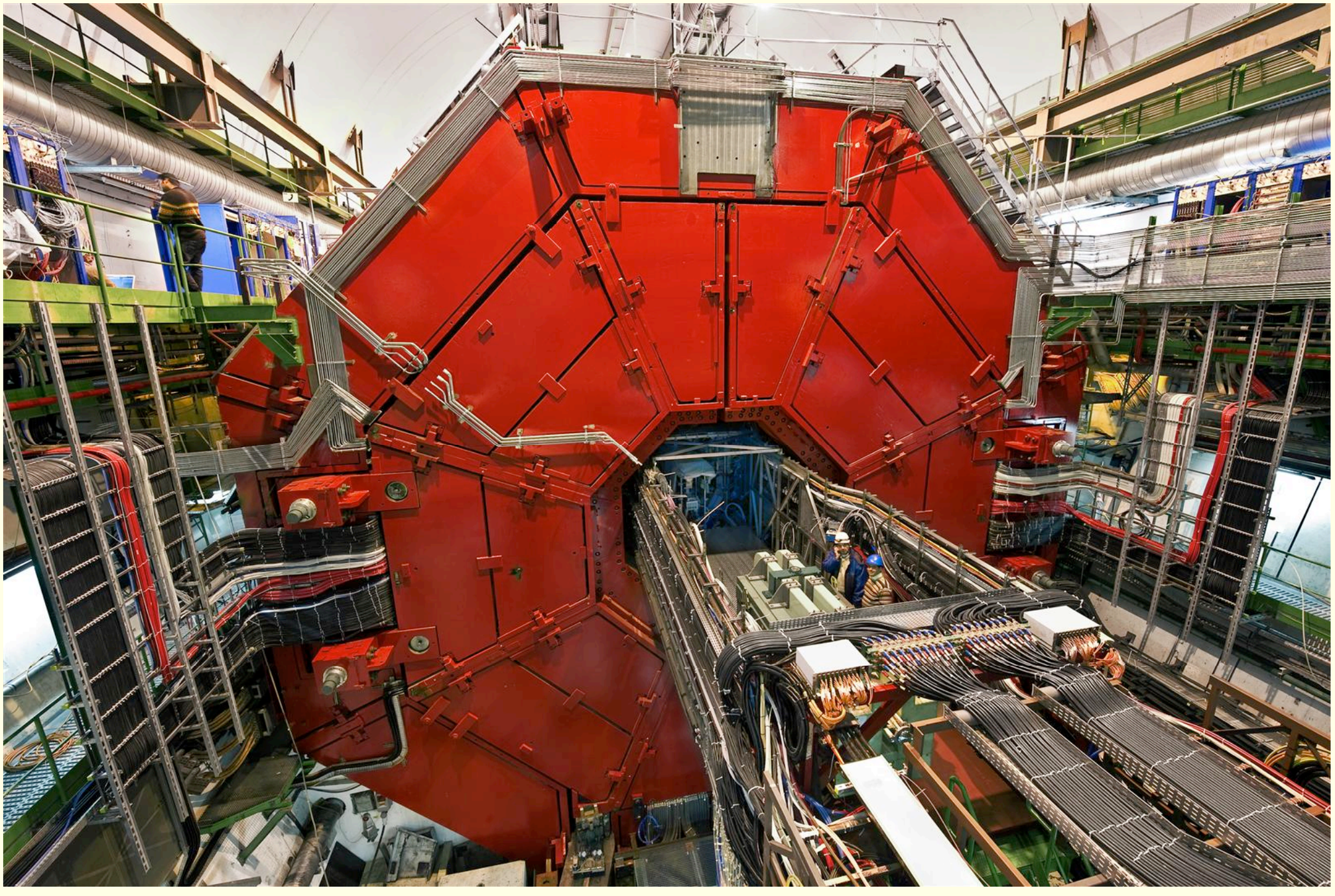
Quarks, Gluonen und das Quark-Gluon-Plasma: Das ALICE-Experiment am LHC

PIzzA-Night

14. Dezember 2009

PD Dr. Klaus Reygers, Physikalisches Institut

Das einzige LHC-Experiment, das auf die Untersuchung von Kern-Kern-Kollisionen spezialisiert ist: ALICE



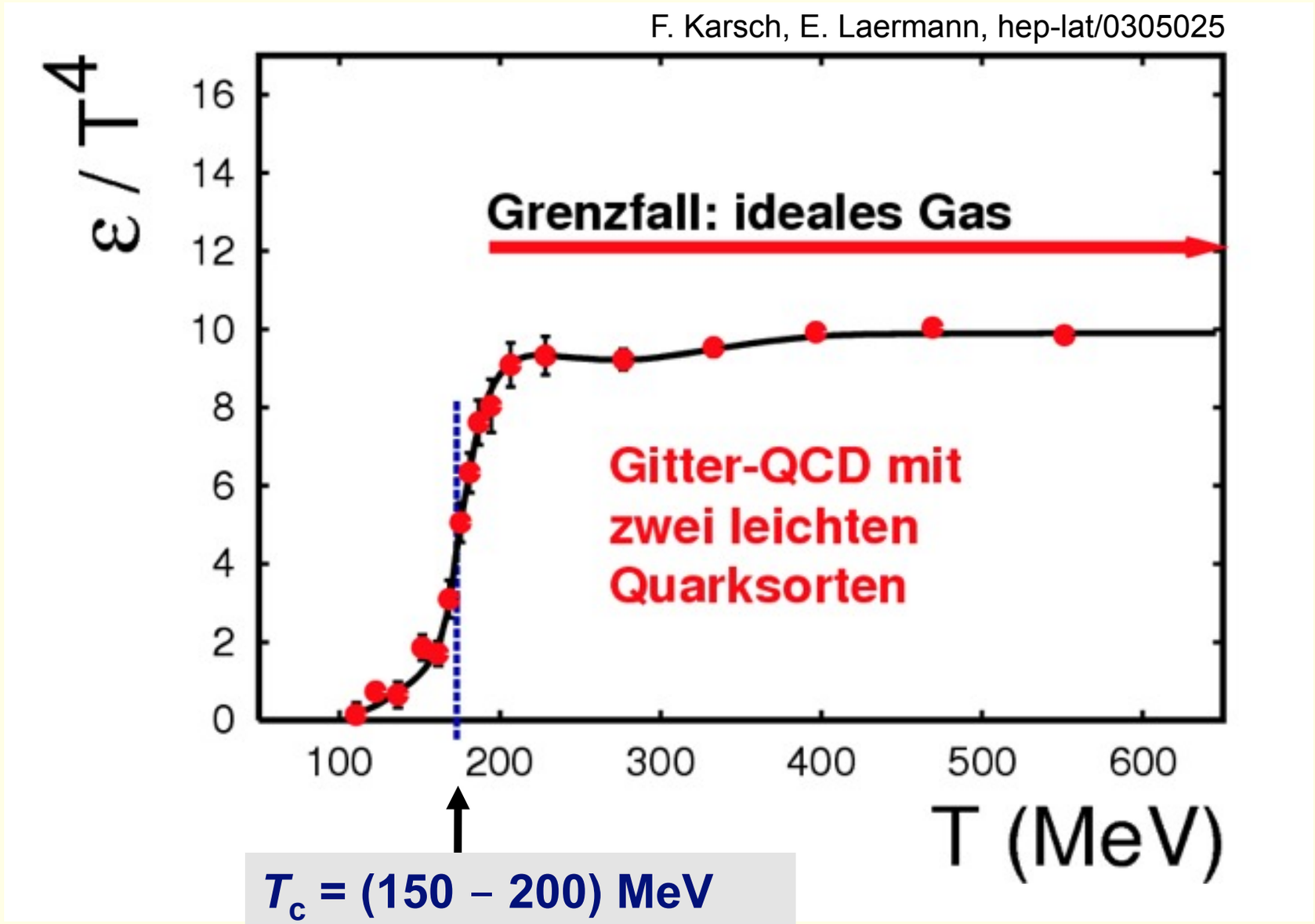
Hauptziel: Nachweis und Charakterisierung des Quark-Gluon-Plasmas
(Auch p+p-Physik, aber nicht Higgs, Susy und Co.)

Quantenchromodynamik (QCD)

- QCD = fundamentale Theorie der starken Wechselwirkung
- Elementare Teilchen der QCD: Quarks und Gluonen (= Teilchen mit Farbladung)
- In der Natur: nur Teilchen mit Netto-Farbladung null (Hadronen)
- Vorhersage der QCD: Einschluss der Quarks in Hadronen wird bei hohen Temperaturen aufgehoben (Quark-Gluon-Plasma)



QCD-Vorhersage: Übergang vom Hadronengas zum Quark-Gluon-Plasma bei T = 150 - 200 MeV



T_c = (150 – 200) MeV

$\varepsilon_c \approx$ 0.7 GeV/fm^3

Stefan-Boltzmann-Gesetz:

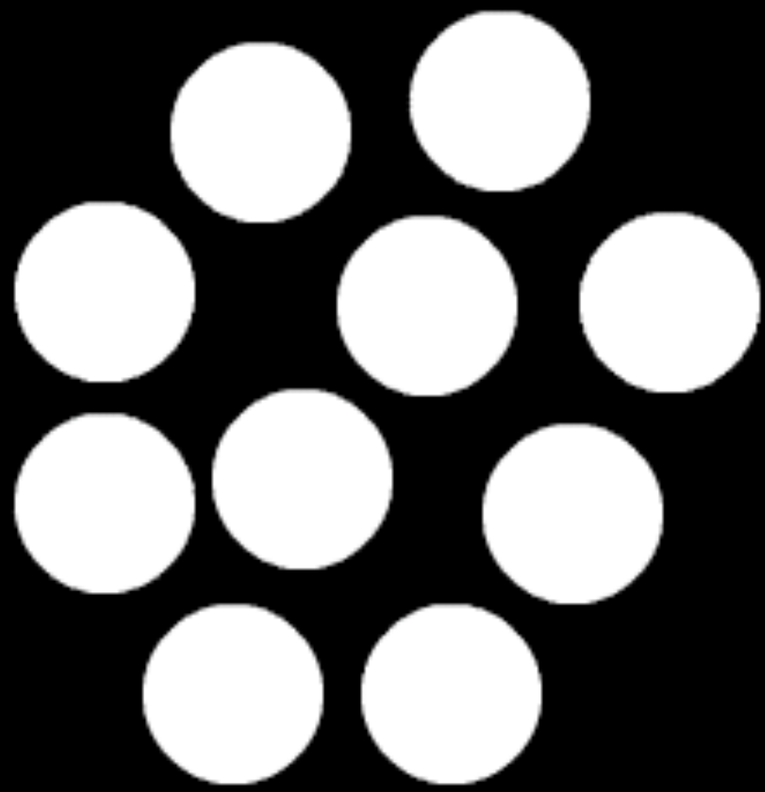
$$\varepsilon = k \cdot T^4$$

Energiedichte $\varepsilon = E / V$

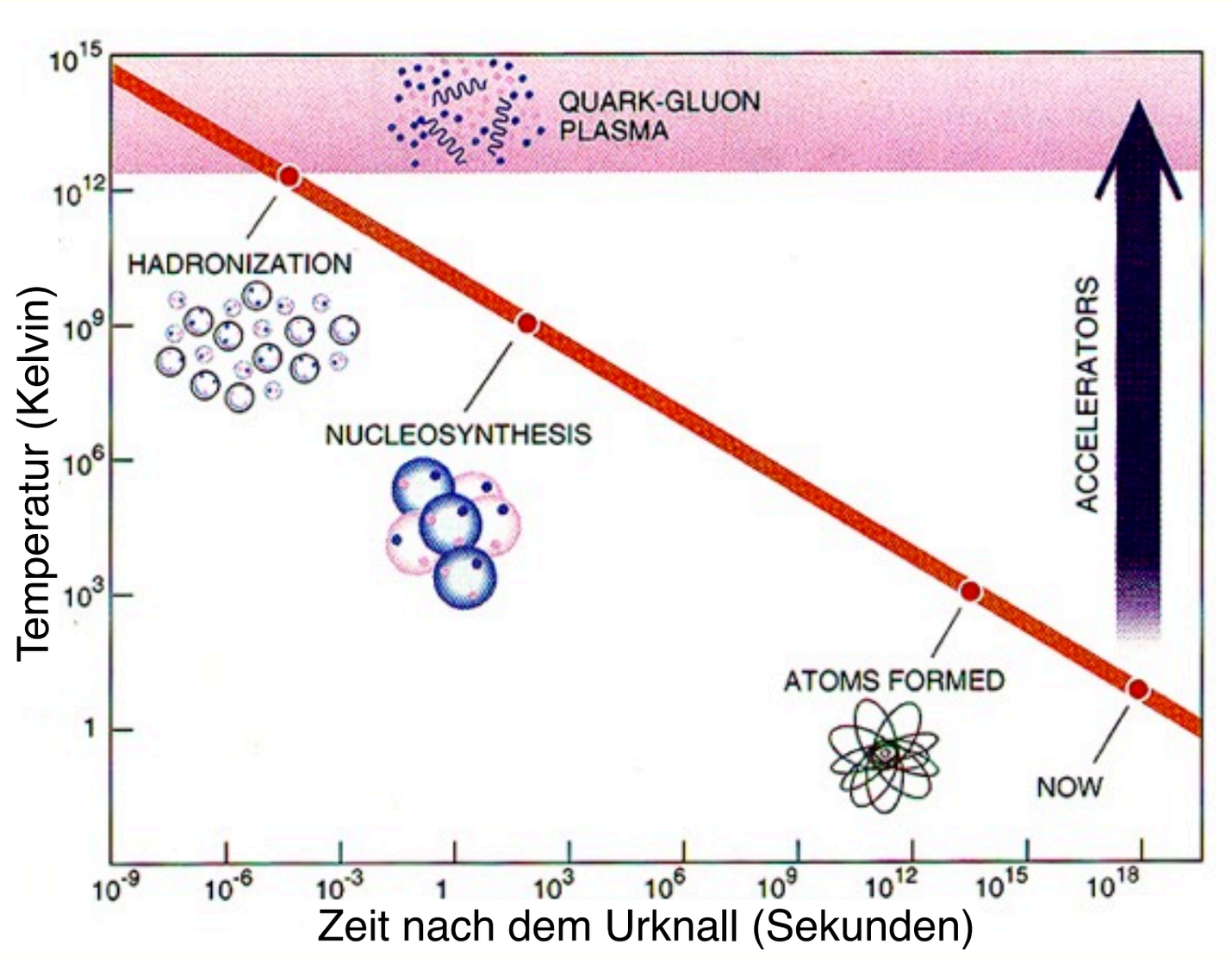
Temperatur

Maß für Anzahl der Freiheitsgrade

Quark-Gluon-Plasma

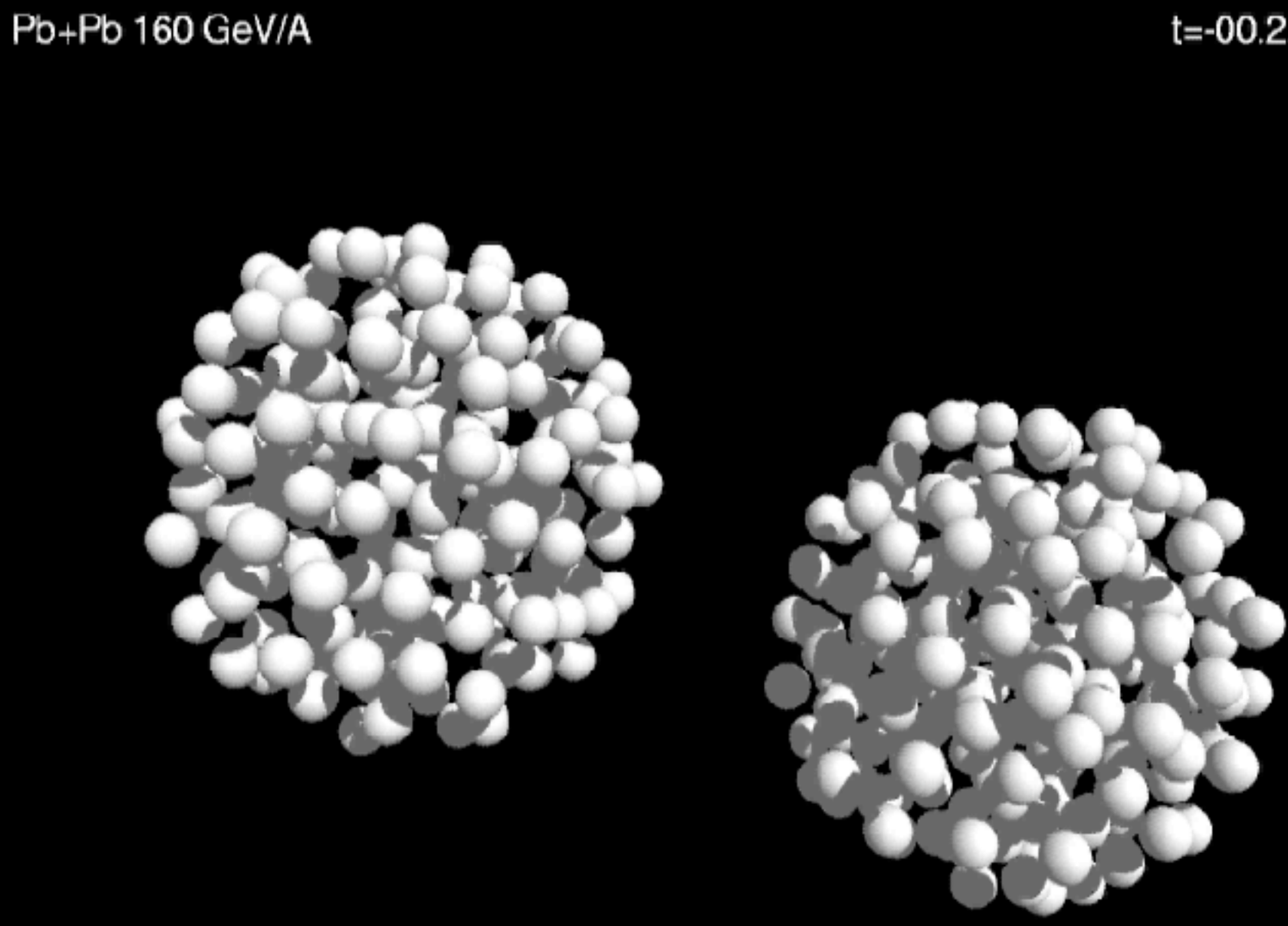


Kern-Kern-Kollisionen: „Mini-Urknall im Labor“

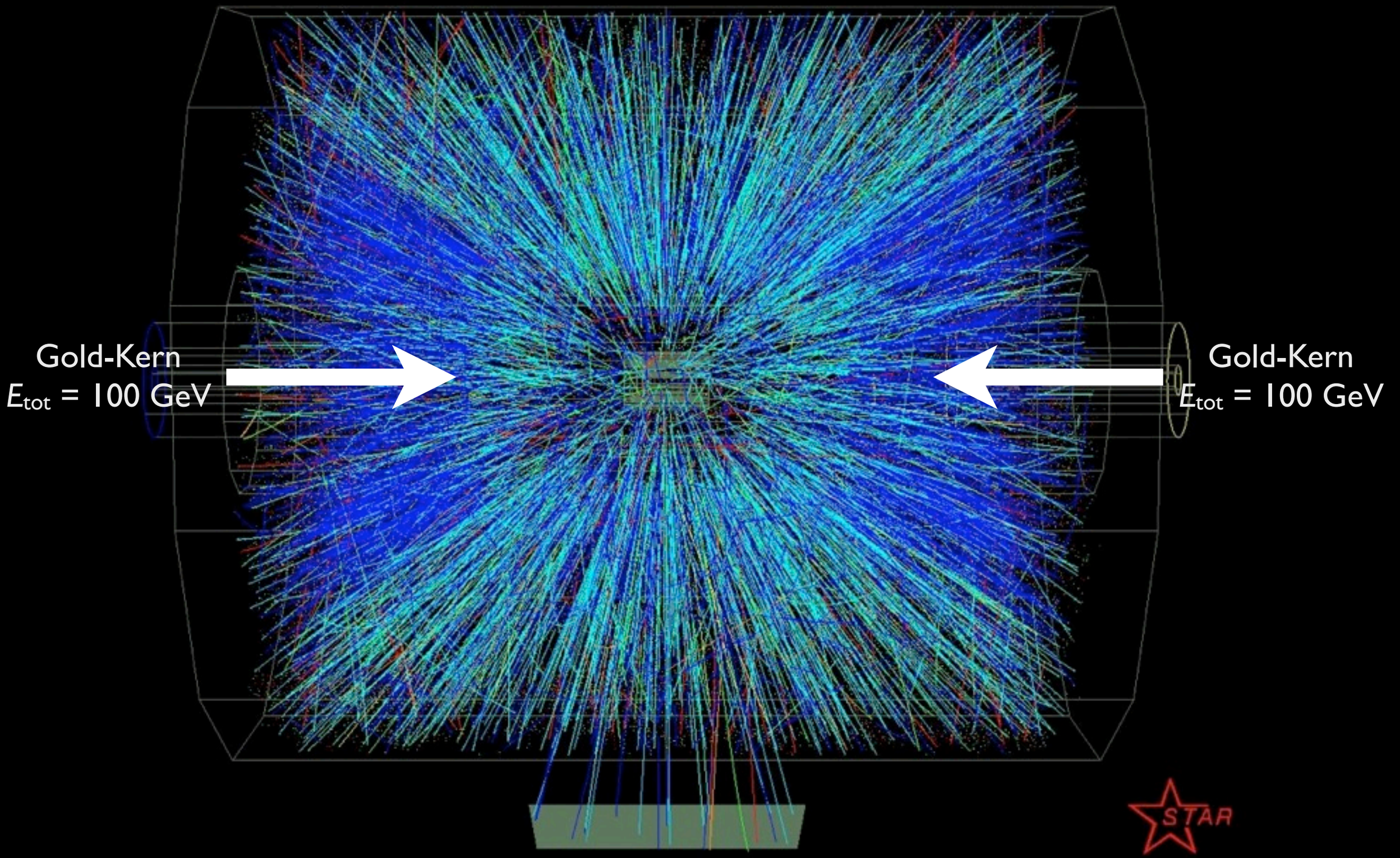


- Übergang vom Quark-Gluon-Plasma zu einem Gas aus Hadronen bei ~ 10^{12} °C
- 100 000 mal heißer als im Inneren der Sonne
- Frühes Universum: QGP → Hadronengas einige Mikrosekunden nach dem Urknall

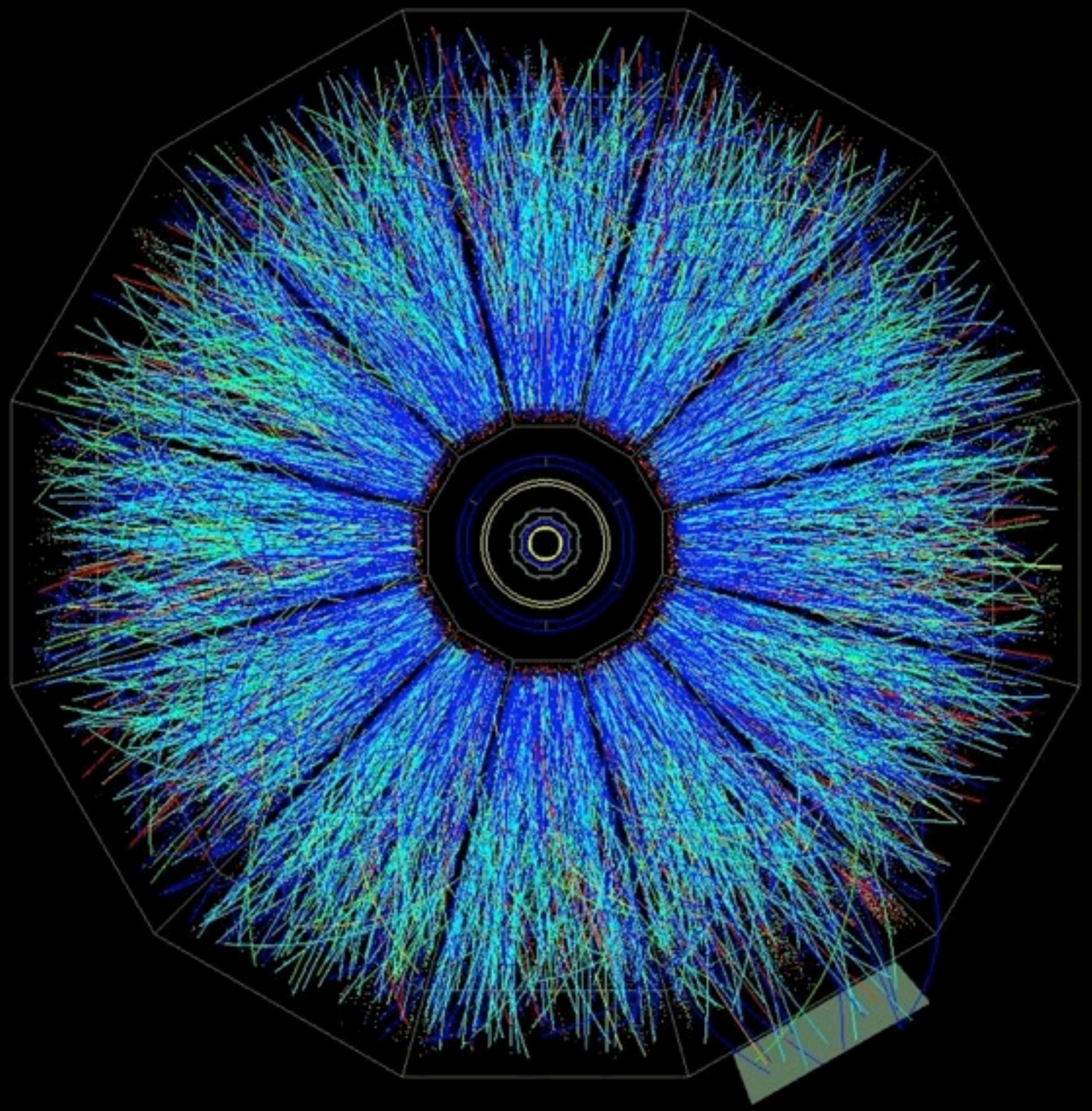
Ultra-Relativistische Schwerionenkollision



Au+Au-Kollision am Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) in den USA (seit 2000)

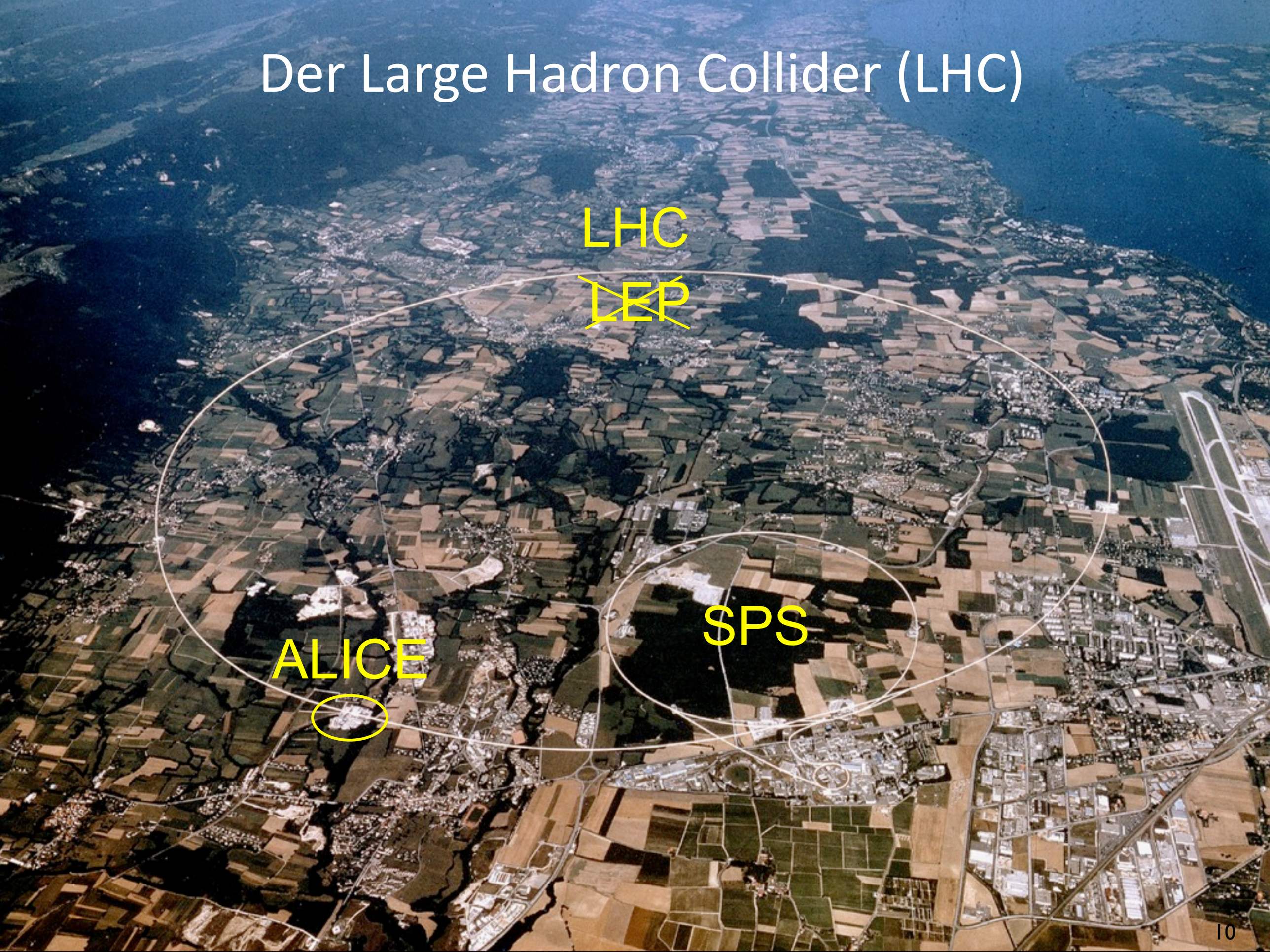


Au+Au-Kollision am Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) in den USA (II)

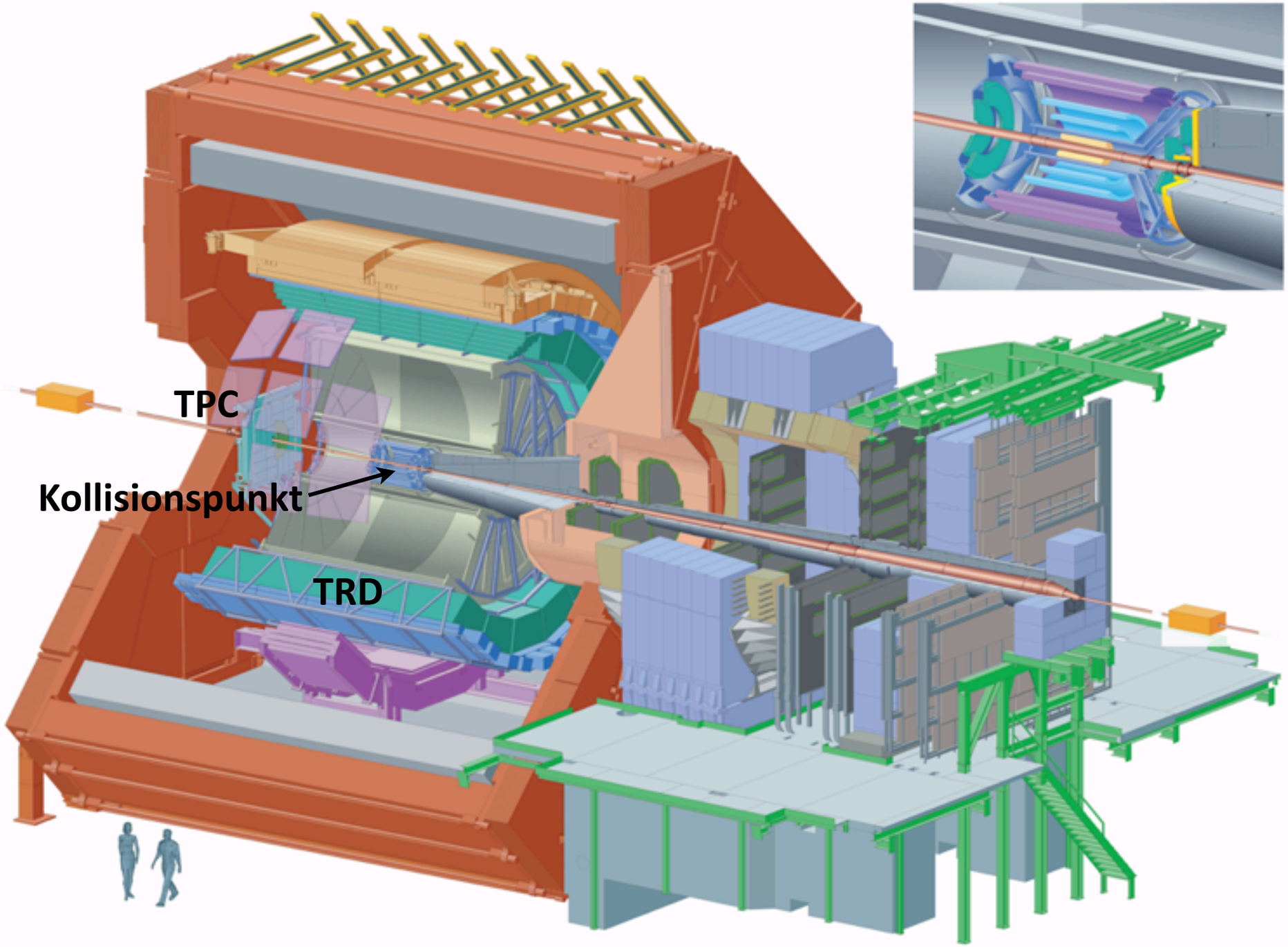


- Bis zu 6000 geladene Teilchen (Au+Au bei 200 GeV)
- Aus den gemessenen Teilchen müssen die Eigenschaften des Quark-Gluon-Plasmas rekonstruiert werden
- RHIC:
  Sehr starke Indizien für die Erzeugung eines Quark-Gluon-Plasmas

Der Large Hadron Collider (LHC)



Das ALICE-Experiment: Überblick



- 18 Detektor-systeme
- ~ 10 000 t
- > 1000 Mitarbeiter
- p+p bis zu 14 000 GeV
- Pb+Pb bis zu 5500 GeV
- Erste p+p-Kollision: 23. Nov. 2009
- Pb+Pb: Ende 2010

Schwerpunkt der deutschen Gruppen (einschl. Heidelberg):
Zeitprojektionskammer (TPC) und Übergangsstrahlungsdetektor (TRD)

BMBF Forschungsschwerpunkt ALICE Experiment 201

Deutsche Beteiligung an ALICE

TU Darmstadt	Oeschler	U. Frankfurt	Appelshäuser, Blume
GSI Darmstadt	Braun-Munzinger		
U. Heidelberg PI	Herrmann, Reygers, Schweda, Stachel		
U. Heidelberg KIP	Kebschull, Lindenstruth		
FH Köln	Hartung	U. Münster	Wessels
FH Worms	Keitel		

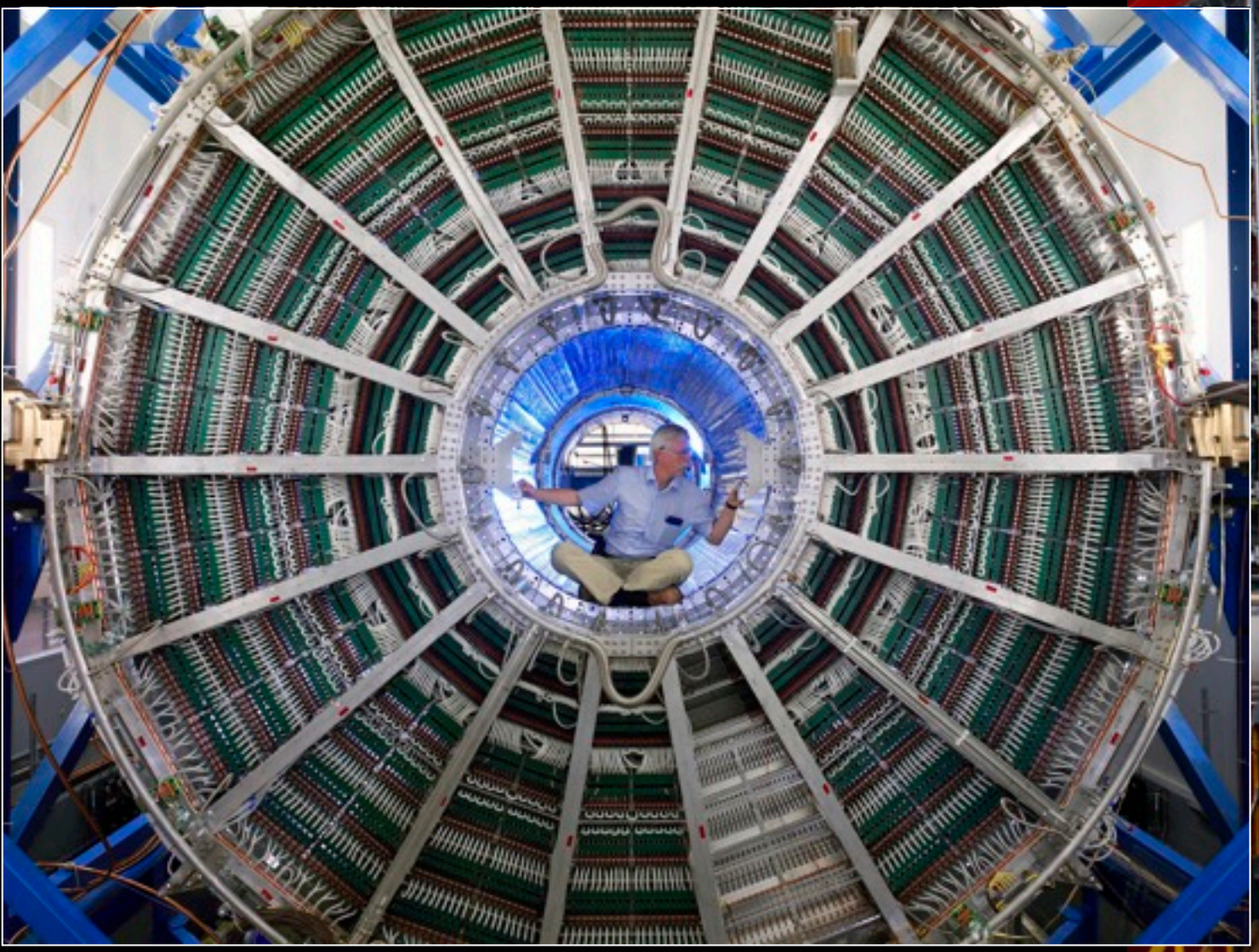
Große Verantwortung für zentrale Komponenten des Experiments:

- **Time Projection Chamber TPC**: Projektleiter P. Braun-Munzinger (GSI), ehem. Tech. Koord. P. Glässel (PI Uni Heidelberg)
- **Transition Radiation Detector TRD**: Projektleitung J. Stachel (PI Uni Heidelberg, Tech. Koord. K. Oyama (U. Heidelberg)
- **High Level Trigger HLT**: Projektleitung V. Lindenstruth (ehemals KIP U. Heidelberg) /D. Röhrich (U. Bergen)

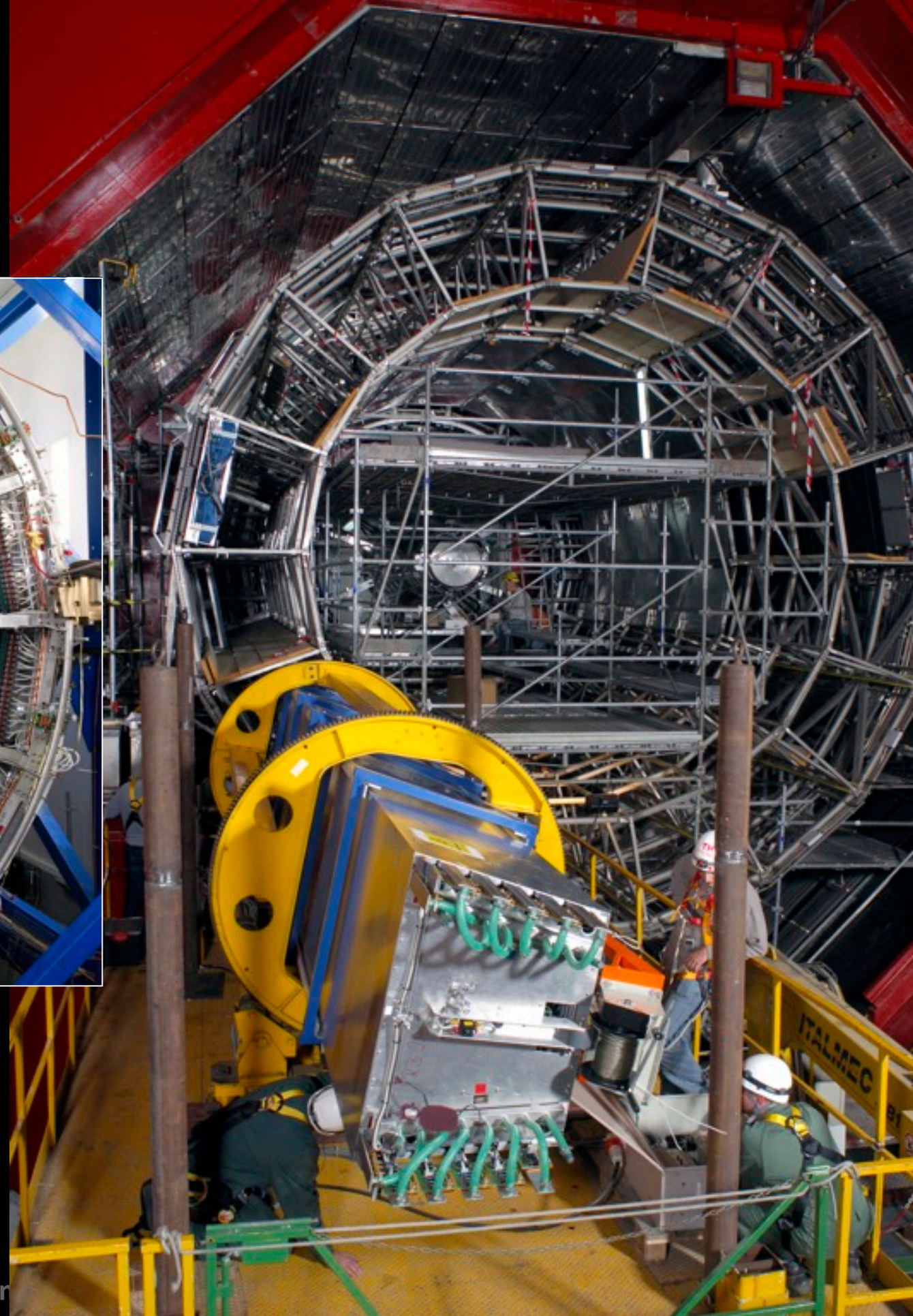
die Projekte oben werden größtenteils aus Deutschland finanziert
deutsche Investitionsmittel ca. 18 M Euro
500 Mann-Jahre

etwa 1/5 von ALICE

TPC und TRD

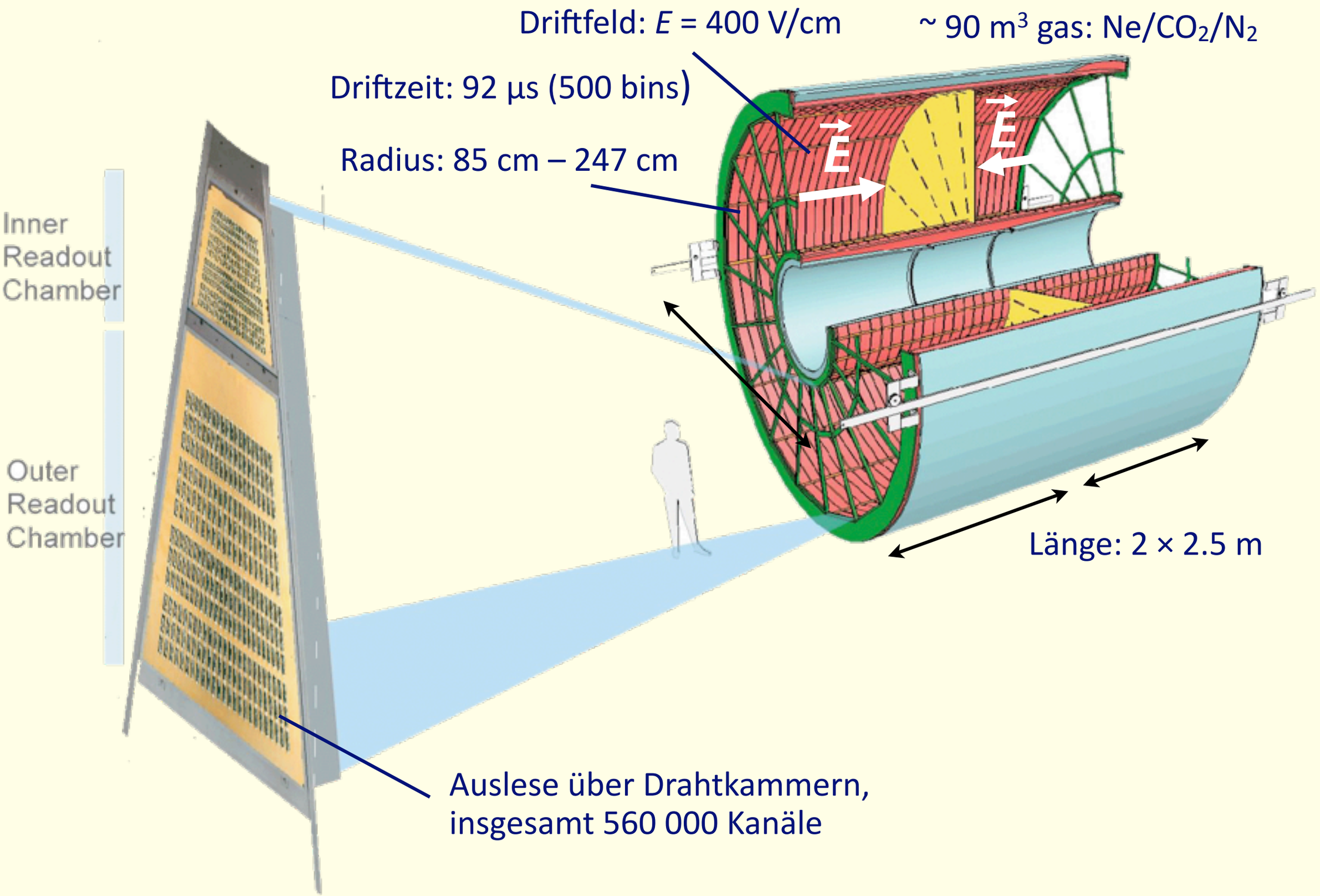


Zeitprojektionskammer (TPC)



Einbau des ersten
TRD-Supermoduls
(Oktober 2006)

Die ALICE-TPC:
Die weltgrößte Zeitprojektionskammer (TPC)



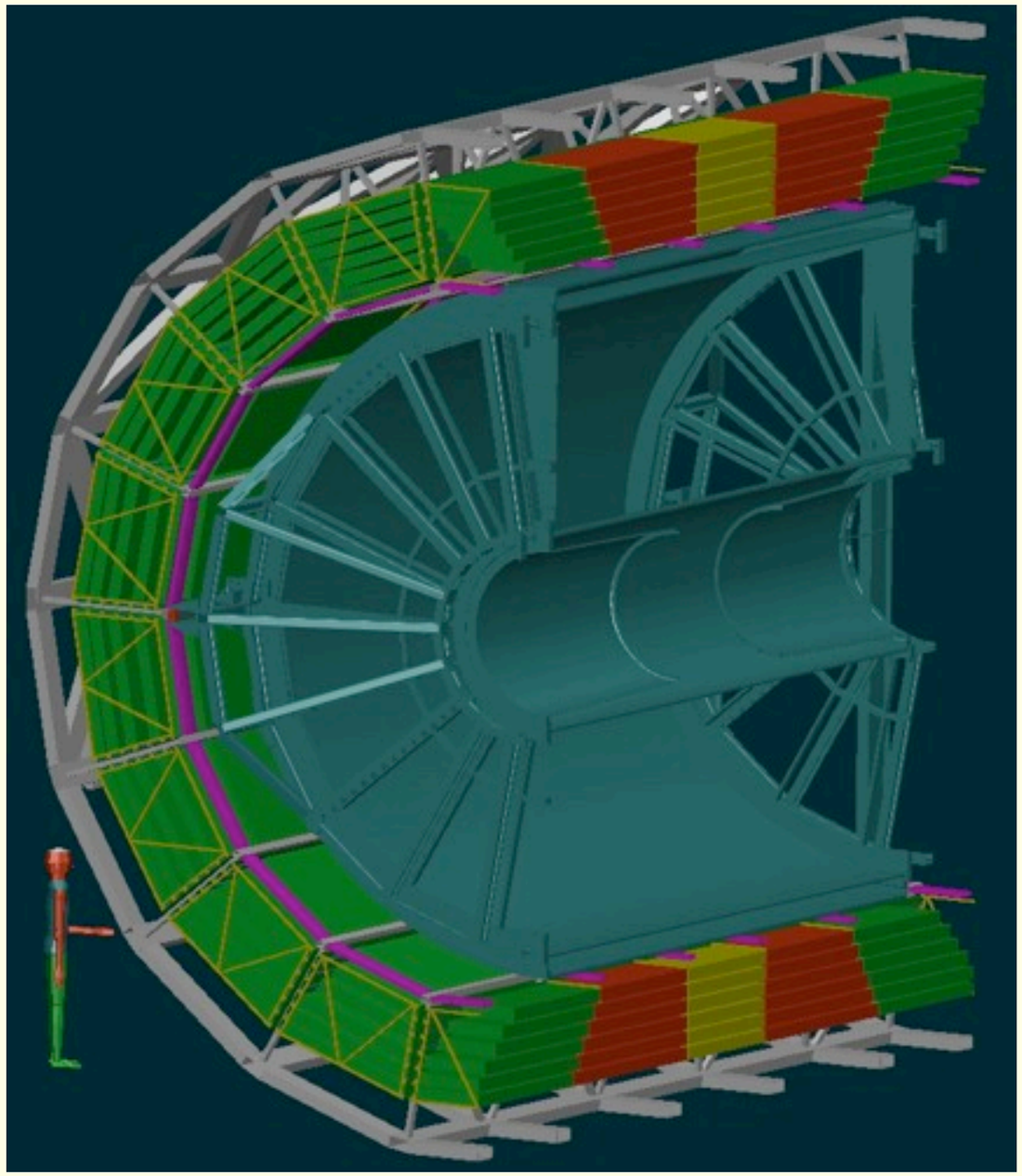
Innenansicht der TPC

Der Übergangsstrahlungsdetektor (TRD)

task: electron id by TR
J/ψ, ϒ → e^+ e^-
D, B → e + anything (semi-leptonic)
trigger on high p_t electrons

- **540 chambers /18 supermodules**
- **total area:** 694 m^2
- **gas volume:** 25.8 m^3 ($Xe\text{-}CO_2$)
- **resolution (rϕ):** 400 µm
- **trigger:** 275 000 CPUs, 6.5µs /event

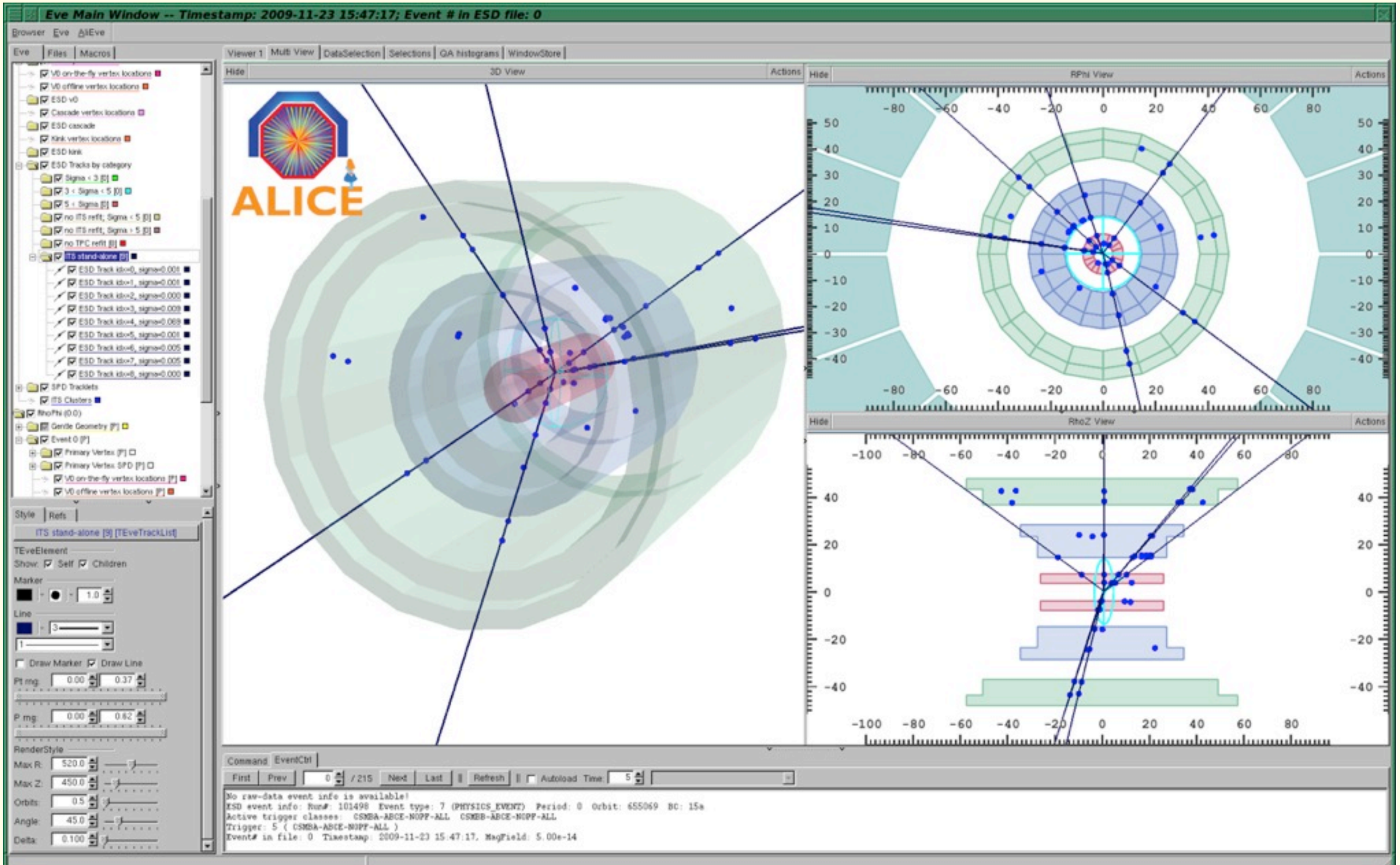
– chamber production finished
– 7 supermodules in 2009
– completion 2010



90% funded by Germany: GSI, Univ. DA, HD, FRA, MS, FH Cologne, Worms

TRD-Supermodul

23.11.2009: Erste p+p-Kollision bei 900 GeV (I)



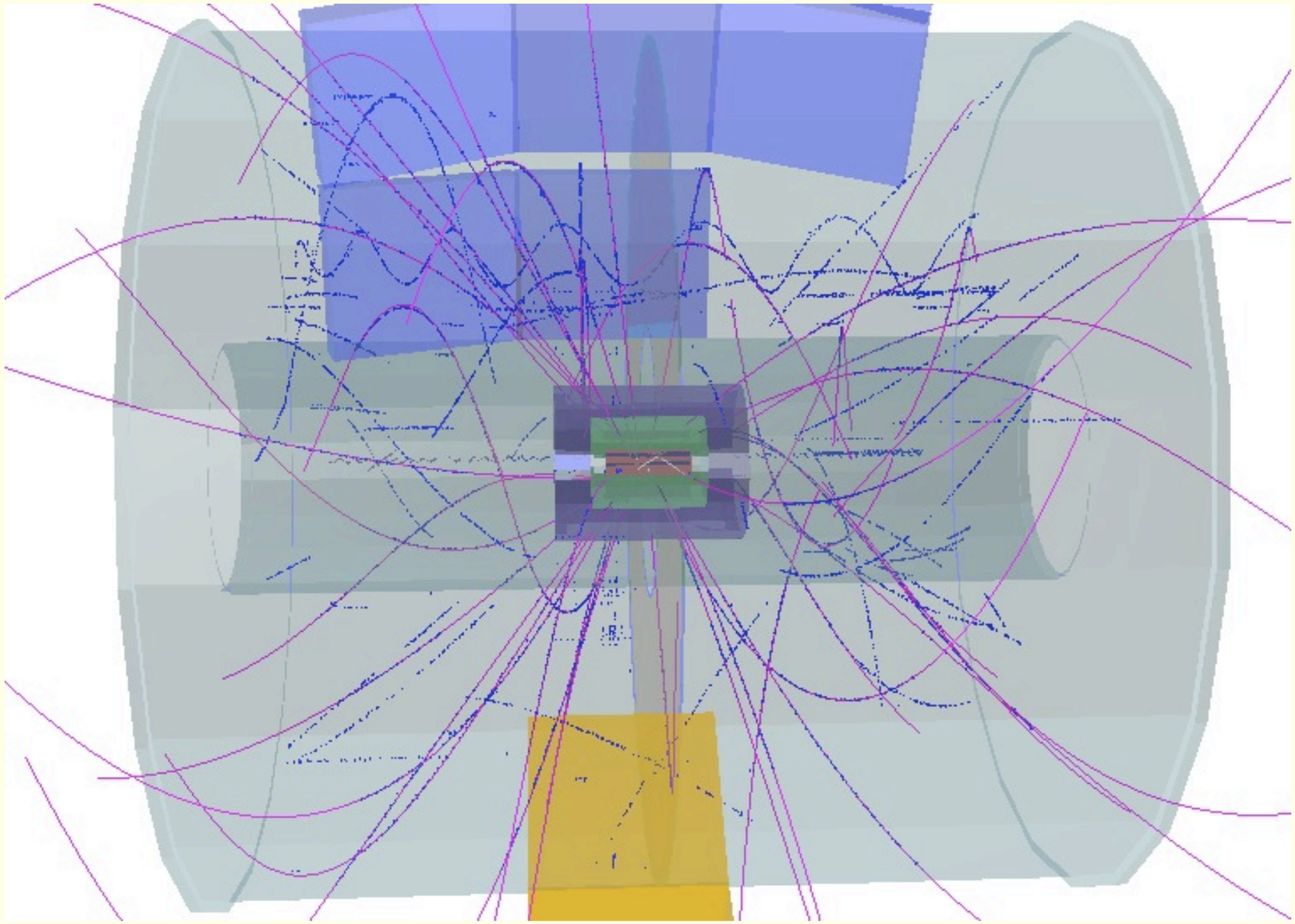
23.11.2009: Erste p+p-Kollision bei 900 GeV (II)



23.11.2009: Erste p+p-Kollision bei 900 GeV (III)

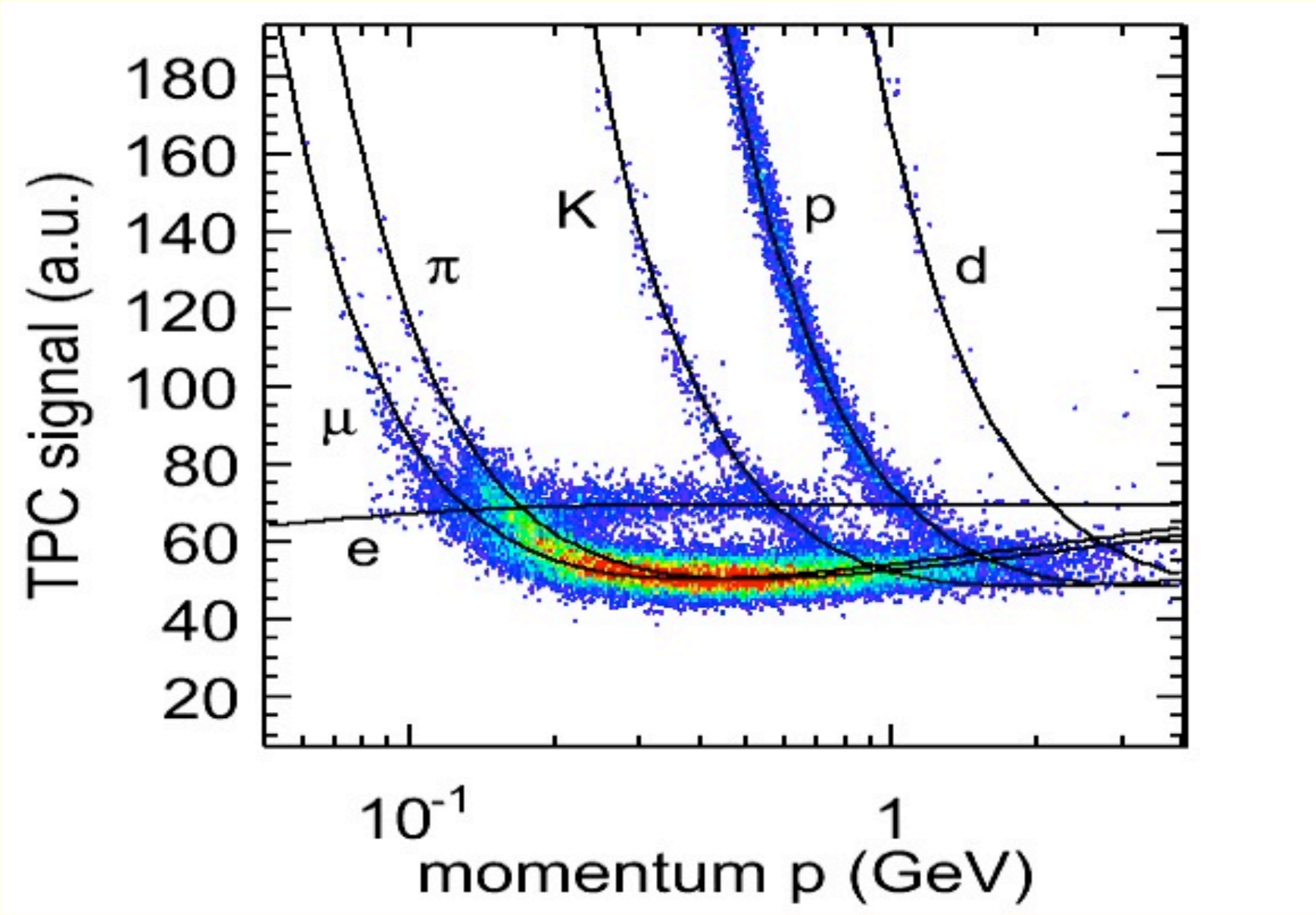


Eine p+p-Kollisionen bei 900 GeV Schwerpunktsenergie



p+p bei 900 GeV:
Teilchenidentifikation in der TPC über Energieverlust

excellent particle identification in TPC via dE/dx



Erste Veröffentlichung mit LHC-Daten: Eingereicht am 27.11.2009, akzeptiert am 1.12.2009

EPJ manuscript No.
(will be inserted by the editor)

First proton–proton collisions at the LHC as observed with the ALICE detector: measurement of the charged particle pseudorapidity density at $\sqrt{s} = 900$ GeV

ALICE collaboration

K. Aamodt[78], N. Abel[43], U. Abeysekara[30], A. Abrahantes Quintana[42], A. Acero[63], D. Adamová[86], M.M. Aggarwal[25], G. Aglieri Rinella[40], A.G. Agocs[18], S. Aguilar Salazar[66], Z. Ahammed[55], A. Ahmad[2], N. Ahmad[2], S.U. Ahn[50a], R. Akimoto[100], A. Akindinov[68], D. Aleksandrov[70], B. Alessandro[102], R. Alfaro Molina[66], A. Alici[13], E. Almaráz Aviña[66], J. Alme[8], T. Alt[43b], V. Altini[6], S. Altinpinar[32], C. Andrei[17], A. Andronic[32], G. Anelli[40], V. Angelov[43c], C. Anson[27], T. Antičić[113], F. Antinori[40d], S. Antinori[13], K. Antipin[37], D. Antończyk[37], P. Antonioli[14], A. Anzo[66], L. Aphecetche[75], H. Appelshäuser[37], S. Arcelli[13], R. Arceo[66], A. Arend[37], N. Armesto[92], R. Arnaldi[102], T. Aronsson[74], I.C. Arsene[78e], A. Asryan[98], A. Augustinus[40], R. Averbeck[32], T.C. Awes[76], J. Äystö[49], M.D. Azmi[2], S. Bablok[8], M. Bach[36], A. Badalà[24], Y.W. Baek[50f], S. Bagnasco[102], R. Bailhache[32g], R. Bala[101], A. Baldisseri[89], A. Baldit[26], J. Bán[58], R. Barbera[23], G.G. Barnaföldi[18], L. Barnby[12], V. Barret[26], J. Bartke[29], F. Barile[5], M. Basile[13], V. Basmanov[94], N. Bastid[26], B. Bathen[72], G. Batigne[75], B. Batyunya[35], C. Baumann[72h], I.G. Bearden[28], B. Becker[20i], I. Belikov[99], R. Bellwied[34], E. Belmont-Moreno[66], A. Belogianni[4], L. Benhabib[75], S. Beolé[101], I. Berceanu[17], A. Bercuci[32j], E. Berdermann[32], Y. Berdnikov[39], L. Betev[40], A. Bhasin[48], A.K. Bhati[25], L. Bianchi[101], N. Bianchi[38], C. Bianchin[79], J. Bielčík[81], J. Bielčíková[86], A. Bilandzic[3], L. Bimbot[77], E. Biolcati[101], A. Blanc[26], F. Blanco[23k], F. Blanco[63], D. Blau[70], C. Blume[37], M. Boccioli[40], N. Bock[27], S. Böttger[43], A. Bogdanov[69], H. Bøggild[28], M. Bogolyubsky[83], J. Bohm[96], L. Boldizsár[18], M. Bombara[12l], C. Bombonati[79m], M. Bondila[49], H. Borel[89], V. Borshchov[51], C. Bortolin[79], S. Bose[54], L. Bosisio[103], F. Bossú[101], M. Botje[3], G. Bourdaud[75], B. Boyer[77], M. Braun[98], P. Braun-Munzinger[32,33n], L. Bravina[78], M. Bregant[103o], T. Breitner[43], G. Bruckner[40], R. Brun[40], E. Bruna[74], G.E. Bruno[5], D. Budnikov[94], H. Buesching[37], K. Bugaev[52], P. Buncic[40], O. Busch[44], Z. Buthelezi[22], D. Caffarri[79], X. Cai[111], H. Caines[74], E. Camacho[64], P. Camerini[103], M. Campbell[40], V. Canoa Roman[40], G.P. Capitani[38], G. Cara Romeo[14], F. Carena[40], W. Carena[40], F. Carminati[40], A. Casanova Díaz[38], M. Caselle[40], J. Castillo Castellanos[89], J.F. Castillo Hernandez[32], V. Catanescu[17], E. Cattaruzza[103], C. Cavicchioli[40], P. Cerello[102], V. Chambert[77], B. Chang[96], S. Chapeland[40], A. Charpy[77], J.L. Charvet[89], S. Chattopadhyay[54], S. Chattopadhyay[55], M. Cherney[30], C. Cheshkov[40], B. Cheynis[62], E. Chiavassa[101], V. Chibante Barroso[40], D.D. Chinellato[21], P. Chochula[40], K. Choi[85], M. Chojnacki[106], P. Christakoglou[106], C.H. Christensen[28], P. Christiansen[61], T. Chujo[105], F. Chuman[45], C. Cicalo[20], L. Cifarelli[13], F. Cindolo[14], J. Cleymans[22], O. Cobanoglu[101], J.-P. Coffin[99], S. Coli[102], A. Colla[40], G. Conesa Balbastre[38], Z. Conesa del Valle[75p], E.S. Conner[110], P. Constantin[44], G. Contin[103q], J.G. Contreras[64], Y. Corrales Morales[101], T.M. Cormier[34], P. Cortese[1], I. Cortés Maldonado[84], M.R. Cosentino[21],

und viele weitere Autoren ...

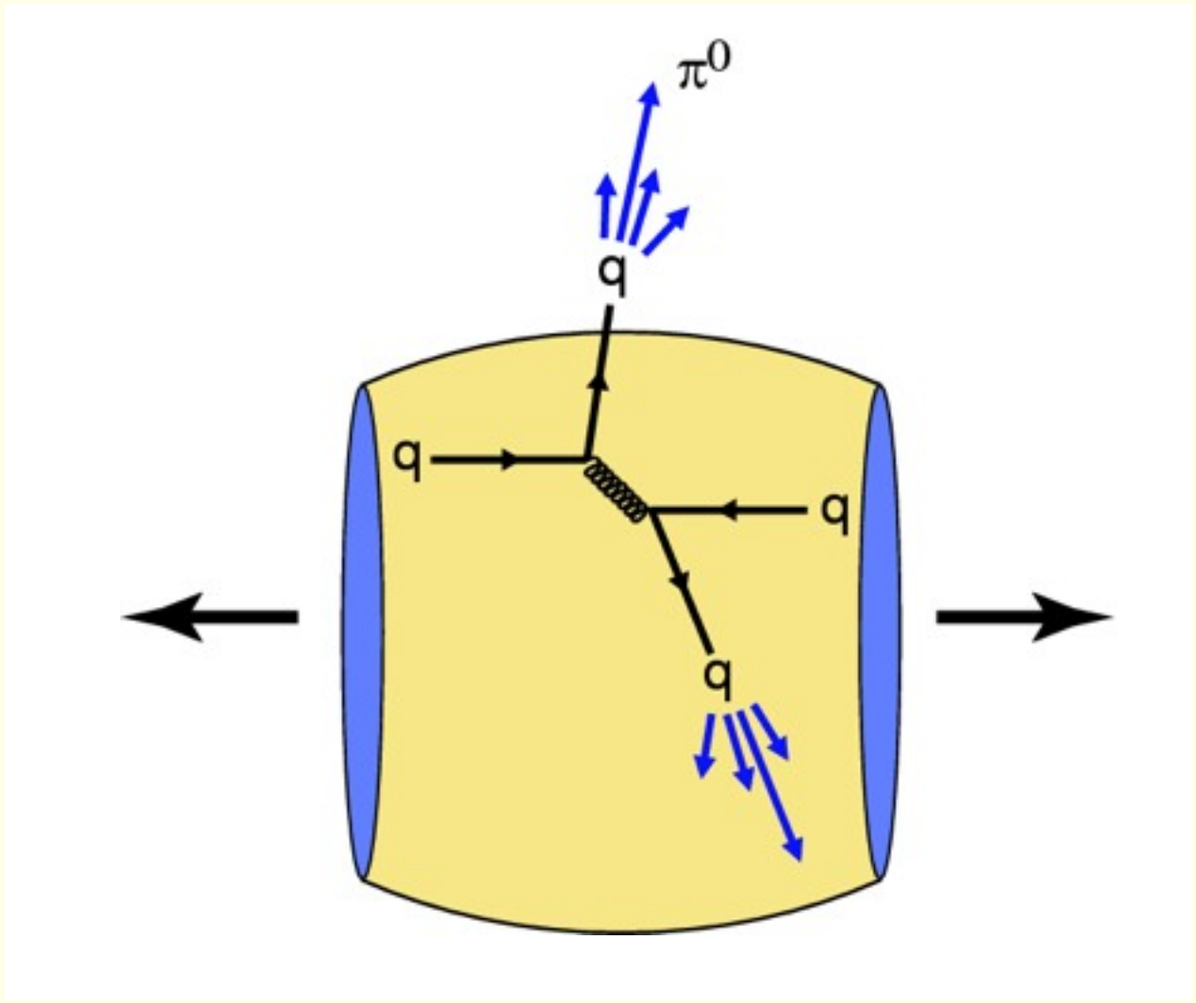
results based on 285 events from 45 min pp collisions at 23.11.2009

Forschungsschwerpunkte unserer Arbeitsgruppe

- Jet-Physik
  - Teilchenzusammensetzung
  - Jet-Quenching
- Physik schwerer Quarks (Charm- und Bottomquarks)
  - J/Ψ-Mesonen (geb. Charm-Anticharm-Zustände)
  - Produktion von Mesonen und Baryonen mit einem schweren Quark
- Messung von Photonen und neutralen Pionen über Konversion

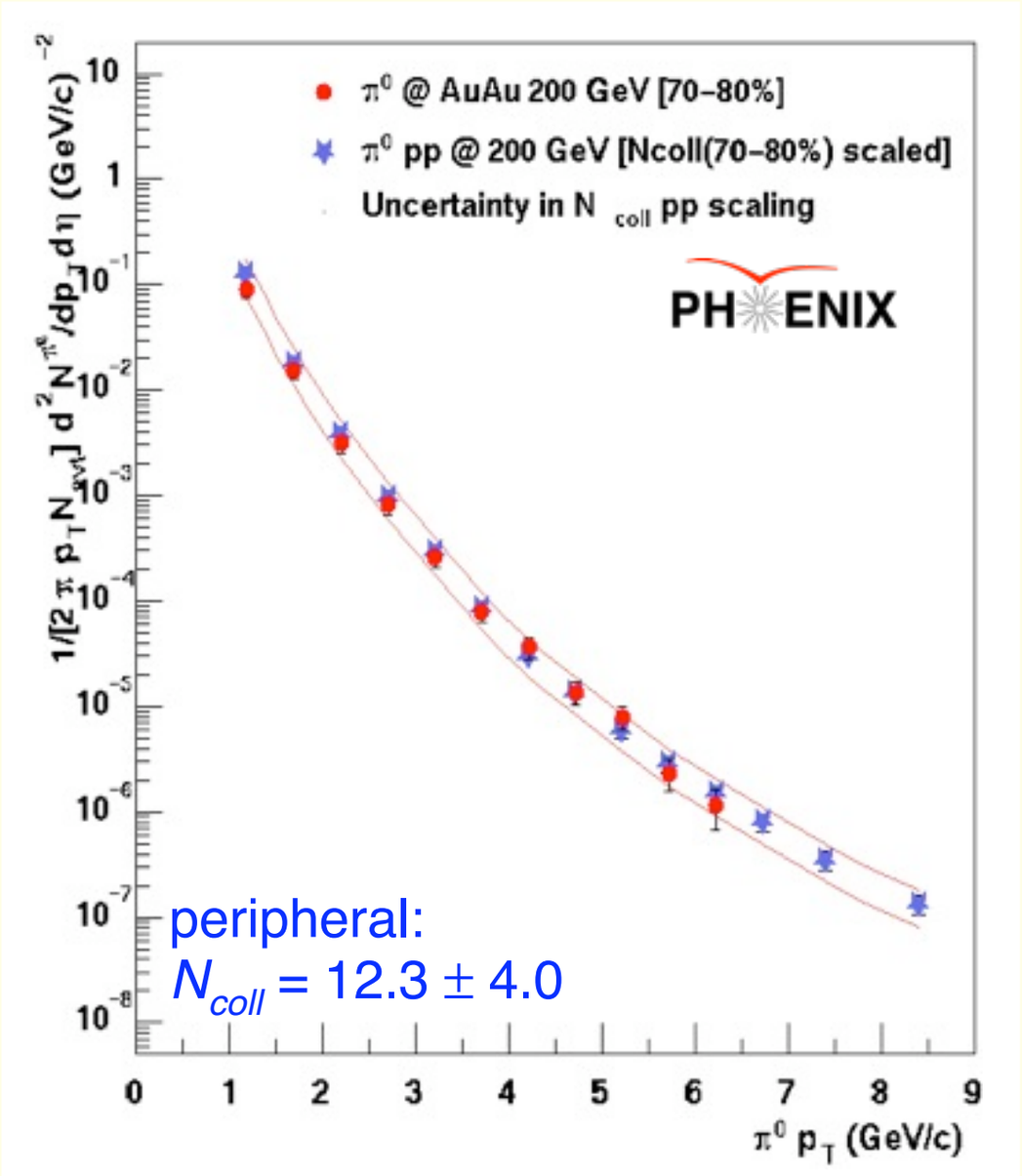
→ **Der letzte Punkt wird im Folgenden etwas näher erläutert**

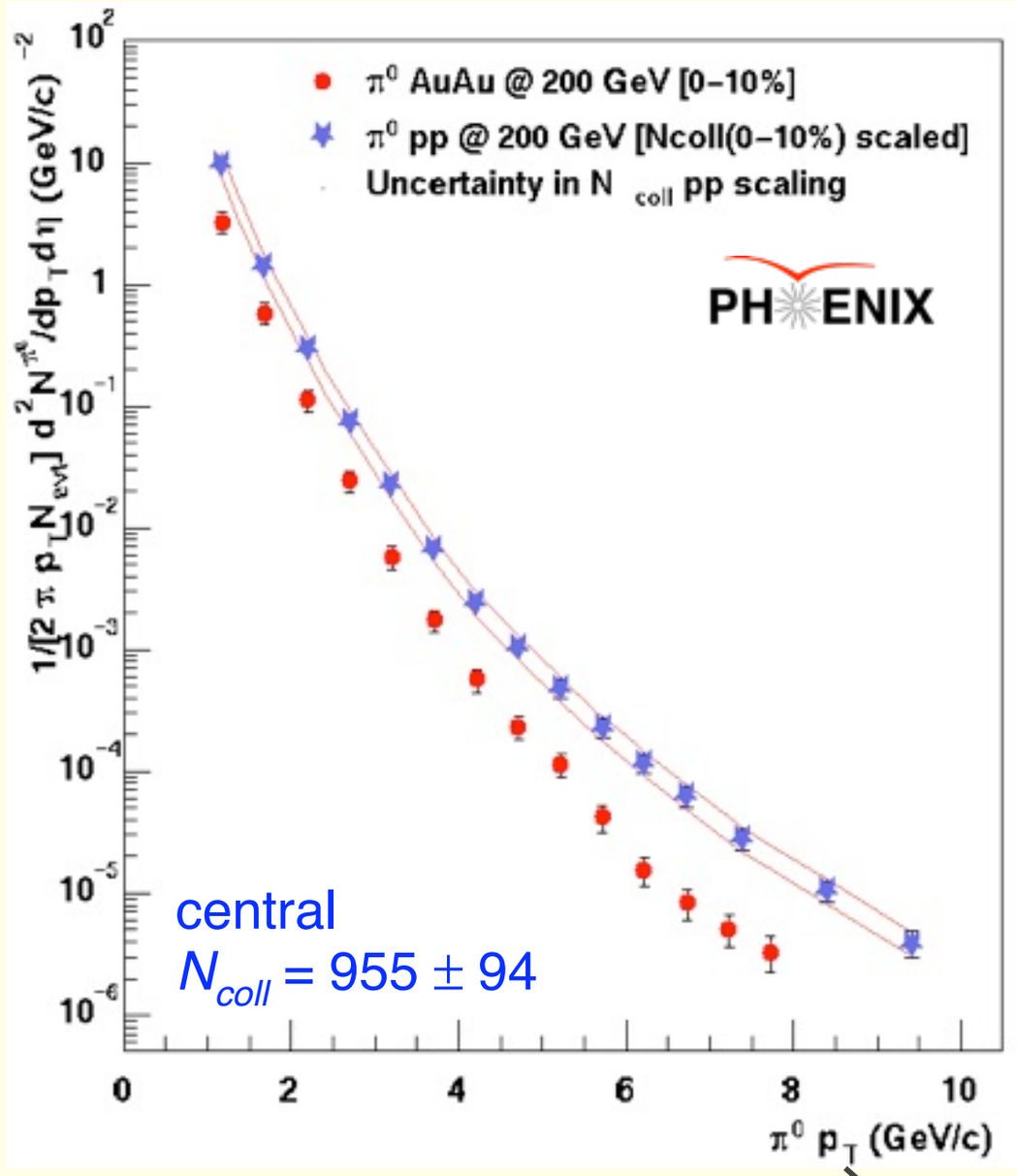
Jet-Tomografie in Kern-Kern-Kollisionen



- Parton-Parton-Streuungen mit hohem Impulsübertrag finden in der frühen Phase statt, noch vor der Bildung des QGP
- Gestreute Quarks und Gluonen sind empfindlich auf die Eigenschaften der erzeugten QCD-Materie: „Jet-Tomografie“

Eine Möglichket, Jet-Quenching zu untersuchen: Vergleich der π^0-Spektren in p+p- und Au+Au-Kollisionen

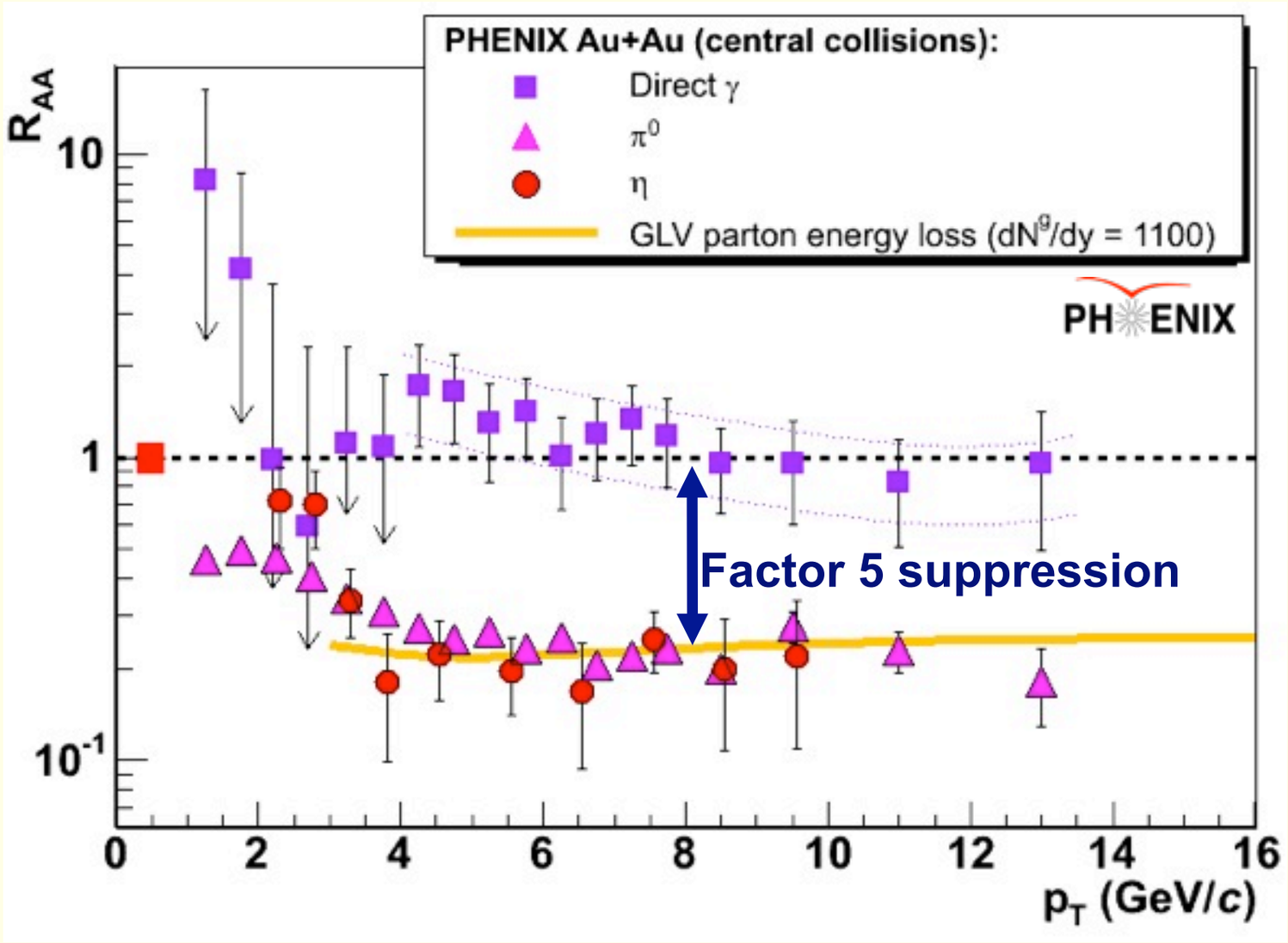




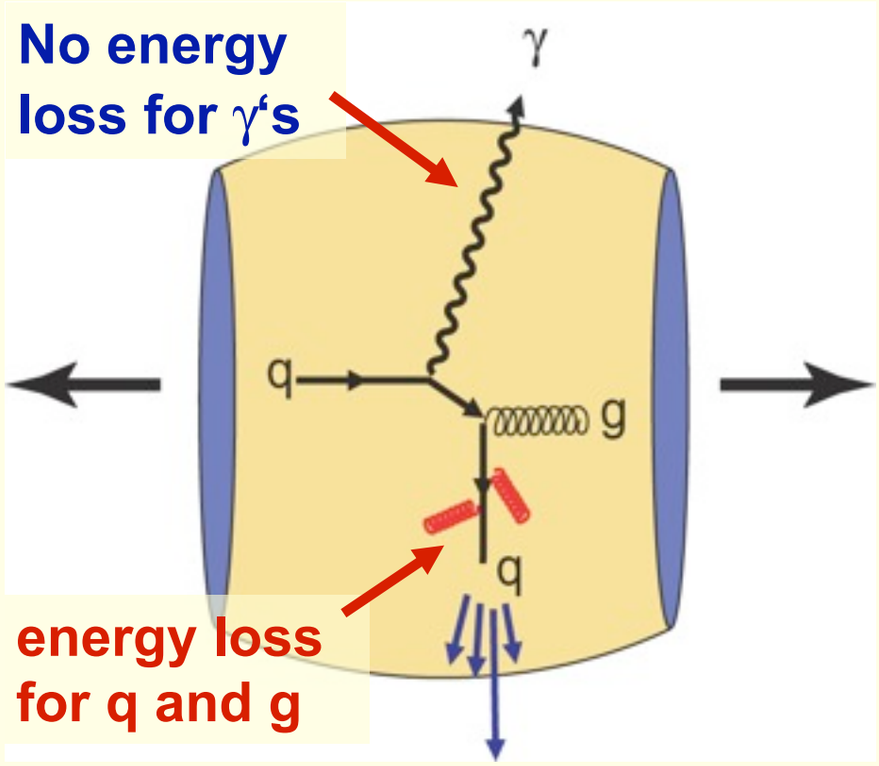
Teilchenimpuls senkrecht zur Strahlachse

Starke Unterdrückung des π^0-Spektrums in zentralen Au+Au-Kollisionen relativ zu N_{coll}-skaliertem p+p Spektrum

Unterdrückungsfaktor für neutrale Pionen und direkte Photonen



$$R_{AB} = \frac{\mathrm{d}N / \mathrm{d}p_T\big|_{\mathrm{A+B}}}{\langle N_{\mathrm{coll}} \rangle \times \mathrm{d}N / \mathrm{d}p_{\mathrm{T}}\big|_{\mathrm{p+p}}}$$

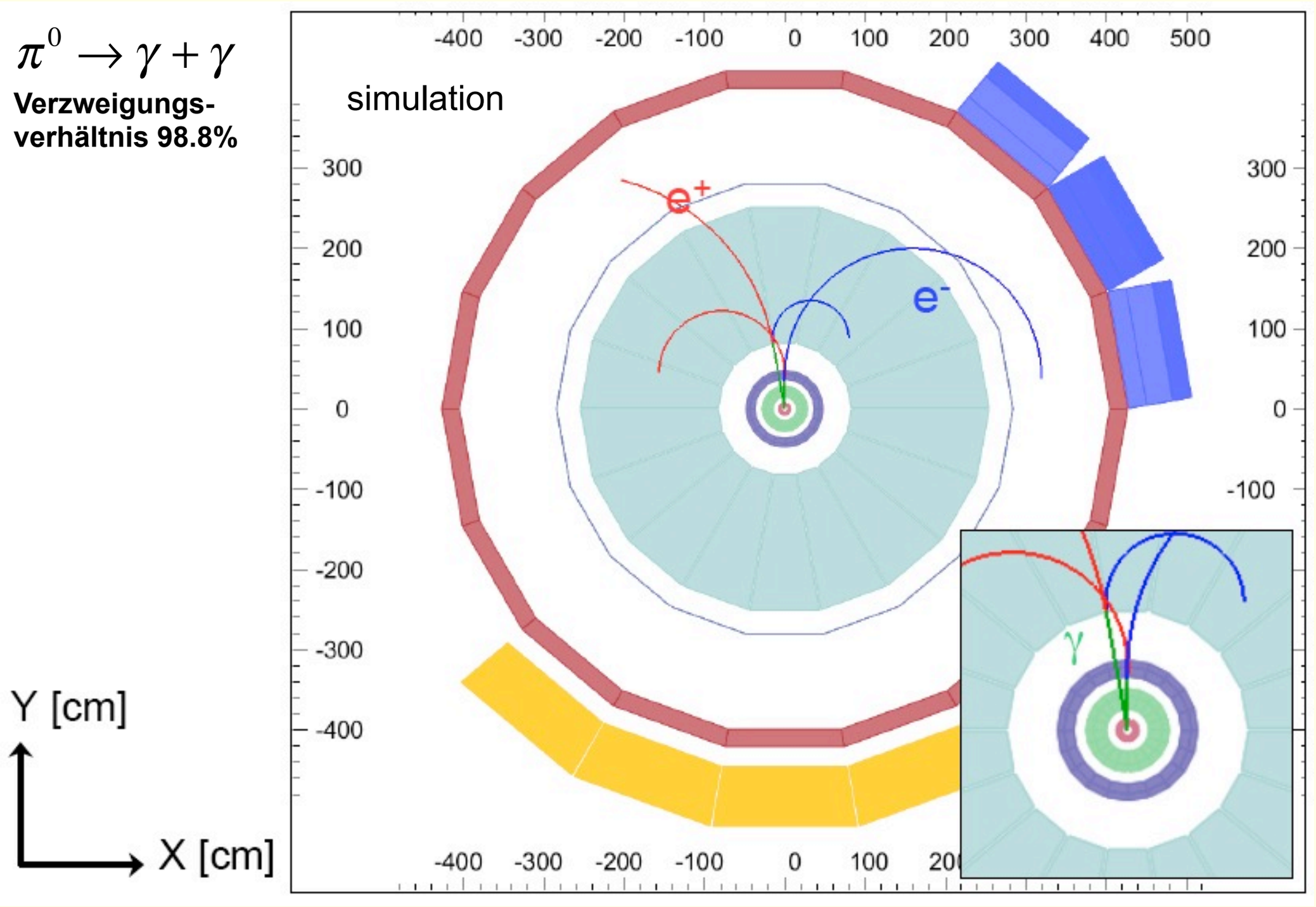


Hadronen sind unterdrückt, direkte Photonen nicht:
Evidenz für Parton-Energieverlust (wie für QGP-Bildung erwartet)

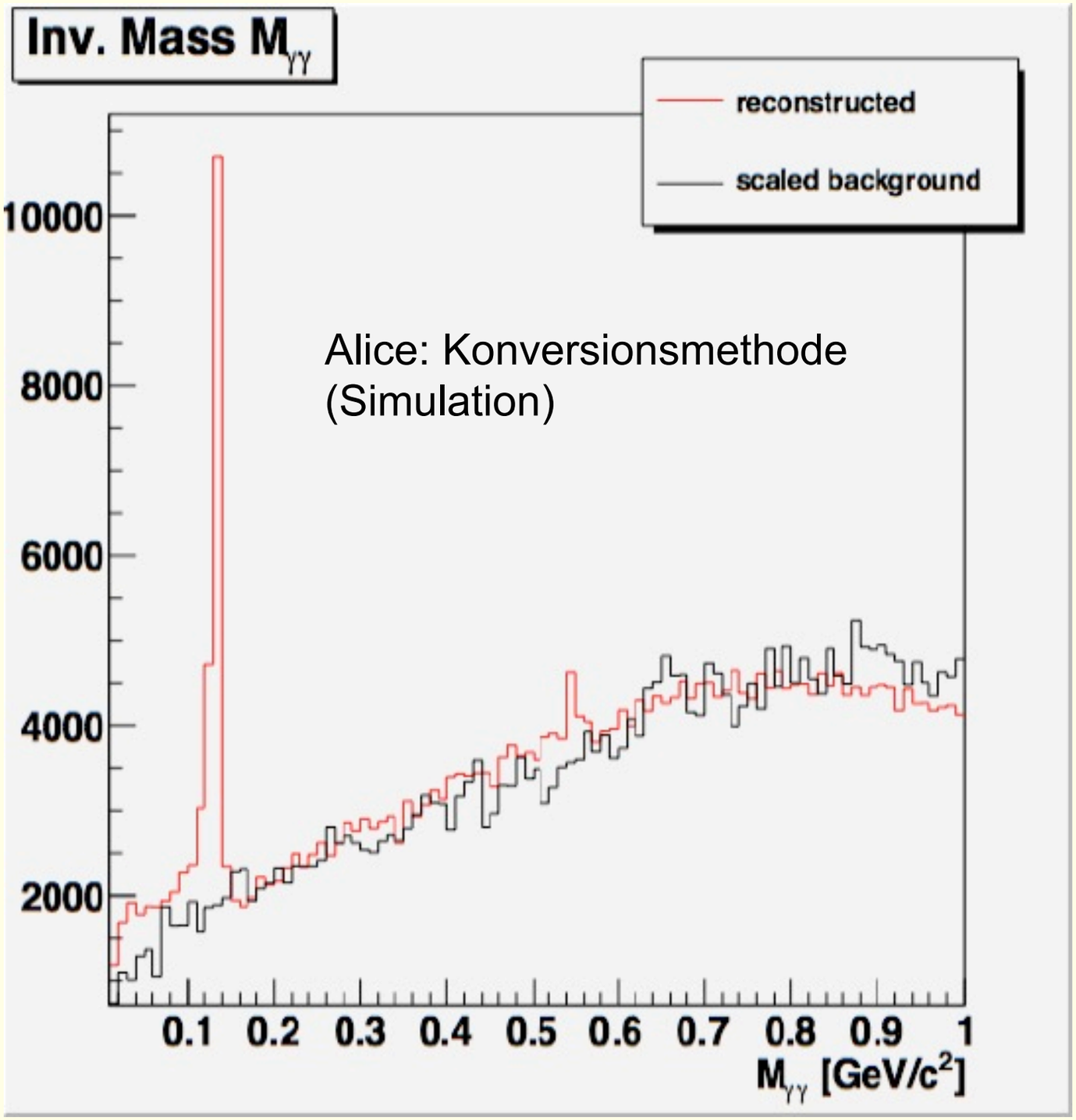
Eine Möglichkeit der Rekonstruktion neutraler Pionen in Alice: Konversion von Photonen in e^+e^--Paare

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Verzweigungs-verhältnis 98.8%



π^0-Rekonstruktion über Bestimmung der invarianten Masse

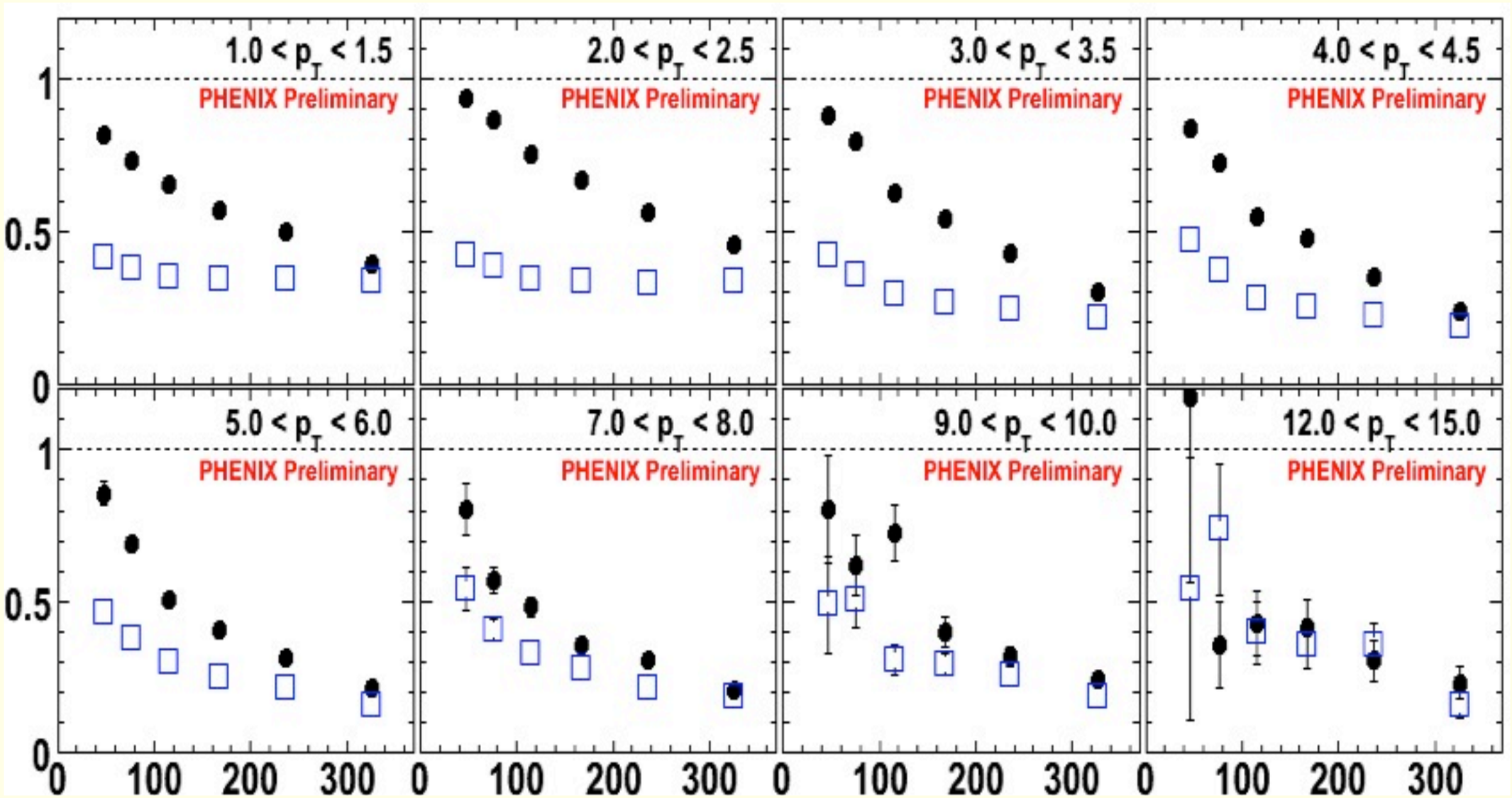


$$M_{\gamma\gamma} = \sqrt{2E_1E_2(1-\cos\vartheta)}$$

Energien der beiden Zerfallsphotonen

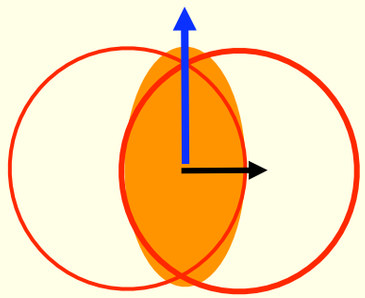
Öffnungswinkel

Ein mögliche zukünftige Messung mit ALICE: π^0-Unterdrückung in Abh. vom Winkel zur Reaktionsebene



in-plane

out-of-plane



Unsere Arbeitsgruppe am Physikalischen Institut

Norbert Herrmann
Klaus Reygers
Kai Schweda
Johanna Stachel

Postdocs:
Oliver Busch
Paul Constantin
Minjung Kweon
Jorge Mercado
Ken Oyama
Yvonne Pachmayer
Sylwester Radomski
Rainer Schicker
Jens Wiechula
Hongyan Yang
Korinna Zapp

Doktoranden:
David Emschermann
Robert Grajcarek
Jochen Klein
Kathrin Koch
Dirk Krumbhorn
Rachik Soualah
Sara Vallero
Yifei Wang

Diplomanden:
Mustafa Al Helwi
Stefan Schmiederer
Johannes Stiller

HiWi/Miniforschen:
B. Hess, M. Hellwig,
T. Janson, D. Lohner,
T.T. Niu, R. Rusanov

im letzten Jahr abgeschl. Diplomarbeiten:
Florian Beutler
Robert Grajcarek
Clemens Haltebourg
Jochen Klein
Dirk Krumbhorn
Stefan Zimmer

Was passiert jetzt und wo kann ein Diplomand mitspielen?

- Bau des TRD ist noch im Gang
  (7 von 18 Supermodulen zurzeit installiert)
- Detektorkalibration
- Schwerpunkt verschiebt sich hin zu Physik-Analysen
  (C++/root (http://root.cern.ch))
- Erste p+p-Daten gemessen
  - p+p bei 900 GeV
  - bis Herbst 2010: p+p bei 7 und 10 TeV
  - Herbst 2010: erste Pb+Pb-Kollisionen
- Schichtbetrieb am CERN auch durch Diplomanden/Doktoranden

→ Idealer Einstiegszeitpunkt

Grundsätzlich werden Themen formuliert, wenn es einen Interessenten gibt, werden auf dessen Interessen und Stärken abgestimmt plus den gegenwärtigen Status des Projekts – also einen von uns ansprechen Sprechstunde oder jederzeit informell