

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN  
INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK

INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK I  
der  
JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

**JAHRESBERICHT 98**

# 1 Vorwort

Mit der hier vorliegenden kleinen Broschüre berichtet das Institut für Theoretische Physik I über seine wissenschaftliche Arbeit im vergangenen Jahr. Die Arbeitsrichtungen des Instituts haben sich in den letzten Jahren maßgeblich erweitert: neben die Arbeitsgruppe der klassischen Schwerionenphysik sind nun auch immer stärkere Arbeitsgruppen der Hadronen- und Photonuklear-Physik sowie der Kernstruktur- und Quarkphysik getreten. Wir arbeiten daran, insbesondere die Bindeglieder zwischen diesen breitgefächerten Arbeitsrichtungen zu betonen. Ein Beispiel dafür: ein Verständnis elektromagnetischer Signale aus hochrelativistischen Schwerionenreaktionen wird nur bei gleichzeitiger Analyse von photonuklearen Reaktionen möglich sein.

Wir betreiben alle diese Arbeiten ganz maßgeblich mit Studenten, Diplomanden und Doktoranden, aber auch in enger Zusammenarbeit mit großen Forschungslabors, wie z.B. der GSI Darmstadt, im In- und Ausland. In dieser engen Verzahnung von Großforschungseinrichtungen und Universitätsgruppen sehen wir die Zukunft leistungsfähiger Forschung an deutschen Universitäten. Unsere vielen internationalen Kontakte, ausländischen Mitarbeiter, Stipendiaten und Gästen bewirken eine internationale Atmosphäre in der Arbeitsgruppe. Daß Lehrveranstaltungen jetzt auch in Englisch gehalten werden sollen, wie man vielerorts hört, ist bei uns seit Jahren in der Graduiertenausbildung eine Selbstverständlichkeit. Die Diplomanden und Doktoranden lernen dabei von Anfang an, sich mit ihren Ergebnissen international zu behaupten.

Erschwert wird dies lediglich durch die immer katastrophalere Grundausstattung seitens der Universität, wodurch selbst das Einwerben 'leistungsindikativer' Drittmittel gefährdet wird. Einem Maximum der Größe der Arbeitsgruppe steht jetzt ein Minimum in der Grundausstattung gegenüber! Daß wir trotzdem noch sichtbar arbeiten können, liegt nur an der großen Geduld der Drittmittelgeber. Dafür danken wir dem BMBF, der GSI Darmstadt, dem FZ Juelich und der DFG von ganzem Herzen.

Ulrich Mosel

## 2 Personal

### Wissenschaftler

Dr. E. Bratkovskaya  
Prof. Dr. Dr. W. Cassing  
Dr. J. Geiß  
Dr. C. Greiner  
apl. Prof. Dr. H. Lenske  
Dr. S. Leupold  
Prof. Dr. U. Mosel  
Dr. W. Peters  
Dr. P. Sahu  
Dr. A. Sibirtsev  
Priv.Doiz. Dr. M. Thoma

### Verwaltung und Sekretariat

E. Jung

### Doktoranden

M. Effenberger  
F. Hofmann  
A. Hombach  
S. Juchem  
H. Luo  
G. Martens  
G. Penner  
K. Schertler  
C. Traxler

### Diplomanden

M. Diebel  
T. Falter  
C. Keil  
M. Keil  
J. Lehr  
T. Mehlmann  
F. Steffen  
Z. Xu

## 3 Photonukleare Physik

Elektromagnetische Signale, wie direkte Photonen und Elektron-Positron Paare, können möglicherweise wertvolle Informationen aus der Hochdichte-Phase einer relativistischen oder ultrarelativistischen Schwerionenphysik liefern, da sie das Reaktionsvolumen nahezu wechselwirkungsfrei verlassen können. Insbesondere die Suche nach Änderungen der Eigenschaften von Hadronen in dichter Kernmaterie stellt gegenwärtig einen wichtigen Aspekt relativistischer und ultrarelativistischer Schwerionenexperimente dar. Die theoretische Analyse solcher Experimente ist jedoch immer noch mit fundamentalen Unsicherheiten belastet, weil einerseits die wesentlichen Elementarprozesse nicht hinreichend genau bekannt sind, andererseits aber auch grundlegende theoretische Annahmen, wie z.B. das Vorliegen eines vollständigen Gleichgewichts und Homogenität der umgebenden Materie, bei der Berechnung von in-medium Eigenschaften in einer solchen Reaktion nicht gegeben sind.

Wir haben deshalb schon vor einigen Jahren begonnen, photonukleare Reaktionen sowohl am Nukleon als auch am Kern theoretisch zu betrachten. Im Mittelpunkt des letzten Jahres haben dabei die folgenden Untersuchungen gestanden.

### 3.1 K-Matrix Analyse elementarer hadronischer und photoni-scher Reaktionen

Aufbauend auf der Methode der gekoppelten Kanäle haben wir im Rahmen einer K-Matrix Näherung zuerst alle elementaren hadronischen Reaktionen im Energiebereich bis zu ca. 1.9 GeV Schwerpunktsenergie untersucht. In diesem Verfahren wird die Rückstreuung in allen Ordnungen behandelt, die Zerfallsbreiten der Nukleonen-Resonanzen werden konsistent generiert. Aus der Analyse aller gemessenen hadronischen Reaktionskanäle am Nukleon im genannten Energiebereich können dann Massen und Kopplungen der Nukleonenresonanzen für die starke Wechselwirkung extrahiert werden. Bei dieser Analyse zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung mit den Standardwerten der Nuclear Data Group.

In einem zweiten Schritt haben wir dann auch die elektromagnetischen Kopplungen durch eine Analyse photonuklearer Reaktionen am Nukleon extrahiert. Dabei wurde neben der Photo-meson Produktion auch die Compton-Streuung als nahezu ausschließlich elektromagnetischer Prozess mitgenommen. Es zeigte sich dabei, daß einige hadronische Kopplungen durch diese Prozesse genauer bestimmt wurden als durch die rein hadronischen Reaktionen. Dies deckt sich mit einer entsprechenden Analyse der Photo  $\eta$  Produktion durch eine Gießener experimentelle Arbeitsgruppe.

Ziel ist es jetzt, diese gekoppelten Kanal Rechnungen auf die Analyse der Vektor-meson Produktion auszudehnen und zusätzlich auch die in-medium Änderungen der erhaltenen Resonanzparameter zu bestimmen.

## 3.2 Kohärente Photoproduktion am Kern

Die Photoproduktion von Mesonen am Kern ist weitgehend frei von den eingangs dargestellten Nichtgleichgewichtsproblemen in einer Schwerionenreaktion. Die in Schwerionenreaktionen erreichbare höhere Dichte scheint zwar für die Untersuchung von in-medium Eigenschaften vorteilhaft zu sein, jedoch haben detaillierte Untersuchungen auch einer Gießener Arbeitsgruppe gezeigt, daß selbst in solchen Reaktionen der größte Teil der beobachteten Signale bei relativ kleinen Dichten  $< 2\rho_0$  erzeugt wird. Angeregt durch diese wichtige Beobachtung haben wir begonnen, die kohärente Photoproduktion von Mesonen am Kern zu untersuchen.

Erste Ergebnisse haben wir zur gegenwärtig experimentell untersuchten kohärenten Produktion von Pionen und zur an MAMI geplanten Produktion von  $\eta$  Mesonen in solchen Reaktionen erhalten. Die Rechnungen werden quantenmechanisch im Rahmen der Distorted Wave Impulse Approximation durchgeführt. Für die Pionen haben sie gezeigt, daß die gemessenen Querschnitte sensitiv sind auf die in-medium Eigenschaften der intermediären  $\Delta$  Resonanzen, eine Tatsache, die mittlerweile von einer amerikanischen Arbeitsgruppe bestätigt wurde.

Als wichtiges Ergebnis wurde in einer Dissertation gefunden, daß die kohärente Photoproduktion von  $\eta$  Mesonen weniger stark unterdrückt ist als bisher angenommen. Da  $\eta$  Mesonen primär über die N(1535) Nukleonenresonanz produziert werden und diese Resonanz in der kohärenten Produktion unterdrückt sein sollte, waren bisher sehr kleine Wirkungsquerschnitte für diesen Prozess vorhergesagt worden. In der gleichen Doktorarbeit wurde gezeigt, daß bisher stets vernachlässigte nichtlokale Korrekturen durchaus zu einer Produktion über die genannte Nukleonenresonanz führen können.

Gegenwärtig berechnen wir diesen Prozeß auch für die Vektormeson-Produktion. Erste Untersuchungen haben gezeigt, daß sich möglicherweise die von einigen Theorien vorhergesagte starke Polarisationsabhängigkeit der Vektor-Meson Eigenschaften in Materie in solchen Reaktionen verifizieren läßt.

## 3.3 Inkohärente Meson-Produktion

Die elektromagnetischen Signale aus hochenergetischen Schwerionenreaktionen werden im allgemeinen mit transporttheoretischen Methoden beschrieben. Durch Anwendung der gleichen Verfahren und Computer Codes auf die photonuklearen Prozesse wollen wir die in diesen Codes implementierten spezifischen Elementarprozesse besser und selektiver austesten als das in den sehr inklusiven Schwerionenreaktionen möglich ist. Wir haben daher in den letzten Jahren die Photoabsorption und die Photo-Mesonproduktion am Kern mit diesen Verfahren untersucht; unsere Arbeiten standen dabei in einem engen thematischen Zusammenhang mit entsprechenden experimentellen Untersuchungen einer Gießener Arbeitsgruppe am Beschleuniger MAMI.

Die Photo-Meson Produktion kann mit diesem Verfahren gut beschrieben werden; wichtig dabei ist, daß mit dem  $\Delta$ -hole Modell konsistente Breiten der Nukleonen-Resonanz implementiert werden. Dies ist ein Beispiel für die höhere Selektivität solcher elementarerer Reaktionen. Die Untersuchungen zur Photoabsorption, bei der die Daten ein vollständiges Verschwinden der höheren Nukleonenresonanzen zeigen, finden möglicherweise eine Erklärung, wenn eine Absenkung der  $\rho$  Meson Masse im Medium berücksichtigt wird. In diesem Fall öffnet sich der Phasenraum für den Zerfall der  $N(1520)$  Resonanz in  $N + \rho$  und die Resonanz wird so breit, daß sie verschwindet. Hier finden wir also einen experimentellen Hinweis auf die Absenkung der Vektormeson Masse, der völlig außerhalb der Schwerionenphysik liegt.

Wir haben in jüngster Zeit diese Rechnungen auch auf die Photoproduktion von Vektormesonen ausgedehnt. Es werden in-medium Sensitivitäten gefunden, die ebenso groß sind wie die für Schwerionenreaktionen berechneten.

## 4 Pion-Kern, Proton-Kern und Kern-Kern Reaktionen

### 4.1 Kaonen und Antikaonen Produktion

Zur Berechnung der  $K^+$  und  $K^-$  Produktion in p+A und A+A Reaktionen sowie der Spektralfunktionen der Kaonen bei endlicher Dichte haben wir zunächst detaillierte Analysen der elementaren Reaktionen  $KN \rightarrow KN$  durchgeführt. Unter Verwendung von experimentellen Daten für diese Querschnitte zeigte eine dispersionstheoretische Analyse, daß die  $K^+$  Mesonen ein schwach impulsabhängiges repulsives Potential um +25 MeV bei Kernmateriedichte  $\rho_0$  haben sollten, während das Antikaonen Potential attraktiv und stark impulsabhängig sein sollte.

Die berechneten inklusiven Kaonenspektren für  $Ni + Ni$  von 0.8 - 1.8 A GeV,  $C + C$  bei 0.8 - 2.0 GeV und  $Ru + Ru$  bei 1.69 GeV zeigen im Vergleich mit den experimentellen Daten der KaoS und FOPI Kollaborationen am SIS, daß für das  $K^+$  Meson im Mittel keine bzw. nur leicht repulsive Potentiale mit den Spektren verträglich sind. Der Kaonen-Flow deutet auf leicht repulsive Potentiale hin. In der Tat können die Daten für semiperiphere  $Ru + Ru$  Reaktionen nur mit einer repulsiven Kaon Wechselwirkung im Medium erklärt werden.

Im Gegensatz dazu können die gemessenen  $K^-$  Spektren für  $Ni + Ni$  bei 1.6 und 1.8 A GeV sowie  $C + C$  und  $Ru + Ru$  nur reproduziert werden, wenn die Antikaonenmasse bei endlicher Baryondichte (um etwa 20% bei normaler Kernmateriedichte) reduziert wird. Diese Rechnungen sind inzwischen von den unabhängigen Gruppen an der Texas A&M University und in Stony Brook bestätigt worden.

Die Untersuchungen zur Strangenessproduktion bei AGS-Energien sind weiter fortgeführt worden, um auch hier Signaturen von Kaonen- und Antikaonenpotentialen zu finden. Allerdings zeigen sich mögliche Effekte bei der mittleren Energie  $\sqrt{s} \approx 5$  GeV pro Nukleon-Nukleon Stoß in deutlich geringerem Maße als bei SIS-Energien. Bemerkenswert ist, daß insbesondere die  $K^+$  Produktion bei zentralen  $Au + Au$  Reaktionen von 4 - 11 A GeV unterschätzt wird, was entweder daraufhinweist, daß das  $K^+$  Potential bei sehr hoher Dichte wieder attraktiv sein könnte oder aber hadronische Transporttheorien generell eine falsche Beschreibung der Reaktionsdynamik in diesem Energiebereich liefern.

Die Analyse der  $K^+$ ,  $K^-$  und  $\Lambda$  Produktion bei SPS-Energien dagegen zeigt, daß die verfügbaren Daten für  $S + S$  bei 200 A GeV sowie auch für  $Pb + Pb$  bei 160 A GeV recht zufriedenstellend im hadronischen Transportmodell beschrieben werden, sowohl für freie Massen der Hadronen als auch für die 'in-Medium' Massen, wobei im letzteren Fall lediglich die Rapiditätsverteilung etwas breiter wird. Die Erhöhung der Strangenessproduktion ist hier auf sekundäre und weitere Reaktionskanäle zurückzuführen, so daß auch bei SPS-Energien das hadronische Reaktionsmodell in guter Übereinstimmung mit den Daten ist. Die Strangenesserzeugung ist somit als klare Signatur für ein Quark-Gluon-Plasma (QGP) ausgeschlossen.

## 4.2 Dileptonen Produktion in $\pi + A$ , $p + A$ und $A + A$ Reaktionen

Die Eigenschaften des  $\rho$ -Mesons in dichter Materie sind von zentraler Bedeutung für die Frage nach der Wiederherstellung der chiralen Symmetrie bei hoher Dichte bzw. Temperatur. Die starke Kopplung des  $\rho$ -Mesons an Baryonresonanzen, die experimentell aus den partiellen Zerfallsbreiten der Resonanzen ersichtlich ist, haben wir in einem Resonanz-Loch Modell für die Selbstenergie des  $\rho$ -Mesons zur Berechnung der Spektralfunktion verwendet. Erstmals wurden dabei alle Resonanzen berücksichtigt sowie auch die Rückkopplung der modifizierten  $\rho$ - Spektralfunktion auf die partiellen Breiten der Resonanzen selbst. Das Ergebnis dieser Iteration sind einerseits eine starke Verbreiterung des  $\rho$ -Mesons bei endlicher Dichte ( $\approx \rho_0$ ), andererseits auch eine starke Verbreiterung der  $N(1520)$  Resonanz sowie einiger höherer Resonanzen. Transporttheoretische Rechnungen wurden mit diesen Spektralfunktionen für  $Ca + Ca$  und  $C + C$  bei 1 A GeV im Vergleich mit den Daten der DLS Kollaboration durchgeführt. Es zeigte sich jedoch, daß die gemessenen Dileptonenspektrum bei mittleren Massen (0.3 - 0.6 GeV) in Kern-Kern Reaktionen um einen Faktor 2-3 unterschätzt werden, obwohl die Dileptonenproduktion im primären  $pp$  Kanal von 1 - 4.9 GeV sehr gut verstanden scheint.

Während das  $\rho$ -Meson in erster Linie in Kern-Kern Reaktionen untersucht werden kann, bieten sich für das  $\omega$ -Meson  $\pi + A$  Reaktionen bei 1 - 2 GeV/c an, wie sie

demnächst an der GSI mit dem HADES Spektrometer experimentell untersucht werden können. Wir haben umfangreiche Transportsimulationen für  $\pi^- + {}^{12}\text{C}$ , Ca und Pb bei verschiedenen Strahlimpulsen zur Dileptonenproduktionen durchgeführt, einerseits zur Berechnung des Untergrundes, andererseits unter Verwendung verschiedener Modelle für die Spektralfunktionen der Vektormesonen. Als optimale Systeme bieten sich hier  $\pi^- + \text{C}$  und Pb bei 1.3 - 1.7 GeV/c an, wobei ein Cut auf kleine Laborimpulse ( $p_{e^+e^-} \leq 0.3$  GeV/c) die Effekte der verschiedenen Spektralfunktionen deutlicher hervortreten läßt. Der Vergleich verschiedener Modellrechnungen zeigte jedoch, daß die größten Unsicherheiten im elementaren Kanal  $\pi^- n$  bzw.  $\pi^- p$  liegen, so daß zunächst diese elementaren Reaktionen vermessen werden sollten bevor Schlüsse über die In-Medium Eigenschaften der Vektormesonen gezogen werden können.

### 4.3 Kollektiver Fluß in A+A Reaktionen

Die kollektiven Ströme der Nukleonen in transversaler und radialer Richtung bei Kollisionen von schweren Kernen wie  $Au + Au$  sind sensitiv auf die Dichte- und Impulsabhängigkeit der Nukleonenpotentiale, die ihrerseits wiederum die Zustandsgleichung für Kernmaterie (EOS) bestimmen. Im Rahmen von Transportrechnungen haben wir systematische Analysen für  $Ni + Ni$  und  $Au + Au$  Reaktionen von 150 A MeV bis 2000 A MeV mit verschiedenen Nukleonenpotentialen durchgeführt. Als Randbedingung für die Wahl der Potentiale diente das experimentell bestimmte Proton-Kern optische Potential bei Kernmateriedichte, welches weitgehend die Impulsabhängigkeit der Potentiale bis zu Impulsen von 1.3 GeV/c festlegt. Der Vergleich der Rechnungen mit den experimentellen Daten zum transversalen Fluß im betrachteten Energiebereich läßt jedoch keinen eindeutigen Schluß auf die Inkompressibilität von Kernmaterie zu, da die Sensitivität auf diese Größe zu gering ist. Gleiche Erfahrungen haben wir ebenfalls bei der Berechnung des radialen Flusses in  $Au + Au$  Reaktionen von 150 A MeV bis 1200 A MeV gemacht; die radiale Flußgeschwindigkeit  $\beta_{radial}$  wird jedoch in allen Modellen bei Energien unterhalb von 400 A MeV unterschätzt. Diese Diskrepanz zu den Daten der FOPI und EOS Kollaborationen ist bisher unverstanden.

Als interessantes Nebenergebnis haben wir gefunden, daß die Anregung hoher Nukleonenresonanzen einen bedeutenden Einfluß auf den transversalen Fluß bei Energien oberhalb von 1 A GeV hat; dieser Effekt ist bisher in theoretischen Analysen nicht beachtet worden. Die Abhängigkeit des radialen Flusses von der Masse der Teilchen ( $A=1,\dots,4$ ) kann recht gut im Rahmen eines einfachen Koaleszenzmodells beschrieben werden. Der für  $Au + Au$  Reaktionen experimentell gemessene Anstieg der radialen Flußenergie mit der Masse A deutet auf eine etwas härtere Zustandsgleichung hin. Jedoch ist im Rahmen der systematischen Fehler in der Analyse der Teilchenspektren noch keine endgültige Antwort möglich.

## 5 Struktur von Exotischen Kernen und Hyperkernen

Eigenschaften von Kernmaterie bei extremem Isospin können in exotischen Kernen mit großem Protonen- oder Neutronenüberschuß erstmals systematisch untersucht werden. Erweiterungen auf Hyperkerne erlauben es, die Dynamik von gebundenen Systemen im gesamten Isospin-Strangeness Sektor des SU(3)-Flavor Baryonoktetts zu untersuchen. Von besonderem Interesse ist dabei, inwieweit die In-medium Wechselwirkungen der SU(3) Symmetrie gehorchen.

Für Kerne mit hohem Isospin geben die zunehmend genaueren und umfassenderen Messungen deutliche Hinweise, daß die existierenden Theorien die Dynamik dieser Systeme nur unzureichend beschreiben. Die NN-Wechselwirkung in stark asymmetrischer Kernmaterie wurde mit Dirac-Brückner Rechnungen bis hin zur reinen Neutronenmaterie bestimmt. Wesentliche Änderungen des Dichteverhaltens und der Impulsstruktur wurden in Rechnungen mit expliziter Berücksichtigung von See-Polarisationsdiagrammen festgestellt. Aus den Brückner Rechnungen wurden dichteabhängige effektive Meson-Nukleon Kopplungskonstanten bestimmt, die erstmals auch Beiträge im skalar-isovektor Kanal ( $\delta$  Meson) einschließen. Sie führen zu einer Isovektorkomponente in den relativistischen effektiven Massen, so daß Protonen und Neutronen dynamisch unterscheidbar werden. Erste Rechnungen in endlichen Kernen zeigen wichtige Effekte, die mit zunehmender Asymmetrie eine deutliche Verstärkung erfahren. Anwendungen auf Neutronensterne werden gegenwärtig untersucht.

Transfer- und Aufbruchreaktionen von exotischen Kernen wurden über einen großen Bereich von Eingangsenergien in DWBA bzw. der Eikonalnäherung untersucht. Die Struktur der Kerne wurde mit HF, HFB und RPA Rechnungen beschrieben. In neuen GSI/FRS Experimente wurden erstmals die hohen Impulskomponenten in den Longitudinalimpulsverteilungen aus dem Aufbruch der Halokerne  ${}^8\text{B}$  und  ${}^{19}\text{C}$  gemessen. In den Rechnungen konnte gezeigt werden, daß die hohen Impulskomponenten zu großen Teilen durch Rumpfpolarisationseffekte bestimmt werden.

Schon aus symmetrischer Kernmaterie ist bekannt, daß 3-Körperwechselwirkungen aus der Anregung von intermediären Nukleonresonanzen, insbesondere der  $\Delta_{33}(1232)$  Resonanz, wichtige Beiträge zur Bindungsenergie geben. Asymmetrische Systeme geben genauere Informationen über die Isovektorkomponenten dieser Kräfte, die naturgemäß in stabilen Kernen kaum zum Tragen kommen. Die Brücknergleichungen wurden durch explizite Ankopplung an 3-Körperdiagramme erweitert, wobei durch Ausintegrieren der Resonanzzustände schließlich eine effektive NN-Wechselwirkung mit zusätzlichen dichte- und asymmetrieabhängigen Komponenten erhalten wird. Erste Abschätzungen zeigen, daß bei hoher Asymmetrie die Dichteabhängigkeit der Wechselwirkungen durch die 3-Körperbeiträge reduziert werden könnte.

Die dichteabhängige Feldtheorie wurde in Strukturrechnungen für Hyperkerne an-

gewendet. Da gegenwärtig keine Dirac-Brücknerrechnungen für NY (Hyperon Y) oder YY Wechselwirkungen existieren, wurden Meson-Y Kopplungskonstanten durch ein einfaches Reskalierungsgesetz aus den entsprechenden NN Parametern hergeleitet. Es wird also angenommen, daß die Dichteabhängigkeit universell ist, die Stärken jedoch vom Flavourzustand des Baryons abhängen. Die Reduktionsfaktoren wurden aus T-Matrixrechnungen für freie NY Streuung bestimmt. In Übereinstimmung mit früheren, rein empirischen Erfahrungen werden große Abweichungen von der reinen SU(3)-Reskalierung gefunden. Die gute Beschreibung von Hyperkerndaten zeigt, daß mit dieser Vorgehensweise die wesentlichen Aspekte der Dynamik erfaßt werden. Ergebnisse für derzeit noch hypothetische Multi-Strangeness Kerne unterscheiden sich deutlich von den Vorhersagen aus phänomenologischen Feldtheorien. Wegen der Dichteabhängigkeit der Wechselwirkungen werden die Stabilitätsgrenzen in schweren Multi- $\Lambda$  Kernen schon bei wesentlich geringeren Hyperonenzahlen erreicht werden. Aus den Rechnungen wurde eine verallgemeinerte Massenformel für den gesamten Isospin-Strangeness ( $S=-1$ ) Bereich hergeleitet.

## 6 Quark-Physik

### 6.1 Quark-Gluon-Plasma

In den letzten Jahren hat sich herausgestellt, daß nicht-perturbative Effekte der QCD von großer Bedeutung für die Eigenschaften eines Quark-Gluon-Plasmas sind, dessen Auftreten man in relativistischen Schwerionenkollisionen erwartet. Wichtige nicht-störungstheoretische Größen, die die Grundlage für die Beschreibung von hadronischen Eigenschaften mittels der QCD-Summenregeln bilden, sind die Quark- und Gluonkondensate. Letzteres beschreibt die Skalenbrechung in der QCD und existiert auch oberhalb vom Phasenübergang in der Deconfinement-Phase. In Zusammenarbeit mit A. Schäfer von der Universität Regensburg haben wir die Rolle des Gluonkondensats auf die Propagation von Quarks im Quark-Gluon-Plasma untersucht. Der Quarkpropagator wurde bei Anwesenheit eines Gluonkondensats berechnet und daraus die Dispersionrelation der Quark-Selbstenergien abgeleitet. Es ergab sich eine Dispersionsrelation, die zwei massiven Quarkmoden entspricht und überraschenderweise eine große Ähnlichkeit mit perturbativen Dispersionsrelationen aufweist. Allerdings ist die effektive Quarkmasse proportional zur Temperatur  $T$  und nicht  $gT$ , wobei  $g$  die starke Kopplungskonstante bedeutet, wie es in störungstheoretischen Rechnungen der Fall ist. Wir beabsichtigen, weitere Konsequenzen des effektiven Quarkpropagators unter Berücksichtigung des Gluonkondensats, z.B. auf die Dileptonproduktion als eine vielversprechende Signatur des Quark-Gluon-Plasmas, zu betrachten.

## 6.2 $J/\Psi$ -Unterdrückung

$\mu^+\mu^-$ -Paare im invarianten Massenbereich von  $2.5 \text{ GeV} \leq M \leq 4.5 \text{ GeV}$  bieten Informationen über Drell-Yan Prozesse sowie über die Produktion und Absorption von  $J/\Psi$  und  $\Psi'$  Mesonen in ultrarelativistischen Schwerionenkollisionen. Die kürzlichst gesehene erhöhte Unterdrückung von  $J/\Psi$  Mesonen relativ zum Drell-Yan Untergrund in zentralen Pb + Pb Kollisionen bei 160 AGeV ist von verschiedenen Gruppen dahingehend interpretiert worden, daß neben der Dissoziation von  $J/\Psi$  Mesonen an den Nukleonen eine QGP-Phase für eine zusätzliche Absorption verantwortlich sein sollte. Als denkbare Alternative wurde von uns untersucht, ob die erhöhte Unterdrückung auch durch eine mögliche Dissoziation des  $c\bar{c}$ -Paares im farbelektrischen Feld benachbarter Strings verstanden werden kann. Mittels einer quantenchromodynamisch inspirierten mikroskopischen Simulation wurde von uns bereits gezeigt, daß das starke farbelektrische Feld in einem String einen lokalisierten  $c\bar{c}$ -Zustand aufreißt und damit zu dessen Dissoziation führt. Dieser Prozeß sollte wegen der hohen Stringdichte - etwa 600 Strings in einer zentralen Pb + Pb Kollision - in A + A Reaktionen die Absorption erhöhen.

Wir haben deshalb die  $J/\Psi$  Produktion und Absorption in p + A und A + A Reaktionen bei 160 - 450 A GeV im Rahmen des HSD Transportmodells mit verschiedenen Absorptionsmodellen mikroskopisch berechnet. Insbesondere wurde untersucht, ob die erhöhte Unterdrückung des  $J/\Psi$  Mesons auf die Dissoziation des  $c\bar{c}$  Paares (zunächst als Farboktett) im farbelektrischen Feld benachbarter Strings zurückzuführen ist. Dieser Prozeß tritt in p + A Reaktionen nicht auf und sollte wegen der hohen Stringdichte in Kern-Kern Reaktionen zu zusätzlicher Absorption führen. In der Tat zeigen die mikroskopischen Rechnungen, daß die experimentellen Daten (NA38, NA50) durchaus auch kompatibel mit dieser Modellvorstellung sind, wenn ein absorptiver Stringradius von etwa 0.2-0.25 fm zugrundegelegt wird. Da auch dieses Modell in weitgehender Übereinstimmung mit den bisherigen Messungen ist, steht eine klare Signatur für das Auftreten einer QGP-Phase weiterhin aus.

## 6.3 Stochastische Interpretation von thermischer Feldtheorie

In einer ausführlichen Arbeit wurde gezeigt, daß die nichtperturbativen quantenfeldtheoretischen Transportgleichungen als ein Ensemble-Mittel über stochastische Trajektorien interpretiert werden können. Diese stehen in direkter Analogie zu Langevin-Prozessen und beinhalten in natürlicher Weise ein verallgemeinertes Fluktuations-Dissipations-Theorem. Die vorgestellte Interpretation der Transportgleichungen führt zu einem sehr intuitiven Verständnis über den Thermalisierungs-Prozeß in thermischen Quantenfeldtheorien. Es konnte auch gezeigt werden, daß sogenannte Pinch-Singularitäten, welche in einer störungstheoretischen Behandlung von Diagrammen für Situationen im Nichtgleichgewicht auftreten können, in einer konsistenten und nichtperturbativen transporttheoretischen Behandlung nicht auftreten dürfen.

Eine auf diesen Überlegungen basierende Anwendung betrifft die Beschreibung von sogenannten ‘disorientierten chiralen Kondensaten’ mittels Langevin-artiger Bewegungsgleichungen. Damit konnte erstmals der bislang unbekannte (dissipative und stochastische) Einfluß der thermischen Fluktuationen auf das Anwachsen der disorientierten chiralen Domänen studiert werden. Unsere Ergebnisse zeigen, daß die aus dem Domänenzerfall zu erwartende Anzahl von emittierten langwelligen Pionen sich nur in einer ‘event by event’-Analyse klar erkennen lassen.

## 6.4 QCD-Summenregeln

Die im letzten Jahr begonnene Analyse der Aussagekraft von QCD-Summenregeln wurde fortgesetzt. Mit diesen Summenregeln können Größen, die mit hadronischen Modellen berechnet wurden, über Dispersionsrelationen mit Ausdrücken aus QCD-Rechnungen in Verbindung gesetzt werden. Von besonders aktuellem Interesse für die Schwerionenphysik sind dabei die Eigenschaften von Vektormesonen wegen ihrer direkten Ankopplung an virtuelle Photonen. Letztere können den bei Schwerionenkollisionen gebildeten Feuerball ohne Endzustandswechselwirkung verlassen und tragen deshalb Information über die heiße und dichte Phase des Systems. Man erwartet, daß die im Vakuumzustand gebrochene chirale Symmetrie bei hoher Dichte wieder restauriert wird. Eine solche Restaurierung der chiralen Symmetrie müßte die Eigenschaften der Vektormesonen und damit das Spektrum der Dileptonen (die aus den virtuellen Photonen entstehen) beeinflussen. Bisher ist man allerdings nicht in der Lage, experimentell zwischen verschiedenen hadronischen Modellen für Vektormesonen zu unterscheiden. Der entwickelte Summenregelformalismus für Selbstenergien und Streuamplituden von Vektormesonen und deren Veränderung im Medium soll helfen, diese Lücke zu füllen.

## 6.5 Hadronisierung des Quark-Gluon Plasmas im chromodielektrischen Modell

Um Bildung und Zerfall eines Quark-Gluon Plasmas in relativistischen Schwerionenkollisionen zu verstehen, sollte die Hadronisierungsphase dynamisch beschrieben werden. Hierzu eignet sich das chromodielektrische Modell, das wichtige Teilaspekte der QCD mit realistischen Annahmen behandelt. Gluonaustausch-Wechselwirkungen werden durch klassische Vektorfelder berücksichtigt und Farbconfinement ergibt sich aus der Bündelung des farbelektrischen Flusses zwischen Quarks durch den Vakuumdruck, der aus einer umgebungsabhängigen chromodielektrischen Konstante berechnet wird. Zur Lösung der klassischen chromodielektrischen Feldgleichungen wurden geeignete Finite-Elemente Algorithmen entwickelt und numerisch realisiert, so daß jetzt ein Programmpaket zur Verfügung steht, mit dem Hadronisierungsszenarien in drei Dimensionen realistisch untersucht werden können.

In den Simulationen wird der Quark-Gluon-Plasma Feuerball als Anfangszustand initialisiert und die weitere Entwicklung der Systems aus den Feldgleichungen dynamisch berechnet. Tatsächlich ergibt sich ein Confinement-Phasenübergang zu farbneutralen Clustern, die aus Mesonen (Quark-Antiquark-Paaren), Baryonen und Antibaryonen (Quarktripel bzw. Antiquarktripel) bestehen. Daneben treten eventuell zusätzlichen Gluonen und rein gluonische Cluster (Gluebälle) auf. Eine wichtige Bestätigung für die Modellrechnungen ist, daß in Übereinstimmung mit theoretischen Abschätzungen größere Quark-Gluon-Cluster nur als kurzlebige intermediäre Zustände existieren, die durch die innere Modelldynamik in physikalische Zustände zerfallen.

## 6.6 Freie Energie einer $\Phi^4$ -Theorie bei hohen Temperaturen

Ausgehend von der Tatsache, daß störungstheoretische Rechnungen z.B. für die QCD bei hohen Temperaturen nur sehr schlecht konvergieren, wurde eine Resummationsmethode untersucht, die die Technik der dimensional Reduktion mit dem nicht-perturbativen Hartree-Fock-Ansatz kombiniert. Die dadurch neu formulierte Störungstheorie benutzt als Ausgangsbasis ein z.T. massives Gas von Moden anstelle der masselosen Moden, wie sie in der herkömmlichen Störungstheorie verwendet werden. Die Massen werden durch Gap-Gleichungen selbstkonsistent berechnet. Mit Hilfe dieser Methode wurde die freie Energie für eine  $N$ -komponentige  $\Phi^4$ -Theorie bis zur Drei-Schleifen-Näherung berechnet und so das Konvergenzverhalten der resummierten Störungstheorie studiert. Die  $\Phi^4$ -Theorie kann als *toy model* für die kompliziertere QCD betrachtet werden. Für die resummierte Störungstheorie findet man nur im Grenzfall einer sehr großen Zahl von Komponenten eine befriedigende Konvergenz. Möglicherweise läßt sich das schlechte Konvergenzverhalten auf die unzureichende Behandlung von wichtigen Freiheitsgraden zurückführen, die erst jenseits des Hartree-Fock-Ansatzes auftreten. Solche Moden sind im Grenzfall vieler Komponenten unterdrückt, was die wesentlich bessere Konvergenz für diesen Spezialfall erklärt.

## 6.7 Quark-Materie und Neutronensterne

Unsere astrophysikalischen Untersuchungen zur Struktur von Hybridsternen, d.h. Neutronensterne die einen Kern aus Quarkmaterie besitzen, haben wir weiter fortgesetzt. Neben der von uns entwickelten Zustandsgleichung für die Quarkmaterie, die Mediumeffekte (dichteabhängige Quarkmassen) berücksichtigt, haben wir eine Reihe von hadronischen Zustandsgleichungen zur Berechnung der Struktur von Hybridsternen herangezogen. Diese systematischen Studien haben das bereits gefundene Bild bestätigt, daß für einen großen Parameterbereich der starken Kopplungskonstanten und der Bagkonstanten ein Quarkkern bzw. eine Mischphase auftritt. Ersetzt man dagegen unsere Zustandsgleichung für die Quarkmaterie durch die des NJL-Modells, so ist die Existenz einer Quark- oder Mischphase im Sterninneren energetisch unterdrückt. Weiterhin ha-

ben unsere Berechnungen ergeben, daß bei Quark- und Hybridsternen der Radius gegenüber reinen Neutronensternen deutlich reduziert ist. Vergleiche mit Beobachtungen könnten deshalb einen Hinweis auf das Auftreten von Quarkmaterie in Neutronensternen liefern.

## Veröffentlichungen 1998

M. Alberg, T. Falter, E.M. Henley  
The Quark Distribution in the  $\Sigma^+$  Hyperon  
Nucl. Phys. A644 (1998) 93

M. Avrigeanu, A. Antonov, H. Lenske, I. Stetcu  
Full-Folding optical potentials for preequilibrium nucleon scattering at low energies  
submitted to Phys. Rev. C (1998)

A. Badala, R. Barbera, M. Bassi, A. Bonasera, M. Gulino, F. Librizzi, A. Mascali, A. Palmeri, G.S. Pappalardo, F. Riggi, A.C. Russo, R. Turrisi, V. Dunin, C. Ekstrom, G. Ericsson, B. Hoistad, J. Johansson, T. Johansson, L. Westerberg, J. Zlomaczhuk, A. Sibirtsev  
Subthreshold Production of Low Momentum  $K + INP + C$  at 1.2-GeV  
Phys. Rev. Lett. 80 (1998) 4863

T. Baumann, H. Geissel, H. Lenske, K. Markenroth, W. Schwab, T. Aumann, L. Axelsson, U. Bergmann, D. Cortina, L. Fraile, M. Hellström, M. Ivanov, N. Iwasa, R. Janik, B. Jonson, G. Münzenberg, T. Nilsson, F. Nickel, A. Ozawa, M. Pfützner, K. Riisager, C. Scheidenberger, M.H. Smedberg, G. Schrieder, H. Simon, B. Sitar, K. Sümmerer, P. Strmen, T. Suzuki, M. Winkler, M.V. Zhukov  
Momentum Distribution Measurements after One-Neutron Removal from  $^{17,19}\text{C}$   
Phys.Lett. B (1998), in press

T. Baumann, M.H. Smedberg, T. Aumann, L. Axelsson, U. Bergmann, M.J. Borge, D. Cortina-Gil, L. Fraile, M. Hellström, M. Ivanov, N. Iwasa, R. Janik, B. Jonson, H. Lenske, K. Markenroth, G. Münzenberg, T. Nilsson, A. Richter, K. Riisager, C. Scheidenberger, G. Schrieder, W. Schwab, H. Simon, B. Sitar, P. Strmen, K. Sümmerer, M. Winkler, M.V. Zhukov  
Momentum Distribution of  $^7\text{Be}$  Fragments from  $^8\text{B}$  Breakup Reactions  
submitted to Phys. Lett. B (1998)

W. Borgs, W. Cassing, et. al.  
 $K - \Lambda$  Production in  $p + Bi$  Interaction  
Acta Physica Polonica B29 (1998) 3169

E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, U. Mosel  
Meson  $m_T$ -Scaling in Heavy-Ion Collisions at SIS Energies  
Phys. Lett. B424 (1998) 244

E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, R. Rapp, J. Wambach  
Dilepton Production and  $m_T$ -Scaling at BEVALAC/SIS Energies  
Nucl. Phys. A634 (1998) 168

E.L. Bratkovskaya, C.M. Ko  
Low-Mass Dileptons and Dropping  $\rho$  Meson Mass  
Phys. Lett. B (1998), in press

E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, L.A. Kondratyuk, A. Sibirtsev  
On the possibility of  $f_0$  Observation in low Energy  $pp$  Collisions  
Eur. Phys. Jour. A (1998), in press

M.E. Carrington, H. Defu, M.H. Thoma  
Ward Identities in Non-Equilibrium QED  
Phys. Rev. D58 (1998) 085025

M.E. Carrington, H. Defu, M.H. Thoma  
Equilibrium and Non-Equilibrium Hard Thermal Loop Resummation in the Real Time  
Formalism  
Eur. Phys. Journ. C (1998), in press

M.E. Carrington, H. Defu, M.H. Thoma  
Non-Equilibrium HTL Resummation  
Proc. 5th Int. Workshop 'Thermal Field Theories and Their Applications', Regensburg,  
1998

W. Cassing

Particle Production from SIS to SPS Energies

Proc. of the Int. Research Workshop "Heavy-Ion Physics at Low, Intermediate and Relativistic Energies using  $4\pi$  Detectors", ed. by M. Petrovici, World Scientific, Singapore, 1998, p. 360

W. Cassing, E.L. Bratkovskaya, R. Rapp, J. Wambach

Probing the  $\rho$  Spectral Function in Hot and Dense Matter by Dileptons

Phys. Rev. C57 (1998) 916

W. Cassing

Meson Production and Meson Properties at Finite Nuclear Density

Acta Physica Polonica B29 (1998) 3175

W. Cassing, E.L. Bratkovskaya

Hadronic and Electromagnetic Probes of Hot and Dense Nuclear Matter

Phys. Rep. (1998), in press

D. Datta, S.S. Hasan, P.K. Sahu, A.R. Prasanna

Radial Modes of Rotating Neutron Stars in the Chandrasekhar - Friedman Formalism

Int. Jour. Mod. Phys. D7 (1998) 49

F. de Jong, H. Lenske

Asymmetric Nuclear Matter in the Relativistic Brueckner-Hartree-Fock Approach

Phys.Rev. C57 (1998) 3009

F. de Jong, H. Lenske

Relativistic Brueckner-Hartree-Fock Calculations with explicit intermediate Negative Energy States

Phys.Rev. C58 (1998) 890

M. Effenberger, A. Sibirtsev

The Energy Dependence of the In-Medium  $\eta N$  Cross Section Evaluated from  $\eta$ -Photoproduction

Nucl. Phys. A632 (1998) 99

M. Effenberger, U. Mosel

Photoabsorption on Nuclei

Proc. of the XXXVI. Int. Winter Meeting on Nuclear Physics, Bormio, Italy, 26.-31.1.1998, p. 158

M. Effenberger, U. Mosel  
Photoabsorption on Nuclei

Proc. Conf. Perspectives in Hadronic Physics, Trieste, May 1997, World Scientific, Singapore (1998), p. 124

M. Effenberger, U. Mosel  
Photoproduction of Mesons in Nuclei

Proc. Meson 98 Cracow, Acta Phys. Pol. B29 (1998) 3297

J. Enders, P. von Brentano, J. Eberth, R.-D. Herzberg, N. Huxel, H. Lenske, P. von Neumann-Cosel, N. Nicolay, N. Pietralla, H. Prade, J. Reif, A. Richter, C. Schlegel, R. Schwengner, S. Skoda, H.G. Thomas, I. Wiedenhöver, G. Winter, A. Zilges  
Photon Scattering off  $^{52}\text{Cr}$ : Two-Phonon E1 Strength at the N=28 Shell Closure  
Nucl. Phys. A636 (1998) 139

Th. Feuster, U. Mosel

Photon and Meson Scattering on the Nucleon

Proc. of the "GW/TJNAF Workshop on  $N^*$  Physics",  $\pi$ N-Newsletter 14 (1998) 8

Th. Feuster, U. Mosel

Photon- and Meson-induced Reactions on the Nucleon

Phys. Rev. C (1998) in press

Th. Feuster, U. Mosel

A Unitary Model for Meson-Nucleon Scattering

Phys. Rev. C58 (1998) 457

J. Geiss, C. Greiner, E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, U. Mosel  
Charmonium Suppression with  $c\bar{c}$  Dissociation by Strings  
Phys. Lett. B (1998), in press

J. Geiss, E. Bratkovskaya, W. Cassing, C. Greiner  
 $J/\psi$ -Absorption Scenarios in Nuclear Collisions  
Proc. of INT/RHIC Workshop 'Charmonium Production in Relativistic Nuclear Collisions', Seattle (USA), May 1998

J. Geiss, W. Cassing, C. Greiner  
Strangeness Production in the HSD Transport Approach from SIS to SPS Energies  
Nucl. Phys. A644 (1998) 107

C. Greiner  
Physics of Strange Matter  
Proc. 4th. Int. Conf. on 'Strangeness in Quark Matter', Padua, Italien, July 1998; to app. in Journ. of Phys. G

C. Greiner, S. Leupold  
Stochastic Interpretation of Kadanoff-Baym Equations and their Relation to Lagrangian Processes  
Annals of Physics (1998), in press

C. Greiner, J. Schaffner-Bielich  
Physics of Strange Matter  
Contribution to 'Heavy Elements and Related New Phenomena', edited by R.K. Gupta and W. Greiner, World Scientific Publications  
Inv. Talk at the IV. Int. Conf. on "Strangeness in Quark Matter", Padova (Italy), July 20-24 (1998)

C. Greiner, S. Leupold  
Interpretation and Resolution of Pinch Singularities  
Eur. Phys. J. C, (1998), in press

C. Greiner, S. Leupold  
Stochastic Interpretation of Kadanoff-Baym Equations  
Proc. 5th. Int. Workshop on Thermal Field Theories and Their Applications, Regensburg, Aug. 1998

C. Greiner, Z. Xu, T.S. Biró  
Stochastic Disoriented Chiral Condensates  
Proc. of INT Program 'Probes of Dense Matter in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions', Seattle, USA, Apr. 1998

H. Haberzettl, C. Bennhold, T. Mart, Th. Feuster  
Kaon Photoproduction with Form-Factors in a Gauge Invariant Approach  
Few Body Syst. Suppl. 99 (1998), 1

H. Haberzettl, C. Bennhold, T. Mart, Th. Feuster  
Gauge Invariant Tree Level Photoproduction Amplitudes with Form-Factors  
Phys. Rev. C58 (1998) 40

H. Haberzettl, C. Bennhold, T. Mart, Th. Feuster  
Gauge-Invariant Meson Photoproduction with Extended Nucleons  
Contrib. to the Proc. of Baryons '98, Bonn, Sept. 22.-26. (1998)

J.M. Häuser, W. Cassing, S. Leupold, M.H. Thoma  
Convergence Properties of the Equal-Time connected Green Function Approach for Temporal Gauge  $SU(2)_{2+1}$  Yang-Mills Theory  
Ann. of Physics 265 (1998) 155

F. Hofmann, H. Lenske  
Hartree-Fock Calculations in the Density Matrix Expansion Approach  
Phys.Rev. C57 (1998) 2281

A. Hombach, W. Cassing, U. Mosel  
Isospin Equilibration in Relativistic Heavy-Ion Collisions  
submitted to Europ. Phys. J. A. (1998)

A. Hombach, W. Cassing, S. Teis, U. Mosel  
Analysis of Flow Effects in Relativistic Heavy-Ion Collisions within the CBUU Approach  
submitted to Europ. Phys. J. A. (1998)

S. Juchem, W. Cassing, J.M. Häuser  
Correlation Dynamics of Yukawa-Theory in 1 + 1 Dimensions  
Europ. Phys. Journ. A2 (1998) 355

L.A. Kondratyuk, A. Sibirtsev, W. Cassing, Ye. S. Golubeva, M. Effenberger  
 $\rho$ -Meson Properties at Finite Nuclear Density  
Phys. Rev. C58 (1998) 1078

P. Kulesa, W. Cassing et al.  
Production of Heavy-Hypernuclei in the  $p + Bi$  Reaction and Determination of their Lifetime for Fission induced by  $\Lambda$  Decay  
Phys. Lett. B427 (1998) 403

P. Kulesa, K. Pysz, I. Zychor, Z. Rudy, H. Ohm, B. Kamys, M. Hartmann, W. Cassing et al.  
Measurement of the Lifetime of Heavy Hypernuclei produced in the Bombardment of  $Bi$  with Protons  
Nucl. Phys. A639 (1998) 283c

H. Lenske, G. Schrieder  
Probing the Structure of Exotic Nuclei by Transfer Reactions  
Eur.Phys.J. A2 (1998) 41

H. Lenske  
Structure and Reactions of Exotic Nuclei  
J.Phys. G: Nucl.Part.Phys. 24 (1998) 1429

H. Lenske  
Nuclear Structure at Extreme Isospin  
N. Cimento (1998), in press

S. Leupold, W. Peters, U. Mosel  
What QCD Sum Rules tell about the  $\rho$  Meson  
Nucl. Phys. A628 (1998) 311

S. Leupold, U. Mosel  
On QCD Sum Rules for Vector Mesons in Nuclear Medium  
Phys. Rev. C58 (1998) 2939

S. Leupold  
Resummation of Soft Modes in the Free Energy of  $\Phi^4$  Theory  
Proc. 5th. Int. Workshop on Thermal Field Theories and Their Applications, Regensburg, 10.-14.08.1998

S. Leupold, U. Mosel  
QCD Sum Rules and Vector Mesons  
Proc. Erice School "Heavy-Ion Collisions from Nuclear to Quark Matter", Erice, Italy, 17.-25.09.1998, in press

S. Leupold, U. Mosel  
What QCD Sum Rules Tell about Vector Mesons  
Proc. Baryons '98, Bonn, 22.-26.09.1998, in press

U. Mosel  
Signals from Dense Matter  
in: Trends in Nuclear Physics, Les Houches, Session LXVI, North Holland, Amsterdam (1998) 353

M.G. Mustafa, D. Pal, D. K. Srivastava, M.H. Thoma  
Radiative Energy Loss of Heavy Quarks in a Quark-Gluon Plasma  
Phys. Lett. B428 (1998) 234, Erratum in Phys. Lett. B438 (1998) 450

H. Ohm, W. Borgs, W. Cassing, M. Hartmann, T. Hermes, L. Jarczyk, B. Kamys, H.R. Koch, P. Kulesa, R. Maier, D. Prasuhn, K. Pysz, Z. Rudy, H.J. Stein, A. Strzalkowski, O.W.B. Schult, Y. Uozumi, I. Zychor  
Investigation of Production and Fission Decay of Heavy Hypernuclei at COSY Jülich  
Nucl. Phys. A629 (1998) 416c

G. Penner, T. Feuster, U. Mosel

Pion Electroproduction and Pion-induced Dilepton-Production on the Nucleon  
Proceedings of the XXXVI. Int. Winter Meeting on Nuclear Physics, Bormio, Italy,  
26.-31.01.1998, p. 87

A. Peshier, K. Schertler, M.H. Thoma  
One-Loop Self Energies at Finite Temperature  
Ann. Phys. 266 (1998) 162

W. Peters, M. Post, H. Lenske, S. Leupold, U. Mosel  
The Spectral Function of the  $\rho$  Meson in Nuclear Matter  
Nucl. Phys. A632 (1998) 109

W. Peters, H. Lenske, U. Mosel  
Coherent Photoproduction of Eta-Mesons on Spin-Zero Nuclei in a Relativistic, Non-  
local Model  
Nucl. Phys. A642 (1998) 506

W. Peters, H. Lenske, U. Mosel  
Coherent Photoproduction of Pions on Spin-Zero Nuclei in a Relativistic, Non-local  
Model  
Nucl. Phys. A640 (1998) 89

K. Pysz, I. Zychor, T. Hermes, M. Hartmann, H. Ohm, P. Kulesa, W. Borgs, H.R.  
Koch, R. Maier, D. Prasuhn, Z. Rudy, B. Kamys, W. Cassing, J. Pfeiffer, Y. Uozumi,  
L. Jarczyk, A. Strzalkowski, O.W.B. Schult  
Measurement of the Lifetime of Heavy  $\Lambda$  Hypernuclei with the Recoil Shadow Method  
and Internal Targets in the Storage Ring COSY Jülich  
Nucl. Instr. & Methods in Physics Research A (1998)

P.K. Sahu, A. Hombach, W. Cassing, U. Mosel, M. Effenberger  
Baryon Flow at SIS Energies and beyond  
Nucl. Phys. A640 (1998)493

P.K. Sahu, W. Cassing, M.H. Thoma  
Probing the Nuclear Equation of State by Heavy-Ion Reactions and Neutron Star Properties  
Proc Int. Workshop "Hirscheegg'98: Nuclear Astrophysics", p. 91

A. Schäfer, M.H. Thoma  
Quark Propagation in a Quark-Gluon Plasma with Gluon Condensate  
submitted to Phys. Lett. B

A. Schäfer, M.H. Thoma  
Gluon Condensate and Parton Propagation in a Quark-Gluon Plasma  
Proc. of the Int. Workshop 'Strong and Electroweak Matter', Kopenhagen 1998

K. Schertler, C. Greiner, P.K. Sahu, M.H. Thoma  
The Influence of Medium Effects on the Gross Structure of Hybrid Stars  
Nucl. Phys. A637 (1998) 451

K. Schertler, C. Greiner, M.H. Thoma  
Medium Effects and the Structure of Neutron Stars in the Effective Mass Bag Model  
Proc. of 'Int. Workshop on Gross Properties of Nuclei and Nuclear Excitations: Nuclear Astrophysics', Hirscheegg Workshop (1998), p. 148

K. Schertler, S. Leupold  
Neutron Stars and Quark Phases in the NJL Model  
submitted to Phys. Rev. C

K. Schertler, S. Leupold, J. Schaffner-Bielich  
Neutron Stars and Quark Phases in the NJL Model  
submitted to Phys. Rev. C

R. Shyam, U. Mosel  
 $NN \rightarrow NN\pi$  Reaction near Threshold in a Covariant One-Boson-Exchange-Model  
Phys. Lett. B426 (1998) 1

R. Shyam, H. Lenske  
Nuclear Breakup of  ${}^8\text{B}$  in a Direct Fragmentation Model  
Phys.Rev C57 (1998) 2427

A. Sibirtsev, W. Cassing  
 $\rho$ -Meson Production and Decay in Proton-Nucleus Collisions  
Nucl. Phys. A629 (1998) 717

A. Sibirtsev, W. Cassing, G.I. Lykasov, M.V. Rzjanin  
Reanalysis of Antiproton Production in Proton-Nucleus and Nucleus-Nucleus Reactions  
at Subthreshold Energies  
Nucl. Phys. A632 (1998) 131

A. Sibirtsev, K. Tsushima, A.W. Thomas  
A Clue to the Mechanism of  $\Lambda K^+$  Production in  $pp$ -Reactions  
Phys. Lett. B421 (1998) 59

A. Sibirtsev, W. Cassing  
Antikaon Production in Proton-Nucleus Collisions and the  $K^-$  Properties in Nuclear  
Matter  
Nucl. Phys. A641 (1998) 476

A. Sibirtsev, W. Cassing  
 $\eta'$  Production in Proton-Proton Collisions near Threshold  
Europ. Phys. Journ. A2 (1998) 333

A. Sibirtsev  
Final State Interaction in near-threshold Meson Production  
Acta Physica Polonica B29 (1998) 3123

A. Sibirtsev, K. Tsushima, W. Cassing, A.W. Thomas  
The Role of the  $P_{11}(1710)$  in the  $NN \rightarrow N\Sigma K$  Reaction  
Nucl. Phys. A (1998), in press

S. Soff, D. Ardouin, C. Spieles, S. Bass, H. Stöcker, D. Gourio, S. Schramm, C. Greiner,  
R. Lednicky, V. Lyuboshits, J.P. Coffin, C. Kuhn  
Unlike Particle Correlations and the strange Quark Matter Distillation Process  
Phys. Lett. B (1998), in press

C. Spieles, H. Stöcker, C. Greiner  
Hadron Production in Nuclear Collisions: Thermal Hadron Source or Hadronizing  
Quark-Gluon Plasma?  
Eur. Phys. J C2 (1998) 351

C. Spieles, H. Stöcker, C. Greiner  
Phase Transition of a Finite Quark-Gluon Plasma  
Phys. Rev. C57 (1998) 908

M.H. Thoma  
QCD Perturbation Theory at Finite Temperature/Density and its Application  
Nucl. Phys. A638 (1998) 317c

C. Traxler, U. Mosel, T.S. Biró  
Hadronization of a Quark-Gluon Plasma in the Chromodielectric Model  
Phys. Rev. C (1998), in press

S. Typel, H. Lenske, H. Wolter  
Coulomb-Dissociation of  ${}^8B$  into  ${}^7Be + p$ : Momentum Distributions, Halo Structure and  
Astrophysical  $S$ -Factor  
submitted to Phys. Lett. B (1998)

Th. Weidmann, E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, U. Mosel  
 $e^+e^-$  Pairs from  $\pi^- A$  Reactions  
Phys. Rev. C59 (1998), in press

# Konferenzbeiträge 1998

Puri, Indien: Int. Workshop on Physics with Radioactive Beams  
08.01.-12.01.1998

H. Lenske (inv. talk)  
Structure and Reactions of Exotic Nuclei

Hirschegg, Kleinwalsertal: XXVI. Int. Workshop on Gross Properties of  
Nuclei and Nuclear Excitations  
11.01.-17.01.1998

K. Schertler  
Medium Effects and the Structure of Neutron Stars in the Effective Mass Bag Model

GSI Darmstadt, Deutschland: Graduiertenkolleg Schwerionenphysik, Graduiertentag  
20.01.1998

K. Schertler  
Mediumeffekte in der Quarkphase von Neutronensternen

Bormio, Italien: XXXVI. Int. Winter Meeting on Nuclear Physics  
26.01.-31.01.1998

M. Effenberger, U. Mosel  
Photoabsorption on Nuclei

G. Penner, T. Feuster, U. Mosel  
Pion Electroproduction and Pion-induced Dileptonproduction on the Nucleon

Krakau, Polen HADES Collaboration Meeting  
19.02.-23.02.1998

E. Bratkovskaya  
 $e^+e^-$  Pair from  $\pi A$  Collisions

Bochum, Deutschland: DPG-Frühjahrstagung  
16.03.-20.03.1998

E. Bratkovskaya, Th. Weidmann, W. Cassing, U. Mosel  
 $e^+e^-$  Pairs from  $\pi^-A$ -Reactions

T. Feuster, G. Penner, U. Mosel  
Photon and Meson Scattering on the Nucleon in an eff. Lagrangian Model

J. Geiß, C. Greiner, E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, U. Mosel  
Strangeness Production and  $J/\psi$ -Absorption in the HSD Approach

C. Greiner, T.S. Biro, Z. Xu  
Dissipation and Fluctuation at the Chiral Phase Transition

C. Greiner, C. Spieles, H. Stöcker  
Phase Transition of a Finite Quark-Gluon-Plasma

F. Hofmann, F. de Jong, H. Lenske  
Density Dependent Nuclear Field Theory and Applications to Finite Nuclei

A. Hombach, W. Cassing, P.K. Sahu, U. Mosel  
Flow Effects in Intermediate Energy Heavy-Ion Collisions

H. Lenske, T. Baumann, H. Geissel, G. Schrieder  
Structure and Reactions of Halo-Nuclei

S. Leupold, W. Peters, U. Mosel  
What QCD Sum Rules Tell about Vector Mesons

U. Mosel (inv. talk)  
Hadrons in Dense Matter - Observables

G. Penner, T. Feuster, U. Mosel  
 $\pi$ -Electroproduction and  $\pi$ -Induced Dileptonproduction off the Nucleon

W. Peters, M. Post, H. Lenske, U. Mosel  
A Gauge-Invariant, Relativistic Model for the Photoproduction of Mesons on Nuclei

M. Post, W. Peters, H. Lenske, S. Leupold, U. Mosel  
The Spectral Function of the  $\rho$  Meson in Nuclear Matter

M. H. Thoma  
Hard Thermal Loop Resummation Technique in Non-Equilibrium

C. Traxler, C. Greiner, U. Mosel  
Flux Tubes in the Chirally Symmetric Friedberg-Lee-Model

Rosendorf, Deutschland: 33<sup>rd</sup> Holzhau Meeting 1998  
30.03.-03.04.1998

U. Mosel (inv. talk)  
Hadrons in Dense Medium

Padua, Italien: Structure of Nuclei at Extreme Conditions  
30.03.-04.04.1998

H. Lenske  
Nuclear Structure at Extreme Isospin

Groningen, Niederlande: Workshop on 'Physics with the LBL-GSI Plastic Ball at KVI'  
31.03.-03.04.1998

W. Cassing (inv. talk)  
High and Low Mass Dilepton Production from Nucleus-Nucleus Collisions

Seattle, USA: Workshop on Probes of Dense Matter in Ultrarelativistic  
Heavy-Ion Collisions  
12.04.-24.04.1998

W. Cassing  
Covariant Transport Approach to Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions

J. Geiss  
Charmonium Production and Absorption in Nuclear Collisions

C. Greiner  
Dissipation and Fluctuation at the Chiral Phase Transition

U. Mosel  
In-medium Effects in  $\pi + A$  and  $\gamma + A$  Reactions

M.H. Thoma  
Photon and Dilepton Production from the Quark-Gluon Plasma

Blaubeuren, Deutschland: Symposium on "Symmetries and Dynamics in Nuclear  
and Low Energy Particle Physics"  
18.05.-21.05.1998

W. Cassing (inv. talk)  
Hadron Properties at Finite Nuclear Density

H. Lenske (inv. talk)  
Nuclear Interactions at Extreme Isospin

U. Mosel (inv. talk)  
Hadrons in Medium

Krakau, Polen: Meson 98  
26.05.-31.05.1998

W. Cassing (inv. talk)  
Meson Production and Meson Properties at Finite Nuclear Density

M. Effenberger  
Photoproduction of Mesons in Nuclei

A. Sibirtsev  
Final State Interaction in near-threshold Meson Production

Trento, Italien: ECT\* Workshop "Spectroscopy of Nuclei far-off stability"  
01.06.-14.06.1998

F. Hofmann  
Density Dependent Nuclear Field Theory and Applications to Finite Nuclei

H. Lenske  
Theory of High-Energy Breakup Reactions  
Transfer Reactions with Exotic Nuclei

Rauischholzhausen, Deutschland: Rauischholzhausen-X-Treffen  
18.06.-20.06.1998

J. Geiss  
Strangeness Erzeugung in Hadron-Hadron und Kern-Kern-Stößen

F. Hofmann  
Dichteabhängige relativistische Feldtheorie für Exotische Kerne

S. Leupold  
Photoproduktion von Vektormesonen

M. Post  
Vektormesonen in Kernmaterie - Eigenschaften und Observable

GSI Darmstadt, Deutschland: Workshop on "Hadrons in Matter"  
17.07.1998

S. Leupold  
What QCD Sum Rules tell about Vector Mesons

M. Post  
Vector Mesons in Medium - Properties and Observables

Padua, Italien: 4th Int. Conference on “Strangeness in Quark Matter”  
20.07.-24.07.1998

C. Greiner (inv. talk)  
Physics of Strange Matter

Regensburg, Deutschland: 5th Int. Workshop on Thermal Field Theories  
and their Applications  
10.08.-14.08.1998

C. Greiner  
Stochastic Interpretation of Kadanoff-Baym Equations

S. Leupold  
Resummation of Soft Modes in the Free Energy of  $\phi^4$  Theory

M.H. Thoma  
Non-Equilibrium Hard Thermal Loop Resummation

Bosen, Deutschland: 15th Students’ Workshop on Electromagnetic Interactions  
06.09.-11.09.1998

M. Effenberger  
Photoproduction of Mesons in Nuclei

Erice, Sizilien: Erice-Schule “Heavy-Ion Collisions from Nuclear to Quark Matter”  
17.-25.09.1998

S. Leupold  
What QCD Sum Rules tell about Vector Mesons

U. Mosel (inv. talk)  
Hadrons in the Nuclear Medium

Bonn, Deutschland: Baryons '98  
22.09.-26.09.1998

M. Effenberger, U. Mosel, M. Post  
Medium Modifications of the  $D_{13}(1520)$  Resonance in Nuclei

U. Mosel (inv. talk)  
Hadrons in the Nuclear Medium-Introduction and Overview

Kopenhagen, Dänemark: Strong and Electroweak Matter '98  
02.12.1998-05.12.1998

M.H. Thoma  
Gluon Condensate and Parton Propagation in a Quark-Gluon Plasma

Dresden, Deutschland: Kaon Workshop  
10.12.1998-11.12.1998

E. Bratkovskaya  
RBUU Approach: The Implemented Kaon Production and Optical Potentials

A. Sibirtsev  
Meson Production in  $pp$ -Collisions close to Threshold

Heidelberg, Deutschland: RNM Workshop on  $J, \psi$  and Related Issues  
10.12.-12.12.1998

C. Greiner  
Early and Late Comover Suppression Scenarios

# Seminare

W. Cassing

Probing the QCD Vacuum Structure by Hadron Spectra from Nucleus-Nucleus Collisions

JINR, Dubna, Rußland, 30.07.1998

W. Cassing

Hadron Properties at Finite Baryon Density and Temperature

ITEP, Moskau, Rußland, 10.08.1998

W. Cassing

Die Klänge des QCD Vakuums

Univ. Frankfurt, Deutschland, 14.12.1998

M. Effenberger

Photoproduction of Mesons in Nuclei

LBL Berkeley, USA, 26.02.1998

C. Greiner

Signaturen des Phasenübergangs extrem heißer Kernmaterie

Univ. Gießen, Deutschland, 19.10.1998

C. Greiner

Stochastic Disoriented Chiral Condensates

SUBATECH, Nantes, Frankreich, 17.12.1998

H. Lenske

Nuclear Structure far off Stability: Halos, Skins and Bubbles

GSI Darmstadt, Deutschland, 02.02.1998

H. Lenske

Die Struktur exotischer Kerne: Von Halos zu Blasenkonfigurationen

Univ. Basel, Deutschland, 12.02.1998

H. Lenske  
Perspectives of Hypernuclear Physics  
GSI Darmstadt, Deutschland, 06.04.1998

H. Lenske  
Die Struktur exotischer Kerne: Halos, Neutronenhäute und Blasenkonfigurationen  
Univ. München, Deutschland, 23.07.1998

H. Lenske  
Nuclear Structure and Reactions at Extreme Isospin  
Saclay, Orsay, Frankreich, 08.10.1998

U. Mosel  
Hadrons in Medium - Observables  
Univ. Regensburg, Deutschland, 26.06.1998

K. Schertler  
Neutron Stars, Quark Phases and the Effective Mass Bag Model  
Univ. Regensburg, Deutschland, 14.07.1998

A. Sibirtsev  
 $K^+$ -Production in  $NN$  and  $pA$  Collisions  
ITEP, Moskau, Rußland, 08.04.1998

A. Sibirtsev  
 $\rho$  and  $\omega$  Photoproduction off Nucleon  
Univ. Bonn, Deutschland, 16.04.1998

A. Sibirtsev  
Antikaon Production in Proton-Nucleus Reactions and  $K^-$  Properties in Matter  
IKP, Forschungszentrum Jülich, Deutschland, 30.06.1998

A. Sibirtsev  
Kaons and Antikaons in Nuclear Matter  
Univ. Tübingen, Deutschland, 02.07.1998

A. Sibirtsev  
Strangeness production near threshold

Univ. Erlangen, Deutschland, 06.07.1998

A. Sibirtsev  
Strangeness Production in Nuclear Reactions  
FZ Rossendorf, Dresden, Deutschland, 16.11.1998

A. Sibirtsev  
Meson Production in  $p + A$  Collisions  
Catania, Italien, 01.12.1998

A. Sibirtsev  
Hadrons in Nuclear Matter  
Catania, Italien, 05.12.1998

M.H. Thoma  
Thermische Feldtheorie und Quark-Gluon-Plasma  
Univ. Rostock, Deutschland, 23.01.1998

M.H. Thoma  
Thermische Feldtheorie und Quark-Gluon-Plasma  
Univ. Tübingen, Deutschland, 03.06.1998

M.H. Thoma  
Gluon Condensate and Parton Propagation in a Quark-Gluon-Plasma  
Univ. Regensburg, Deutschland, 22.12.1998