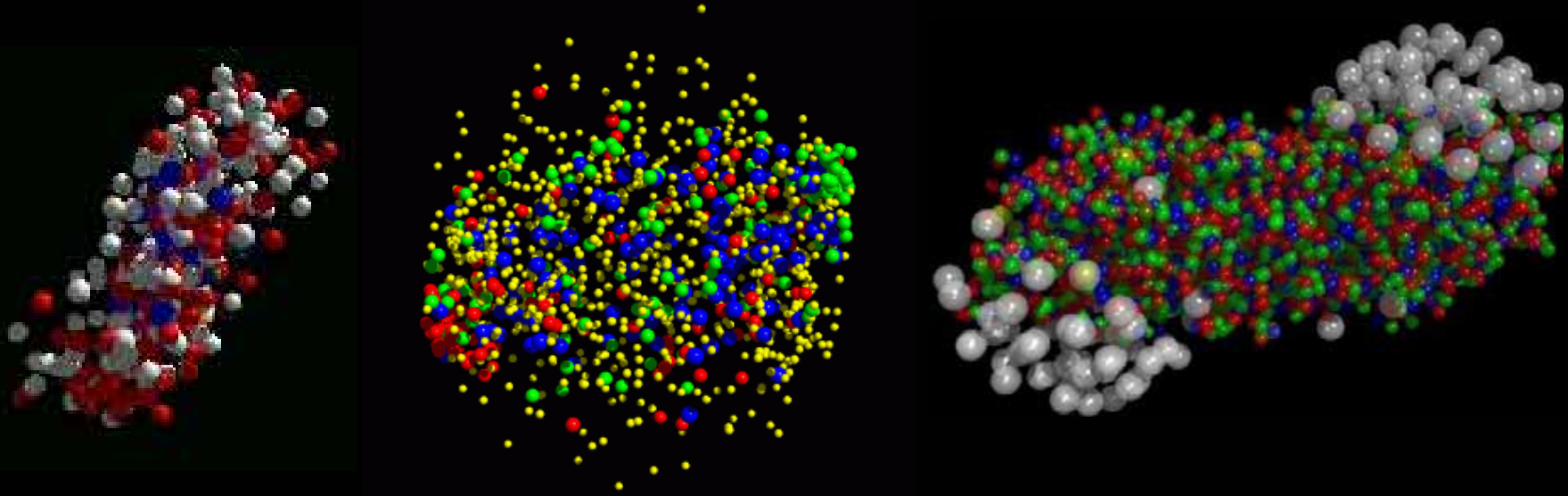


Perspektiven der experimentellen Schwerionenphysik

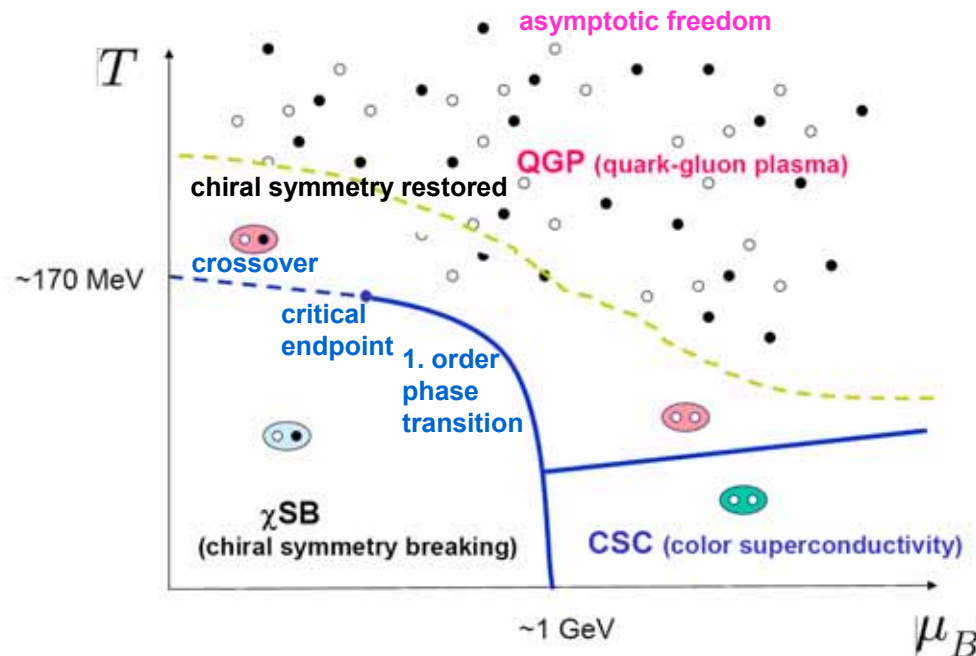


- Fundamentale Fragen der QCD
- Bilanz der Hochenergie-Schwerionenphysik
- Gegenwärtige und zukünftige Experimente

Fundamentale Fragen der QCD

- Zustandsgleichung stark wechselwirkender Materie ?
(Supernovae, Neutronensterne, frühes Universum)
- Struktur stark wechselwirkender Materie als Funktion von T und ρ_B ?
(hadronisches Medium, Quark-Gluon Plasma, Phasenübergänge)
- In-Medium Eigenschaften von Hadronen als Funktion of T and ρ_B ?
(Restauration der chiralen Symmetrie)

QCD
phase
diagram



Fundamentale Fragen der QCD

- Zustandsgleichung stark wechselwirkender Materie ?
(Supernovae, Neutronensterne, frühes Universum)
- Struktur stark wechselwirkender Materie als Funktion von T und ρ_B ?
(hadronisches Medium, Quark-Gluon Plasma, Phasenübergänge)
- In-Medium Eigenschaften von Hadronen als Funktion of T and ρ_B ?
(Restauration der chiralen Symmetrie)

Schwerionenkollisionen:

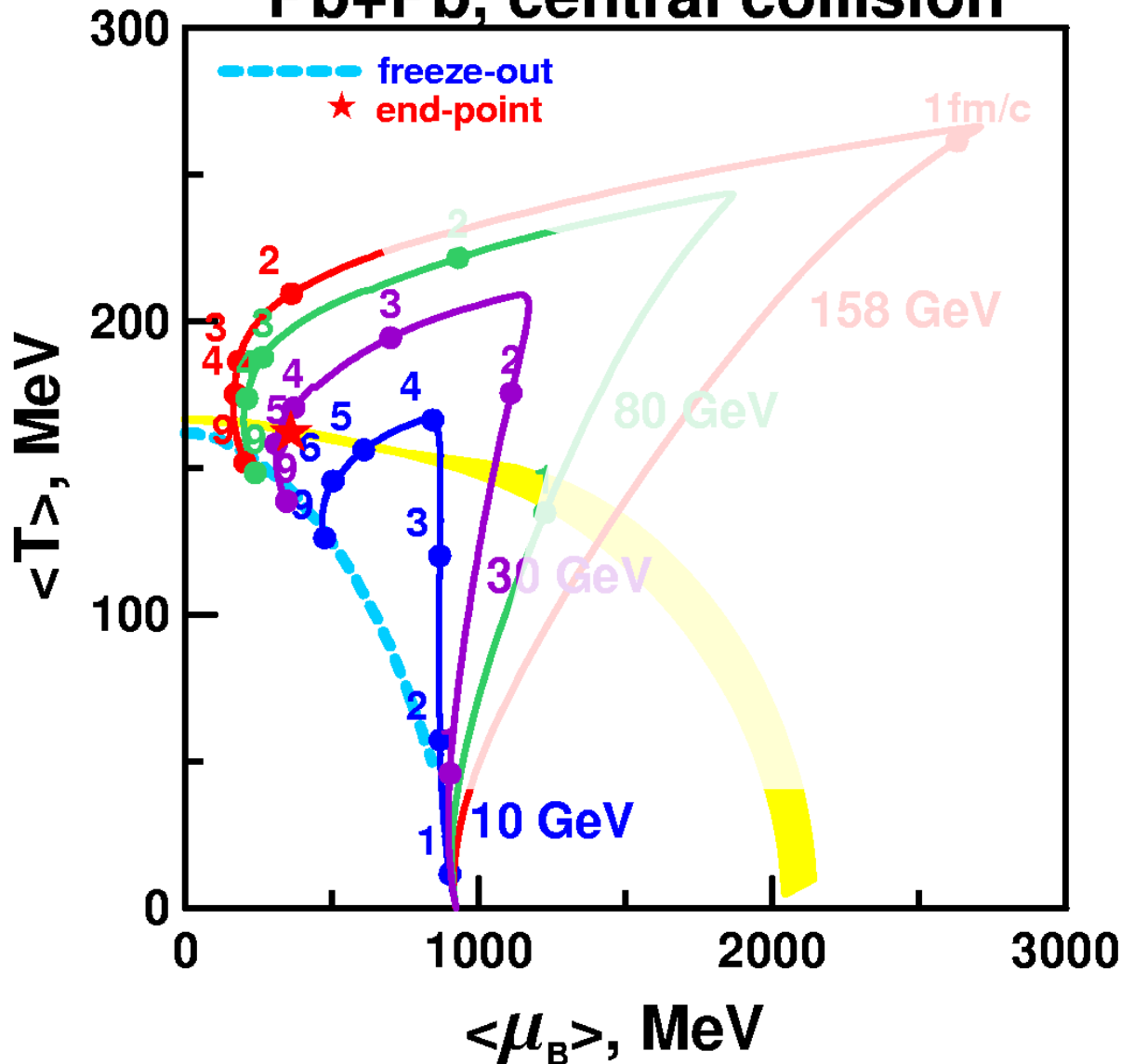
- kleine, dynamische, kurzlebige Systeme → wird Gleichgewicht erreicht ?
- Teilchen "frieren aus" bei $\rho_0 < \rho_B$ → Zugang zur Hochdichtephase ?
- Überleben Signaturen der partonischen Phase die Hadronisierung ?

Wichtige experimentelle Observablen:

- Hadronen-Ausbeuten und Impulse ($p, \pi, K, \Lambda, \Xi, \Omega$, Resonanzen, Anti-Teil.)
↳ T, μ_B , kollektive Bewegung ("Fluss")
- Teilchen mit schweren Quarks (c, b) → Erzeugung in früher Phase
- Korrelationen und Fluktuationen → Phasenübergang, kritischer Punkt ?
- Vektormesonen (Leptonenpaare) → Sonden der dichten Phase

"Trajektorien" des Feuerballs im QCD Phasendiagramm

Pb+Pb, central collision



3-Fluid Hydrodynamik
Rechnungen mit Hadronengas
Zustandsgleichung

Y. Ivanov, V. Russkikh, V. Toneev
nucl-th/0503088

★ kritischer Endpunkt:
Z. Fodor, S. Katz,
hep-lat/0402006

S. Ejiri et al.,
hep-lat/0312006

Experimente der Schwerionenphysik bei $E_B < 15$ AGeV

Bevalac (Au-Strahlen bis 1.15 AGeV):

- Entdeckung der **kollektiven Bewegung** der Protonen ("Fluss"),
- erste **Dileptonen**-Messungen zur Untersuchung der in-Medium Eigenschaften von Vektormesonen ("DLS-Puzzle")

SIS18/GSI (Ni+Ni 1.9 AGeV, Au79+-Strahlen bis 1.5 AGeV):

- Kollektiver Fluss von Protonen und Pionen
- Anregungsfunktion der Kaonen-Erzeugung → **nukleare Zustandsgleichung** (1-3 ρ_0)
- Ausbeute und kollektiver Fluss der Kaonen und Antikaonen → **in-Medium Potentiale**
- **Dileptonen**-Messungen in C+C, p+p, d+p → **mikroskopisches Verständnis der elementaren Prozesse**

Zukünftige Experimente in der Hadronen- und Schwerionenphysik am SIS18:

FOPI Detektor: In-Medium Eigenschaften seltsamer Hadronen (K, Λ , Ξ)

HADES Detektor: Systematische Untersuchung der Dileptonen-Erzeugung in Kern-Kern, Proton-Kern, Pion-Kern, und Proton-Proton Stößen

AGS/BNL (Au-Strahlen bis 10.5 AGeV):

- Teilchenemission aus System im **hadro-chemischen Gleichgewicht**,
- Protonenfluss u.a. abhängig von **nukl. Zustandsgleichung** (Au+Au 2 - 10 AGeV).
- Keine Dileptonen-Messungen, keine Charm-Messungen

Experimente der Schwerionenphysik bei $E_B > 20$ AGeV

SPS/CERN (Pb-Strahlen bis 160 AGeV, $\sqrt{s_{NN}} = 17$ GeV):

- Hadro-chemisches Gleichgewicht, kollektiver Fluss der Hadronen,
- Übergang von **baryon- zu meson-dominierter Materie** bei 30 AGeV,
- **Starke Absorption von Charmonium** in schweren Systemen (bei 160 AGeV)
- **Überhöhung der Dileptonenausbeute** im Vergleich zum hadronischen "Cocktail"
 - ↳ Indizien für partonische Phase ?

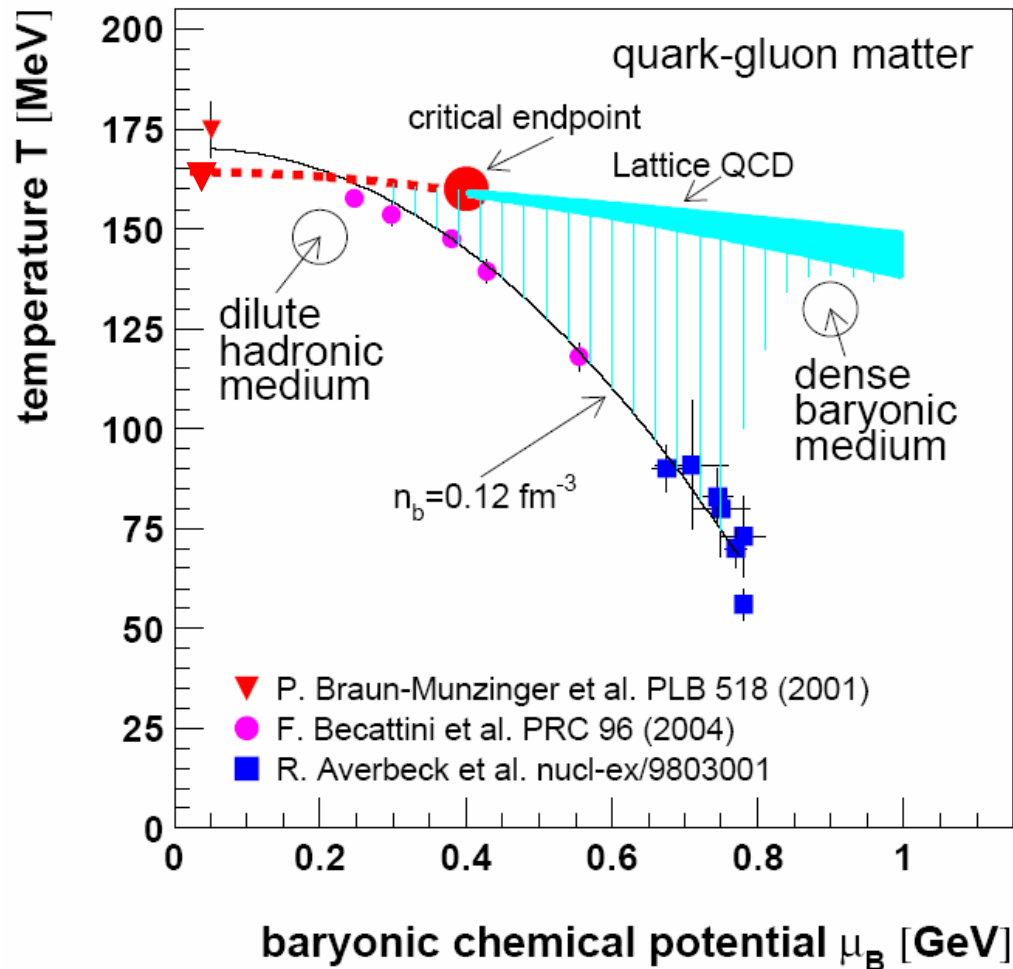
RHIC (Au-Strahlen, $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV):

- **Sehr starker elliptischer Fluss** der Hadronen, skaliert mit **Anzahl der Quarks**
- Absorption hochenergetischer Teilchen im Feuerball ("**Jet-suppression**")
 - ↳ Hinweis auf perfekte partonische Flüssigkeit ?

Zukünftige Experimente am RHIC:

- Einbau zusätzlicher Detektoren zur präzisen Messung von Charm und Dileptonen
- Messung bei niedrigen Strahlenergien: Suche nach kritischem Punkt
(Problem: sehr geringe Luminosität)

Das QCD Phasendiagramm: Fakten, Spekulationen, offene Fragen



Experimentell bestimmt:

- Ausfrier-Kurve (T, μ_B)
- $T_{fo} = 161 \pm 4 \text{ MeV}$ bei $(\mu_B=0)$

L-QCD Vorhersagen:

- $T_c = 150 - 190 \text{ MeV}$
- Kontinuierlicher Übergang bei $\mu_B=0$
- Phasenübergang 1. Ordnung mit kritischem Endpunkt bei $\mu_B > 0$

Offene Fragen:

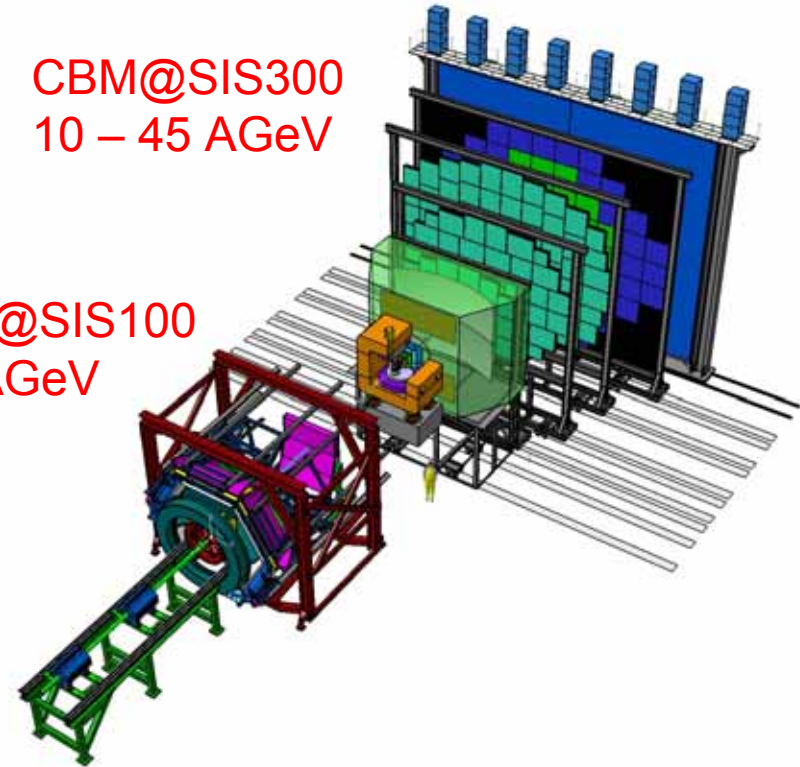
- Zustandsgleichung für $\rho > 3\rho_0, T > T_c$?
- Phasenübergang 1. Ordnung ?
- Chiraler Phasenübergang ?
- Eigenschaften des QGP ?

Zukünftige Experimente der Schwerionenphysik



CBM@SIS300
10 – 45 AGeV

HADES@SIS100
2 – 10 AGeV



ALICE@LHC:

- Eindeutiger Nachweis einer partonischen Phase (QGP) bei hohen T und $\rho_B \approx 0$
- Eigenschaften des QGP

Observable:

Hadronen mit u, d, s, c, b Quarks,
Dileptonen ($\phi, J/\psi, \psi', Y, Y', Y''$),
hochenergetische Jets

HADES@SIS100:

Eigenschaften von Hadronen bei $\rho > 3 \rho_0$

CBM@SIS300:

- Zustandsgleichung bei $\rho > 4 \rho_0$
- Suche nach chiralem Phasenübergang
- Suche nach Phasenübergang 1. Ordnung

Observable: Hadronen mit u, d, s und c Quarks,
 $\rho, \omega, \phi, J/\psi, \psi' \rightarrow$ Leptonenpaare

Zukünftige Experimente der Schwerionenphysik



CBM@SIS300
10 – 45 AGeV

HADES@SIS100
2 – 10 AGeV

