

INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK I
der
JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
JAHRESBERICHT 2000

1 Vorwort

Das Jahr 2000 ist für das Institut für Theoretische Physik ein *gutes Jahr* gewesen: am 1. September nahm das erste europäische Graduiertenkolleg im Lande Hessen und eines der ersten in der Physik in der Bundesrepublik seine Arbeit auf. Dieses Kolleg, das wir gemeinsam mit experimentell arbeitenden Kollegen der Gießener Physik und Wissenschaftlern des renommierten Niels-Bohr-Instituts der Universität Kopenhagen und des nordischen Forschungsinstituts NORDITA betreiben, spiegelt in seinem Titel *“Complex Systems of Hadrons and Nuclei”* auch die Arbeitsrichtungen unseres Instituts wider. Dem Land Hessen und der DFG danken wir für die große Unterstützung bei der Gründung dieses Kollegs. In diesen Dank schließen wir auch Präsident und Kanzler unserer Universität ein.

Durch dieses Kolleg wird die postgraduierte Ausbildung in Hadronenphysik in Gießen, und darüber hinaus in Nordeuropa, auf eine neue, internationalisierte Basis gestellt. Die Lehrveranstaltungen dieses Kollegs ergänzen hervorragend unsere Forschung auf dem Gebiet der Hadronen- und Schwerionen-Physik. Alle Studierenden in diesem Fach lernen von Anfang an, sich in einem internationalen Umfeld zu behaupten. Diplomanden und Doktoranden sind direkt in unsere Forschungsprojekte eingebunden. Für die Studenten ist der Umgang mit internationalen Datenbanken, mit numerischen Simulationen, mit mathematischen Modellen, mit Programmiersprachen und natürlich dem Internet integraler Bestandteil der alltäglichen Arbeit. Seminar- und Vorlesungssprache in den Graduiertenkursen ist Englisch. Dies sind alles Dinge, die in anderen Bereiche der Universität bis jetzt nur als mögliche Zukunftsoptionen diskutiert werden! Die exzellenten Berufsaussichten für unsere Absolventen in der Wirtschaft sind ein klares Zeichen für die Qualität der Ausbildung, die wir bieten.

Internationalität auch der theoretischen Forschung und Lehre sowie unsere durch Experimentnähe hohen Anforderungen an Rechnerkapazitäten erfordern finanzielle Mittel, die weit über das hinausgehen, was die Universität aus eigener Kraft leisten kann und will. Hier danken wir insbesondere dem BMBF und der GSI Darmstadt für ihre flexible, sachbezogene und in kritischen Fällen auch schnelle Unterstützung. Ebenso gilt unser Dank dem FZ Jülich und der DFG.

Ulrich Mosel

2 Personal

Wissenschaftler

Dr. E. Bratkovskaya
Prof. Dr. Dr. W. Cassing
Priv.Doz. Dr. C. Greiner
Dr. A. Larionov
apl. Prof. AOR Dr. H. Lenske
Dr. S. Leupold
Prof. Dr. U. Mosel
Dr. C. Maieron
Dr. M.G. Mustafa (Humboldt-Stip.)
Dr. A. Sibirtsev
Priv.Doz. Dr. M. Thoma (Heisenberg-Stip.)

Verwaltung und Sekretariat

E. Jung

Doktoranden

S. Briganti
T. Falter
F. Hofmann
S. Juchem
C. Keil
J. Lehr
G. Martens
G. Penner
M. Post
Z. Xu

Diplomanden

F. Frömel
A. Gail
M. Keil
P. Mühlich

Forschungsergebnisse 2000

1 Elektromagnetische Prozesse in Kernreaktionen

1.1 Dileptonenproduktion in $A + A$, $p + A$, $p + p$, $\pi + A$, $\pi + p$ und $\gamma + A$ Reaktionen

Seit vielen Jahren haben wir die Dileptonenproduktion in Schwerionenstößen theoretisch untersucht, anfangs im Zusammenhang mit den DLS Experimenten am BEVALAC, später als Vorbereitung auf die an HADES bei der GSI geplanten Experimente. Die Bestimmung und Berechnung von experimentell beobachtbaren Signaturen für mögliche Änderungen von Hadronen im nuklearen Medium haben im Mittelpunkt der Untersuchungen gestanden.

Da Schwerionenreaktionen zumindest in der Anfangsphase weit entfernt vom Gleichgewicht verlaufen und Signale naturgemäß über sehr viele Zeitschritte der Reaktion und damit auch Dichten und 'Temperaturen' mitteln, haben wir uns in letzter Zeit verstärkt der Untersuchung elementarer Reaktionen mit Protonen- und Pionen-Strahlen, die ebenfalls mit HADES möglich sind, gewidmet. Unsere Rechnungen enthalten erstmals eine konsistente Behandlung der Stoßverbreiterung der Hadronen zusätzlich zu einer möglichen Massenverschiebung. Dabei hat sich gezeigt, daß in diesen Reaktionen, in denen die Dichtemittelung entfällt, Signale von Änderungen hadronischer Eigenschaften erwartet werden können, die vergleichbar mit denen in Schwerionenreaktionen sind. Ein wichtiges Ergebnis ist, daß durch kinematische Schnitte, die die niedrigen Impulse der Dileptonen isolieren, die Signale noch verstärkt werden können.

Wegen der großen Breite, die schon im Vakuum beträchtlich ist, sind Aussagen zur Mediumabhängigkeit der ρ Mesonmasse schwierig. Hingegen sollte eine Massenabsenkung des ω Mesons im Dileptonenkanal deutlich beobachtbar sein.

Die Rechnungen für $p + A$ und $p + p$ stehen auf recht soliden Fundamenten, weil die elementaren Querschnitte mit Hilfe der Berkeley Daten für $p + p$ überprüft werden können. Für die bei der GSI möglichen $\pi + A$ Reaktionen sind die elementaren Querschnitte für $\pi + p \rightarrow p + e^+e^-$ bisher nicht bekannt. Da sie wesentlich in die Rechnungen eingehen, haben wir vorgeschlagen, mit HADES diese Elementarreaktion vorrangig zu untersuchen.

Interessante, komplementäre Informationen ergeben sich auch in Reaktionen mit Photonen am Kern, die an MAMI, insbesondere nach dem Ausbau, an ELSA und an der TJNAF in den USA, möglich sind. Photonen 'beleuchten' im Gegensatz zu den hadronischen Proben das gesamte Kernvolumen und sind daher im Mittel auf höhere Dichten sensitiv.

1.2 Semi-inklusive Meson Produktion mit elektromagnetischen Proben

In den Vorjahren haben wir die Transportverfahren, die von uns ursprünglich zur Beschreibung von Schwerionenreaktionen entwickelt wurden, mit recht gutem Erfolg auf die Photo-Meson Produktion an Kernen, insbesondere im Zusammenhang mit entsprechenden Experimenten von TAPS bei MAMI, angewandt. Es hat sich gezeigt, daß diese Reaktionen viel sensitiver auf die elementaren Wechselwirkungen sind als Schwerionenreaktionen, die dicht am thermischen Gleichgewicht verlaufen. Dies gilt auch für entsprechende Elektroproduktionsexperimente, die wir ebenfalls untersucht haben.

Wir haben in letzter Zeit dieses Verfahren zu höheren Energien hin ausgedehnt. Bei Energien jenseits von etwa 1 GeV werden Abschattungseffekte im Eingangskanal wichtig, die aus der kohärenten Überlagerung verschiedener Photonen-Amplituden entstehen. Ein wichtiger Schritt war die Entwicklung eines Modells, das den kohärenten Abschattungsmechanismus mit der inkohärenten Beschreibung des Endzustandes einheitlich mit einem gemeinsamen Verfahren beschreibt. In einer separaten Arbeit konnten wir zeigen, daß die beobachteten Abschattungseffekte bei relativ niedrigen Energien mit den in-medium Massen der Vektormesonen zusammenhängen.

Für den Energie-Bereich einiger GeV haben wir detaillierte Vorhersagen für die Photo-Meson Produktion gemacht. Die Rechnungen berücksichtigen die Endzustandswechselwirkungen zu allen Ordnungen mit dem Verfahren der gekoppelten Kanäle und gehen damit wesentlich über die sonst üblichen Glauber Näherungen hinaus. Dies ist insbesondere für Endzustände mit schwach wechselwirkenden Mesonen wichtig, wie z.B. K^+ oder die Charm Mesonen \bar{D}^0 bzw. D^- . In diesen Fällen ist das 'Seitwärtsfüttern' über gekoppelte Reaktionskanäle wesentlich, das durch das übliche Glauber Verfahren nicht beschrieben werden kann.

Die aus tief-inelastischen Reaktionen bekannten Spektralfunktionen von Nukleonen in Kernmaterie haben wir in einem transporttheoretischen Ansatz sehr gut beschreiben können. Im Gegensatz zu vielen anderen Arbeiten in der Literatur sind wir der Ansicht, daß diese Verteilungsfunktionen primär durch die Phasenraum-Kinematik und nur zu einem geringeren Grad durch spezielle Eigenschaften der Wechselwirkungen bestimmt werden.

Damit haben wir unabhängig getestete und zuverlässige theoretische Modelle für die drei wesentlichen Bestandteile einer Hochenergie-Photonuklearphysik am Kern, die Abschattung, die nukleare Spektralfunktion und die realistische Behandlung der Endzustandswechselwirkungen, zur Verfügung. Als nächsten Schritt planen wir gegenwärtig, diese Bausteine in ein gemeinsames Verfahren zu implementieren. Damit werden Rechnungen für noch höhere Photonen-Energien und Elektroproduktionsprozesse möglich. Diese Erweiterungen können wir insbesondere die von HERMES geplanten Experimente zur semi-inklusive Vektormeson-Produktion und der in-medium Abhängigkeit der Quark-Fragmentation vorab theoretisch untersuchen.

1.3 Spektroskopie des Nukleons

Die Anregungszustände des Nukleons sind bis heute nicht in einer geschlossenen Theorie berechenbar. Ebenso erstaunlich ist, daß selbst die empirischen Kenntnisse über Zerfallskanäle dieser Resonanzen sehr begrenzt sind. Sichere experimentelle Aussagen existieren im allgemeinen lediglich für die Pionen- und die Photonen-Zerfallskanäle. Die Kopplungen an andere hadronische Kanäle sind häufig nur indirekt aus theoretischen Analysen erschlossen, ohne daß sie je direkt experimentell beobachtet wurden. Für die im vergangenen Abschnitt diskutierte in-medium Problematik ist die ρ -Zerfallsbreite der $N(1520)D_{13}$ Resonanz ein besonders wichtiges Beispiel. Die beachtliche Größe dieser Partialbreite ergibt zwingend eine starke Kopplung an den ρN -Kanal, die ihrerseits wiederum die Verbreiterung der ρ -Spektralfunktion im Medium stark beeinflusst. Der unbefriedigende Aspekt dieser Situation ist, daß die $N(1520) - \rho$ Zerfallsbreite bisher lediglich theoretisch aus einer Analyse der Inelastizitäten in der Pionen-Streuung bestimmt, aber nie experimentell beobachtet wurde.

Wir haben deshalb vor einigen Jahren eine simultane Analyse *aller* Reaktionskanäle von Mesonen und Photonen am Nukleon bis zu einer invarianten Masse von 2 GeV begonnen. Dabei werden erstmals die elektromagnetischen Kanäle, einschließlich der Compton-Streuung, zusammen mit den hadronischen Kanälen in einem einheitlichen Verfahren berücksichtigt.

Im letzten Jahr haben wir diese Rechnungen in zwei Richtungen vorangetrieben: Zum einen haben wir Reaktionen mit Antikaonen im Eingangskanal analysiert, damit konnten jetzt die Eigenschaften auch von seltsamen Resonanzen bestimmt werden. Diese gehen auch in die gemeinsam mit einer Gruppe an der George-Washington-University untersuchte Photo-Produktion von Kaonen ein. Parallel dazu haben wir Kanäle mit auslaufenden Vektormesonen in die Rechnungen eingeschlossen. Die wesentlich komplexere Drehimpuls-Zerlegung der Amplituden ist implementiert. Erste Ergebnisse für die Erzeugung des ω Mesons liegen jetzt vor.

Damit verfügen wir jetzt über das notwendige Handwerkszeug, um nach den bis heute fehlenden ω -Zerfallsmoden von Nukleonenresonanzen zu suchen. Zur Vorbereitung dieser Analysen haben wir mit einer Isospin-projezierten Erweiterung des Vektormeson-Dominanzmodells die zu erwartenden ω Zerfallsbreiten der Resonanzen berechnet. Dabei zeigt sich, daß insbesondere einige der unterhalb der freien Zerfallsschwelle liegenden Resonanzen stark an den ωN Kanal ankoppeln.

2 Proton-Kern Reaktionen bei COSY Energien

In Erweiterung unserer Studien zur Mesonenproduktion in pp und pA Reaktionen bei COSY Energien haben wir uns vorwiegend auf schwelennahe Produktion von skalaren f_0 und a_0 Mesonen in pp Stößen und die Eigenschaften des ω -Mesons in Kernmaterie konzentriert.

2.1 Die Produktion neutraler Mesonen in pp Reaktionen

Im Gegensatz zur schwelennahen Produktion von pseudoskalaren oder vektoriellen Mesonen in pp oder pA Reaktionen ist der Produktionsmechanismus für skalare Mesonen wie das $f_0(980)$ oder den isovektorielle Partner, das $a_0(980)$, weitgehend unbekannt. Die Hauptzerfallskanäle für das f_0 Meson sind $\pi^+\pi^-$ und zu einem geringen Anteil K^+K^- , wobei die expliziten Verzweigungsbreiten experimentell nahezu *terra incognita* sind. In einem effektiven Boson-Austauschmodell haben wir die Produktionsquerschnitte für f_0 Mesonen in pp Reaktionen berechnet, wobei allerdings zu bemerken ist, daß ein experimenteller Nachweis außerordentlich dadurch erschwert wird, daß die nichtresonanten Produktionsprozesse in $\pi^+\pi^-$ oder K^+K^- mit wesentlich höheren Wirkungsquerschnitten verknüpft sind. Eine Empfehlung zur Messung dieser Querschnitte an COSY konnte daher nicht gegeben werden.

Die Analysen zur Produktion von a_0 Mesonen, die dominant in 2 Pionen bzw. $\eta\pi$ zerfallen, zeigen ein erfreulicheres Resultat, wenn man sich auf den exklusiven Kanal $pp \rightarrow da_0^+$ konzentriert. Bei einer Energie von 2.6 GeV im Labor werden Querschnitte von etwa 50–100 μb erwartet. Auch hier gibt es einen signifikanten Beitrag von der nichtresonanten Produktion im $\eta\pi$ Kanal, der jedoch bei nicht zu großer Breite des a_0 Mesons subtrahiert werden kann. Erste Messungen der ANKE Kollaboration zu dieser Reaktion wurden bereits im Jahr 2000 durchgeführt; die experimentelle Auswertung ist jedoch noch nicht abgeschlossen. Die Perspektiven zur Messung neutraler Mesonen in Proton-Kern Reaktionen ist jedoch nahezu hoffnungslos, da die Bildung von Deuteronen erst im Endzustand dominant über Koaleszenz erfolgt.

2.2 Das ω -Meson in Kernmaterie

Das isoskalare ω -Meson spielt neben dem Isevektor ρ -Meson eine zentrale Rolle in der Dileptonenspektroskopie. Generell erlaubt die Beobachtung des direkten Zerfalls der Vektormesonen in e^+e^- Paare die Messung ihrer Spektralfunktionen in Materie. Da jedoch diese Messungen wegen der kleinen Querschnitte recht aufwendig sind, haben wir untersucht, ob vergleichbare Information über die Spektralfunktionen auch durch andere Zerfallsmoden zu erhalten ist. Insbesondere haben wir analysiert, ob in pA Reaktionen bei COSY Energien der In-Medium Zerfall von ρ^0 in $\pi^+\pi^-$ und der Dalitz-Zerfall $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$ entsprechende Informationen liefern können. Die detaillierten Transport-Simulationen zeigen, daß der Zwei-Pionenzерfall des ρ -Mesons selbst bei leichten Targets wie ^{12}C kein klares Signal der ρ -Spektralfunktion liefert, da in den meisten Fällen zumindest eines der beiden Pionen weiter mit einem Nukleon streut, so daß das interessante Signal durch einen großen Untergrund überdeckt wird. Im Falle des ω Dalitz Zerfalles sind die Perspektiven erfreulicher, da nur das π^0 rückgestreut werden kann. Es zeigen sich deutliche Signale für die ω -Spektralfunktion aus der invarianten Masse von π^0 und γ bei leichten (^{12}C) bis mittelschweren (^{64}Cu) Kernen, wenn Ereignisse mit 3 Photonen im Endzustand betrachtet werden, bei denen 2 Photonen aus dem π^0 Zerfall stammen. Der Vorteil dieses Zerfallkanals liegt darin, daß im Gegensatz zur Dileptonen-

produktion keine Beiträge aus dem Zerfall des ρ -Mesons auftreten. Andererseits setzt die Beobachtung von 3 Photonen voraus, daß experimentell nahezu der gesamte Raumwinkel abgedeckt wird, um Beiträge von 4 Photonen Produktionsprozessen (wie $\pi^0\pi^0$) weitgehend ausschließen zu können.

3 Kern-Kern Kollisionen bei 0.15 – 10 A GeV

3.1 Kollektiver Fluß in A+A Reaktionen

Die kollektiven Ströme der Nukleonen in transversaler und radialer Richtung sowie relativ zur Reaktionsebene 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 10 A GeV 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. Der experimentell gemessene transversale und elliptische Nukleonenfluß in $Au + Au$ Reaktionen von 0.15 – 10 A GeV läßt sich jedoch nur erklären, wenn das Vektorpotential bei hohen Relativimpulsen ($\geq 3-4$ GeV/c) nahezu verschwindet; ansonsten wird ein zu hoher transversaler Druck in der Anfangsphase der Reaktion aufgebaut, welcher einen zu hohen kollektiven Nukleonenstrom erzeugt.

Die explizite Abhängigkeit des elliptischen Flusses der Nukleonen vom Transversalimpuls P_T zeigt sich weiterhin als aufschlußreich für die impulsabhängige Wechselwirkung im Medium, da der elliptische Fluß sensitiv auf die Geschwindigkeit der Teilchen in der früheren Phase der Reaktion ist und damit auf deren 'effektive Masse' m^* . Der Vergleich der Transportrechnungen mit den experimentellen Daten der KaoS Kollaboration zeigte, daß die 'effektive Masse' der Nukleonen bei Kernmateriedichte etwa 2/3 der Vakuummasse ist, was auch mit Abschätzungen dieser Größe aus chiralen Modellen sowie Dirac-Brueckner Rechnungen übereinstimmt.

3.2 Transporttheorien mit dynamischen Spektralfunktionen

Im Rahmen unserer Untersuchungen zur Dileptonenproduktion in γA , $\pi^- A$, pA und AA Reaktionen in den vergangenen Jahren hat sich herausgestellt, daß eine befriedigende Lösung des Problems eine dynamische Propagation der Vektormeson- Spektralfunktionen erfordert, welche bisher nur perturbativ realisiert wurde. Zudem war seit mehr als 10 Jahren bekannt, daß die konventionelle Quasiteilchen-Näherung in Transporttheorien nicht mehr bei kurzlebigen Teilchen und hohen Kollisionsraten gültig sein sollte.

Zur Lösung dieses Problems haben wir auf der Basis der Kadanoff-Baym Gleichungen eine semiklassische 'off-shell' Transporttheorie entwickelt, welche im Rahmen eines Testteilchenansatzes nun auch die dynamische Propagation im off-shell Massenquadrat $M^2 - M_0^2$ beinhaltet. Der diese 'off-shell' Propagation bestimmende Term ist der Imaginärteil der Teilchen-Selbstenergie, welcher neben den Vakuumszerfallsbreiten auch einen Betrag von den lokalen Kollisionsraten enthält.

Dynamische Simulationen in Kern-Kern Reaktionen von 0.1 – 10 A GeV zeigen, daß die 'off-shell' Dynamik (im Vergleich zur konventionellen 'on-shell' Näherung) ihre Spuren in sehr energetischen Protonenspektren, γ Spektren (bei 0.1 A GeV) sowie K^+ und K^- Spektren bei 'subthreshold' Energien hinterläßt. Bei AGS Energien von 10 A GeV konnten jedoch im Rahmen der erzielten Statistik keine signifikanten Unterschiede ausgemacht werden, da hier die Kontinuum-String-Anregungen bereits einer kontinuierlichen Spektralfunktion entsprechen und die π^\pm, K^\pm Mesonen vorwiegend in der Anfangsphase weit oberhalb der Vakuum-Produktionsschwelle erzeugt werden. Es ist jedoch zu bemerken, daß in die dynamischen Simulationen die vollen 'off-shell' Übergangsamplituden eingehen, welche nur unzureichend bekannt sind. Die Phasenraumkorrekturen, die in den bisherigen Simulationen eingeführt wurden, sind daher nur als vorläufige Approximationen zu betrachten.

Detaillierte Studien zur Äquilibration hadronischer Systeme zeigten, daß die 'off-shell' Propagation der Teilchen keinen signifikanten Einfluß auf charakteristische Äquilibrationzeiten hat. Allerdings sind die hadronischen Verteilungen im asymptotischen Gleichgewicht wohl verschieden, da die Spektralfunktionen aufgrund der diversen Reaktionen 'stoßverbreitert' sind im Gegensatz zur konventionellen 'on-shell' Propagation.

4 Physik des Quark-Gluon-Plasmas

Eines der aktiven Forschungsziele der modernen Kernphysik ist die Suche nach einem neuen Zustand der Materie, dem sogenannten Quark-Gluon-Plasma (QGP). Für die Existenz dieser Form der Materie, die in der Frühphase des Universums vorlag, wurden in relativistischen Schwerionenkollisionen am CERN (SPS) erste Hinweise gefunden. Im Sommer 2000 hat der Schwerionen-Collider RHIC in Brookhaven seinen Betrieb aufgenommen. Für eine einwandfreie Identifizierung dieses heißen und dichten Zustands in den Schwerionenexperimenten am RHIC und später am LHC (CERN) ist man auf ein detailliertes theoretisches Verständnis angewiesen.

4.1 Anregungsfunktionen hadronischer Signale

In zentralen Stößen von schweren Kernen wird bei relativistischen Energien von 160 AGeV (SPS) bzw. 21.3 ATeV (RHIC) näherungsweise (nach einigen fm/c) ein heißer, longitudinal und transversal expandierender Feuerball aus hadronischer und/oder partonischer Materie gebildet, dessen Energiedichte mit der Laborenergie zunimmt. Ein Phasenübergang zu einer Zusammensetzung aus rein partonischen Konstituenten sollte

daher in den Anregungsfunktionen von Teilverhältnissen wie K^+/π^+ , den Spektren von e^+e^- Paaren oder der Unterdrückung von J/Ψ Mesonen sichtbar sein. Wir haben zu diesem Zweck die Anregungsfunktionen in zentralen $Au + Au$ Reaktionen im Rahmen des HSD Transportmodells von SIS Energien (1 AGeV) bis zu RHIC Energien (21.5 ATeV) systematisch untersucht, wobei im Transportmodell neben den hadronischen Teilchen auch Quarks, Diquarks, Strings und Minijets berücksichtigt werden, wobei die expliziten gluonischen Freiheitsgrade bei hohen Energien allerdings nicht enthalten sind. Drastische Abweichungen zwischen den Modellrechnungen und experimentellen Daten sollten ein Indiz für eine neue Phase der Materie sein.

Im Rahmen der HSD Transportrechnungen finden wir für alle Observablen ein monoton ansteigendes Verhalten mit der Anregungsenergie, was als 'thermodynamischer' Effekt leicht verständlich ist. Auf experimenteller Seite dagegen wird ein Maximum des K^+/π^+ Verhältnisses von etwa 0.22 um 20–50 AGeV gemessen, das theoretisch deutlich unterschätzt wird. Dieses relative Maximum könnte darauf hinweisen, daß im zentralen Feuerball für einige fm/c die chirale Symmetrie wiederhergestellt wird, was auch durch Berechnungen des Quark-Kondensates $\langle q\bar{q} \rangle \approx 0$ in diesen Raum-Zeit Volumina unterstützt wird.

4.2 Produktion von D, \bar{D} Mesonen von 0.015 bis 21 A·TeV

Die Produktion von Mesonen mit einem Charm- oder Anticharmquark in hadronischen bzw. Kern-Kern Reaktionen bietet wegen der hohen Masse des Charmquarks von etwa 1.5 GeV – im Vergleich zu ~ 0.15 GeV vom Strangequark – eine explizite Energie-Skala, die eine unterschiedliche Dynamik der Mesonen bei hohen Dichten und Temperaturen von hadronischer/partonischer Materie erwarten läßt. Die Analysen zur Produktion in Proton-Proton Stößen bei invarianten Energien \sqrt{s} von 17 bzw. 200 GeV zeigen jedoch, daß der Summe aller D-Mesonen im Vergleich zur Summe aller Kaonen sowie der Summe aller Pionen im transversalen Massenspektrum keine besondere Bedeutung zukommt. Das approximative ' M_T -Scaling' in pp Reaktionen weist selbst auf einen eher statistischen Produktionsprozeß in diesem elementaren System hin. Als Folge zeigen die dynamischen Transportrechnungen für zentrale Stöße von $Au+Au$ ein ausgeprägtes M_T -Scaling (im obigen Sinne) aller Mesonen bei den gleichen Relativenergien per Nukleon. Dieses Resultat kann auch interpretiert werden als eine näherungsweise Emission aller Teilchen aus dem chemischen Gleichgewicht, da für deren relative Häufigkeit lediglich ein einziger Parameter E_0 mit der Dimension einer 'Energie' erforderlich ist. Erstaunlicherweise skalieren auch die noch schwereren Charmonium Vektormesonen (J/Ψ und Ψ') mit dem gleichen Parameter, d.h. $E_0 \approx 176$ MeV bei der SPS Energie von 160 AGeV und $E_0 \approx 225$ MeV bei der RHIC Energie von 21.3 ATeV. Zu bemerken ist jedoch, daß dieser 'Temperatur'-Parameter weitgehend identisch ist mit dem entsprechenden Parameter für energetische Proton-Proton Stöße, so daß aus den relativen Teilchenhäufigkeiten nicht auf das Auftreten einer neuen Phase – wie dem Quark-Gluon-Plasma (QGP) – geschlossen werden kann.

4.3 Elektromagnetische Proben

Eine vielversprechende Signatur stellt die thermische Abstrahlung von Photonen aus dem in der Kollision produzierten Feuerballs dar. Ausgehend von neuen Resultaten zur Photonproduktionsrate haben wir konkrete Vorhersagen für das bei RHIC und LHC zu erwartende Photonenspektrum getroffen. Da sich jedoch in letzter Zeit die Anwendbarkeit perturbativer Methoden nahe der kritischen Temperatur als problematisch herausgestellt hat, haben wir darüber hinaus auch nicht-perturbative Methoden betrachtet. Dabei haben wir zum einen die Existenz eines Gluonkondensats, wie sie sich aus Gitter-QCD-Rechnungen ergibt, zum anderen allgemeine modellunabhängige Eigenschaften der Quarks im Medium herangezogen. Diese Untersuchungen ergaben im besonderen ein vielversprechendes Signal der Dileptonproduktion für relativ niedrige invariante Massen. Mittels eines hydrodynamischen Modells wurden im weiteren auch die Pb+Pb CERES-Ergebnisse dahingehend untersucht, ob hieraus auf eine temporäre Existenz einer QGP-Phase geschlossen werden kann, wie mancherseits behauptet wird. Nach unseren Erkenntnissen läßt sich aber nicht eindeutig darauf schließen. Der mögliche Beitrag zur Dileptonenausbeute der QGP-Phase ist aufgrund ihrer kurzen Lebenszeit deutlich zu klein. Auch erscheint das kürzlich geäußerte Konzept der Quark-Hadron-Dualität als fragwürdig.

4.4 Produktion von Antihyperonen

Eine erhöhte Produktion von seltenen Anti-Hyperonen \bar{Y} wurde bereits vor über einem Jahrzehnt als ein aussagekräftiges Signal für eine QGP-Phase vorgeschlagen. In der Tat wurde eine signifikante Erhöhung der Ausbeute an Anti-Hyperonen in den Experimenten WA97 und auch NA49 am SPS am CERN beobachtet. Mittels einfacher thermischer Modelle konnte überprüft werden, daß sich die \bar{Y} letztendlich nahezu im vollständigen chemischen Gleichgewicht in der späten hadronischen Phase befunden haben sollten. Nach der gängigen Meinung kann eine solche chemische Sättigung der Anti-Hyperonen nur mittels einer vorherigen Population aus einer hadronisierenden QGP-Phase möglich sein. Die gefundene Erhöhung bildete somit eine der wesentlichen Eckpfeiler für die vom CERN geäußerte Evidenz, daß eine neue und ‘deconfined’ Phase stark wechselwirkender Materie in den verschiedenen Experimenten beobachtet wurde. Wir konnten nun aber einen bislang nicht beachteten, hadronischen Mechanismus aufzeigen, der es gestattet, daß die Antihyperonen tatsächlich mittels multi-mesonischer Reaktionen sehr schnell zu einem chemischen Gleichgewicht zwischen den Nukleonen, Pionen und Kaonen kommen. Diese kinetischen Reaktionen stellen gerade die Umkehrreaktionen der sehr großen Annihilationsreaktion $\bar{Y} + p \leftrightarrow n_1\pi + n_2K$ dar und müssen entsprechend dem fundamentalen Prinzip der detaillierten Balance stattfinden, um eine Population von Anti-Baryonen generell aufrecht zu erhalten. Eine Abschätzung für die Zeitskala für die chemische Äquilibration der \bar{Y} -Freiheitsgrade mittels der multi-mesonischen Reaktionen führt auf 1–3 fm/c. Damit kann die beobachtete Erhöhung tatsächlich eine Evidenz für diese bisher nicht berücksichtigten Kanäle in der späten

hadronischen Phase der Reaktion sein. Genauere Untersuchungen mittels gekoppelter Master-Gleichungen werden nun durchgeführt.

4.5 Partodynamik und Hadronisation

Gegenwärtig entwickeln wir eine mikroskopische Monte-Carlo-Simulation zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der partonischen Phase in ultrarelativistischen Schwerionenreaktionen. Mittels perturbativer QCD berechnen wir hierbei die Produktion von semi-harten ($p_t \geq 1 - 2$ GeV) Gluonen und Quarks in der Anfangsphase der Reaktion. Dabei wird die Glauber-Geometrie für mehrfache Proton-Proton-Kollisionen angewendet. Bislang haben wir die transversalen Impuls- und Rapiditäts-Verteilungen der produzierten Partonen untersucht. Im Besonderen haben wir studiert, aus welchem Anteil in Bjorken-x der Parton-Strukturfunktionen die Anfangsphase bei Mid-Rapidität entsteht. Im weiteren Vorgehen soll nun diese Anfangsverteilung des Partonsystems als Ausgangsverteilung für eine anschließende Parton-Kaskaden-Entwicklung verwendet werden. Letztere soll auf einer semi-klassischen kinetischen Beschreibung einer Boltzmann-Gleichung basieren. Hier sollen auch gluonische Teilchenproduktionskanäle eingebaut werden. Hauptsächliches Ziel dieser angefangenen Studie ist es, im Detail die zeitliche Entwicklung von stark wechselwirkender partonischer Materie im Nicht-Gleichgewicht zu studieren, um so auch genauere Vorhersagen für verschiedene Signaturen des QGPs treffen zu können und mit den Ergebnissen der nun angefangenen Experimente am RHIC zu vergleichen. Auch haben wir unsere Bemühungen fortgesetzt, eine Realisierung einer klassischen, molekular-dynamischen Beschreibung des chromodielektrischen Modells zu erreichen. Das Modell realisiert auf dynamische Weise das Phänomen von ‘confinement’. Nach Fertigstellung erhoffen wir uns davon tieferen Einblick und Aufschluß über die Formierung von hadronischen Teilchen aus einem dichten QGP.

5 Quarkstruktur der Hadronen

5.1 Selbstkonsistente Quark-Spektralfunktion

Die Spektralfunktionen von Quarks und Antiquarks in unendlich ausgedehnter Quarkmaterie lassen sich mit einem transporttheoretischen Ansatz berechnen. Beziehungen zwischen Selbstenergien, Spektralfunktionen und Zwei-Teilchen-Wechselwirkungsintegralen erlauben eine iterative Berechnung dieser Größen in einem selbstkonsistenten Verfahren. Für nichtrelativistische Nukleonen wurden bereits ähnliche Rechnungen von uns durchgeführt. Dort zeigte sich, daß bereits für sehr einfache punktförmige Wechselwirkungen zwischen den Nukleonen die Ergebnisse der Iterationen schnell konvergieren und sich in guter Übereinstimmung mit Resultaten befinden, die sich anderer Vielteilchentheoretischer Methoden bedienen. Die aktuellen Rechnungen behandeln nun leichte Quarks in der chiral restaurierten Phase mit Wechselwirkungen aus dem SU(2)-Nambu-Jona-Lasinio-Modell, so daß man auch hier nur Punktwechselwirkungen betrachtet. Ziel

dieser Studie ist es, herauszufinden, wie sich die dynamischen, spektralen Eigenschaften von Quarks nahe der Fermikante aufgrund von 2-Teilchen-Stößen ergeben. Dies sollte dann auch direkten Einfluß auf den BCS-Gap Δ der stark diskutierten farbsupraleitfähigen QCD-Phase dichter Quarkmaterie haben, welche gegebenenfalls im Zentrum von Neutronensternen realisiert ist. Unsere ersten Untersuchungen konzentrieren sich daher auf Rechnungen bei Temperatur Null und endlichem baryochemischen Potential, wobei aber Rechnungen bei endlichen Temperaturen prinzipiell möglich sind.

5.2 QCD-Summenregeln

Ein prinzipielles Problem der QCD besteht darin, daß sich die experimentell eigentlich am leichtesten zugänglichen Phänomene des Niederenergie-Bereichs nicht durch Quarks und Gluonen beschreiben lassen. An ihre Stelle treten phänomenologische Modelle, die auf hadronischen Freiheitsgraden beruhen. Die Methode der QCD-Summenregeln verbindet beide Beschreibungsweisen. Dabei werden Strom-Strom-Korrelatoren in beiden Zugängen berechnet und miteinander verglichen, woraus sich Aussagen über die Parameter des hadronischen Modells (z.B. Massen, Kopplungskonstanten) ergeben. Von aktuellem Interesse ist die Frage, wie sich die Eigenschaften von Vektormesonen, z.B. ihre Masse oder ihre Lebensdauer, verändern, wenn man sie in ein stark wechselwirkendes Medium einbringt. Bei steigender Dichte des Mediums wird erwartet, daß die im Vakuumzustand gebrochene chirale Symmetrie wieder restauriert wird. Dabei sollten sich die Strom-Strom-Korrelatoren des Vektorkanals (ρ -Meson) und Axial-Vektor-Kanals (Pion und a_1 -Meson) angleichen. Dadurch treten im Vektor-Korrelator, der im Vakuum durch das ρ -Meson dominiert wird, zusätzliche Strukturen bei den Massen von Pionen sowie a_1 -Mesonen auf. Die Einbeziehung dieser neuen Strukturen in die QCD-Summenregel-Analyse zeigt, daß der ursprüngliche ρ -Ast in einem nuklearen Medium mehr Stärke bei etwas niedrigeren Massen bekommt. Dieser Effekt ist allerdings weniger stark ausgeprägt als bei älteren Analysen, die das Mischen der Kanäle nicht berücksichtigen. Ob der Effekt durch ein leichteres in-Medium- ρ -Meson oder durch eine größere Breite der ρ -Spektralfunktion hervorgerufen wird, kann durch die Summenregel-Analyse allein nicht beantwortet werden.

6 Exotische Kerne, Hyperkerne und Neutronensterne

Theorie und Experiment zeigen immer wieder, daß Kerne weitab des Stabilitätstals überraschende Eigenschaften aufweisen, in denen bestimmte Aspekte der Dynamik von Kernmaterie bei extremem Isospin deutlich werden. Kernstruktur und Reaktionsdynamik von exotischen Kernen waren Schwerpunkte der Arbeiten im vergangenen Jahr. Ein folgerichtiger Schritt ist die Untersuchung von reiner Isospin-Kernmaterie auf Hyperkernmaterie und Hyperkerne auszudehnen. Als längerfristige Perspektive ergibt sich damit die Möglichkeit für eine umfassendere $SU(3)$ *flavour dynamic* in kalter Kernmaterie. Ein interessanter astrophysikalischer Anwendungsbereich sind Rechnungen für

Neutronensterne.

6.1 Wechselwirkungen in asymmetrischer Kernmaterie, Hyperkernen und Neutronensternen

Eine überraschende Schlußfolgerung aus unterschiedlichen theoretischen Rechnungen für exotische Kerne ist, daß die gängigen Wechselwirkungen zu weit divergierenden Vorhersagen für asymmetrische Kerne und Kernmaterie liefern. Wegen der immer noch beschränkten Datenbasis und aus allgemeinen theoretischen Gründen sind vollständig mikroskopische Rechnungen der empirischen Bestimmung von Wechselwirkungsparametern vorzuziehen. Dirac-Brueckner Rechnungen in unendlicher Kernmaterie sind hierzu ein geeigneter Ausgangspunkt. Mit der relativistischen dichteabhängigen Hadronenfeldtheorie (DDRH) können die Ergebnisse auf endliche Kerne übertragen werden. In der DDRH-Methode werden in-medium Meson-Nukleon Vertex-Funktionale benutzt, die erst im letzten Schritt beim Übergang zur Mittelfeld-Näherung durch Erwartungswerte ersetzt werden. Damit ist in jedem Schritt die Kovarianz und thermodynamische Konsistenz der Theorie gewährleistet. Die Dichteabhängigkeit der Vertizes wird aus Dirac-Brueckner Selbstenergien bestimmt. Sie schliessen somit die vollständige Summation von Leiterdiagrammen ein. Eine in letzter Zeit kontroverse Frage war die Beschreibung der Impulsabhängigkeit von Selbstenergien in relativistischen Modellen. Unsere Untersuchungen zeigen, daß Impulsabhängigkeiten zwar eingeschlossen werden müssen, aber eine Mittelung über die Fermikugel sehr zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Die Methode verallgemeinert das aus der nicht-relativistischen Vielteilchentheorie bekannte Konzept, Nichtlokalitäts-Effekte mit effektiven Massen μ beschreiben.

Die Erweiterung der DDRH-Theorie auf den Strangeness-Sektor wurde in Angriff genommen. In einer systematischen Untersuchung der diagrammatischen Struktur von Baryon-Selbstenergien in Isospin-Strangeness-gemischter Kernmaterie konnte gezeigt werden, daß Nukleon- und Hyperon-Selbstenergien in einem einfachen Verhältnis zueinander stehen. Zumindest in der Leiternäherung führt dies zu einem intuitiv einsichtigen Skalierungsverhalten von Hyperon und Nukleon-Selbstenergien, daß in bestimmender Ordnung vom Verhältnis der Kopplungskonstanten im materiefreien Raum festgelegt ist.

Ein guter Test für die Dichteabhängigkeit der Nukleon- und Hyperon Vertizes bis zum 6-fachen der Dichte am Kernmaterie-Gleichgewichtspunkt sind Rechnungen für Neutronensternmaterie im β -Gleichgewicht und Strukturrechnungen für Neutronensterne. In beiden Fällen wurden sehr befriedigende Ergebnisse erreicht. Mit unserem vollständig mikroskopischen Verfahren erhalten wir aus den Tolman-Oppenheimer-Volkov Gleichungen stabile Neutronensterne in dem allgemein als realistisch angesehen Masse-Radius Bereich.

6.2 Struktur und Reaktionen von exotischen Kernen und Hyperkernen

Um die Güte der DDRH-Vertizes besser einzugrenzen, sind Rechnungen für endliche Kerne unverzichtbar. Soweit Daten vorhanden sind, werden Bindungsenergien und Kernradien von mittelschweren und schweren Kernen über den vollen Bereich von der Protonen- zur Neutronenabbruchkante mit den relativistischen DDRH-HFB Rechnungen sehr zufriedenstellend beschrieben. Die Übereinstimmung mit den Daten ist vergleichbar zu rein empirischen relativistischen Mittelfeld-*(RMF)*-Theorien. Ein allgemeines Phänomen ist das Auftreten von Neutronenhäuten. Sie sind mit Konfigurationen verknüpft, in denen ein Rumpf aus normaler Kernmaterie mit einer Lage aus fast reiner Neutronenmaterie überzogen ist. QRPA Rechnungen sagen vorher, daß solche Systeme charakteristische Niederenergieanregungen entwickeln sollten.

Eine genauere Analyse der DDRH-Ergebnisse deutet jedoch auf Defizite in der Oberflächenenergie hin. Die Ursache dafür liegt teilweise in der lokalen Dichtenäherung für die Vertizes. Darüberhinaus fehlen in den Dirac-Brueckner Vertizes klarerweise indizierte Wechselwirkungen von dynamischen Polarisationsprozessen (*Ringdiagramme*). Hyperkernrechnungen zeigen, daß diese Beiträge wahrscheinlich die scheinbare Unterdrückung der Spin-Bahn Wechselwirkung in Λ Hyperkernen erklären.

Dynamische Selbstenergien spielen auch in leichten exotischen Kernen eine entscheidene Rolle. Ein gutes Beispiel hierzu sind Ein-Nukleon Halokerne wie ^{19}C , in denen das Valenzteilchen an einen Rumpfkern gekoppelt ist, der selbst schon weitab des Stabilitätstals liegt. Wegen der abgeschwächten Bindung sind solche Kerne leicht polarisierbar, so daß dynamische Selbstenergien ungewöhnlich deutlich sichtbar werden. QRPA Rechnungen zeigen, daß die Polarisationswechselwirkungen eine starke Unterdrückung der Einteilchenkomponente der ^{19}C -Halowellenfunktion verursachen. Entsprechende Rechnungen für andere Halosysteme, wie ^8B und ^{11}Be , führen zu der Schlußfolgerung, daß in der Nähe der Abbruchkanten die Mittelfelddynamik generell an Bedeutung verliert und durch dynamische Wechselwirkungsprozesse ersetzt wird. Diese ganz andersartige Dynamik führt zum Verschwinden von Schalenstrukturen. Deutlich sichtbar werden die Effekte in Aufbruchreaktionen im relativistischen GSI-Energiebereich. Eikonalkalkulationen zeigen, daß die hohen Impulskomponenten der Verteilungen von den rumpfangeregten Komponenten verursacht werden. Die gemessenen Impulsverteilungen und totalen Aufbruchquerschnitte werden mit den korrelierten Wellenfunktionen gut beschrieben.

Der seit kurzem an der GSI existierende Pionenstrahl von 1 GeV Eingangsenergie eignet sich zur kohärenten Produktion von Hyperkernen über die (π^+, K^+) Reaktion. Aus der Beteiligung an der Vorbereitung eines solchen Experiments ergab sich die Notwendigkeit einer quantitativen Reaktionstheorie. Anfangs- und Endzustandswechselwirkungen werden aus den elementaren Streu- und Produktionsquerschnitten am Nukleon in einer modifizierten Faltungsnäherung bestimmt, wobei das Verhältnis von Real- und Imaginärteil der elementaren Streuamplituden als freier Parameter eingeht. Eikonalkalkulationen für elastische Pionen und Kaonenstreuung beschreiben in dem in-

teressanten Eingangsbereich um 1 GeV die totalen Wirkungsquerschnitte und Winkelverteilungen sehr gut.

Veröffentlichungen 2000

S. Barsov, W. Cassing, A Ströher et al.

ANKE, a New Facility for Medium Energy Hadron Physics at COSY-Jülich
Nucl.Inst. & Meth. (2001), in press.

C. Bennhold, T. Mart, A. Waluyo, H. Haberzettl, G. Penner, T. Feuster, U. Mosel
Nucleon Resonances in Kaon Photoproduction

Proc. Workshop on Electron-Nucleus Scattering, Marciana Marina (2000), in press

C. Bennhold, A. Waluyo, H. Haberzettl, T. Mart, G. Penner, U. Mosel

Missing Nucleon Resonances in Kaon Production with Pions and Photons
submitted to Phys. Rev. C (2000), nucl-th/0008024

V. Borchers, J. Meyer, S. Giesecke, G. Martens, C.C. Noack

A Poincar-Covariant Parton Cascade for Ultrarelativistic Heavy-Ion Reactions
submitted to Phys. Rev. C (2000)

E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, C. Greiner, M. Effenberger, U. Mosel, A. Sibirtsev
Aspects of Thermal and Chemical Equilibration of Hadronic Matter

Nucl. Phys. A675 (2000) 661

E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, C. Greiner, M. Effenberger, U. Mosel, A. Sibirtsev
Thermal and Chemical Equilibration of Hadronic Matter

Nucl. Phys. A (2000), in press

E.L. Bratkovskaya, W. Cassing, U. Mosel

Perspectives of e^+e^- Production in pp , pd and pBe Reactions at SIS Energies
Nucl.Phys. A686 (2001) 476.

F. Cappuzzello, A. Cunsolo, S. Fortier, A. Foti, M. Khaled, H. Laurent, H. Lenske, J.M. Maison, A.L. Melita, C. Nociforo, L. Rosier, C. Stephan, L. Tassan-Got, J.S. Winfield, H.H. Wolter

Excited States of ^{11}Be

Phys. Lett. B (2001), in press

W. Cassing

Equation of State of Nucleonic Matter

Acta Phys. Pol. B31 (2000) 213

W. Cassing

Dileptons and Hadron Spectral Functions in Heavy-Ion Collisions

Proc. Hadrons in Dense Matter (Hirscheegg 2000), p. 152 GSI, Darmstadt, 2000.

W. Cassing, E.L. Bratkovskaya, S. Juchem
Excitation Functions of Hadronic Observables from SIS to RHIC Energies
Nucl. Phys. A674 (2000) 249

W. Cassing, S. Juchem
Semiclassical Transport of Particles with Dynamical Spectral Functions
Nucl. Phys. A665 (2000) 377

W. Cassing, S. Juchem
Semiclassical Transport of Hadrons with Dynamical Spectral Functions in $A + A$ Collisions at SIS/AGS Energies
Nucl. Phys. A672 (2000) 417

W. Cassing
Perspectives of Scalar and Vector Meson Production in Hadron-Nucleus Collisions
Acta Phys. Pol. B31 (2000) 2177

W. Cassing, S. Juchem
Equilibration within a Semiclassical off-shell Transport Approach
Nucl. Phys. A677 (2000) 445

W. Cassing, Y.S. Golubeva, L.A. Kondratyuk
Interactions of Charmed Mesons with Nucleons in the $\bar{p}d$ Reaction
Eur. Phys. Jour. A7 (2000) 279

W. Cassing, E.L. Bratkovskaya, A. Sibirtsev
Open Charm Production in Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions
Nucl. Phys. A (2001), in press

D. Cortina-Gil, T. Baumann, H. Geissel, K. Sümmerer, L. Axelsson, U. Bergmann, M.J.G. Borge, L. Fraile, M. Hellström, M. Ivanov, N. Iwasa, R. Janik, B. Jonson, H. Lenske, K. Markenroth, G. Münzenberg, F. Nickel, T. Nilsson, A. Ozawa, K. Riisager, G. Schrieder, W. Schwab, H. Simon, C. Scheidenberger, B. Sitar, M. Smedberg, P. Strmen, T. Suzuki, M. Winkler
One-Nucleon Removal Cross-Sections for $^{17,19}C$ and $^{8,10}B$
Eur. Phys. Jour. A (2001), in press

M. Effenberger, U. Mosel
Photoproduction of Mesons at GeV Energies
Phys. Rev. C62 (2000) 014605

T. Falter, S. Leupold, U. Mosel
Low Energy Onset of Nuclear Shadowing in Photoabsorption
submitted to Phys. Rev. C (2000)

Ye.S. Golubeva, W. Cassing, L.A. Kondratyuk, A. Sibirtsev, M. Büscher
Studying the ωN Elastic and Inelastic Cross Section with Nucleons
Eur. Phys. Jour. A7 (2000) 271

C. Greiner, S. Leupold
Antihyperon-Production in Relativistic Heavy-Ion Collisions
submitted to Phys.Rev.Lett. (2001)

C. Greiner Do Chemically Saturated Antihyperon Abundancies Signal the Quark-Gluon-Plasma
submitted to Heavy-Ion Physics (2001)

C. Greiner
Signatures of the Quark-Gluon Plasma: A Personal Overview
Proc. Int. Conf. Lüderitz 2000 on Fundamental and Applied Aspects of Modern Physics,
Lüderitz, Namibia, World Scientific, Singapore, 2000.

C. Greiner, S. Leupold
Langevin Interpretation of Kadanoff-Baym Equations
Proc. Progress in Non-Equilibrium Green's Functions
World Scientific, Singapore, 2000.

V.Yu. Grishina, L.A. Kondratyuk, E.L. Bratkovskaya, M. Büscher, W. Cassing
Production of a_0 -mesons in the reactions $\pi N \rightarrow a_0 N$ and $pp \rightarrow da_0$ at GeV energies
Eur. Phys. Jour. A9 (2000) 277.

C. Gund, H. Bauer, J. Cub, A. Dietrich, T. Härtlein, H. Lenske, D. Pansegrau, A. Richter, H. Scheit, G. Schrieder, D. Schwalm
Potentials and Limitations of Transfer Experiments with Radioactive Beams at REX-ISOLDE
Eur. Phys. Jour. A (2001), in press.

F. Hofmann, C. Keil, H. Lenske
Density Dependent Hadron Field Theory for Asymmetric Nuclear Matter and Exotic Nuclei
Phys.Rev. C (2001), in press, nucl-th/0007050

- F. Hofmann, C. Keil, H. Lenske
Application of the Density Dependent Hadron Field Theory to Neutron Star Matter
Phys.Rev. C (2001), in press, nucl-th/0008038.
- B. Kamys, P. Kulesa, H. Ohm, K. Pysz, Z. Rudy, H. Ströher, W. Cassing
Non-mesonic Decay of the Λ hyperon in Hypernuclei produced by p + Au Collisions
submitted to Eur. Phys. Jour. A (2001)
- F. Karsch, M.G. Mustafa, M.H. Thoma
Finite Temperature Meson Correlation Functions in HTL Approximation
Phys. Lett. B497 (2000) 249.
- C.M. Keil, F. Hofmann, H. Lenske
Density Dependent Hadron Field Theory for Hypernuclei
Phys. Rev. C61 (2000) 06433
- C.M. Keil, Frank Hofmann, Horst Lenske
THE STRUCTURE OF LAMBDA HYPERNUCLEI
Contributed to HYP2000: 7th International Conference on Hypernuclear and Strange
Particle Physics, Torino, Italy, 23-27 Oct 2000, Nucl.Phys A (2001), im Druck, e-Print
Archive: nucl-th/0011046
- M.T. Keil, G. Penner, U. Mosel
Anti-Kaon Induced Reactions on the Nucleon
submitted to Phys. Rev. C (2001), in press.
- P. Kulesa, Z. Rudy, W. Cassing, M. Hartmann, L. Jarczyk, B. Kamys, H.R. Koch, H.
Ohm, K. Pysz, H. Ströher, A. Strzalkowski
Interactions of Strange Particles with Nucleons
Acta Phys. Pol. B31 (2000) 2243
- A.B. Larionov, W. Cassing, M. Effenberger, U. Mosel
(p, π^\pm) Correlations in Central Heavy-Ion Collisions at 1 – 2A GeV
Eur. Phys. Jour. A7 (2000) 507
- A. Larionov, J. Piperova, M. Colonna, M. Di Toro
Strongly Damped Nuclear Collisions: Zero or First Sound?
Phys. Rev. C61 (2000) 064614
- A. Larionov, W. Cassing, C. Greiner, U. Mosel
Squeeze-out of Nuclear Matter in Peripheral Heavy-Ion Collisions and Momentum-
Dependent Effective Interactions
Phys. Rev. C62 (2000) 064611

J. Lehr, M. Effenberger, U. Mosel
Electron and Photon-induced Reactions on Nuclei in the Nucleon Resonance Region
Nucl. Phys. A671 (2000) 503

J. Lehr, M. Effenberger, H. Lenske, S. Leupold, U. Mosel
Transport Theoretical Approach to the Nucleon Spectral Function in Nuclear Matter
Phys. Lett. B483 (2000) 324

H. Lenske
Dirac-Brueckner Approach to Hyperon Interactions and Hypernuclei
Proc. Int. Workshop HYPJLAB99, Hampton, Virginia, USA, Dec 2-4,1999, ed. L. Tang.

H. Lenske
Exploring the Dripline by Many-Body Theory
Proc. Int. Conf. Bologna 2000 - Nuclear Structure at the Dawn of the Century, Bologna, Italy, May 28 - June 1, 2000, in press.

H. Lenske, F. Hofmann, C.M. Keil
PROBING ISOSPIN DYNAMICS IN HALO NUCLEI
Rep.Prog.Nucl.Part.Phys., in press, e-Print Archive: nucl-th/0012082

S. Leupold
Life time of Resonances in Transport Simulations
submitted to Nucl. Phys. A (2001).

S. Leupold
Towards a Test Particle Description of Transport Processes for States with Continuous Mass Spectra
Nucl. Phys. A672 (2000) 475.

S. Leupold
A Test Particle Description of Transport Processes for States with a Continuous Mass Spectrum
Proc. Progress in Non-Equilibrium Green's Functions
World Scientific, Singapore, 2000.

S. Leupold
QCD Sum Rules for Light Vector and Axial-Vector Mesons in Nuclear Matter
Proc. "Hadrons in Dense Matter (Hirscheegg 2000)", p. 323, GSI, 2000

S. Leupold

QCD Sum Rules for Vector and Axial-Vector Mesons in a Nuclear Medium
Proc. "Few Body 2000, Taipeh, Taiwan, March 2000

J.G. Meschendorp, A. Sibirtsev, W. Cassing, V. Metag, S. Schadmand
Studying the ω -mass in-medium in $\gamma + A \rightarrow \pi^0\gamma + X$ Reactions
submitted to Eur. Phys. Jour. A (2001).

U. Mosel

Hadronic In-Medium Effects with Elementary Probes
Proc. Hadrons in Dense Matter (Hirschegg 2000), GSI, Darmstadt, 2000, p. 11.

U. Mosel

Shadowing and Fragmentation in High-Energy Photo-Meson Production
Acta Physica Polonica B, Vol. 31 (2000) No 10-11, p.2269.

S. Mrowczynski, M.H. Thoma

Hard Loop Approach to Anisotropic Systems
Phys. Rev. D (2000), in press.

M.G. Mustafa, A. Schäfer, M.H. Thoma

Non-Perturbative Dilepton Production from a Quark-Gluon Plasma
Phys. Rev. C61 (2000) 024902

M.G. Mustafa, A. Schäfer, M.H. Thoma

Gluon Condensate and Non-Perturbative Quark-Photon Vertex
Phys. Lett. B472 (2000) 402

M.G. Mustafa, M.H. Thoma

Bremsstrahlung from an Equilibrating Quark-Gluon Plasma
Phys. Rev. C62 (2000) 014902

A. Peshier, M.H. Thoma

Quark Dispersion Relation and Dilepton Production in the Quark-Gluon Plasma
Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 841

M.V. Polyakov, A. Sibirtsev, K. Tsushima, W. Cassing, K. Goeke

On the Search for a Narrow Penta-Quark Z^+ Baryon in NN -Interactions
Eur. Phys. J. A9 (2000) 115.

M. Post, S. Leupold, U. Mosel

The ρ Spectral Function in a Relativistic Resonance Model
Nucl. Phys A (2001), in press.

- M. Post, U. Mosel
Coupling of Baryon Resonances to the ωN channel
Nucl. Phys. A (2001), in press.
- P.K. Sahu, W. Cassing, U. Mosel, A. Ohnishi
Baryon Flow from SIS to AGS Energies
Nucl. Phys. A672 (2000) 376
- A. Schäfer, M.H. Thoma
Gluon Condensate and Quark Propagation in the QGP
Proc. Workshop “Understanding Deconfinement in QCD” (ECT*, Trento), World
Scientific, Singapore (2000), p. 172
- J. Schaffner-Bielich, V. Koch, M. Effenberger
Medium Modified Cross Sections, Temperature and Finite Momentum Effects for Anti-
Kaon Production in Heavy-Ion Collisions
Nucl. Phys. A669 (2000) 153
- K. Schertler, C. Greiner, J. Schaffner-Bielich, M.H. Thoma
Quark Phases in Neutron Stars and a “Third Family” of Compact Stars as a Signature
for Phase Transitions
Nucl. Phys. A677 (2000) 463.
- A. Sibirtsev, K. Tsushima, K. Saito, A.W. Thomas
Novel Features of J/Ψ Dissociation in Matter
submitted to Phys. Lett. B484 (2000) 23.
- A. Sibirtsev, W. Cassing
On the Current Status of OZI Violation in πN and pp Reactions
Eur. Phys. Jour. A7 (2000) 407
- A. Sibirtsev, W. Cassing
 K^-A Elastic Scattering
Phys. Rev. C61 (2000) 057601
- A. Sibirtsev, W. Cassing, U. Mosel
Low Energy Kaon Photoproduction from Nuclei
Nucl. Phys. A679 (2001) 497.
- A. Sibirtsev, V. Hejny, H. Ströher, W. Cassing
Studying the ω -Properties in pA -Collisions via the $\omega \rightarrow \gamma$ Decay
Phys. Lett. B483 (2000) 405

A. Sibirtsev, K. Tsushima, A.W. Thomas
Charmonium Absorption by Nucleons
submitted to Phys. Rev. C (2001), in press.

A. Sibirtsev
Interactions of Charmed Mesons with Nucleons
Nucl. Phys. A680 (2001) 274c.

M.H. Thoma, S. Leupold, U. Mosel
Dilepton Production from ρ -Mesons in a Quark-Gluon Plasma
Eur. Phys. Jour. J. A7 (2000) 219

M.H. Thoma
Collisional Energy Loss of Fast Charged Particles in Relativistic Plasmas
J. Phys. G26 (2000) 1507.

M.H. Thoma
Photon-Photon Interactions in a Photon Gas
Eur. Phys. Lett. 52 (2000) 498.

M.H. Thoma
Leontovich Relations in Thermal Field Theory
Eur. Jour. Phys. C16 (2000) 513.

K. Tsushima, A. Sibirtsev, A.W. Thomas
Strangeness Production from πN -Collisions in Nuclear Matter
Phys. Rev. C62 (2000) 064904

K. Tsushima, A. Sibirtsev, K. Saito, A.W. Thomas, D.H. Lee
Effect of Changes in Meson Properties in Nuclear Medium: J/ψ Dissociation in Nuclear Matter and Meson-Nucleus Bound States
Nucl. Phys. A680 (2000) 279c.

A. Welugo, C. Bennhold, H. Haberzettl, G. Penner, U. Mosel, T. Mart
Nucleon Resonances in Meson-Nucleon Scattering with Strangeness Production
Proc. 18th Indonesian National Physics Symposium, (2000), in press, nucl-th/0008023.

Z. Xu, C. Greiner
Stochastic Treatment of Disoriented Chiral Condensates within a Langevin Description
Phys. Rev. D62 (2000) 036012

I. Zycher, W. Borgs, W. Cassing et al.
Measurements of the Λ -hyperon lifetime in heavy hypernuclei at COSY-Jülich
Acta. Phys. Pol. B31 (2000) 405.

Konferenzbeiträge 2000

Hirschegg, Kleinwalsertal: Int. Workshop XXVIII on Gross Properties of
Nuclei and Nuclear Excitations "Hadrons in Dense Matter
16.01.-22.01.2000

W. Cassing
Dileptons and Hadron Spectral Functions in Heavy-Ion Collisions

S. Leupold
QCD Sum Rules for Light Vector and Axial-Vector Mesons in Nuclear Matter

U. Mosel
Hadronic In-medium Effects in Reactions with Elementary Probes

Bormio, Italy: XXXVIII. Int. Winter Meeting on Nuclear Physics
24.01.-29.01.2000

J. Lehr
Electron and Photon Induced Reactions on Nuclei in the Nucleon Resonance Region

A. Larionov
(p, π^\pm Correlations in Central Heavy-Ion Collisions at 1-2 AGeV

Trento, Italy: "Workshop on New Perspectives of Pairing Phenomena
31.01.-04.02.2000

H. Lenske
Nuclear Interactions at Extreme Isospin

Santiago de Compostela, Spain : Workshop on "Percolation Phenomena at High Energy
13.02.-20.02.2000

W. Cassing
String Dynamics and Charm-Quark Propagation in High Energy Nucleus-Nucleus Col-
lisions

Darmstadt, Germany: EOS 2000
20.-23.02.2000

E. Bratkovskaya
Aspects of Thermal and Chemical Equilibration of Hadronic Matter

W. Cassing
The EOS, Collective Flow and Strangeness Production

H. Lenske
Interactions in Nuclear and Hypernuclear Matter

U. Mosel
Summary Talk

Bad Honnef, Germany: Schwerpunkttreffen Photonuklearphysik
28.02.-01.03.2000

J. Lehr
Photon- und Elektron-induzierte Reaktionen an Kernen in der Resonanzregion

U. Mosel
Shadowing und Meson-Produktion in $\gamma - A$ Reaktionen

Taipei, Taiwan: Symposium of "The Structure of the Nucleon - from Chiral
Perturbation Theory to QCD Sum Rules
03.03.-06.03.2000

S. Leupold
QCD-Sum Rules for Vector and Axial-Vector Mesons in a Nuclear Medium

Dresden, Germany: 64. Physikertagung der DPG
20.03.-24.03.2000

S. Briganti, F. Hofmann, C. Keil, H. Lenske
Production and Structure of Hypernuclei

F. Hofmann, C. Keil, H. Lenske
Dichteabhängige Feldtheorie für seltsame Kernmaterie und Neutronensterne

M. Keil, U. Mosel
K-Matrix-Rechnung zu Kaon-induzierten Reaktionen am Nukleon

J. Lehr
 N -Spektralfunktion in Kernmaterie bei $T = 0$

S. Leupold
Testteilchenbeschreibung von Transportprozessen für Zustände mit kontinuierlichen Massenspektren

C. Greiner, K. Schertler, J. Schaffner, M.H. Thoma
Kompaktheit und mögliche Zwillinge von Neutronensternen mit zentraler Quarkmaterie

Z. Xu, C. Greiner
Stochastische Facetten von disorientierten chiralen Kondensaten

Bad Honnef, Germany: Treffen der Theoretiker des Schwerpunkts - Hadronische
Strukturen von Nukleonen und Kernen
10.04.-12.04.2000

S. Leupold
QCD-Summenregeln.

Th. Falter
Niederenergie-Einsatz von Nuclear Shadowing

Rosendorf, Germany: NSNA 2000, Workshop on Nuclear Spectroscopy and Nuclear
Astrophysics
27.04.-29.04.2000

H. Lenske
Neutron Stripping and Capture Reactions

Krakau, Poland: Meson 2000
18.05.-20.05.2000

W. Cassing
Perspectives of Scalar and Vector-Meson Production in Hadron-Nucleus Collisions

U. Mosel
Shadowing and Meson-Production on Nuclei

Catania, Sicilian: CHRIS 2000
22.05.-26.05.2000

E. Bratkovskaya
Thermal and Chemical Equilibration of Hadronic Matter

Dresden, Germany: Int. Workshop "Nonequilibrium Physics at Short Time Scales
06.06.-09.06.2000

W. Cassing
Semiclassical Transport of Dynamical Spectral Functions

Newport, News, USA: HUGS 2000
30.05.-16.06.2000

T. Falter
Phenomenology of Nuclear Shadowing

New London, USA: 2000 Nuclear Chemistry Gordon Conference
18.06.-22.06.2000

W. Cassing
Collective Flow in Nucleus-Nucleus Collisions and the Nuclear Equation of State (EOS)

A. Larionov
Multifragmentation of Charge-Asymmetric Nuclear Systems

Strasbourg, France: 7th Int. Conf. on Nucleus-Nucleus Collisions
Nucleus-Nucleus 2000
03.07.-07.07.2000

P.K. Sahu, W. Cassing, U. Mosel, A. Ohnishi
Baryon Collective Flow from SIS to AGS Energies

Bosen, Germany: 17th Students Workshop on Electromagnetic Interactions
03.09.-08.09.2000

M. Post
Coupling of Baryon Resonances to the $N\omega$ Channel

Erice, Italy: Int. School of Nuclear Physics
19.09.-25.09.00

H. Lenske
Probing Isospin Dynamics in Halo Nuclei

Bad Honnef, Germany: Symposium on Fundamental Issues in Elementary Matter
25.09.-29.09.2000

C. Greiner
Anti-Hyperon Production in Relativistic Heavy-Ion collisions

Giessen: Inauguration Meeting European Graduate School on Complex Systems
of Hadrons and Nuclei
09.10.-11.10.2000

M. Post
Vector Mesons in Medium

W. Cassing
Production and Propagation of Charmonium and Open Charm in Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions

Darmstadt, Germany: Nuclei and Nucleons
11.10.-13.10.00

H. Lenske
Many-Body Theory at the Dripline

H. Lenske, H.H. Wolter
Statistical Multistep Direct Reaction Approach for Pre-Equilibrium

Darmstadt, Germany: GSI Workshop on its Future Facility
18.10.-20.10

W. Cassing
Strangeness, Open Charm and Electromagnetic Probes from Nucleus-Nucleus Collisions

U. Mosel
Summary and Outlook

Turin, Italy: HYP 2000
22.10.-27.10.00

C. Keil
Structure of Λ Hypernuclei

Lüderitz, Namibia: Fundamental and Applied Aspects of Modern Physics
13.11.-17.11.2000

C. Greiner
Signatures of the QGP

Bad Honnef, Germany: Hard Thermal Loops: Applications and Perspectives
14.12.-15.12.2000

C. Greiner
Stochastic Interpretation of Thermal QFT - Statistical Facets of DCC Formation

S. Leupold
New Developments in Transport Theory for States with Continuous Mass Spectra

Darmstadt, Germany: Collaboration Meeting on Hypernuclear Physics with the
Pion Beam
15.12.2000

C. Keil
Hyperon Interactions and the Structure of Λ Hypernuclei

S. Briganti
Initial and Final State Interactions in the Production of Hypernuclei by Hadronic Reactions

Seminare

W. Cassing

ω -Meson Production in Hadron-Nucleus Reactions

Univ. Groningen, The Netherlands, 14.07.2000

C. Greiner

Interpretation von thermischen Feldtheorien mit Hilfe von Langevin Prozessen

Univ. Heidelberg, Germany, 16.01.2000

M. Post

Vector Mesons in Medium

Lawrence Berkeley Nat. Lab., Berkeley, California, USA, 06.04.2000

U. Mosel

Shadowing and Meson Production

Thomas Jefferson Lab., Newport News, USA, 17.04.2000

H. Lenske

Unterdrückung von Schalenstrukturen in exotischen Kernen

Univ. München/Garching, Germany, 19.05.2000

A. Larionov

Squeeze-out of Nuclear Matter in Peripheral Heavy-Ion Collisions

Michigan State Univ., East Lansing, Michigan, USA, 28.06.2000