

Der Urknall im Labor Das ALICE Experiment



bmb+f - Förderschwerpunkt

ALICE

Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung



Der Urknall im Labor

Das ALICE Experiment

- CERN und der LHC Beschleuniger
- Wozu Experimente am LHC
- Das Experiment ALICE
- Strangeness
- Ausblick



CERN, das Europäische Teilchenlabor

Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire

- Gegründet 1954, älter als EU
- Europäische Mitgliedstaaten
- Budget ca 1.200 MCHF/a, Deutschland 19%
- Non-member states ~100 MCHF/a
- Zur Zeit ca 2500 staff, 8000 externe ‚user‘
(ALICE: 1800 Mitglieder)



Large Hadron Collider (Large Heavy Ion Collider)





Der Large Hadron Collider (LHC)

- 27 km Ringbeschleuniger (früherer LEP-Tunnel)
- supraleitende Ablenkmagnete, 8.36 Tesla
 - ~200 000 mal Erdfeld
- 1.9 K: der kälteste und größte Kühltank der Welt
- 2 in 4 Punkten **kollidierende Teilchenstrahlen**
 - **Protonen von 7 TeV, oder**
 - **Bleiatomkerne von 2.7 TeV/Nukleon**
 - Strahlenergie begrenzt durch Ablenkkfeld (für gegebenen Ring)
 - Bis Ende 2012 nur halbe Energie, ab 2015 volle Energie
- Historie:
 - Idee 1984
 - 1991: Erster Magnet mit 10 Tesla, Proposal und Beschluss

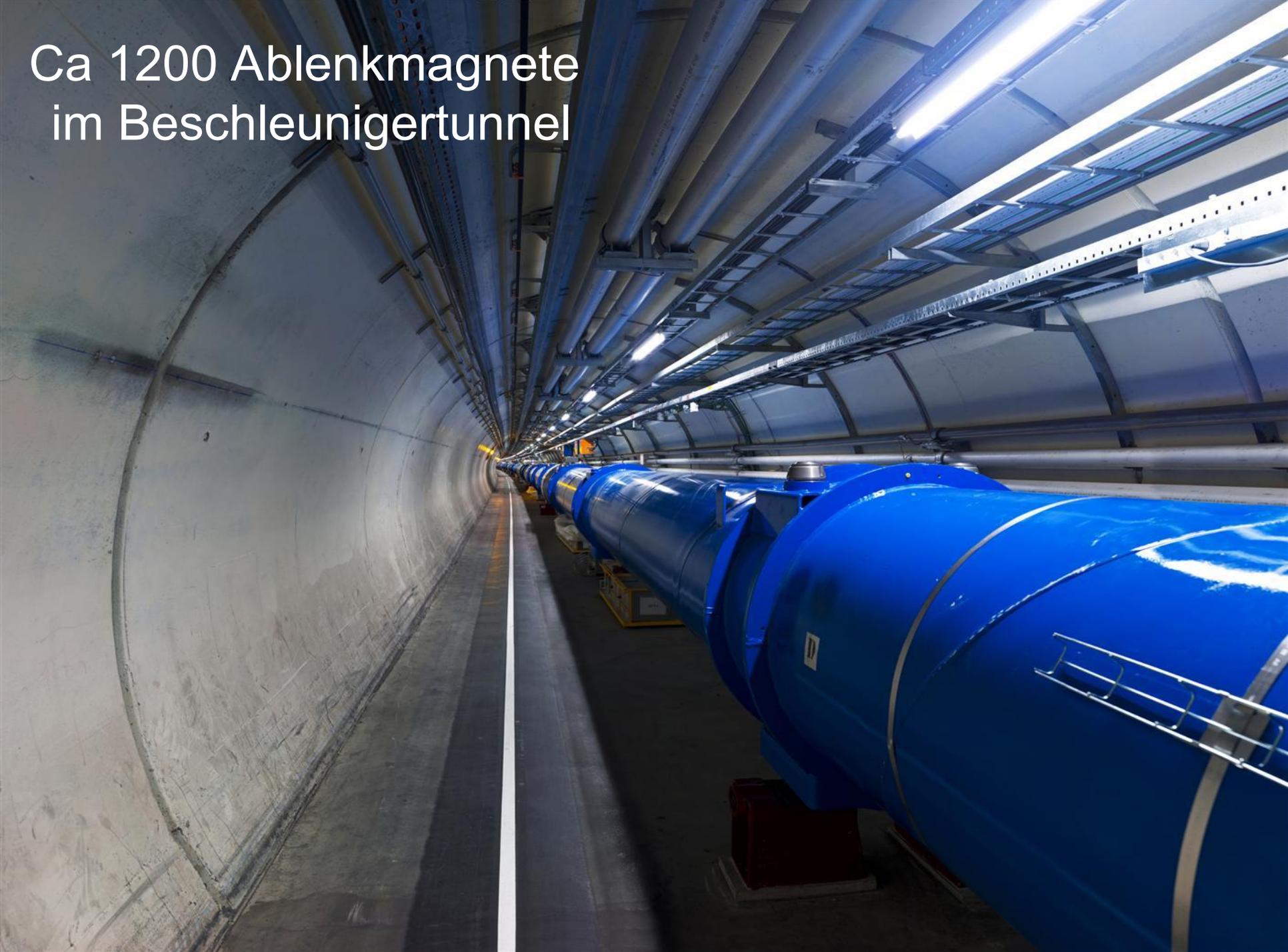


Erster Magnet installiert am 7. März 2005



18 m lang
35 t schwer

Ca 1200 Ablenkmagnete
im Beschleunigertunnel



Raum – Materie – Zeit

Energie ist der Schlüssel

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

Werner Heisenberg

kleine Strukturen – kleine Abstände

$$E = m \cdot c^2$$

Albert Einstein

neue und schwere Materie

$$\langle E \rangle \approx k_b \cdot T$$

Ludwig Boltzmann

hohe Temperaturen – frühes Universum



Materie bei extremen Bedingungen

- $E = 7000 m_0 c^2$ 'ultra-relativistisch' (3000 für Pb)
 $v = 99.99999991\% c$, d.h. $v = c - 10 \text{ km/h}$
- $T \sim 10^{13} \text{ K}$ (Sonne $1.4 \cdot 10^7$ im Zentrum)
- Dichte: ca. 50 ... 100 x Kerndichte ($3 \cdot 10^{14} \text{ t/m}^3$)
- Nukleonen 'schmelzen' zum **Quark-Gluon-Plasma**
- Bedingungen wie kurz nach dem Urknall ($\sim 1 \mu\text{s}$)



ALICE

'Die Reise zum Urknall'

Natur

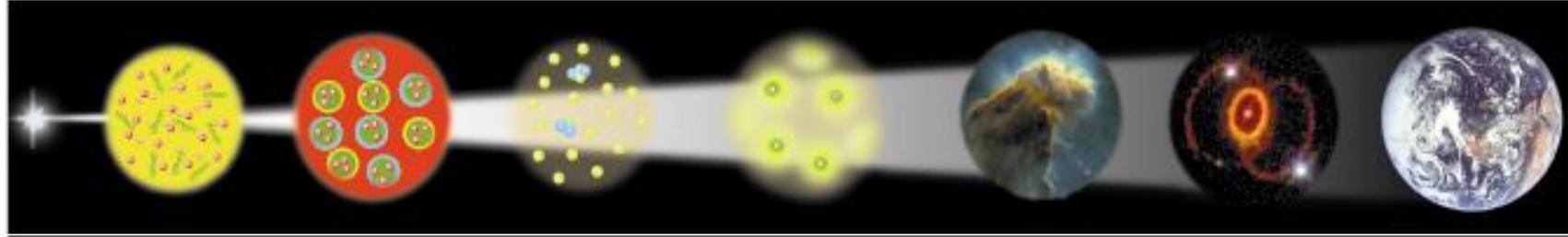


Quark-Gluon
Plasma

Nukleonen Kerne Atome

Heute

Urknall



10^{-6} sec

10^{-4} sec

3 min

15 Mill. Jahre



Experiment

Die Welt des Kleinsten

	Größe [m]	Kraft	Ladungen	Austausch- teilchen	Theorie
Festkörper		Van der Waal's-Kraft			
Atome	10^{-10}	Elektro- Magnetisch	El. Ladung 1+1 (+,-)	Photon	Quanten- Elektro- Dynamik
Kerne	10^{-15}	'Kernkraft'			
Quarks	$<10^{-18}$	Starke WW	'Farbe' 3+3 (rgb)	Gluon	Quanten- Chromo- Dynamik

Was wissen wir über Quarks

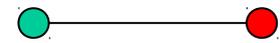
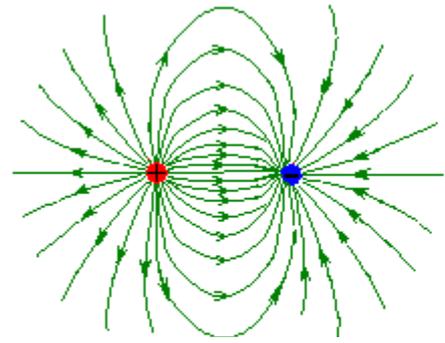
(A) Abstandsgesetz

■ Elektrische Kraft $\propto 1/R^2$

■ Farbkraft \sim konstant

■ unabhängig vom Abstand

■ 'String' zwischen Quarks



(B) Neutrale Objekte

■ Elektrisch: $\oplus + \ominus \rightarrow$ neutral

■ Farbladung: 3 Farben, oder Farbe + Anti-Farbe \rightarrow neutral

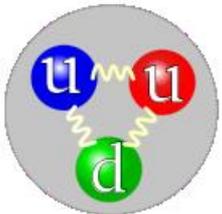


ALICE

Stabile Objekte aus Quarks

■ Farbneutral sind

- Mischung von 3 Farben:
Baryon, z.B. Proton, Neutron



- Farbe + Antifarbe: Meson, z.B. Pi-Meson



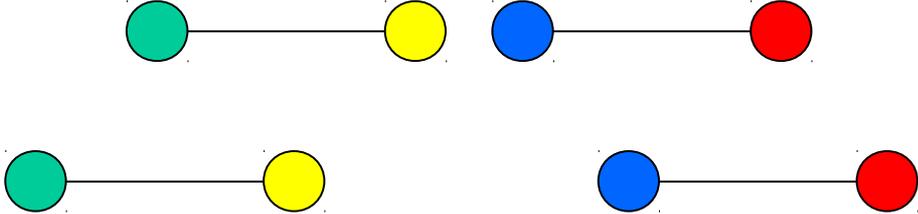
■ Quarks können nicht getrennt werden:

'Confinement'

- Energieaufwand $\rightarrow \infty$
- 'String reißt' unter

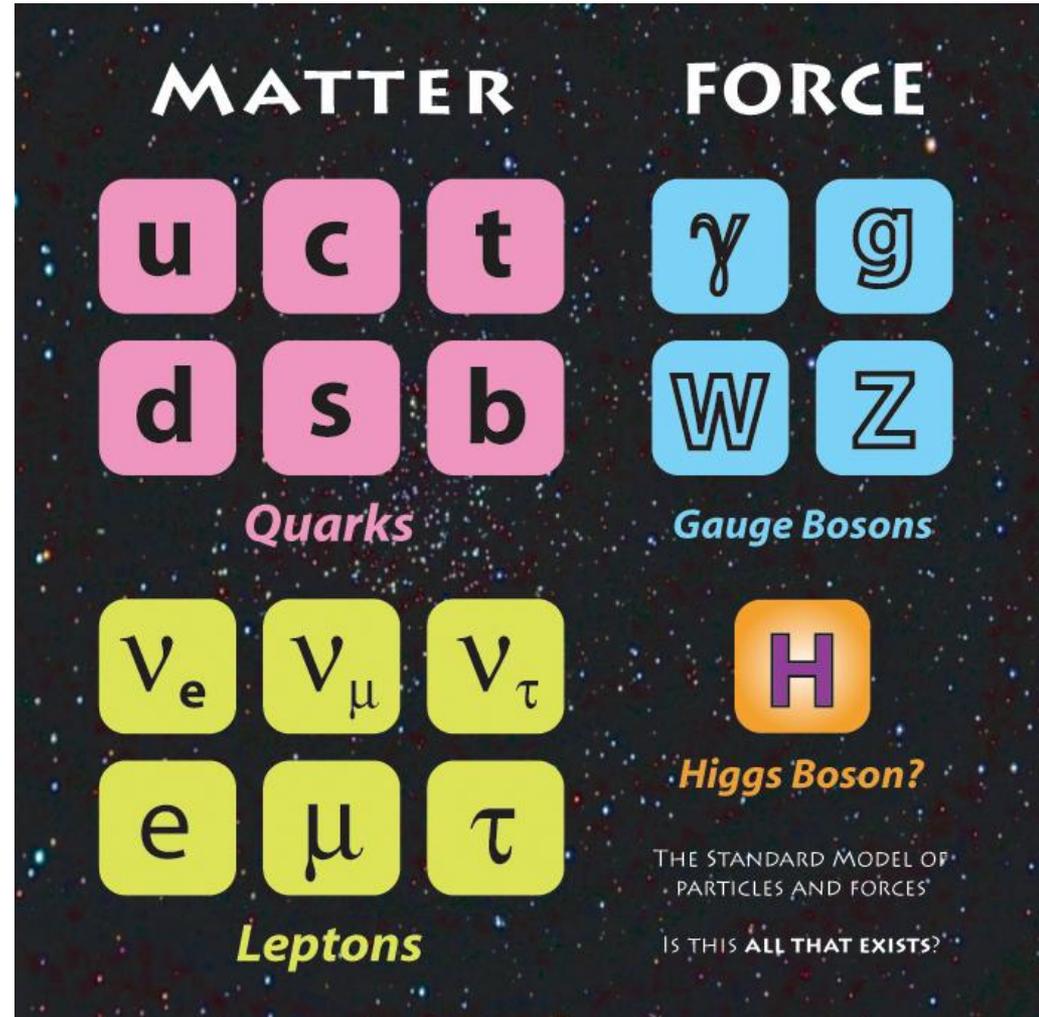


Erzeugung eines Mesons



Vollendung oder Überwindung des **Standardmodells**

- Bis 1995 alles gefunden außer **Higgs**
- Das Higgs-Teilchen ist für die träge Masse zuständig
- 2012: **Higgs** mit Masse ~ 125 GeV am LHC
- Teilchen der **Dunklen Materie**? Bis jetzt noch nichts gefunden.





ALICE

Was tun wir bei ALICE?

- Kollisionen zwischen Bleikernen
 - 416 Nukleonen (Protonen und Neutronen)
- 5.5 TeV pro Nukleonpaar (bis 2012 2.76 TeV)
 - 0.2 mWs = Energie einer Fliege im Flug
 - Auf winzigstem Raum: verhält sich zu einem Sandkorn wie ein Sandkorn zur Erde!
- Als **Wärme** bzw. **Temperatur: 10^{13} Grad**,
entspricht etwa 1 μ s nach dem Urknall
- 10.000 Kollisionen pro Sekunde
- Etwa 100 – 200 davon ‚zentral‘
- Im Feuerball ‚schmelzen‘ die Nukleonen in Quarks und Gluonen zum

Quark-Gluon-Plasma

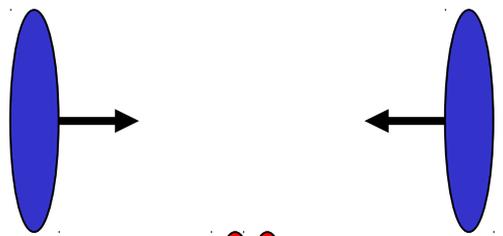
- zerfällt in ca 50.000 Teilchen, von denen ALICE etwa 5.000 sieht und einzeln misst



Szenario einer Schwerionenkollision

ALICE

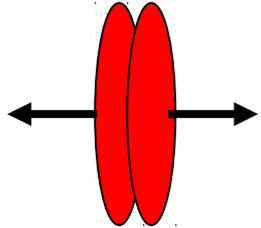
Vor dem Stoß



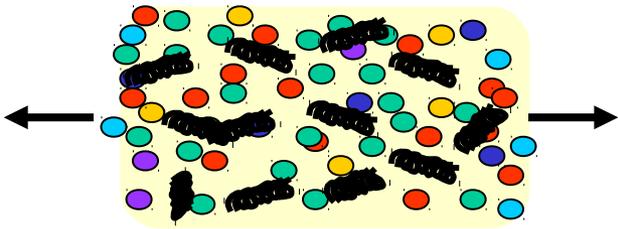
Normale Kernmaterie:

Dichte ca. 10^{18} t/m³

Durchdringung,
Hohe Teilchendichte
Hohe Energiedichte

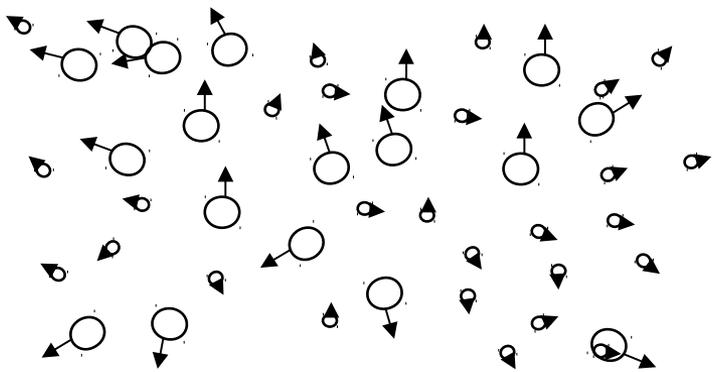


Feuerball



Quark-Gluon Plasma

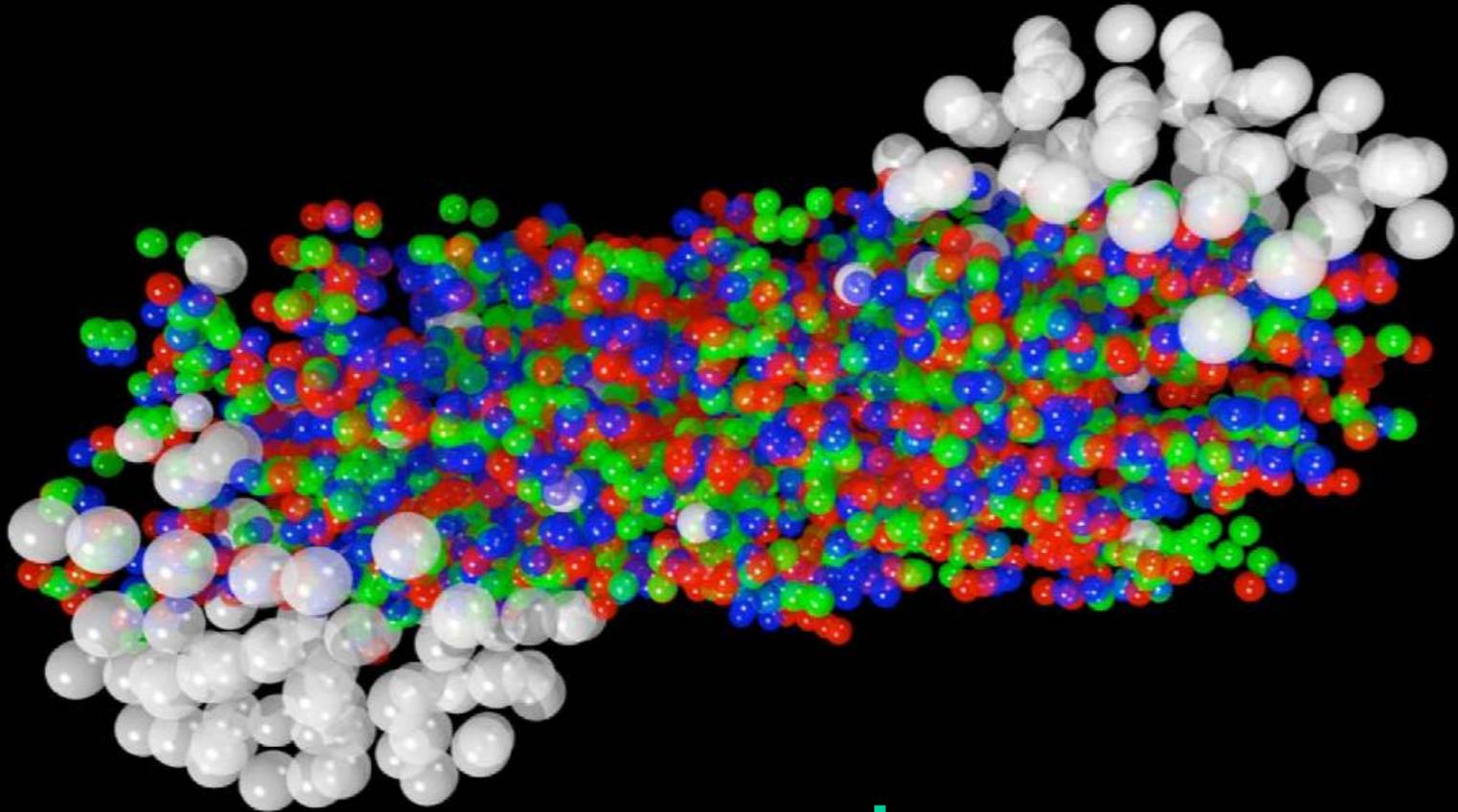
Expansion
Hadronisierung
Entkopplung



**Nicht mehr
wechselwirkende
Elementarteilchen
→ zum Detektor**

↓ **Zeit**

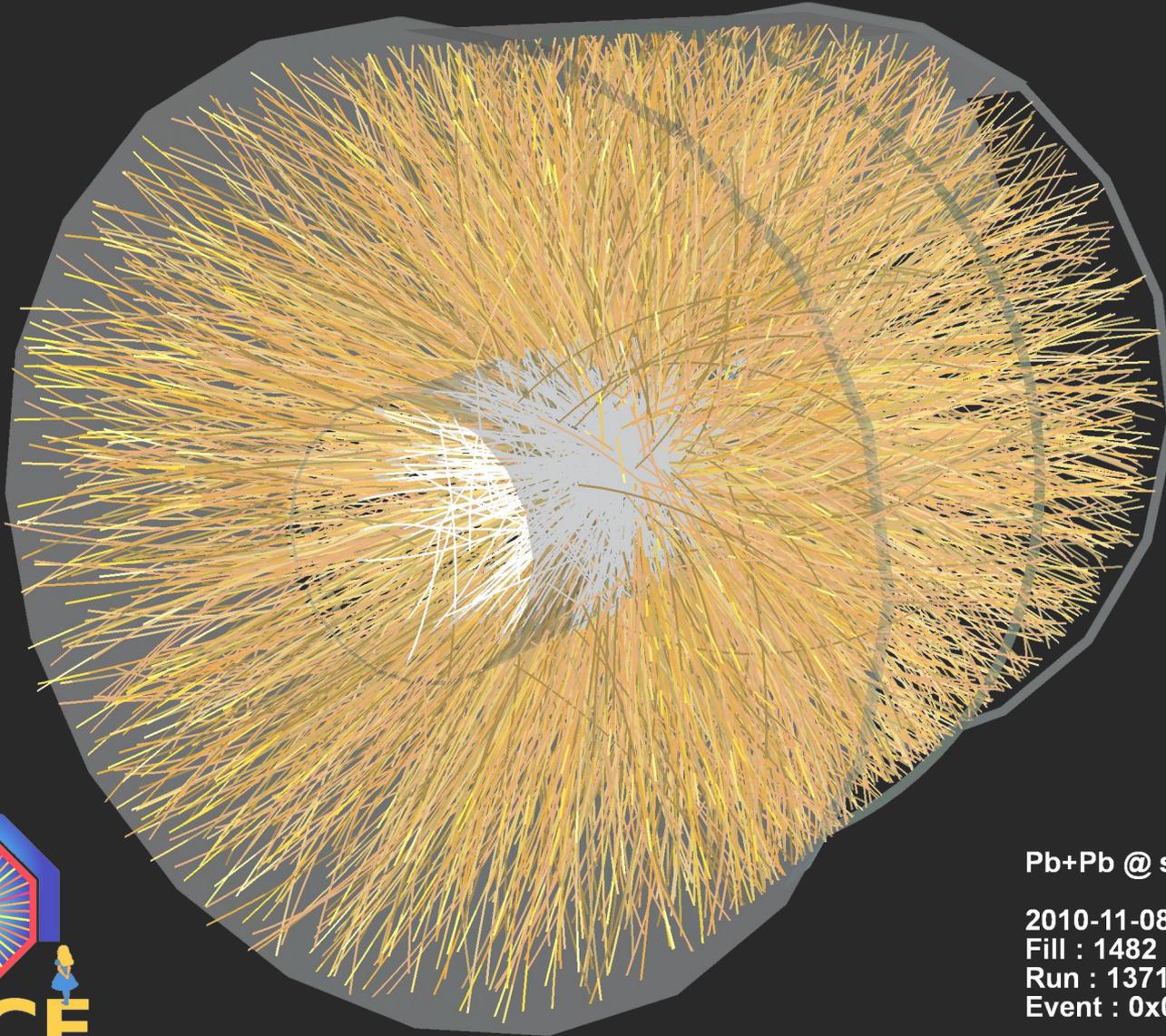
Zwei Kerne kurz nach der Kollision, Simulation



Hadronen

quarks

Eine zentrale Bleikollision in ALICE



Pb+Pb @ $\sqrt{s} = 2.76$ ATeV

2010-11-08 11:30:46

Fill : 1482

Run : 137124

Event : 0x00000000D3BBE693

Zentrale Kollision Pb-Pb

Bis zu 10.000 Teilchen im Detektor

Wir messen alles:

- Richtung
- Energie
- Teilchenart

für alle Teilchen!

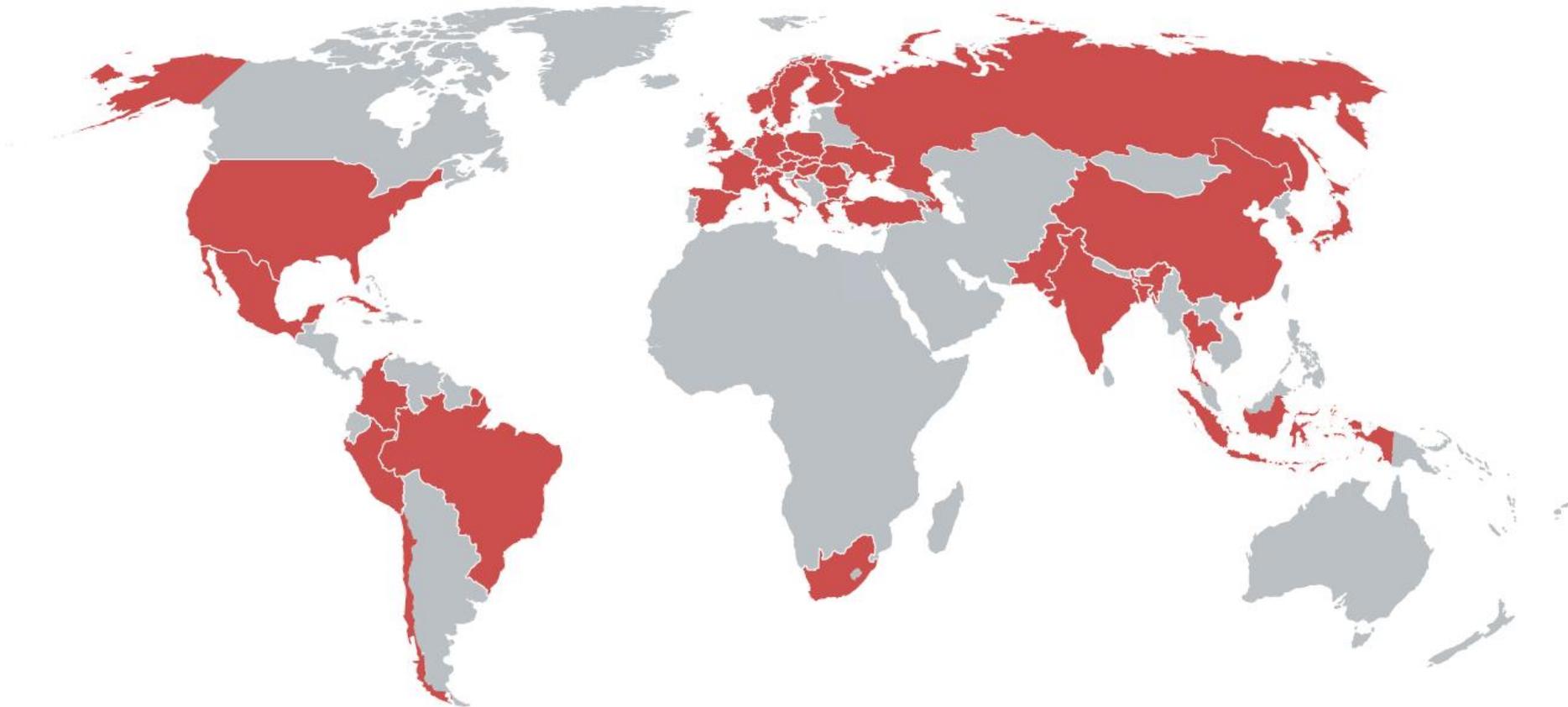
Eine technische Herausforderung



The ALICE Collaboration

42 countries, 174 institutes, 1800 members

130 MCHF capital cost + 'free' magnet



Der ALICE-Detektor

RICH

L3-Magnet

EMCAL

PHOS

TOF

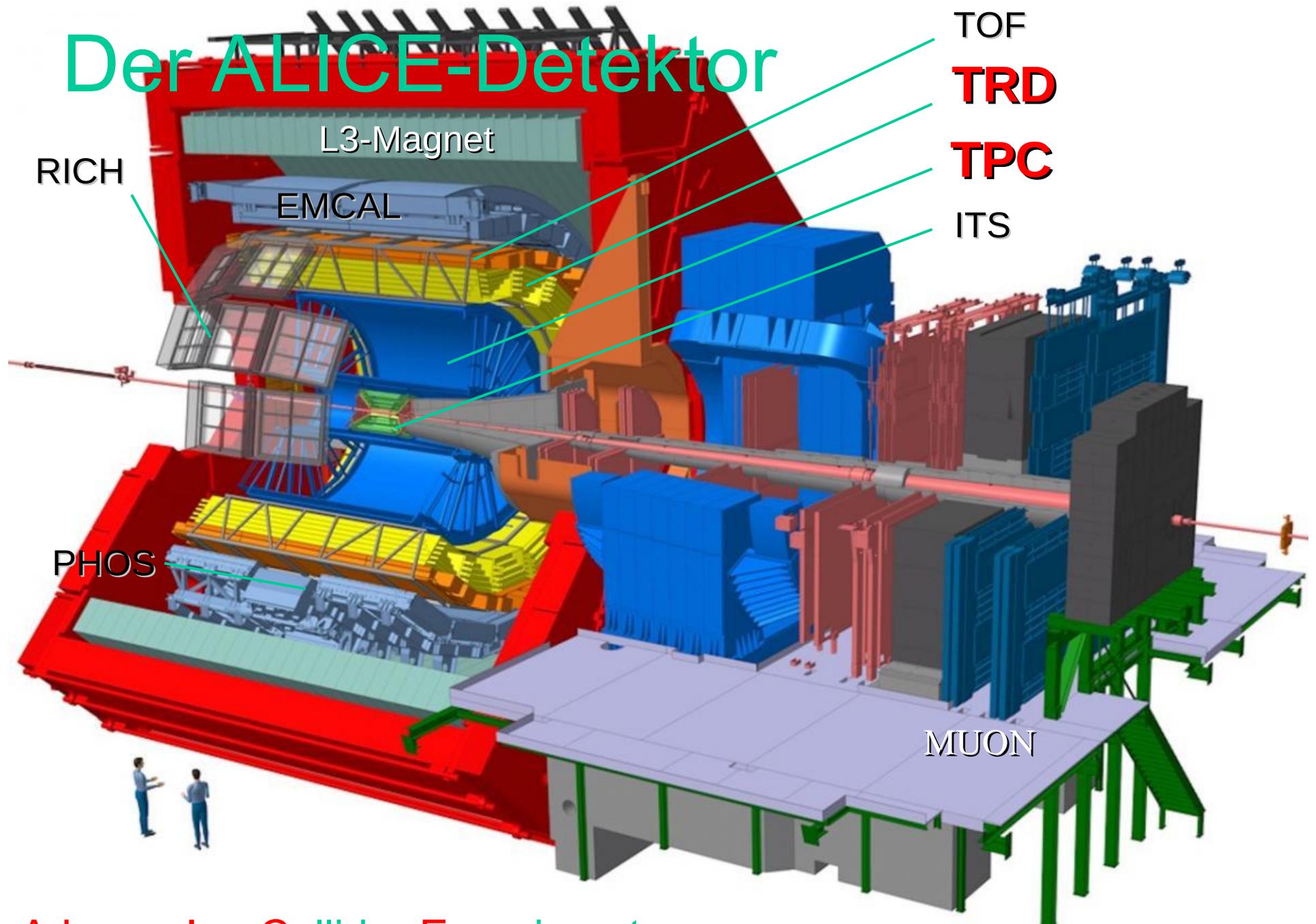
TRD

TPC

ITS

MUON

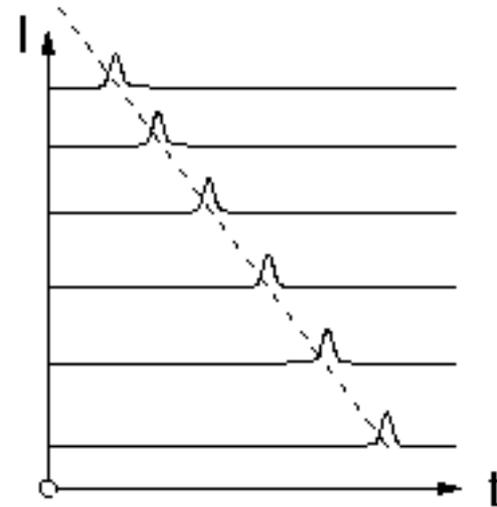
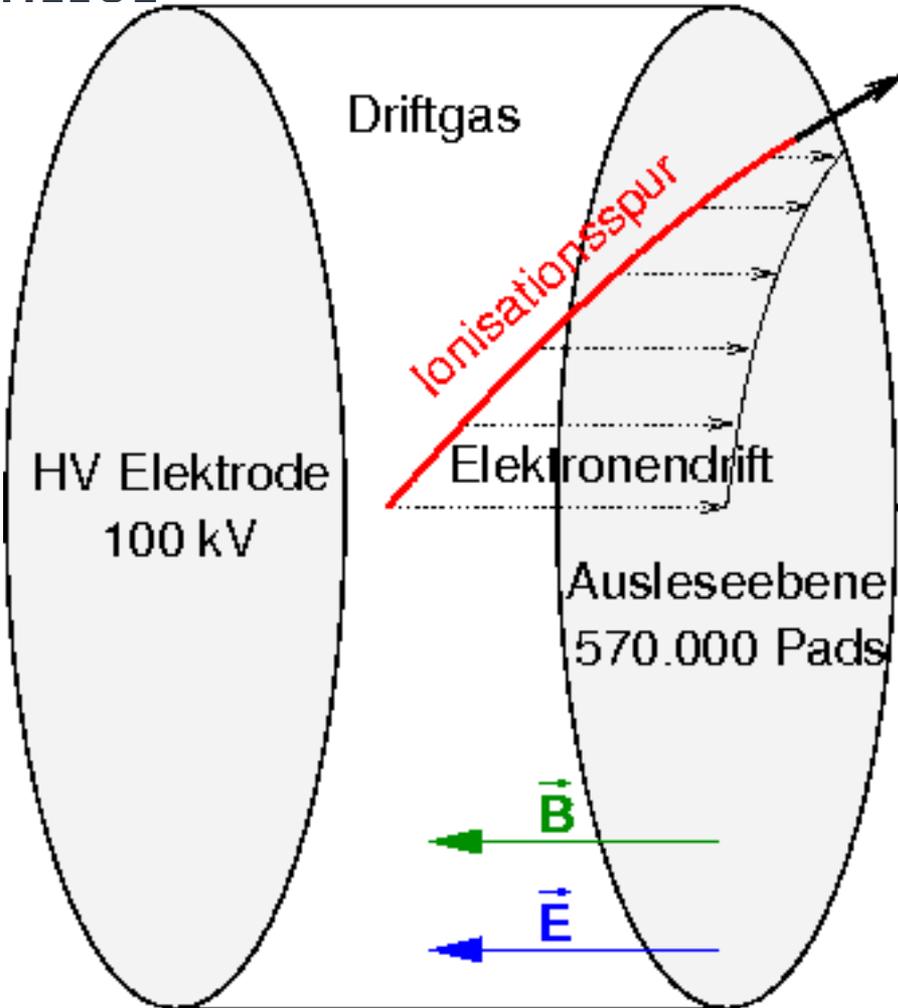
A Large Ion Collider Experiment





Time Projection Chamber, Prinzip

ALICE



- 3-dimensional
- Spurkrümmung → Energie
- Spurdichte → Teilchenidentifikation
- 1 Spurbild ~ 1 GB

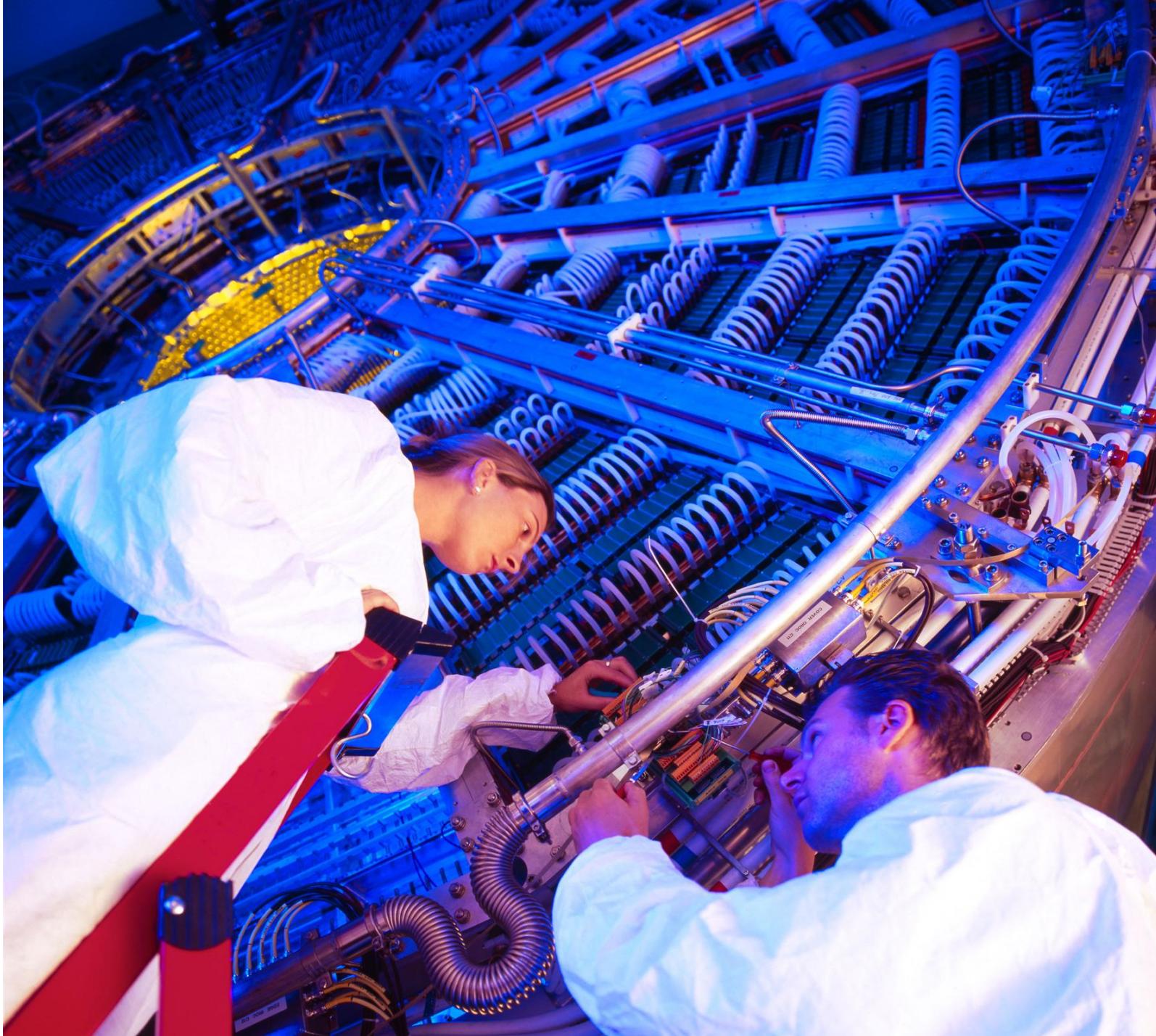
ALICE TPC: eine 500-Mpixel-Kamera mit 200 Hz

Im Inneren der TPC
vor Einbau der Auslese-Ebene



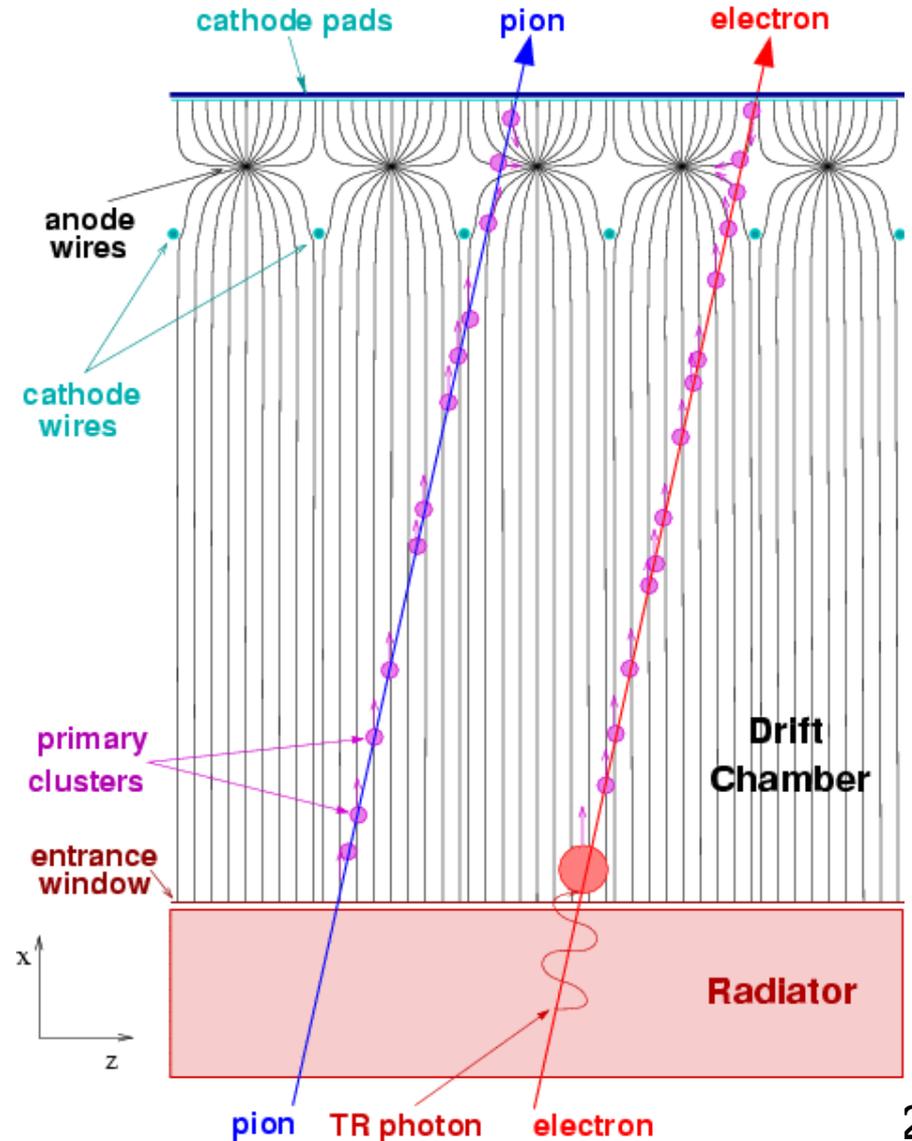


ALICE



Transition Radiation Detector = Übergangs-Strahlungs-Detektor

- Identifikation von schnellen Elektronen:
 - Nur sie erzeugen im Radiator Röntgenquanten
 - dadurch lokal erhöhte Energieabgabe im Gas (Xenon)
- 6 Lagen in ALICE
 - Fehlidentifikationen < 1%
- Radiator: viele Grenzflächen





ALICE: Baustelle 2004



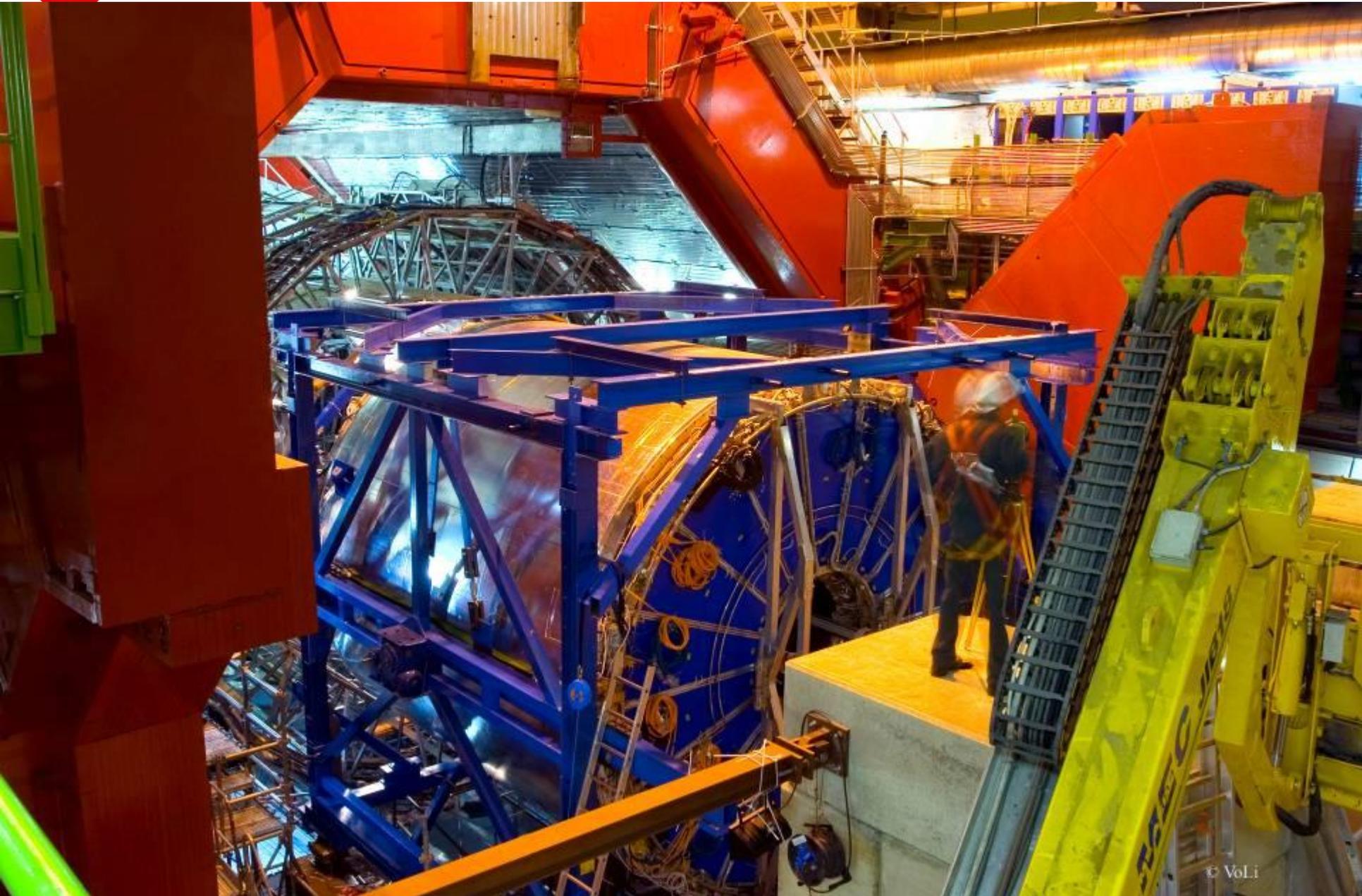


Einbau eines TRD Supermoduls

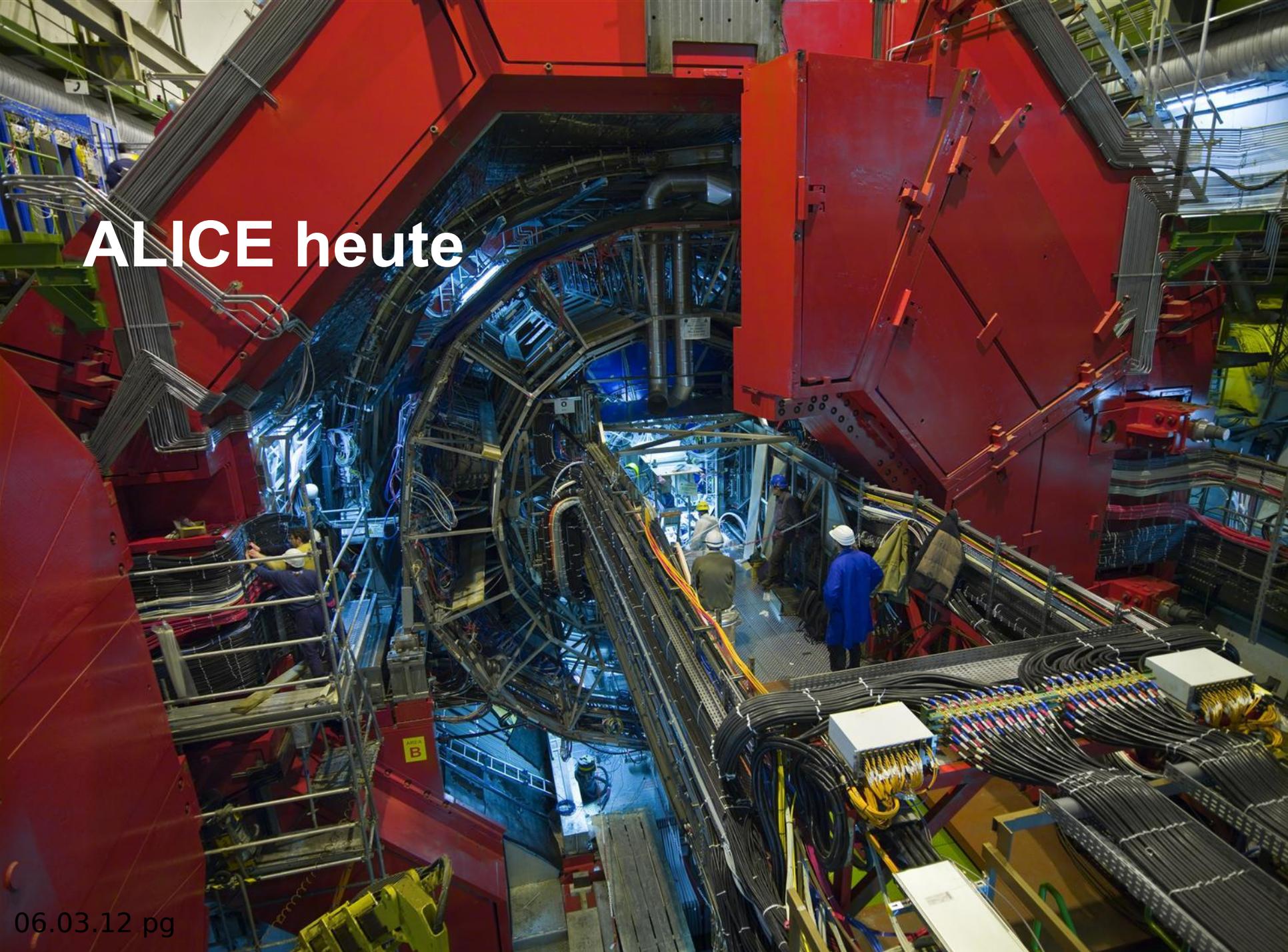




ALICE Januar 2007



ALICE heute





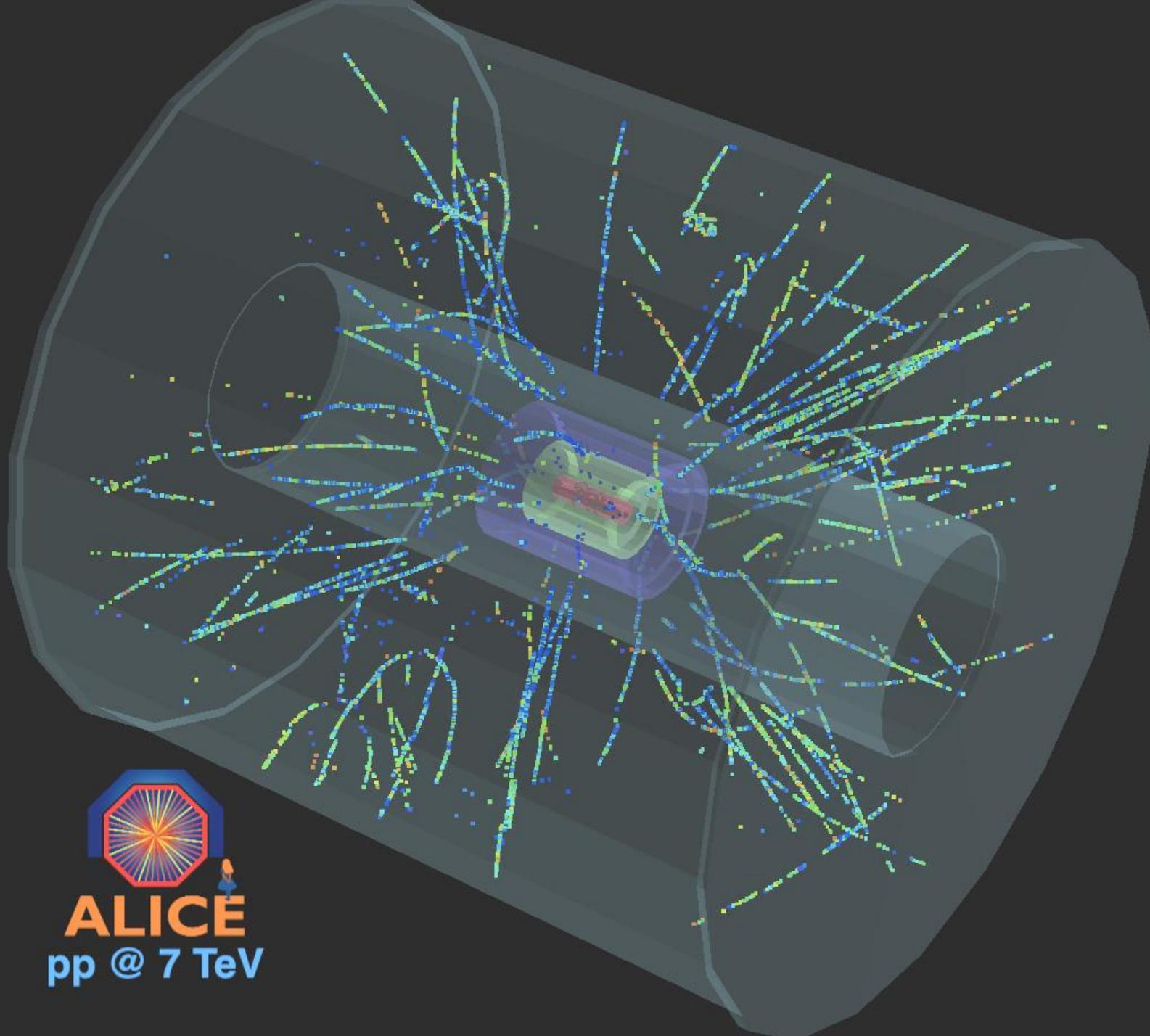
ALICE

Programm: Was lernen wir



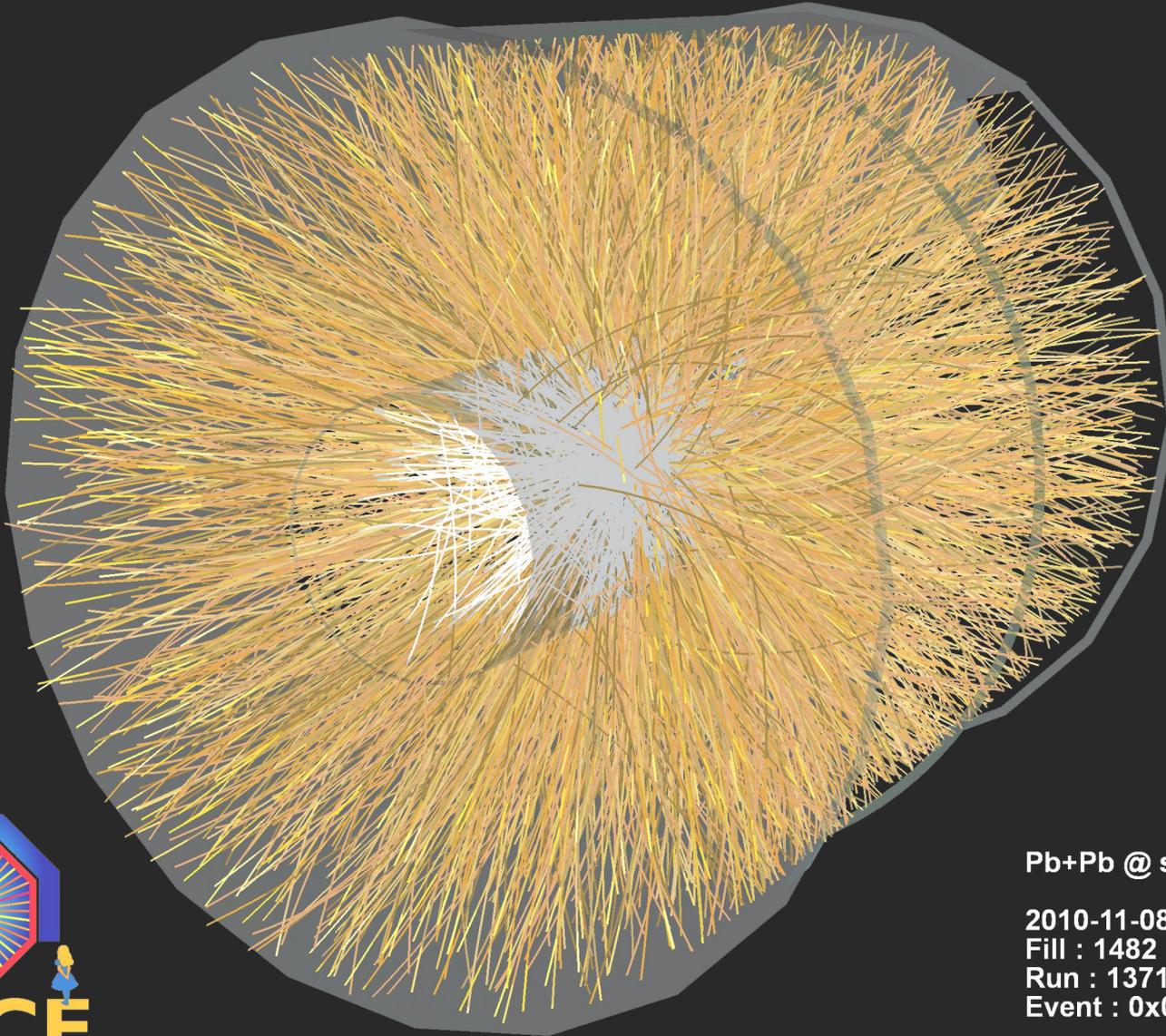


ALICE



ALICE
pp @ 7 TeV

Eine zentrale Bleikollision in ALICE



Pb+Pb @ $\sqrt{s} = 2.76$ ATeV

2010-11-08 11:30:46

Fill : 1482

Run : 137124

Event : 0x00000000D3BBE693



Signale zur Diagnose des Quark-Gluon-Plasmas

ALICE

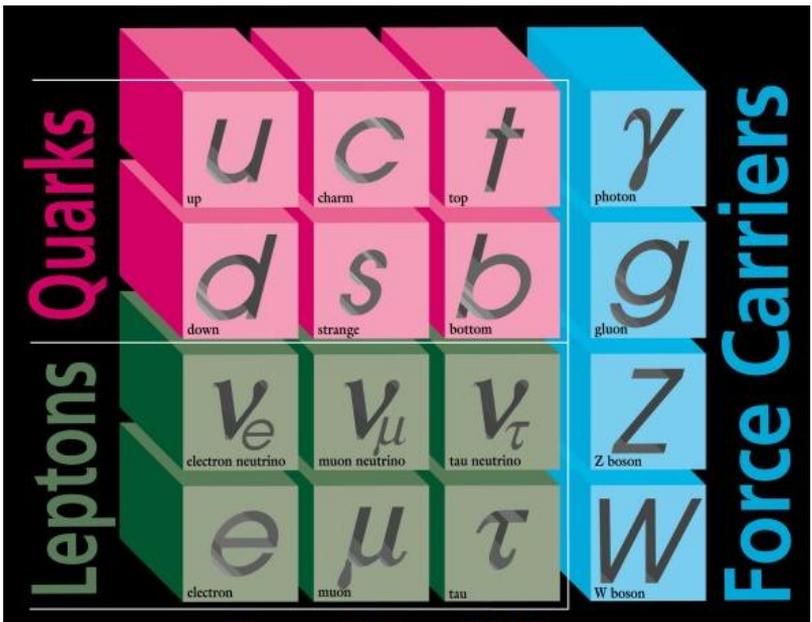
- Anzahl der erzeugten Teilchen (genauer: Dichte dN/dy)
- Hanbury Brown-Twiss Effekt (Quantenmechanische Interferenz):
 - Größe des Feuerballs beim 'freeze-out'
 - Inelastizität der Kollision, Energiedichte
- Impulsspektrum der Hadronen
 - Temperatur bei der Hadronisierung
 - Hydrodynamische Eigenschaften: 'flow', **Viskosität extrem klein**
- Produktion schwerer Quarks (s) → Temperatur im QGP
- Jets
 - Energieverlust von Quarks im QGP
- ...

- alle Signale im Vergleich mit Proton-Proton-Kollisionen



Strangeness und Quark-Gluon-Plasma

ALICE



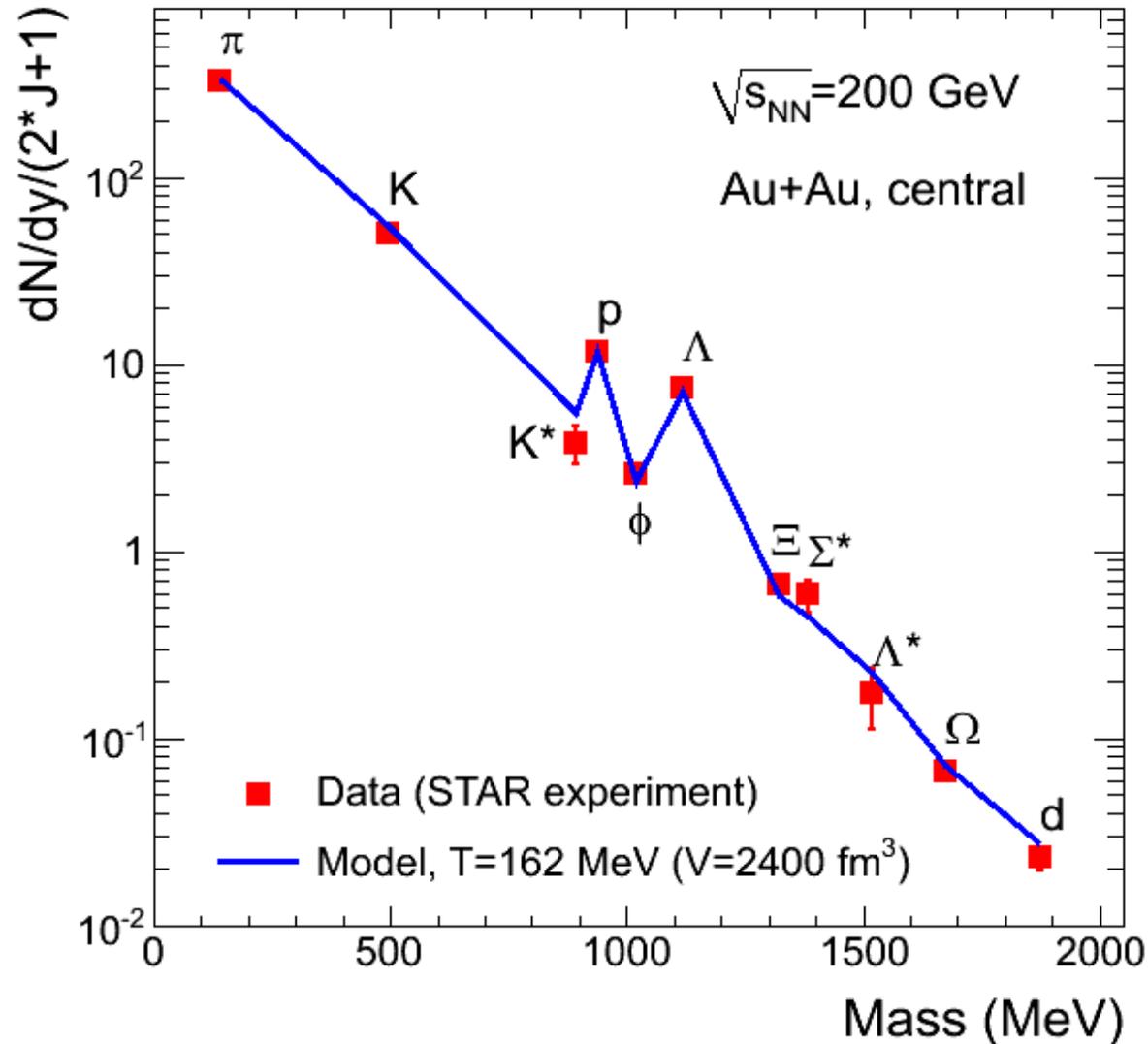
Standardmodell

- Normale Materie: u, d, e, ν, γ
- Alle anderen Quarks nicht stabil → nur kurzzeitig erzeugbar
- Am leichtesten: s-Quark
- Teilchen die s-Quarks enthalten heißen 'seltsam' (strange)
- Das s-Quark ist viel schwerer als u, d, aber leichter als die anderen
- Thermodynamik: je höher die Temperatur, desto schwerere Teilchen werden spontan erzeugt

Im Quark-Gluon-Plasma sollten 'strange quarks' reichlich entstehen

Hadronisierung → seltsame Teilchen

Je höher die Temperatur, desto leichter werden schwere Teilchen erzeugt



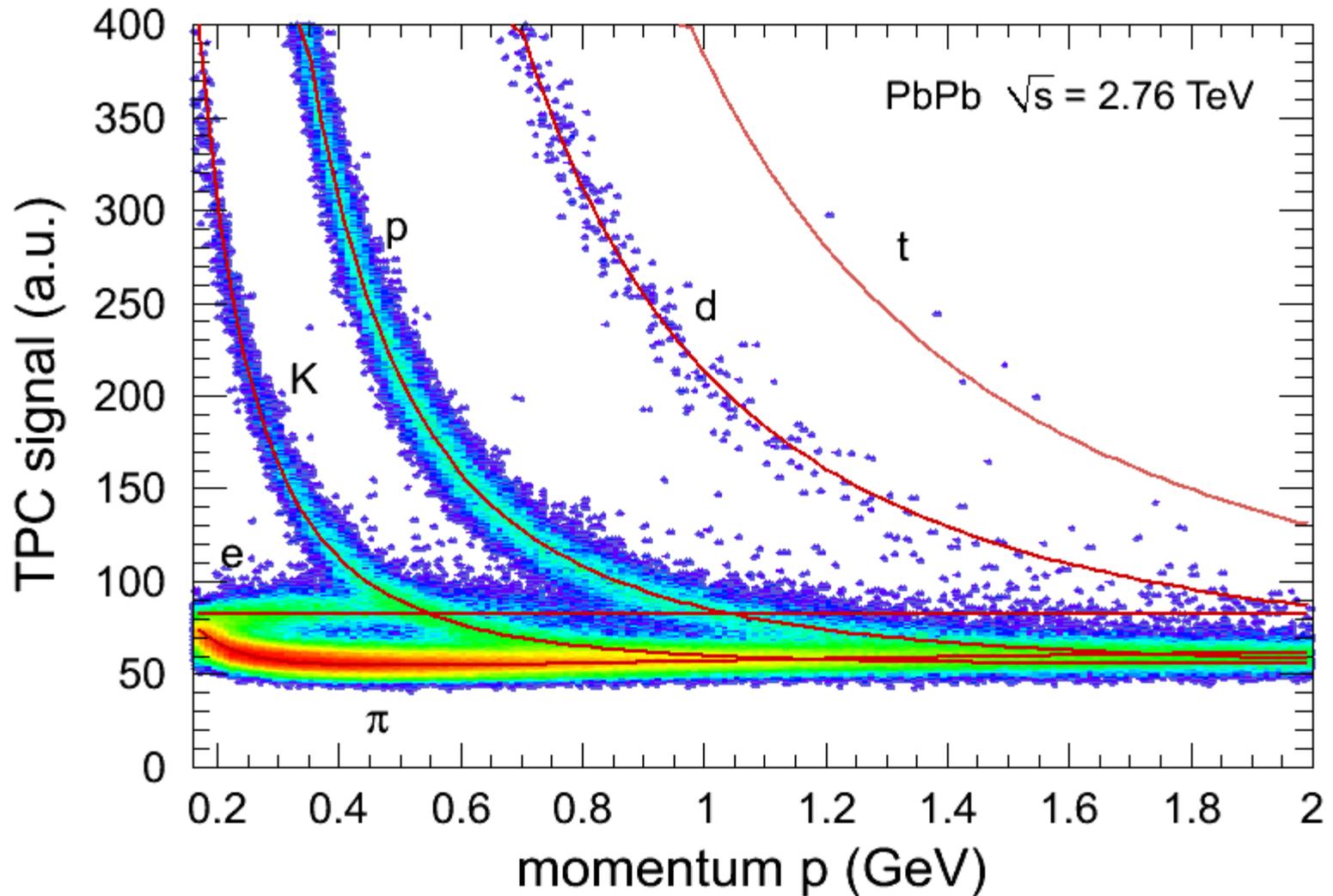


Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Backup, weitere Folien zur Ergänzung



Teilchenidentifikation in der TPC





ca 4000 Front-End Cards

ALICE

GTL bus Transceivers (backside)

readout bus connectors

I2C EEPROM connector

power connector

170 mm

128 ch

190 mm

LDO Power Regulators

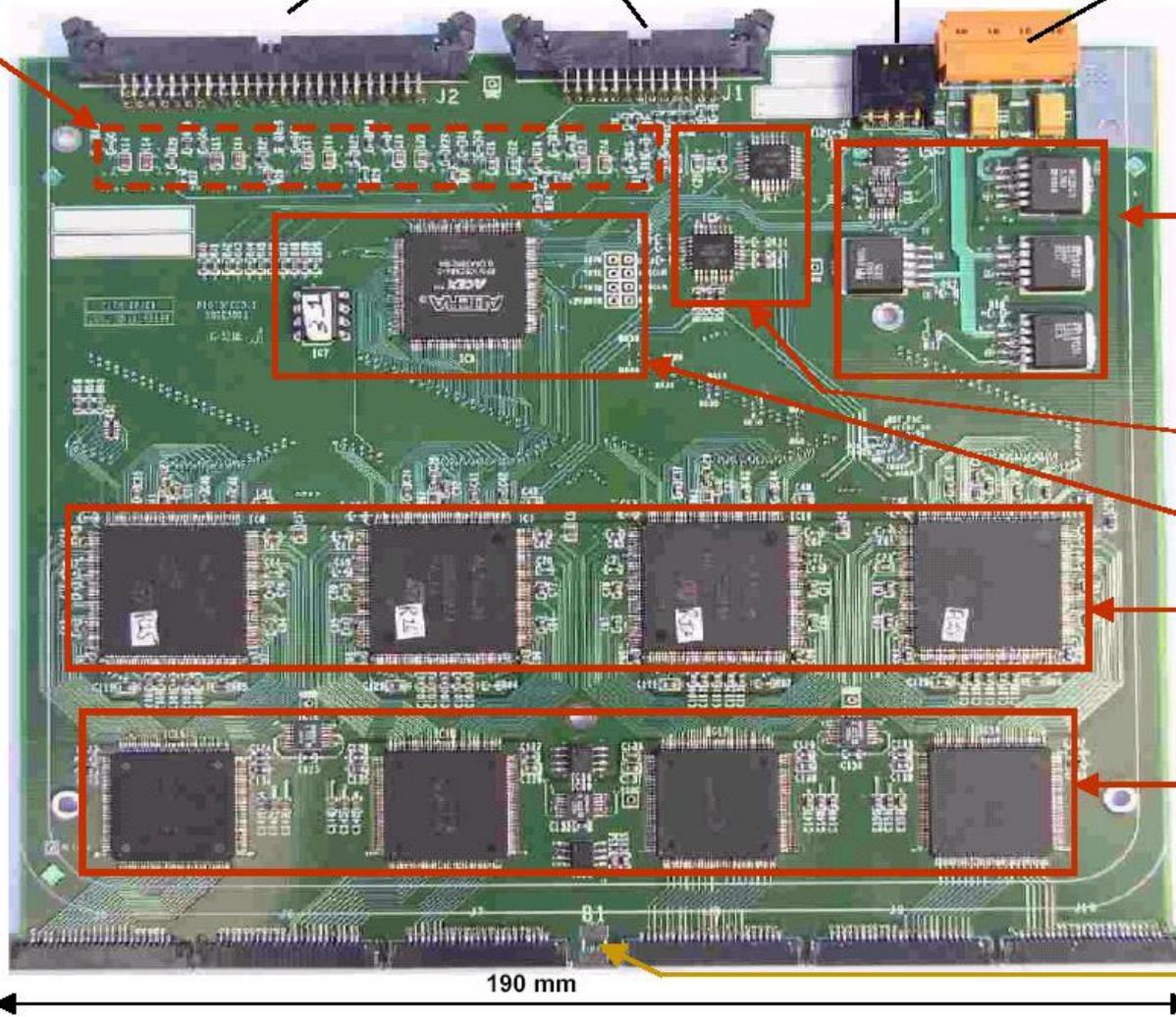
Clock distribution

Current monitor & Supervision

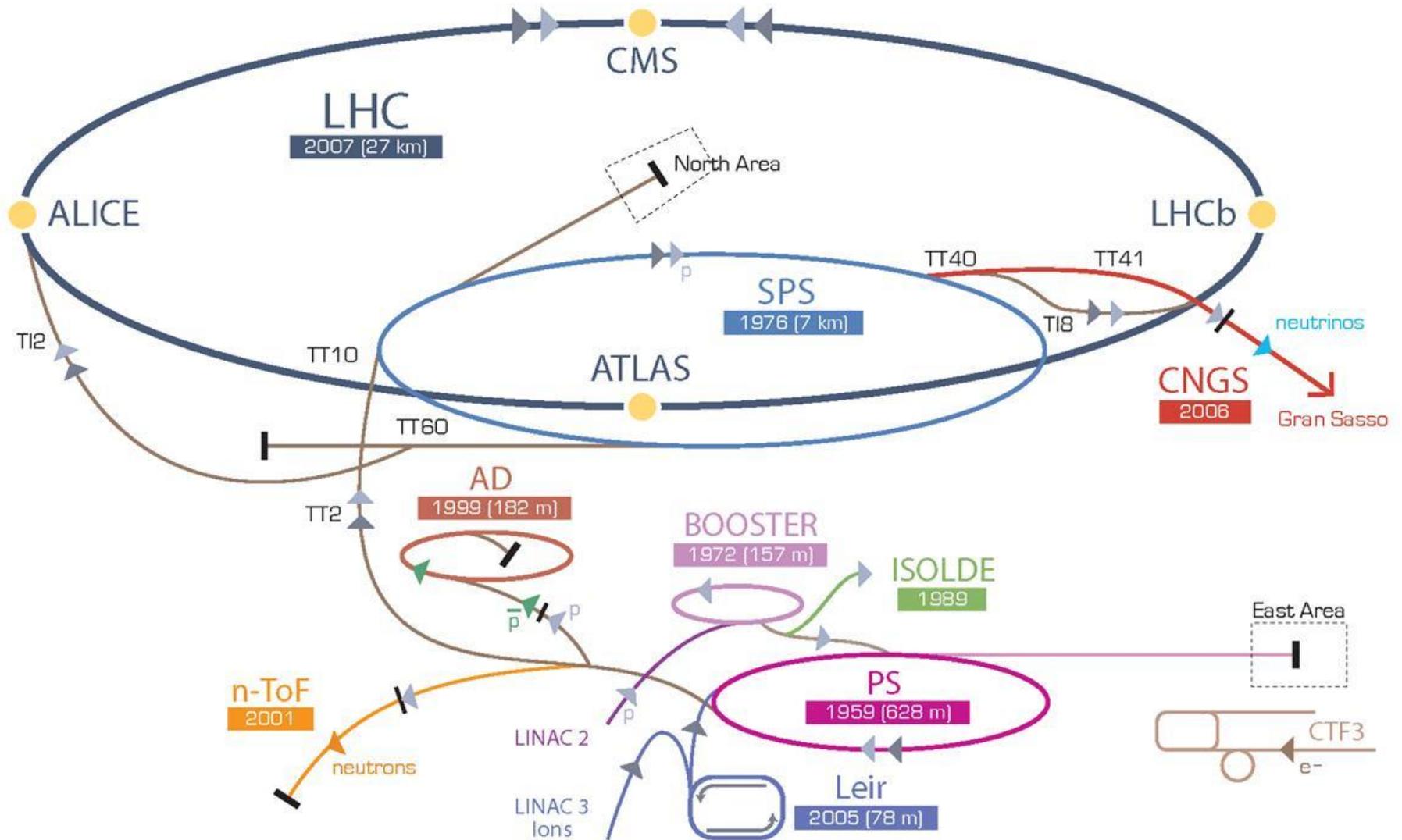
ALTROs

Shaping Amplifiers and Reference Voltages

FE connectors and additional Ground socket

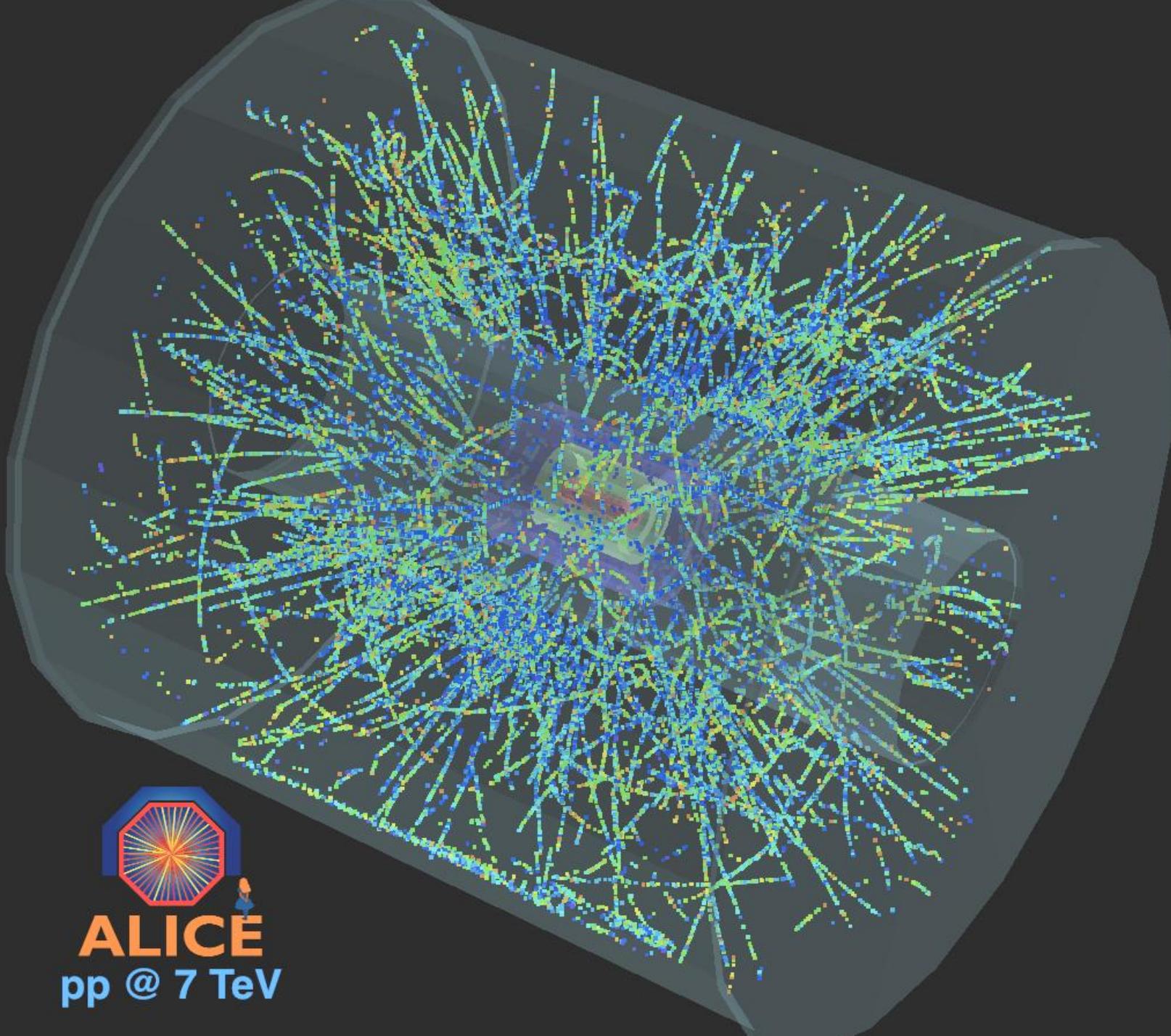


CERN Accelerator Complex





ALICE



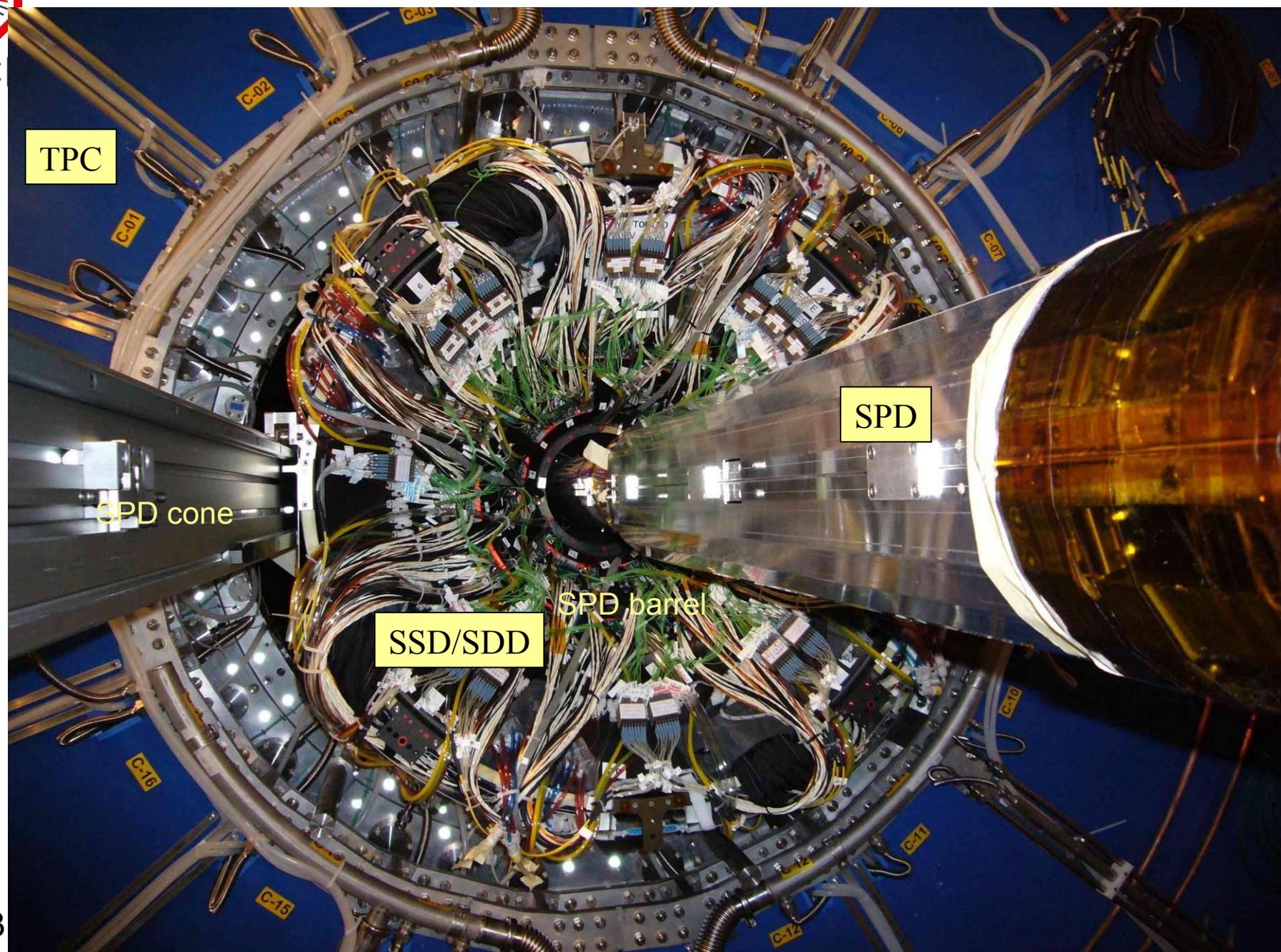
ALICE
pp @ 7 TeV

02.03.2021

Russian Dolls I: Moving of the ITS over the SPD



ALICE



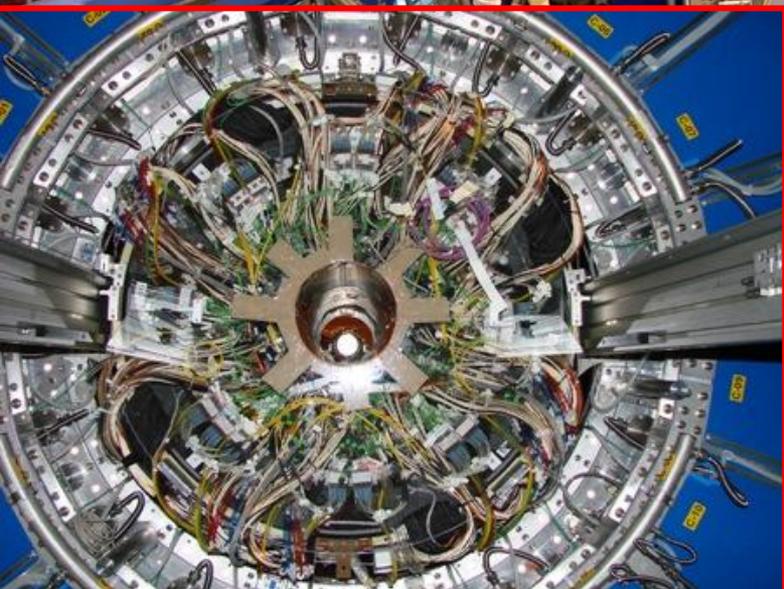
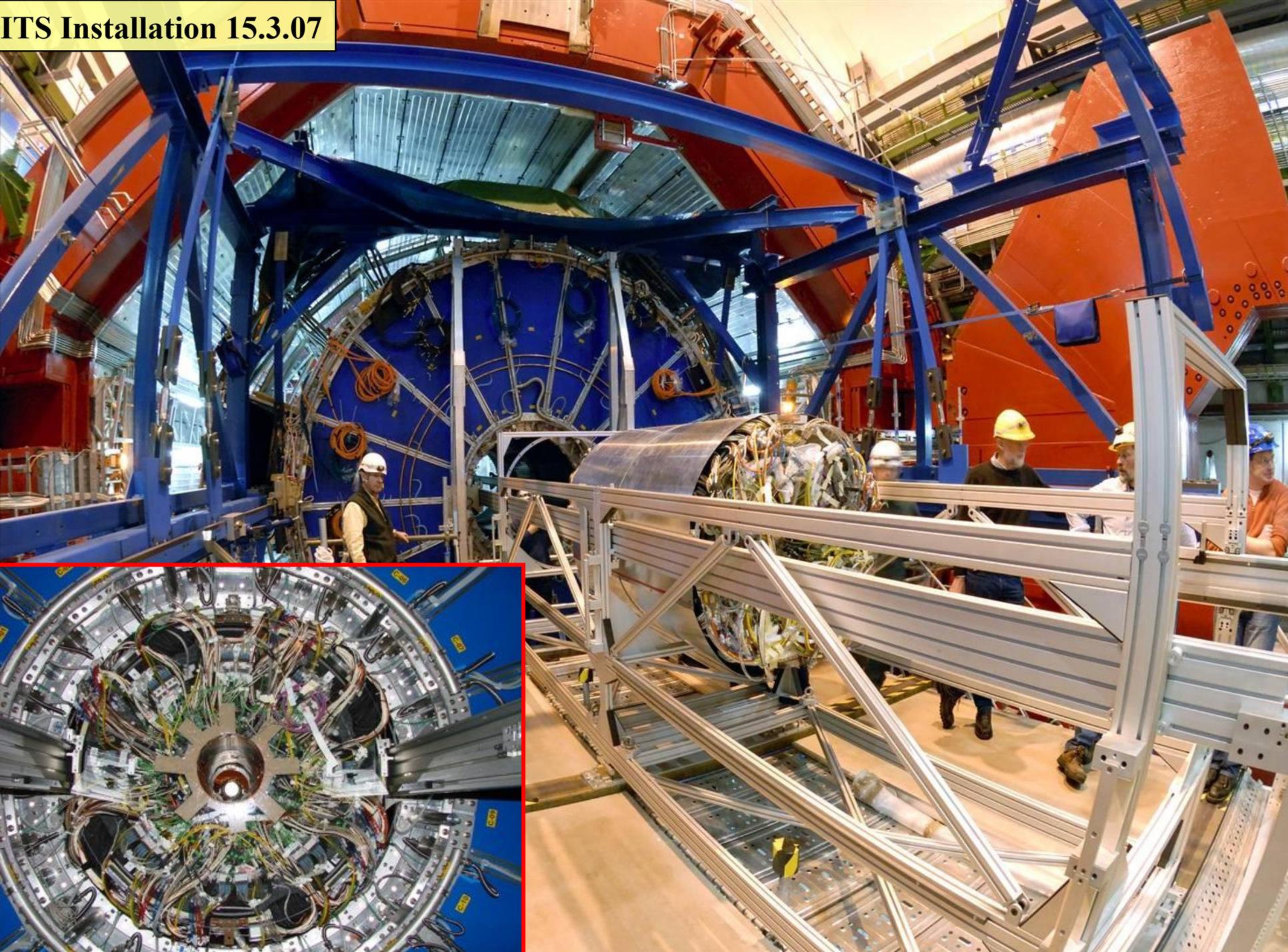
TPC

SPD

SPD cone

SPD barrel

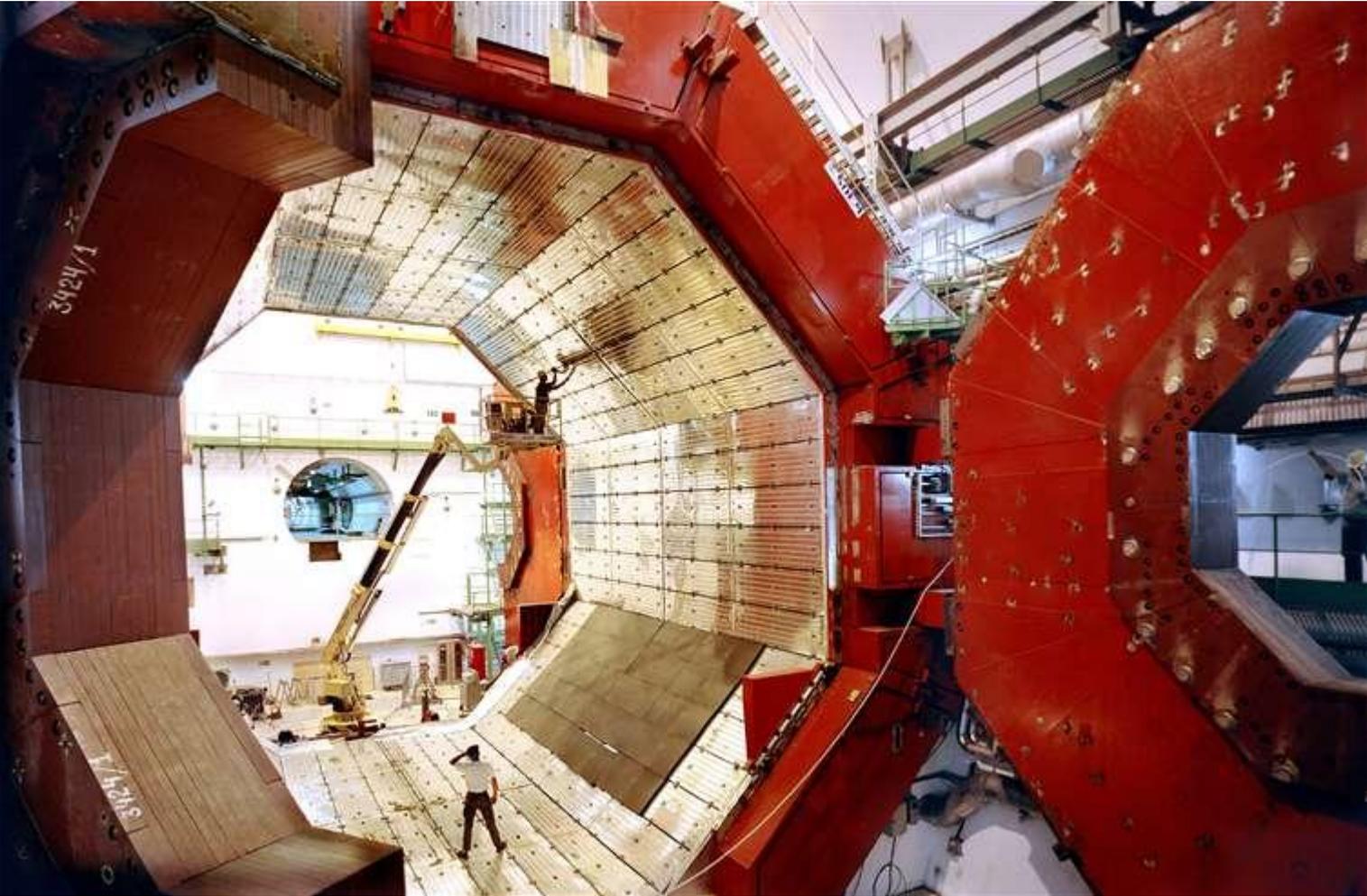
SSD/SDD







ALICE



The "L3" Magnet



L3 Magnet





ALICE

Readout Chamber Wire Geometry

gate wires
 cathodes
 anodes
 pads

