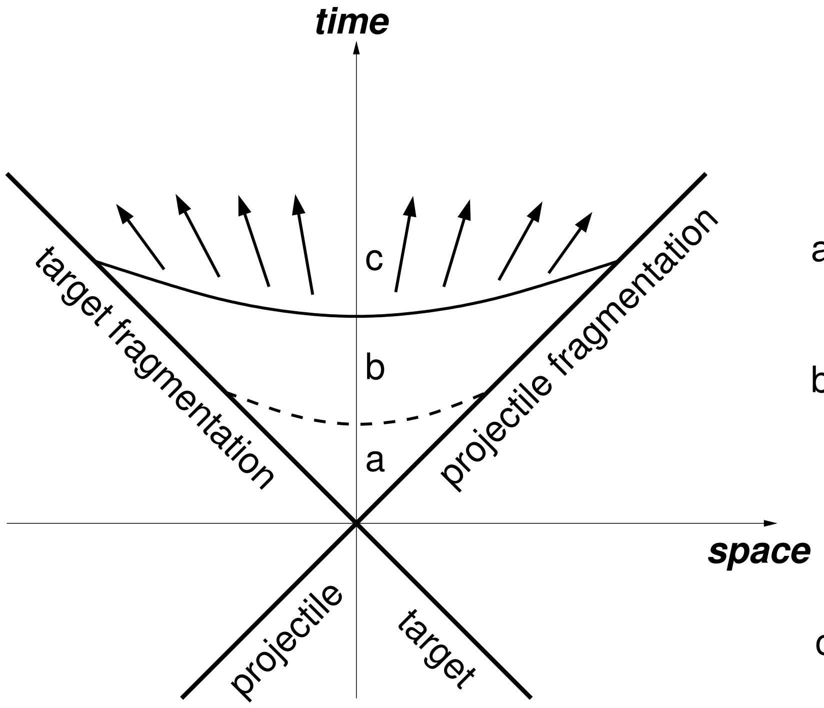
Erzeugung von Photonen und Leptonen-Paaren am CERN-SPS

Harald Appelshäuser

Universität Heidelberg

- Nachweis direkter Photonen
  - WA98 (Universität Münster, . . .)
- Low mass e^+e^--Produktion
  - CERES/NA45 (Universität Heidelberg, GSI, . . .)
- $\mu^+\mu^-$-Produktion im intermediären Massenbereich
  - NA50(. . .)
- Vergleich mit Modellen und Interpretation

Elektromagnetische Strahlung in Schwerionenkollisionen



a) Formationsphase:
- Drell-Yan, qg-Compton, ...

b) Heisse und dichte Phase: (QGP+Hadrongas)
- Thermische Strahlung
- Hadronische Zerfälle im Medium

c) 'freeze-out':
- Hadronische Zerfälle im Vakuum

- Elektromagnetische Strahlung enthält Information über den gesamten Reaktionsverlauf, da sie das Reaktionsvolumen ungestört verlässt.

- a) und c) auch in p-induzierten Reaktionen
- b): neue Phänomene in A+A

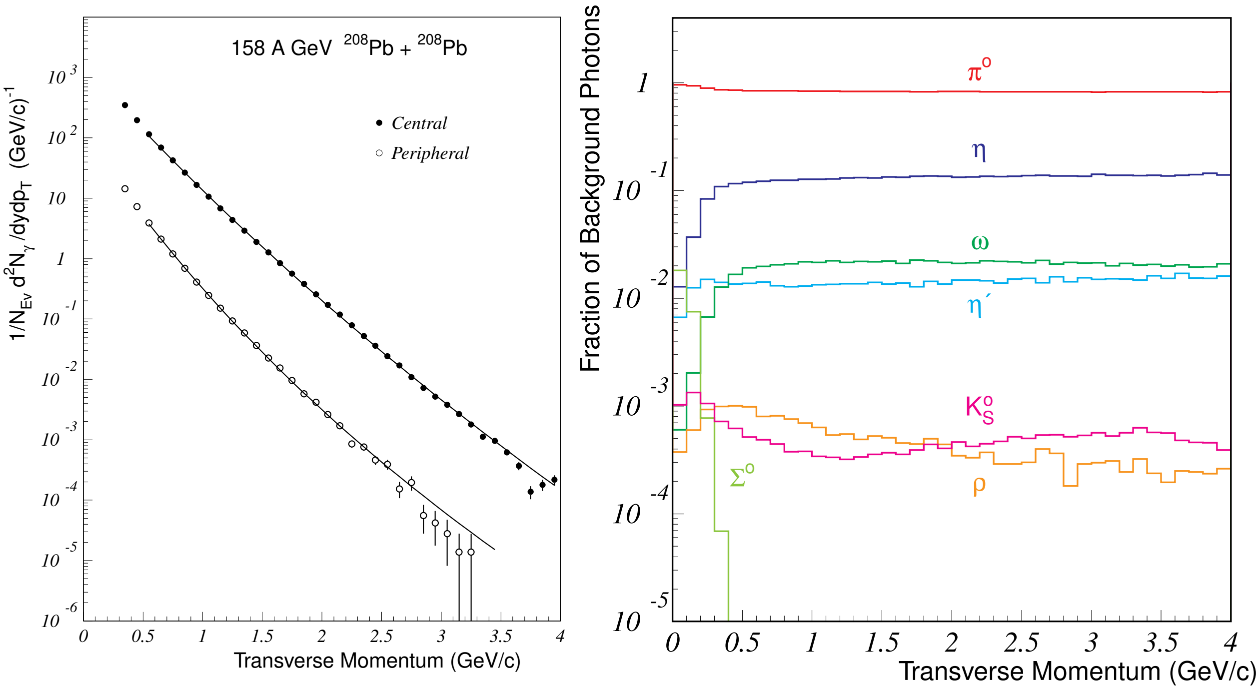
Direkte Photonen in Schwerionenkollisionen

- Thermische Strahlung
  - Beiträge aus allen Phasen der Reaktion
  - verlässt das Reaktionsvolumen ungestört
  - sensitiv auf:
    * Anfangstemperatur
    * kritische Temperatur
    * Freiheitsgrade
  - Unterschied QGP - Hadrongas?

- Experimentelle Herausforderung
  - hoher Untergrund aus dem Zerfall neutraler Mesonen

- Beiträge aus harter Streuung ('prompte' Photonen, z.B. $qg \to \gamma q$)
  - dominieren bei hohen p_t
  - Vergleich mit p+p und p+A
  - nukleare Effekte?

WA98 Photon Daten
158 AGeV Pb+Pb

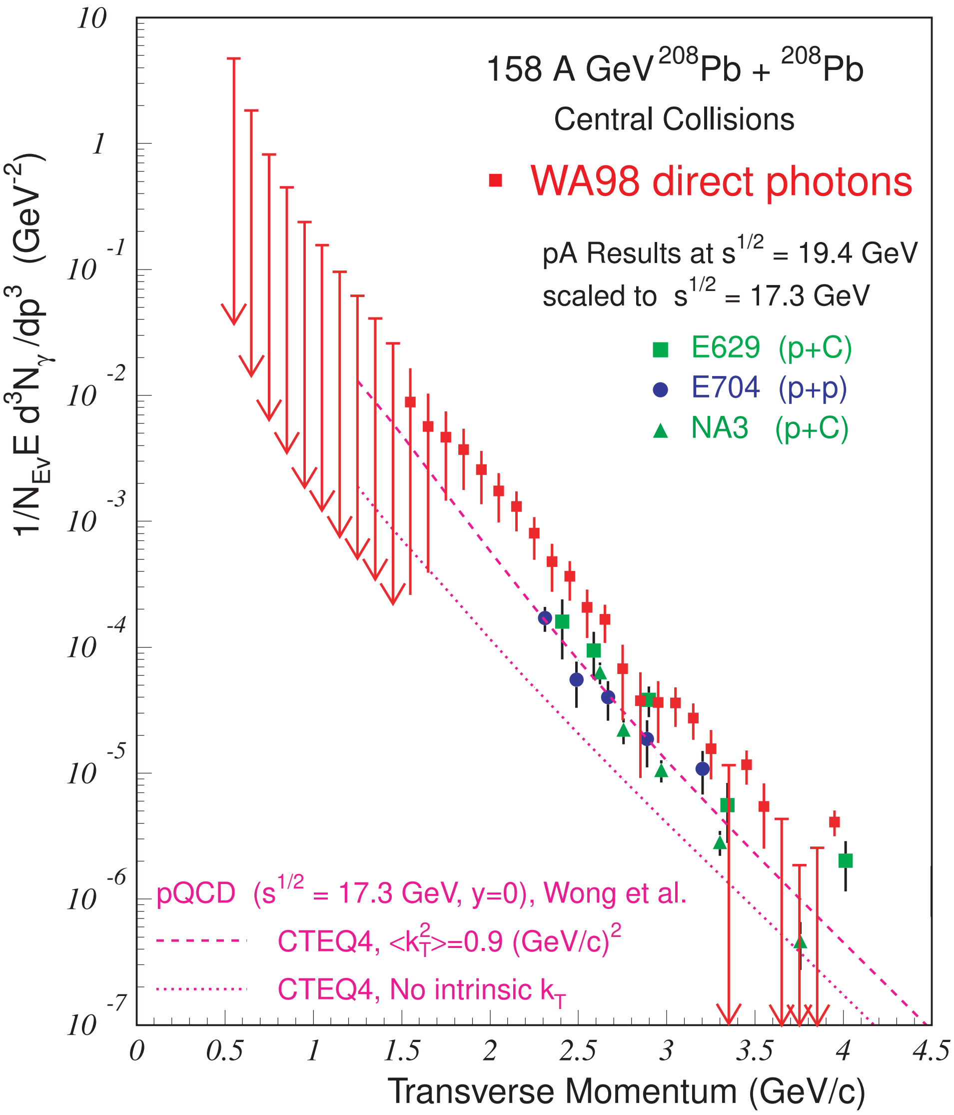


- Subtraktion des hadronischen Untergrunds:
  - π° Spektrum und π°/η Verhältnis im gleichen Experiment gemessen (97% des Untergrunds!)
  - andere Mesonen aus Literatur (m_t-scaling)

WA98 Direkte Photonen in 158 AGeV Pb+Pb

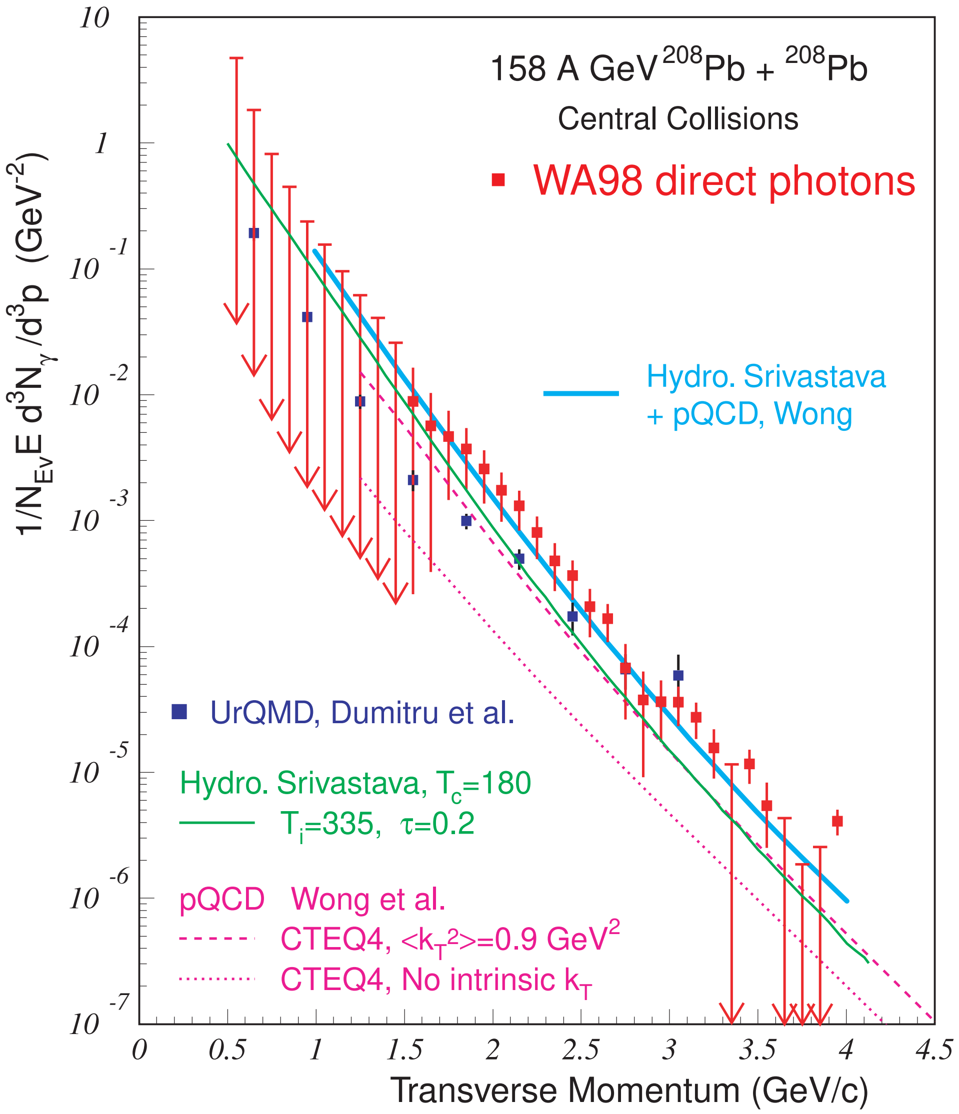
⇒ Direkte Photonen erstmals in zentralen Schwerionen-reaktionen nachgewiesen

WA98, Phys.Rev.Lett. 85 (2000) 3595-3599



- Prompte Photonen: p-p und p-A skaliert auf A-A

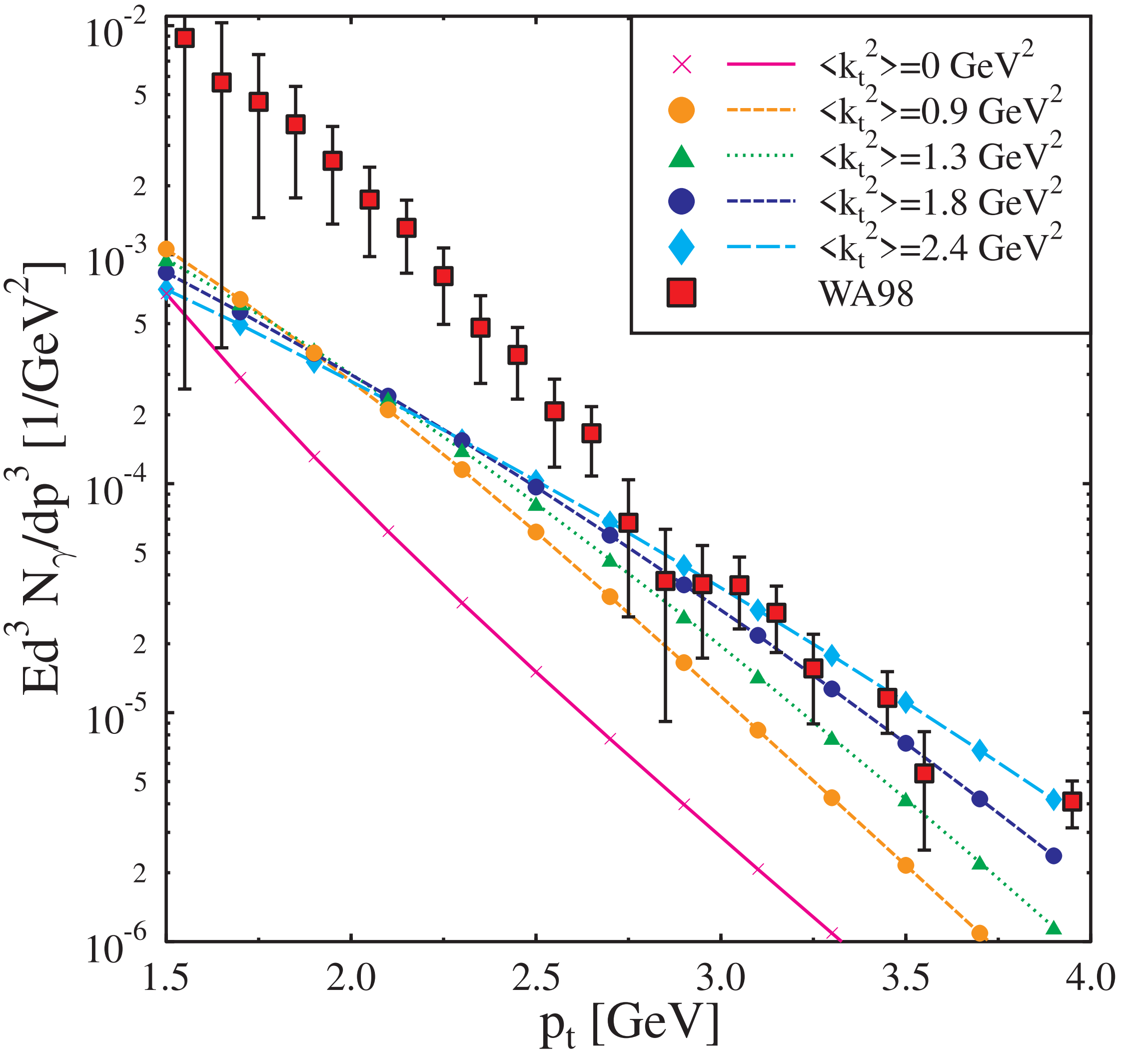
WA98 Direkte Photonen - Modelle



⇒ Produktion direkter Photonen kann im Rahmen hydrodynamischer Modelle (mit Phasenübergang) durch thermische Strahlung erklärt werden.

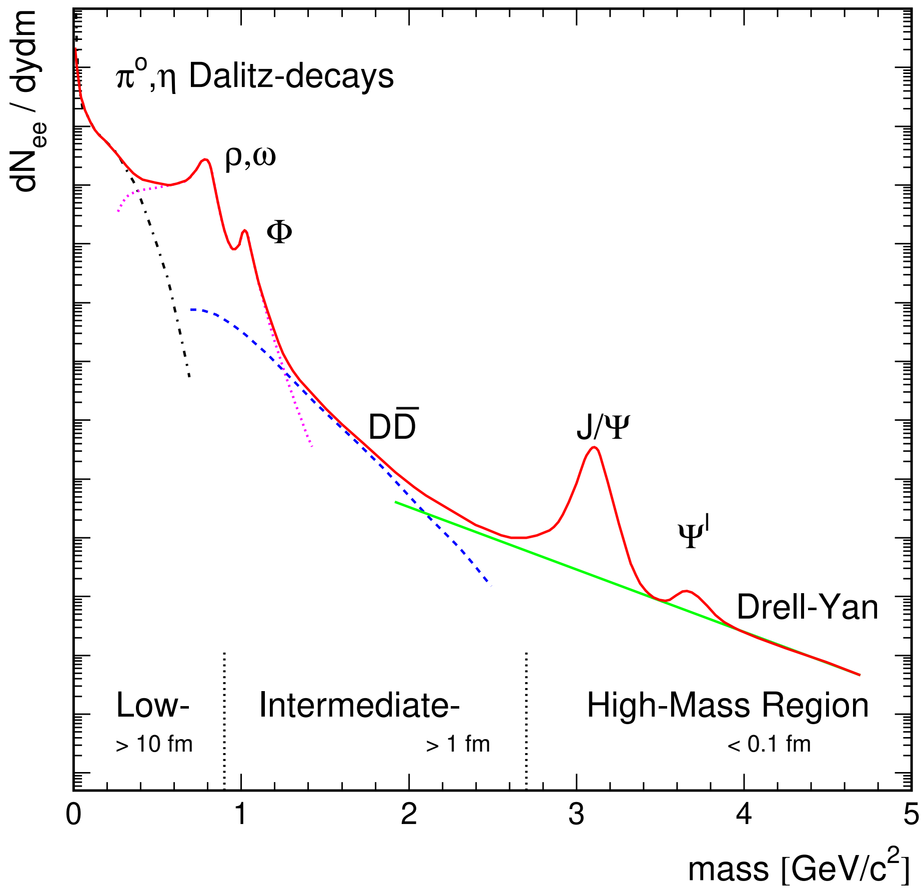
Nuclear k_T-broadening

A. Dumitru et al., hep-ph/0103203



- Zusätzliche Verbreiterung des intrinsischen k_t in A+A?
- Überschuss bei kleinen p_t bleibt

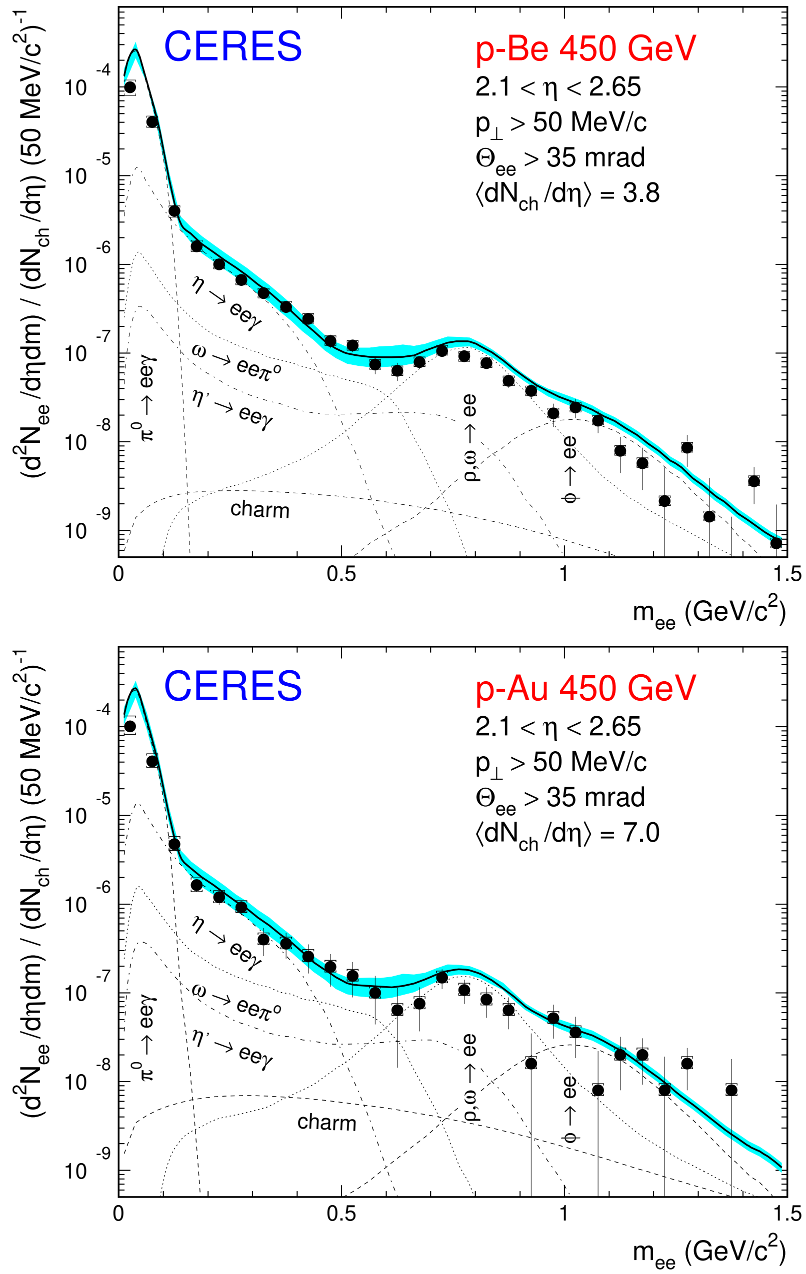
Dilepton Massenspektrum (schematisch)



- High mass region (NA50 $\mu^+\mu^-$):
  J/ψ-Unterdrückung
- Intermediate mass region (NA50 $\mu^+\mu^-$):
  semileptonische Zerfälle von $D\overline{D}$,
  thermische Strahlung
- Low mass region (CERES e^+e^-):
  Eigenschaften der Vektormesonen im Medium,
  Wiederherstellung der chiralen Symmetrie

e^+e^- in p-A Kollisionen

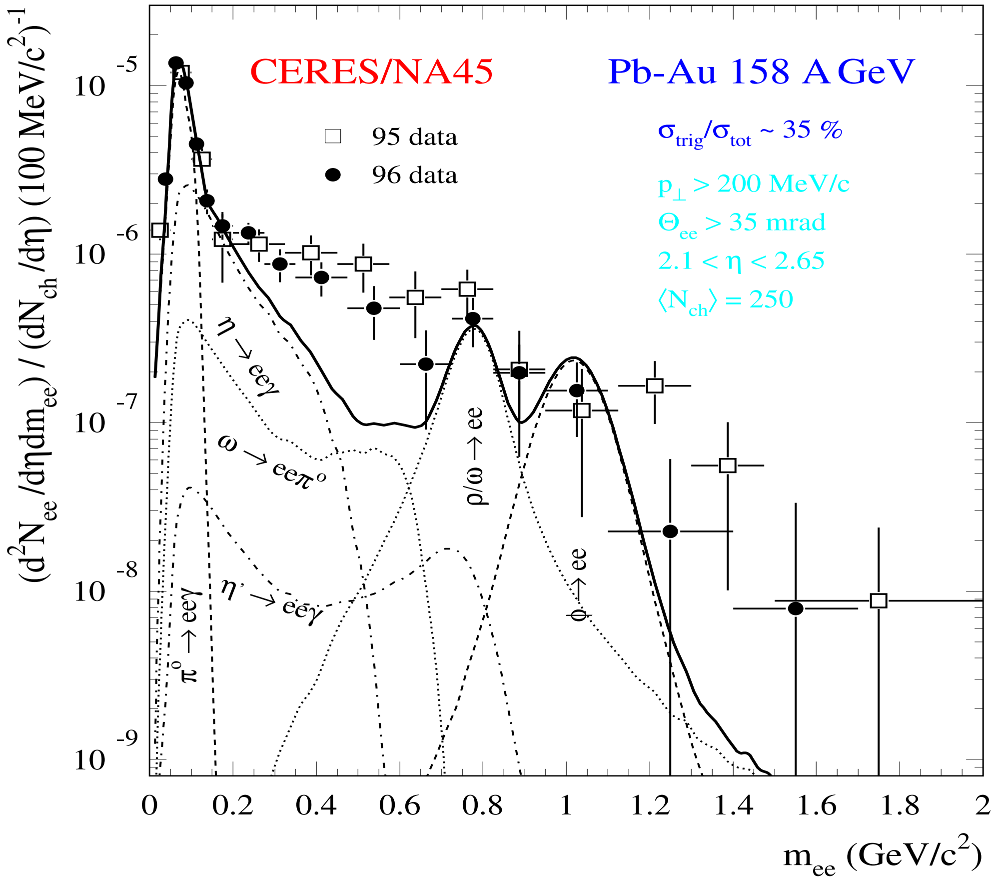
Eur.Phys.J.C4, 231-247 (1998)



$\Rightarrow$ e^+e^- Produktion in p-induzierten Reaktionen ist konsistent mit der Erwartung aus Hadronzerfällen im Vakuum.

e^+e^--Produktion in 158 AGeV Pb-Au Kollisionen

B.Lenkeit, PhD thesis, Heidelberg, 1998

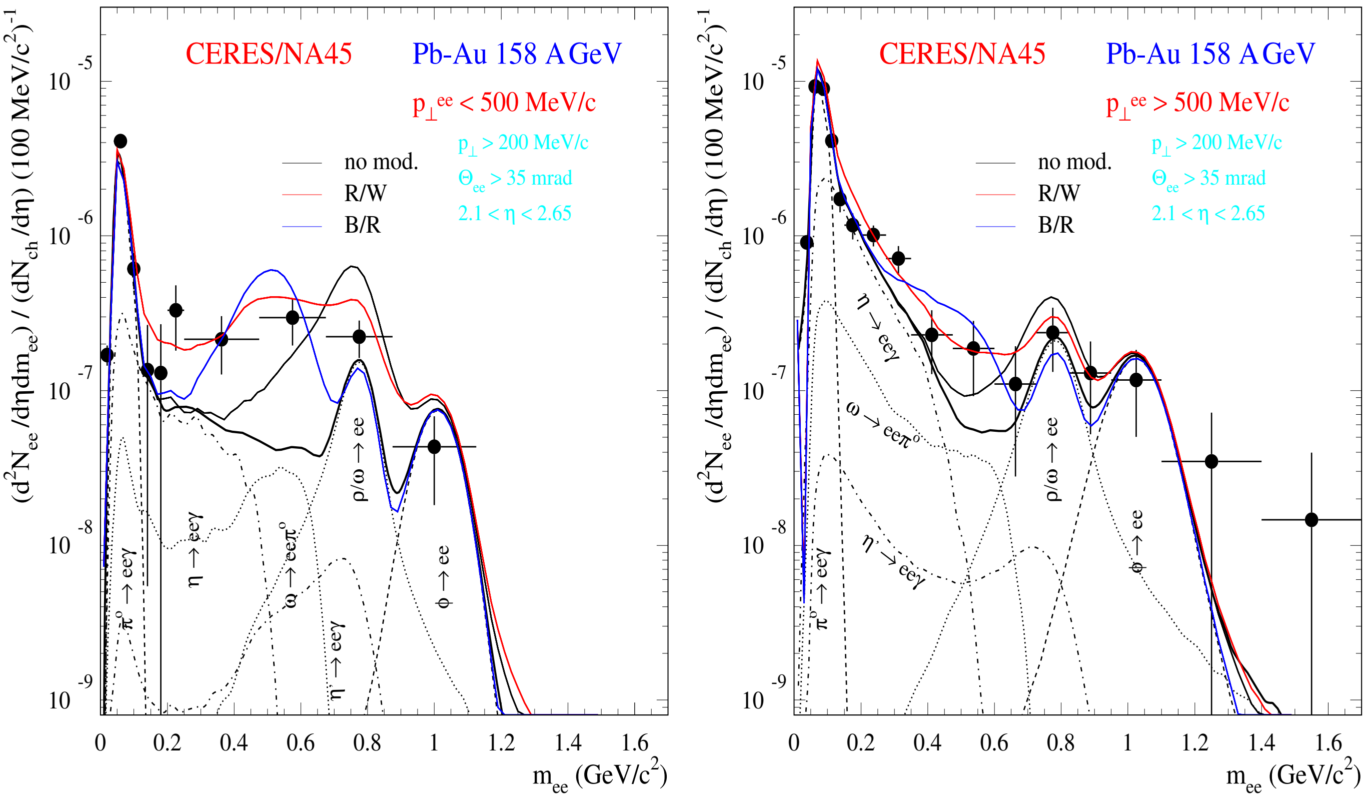


- Überhöhung im Massenbereich $0.25 < m_{ee} < 0.7$ GeV/c^2:

  2.6 ± 0.5(stat.) $\pm\, 0.6$(syst.) ('96 data)

  3.9 ± 0.9(stat.) $\pm\, 0.9$(syst.) ('95 data) PLB 422(1998) 405-412

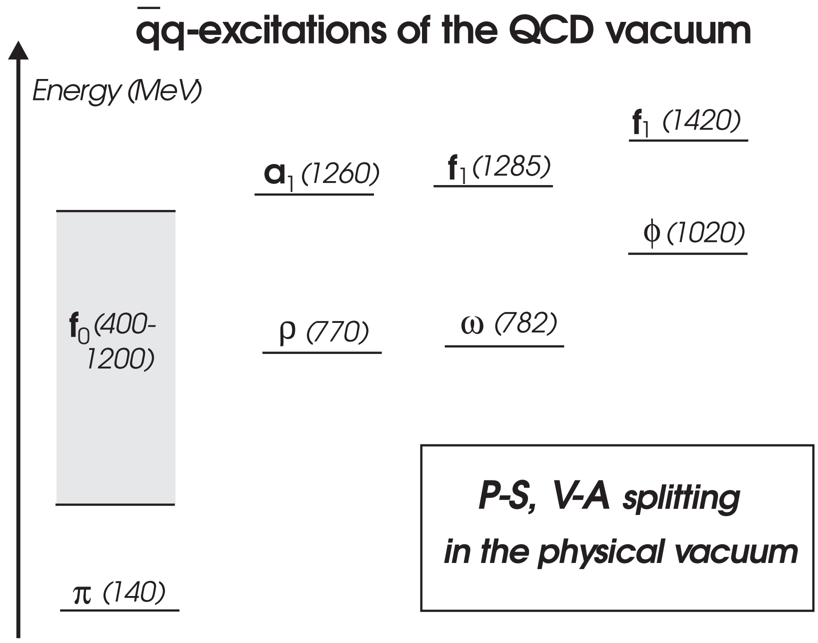
Transversalimpulsabhängigkeit der e^+e^--Produktion



- e^+e^--Überschuss ist am signifikantesten im Bereich niedriger Paar-$p_\perp$
- Überschuss wird erklärt durch thermische Prozesse ($\pi\pi \rightarrow e^+e^-$) in Verbindung mit Modifikationen der Eigenschaften von Hadronen im Medium

- Im QCD Vakuum ist die chirale Symmetrie gebrochen ($< \psi\bar{\psi} > \neq 0$)

⇒ chirale Partner haben unterschiedliche Massen



J. Wambach, R. Rapp, Nuc. Phys. A638(1998)171c

- Kernmaterie bei hoher Temperatur und Dichte:
  - Wiederherstellung der chiralen Symetrie ($< \psi\bar{\psi} > \to 0$)
  - Entartung der chiralen Partner (z.B. $\rho \leftrightarrow a_1$)

⇒ In-Medium Modifikationen der Eigenschaften (Masse, Breite) von Hadronen (ρ)

1. Brown-Rho scaling:

$$\frac{m_\rho^\star}{m_\rho^\circ} = \frac{< \psi\bar{\psi} >^\star}{< \psi\bar{\psi} >^\circ}$$

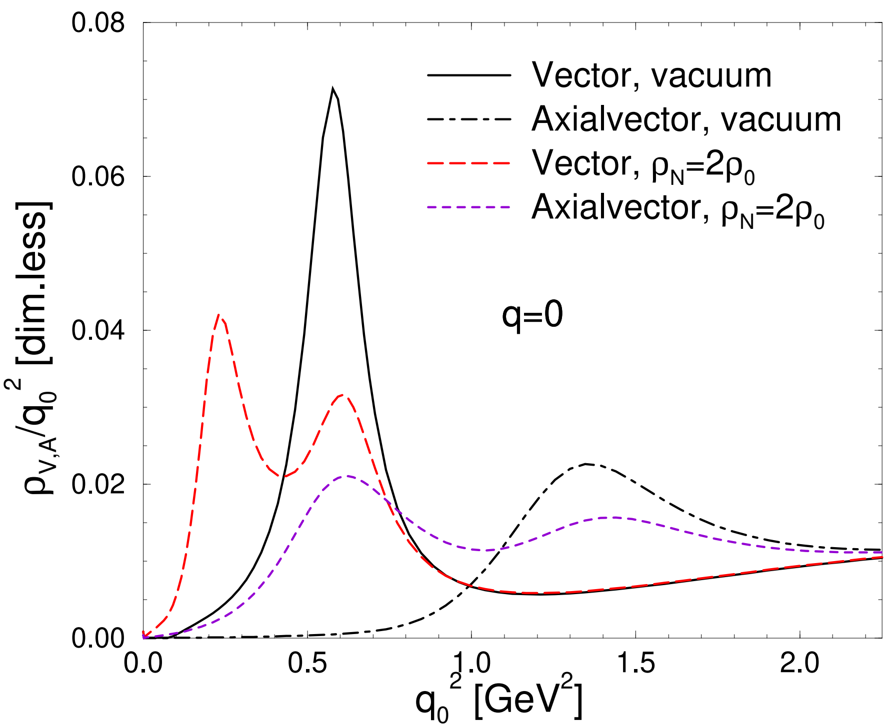
G. Brown and M. Rho, PRL66(1991)2720

2. Hadronischer Vielkörper-Ansatz:

- Modifikation der ρ-Spektralfunktion bei endlicher Temperatur und Baryonendichte

R. Rapp and J. Wambach, Adv.Nucl.Phys. 25 (2000) 1

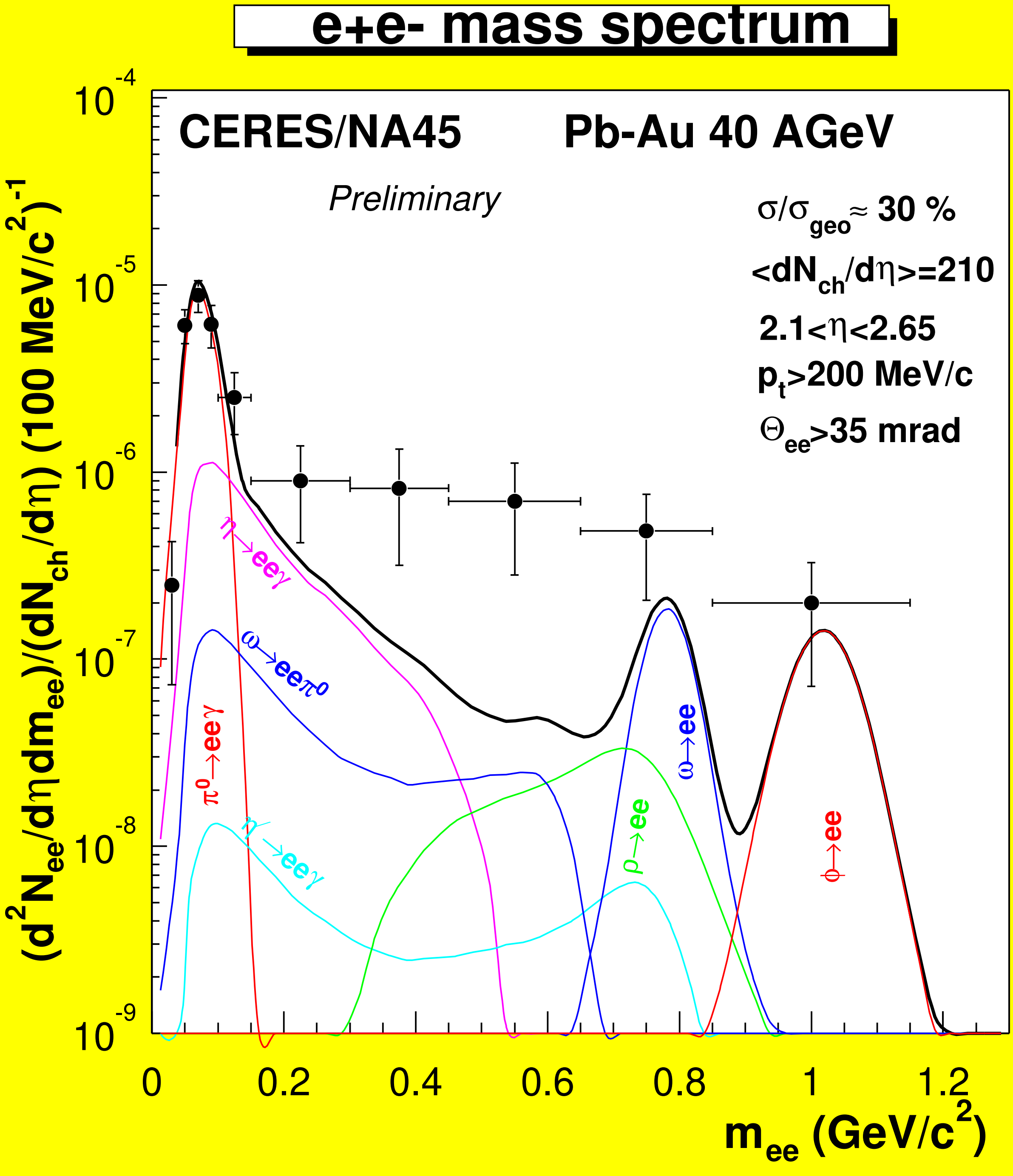
Y. Kim, R. Rapp, G. Brown, M. Rho, Phys. Rev. C62 (2000)



$\rightarrow$ Mischung von ρ and a_1

$\rightarrow$ Dualität von hadronischer und partonischer Beschreibung bis $M_{ee} \approx 0.5$ GeV

$\rightarrow$ Wiederherstellung chiraler Symmetrie?

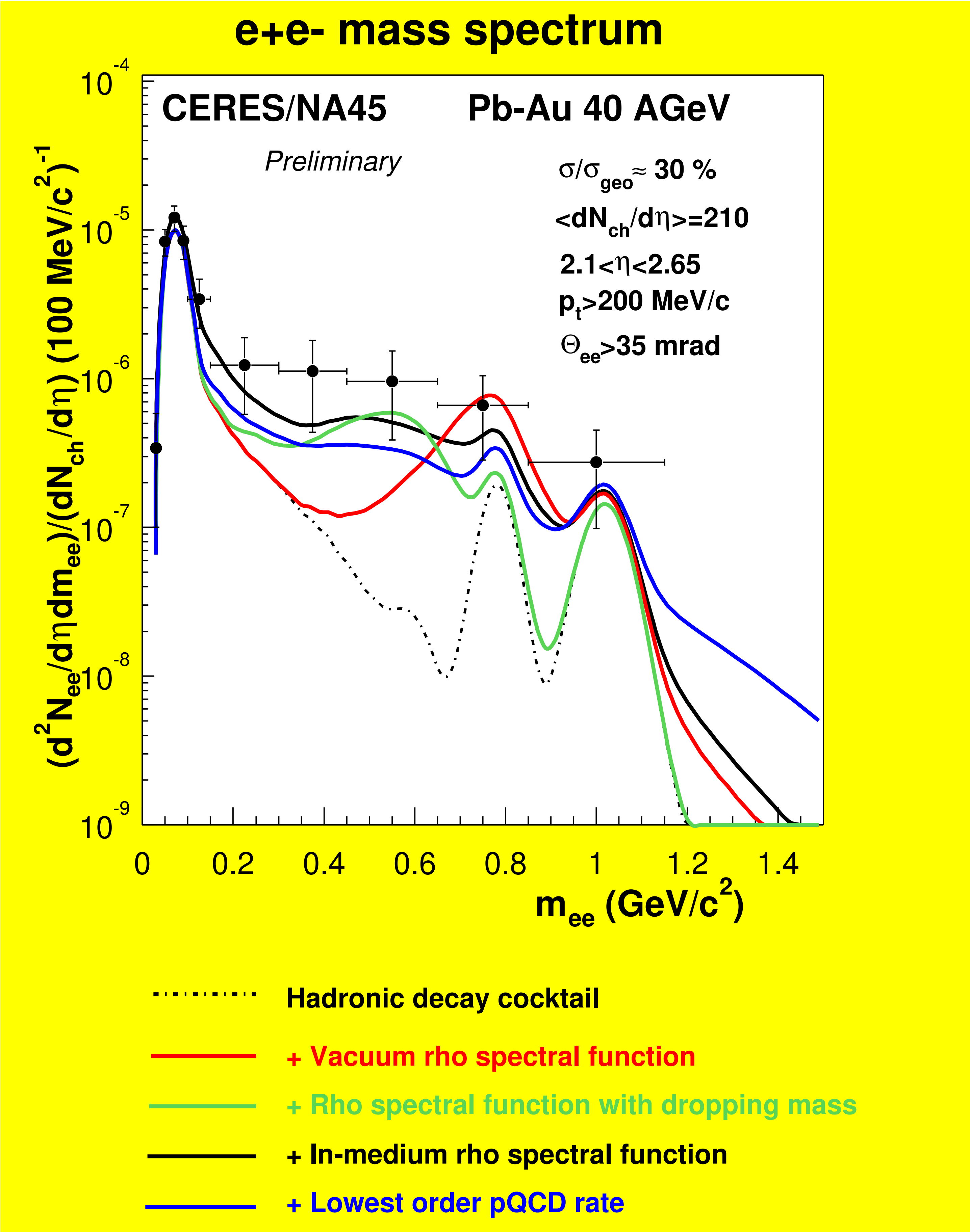


Number of pairs for m>0.2 GeV/c2: 180+-48

Ratio Signal/Background: 1/6

Hadronic decay cocktail:
- particle ratios taken from thermal model for Pb-Pb
-rapidity and pt distributions from systematics in Pb-Pb

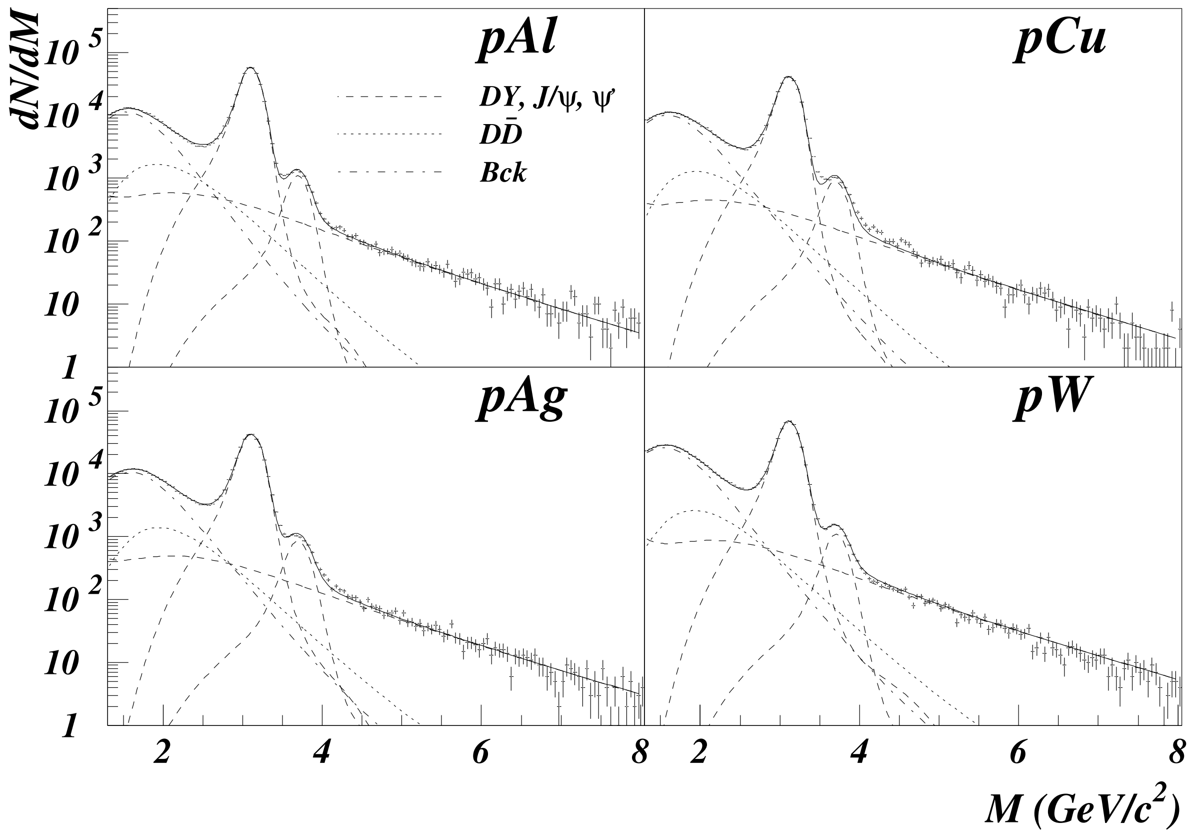
Enhancement: measured pairs/decay cocktail: 5.0 +- 1.5



e+e- mass spectrum
CERES/NA45
Pb-Au 40 AGeV
Preliminary
σ/σ_geo ≈ 30 %
<dN_ch/dη>=210
2.1<η<2.65
p_t>200 MeV/c
Θ_ee>35 mrad
(d²N_ee/dηdm_ee)/(dN_ch/dη) (100 MeV/c²)^-1
m_ee (GeV/c²)
Hadronic decay cocktail
+ Vacuum rho spectral function
+ Rho spectral function with dropping mass
+ In-medium rho spectral function
+ Lowest order pQCD rate

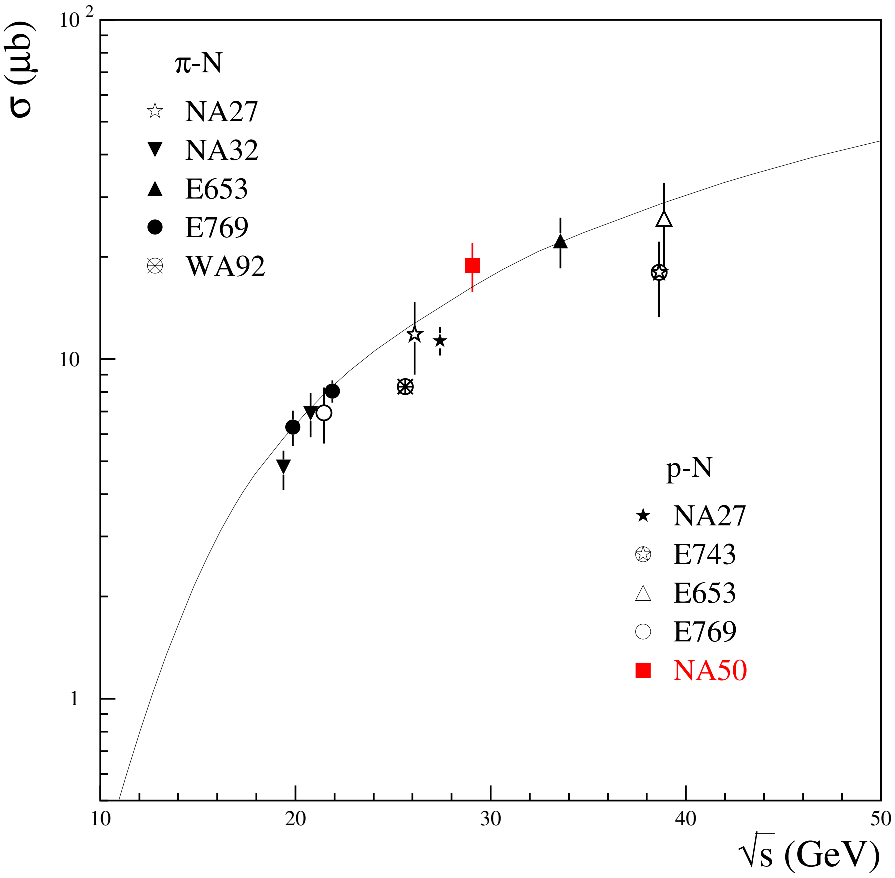
$\mu^+\mu^-$ Produktion in 450 GeV pA

NA50 European Physics Journal C14 (2000) 443



- Bestimmung von $\sigma^{pp}_{c\bar{c}}$ durch Entfaltung und Normierung auf Targetmasse A

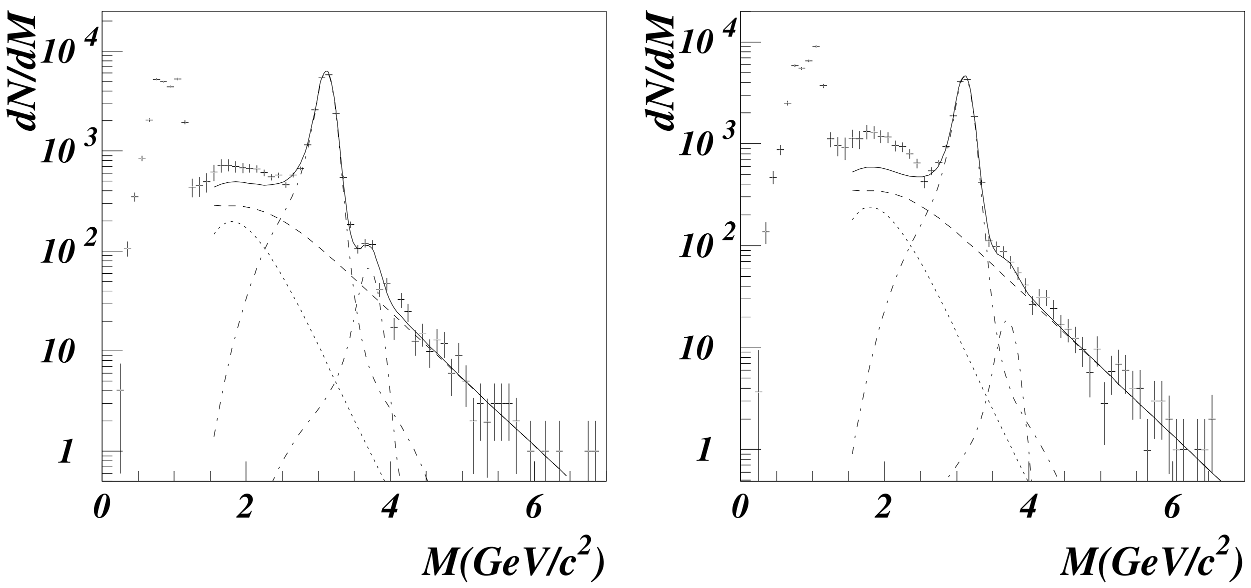
NA50 European Physics Journal C14 (2000) 443



- Indirekte Messung von $\sigma_{c\bar{c}}^{pp}$ ist konsistent mit direkter Messung von $D\overline{D}$
- In pA wird $\mu^+\mu^-$ Produktion im IMR vollständig beschrieben durch Superposition von DY und $D\overline{D}$ Zerfällen

$\mu^+\mu^-$ Produktion in 158 AGeV Pb+Pb

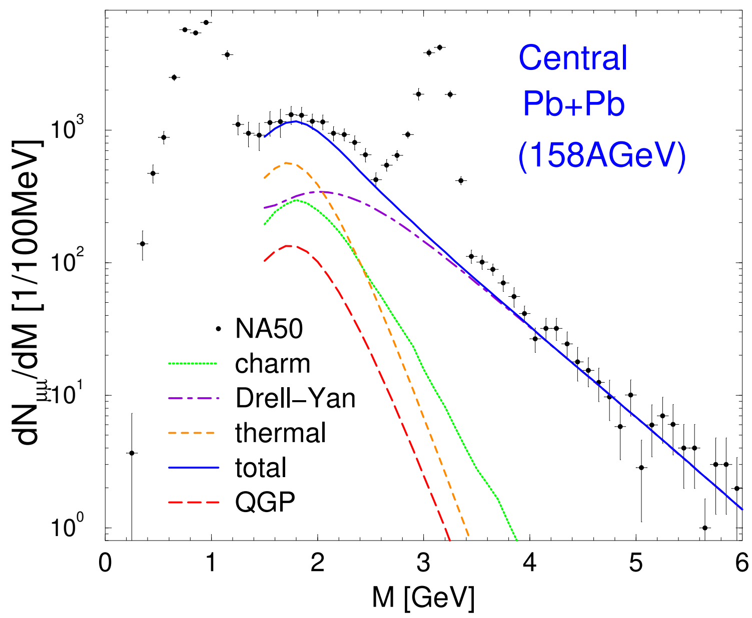
NA50 European Physics Journal C14 (2000) 443

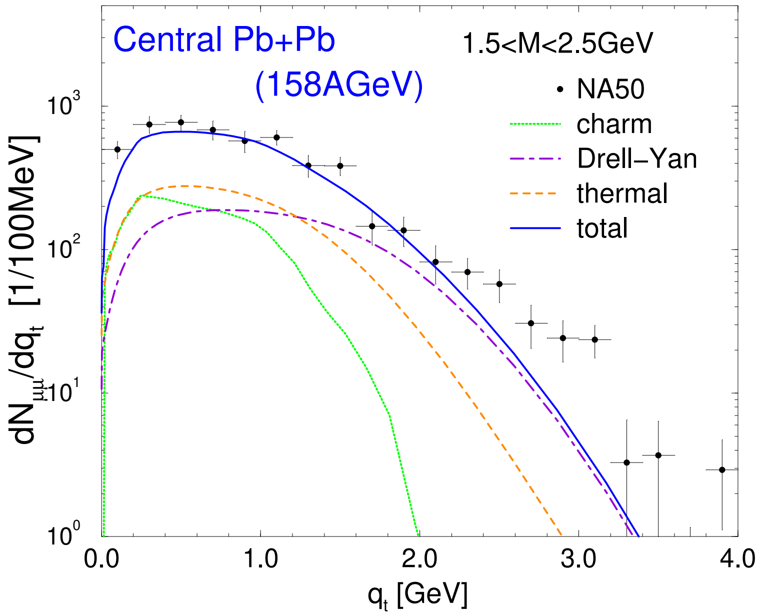


- Erhöhte $\mu^+\mu^-$ Produktion in Pb+Pb Reaktionen im IMR
- Erhöhung der $D\overline{D}$ Produktion in Pb+Pb um Faktor 2-3?

Thermische $\mu^+\mu^-$ Produktion

R. Rapp and E. Shuryak, Phys.Lett. B473 (2000) 13-19



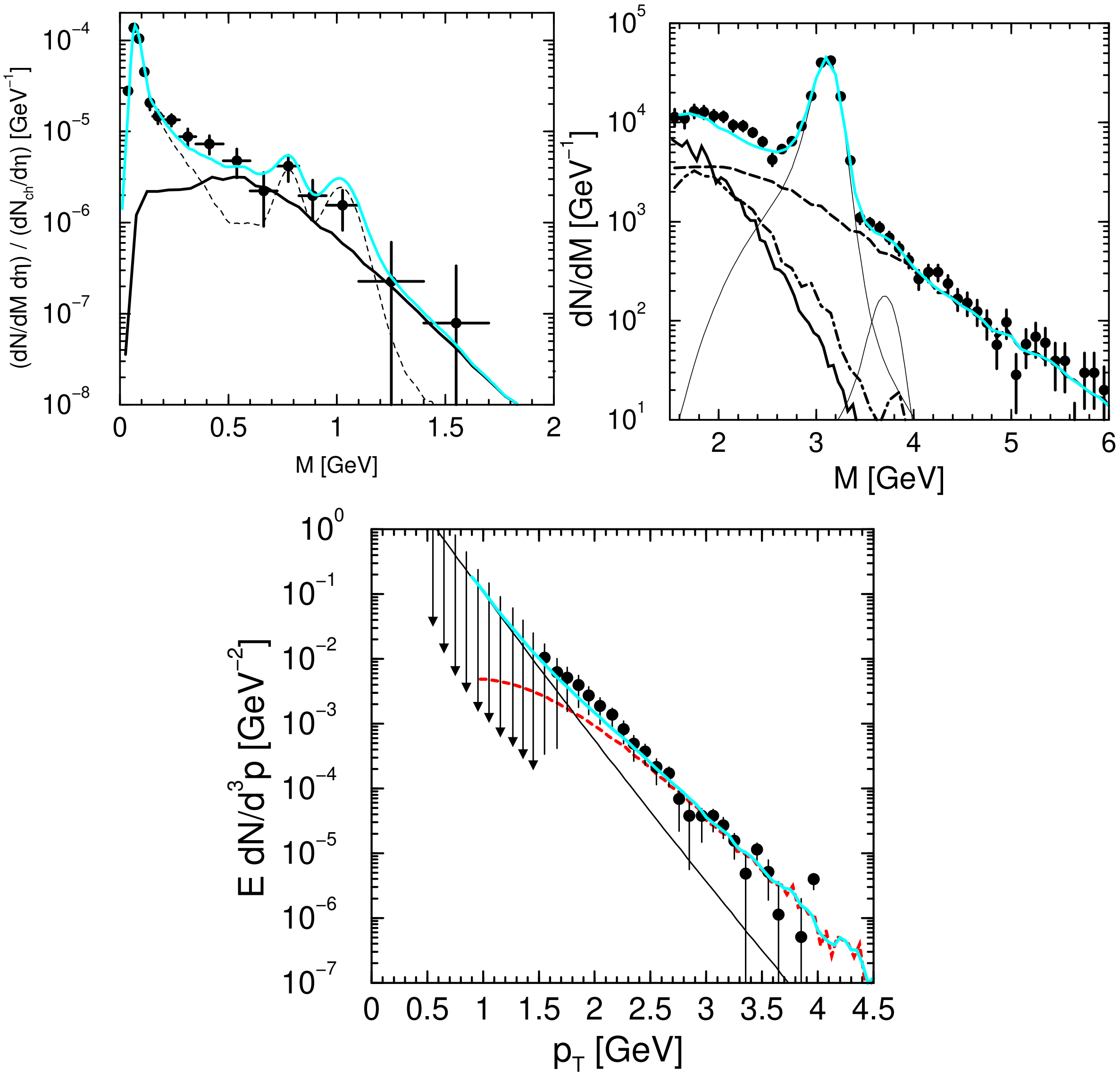


- Alternativ zu erhöhter $D\overline{D}$-Produktion kann der $\mu^+\mu^-$-Überschuss im IMR auch durch thermische Produktion (T_i=192 MeV) beschrieben werden

Ist eine einheitliche Beschreibung aller Dilepton- und Photon-Daten durch eine thermische Quelle möglich?

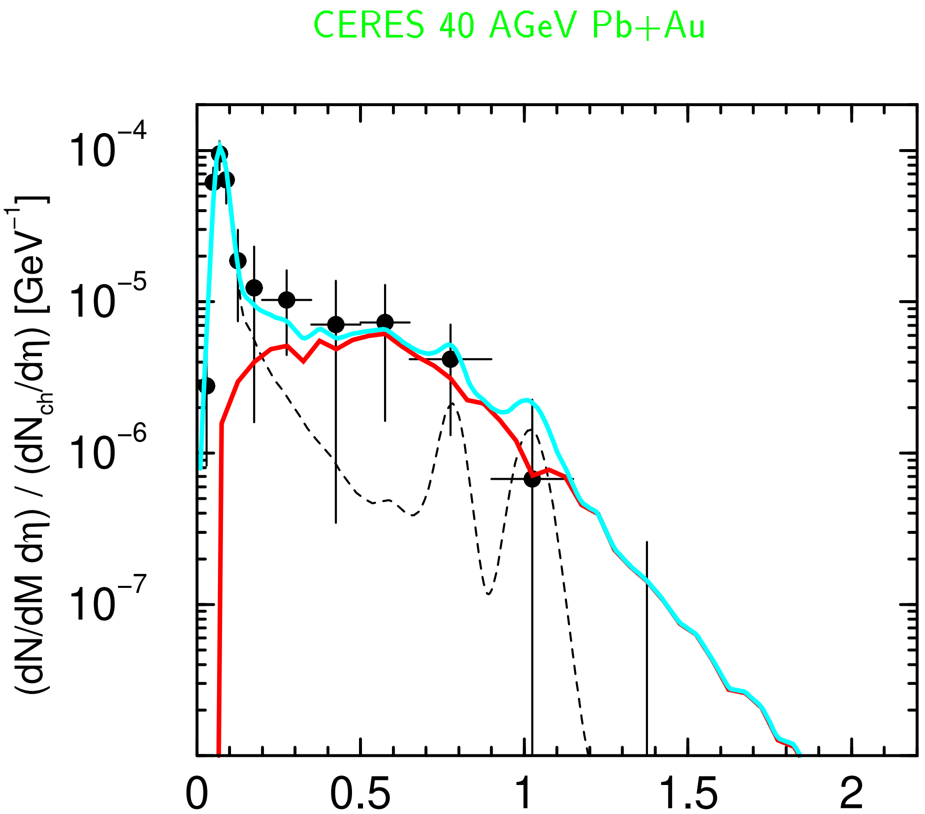
B. Kämpfer, K. Gallmeister, O.P. Pavlenko, C. Gale, hep-ph/0102192

- Hadron-Parton Dualität für $M > 0.3$ GeV
- DY-artige Beiträge durch Anpassung an Daten



$\Rightarrow$ Beschreibung der 158 AGeV Pb+Pb Daten für $T_{\rm eff}$=170 MeV, $N_{\rm eff} = 3.3 \cdot 10^4$ fm^4

B. Kämpfer, K. Gallmeister, O.P. Pavlenko, C. Gale, hep-ph/0102192



$\Rightarrow T_{\rm eff}$=145 MeV

Zusammenfassung

- WA98: Erstmaliger Nachweis direkter Photonen in Schwerionenkollisionen
  - Besseres theoretisches Verständnis der thermischen Produktion sowie des Anteils prompter Photonen (nukleare Effekte, niedrige p_t) zur Interpretation nötig

- e^+e^--Produktion bei 158 AGeV und 40 AGeV
  - Erfordert die Einführung von In-Medium Modifikationen der Eigenschaften von Vektormesonen
  - Hinweise zur Wiederherstellung der chiralen Symmetrie (Vortrag T. Renk)
  - Analyse der 2000er CERES-Daten mit verbesserter Massenauflösung zur Bestimmung der Beiträge von ω, ϕ
  - bei niedrigeren Energien: HADES und SIS200 (GSI)
  - bei Collider-Energien: ALICE (CERN-LHC), Vorträge B. Kämpfer, R. Schmidt

- $\mu^+\mu^-$-Produktion im intermediären Massenbereich
  - Kann erklärt werden durch thermische Produktion
  - NA60: Direkte Messung von $D\overline{D}$ in Pb+Pb