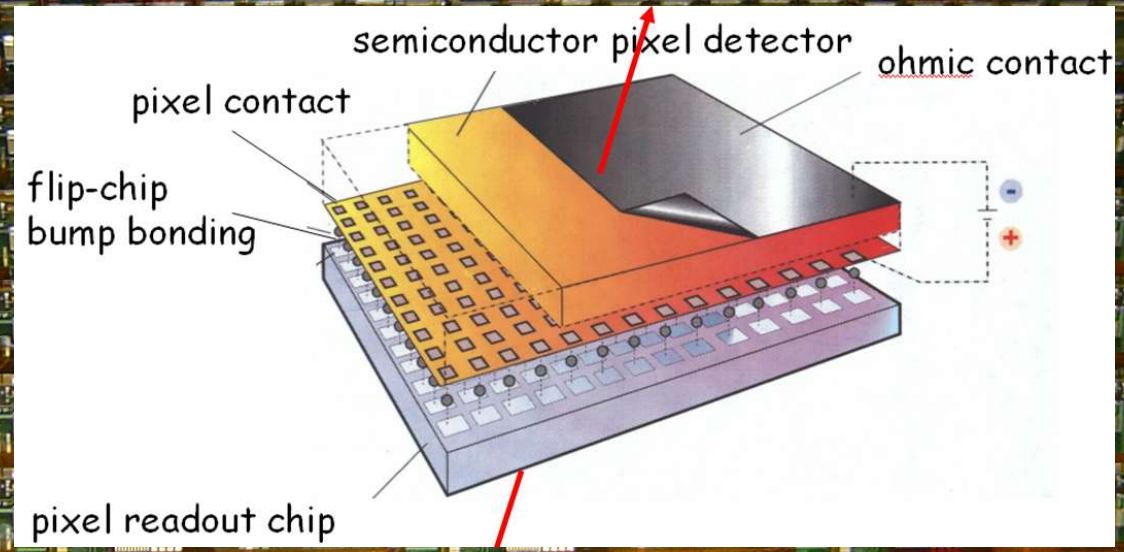
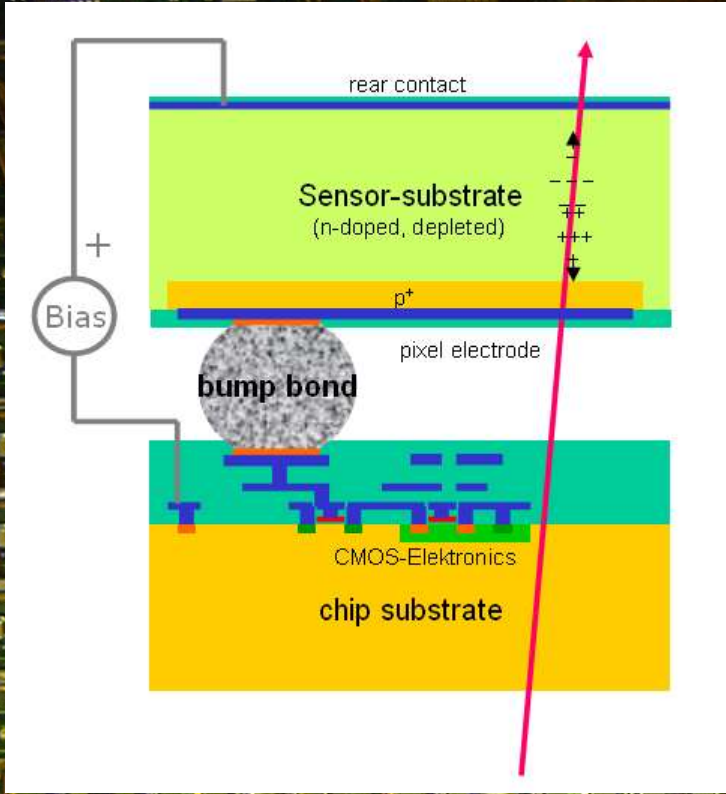
Streifendetektor



Freiburg, MPI München



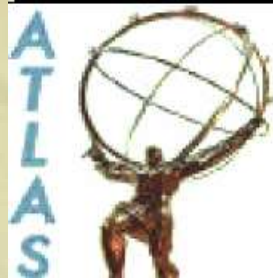
Pixeldetektor: nur 5 cm vom Kollisionspunkt entfernt



Bonn, Dortmund, Siegen, Wuppertal

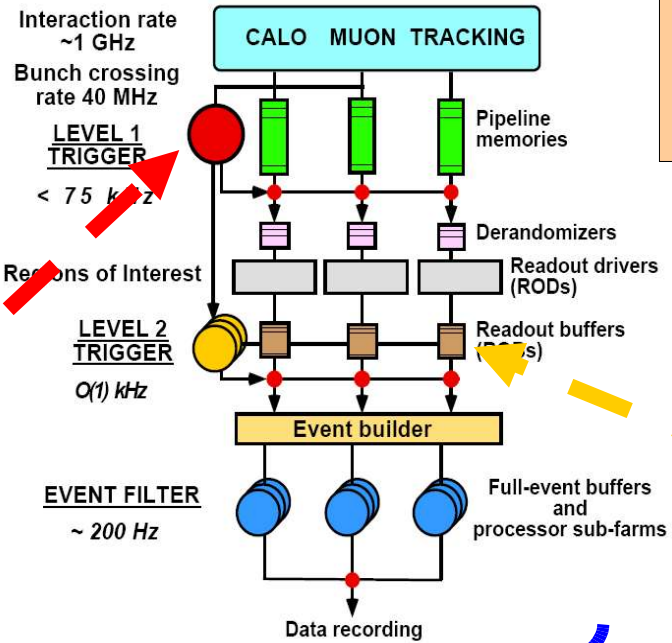
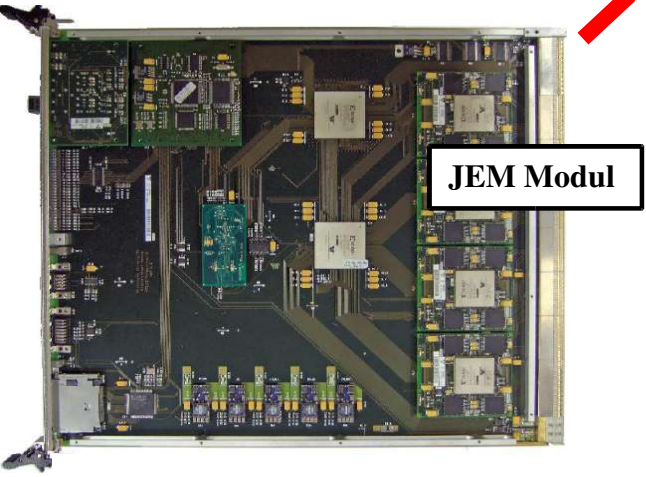
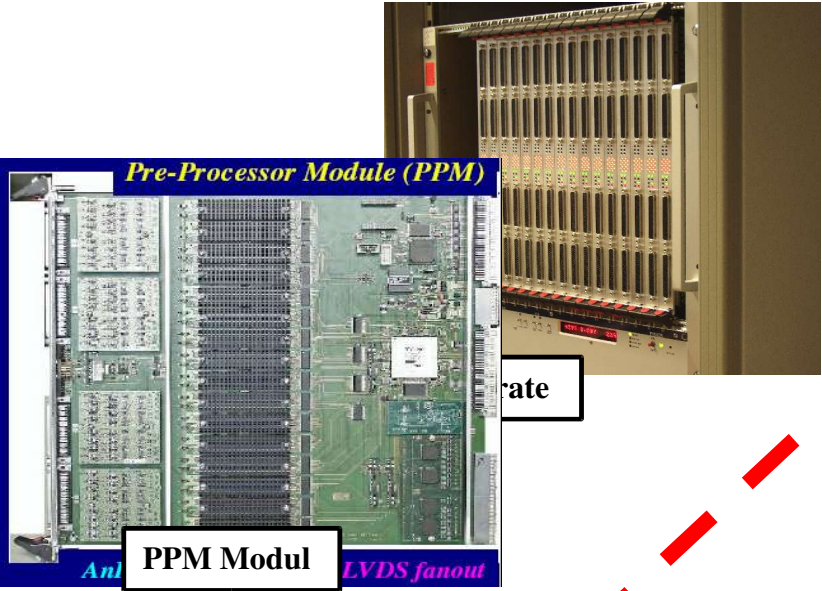
Pixeldetektor: nur 5cm vom Kollisionspunkt entfernt

Bonn, Dortmund, Siegen, Wuppertal



Deutsche Beiträge zum ATLAS Trigger und zur Datennahme

muss in der Lage sein aus 10 Milliarden Kollisionen die richtige auszuwählen



ROBIN Speicherkarte



TDAQ Software

Trigger Konfiguration

TDAQ Software

- Heidelberg
- Mainz
- Mannheim
- HU Berlin
- DESY



38 Nationen

174 Institute

2250 Mitglieder

- Deutsche Gruppen:

- **RWTH Aachen**

I. Phys. Inst. B

III. Phys. Inst. A

III. Phys. Inst B



- **DESY**



- **Univ. Hamburg**



Universität Hamburg

- **IEKP Univ. Karlsruhe (TH)**



Deutscher Anteil am CMS-Projekt:

etwa 50 Wissenschaftler

30 Doktoranden

14 Millionen Euro Investitionsmittel

wichtige Funktionen in Projekt- und Exp. Management

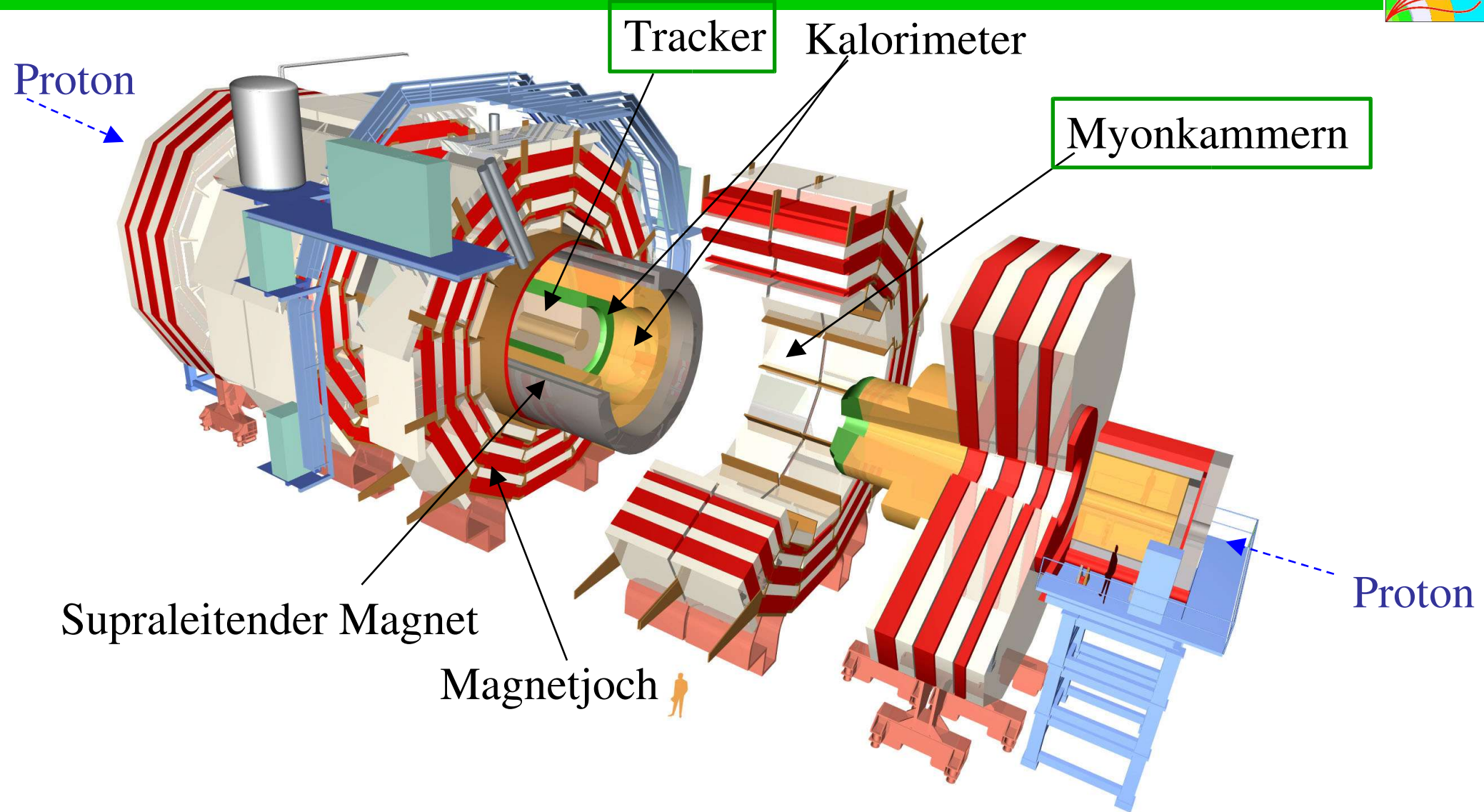


bmb+f - Förderschwerpunkt

CMS

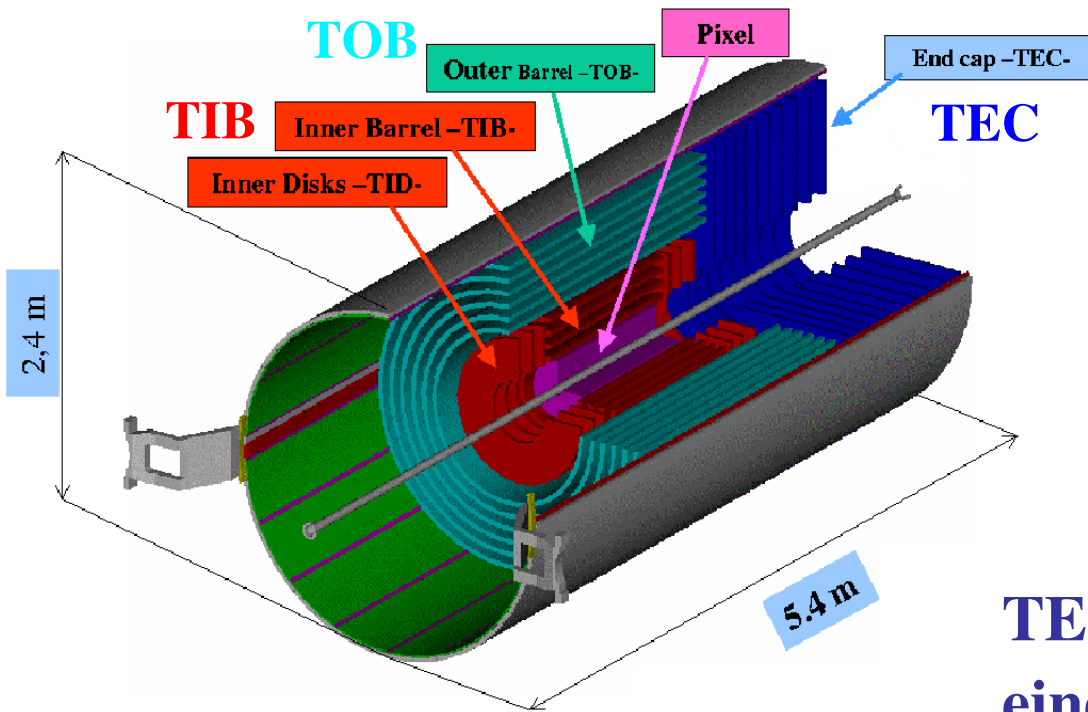
Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung

CMS = Compact Muon Solenoid



Deutsche Beiträge zum Detektor:

- Innerer Spurdetektor = „Tracker“
- Äußerer Spurdetektor = „Myonkammern“



Silizium-Streifen-Detektor:

210 m² Silizium

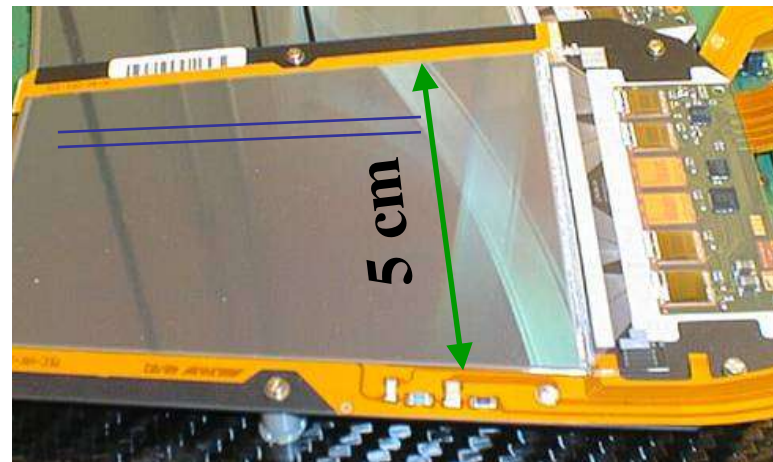
15 000 Module

10 Millionen Streifen

**Weltgrößter Detektor
dieser Art !**

**TEC = Tracker Endkappen:
eine von zweien in Deutschland gebaut
TEC Koordinator: S. Schael (Aachen)**

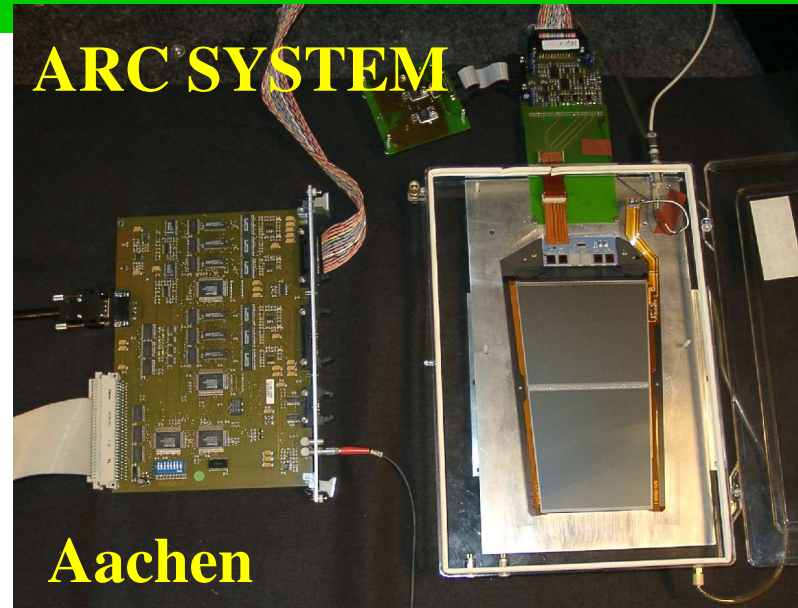
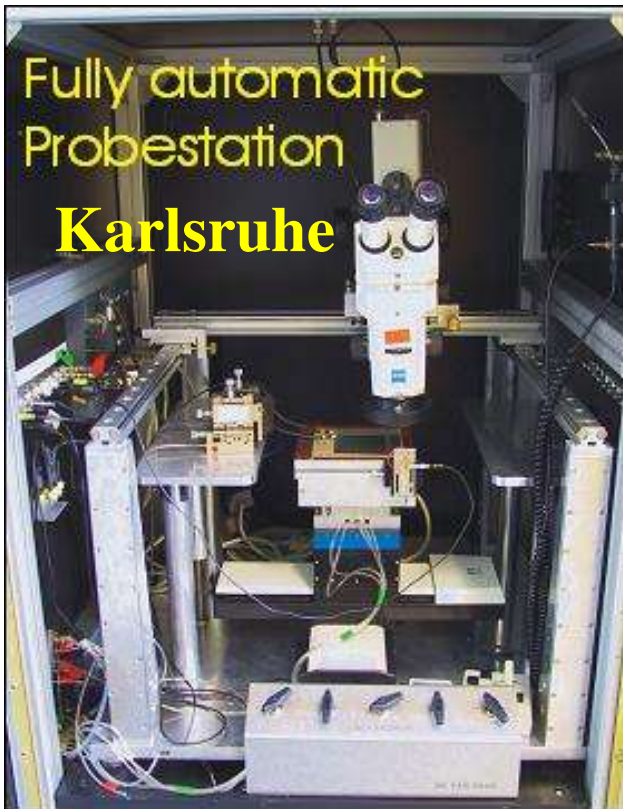
**Tracker-
Modul:**



**Hunderte feiner
Siliziumstreifen
messen
Teilchendurchgang
auf 0.05 mm genau**

Qualitätskontrolle von Modulen (Karlsruhe)

- 25% der Sensoren
- 100% der Alignment-Sensoren total 8000



Mess-Elektronik (Aachen IIIb)
Auslesesystem wird von allen am Tracker beteiligten Instituten verwendet.



Optische Daten-Übertragung (Hamburg)

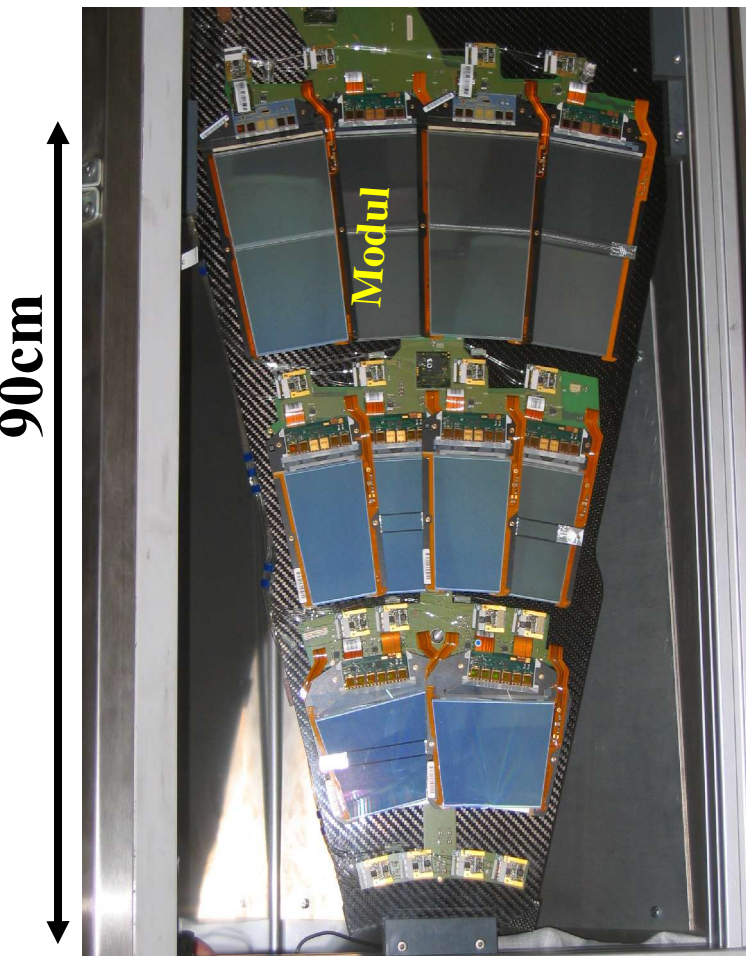
Montage von
Elektronik für
Optische Fasern

CMS Tracker-Supermodule und -Endkappe

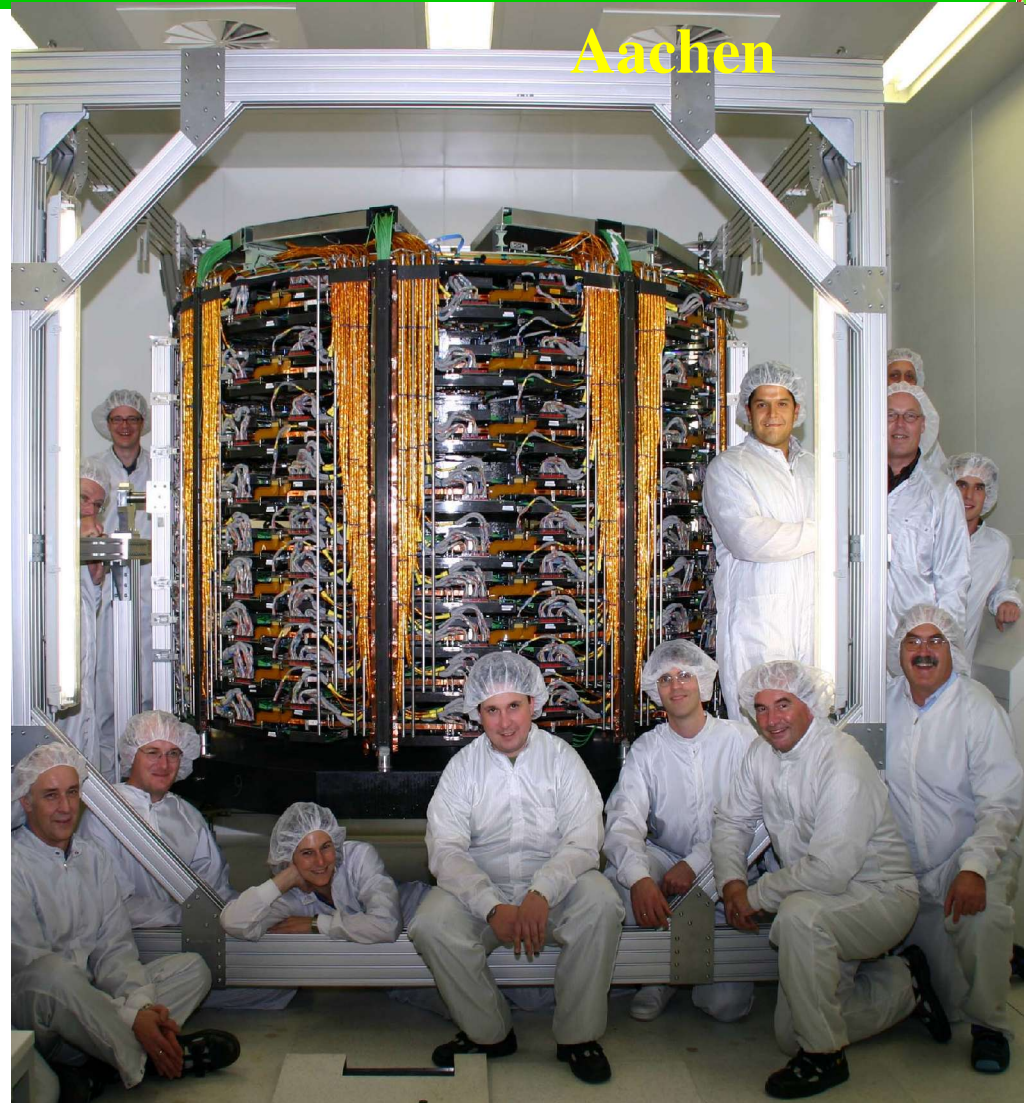


**Zusammenbau und Tests
von Supermodulen = Petals**

**(Aachen Ib, Aachen IIIb,
Hamburg, Karlsruhe)**



134 Petals gebaut (Mechanik
+Elektronik+Kühlung),
288 Petals getestet



**Integration einer Tracker-Endkappe
(Aachen Ib)**

Endkappe (mit 144 Petals) vor
dem Transport zum CERN

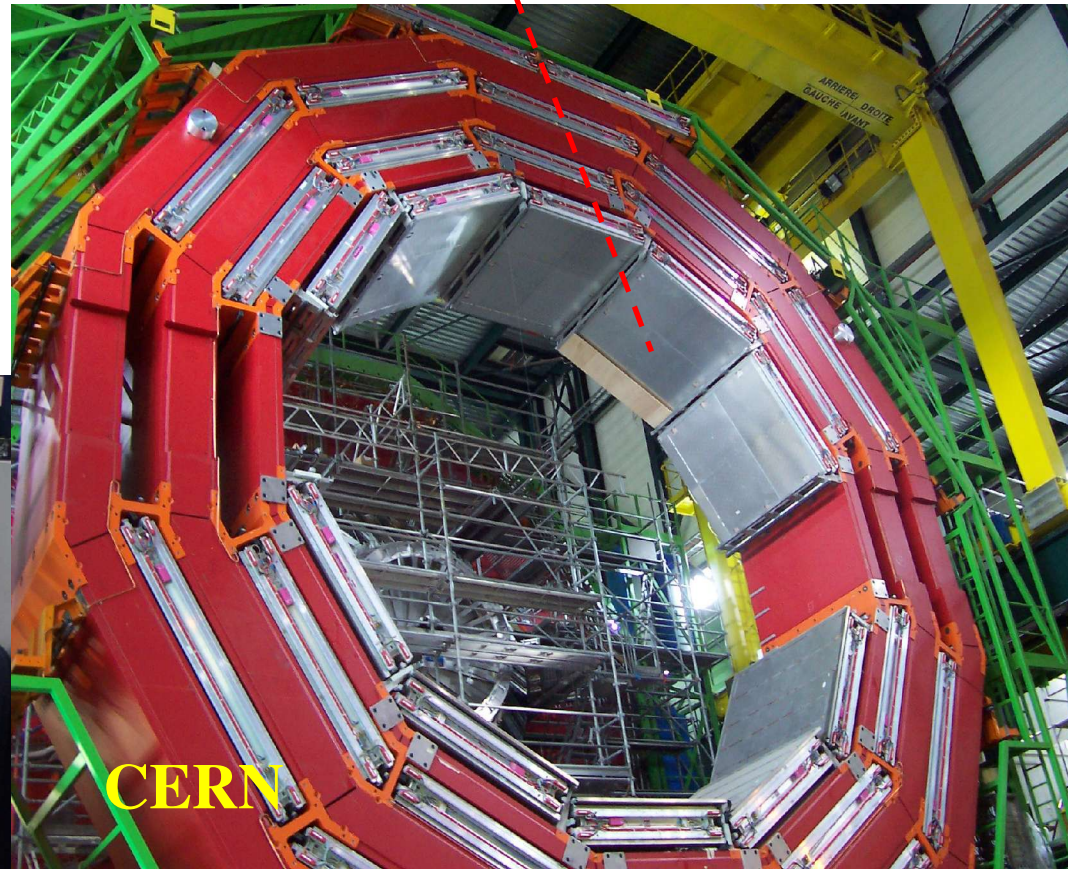
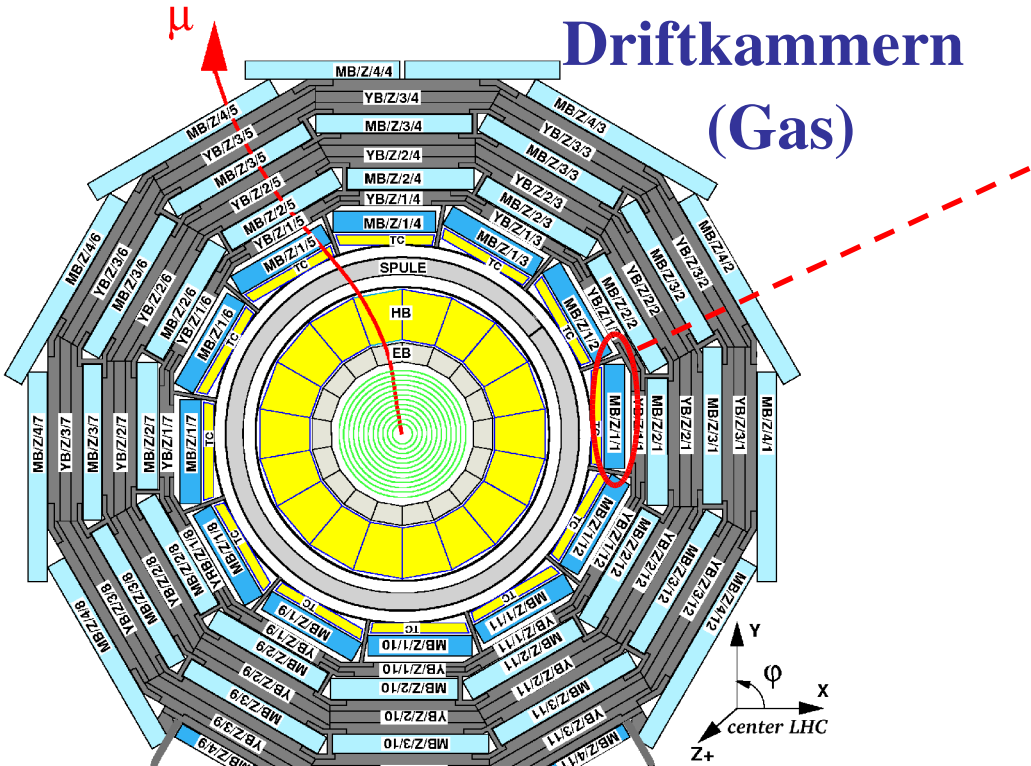
CMS Myonkammern



Driftkammern (Gas)

75 Myonkammern
(Aachen IIIa)

1/4 des zentralen Myonsystems
4000 m² Detektorfläche

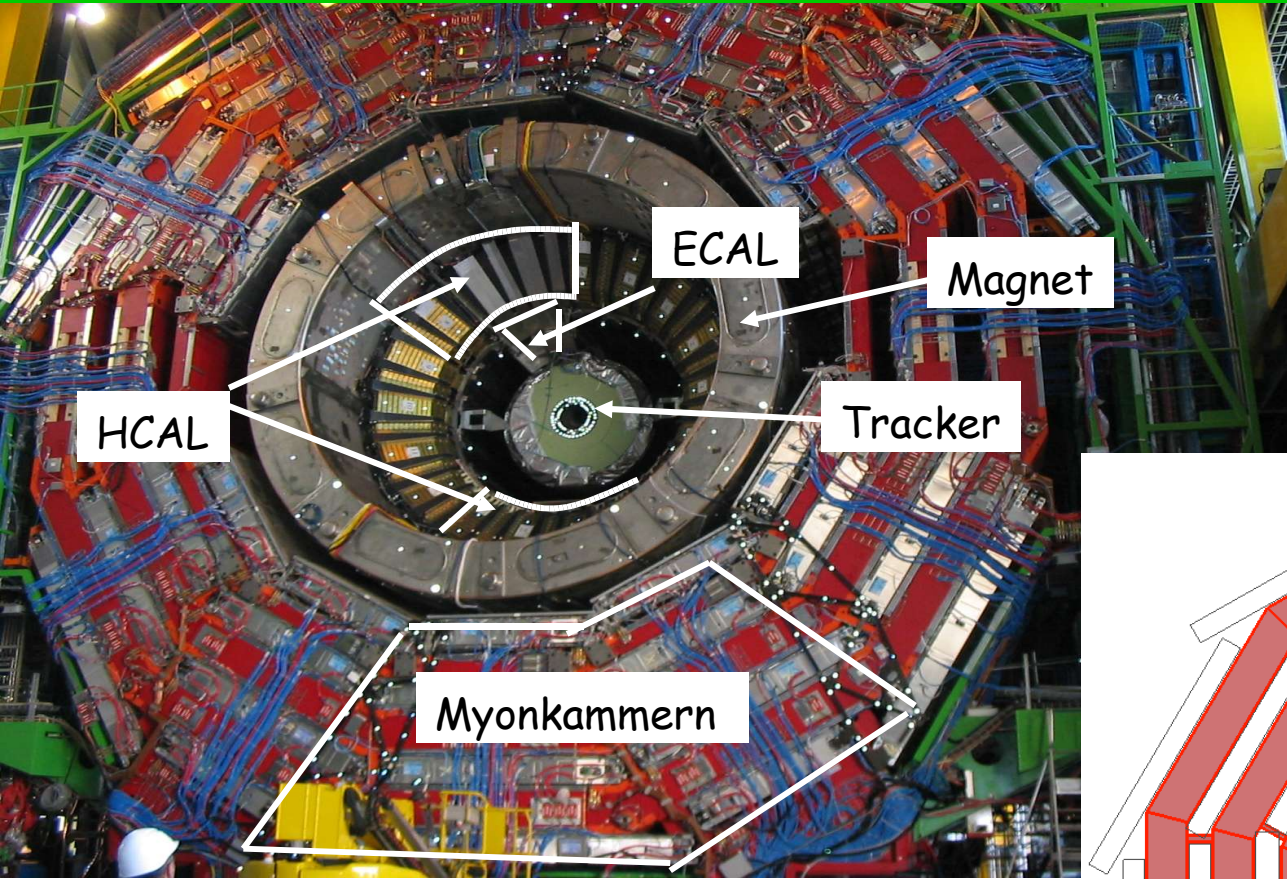


RWTH Aachen IIIa
09-Jun-2005

© K. Hoepfner

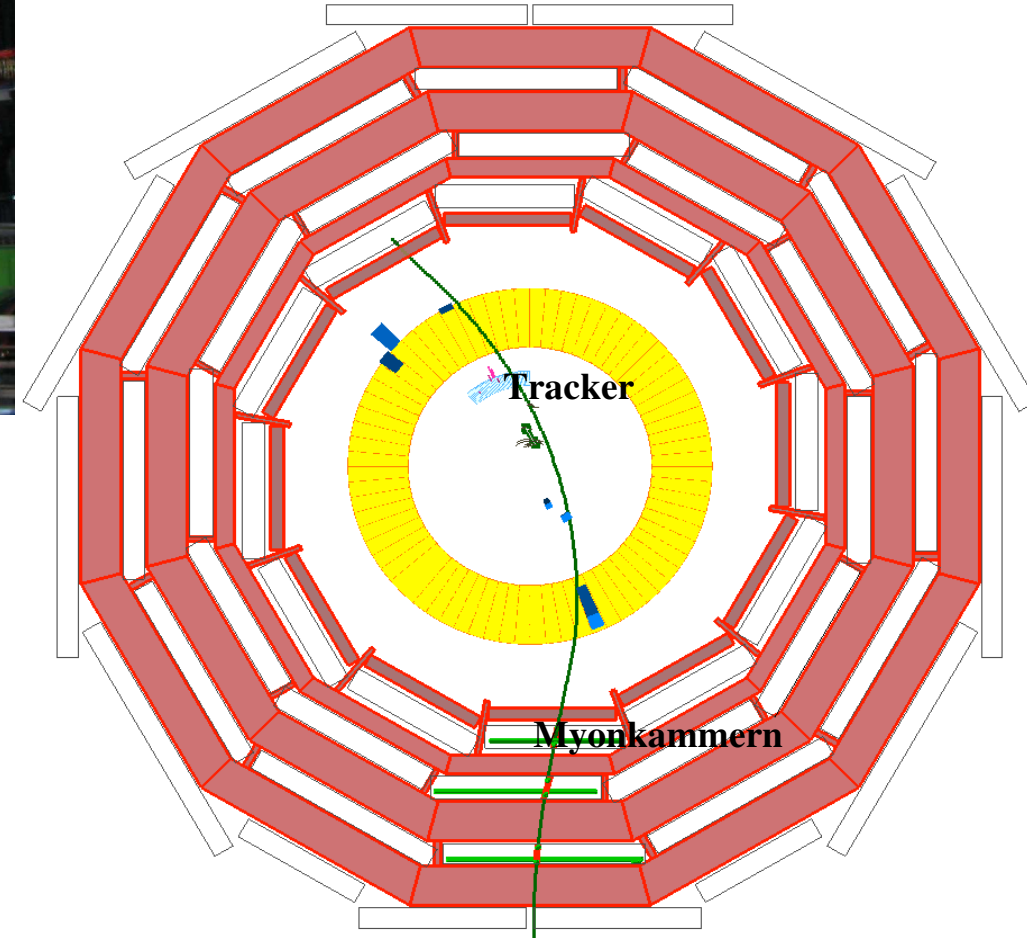
Techn. Koordinator Barrel Myon System:
H. Reithler (Aachen)

CMS Magnet-Test, kosmische Myonen



Herbst 2006

Magnetfeld 4 Tesla



CMS-Detektor funktioniert !

beteiligte Institute:

Physikalisches Institut U. Heidelberg

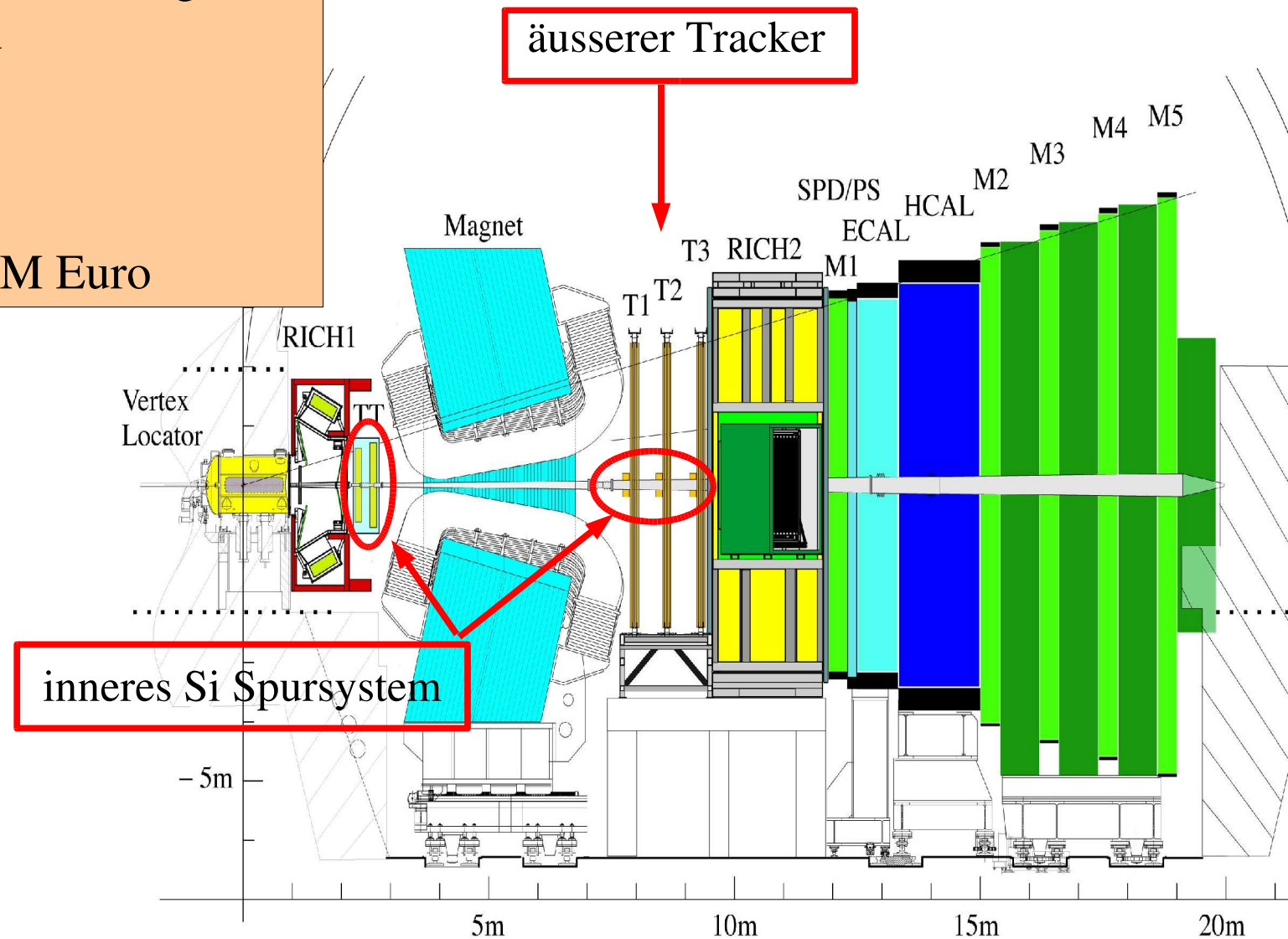
MPI für Kernphysik Heidelberg

Universität Dortmund

16 Wissenschaftler

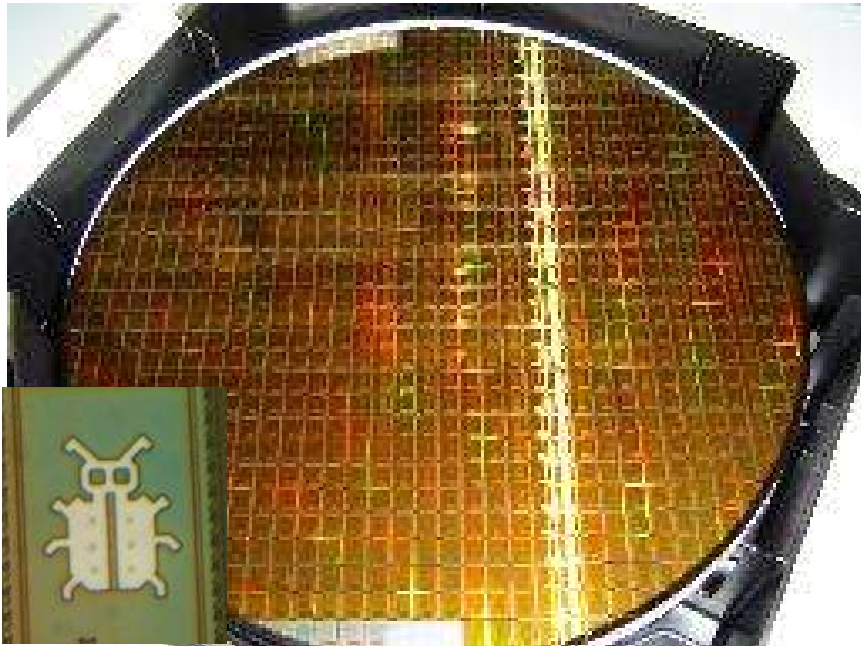
7 Doktoranden

Investitionsmittel 3.4 M Euro



Auslese-Elektronik für Si-Detektoren

MPI für Kernphysik



BEETLE Frontend Chip

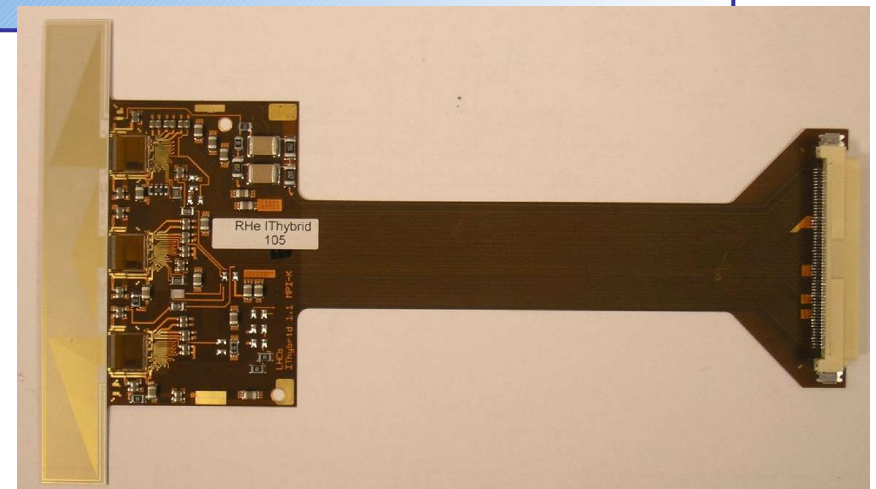
- Auslesechip für Vertex-Detektor, Si-Spurdetektoren, Pile-Up Veto (für 40% der LHCb Kanäle):
- bereits 43200 Chips produziert und getestet

Hybrids für IT / TT

Entwicklung und Bau der detektor-nahen Elektronik-Boards “Hybrid”:

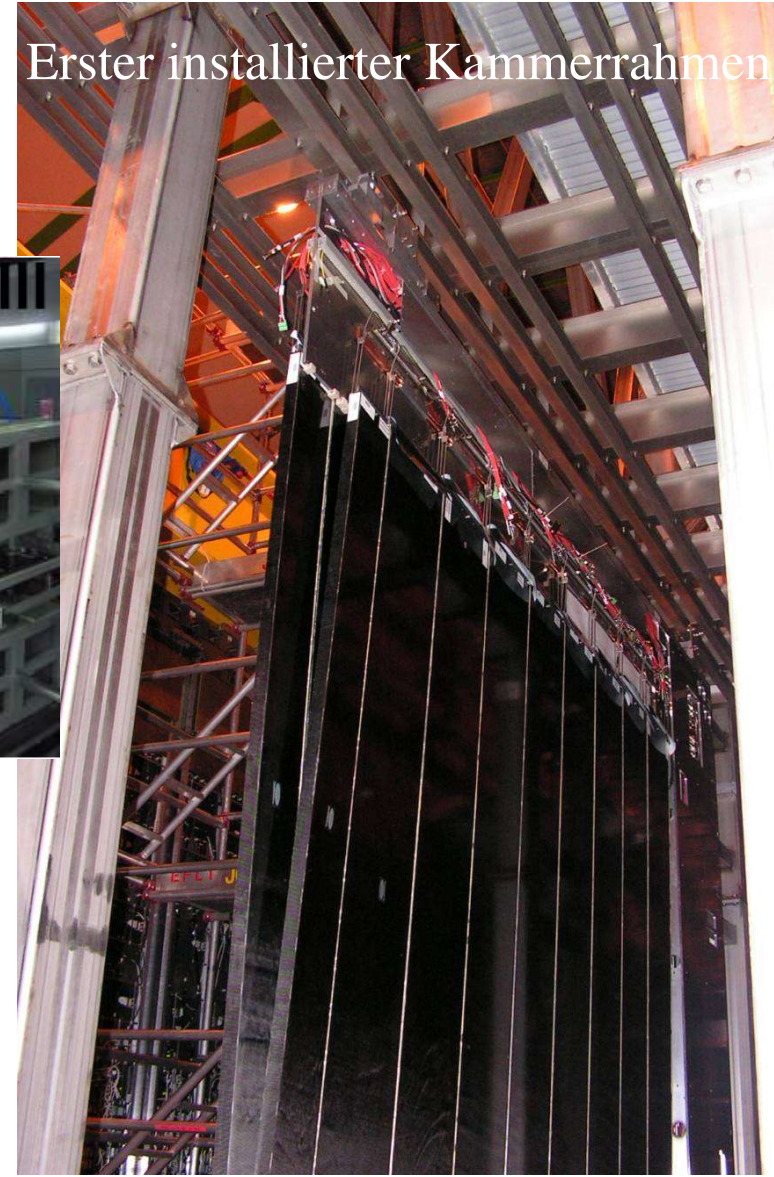
400 / 324 Hybrid-Boards für IT / TT

Automatischer Wafer-Tester im Heidelberger ASIC-Labor
PI und KIP U. Heidelberg, MPI



Äußeres Spurkammersystem

PI U. Heidelberg, U. Dortmund, NIKHEF



Erster installierter Kammerrahmen

**knapp 30% der Straw-Driftkammer-Module
in Heidelberg gefertigt:**

je 128 Straws auf Tragepaneel, bedrahtet,
fixiert in Modulhalterungen und verklebt

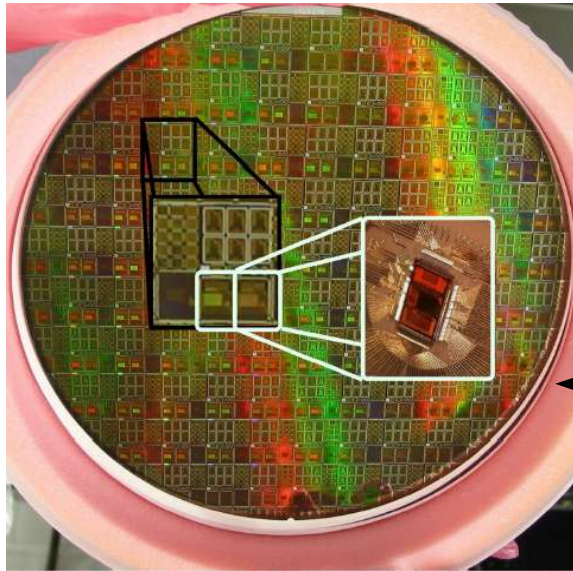
→ **sehr dünner und doch stabiler Detektor**
(gegen Deformation und Strahlung)

PI U. Heidelberg

OTIS TDC-Chip

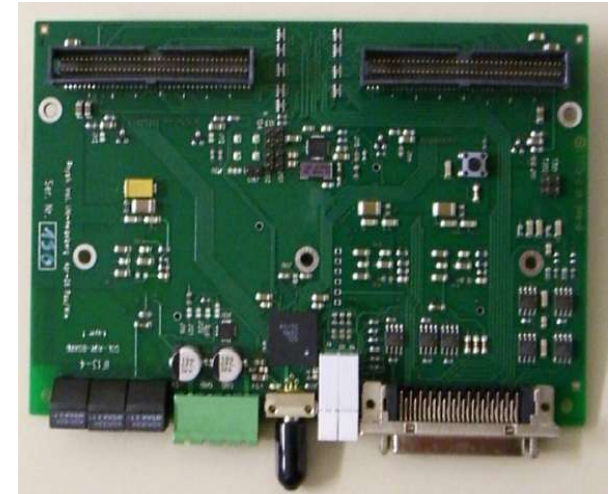
Um die Ankunftszeit der Driftkammersignale zu messen, wurde ein Time-to-Digital-Converter (TDC) Chip entwickelt – hochintegriert, strahlenhart und schnell

Produktionswafer



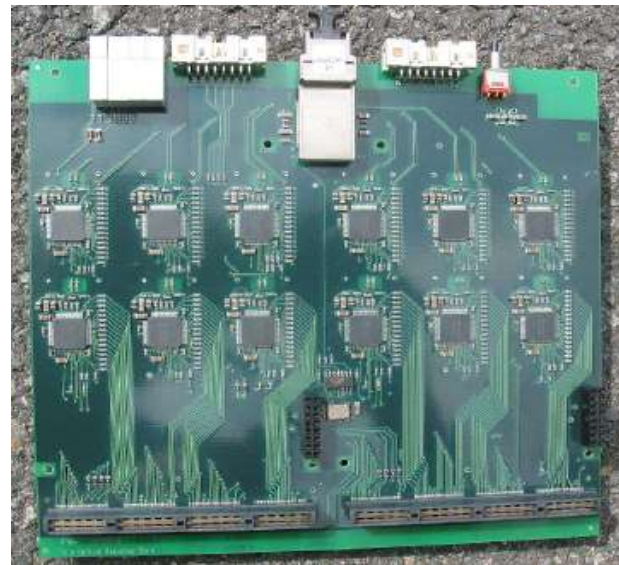
GOL-Aux Board:

Infrastruktur für 4 OTIS Chips - Digitalisierte TDC Daten werden über einen 1.6 GBit/s Link optisch an den L1 Buffer gesendet.



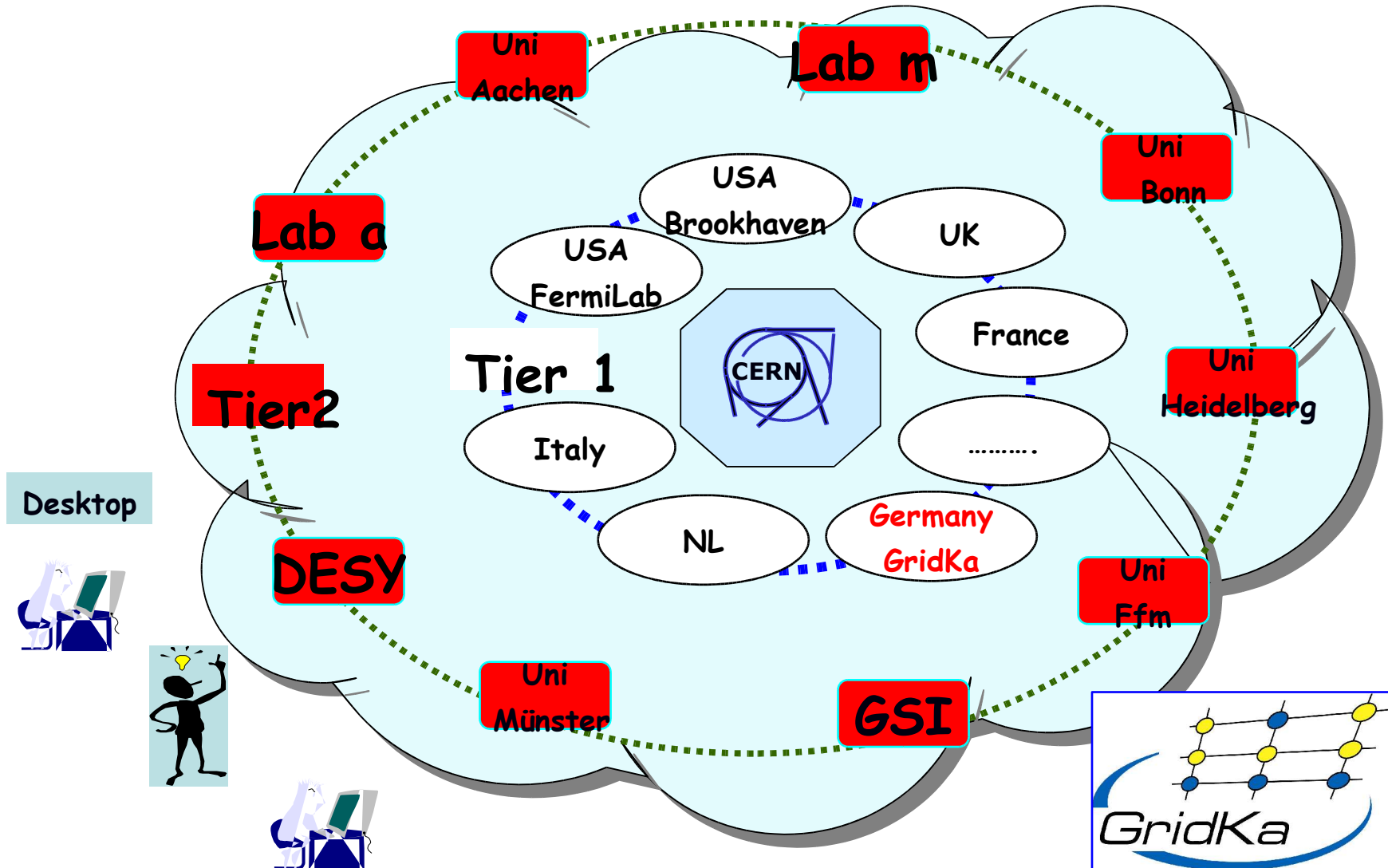
ORxCard:

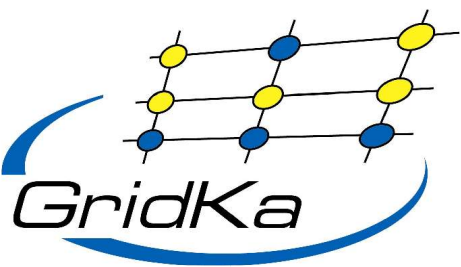
Optische Empfänger-Karte für Daten von 12 GOL Boards. Wird auch von anderen LHCb Subdetektoren benutzt.



Der Maßstab und die Kosten des LHC Computing bedingen ein
verteiltes Modell:

Das Grid als virtuelles LHC Rechenzentrum





Grid Rechenzentrum am FZK Tier1 für die LHC Experimente: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb

