

Der Urknall im Labor Das ALICE Experiment



ALICE



bmb+f - Förderschwerpunkt

ALICE

Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung



Gliederung

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



CERN, das Europäische Teilchenlabor

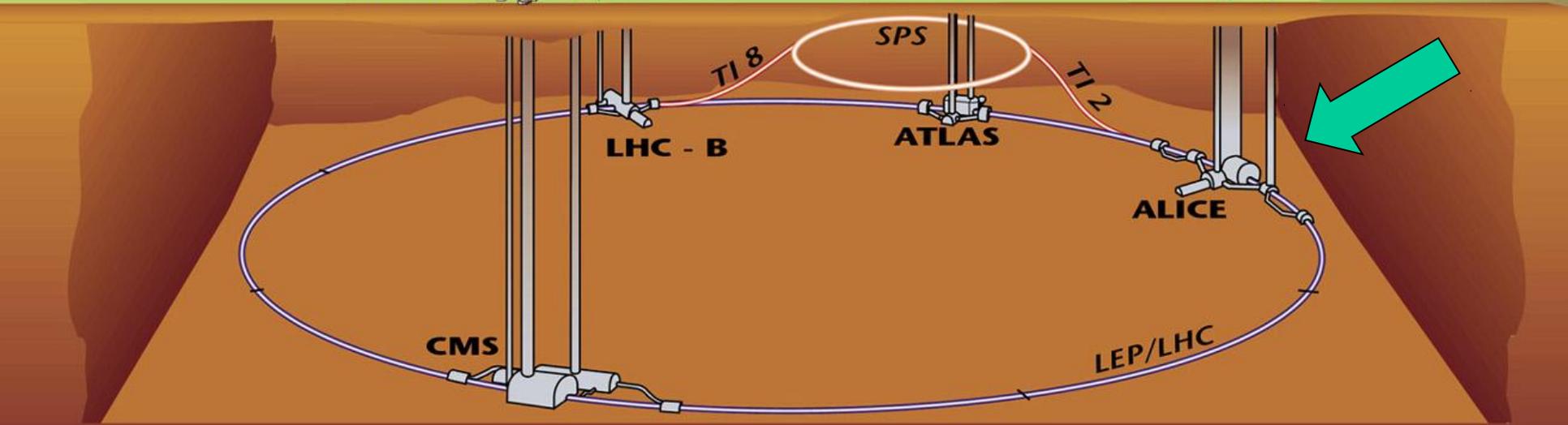
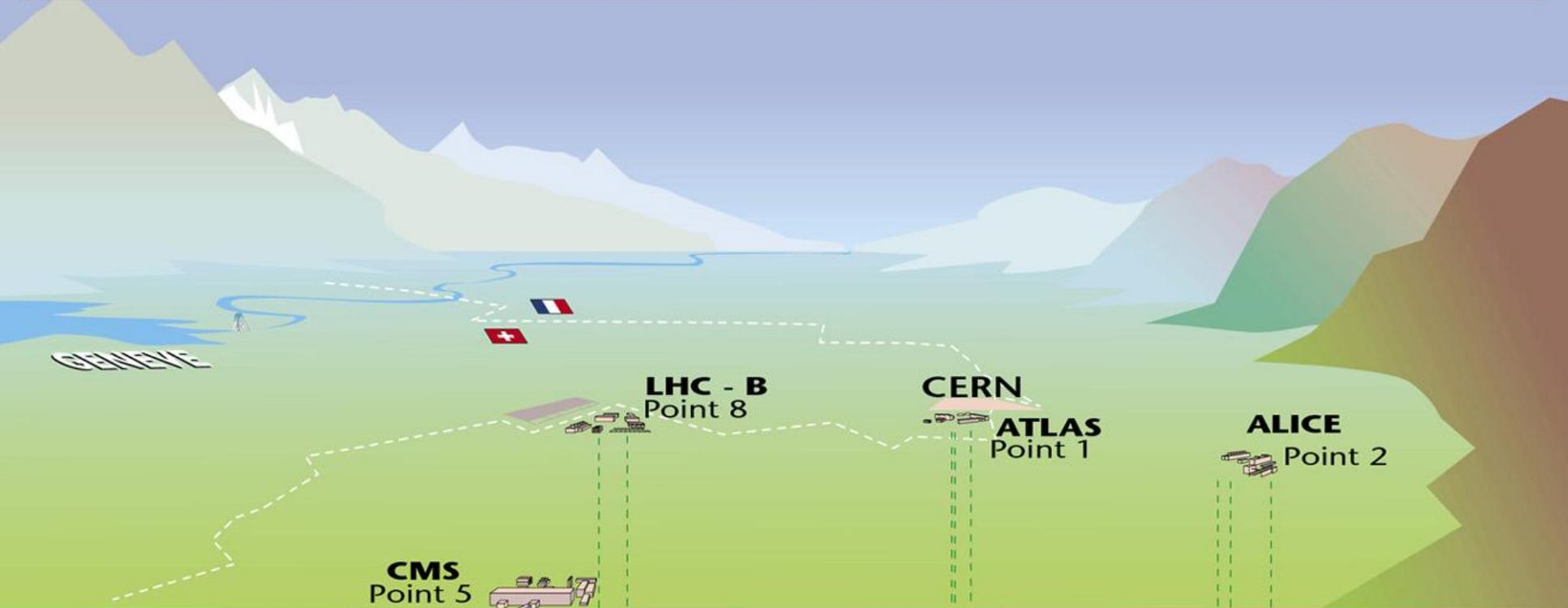
Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire

- 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: 1000 Mitglieder)

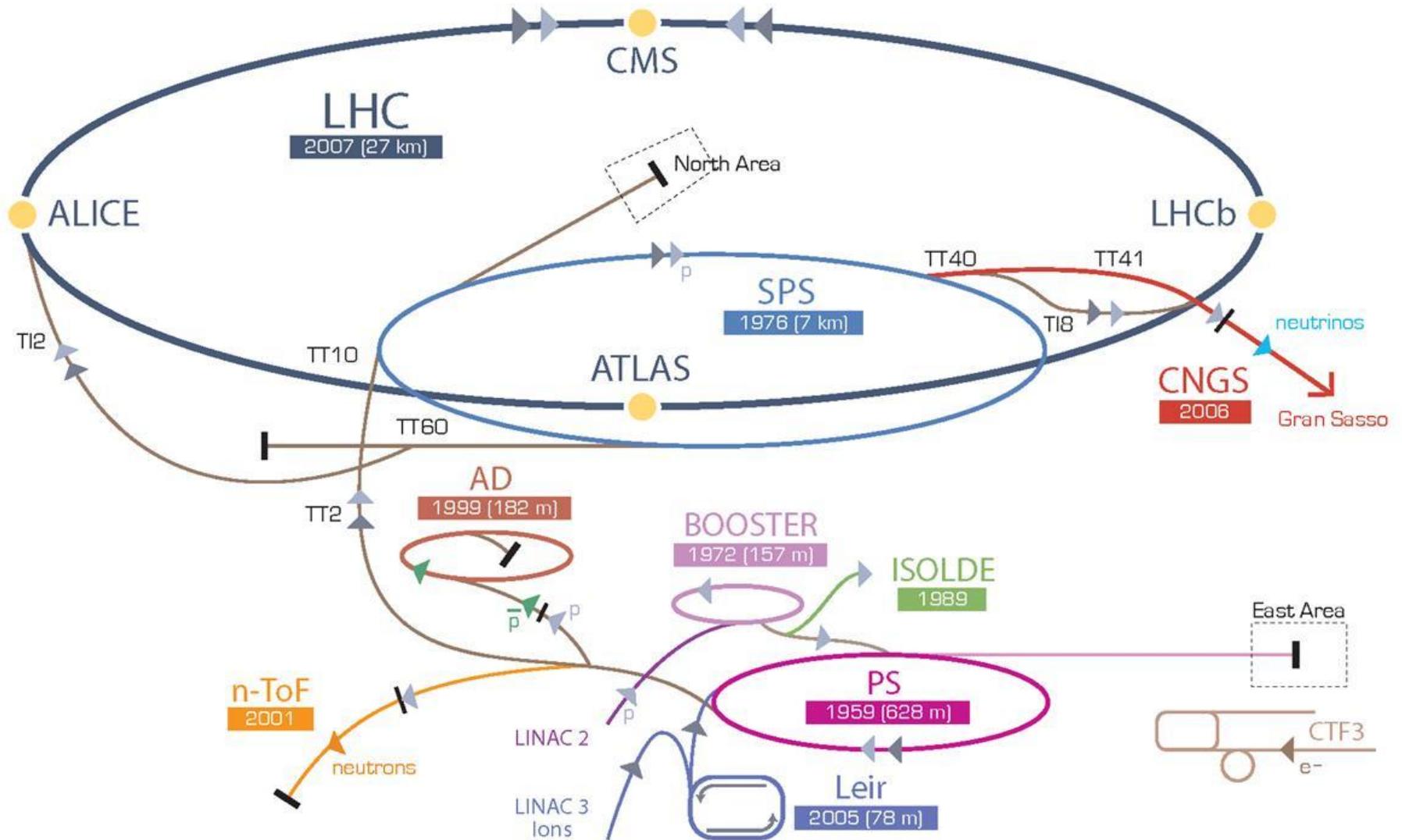


Large Hadron Collider (Large Heavy Ion Collider)





CERN Accelerator Complex





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 Kühlschrank der Welt
- 2 in 4 Punkten **kollidierende Teilchenstrahlen**
 - **Protonen von 7 TeV, oder**
 - **Bleiatomkerne von 2.7 TeV/Nukleon**
 - Strahlenergie begrenzt durch Ablenkfeld (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

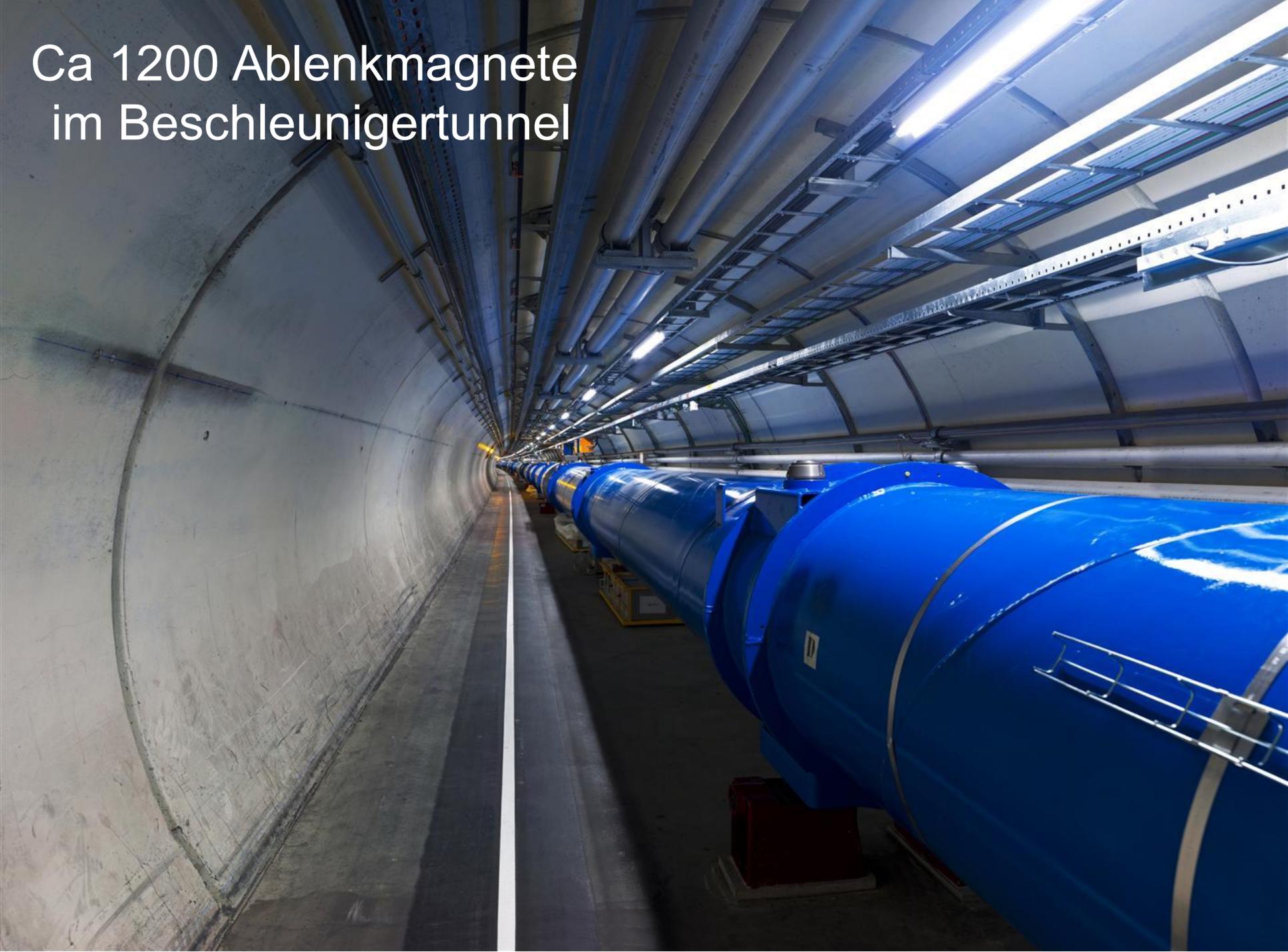


Erster Magnet installiert am 7. März 2005



18 m lang
35 t schwer

Ca 1200 Ablenkmagnete
im Beschleunigertunnel





ALICE

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



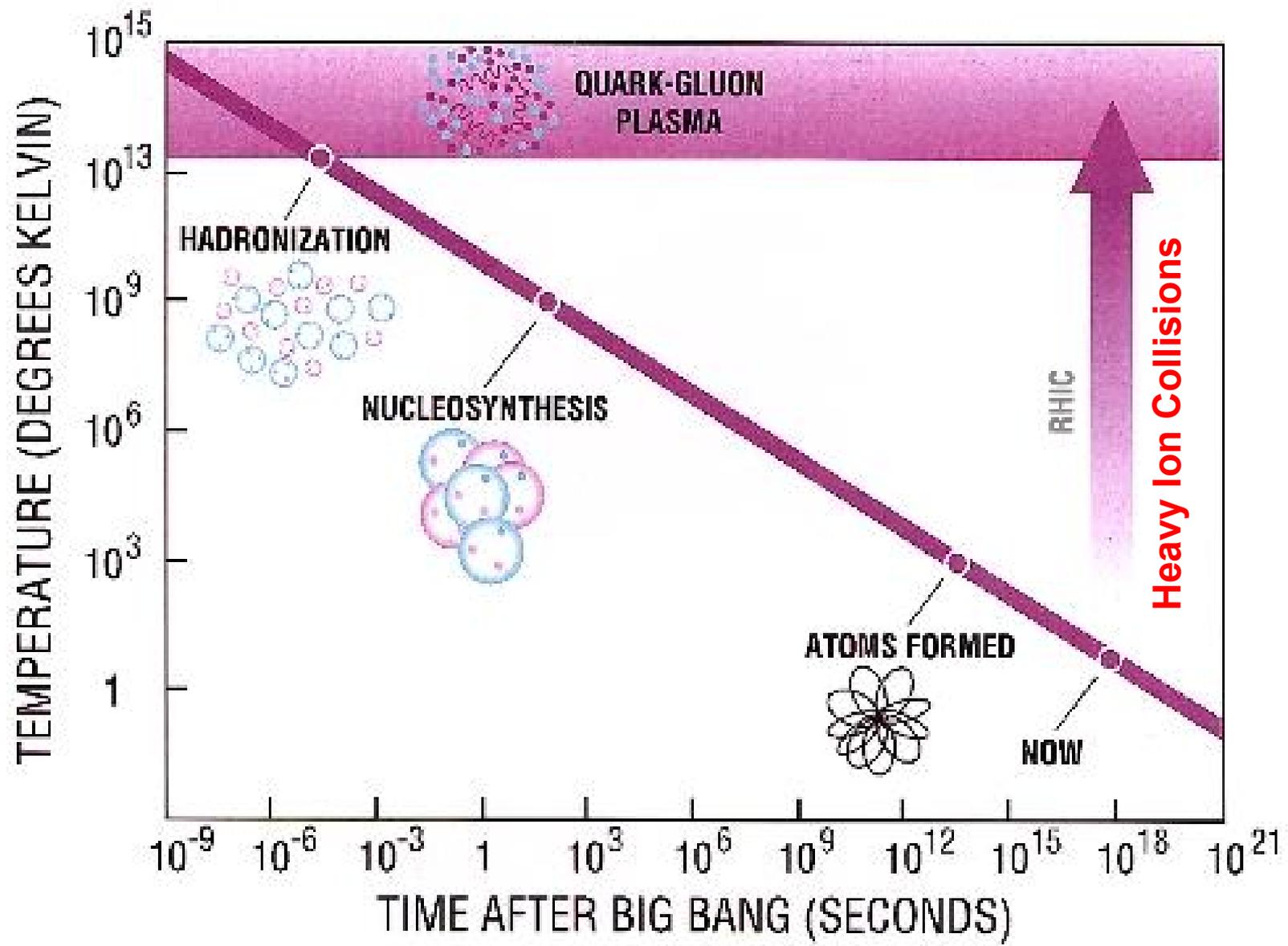
Materie bei extremen Bedingungen

- $E = 7000 m_0 c^2$ '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

Temperatureentwicklung seit dem Urknall





ALICE

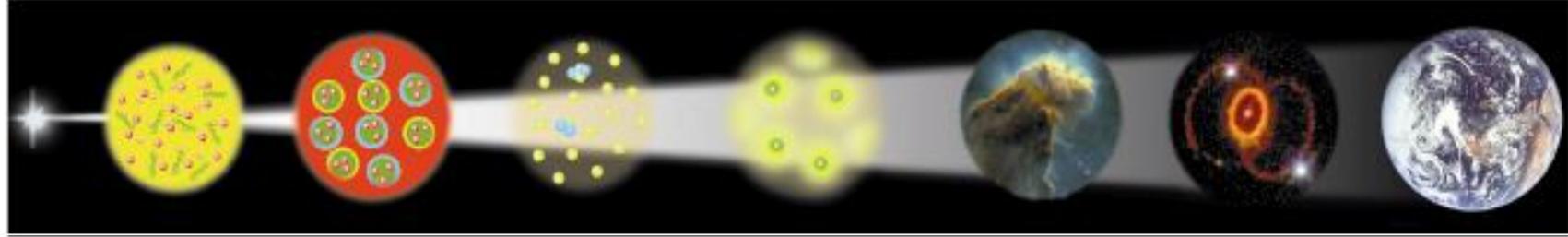
'Die Reise zum Urknall'

Natur



Quark-Gluon Plasma Nukleonen Kerne Atome Heute

Urknall



10^{-6} sec

10^{-4} sec

3 min

15 Mill. Jahre



Experiment

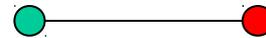
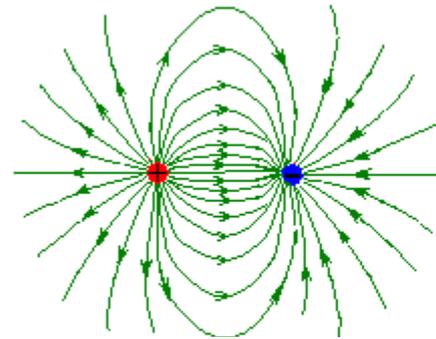
Die Welt des Kleinsten

	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

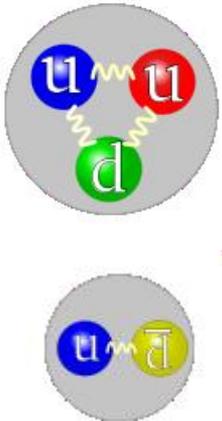
- Elektrisch: $\oplus + \ominus \rightarrow$ neutral
- Farbladung: 3 Farben, oder Farbe + Anti-Farbe \rightarrow neutral



ALICE

Stabile Objekte aus Quarks

■ Farbneutral sind



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

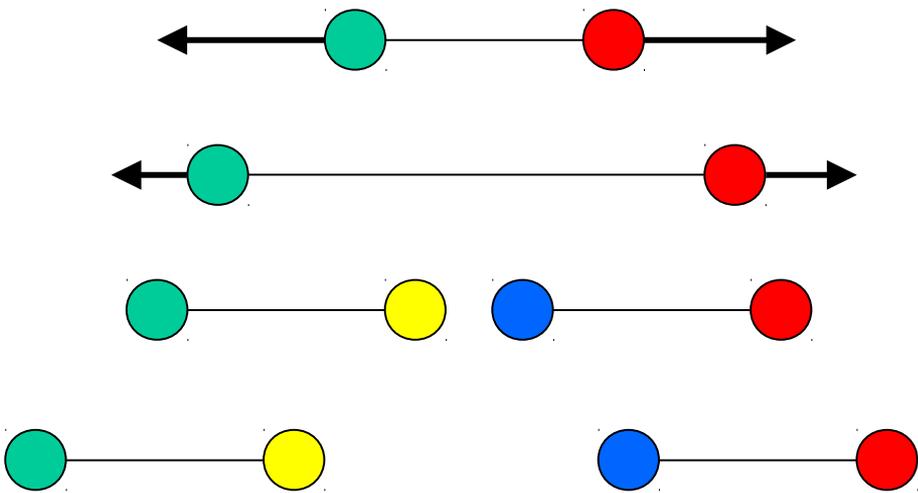
- Farbe + Antifarbe: Meson, z.B. Pi-Meson

■ Quarks können nicht getrennt werden:

'Confinement'

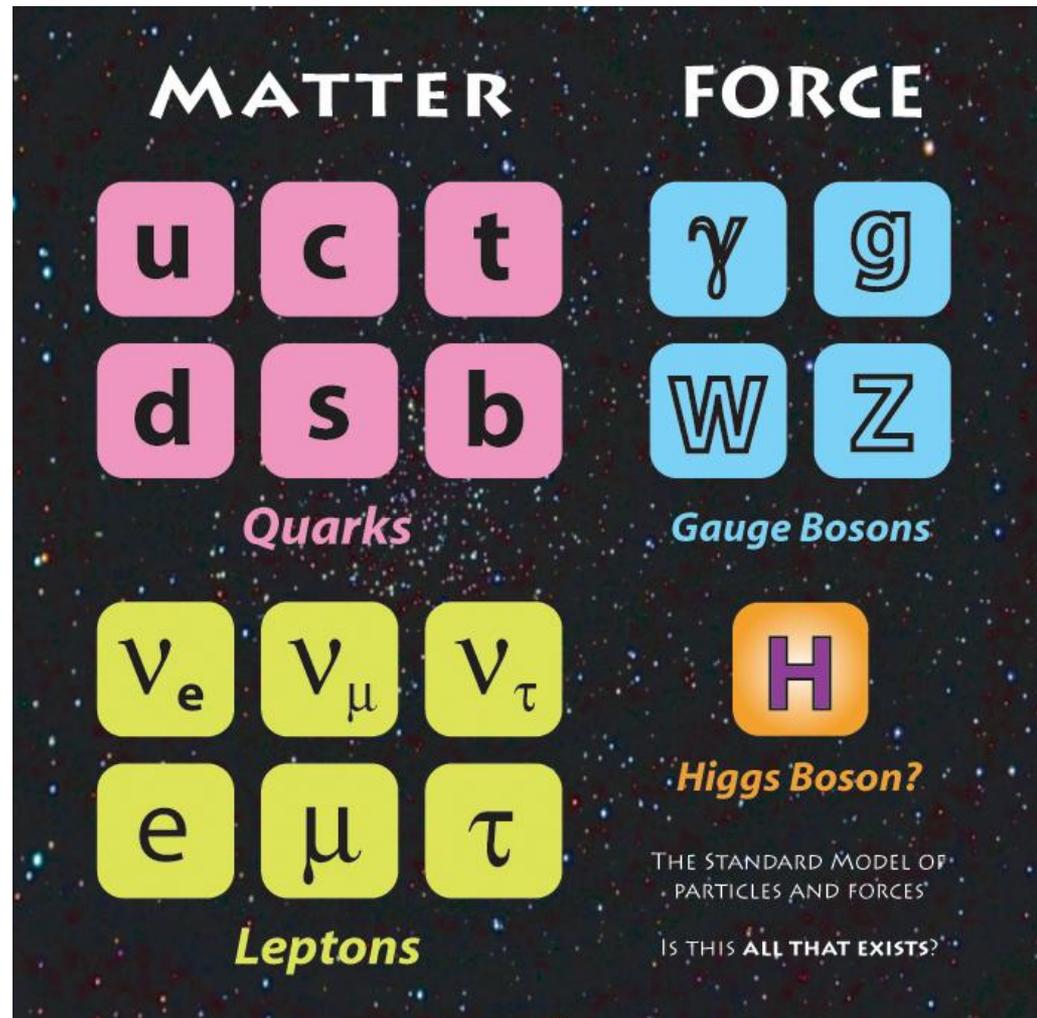
- Energieaufwand $\rightarrow \infty$
- 'String reißt' unter

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

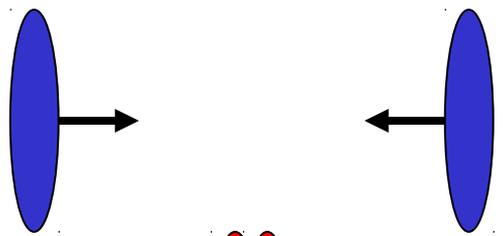
- zerfällt in ca 50.000 Teilchen, von denen ALICE etwa 5.000 sieht und einzeln misst



Szenario einer Schwerionenkollision

ALICE

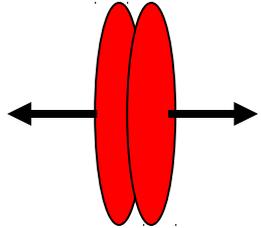
Vor dem Stoß



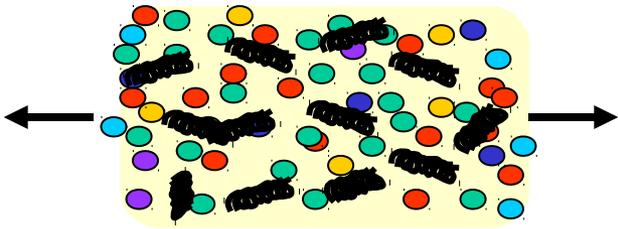
Normale Kernmaterie:

Dichte ca. 10^{18} t/m³

Durchdringung,
Hohe Teilchendichte
Hohe Energiedichte

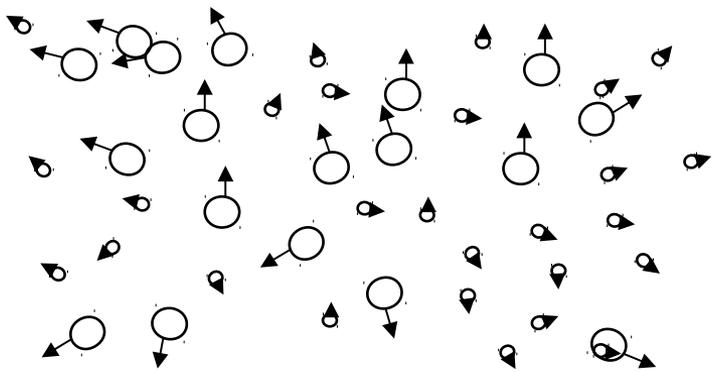


Feuerball



Quark-Gluon Plasma

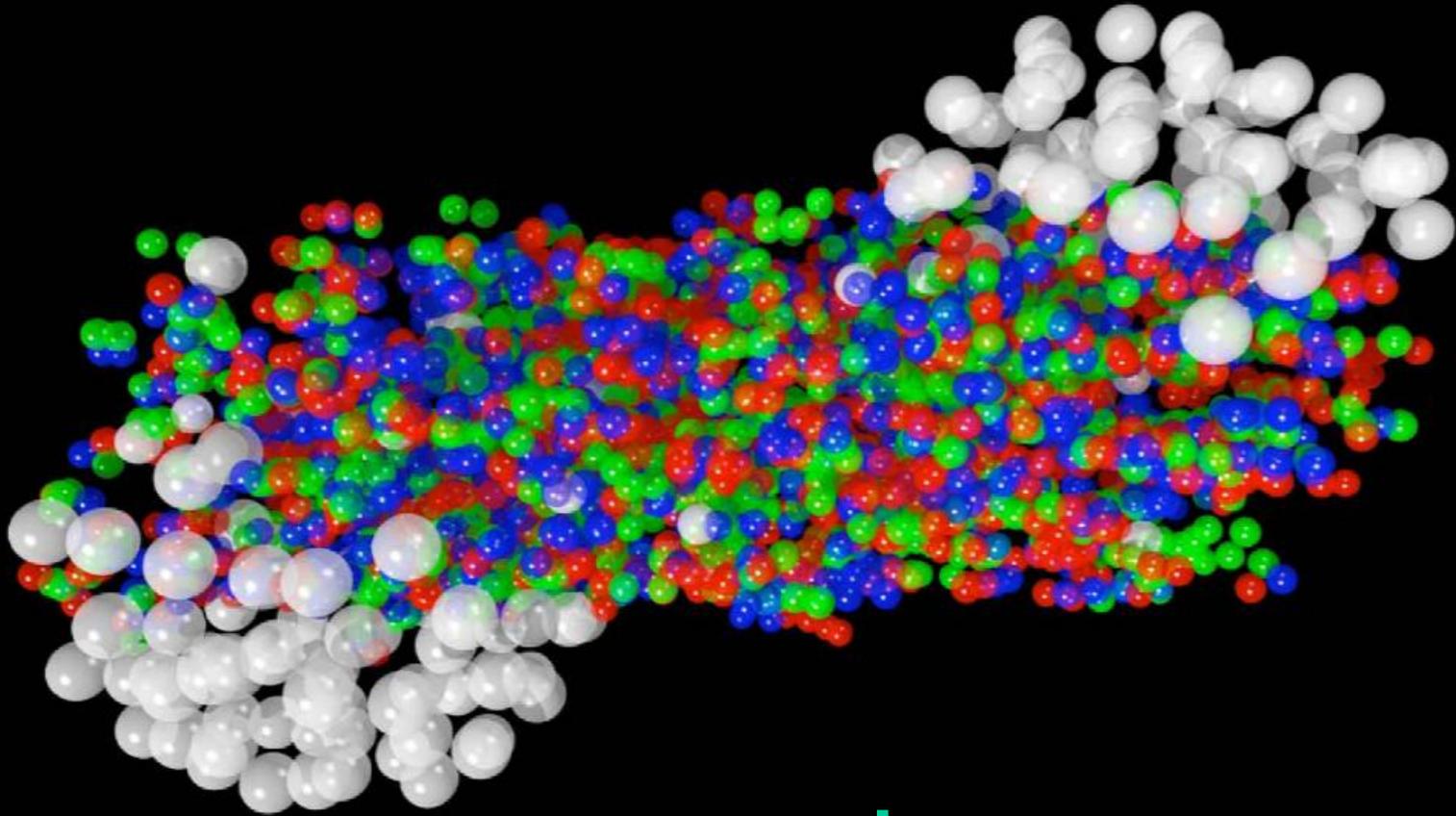
Expansion
Hadronisierung
Entkopplung



**Nicht mehr
wechselwirkende
Elementarteilchen
→ zum Detektor**

↓ **Zeit**

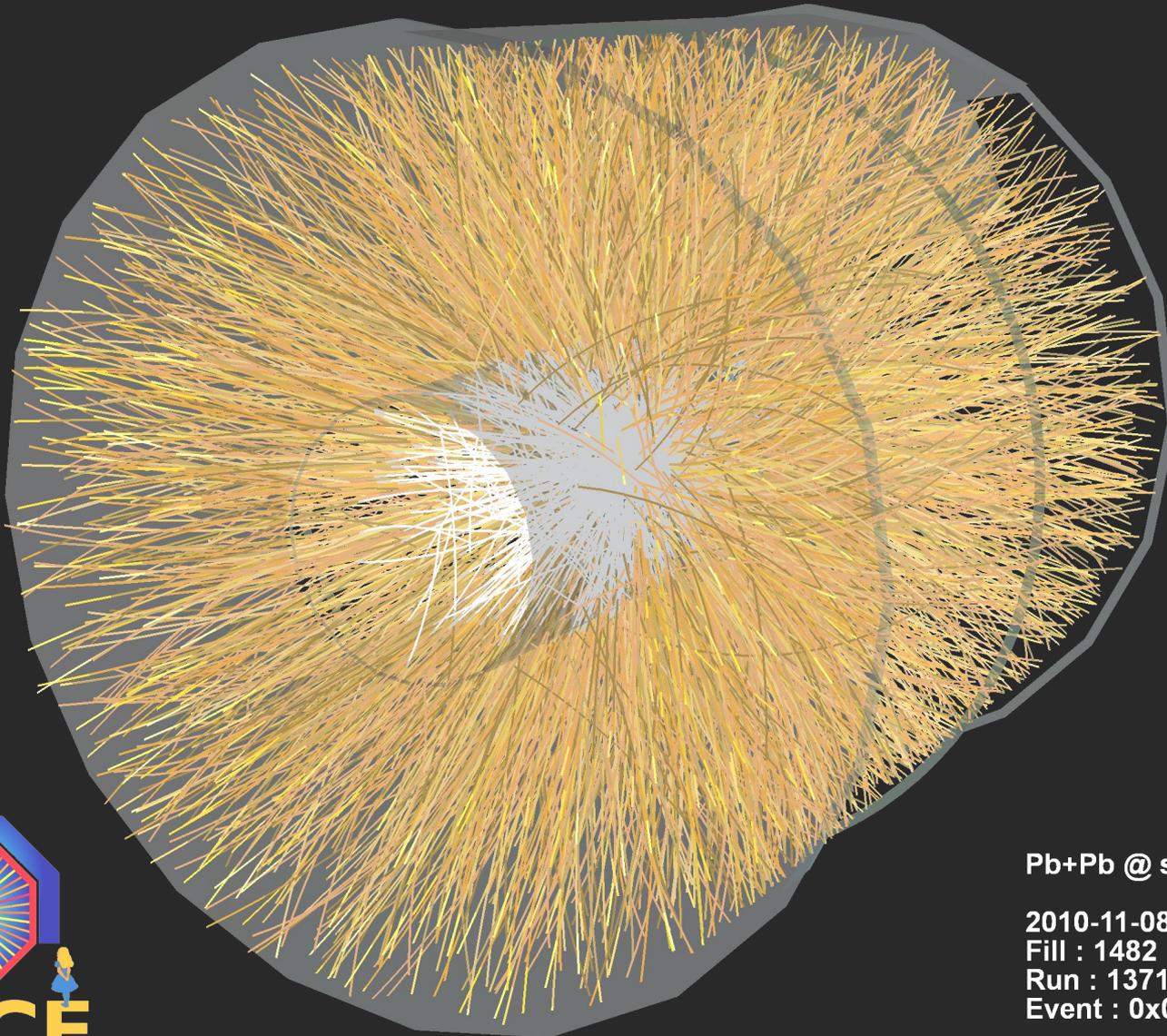
Zwei Kerne kurz nach der Kollision, Simulation



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 5.000 Teilchen im Detektor

Wir messen alles:

- Richtung
- Energie
- Teilchenart

für alle Teilchen!

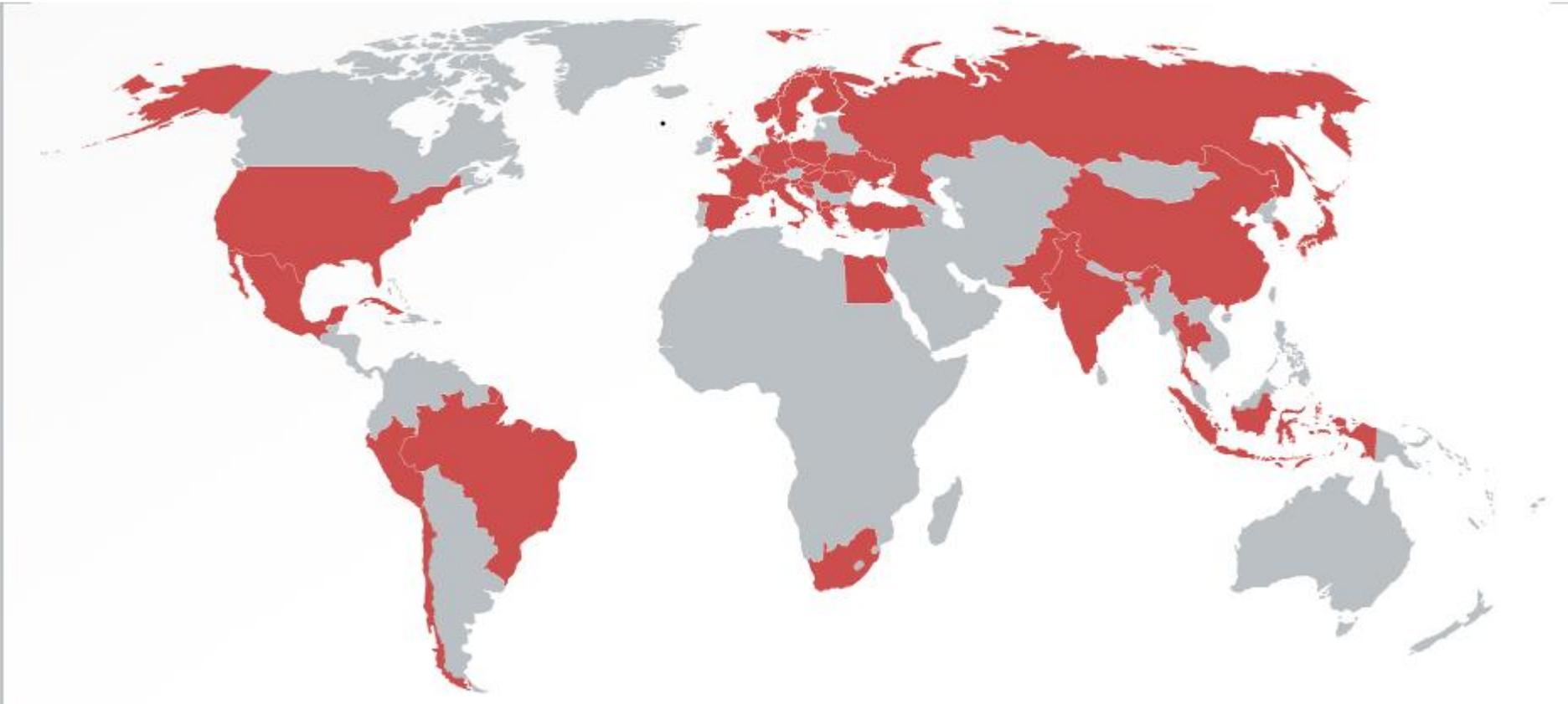
Eine technische Herausforderung



The ALICE Collaboration

36 countries, 131 institutes, 1200 members

130 MCHF capital cost + 'free' magnet



Der ALICE-Detektor



L3-Magnet

RICH

PMD

PHOS

TOF

TRD

TPC

ITS

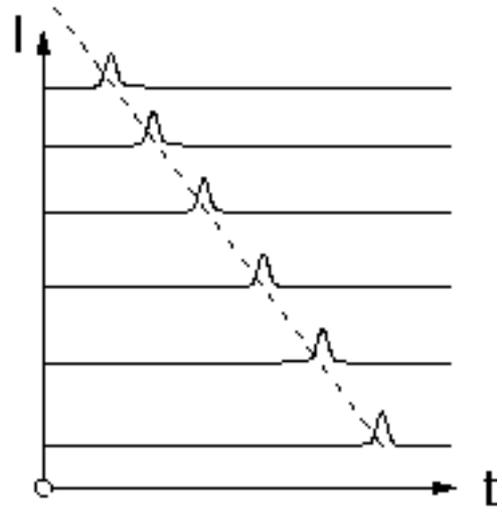
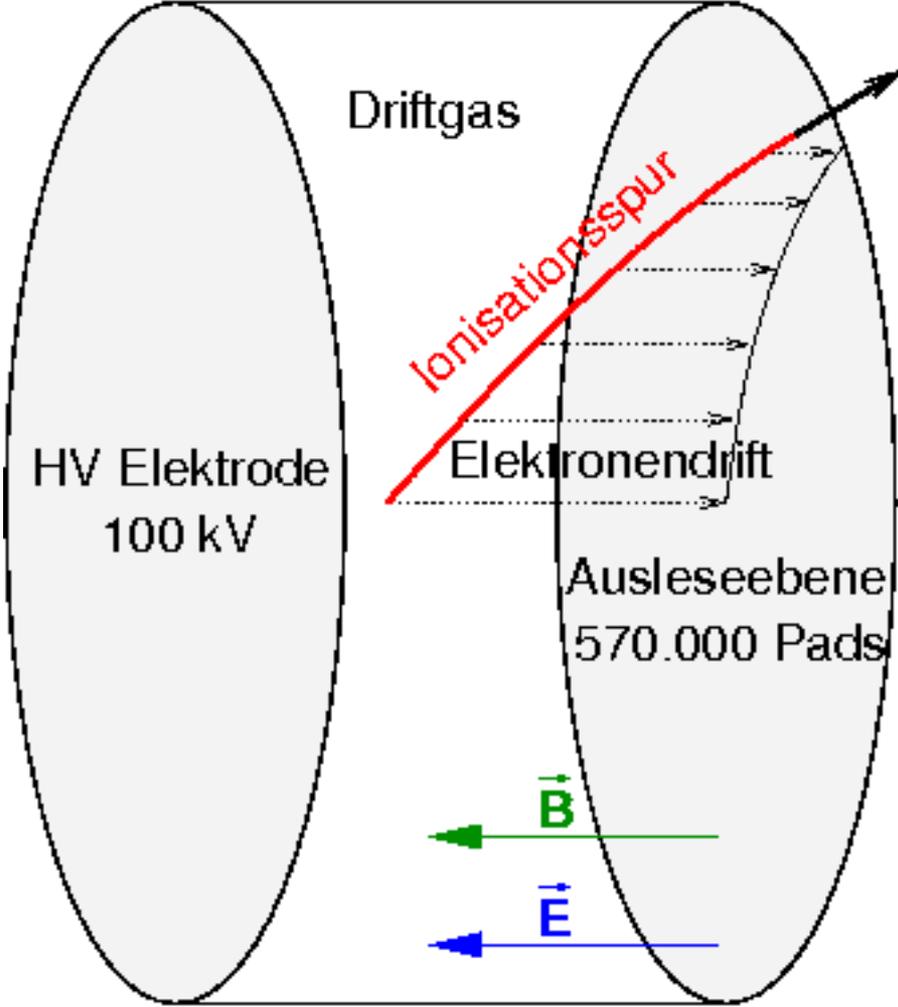
MUON

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





ALICE





ca 4000 Front-End Cards

ALIC GTL bus Transceivers (backside)

readout bus connectors

I2C EEPROM connector

power connector

170 mm

128 ch

190 mm

LDO Power Regulators

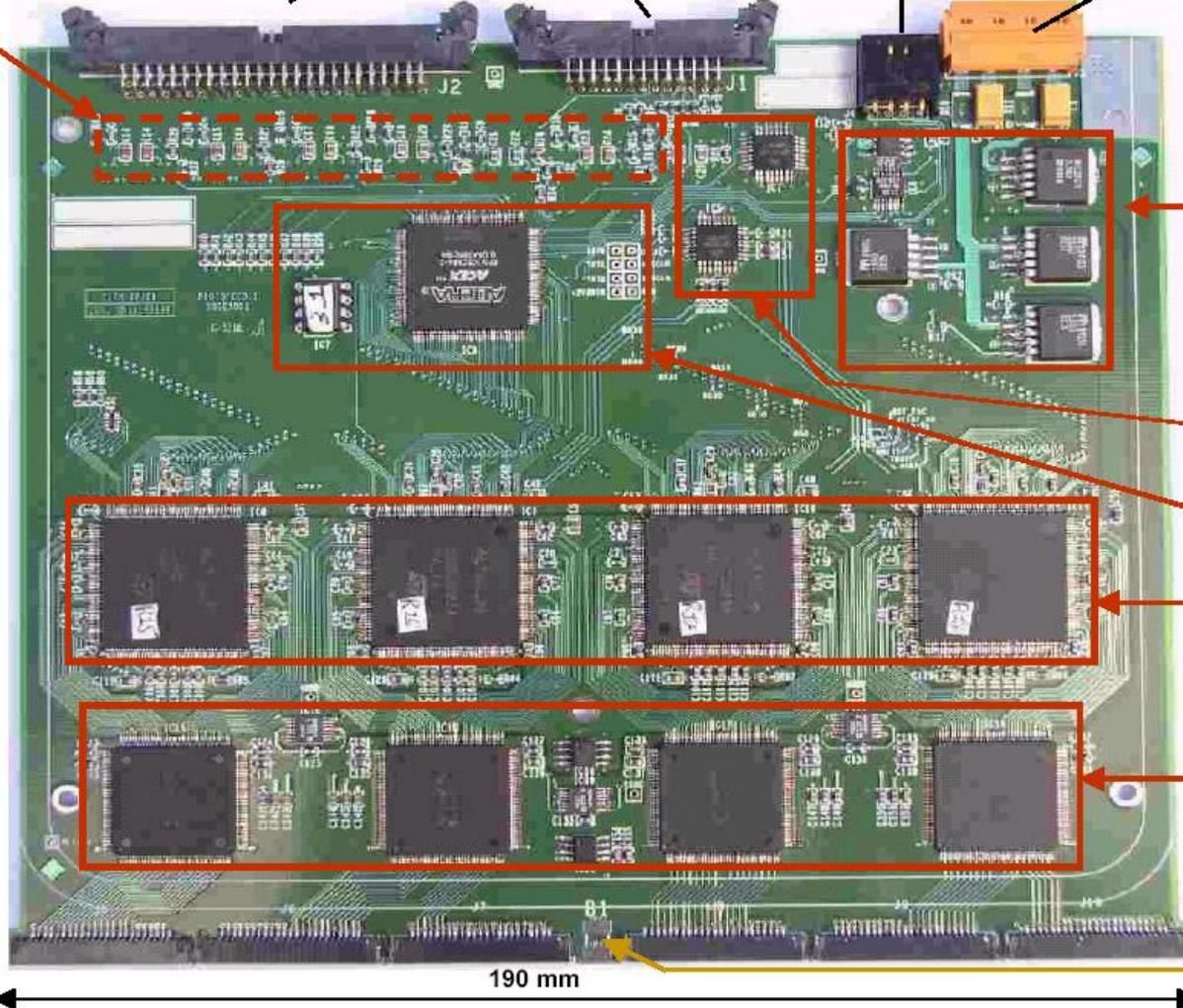
Clock distribution

Current monitor & Supervision

ALTROs

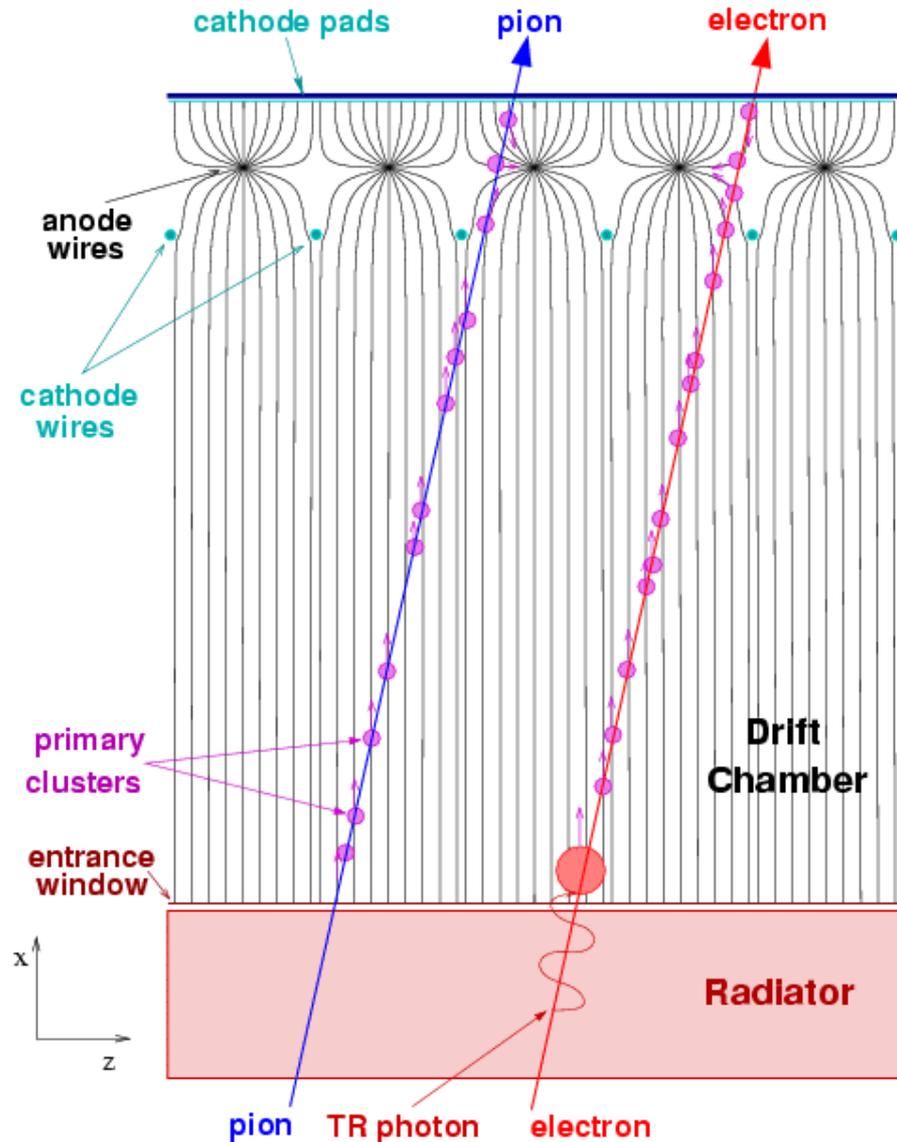
Shaping Amplifiers and Reference Voltages

FE connectors and additional Ground socket



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





Einbau eines TRD Supermoduls



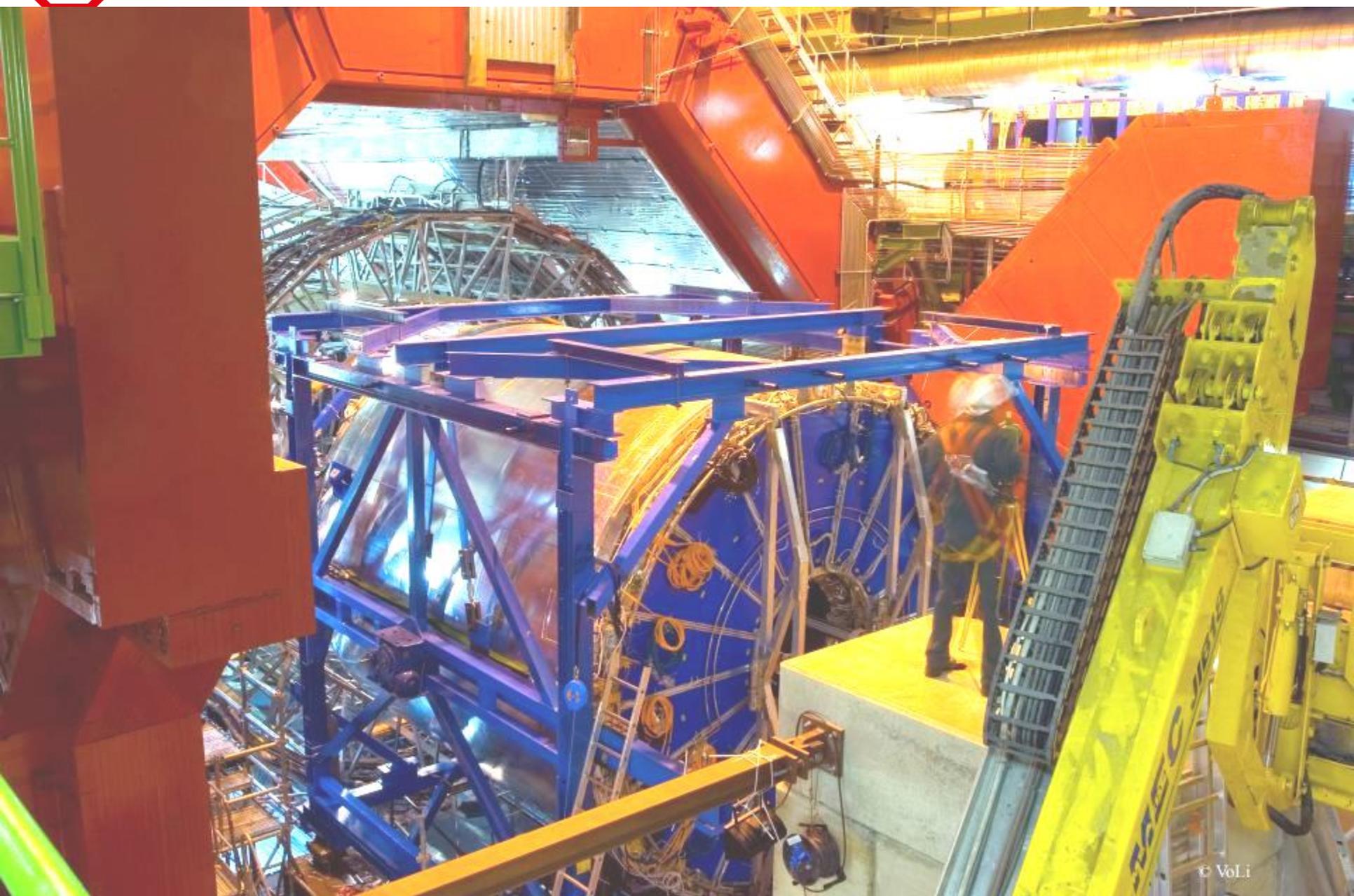


ALICE: Baustelle 2004

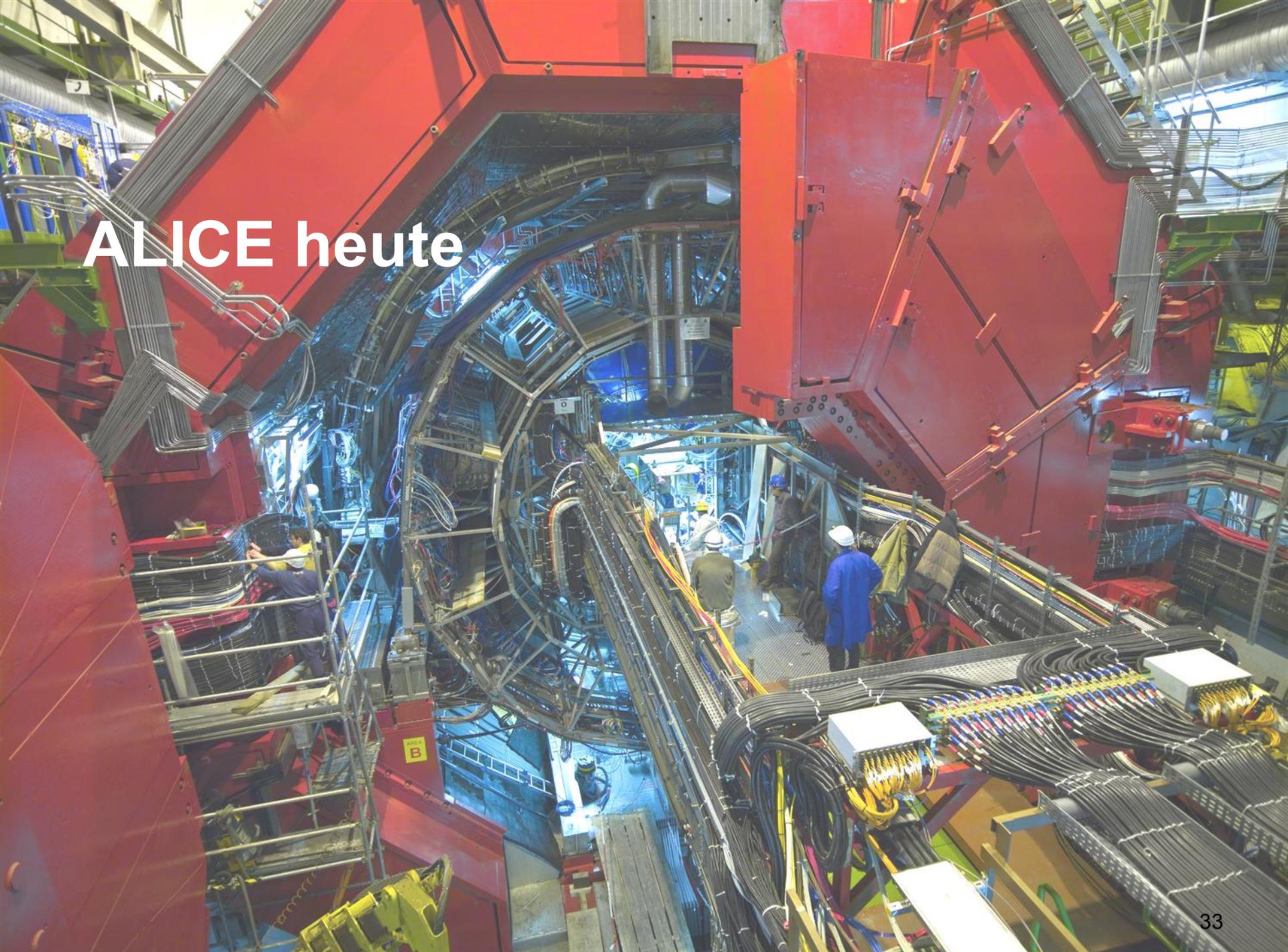




ALICE Januar 2007



ALICE heute



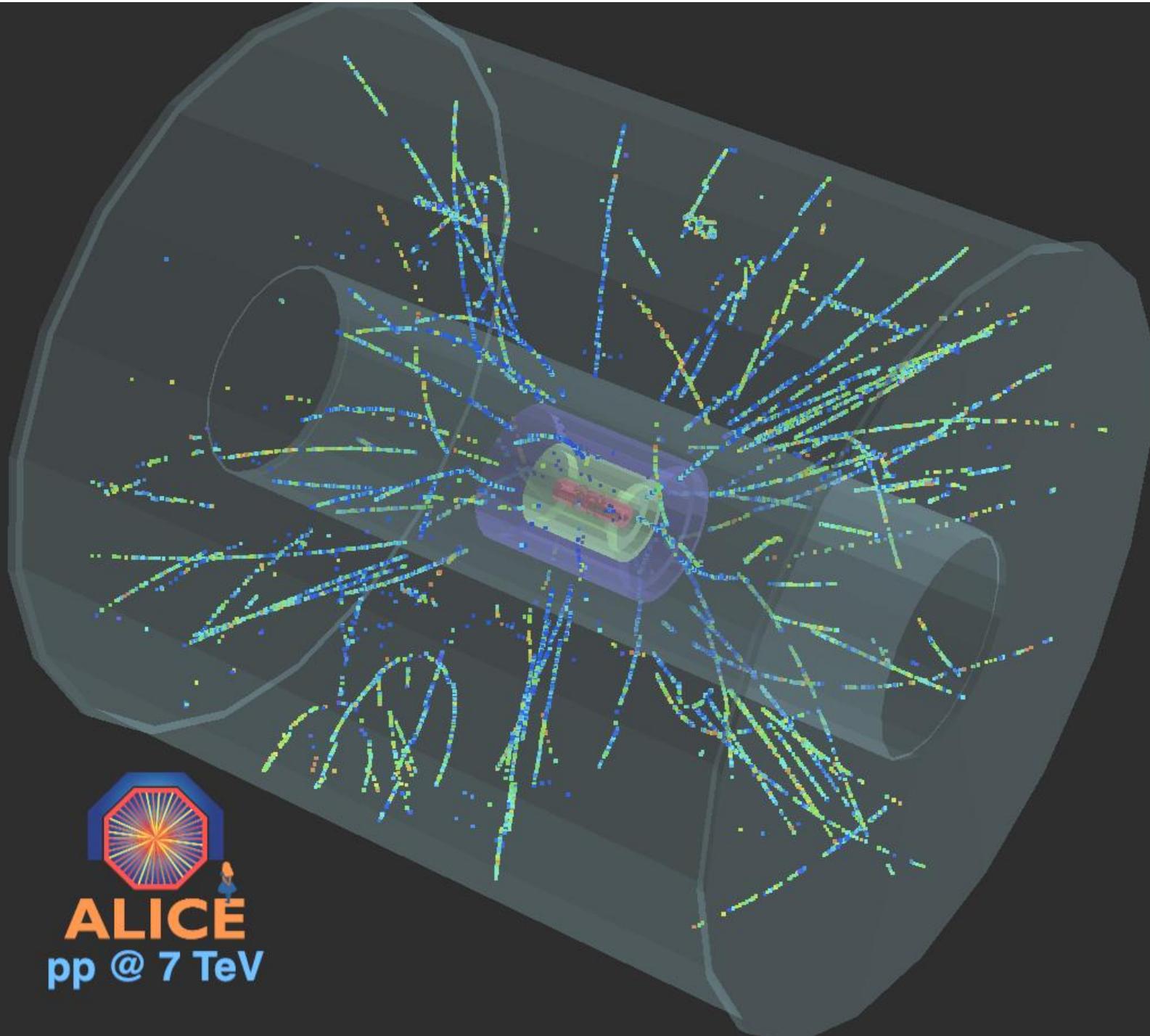


Programm





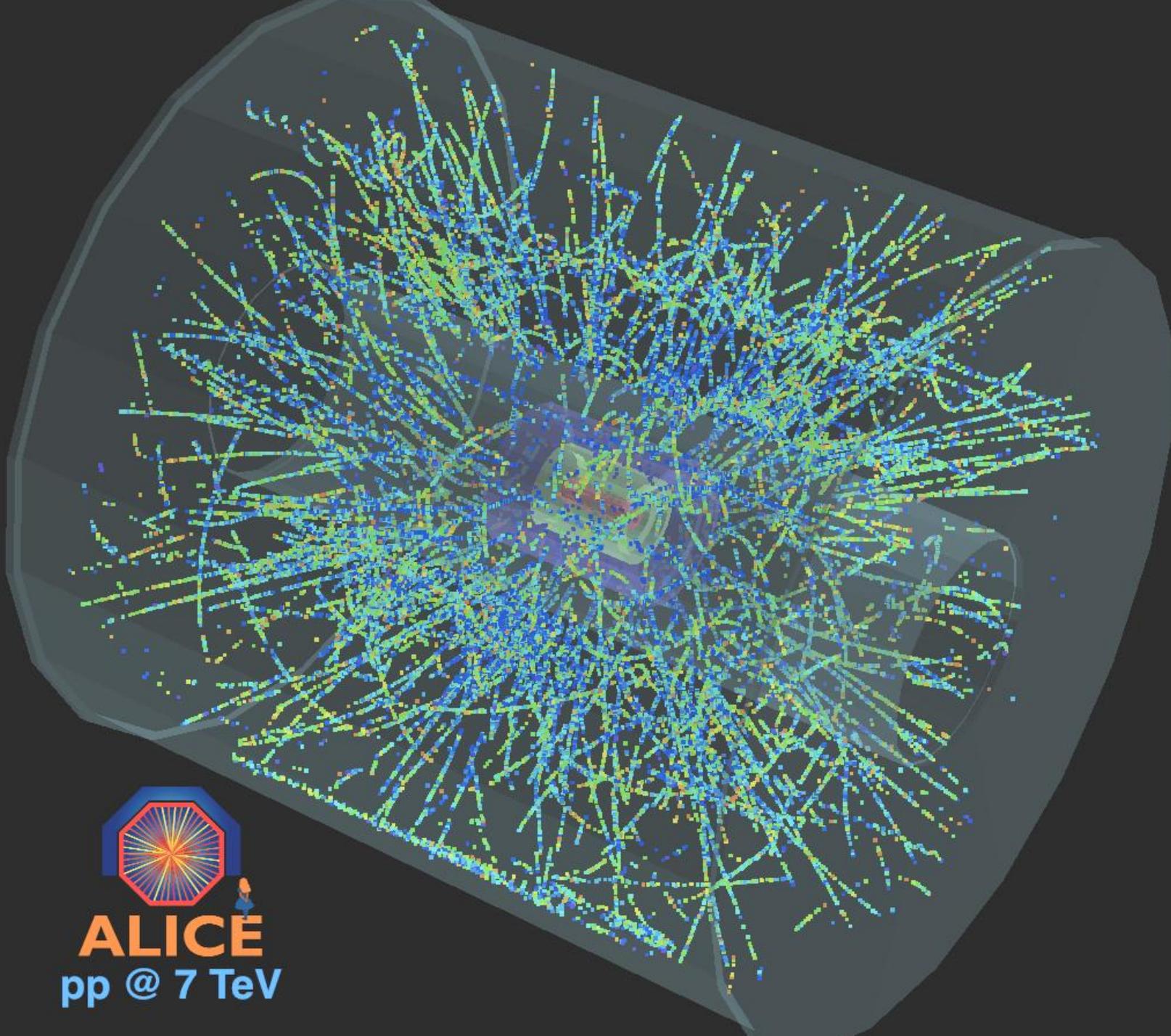
ALICE



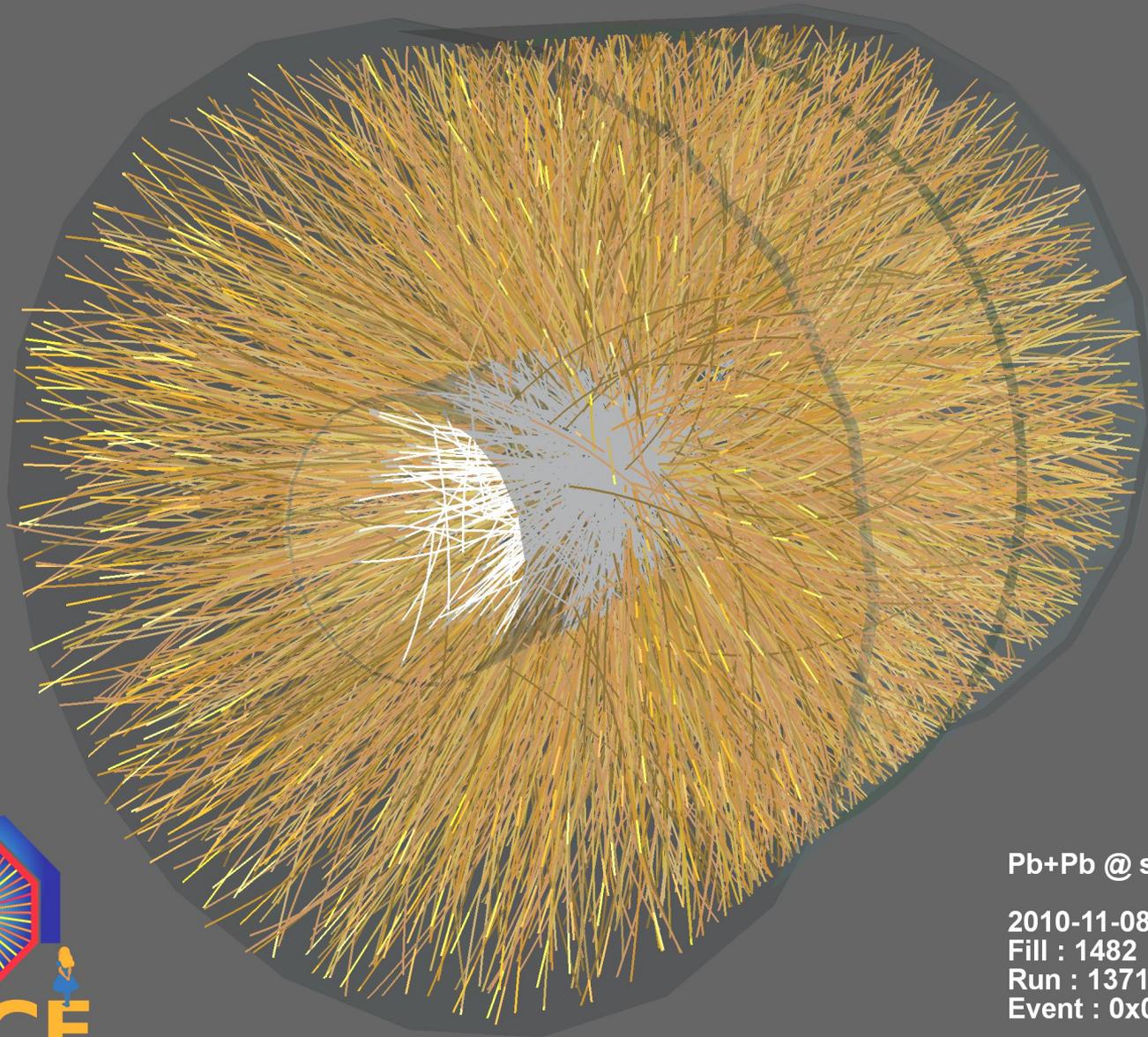
ALICE
pp @ 7 TeV



ALICE



ALICE
pp @ 7 TeV



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

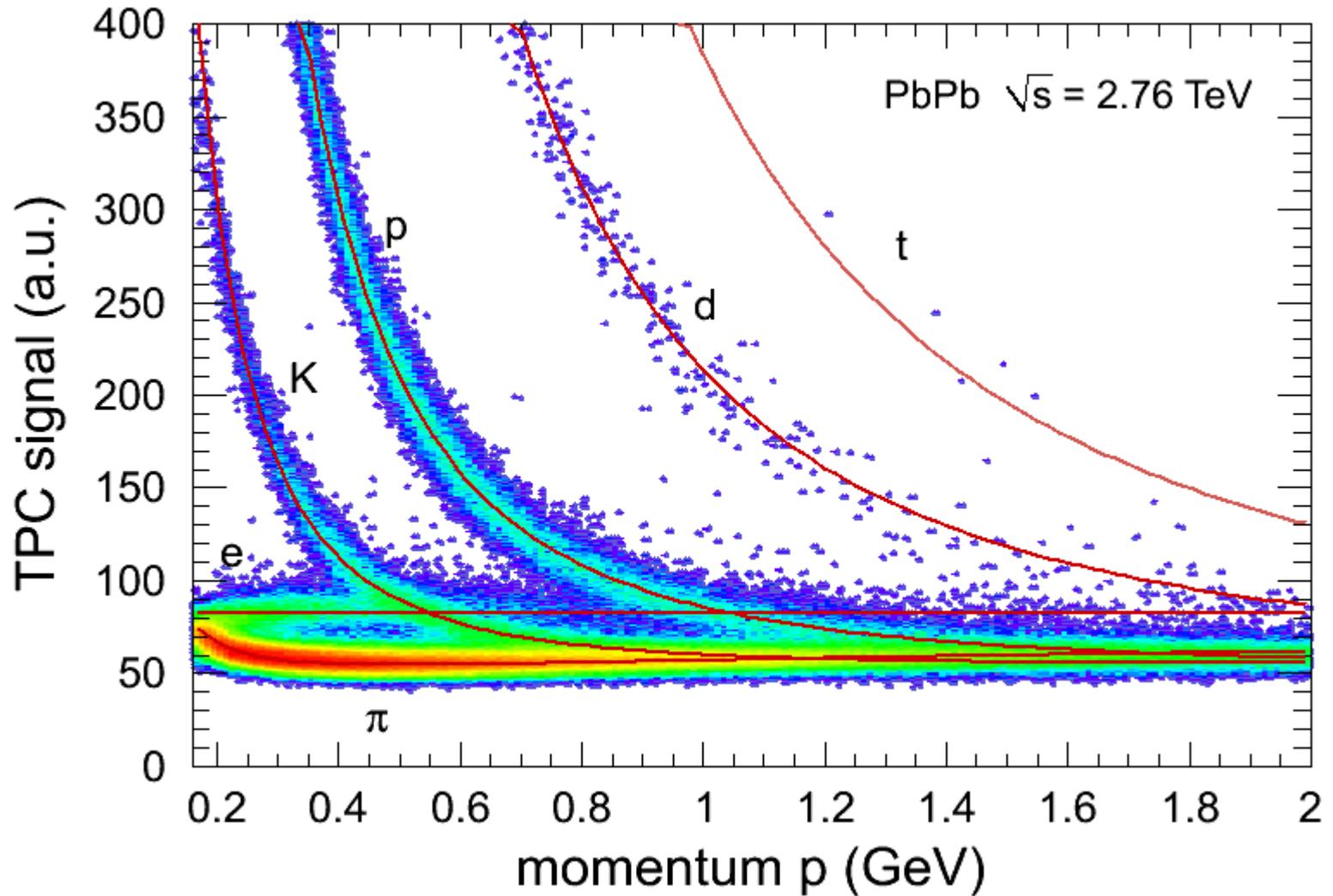
2010-11-08 11:30:46

Fill : 1482

Run : 137124

Event : 0x00000000D3BBE693

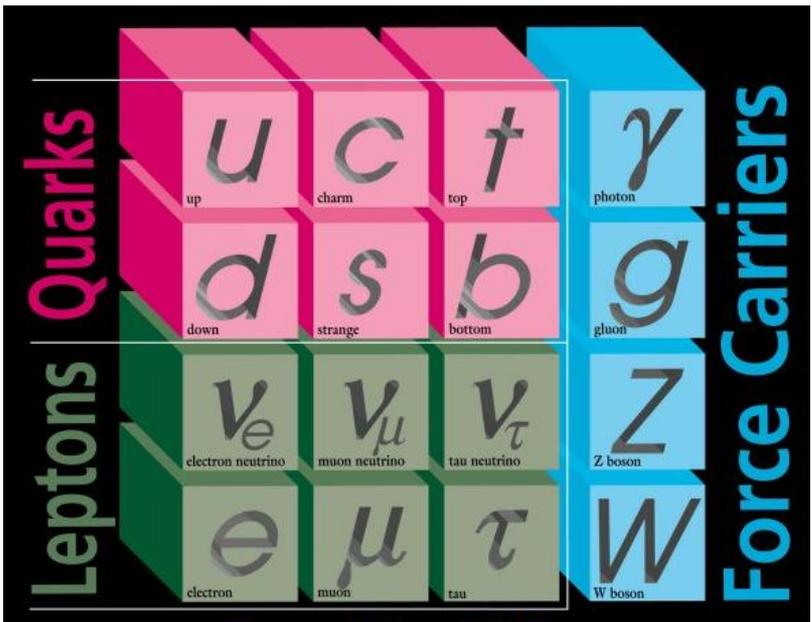
Teilchenidentifikation in der TPC





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



Wie weist man Strangeness nach?

ALICE

Seltsame Teilchen zerfallen nach einigen cm Flug → sog. V_0

K^0_s ($\bar{s}d\bar{T}sd$) → $\pi^+ \pi^-$ (K^0_s ungeladen: Spur unsichtbar)

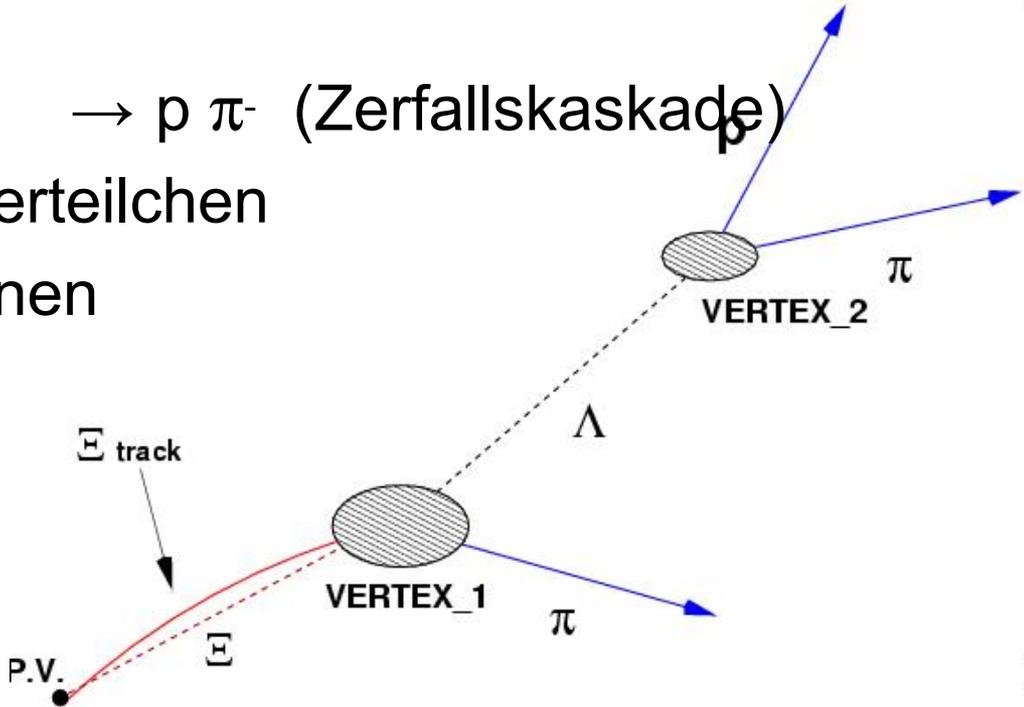
Λ uds → $p \pi^-$ (Lambda)

$\bar{\Lambda}$ $\bar{u}\bar{d}\bar{s}$ → $\bar{p} \pi^+$ (Anti-Lambda)

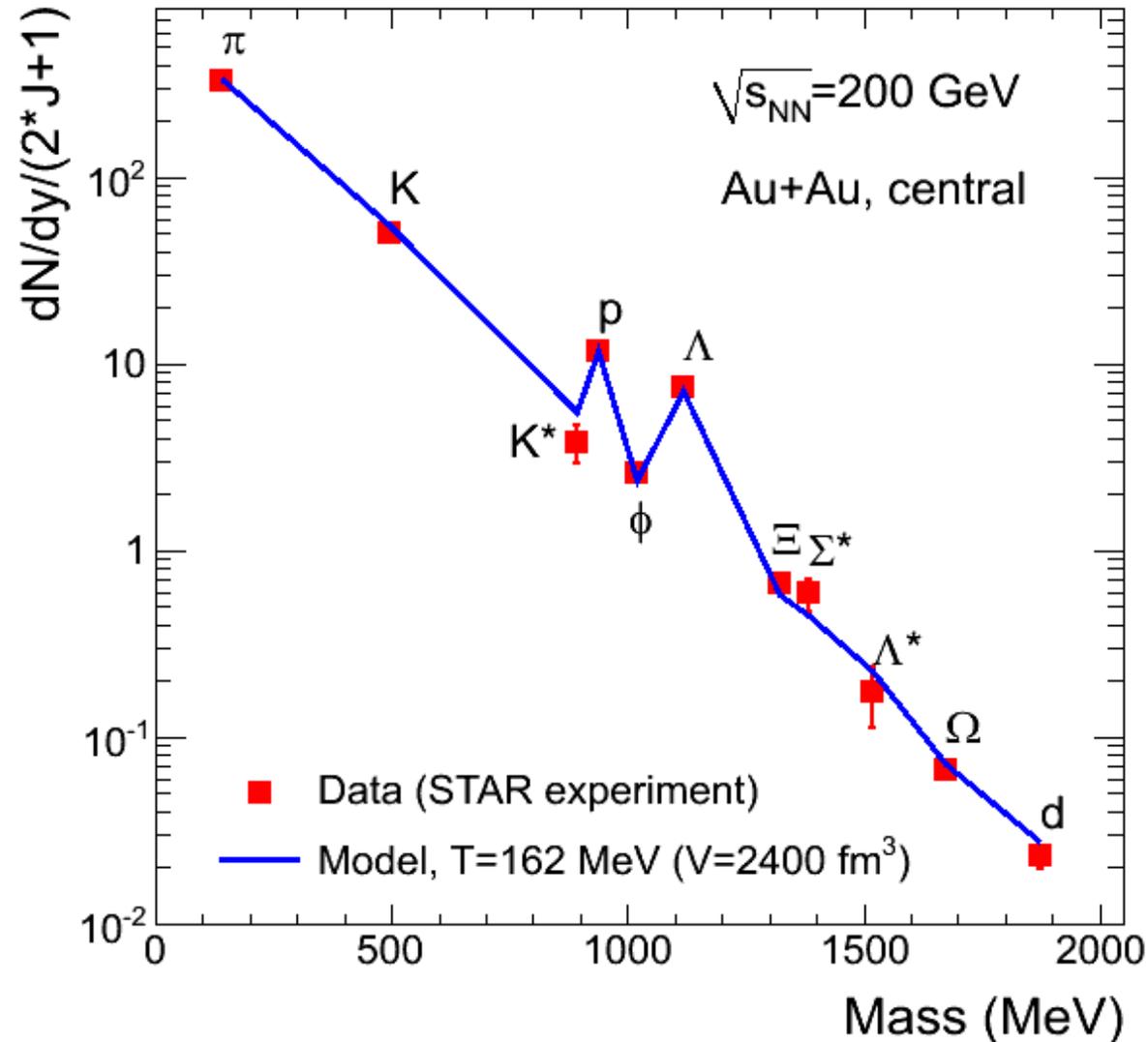
Ξ^- dss → $\Lambda \pi^-$ (Xi)

↓
→ $p \pi^-$ (Zerfallskaskade)

Aus den Impulsen der Tochterteilchen
kann die Masse des zerfallenen
Teilchens berechnet werden
(‘invariante Masse’)



Je höher die Temperatur, desto leichter werden schwere Teilchen erzeugt



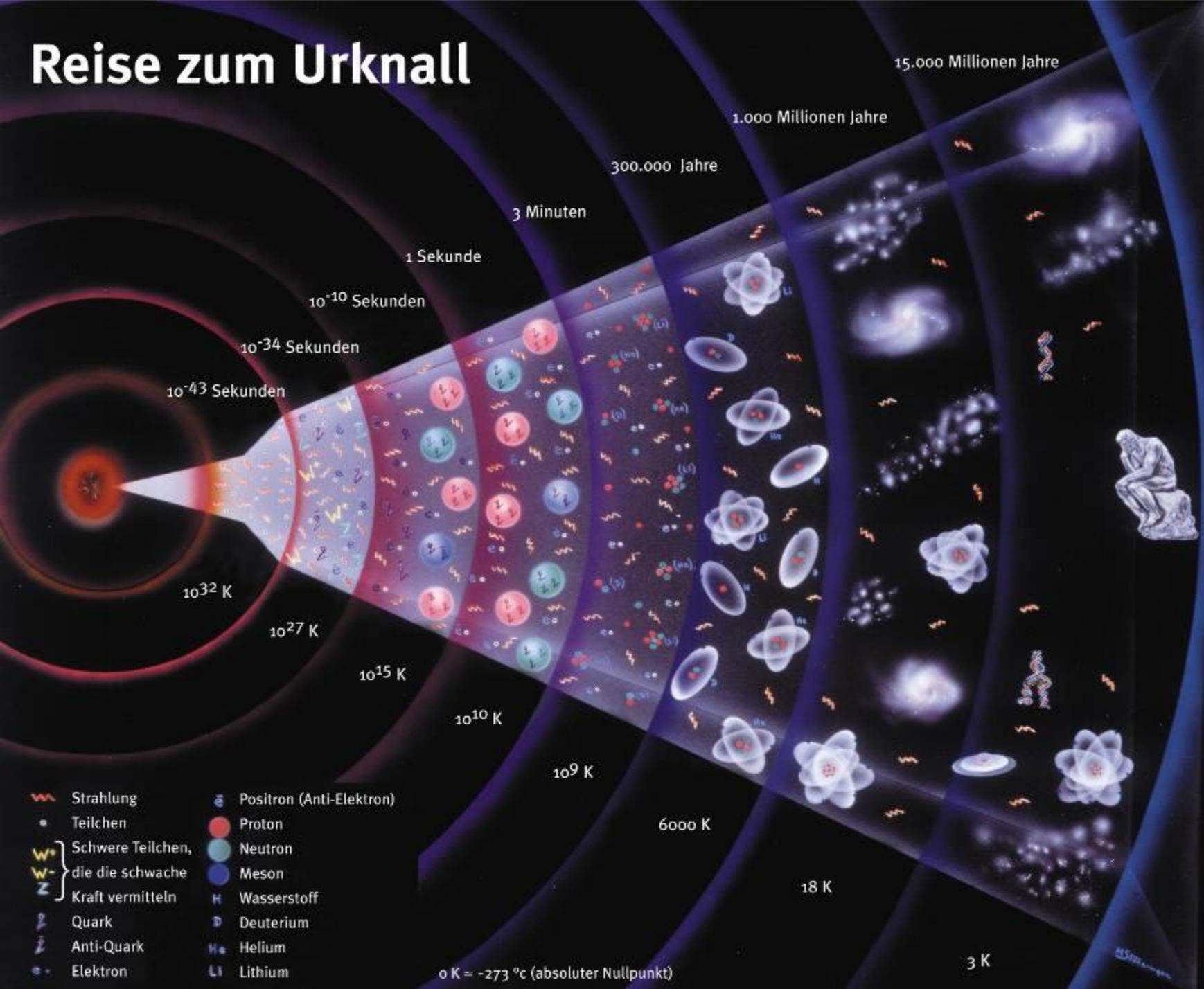




ALICE



Reise zum Urknall



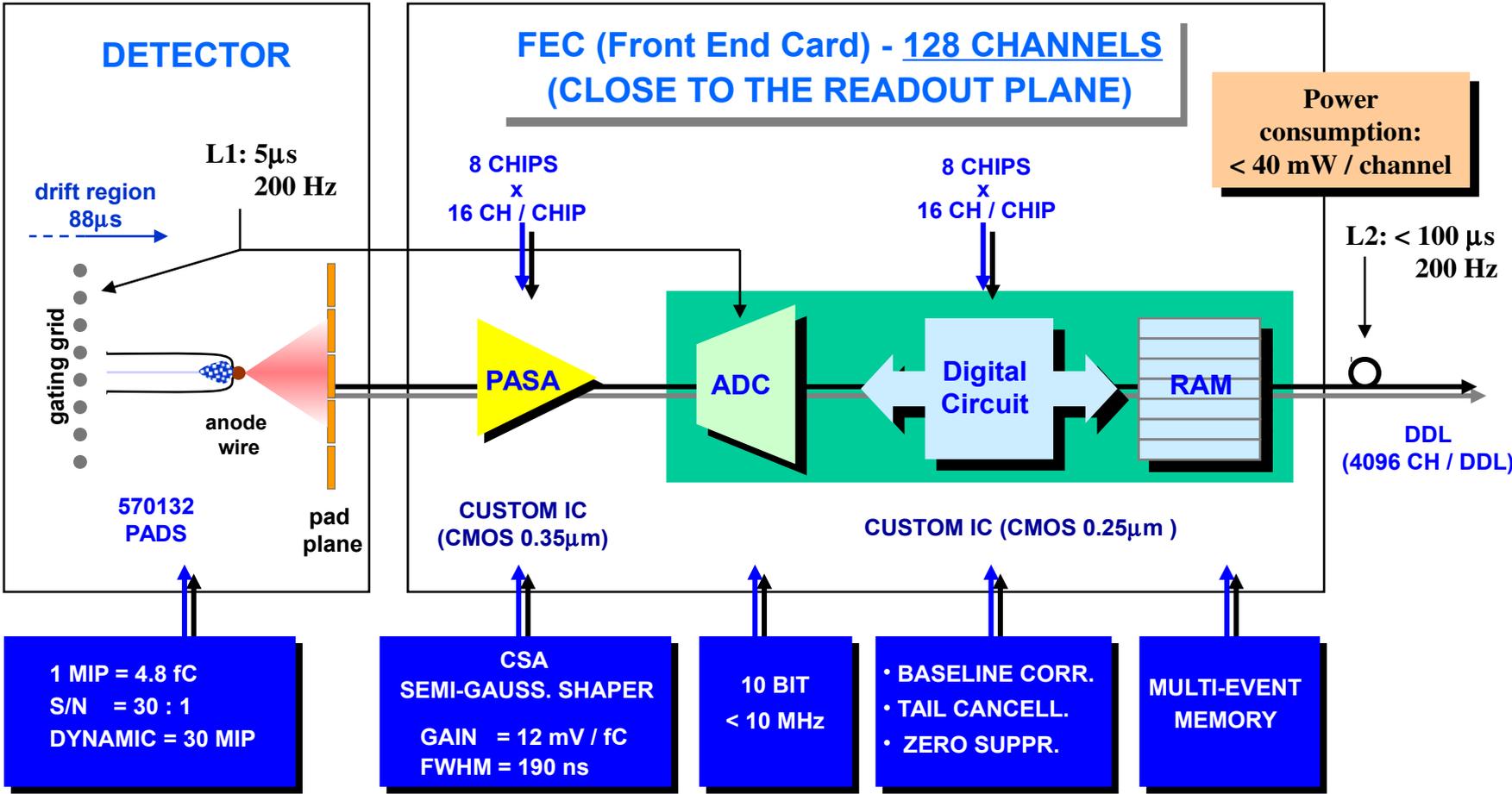
- Strahlung
- Teilchen
- Schwere Teilchen, die die schwache Kraft vermitteln
- Quark
- Anti-Quark
- Elektron
- Positron (Anti-Elektron)
- Proton
- Neutron
- Meson
- Wasserstoff
- Deuterium
- Helium
- Lithium

0 K = -273 °C (absoluter Nullpunkt)



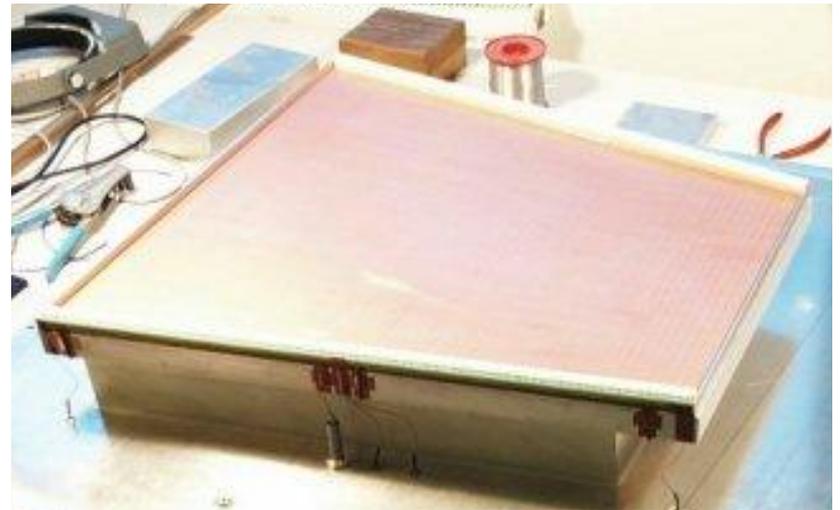
ALICE

Frontend Electronics: Architecture



Die TPC Auslesekammmern

- 2 x 18 Sektoren, je 2 Kammern → 72 Kammern
- 557568 Kanäle
- Gate durch Trigger
- Padgrößen 4x7.5, 6x10, 6x15 mm²
- 10 bit ADC
- 5.7 MHz sampling, 512 Zeitbins
- Ortsauflösung 800 ... 1250 μm (rφ, z)



Kleine Kammer



ALICE

Frontendkarten, innerste Reihe mit

Bus

25 Front End Cards

Readout and Control Backplane (300 MB/sec)

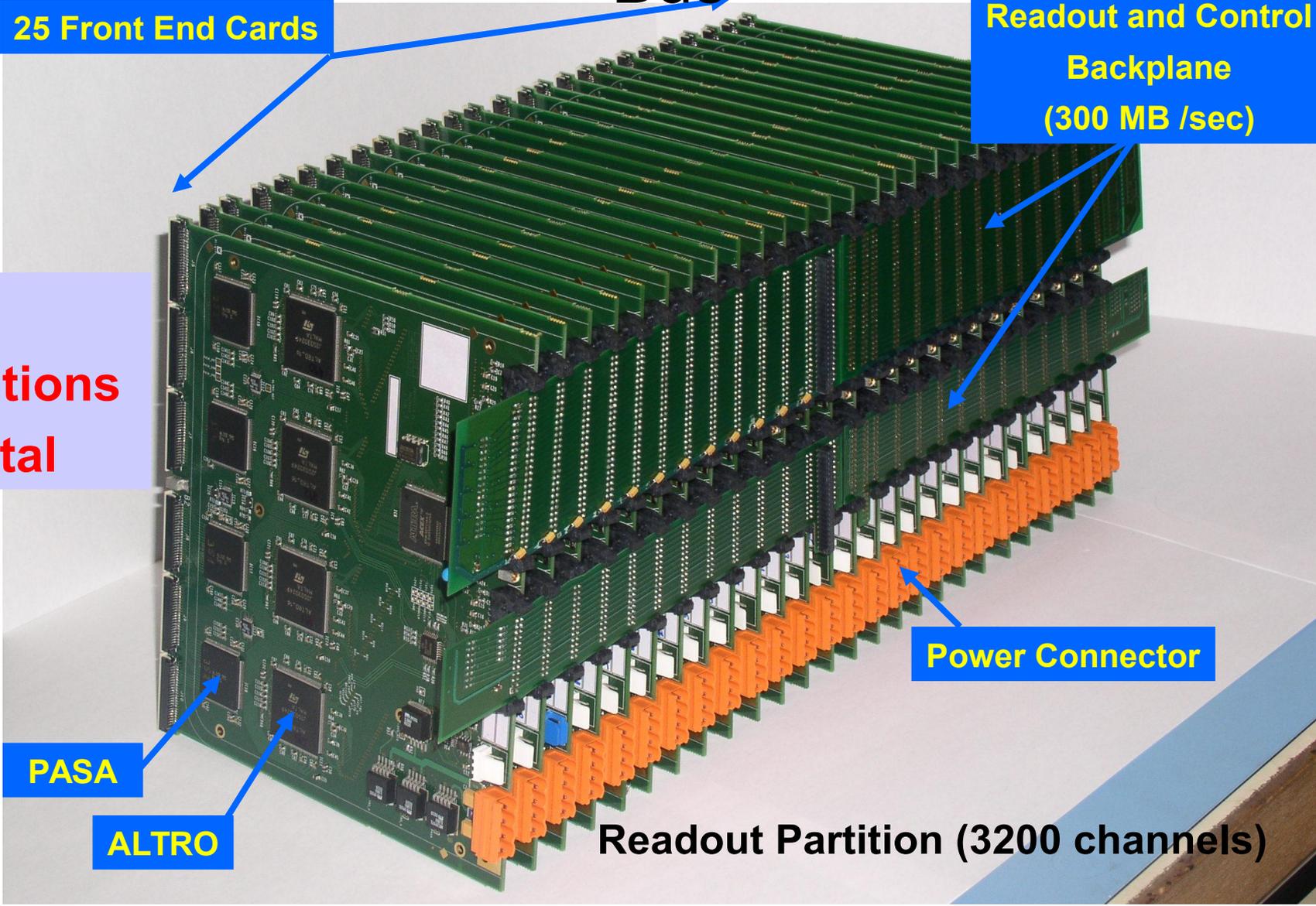
216 partitions in total

PASA

ALTRO

Power Connector

Readout Partition (3200 channels)

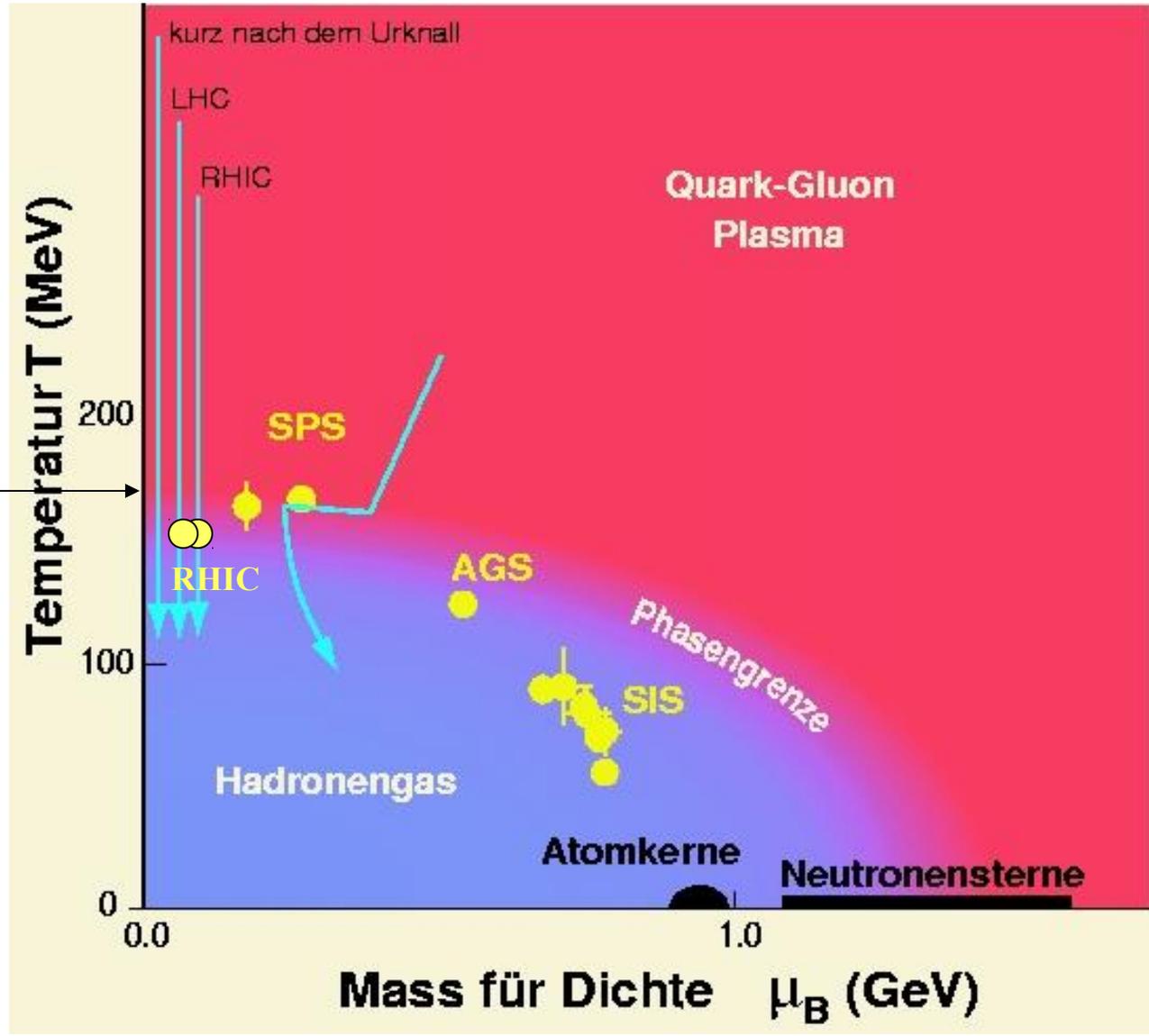




ALICE

Phasendiagramm

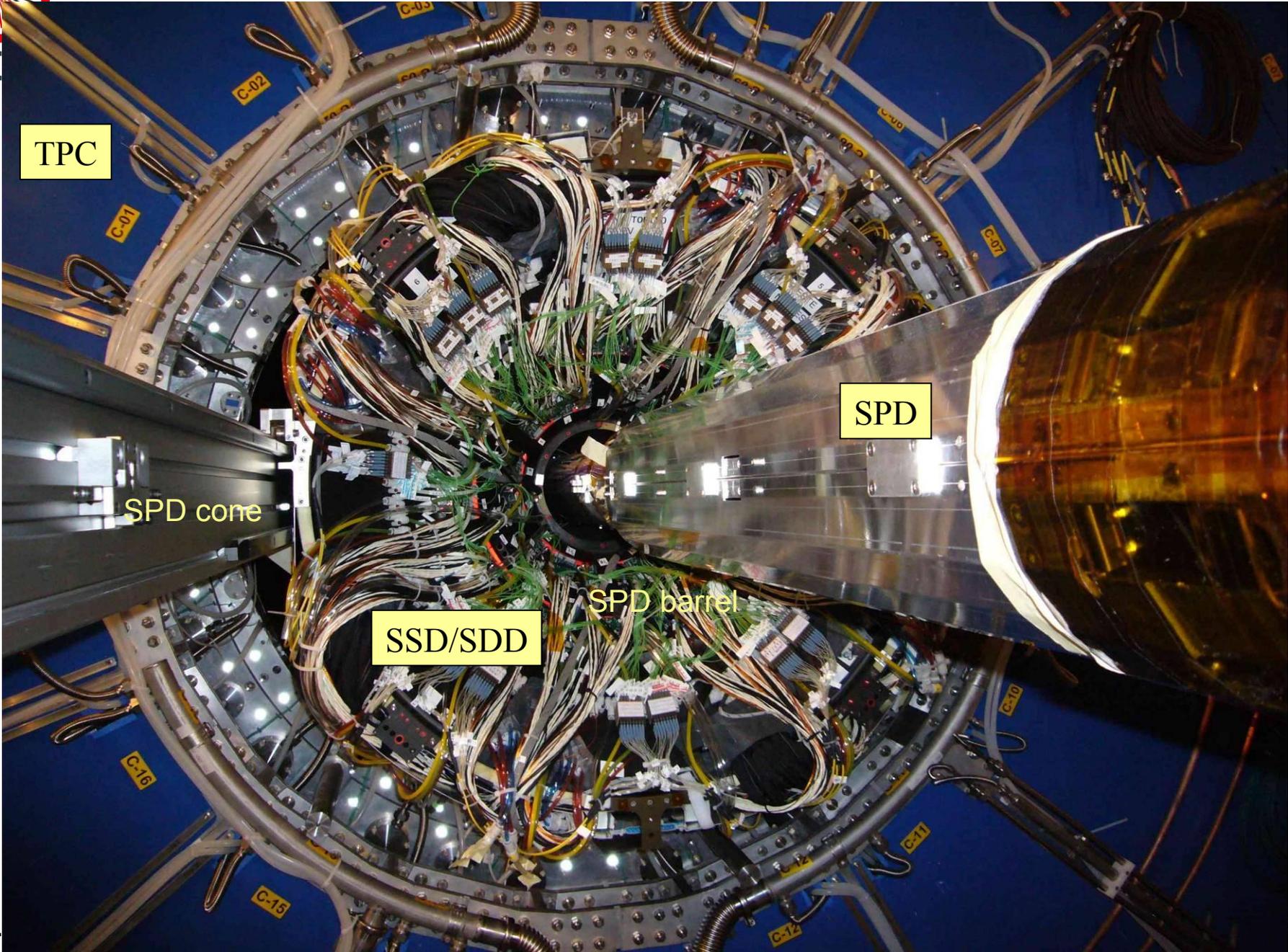
$2 \cdot 10^{12}$ K



Russian Dolls I: Moving of the ITS over the SPD

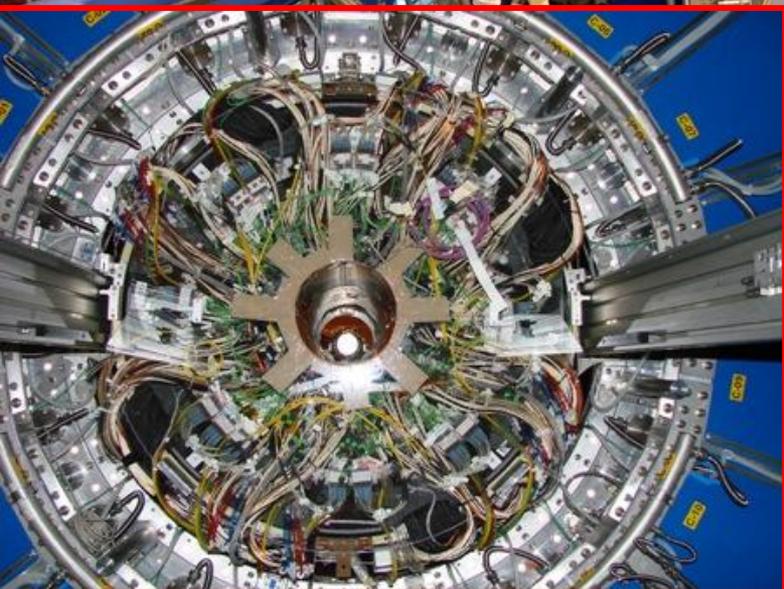
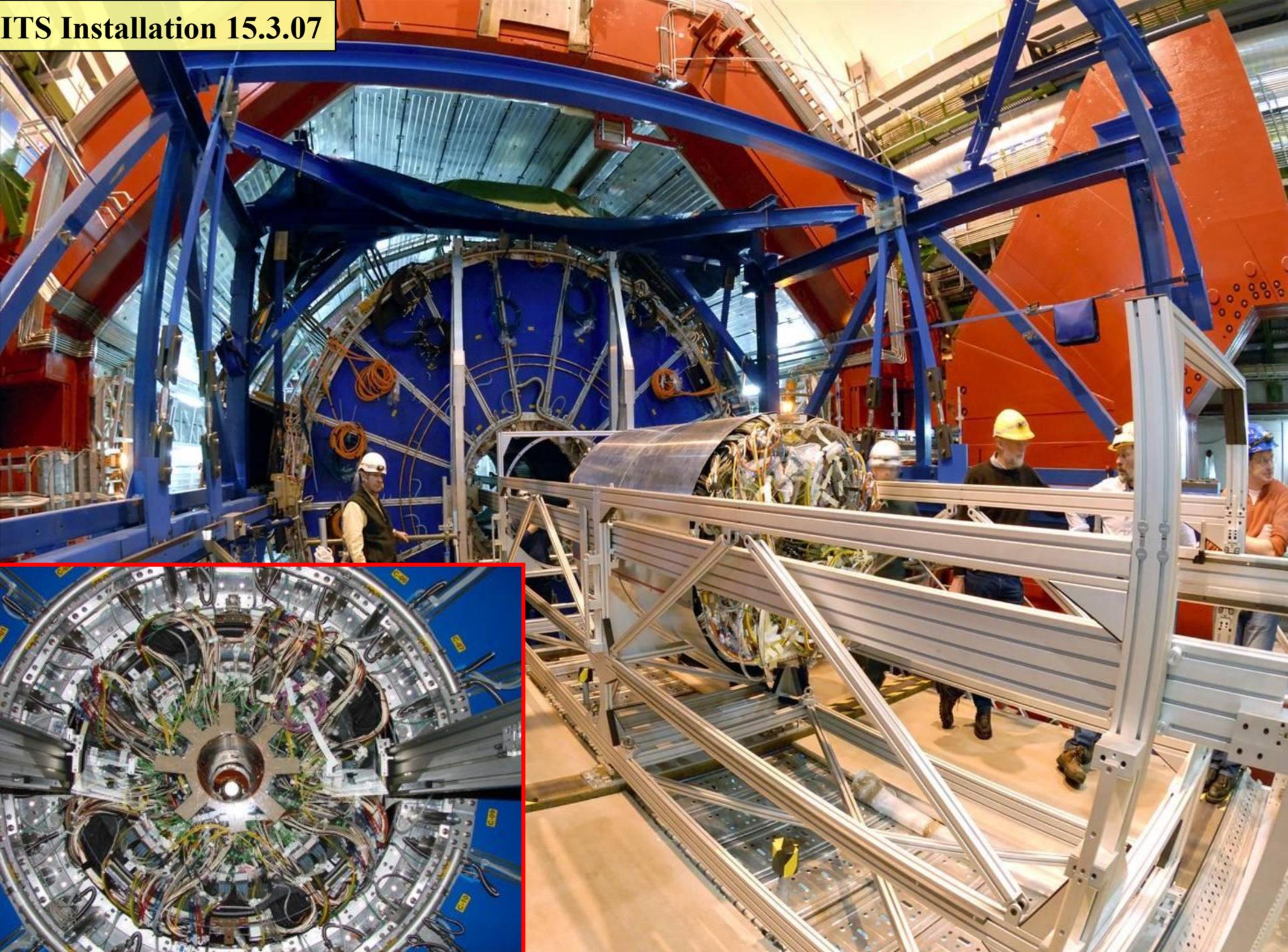


ALICE



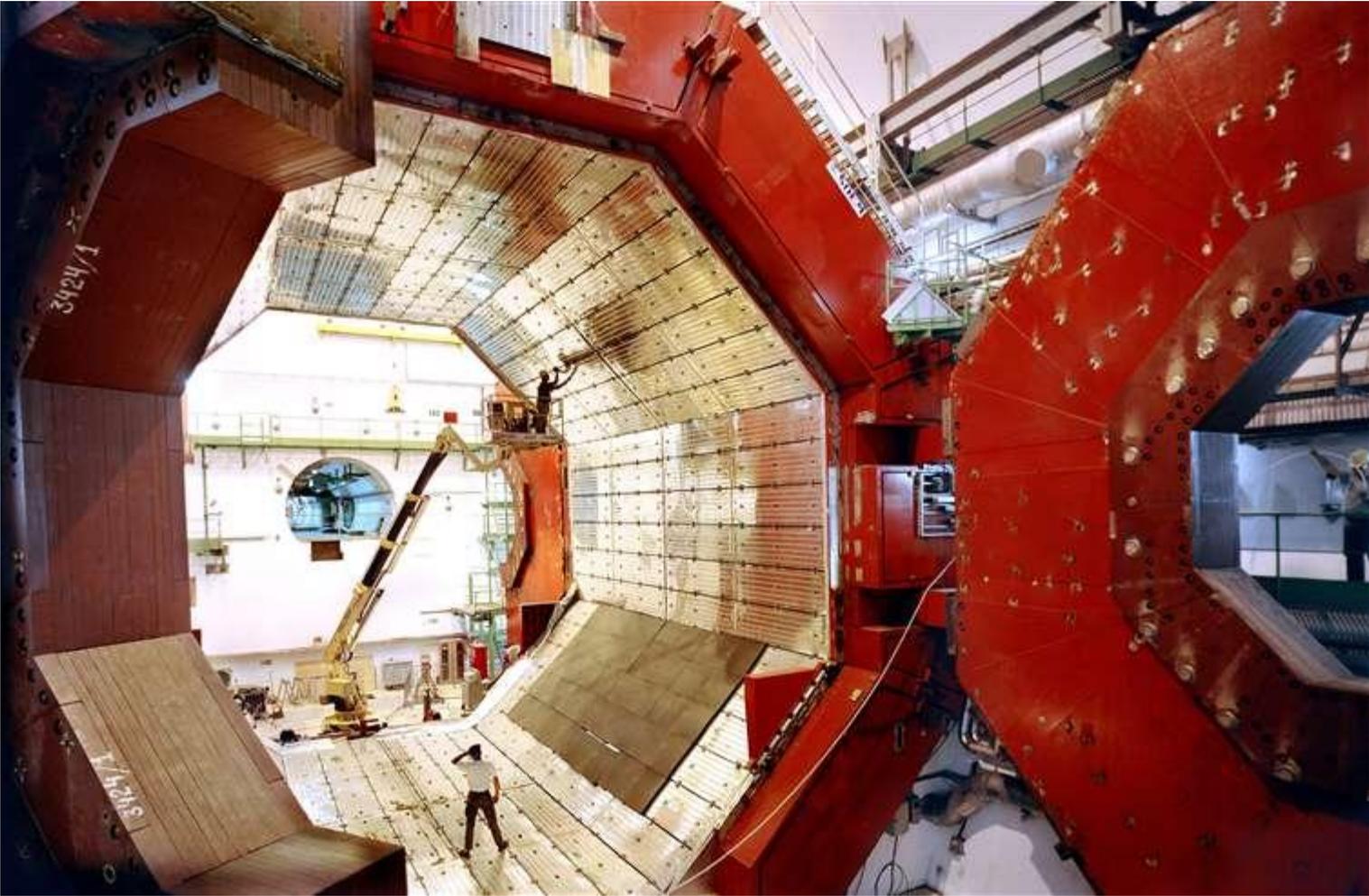
1.4.

ITS Installation 15.3.07





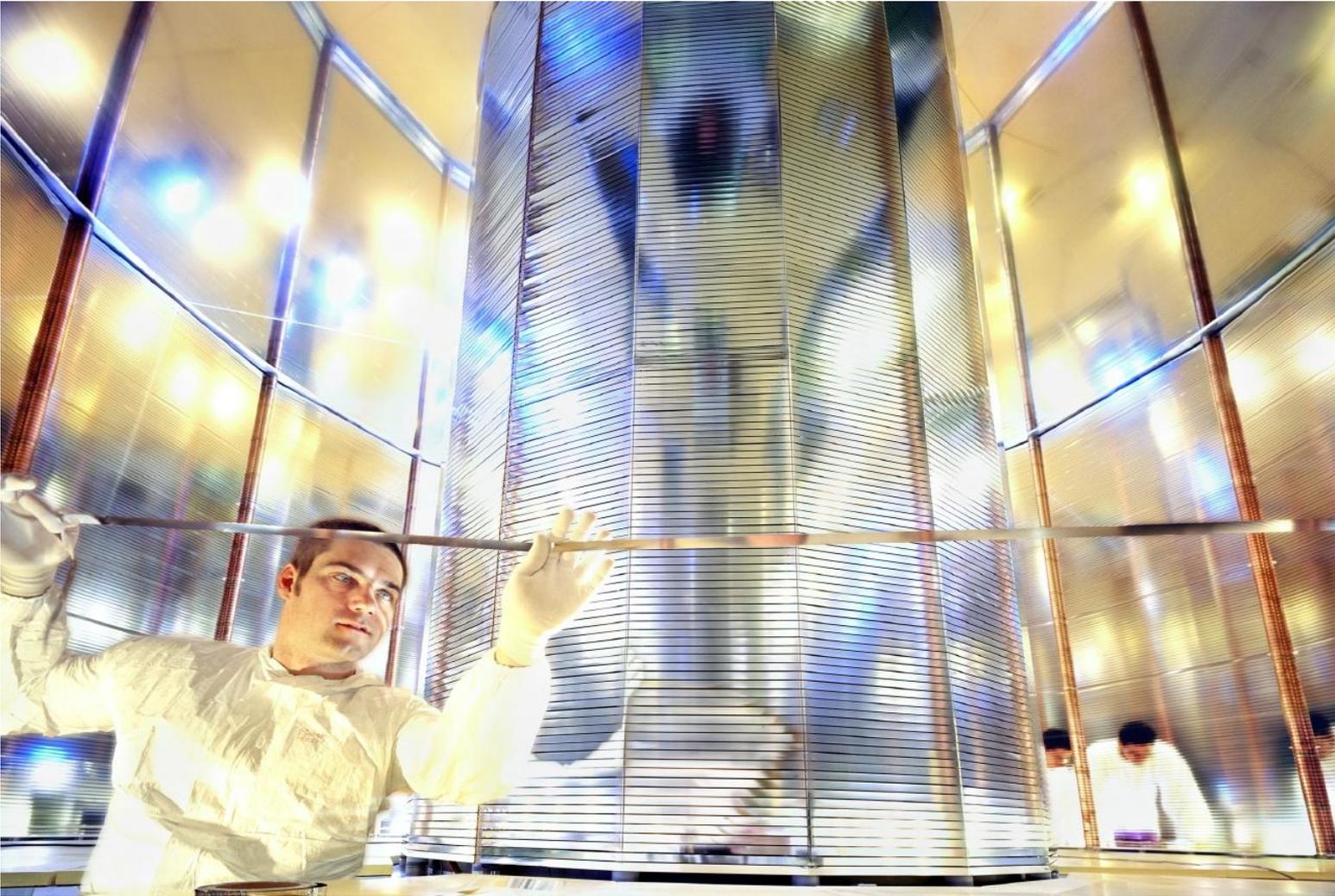
ALICE



The "L3" Magnet



ALICE







L3 Magnet





ALICE

Readout Chamber Wire Geometry

gate wires
cathodes
anodes
pads

