Wissenschaftlicher Bericht über das BMBF-Fördervorhaben

06 DR 828I8

**”Seltene Prozesse in hadronischen und nuklearen
Reaktionen (Strangeness, reelle und virtuelle Photonen) -
Experimente bei COSY und SIS”**

(1.4.1997 - 31.3.2000)

Projektleiter: Prof. Dr. E. Grosse

**Forschungszentrum Rossendorf
Institut für Kern- und Hadronenphysik**

1. Beschreibung des Vorhabens

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens war die experimentelle Untersuchung von seltenen Prozessen mit Strangeness sowie reellen und virtuellen Photonen in hadronischen und nuklearen Reaktionen. Mit einem einheitlichen physikalischen Programm und abgestimmten Fragestellungen erfolgte dabei die Mitarbeit in verschiedenen Kollaborationen (KaoS, HADES, FOPI, ANKE, TOF) an den Beschleunigern SIS (GSI Darmstadt) und COSY (FZ Jülich). Die genannten seltenen Prozesse wirken als Sonden für die Vorgänge in den verschiedenen Reaktionen, wobei insbesondere das Verhalten von Hadronen in dichter Materie studiert werden soll. Neben den nuklearen Reaktionen sind dabei auch die elementaren Reaktionskanäle von Interesse.

1.2 Voraussetzungen

Das Vorhaben wurde von E. Grosse, W. Enghardt, K. Möller, H. Müller, R. Kotte, L. Naumann, F. Dohrmann, C. Schneider, M. Debowski, S. Dshemuchadse, W. Neubert, D. Wohlfarth, R. Dressler, (wissenschaftliche Mitarbeiter) C. Plettner, W. Scheinast (Doktoranden¹) bearbeitet. Außerdem wurde zum Ende der Förderperiode die gesamte Kapazität unseres Detektorlabors (J. Hutsch, M. Sobiella, R. Förster, L. Heinrich, M. Paul, J. Schwarzenau) eingesetzt, wobei das HADES-Projekt außerdem durch K. Heidel und zeitweilig durch Gäste unterstützt wird. Unterstützung für das ANKE-Projekt erfolgte durch B. Rimarzik, B. Prietzsch (a.D.) und C. Schneidereit. B. Kämpfer ist als Abteilungsleiter Hadronenphysik sowohl für den experimentellen als auch den theoretischen Bereich zuständig.

1.3 Ablauf

Im Förderzeitraum haben wir uns auf folgende Aufgaben konzentriert:

- a) Messung und Auswertung der inklusiven $K^\pm$ Erzeugung in pA-Reaktionen an KaoS bei verschiedenen Strahlenergien in Schwellennähe für verschiedene Targets und in einem großen Winkelbereich.
- b) Auswertung der ϕ -Erzeugung an FOPI durch die Analyse der K^+K^- -Korrelationen.
- c) Entwicklung und Aufbau von Drahtkammern der 3. Ebene für HADES.
- d) Kompletter TOF-Aufbau mit großem Barrel-Segment sowie experimentelle Untersuchungen der Reaktionen $pp \rightarrow p\Lambda K^+$, $pp \rightarrow pp\gamma$.
- e) Kompletter Aufbau des ANKE-Aufbaus ("positive Seite") sowie experimentelle Untersuchung der Reaktion $p^{12}C \rightarrow XK^+$ bei verschiedenen Strahlenergien.

1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Aus der gemeinsamen Tätigkeit in den experimentellen Kollaborationen ergibt sich eine weitgespannte Zusammenarbeit mit vielen Hochschulgruppen, ausländischen Kooperationspartnern und insbesondere der GSI Darmstadt und dem FZ Jülich. Besonders enge Kontakte gibt es mit den Gruppen in Krakau, TU München, Uni Frankfurt, Uni Darmstadt, Uni Giessen und Uni Marburg. Hervorgehoben werden soll hier die enge Zusammenarbeit mit der Theoriegruppe im Hause sowie denjenigen in Subatech Nantes, Uni Giessen und KFKI Budapest.

Es wurden zwei Workshops zur Thematik gemeinsam mit Theoretikern im FZ Rossendorf durchgeführt, deren Materialien in FZR-249 (1999) und FZR-258 (1999) dokumentiert sind:

- 1) "2nd workshop on kaon production" 10. - 11. Dezember 1998, gemeinsam mit einem KaoS-Kollaborationstreffen
- 2) "Mini-workshop on electromagnetic radiation off colliding hadron systems: dileptons and bremsstrahlung", 16. - 17. April 1999, gemeinsam mit einem HADES-Treffen.

---

¹aus Bundesmitteln finanziert

2. Erzielte Ergebnisse

2.1 Methodische Arbeiten

HADES: Am umfangreichsten sind hier die Arbeiten zum Bau der 6 großen Driftkammern (MDC) für die 3. Ebene für HADES. Diese MDC wurden in Rossendorf konstruiert. Ein Prototyp, welcher mit einer aktiven Zählerebene bestückt wurde, konnte Anfang 2000 erfolgreich getestet werden. Die erste vollständig konfigurierte MDC ist zur Zeit aufgebaut, und die Messungen von Ansprechverhalten, Hochspannungsfestigkeit und Gasdichtigkeit sind sehr zufriedenstellend. Die Einhaltung der Positioniergenauigkeit wird z.Z. optimiert. Die Fertigung der drahtbespannten Kammerelemente wird jetzt technologisch gut beherrscht, so dass mit der Elektronik-Komplettierung und dem Bau der anderen Kammern zügig vorangegangen werden kann. Insgesamt sind 42 Kathoden und 36 Anoden zu bauen. Die Einbindung der Software der Driftkammern in die HADES-Simulationsprogramme wird in auch Rossendorf betrieben.

ANKE: Das "Rossendorf Collision (ROC)" Modell ermöglicht die empirische Beschreibung hadronischer und nuklearer Wechselwirkungen mit einem einheitlichen Parametersatz in einem weiten Energiebereich. Das Modell wurde im Berichtszeitraum entscheidend verbessert und gleichzeitig als Ereignisgenerator für Simulationen von ANKE-Experimenten eingesetzt. Dazu dienten Files mit berechneten Ereignissen, die entsprechend der ANKE-Akzeptanz und des zu untersuchenden Problems selektiert und in GEANT weiterverarbeitet wurden. Zu nennen sind hier insbesondere die Abschätzungen von Zählraten der seltenen Prozesse wie die Produktion von K^+ oder K^- unter der Schwelle bei gleichzeitiger Betrachtung von Untergrundprozessen. Besonders wichtig sind Modellrechnungen im Zusammenhang mit den geplanten Korrelationsmessungen wie z.B. K^+d , K^+K^- , K^+K^-p , K^+K^-d usw. in pA-Reaktionen, weil es in diesen Fällen praktisch keine andere Möglichkeit einer Zählratenabschätzung gibt.

Im Zusammenhang mit der Vorbereitung und Ausarbeitung eines entsprechenden ANKE-Proposals wurde die Produktion von ω , η und a_0 Mesonen in pp -Reaktionen untersucht. Die Kenntnis dieser Wirkungsquerschnitte ist für zukünftige HADES-Experimente und deren Interpretationen von Bedeutung, da die ω und η Mesonen einen wichtigen Dileptonenzerfallskanal haben.

Ein weiteres Einsatzgebiet von simulierten Ereignissen ist ihr Vergleich mit Messergebnissen während der Datenauswertung, um die gesamte Apparatur besser verstehen zu können.

Im Rossendorfer Detektorlabor wurde der Bau von Vieldrahtkammern für die Seitendetektoren von ANKE im Förderzeitraum abgeschlossen. Es erfolgte dabei zunächst der Test der ersten großen Kammer unter Laborbedingungen und die Fertigstellung der zweiten großen Vieldrahtkammer für die Seite der negativen Teilchen sowie deren Test unter Laborbedingungen. Daran schloss sich der Einbau der kleinen und großen Vieldrahtkammer in den Seitendetektor sowie die Installation von Gas- und Hochspannungsversorgung an. Das RAL118/111-Auslesesystem für die Vieldrahtkammern wurde unter Labor- und Strahlbedingungen in Betrieb genommen und optimiert. Inzwischen erfolgte die Inbetrieb-

nahme der Kammern unter Strahlbedingungen und eine Optimierung der Gasmischungen und des Auslesesystems für hohe Messraten in den COSY-ANKE-Strahlzeiten.

Bei den rein technischen Entwicklungen ist zu nennen: Das komplette Kalibrierungssystem für Start/Stop-Zähler, Seitendetektoren und Cherenkov-Zähler, mittels eines von uns entwickelten und gebauten LED-Pulssystems für bis zu 400 Pulskanälen (35 NIM Module/Controller and Pulser), wurde installiert. Dieses System ist mittels eines Rechnersystems fernsteuerbar (CAMAC oder PC). Es erfolgte die Entwicklung und der Bau der kompletten Messköpfe (elektronisch und mechanisch) für die Stopwand-Zähler/Seitenwanddetektoren, Cherenkovdetektoren und für weitere verschiedene Testexperimente für ANKE (Summe ca. 350 Stück). Zu erwähnen sind weiter: - Mitaufbau und Test der Stopzähler-Wand (mechanisch und elektronisch); - Teilweiser Mitaufbau der Startzähler-Wand; - Anfertigung von ca. 5500 Kabeln (alle HV-Kabel von Anke, LEMO-Kabel und Spezialkabel); - Entwicklung und Bau von 20 Signal-Verzögerungsmodulen; - Bau von diversen Einzelmodulen (Signalanpassung, Wandlung und Stromversorgung); - Temperaturüberwachung des gesamten Experimentes an verschiedenen Punkten (fertig gestellt aber noch nicht eingebaut); - 45 HV Spannungsteiler für K^- ; - 2 Verstärkermodule à 32 Kanäle für Drahtkammertests; - verschiedene Adaptermodule zum Test der Drahtkammern.

TOF: Nachdem im Jahre 1997 der TOF-Barreldetektor von den COSY-TOF-Gruppen in Rossendorf und der TU Dresden fertiggestellt wurde und 1998 der Ringdetektor von der Jülicher Gruppe in der endgültigen Form montiert wurde, konnten ab diesem Zeitpunkt erstmalig Messungen mit dem kompletten TOF-Spektrometer durchgeführt werden. Zunächst wurde die $pp\gamma$ Reaktion vermessen. Dabei wurde gleichzeitig der erstmals an COSY zur Verfügung gestellte externe polarisierte Protonenstrahl genutzt. Wie erwartet, ließ sich das TOF-Spektrometer wegen seiner Zylindersymmetrie außer für die eigentlichen physikalischen Messungen auch sehr gut für methodische Untersuchungen am polarisierten Strahl nutzen, insbesondere für die Bestimmung des Polarisationsgrades. Die wichtigste Voraussetzung dafür war die durch den Barreldetektor gegebene große Raumwinkelabdeckung des Spektrometers. Auch weitere Messungen, u.a. zur assoziierten Strangenessproduktion in der Reaktion $pp \rightarrow p\Lambda K^+$ zeigten, dass der Barreldetektor einwandfrei funktioniert und alle Designparameter erfüllt. Eine umfangreiche Darstellung der technisch-physikalischen Aspekte des Barreldetektors ist in einer Publikation in NIM A zu finden. Bei den Messungen kommt entweder der Rossendorfer oder Erlanger Startdetektor zum Einsatz.

KaoS: An KaoS erfolgte der Einsatz eines neuartigen Spurerkennungstriggers. Dadurch konnte für das pA-Experiment die Strahlintensität um eine Größenordnung erhöht werden und Nachweisraten von 1300 K^- sowie 40000 K^+ pro Stunde erreicht werden. In diesen Experimenten wurde erstmals ein externer Protonenstrahl vom SIS der GSI eingesetzt. Wir beschäftigten uns mit der Entwicklung von Software zur Datenreduktion und Auswertung sowie mit Monte-Carlo-Simulationen zur Akzeptanz des KaoS-Spektrometers.

FOPI: Die Rossendorfer Gruppe hat in der Vorbereitung von und während der im laufenden Förderzeitraum durchgeführten Experimente eigenständig eine der Hauptkompo-

zenten des FOPI-Detektorsystems, nämlich die äußere Plastikwand, betreut sowie wesentliche Beiträge zum Betrieb der davor angeordneten Driftkammer Helitron geleistet. Sämtliche anfallenden Plastikwand-Daten sowie ein Teil der Helitron-Daten wurden von der Gruppe kalibriert und der Kollaboration zugänglich gemacht.

Zu nennen sind hier auch in Hinblick auf die Dateninterpretation entwickelte Transportcodes in der Theoriegruppe durch Gy. Wolf (für Kaonenausbeuten in Au + Au-Stößen) und H.W. Barz (für die ϕ -Erzeugung).

2.2 Wissenschaftliche Ergebnisse

Entsprechend der unter 1.3 genannten Gliederung sollen zunächst folgende Resultate erwähnt werden:

2.2.1 Einzelresultate

a) $K^\pm$ -Erzeugung in pA-Reaktionen an KaoS:

Die Erstellung eines sehr umfangreichen Datensatzes zur Bestimmung der doppelt-differentiellen Wirkungsquerschnitte für die $K^\pm$ -Erzeugung wurde für folgende Targets, Strahlenergien und Laborwinkel abgeschlossen (s. Tabellen 1 und 2).

Tabelle 1: Gesamte K^- Statistik (alle Winkel)

Target	2.5 GeV	3.5 GeV
C	4400	13000
Ni	1000	–
Au	5700	12000

Tabelle 2: Überblick über Kaon-Streuwinkel, Strahlenergie und Targets

		32°	40°	48°	56°	64°
K^+	1.6 GeV	–	C,Ni,Au	C,Au	C,Au	C,Au
	2.5 GeV	C,Au	C,Ni,Au	C,Au	C,Au	C,Au
	3.5 GeV	C,Au	C,Au	C,Au	C,Au	–
K^-	2.5 GeV	C,Au	C,Ni,Au	C,Au	C,Au	–
	3.5 GeV	C,Au	C,Au	C,Au	C,Au	–

Es gelang dabei auch der Nachweis von Antikaonen in Proton-Kern-Stößen sehr nahe der Produktionsschwelle. Bisher sind die Daten für die Reaktionen $p + C$ und $p + Au$ bei Strahlenergien von 2.5 und 3.5 GeV bei einem Laborwinkel von 40° ausgewertet. Aus dem vorliegenden noch vorläufigen Material der Datenanalyse kann bereits auf eine in-Medium-Beeinflussung geschlossen werden, wie sie von den FOPI- und KaoS-Kollaborationen bisher nur für Schwerionenreaktionen gefunden wurde. Der Effekt besteht in einer deutlichen

Erhöhung des Verhältnisses von Antikaonen- zu Kaonen-Multiplizitäten in pA-Stößen relativ zum pp-Stoß. Eine naheliegende, aber im Detail noch weiter zu überprüfende Interpretation beruht auf der effektiven Antikaonen-Massenabsenkung. Neben der Theoriegruppe im Hause haben verschiedene auswärtige Theoriegruppen bereits ihr Interesse an den Daten bekundet und vorbereitende Rechnungen zur Interpretation begonnen.

Desweiteren wurde der große Datensatz zur $K^\pm$ -Erzeugung in der Reaktion Au(1 AGeV) + Au im Hinblick auf die Abhängigkeit von der Partizipantenzahl A_{part} analysiert. Nach der Klärung der absoluten Normierung kann die Analyse als abgeschlossen gelten. Die A_{part} -Abhängigkeit der Kaonen bzw. Antikaonen unterscheidet sich von der der Pionen und sollte deshalb ein wichtiger Test für Modelle sein.

Insgesamt hat die KaoS-Kollaboration im Förderzeitraum weiter die Datenbasis zur $K^\pm$ -Erzeugung in Schwerionenstößen systematisch erweitert und durch den Vergleich der Antikaonen- und der Kaonenausbeuten bei äquivalenten Strahlenergien die Hinweise auf eine, im Vergleich zu pp-Stößen, erhöhte Antikaonenproduktion verdichtet.

b) $K^\pm$ - und ϕ -Erzeugung an FOPI:

Innerhalb der Rossendorfer Gruppe wurden für die Reaktionen Ni(1.93 AGeV) + Ni und Ru(1.69 AGeV) + Ru die Ausbeuten von ϕ -Mesonen (hier rekonstruiert aus der invarianten Masse von K^+K^- -Paaren) in einem kleinen Phasenraumbereich um Midrapidität bei kleinen Transversalimpulsen bestimmt. Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein beträchtlicher Teil der Antikaonen, die in Subschwellen-Schwerionenreaktionen erzeugt werden, aus dem Zerfall der ϕ -Mesonen stammen. Die Untersuchungen werden fortgeführt und sind mit detaillierten Transportmodellrechnungen zu vergleichen.

Diese Arbeiten sind im Zusammenhang zu sehen mit anderen Messungen der $K^\pm$ -Kanäle mit FOPI. So wurden die dreifach-differentiellen Produktionsraten von K^+ -Mesonen in zentralen Stößen von $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$ bei Strahlenergien zwischen 1 und 2 A·GeV untersucht. Die geringe totale Ausbeute deutet darauf hin, dass die Erzeugung von K^+ -Mesonen nicht im Rahmen des Szenarios eines einfachen hadro-chemischen Gleichgewichts erklärt werden können, sondern dass die Ausbeute empfindlich bleibt auf Effekte, die die Erzeugungsprozesse der Kaonen beeinflussen, wie z.B. die Zustandsgleichung der Kernmaterie und/oder die K^+ -Dispersionsrelation. Die Ergebnisse wurden publiziert.

Die Untersuchungen zum kollektiven Seitwärtsfluss von K^+ -Mesonen wurden an den Systemen $^{58}\text{Ni}(1.93 \text{ A}\cdot\text{GeV}) + ^{58}\text{Ni}$ und $^{96}\text{Ru}(1.69 \text{ A}\cdot\text{GeV}) + ^{96}\text{Ru}$ fortgesetzt. Der K^+ -Seitwärtsfluss ist korreliert (anti-korreliert) mit dem der Protonen bei großen (kleinen) Transversalimpulsen. Vergleiche mit Vorhersagen eines Transportmodelles favorisieren die Existenz eines abstoßenden in-Medium-Potentials der K^+ -Mesonen. Die Ergebnisse wurden zur Veröffentlichung angenommen.

Noch empfindlicher auf solche Medieffekte reagiert das Ausbeuteverhältnis von negativen und positiven Kaonen. Auch hier deuten Transportmodellrechnungen darauf hin, dass die Daten am besten zu verstehen sind, wenn Modifikationen der Antikaoneneigenschaften im nuklearen Medium angenommen werden. Die FOPI-Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit entsprechenden Resultaten der KaoS-Kollaboration für die Reak-

tion $^{58}\text{Ni}(1.93 \text{ A}\cdot\text{GeV}) + ^{58}\text{Ni}$. Die experimentellen Ergebnisse wurden zusammen mit Transportmodell-Interpretationen zur Publikation eingereicht.

c) Wissenschaftliche Resultate von Experimenten mit HADES liegen noch nicht vor, da das System sich noch im Aufbau befindet.

d) $pp \rightarrow p\Lambda K^+$ und $pp \rightarrow pp\gamma$ an TOF:

Die Reaktion $pp \rightarrow NYK$ wurde in den Messperioden April/Mai 1998 und Februar 2000 bei Strahlimpulsen von 2.59, 2.68, 2.85 und 3.20 GeV/c experimentell studiert. Damit wurde die Datenbasis für die Kaonenerzeugung in Hadronenreaktionen in einem für Schwerionenreaktionen relevanten Energiegebiet zur Verfügung gestellt, da die Daten den Bereich zwischen den COSY-11-Messungen und älteren Datenpunkten ausfüllen. Anhand dieser Daten werden wichtige Parameter von Modellen für die Kaonenerzeugung fixiert. Die ersten Ergebnisse zur assoziierten Strangenessproduktion wurden bereits 1998 veröffentlicht. Weiter sind die Daten geeignet, die Hyperonen-Kanäle Λ und Σ und deren Wechselspiel zu studieren.

Entsprechend dem wissenschaftlichen Programm unseres Instituts zur Untersuchung seltener Prozesse wurde von der Rossendorfer TOF-Gruppe ein Auswerteprogramm für die TOF-Daten zur assoziierten Strangenessproduktion entwickelt. Dieses Programm ist modular aufgebaut und kann mit geringen Modifikationen auch zur Auswertung anderer Reaktionen benutzt werden. Das Programm wird gegewärtig, nachdem umfangreiche numerische Tests durchgeführt wurden, zusammen mit einem Simulationsprogramm zur Auswertung der neueren Messdaten zur Strangenessproduktion verwendet.

1998 erschienen bereits die ersten Ergebnisse zur $pp\gamma$ - Reaktion, die in früheren Experimenten sowie im Januar 1999 bei einem Strahlimpuls von 0.795 GeV/c (mit polarisiertem Strahl) gemessen wurden. Die Daten können u.a. zur Klärung von Normierungsproblemen älterer Messungen anderer Gruppen sowie zum Studium der Endzustandswechselwirkung herangezogen werden.

e) $p^{12}\text{C} \rightarrow XK^+$ an ANKE:

Die Inbetriebnahme von ANKE erfolgte zunächst mit dem Nachweis von K^+ und π^+ in Vorwärtsrichtung bei Protonenenergien von 1 bis 2 GeV an verschiedenen Targets. Es wurden insbesondere Daten zum Studium der Kaonenerzeugung am Kohlenstoff nahe der Schwelle mit den Strahlenergien 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0, 2.2, 2.3 GeV genommen. Weiter wurde die Targetabhängigkeit in den Reaktionen $p + \text{Cu}$ und $p + \text{Au}$ bei 1.0, 1.2 und 2.0 GeV Strahlenergie untersucht. Obwohl die Datenanalyse noch nicht abgeschlossen ist, wurde festgestellt, dass die Kaonenspektren in den Reaktionen $p + \text{C}$ und $p + \text{Cu}$ fast die gleiche Form haben, aber deutlich von dem Spektrum in der Reaktion $p + \text{Au}$ abweichen.

Die ersten von ANKE gemessenen relativen Wirkungsquerschnitte der Reaktion $pC \rightarrow XK^+$ bei Strahlenergien zwischen 1.0 und 2.2 GeV stimmen gut mit den oben erwähnten ROC-Modell Rechnungen überein.

Zudem beteiligen wir uns an der Analyse der DISTO-Daten der Reaktion $pp \rightarrow pp\omega$

bei Strahlenergien von 2.147 und 2.5 GeV, die als elementarer Kanal für HADES-Experimente von großer Bedeutung ist, da bei diesen Energien keine experimentelle Information über den Wirkungsquerschnitt vorliegt.

2.2.2 Zusammenhang der Einzelresultate

Der Zusammenhang dieser Resultate soll mit folgenden Bemerkungen verdeutlicht werden. Die experimentellen Resultate der KaoS- und FOPI-Kollaborationen bezüglich der $K^\pm$ -Erzeugung in Schwerionenstößen sind durch verschiedene Theoriegruppen als Hinweise auf deutliche in-Medium-Effekte, insbesondere für die Antikaonen und deren effektiven Massenabsenkung in dichter Materie, interpretiert worden. Dabei zeigt sich bei der Interpretation, dass die Datenbasis für einzelne Elementarreaktionen an einigen Stellen unzureichend ist. Daraus entsteht das Interesse, in Hadronenreaktionen weitere Informationen zu sammeln. Das betrifft insbesondere die TOF- und DISTO-Experimente. Zudem fehlt als Bindeglied zwischen den Schwerionen- und den Hadronen-Elementarreaktionen ein systematisches Studium der pA-Reaktionen. Letzteres Defizit wird mit den KaoS-Messungen (Kaonendetektion im Transveralebereich) und laufenden ANKE-Messungen (Kaonendetektion in Vorwärtsrichtung, Koinzidenzmessungen von Kaonen mit leichten Fragmenten) behoben. Mit den HADES-Messungen kann man dann direkt die Masse und Spektralverteilung der in den e^-e^+ -Kanal zerfallenden leichten Vektormesonen messen und damit deren in-Medium-Verhalten studieren. Zudem hat HADES das Potential, als Hadronendetektor benutzbar zu sein und sowohl mit dem zur Verfügung stehenden Schwerionen- und Protonenstrahl als auch mit dem Pionenstrahl spezifische Hadronenreaktionen zu messen.

Bezüglich der mit dem COSY-TOF gemessenen Reaktion $pp \rightarrow pp\gamma$ ist zu erwähnen, dass die Theoriegruppe daran die Hoffnung knüpfte, in einer elementaren Hadronenreaktion den elektromagnetischen Kanal im 1 GeV-Bereich studieren zu können und damit Vorarbeiten für die zukünftige Interpretation von HADES-Daten zu leisten. Wegen des Untergrundes sind ohne Photonendetektor die Messungen mit TOF jedoch auf den Pionen-Subschwellenbereich beschränkt.

2.2.3 Weitere Resultate

Die genannten Kollaborationen betreiben große Detektorsysteme, mit denen viel weitergespannte physikalische Fragestellungen bearbeitet werden. In 2.2.1 sind ausschließlich diejenigen Resultate angeführt, die in unmittelbarem Zusammenhang mit unserem physikalischem Programm stehen. Auf die Gesamtergebnisse der einzelnen Kollaborationen wird hier deshalb nicht im Detail eingegangen, aber ein gedrängter Abriss gegeben.

KaoS-Kollaboration: Neben der dedizierten Messung von $K^\pm$ -Spektren um midrapidity bei gleichzeitiger Bestimmung der Reaktionsebene und der Auswahl einer Zentralitätsklassifizierung in Schwerionenreaktionen bietet sich das KaoS-Spektrometer für analoge Messungen der $p, \bar{p}, \pi^\pm$ -Spektren an. Auch astrophysikalisch relevante Reaktionen sind untersucht worden.

FOPI-Kollaboration: Die Rossendorfer FOPI-Gruppe hat die Untersuchungen zur Raum-Zeit-Ausdehnung der Quelle, die in zentralen Schwerionenstößen gebildet wird,

abgeschlossen. Mittels der Analyse von Kleinwinkelkorrelationen von Protonenpaaren, die in zentralen Stößen von Ni + Ni bei Strahlenergien von 1.93 A·GeV entstehen, wurde die Quellgröße bestimmt sowie der Einfluss der kollektiven Expansion von Kernmaterie auf die scheinbare Quellausdehnung untersucht. Die Ergebnisse wurden publiziert.

Mit einer neuen Methode wurde in zentralen Stößen in den unten genannten Reaktionen bei einer Strahlenergie von 400 A·MeV die räumliche bzw. zeitliche Abfolge der Emission von leichten geladenen Teilchen (p, d, t, ^3He , α) aus der Vorwärts-Rückwärts-Anisotropie von Kleinwinkelkorrelationen nichtidentischer Teilchen abgeleitet. Die entsprechenden Ergebnisse wurden zusammen mit einem in der Rossendorfer Theoriegruppe entwickelten Modell veröffentlicht.

Weitere Untersuchungen der FOPI-Kollaboration dienen der experimentellen Grundlagenuntersuchungen von Schwerionenreaktionen am SIS der GSI. Dazu gehören radialer und gerichteter Fluss, Phasenraumverteilung, Stopping und Pionenerzeugung. Umfangreiche Untersuchungen wurden und werden von der Kollaboration zu den kollektiven Flusseigenschaften der Kernmaterie durchgeführt, die sich bereits in einer Reihe von wissenschaftlichen Veröffentlichungen niedergeschlagen haben. Eines der wichtigsten Resultate der vergangenen Jahre ist, dass bei zentralen Schwerionenreaktionen etwa die Hälfte der verfügbaren kinetischen Energie in Form des ungerichteten kollektiven radialen Flusses vorliegt.

Weitere Arbeiten zum Abstopp-Verhalten von Kernmaterie sowie zu kollektiven Flusseigenschaften von leichten geladenen Teilchen und Fragmenten intermediärer Masse wurden publiziert. Jüngste systematische Untersuchungen zum elliptischen Fluss in semi-zentralen Schwerionenkollisionen erlauben die Bestimmung derjenigen Strahlenergie, bei der ein Übergang der bevorzugten Emissionsrichtung der Reaktionsprodukte von *in-plane* zu *out-of-plane* beobachtet wird. Die Ergebnisse wurden zur Veröffentlichung eingereicht.

Im Jahr 1997 wurden mit dem FOPI-Detektorsystem Messungen der Reaktionen $^{96}_{44}\text{Ru} + ^{96}_{44}\text{Ru}$, $^{96}_{44}\text{Ru} + ^{96}_{40}\text{Zr}$, $^{96}_{40}\text{Zr} + ^{96}_{44}\text{Ru}$ und $^{96}_{40}\text{Zr} + ^{96}_{40}\text{Zr}$ bei 0.4 und 1.53 A·GeV durchgeführt. Sowohl die Multiplizität geladener Teilchen als auch das Verhältnis von ^3He - zu ^3H -Fragmenten als Maß für den lokalen Isospin-Freiheitsgrad wurden in Abhängigkeit von der Zentralität des Stoßes und von der Rapidität untersucht. Erste Ergebnisse bei 0.4 A·GeV zeigen unzweifelhaft, dass selbst bei den zentralsten experimentell zugänglichen Stößen eine vollständige Durchmischung des lokalen Isospin-Freiheitsgrades und damit eine chemische Äquilibrierung nicht beobachtet wird, sondern dass die Kernmaterie ein partiell transparentes Verhalten zeigt. Die Ergebnisse wurden publiziert.

Die Arbeiten zur Produktion geladener Pionen in Stößen von Au + Au bei 1 A·GeV und von Ni + Ni bei 1 bis 2 A·GeV wurden abgeschlossen. Die anisotropen Polarwinkelverteilungen sowie die Form der Rapiditätsverteilungen lassen vermuten, dass Pionen teilweise an der Spektatorenmaterie gestreut bzw. von ihr absorbiert werden. Die Ergebnisse wurden publiziert. Die Pionenspektren des Ni+Ni-Systems wurden im Rahmen eines thermischen Modells, das den Zerfall der $\Delta(1232)$ -Resonanz einschließt, untersucht. Zwischen 10% und 18% der Nukleonen sind bei Strahlenergien von 1 bis 2 A·GeV

zu Δ -Zuständen angeregt. Die Ergebnisse wurden veröffentlicht.

Weitere Untersuchungen baryonischer Resonanzen in zentralen Schwerionenreaktionen (Au+Au, Ni+Ni) ergaben, dass das Maximum der Δ -Massenverteilung im Vergleich zum freien $\Delta(1232)$ um ca. 60 MeV zu kleineren Werten hin verschoben ist. Der Grund dafür kann wiederum eine Modifikation der Masse der Resonanz durch die hadronische Umgebung und/oder ein thermisches Gleichgewicht mit der hadronischen Umgebung bei relativ niedrigen Temperaturen sein. Die Ergebnisse wurden veröffentlicht.

COSY-TOF-Kollaboration: Mit dem Flugzeitspektrometer TOF wird die schwel-lennahe Pionenproduktion in den Reaktionen $pp \rightarrow NN\pi, 2\pi$ untersucht. Im Förder-zeitraum durchgeführte Messungen betreffen das Studium der Reaktionen $pp \rightarrow pn\pi^+$, $pp \rightarrow pp\pi^0$ bei Strahlimpulsen von 0.795 und 0.805 GeV/c. Weitere Messreihen betref-fen die Reaktionen $pd \rightarrow {}^3He\eta$ bei 1.673 GeV/c, $pp \rightarrow pp\eta$ bei 2.025 und 2.10 GeV/c. Eine zuverlässige Datenbasis ist hier für das Testen von Vorhersagen, insbesondere der chiralen Störungstheorie, anzustreben.

3. Publikationen

Dissertationen

C. Plettner:

Strangenessproduktion um Midrapidität bei kleinen Transversalimpulsen in der Reaktion $^{96}\text{Ru}+^{96}\text{Ru}$ bei 1.69 A·GeV

TU Dresden, 1997

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften

1. **R. Kotte, J. Biegansky, J. Mösner, W. Neubert, C. Plettner, D. Wohlfarth**, J. P. Alard, V. Amouroux, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, G. Berek, D. Best, A. Buta, R. Čaplar, N. Cindro, J. P. Coffin, P. Crochet, R. Dona, P. Dupieux, M. Dželalija, M. Eskef, P. Fintz, Z. Fodor, L. Fraysse, A. Genoux-Lubain, G. Göbels, A. Gobbi, G. Guillaume, E. Häfele, N. Herrmann, K. D. Hildenbrand, S. Hölbling, B. Hong, F. Jundt, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, M. Korolija, C. Kuhn, A. Lebedev, I. Legrand, Y. Leifels, C. Maazouzi, V. Manko, H. Merlitz, S. Mohren, D. Pelte, M. Petrovici, C. Pinkenburg, P. Pras, F. Rami, W. Reisdorf, J. L. Ritman, C. Roy, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, U. Sodan, A. Somov, L. Tizniti, M. Trzaska, M. A. Vasiliev, P. Wagner, G. S. Wang, T. Wienold, Y. Yatsunenko, A. Zhilin (FOPI collaboration)
Proton-proton correlations in central collisions of Ni + Ni at 1.93 AGeV and the space-time extent of the emission source,
Z. Phys. **A 359** (1997) 47
2. D. Pelte, M. Eskef, G. Goebels, E. Häfele, N. Herrmann, M. Korolija, H. Merlitz, S. Mohren, M. Trzaska, J. P. Alard, V. Amouroux, A. Andronic, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, D. Best, **J. Biegansky**, A. Buta, R. Čaplar, N. Cindro, J. P. Coffin, P. Crochet, P. Dupieux, M. Dželalija, E. Erö, P. Fintz, Z. Fodor, A. Genoux-Lubain, A. Gobbi, G. Guillaume, K. D. Hildenbrand, B. Hong, F. Jundt, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, P. Koncz, Y. Korchagin, **R. Kotte**, C. Kuhn, D. Lambrecht, A. Lebedev, I. Legrand, Y. Leifels, V. Manko, **J. Mösner**, D. Moisa, **W. Neubert**, M. Petrovici, C. Pinkenburg, P. Pras, F. Rami, V. Ramillien, W. Reisdorf, J.L. Ritman, C. Roy, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, V. Smolyankin, U. Sodan, M. Vasiliev, P. Wagner, G.S. Wang, T. Wienold, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Charged pions from Ni + Ni collisions between 1 and 2 AGeV,
Z. Phys. **A 359** (1997) 55
3. B. Hong, N. Herrmann, J. L. Ritman, D. Best, A. Gobbi, K. D. Hildenbrand, M. Kirejczyk, Y. Leifels, C. Pinkenburg, W. Reisdorf, D. Schüll, U. Sodan, G. S. Wang, T. Wienold, J. P. Alard, V. Amouroux, N. Bastid, I. Belyaev, G. Berek, **J. Biegansky**, A. Buta, J. P. Coffin, P. Crochet, R. Donà, P. Dupieux, M. Eskef, P. Fintz, Z. Fodor, L. Fraysse, A. Genoux-Lubain, G. Goebels, G. Guillaume, E. Häfele,

- F. Jundt, J. Kecskemeti, M. Korolija, **R. Kotte**, C. Kuhn, A. Lebedev, I. Le-grand, C. Maazouzi, V. Manko, **J. Mösner**, S. Mohren, **W. Neubert**, D. Pelte, M. Petrovici, P. Pras, F. Rami, C. Roy, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, A. Somov, L. Tizniti, M. Trzaska, M. A. Vasiliev, P. Wagner, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Abundance of Δ resonances in $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$ collisions between 1 and 2 AGeV,
Phys. Lett. **B 407** (1997) 115
4. P. Crochet, F. Rami, R. Donà, J.P. Coffin, P. Fintz, G. Guillaume, F. Jundt, C. Kuhn, C. Roy, B. de Schauenburg, L. Tizniti, P. Wagner, J.P. Alard, A. Andronic, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, A. Bendarag, G. Berek, D. Best, **J. Biegansky**, A. Buta, R. Čapljar, N. Cindro, P. Dupieux, M. Dželalija, Z.G. Fan, Z. Fodor, L. Fraysse, R.P. Freifelder, A. Gobbi, N. Herrmann, K.D. Hildenbrand, B. Hong, S.C. Jeong, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, P. Koncz, M. Korolija, **R. Kotte**, A. Lebedev, Y. Leifels, V. Manko, D. Moisa, **J. Mösner**, **W. Neubert**, D. Pelte, M. Petrovici, C. Pinkenburg, W. Reisdorf, J.L. Ritman, A.G. Sadchikov, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, U. Sodan, K.M. Teh, M. Trzaska, G.S. Wang, J.P. Wessels, T. Wienold, K. Wisniewski, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin, C. Hartnack (FOPI Collaboration),
Azimuthal anisotropies as stringent test for nuclear transport models,
Nucl. Phys. **A 627** (1997) 522
5. D. Best, N. Herrmann, B. Hong, M. Kirejczyk, J. Ritman, K. Wisniewski, A. Zhilin, A. Gobbi, K. D. Hildenbrand, Y. Leifels, C. Pinkenburg, W. Reisdorf, D. Schüll, U. Sodan, G. S. Wang, T. Wienold, J. P. Alard, V. Amouroux, N. Bastid, I. Belyaev, G. Berek, **J. Biegansky**, R. Cherbatchev, J. P. Coffin, P. Crochet, P. Dupieux, Z. Fodor, A. Genoux-Lubain, G. Goebels, G. Guillaume, E. Häfele, F. Jundt, J. Kecskemeti, Y. Korchagin, **R. Kotte**, C. Kuhn, A. Lebedev, A. Lebedev, I. Le-grand, C. Maazouzi, V. Manko, **J. Mösner**, S. Mohren, D. Moisa, **W. Neubert**, D. Pelte, M. Petrovici, P. Pras, F. Rami, C. Roy, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, V. Smolyankin, A. Somov, L. Tizniti, M. Trzaska, M. A. Vasiliev, P. Wagner, **D. Wohlfarth**, I. Yushmanov (FOPI Collaboration),
 K^+ production in the reaction $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{N}$ at incidence energies from 1 AGeV to 2 AGeV ,
Nucl. Phys. **A 625** (1997) 307
6. P. Crochet, F. Rami, A. Gobbi, R. Donà, J.P. Coffin, P. Fintz, G. Guillaume, F. Jundt, C. Kuhn, C. Roy, B. de Schauenburg, L. Tizniti, P. Wagner, J.P. Alard, V. Amouroux, A. Andronic, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, D. Best, **J. Biegansky**, A. Buta, R. Čapljar, N. Cindro, P. Dupieux, M. Dželalija, Z.G. Fan, Z. Fodor, L. Fraysse, R.P. Freifelder, N. Herrmann, K.D. Hildenbrand, B. Hong, S.C. Jeong, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, P. Koncz, M. Korolija, **R. Kotte**, A. Lebedev, Y. Leifels, V. Manko, D. Moisa, **J. Mösner**, **W. Neubert**, D. Pelte, M. Petrovici, C. Pinkenburg, P. Pras, V. Ramillien, W. Reisdorf, J.L. Ritman, A.G. Sadchikov, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, U. Sodan, K.M. Teh, M. Trzaska, M. Vasiliev, G.S. Wang, J.P. Wessels, T. Wie-

- nold, K. Wisniewski, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Onset of nuclear matter expansion in Au + Au collisions,
Nucl. Phys. A **624** (1997) 755
7. N. Bastid, A. Buta, P. Crochet, P. Dupieux, M. Petrovici, F. Rami, J.P. Alard, V. Amouroux, Z. Basrak, I. Belyaev, D. Best, **J. Biegansky**, T. Blaich, R. Čaplar, C. Cerruti, N. Cindro, J.P. Coffin, R. Donà, M. Dželalija, E. Erö, Z.G. Fan, P. Fintz, Z. Fodor, L. Fraysse, R.P. Freifelder, A. Gobbi, G. Guillaume, N. Herrmann, K.D. Hildenbrand, S. Hölbling, B. Hong, S.C. Jeong, F. Jundt, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, P. Koncz, Y. Korchagin, **R. Kotte**, M. Krämer, C. Kuhn, A. Lebedev, I. Legrand, Y. Leifels, C. Maazouzi, V. Manko, G. Mgebrishvili, D. Moisa, **J. Mösner**, **W. Neubert**, D. Pelte, C. Pinkenburg, P. Pras, W. Reisdorf, J.L. Ritman, C. Roy, A.G. Sadchikov, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, V. Smolyankin, U. Sodan, K.M. Teh, L. Tizniti, M. Trzaska, M. Vasiliev, P. Wagner, G.S. Wang, J.P. Wessels, T. Wienold, K. Wisniewski, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Out-of-plane emission of nuclear matter in Au + Au collisions 100 and 800 AMeV,
Nucl. Phys. A **622** (1997) 573
8. W. Reisdorf, D. Best, A. Gobbi, N. Herrmann, K. D. Hildenbrand, B. Hong, S.C. Jeong, Y. Leifels, C. Pinkenburg, J.L. Ritman, D. Schüll, U. Sodan, K.M. Teh, G.S. Wang, J.P. Wessels, T. Wienold, J. P. Alard, V. Amouroux, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, L. Berger, **J. Biegansky**, M. Bini, S. Bousange, A. Buta, R. Čaplar, N. Cindro, J.P. Coffin, P. Crochet, R. Donà, P. Dupieux, M. Dželalija, J. Erö, M. Eskef, P. Fintz, Z. Fodor, L. Fraysse, A. Genoux-Lubain, G. Göbels, G. Guillaume, Y. Grigorian, E. Häfele, S. Hölbling, A. Houari, M. Ibnouzahir, M. Joriot, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, P. Koncz, Y. Korchagin, M. Korolija, **R. Kotte**, C. Kuhn, D. Lambrecht, A. Lebedev, A. Lebedev, I. Legrand, C. Maazouzi, V. Manko, T. Matulewicz, P.R. Maurenzig, H. Merlitz, G. Mgebrishvili, **J. Mösner**, S. Mohren, D. Moisa, G. Montarou, I. Montbel, P. Morel, **W. Neubert**, A. Olmi, G. Pasquali, D. Pelte, M. Petrovici, G. Poggi, P. Pras, F. Rami, V. Ramillien, C. Roy, A.G. Sadchikov, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, V. Smolyankin, N. Taccetti, R. Tezkraat, L. Tizniti, M. Trzaska, M. A. Vasiliev, P. Wagner, K. Wisniewski, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Central collisions of Au on Au at 150, 250 and 400 AMeV,
Nucl. Phys. A **612** (1997) 493
9. C. Roy, C. Kuhn, J. P. Coffin, P. Crochet, P. Fintz, G. Guillaume, F. Jundt, C. Maazouzi, F. Rami, L. Tizniti, P. Wagner, . P. Alard, V. Amouroux, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, D. Best, **J. Biegansky**, A. Buta, R. Čaplar, N. Cindro, R. Donà, P. Dupieux, M. Dželalija, Z.G. Fan, Z. Fodor, L. Fraysse, A. Gobbi, N. Herrmann, K. D. Hildenbrand, S. Hölbling, B. Hong, S.C. Jeong, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, P. Koncz, Y. Korchagin, **R. Kotte**, A. Lebedev, I. Legrand, Y. Leifels, V. Manko, G. Mgebrishvili, D. Moisa, **J. Mösner**, **W. Neubert**, D. Pelte, M. Petrovici, C. Pinkenburg, P. Pras, W. Reisdorf, J. L. Ritman, A.G. Sadchikov, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, V. Smolyankin, U. Sodan, M. Trzaska, M. Vasiliev,

- G.S. Wang, J.P. Wessels, T. Wienold, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin, J. Konopka, H. Stöcker (FOPI Collaboration),
Shape of collective flow in highly central Au (150 AMeV) + Au collisions,
Z. Phys. A **358** (1997) 73
10. D. Pelte, E. Häfele, D. Best, G. Goebels, N. Herrmann, C. Pinkenburg, W. Reisdorf, M. Trzaska, J. P. Alard, V. Amouroux, A. Andronic, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, **J. Biegansky**, A. Buta, R. Čaplar, N. Cindro, J. P. Coffin, P. Crochet, P. Dupieux, M. Dželalija, J. Erö, M. Eskef, P. Fintz, Z. Fodor, A. Genoux-Lubain, A. Gobbi, G. Guillaume, K. D. Hildenbrand, B. Hong, F. Jundt, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, P. Koncz, M. Korolija, Y. Korchagin, **R. Kotte**, C. Kuhn, D. Lambrecht, A. Lebedev, I. Legrand, Y. Leifels, V. Manko, H. Merlitz, **J. Mösner**, S. Mohren, D. Moisa, **W. Neubert**, M. Petrovici, P. Pras, F. Rami, V. Ramillien, J.L. Ritman, C. Roy, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, V. Smolyankin, U. Sodan, M. Vasiliev, P. Wagner, G.S. Wang, T. Wienold, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Charged pion production in Au + Au collisions at 1 AGeV,
Z. Phys. A **357** (1997) 215
  11. Ch. Müntz, P. Baltes, H. Oeschler, Ch. Sturm, **A. Wagner**, Ch. Bormann, D. Brill, Y. Shin, J. Stein, H. Ströbele, W. Ahner, R. Barth, M. Cieślak, **M. Dębowski**, **E. Grosse**, W. Henning, P. Koczoń, M. Mang, D. Miśkowiec, R. Schicker, P. Senger, B. Kohlmeyer, H. Poepl, F. Pühlhofer, J. Speer, K. Völkel, W. Waluś (KaoS Collaboration),
Pion production in mass-symmetric heavy ion collisions at 0.8 - 1.8 AGeV,
Z. Phys. A **357** (1997) 399
  12. R. Barth, P. Senger, W. Ahner, P. Beckerle, C. Bormann, D. Brill, M. Cieślak, **M. Dębowski**, **E. Grosse**, P. Koczoń, B. Kohlmeyer, D. Miśkowiec, C. Müntz, H. Oeschler, F. Pühlhofer, E. Schwab, R. Schicker, Y. Shin, J. Speer, H. Ströbele, C. Sturm, K. Völkel, **A. Wagner**, W. Waluś (KaoS Collaboration),
Subthreshold production of kaons and anti-kaons in nucleus-nucleus collisions at equivalent beam energies,
Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 4007
  13. D. Brill, P. Beckerle, C. Bormann, E. Schwab, Y. Shin, H. Strobele, P. Baltes, C. Müntz, H. Oeschler, C. Sturm, **A. Wagner**, R. Barth, M. Cieślak, **M. Dębowski**, **E. Grosse**, P. Koczon, M. Mang, D. Miskowiec, R. Schicker, P. Senger, B. Kohlmeyer, F. Pühlhofer, J. Speer, K. Völkel, W. Walus (KaoS Collaboration),
Studies of the out-of-plane emission of pions in symmetric heavy-ion collisions,
Z. Phys. A **357** (1997) 207
  14. W. Ahner, C. Bormann, R. Barth, P. Beckerle, D. Brill, M. Cieślak, **M. Dębowski**, **E. Grosse**, W. Henning, P. Koczon, B. Kohlmeyer, D. Miskowiec, C. Müntz, H. Oeschler, F. Pühlhofer, E. Schwab, R. Schicker, P. Senger, Y. Shin, J. Speer, R. Stock, H. Strobele, C. Sturm, K. Völkel, **A. Wagner**, W. Walus (KaoS

- Collaboration),
 Pion and kaon emission from the fireball in Ne + NaF collisions at 1 - 2 GeV/nucleon,
 Phys. Lett. **B 393** (1997) 31
15. M. Eskef, D. Pelte, G. Goebels, E. Häfele, N. Herrmann, M. Korolija, Y. Leifels, H. Merlitz, S. Mohren, M.R. Stockmeier, M. Trzaska, J.P. Alard, A. Andronic, R. Averbeck, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, D. Best, A. Buta, R. Caplar, N. Cindro, J.P. Coffin, P. Crochet, P. Dupieux, M. Dzelalija, L. Fraysse, Z. Fodor, A. Genoux-Lubain, A. Gobbi, K.D. Hildenbrand, B. Hong, F. Jundt, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, **R. Kotte**, R. Kutsche, A. Lebedev, V. Manko, **J. Mösner**, D. Moisa, **W. Neubert**, M. Petrovici, C. Pinkenburg, **C. Plettner**, P. Pras, F. Rami, V. Ramillien, W. Reisdorf, J.L. Ritman, B. de Schauenburg, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczynska, V. Smolyankin, M.A. Vasiliev, P. Wagner, G.S. Wang, K. Wisniewski, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
 Identification of Baryon Resonances in Central Heavy-Ion Collisions at Energies between 1 and 2 AGeV,
 Eur. Phys. J. **A 3** (1998) 335
  16. B. Hong, N. Herrmann, J.L. Ritman, D. Best, A. Gobbi, K.D. Hildebrand, M. Kirejczyk, Y. Leifels, C. Pinkenburg, W. Reisdorf, D. Schüll, U. Sodan, G.S. Wang, T. Wienhold, J.P. Alard, V. Amouroux, N. Bastid, I. Belyev, G. Berek, **J. Biegansky**, A. Buta, J.P. Coffin, P. Crochet, B. de Schauenburg, R. Dona, P. Dupieux, M. Eskef, P. Fintz, Z. Fodor, L. Fraysse, A. Genoux-Lubain, G. Goebels, G. Guillaume, E. Häfele, F. Jundt, J. Kecskemeti, M. Korolija, **R. Kotte**, C. Kuhn, A. Lebedev, I. Legrand, C. Maazouzi, V. Manko, **J. Mösner**, S. Mohren, **W. Neubert**, D. Pelte, M. Petrovici, P. Pras, F. Rami, C. Roy, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, A. Somov, L. Tizniti, M. Trzaska, M.A. Vasiliev, P. Wagner, **D. Wohlfarth**, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
 Stopping and radial flow in central $^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$ collisions between 1 and 2 AGeV,
 Phys. Rev. **C 57** (1998) 244
  17. **P. Michel, K. Möller, B. Naumann, L. Naumann. A. Schamlott, G. Schmidt, A. Schülke** (COSY-TOF Collaboration),
 MARS: a start detector system for the COSY time-of-flight spectrometer TOF,
 Nucl. Instrum. Meth. **A 408** (1998) 453
  18. K.T. Brinkmann, R. Bilger, A. Böhm, H. Clement, H. Dennert, **S. Dshemuchadse**, H. Dutz, W. Eyrich, C. Fanara, D. Filges, A. Filippi, H. Freiesleben, M. Fritsch, R. Geyer, A. Hassan, J. Hauffe, P. Herrmann, D. Hesselbarth, B. Hübner, P. Jahn, K. Kilian, H. Koch, J. Kress, J. Krug, E. Kuhlmann, S. Marcello, S. Marwinski, A. Metzger, W. Meyer, **P. Michel, K. Möller**, H.P. Morsch, H. Nann, **B. Naumann, L. Naumann**, A. Raimondo, E. Roderburg, M. Rogge, **A. Schamlott**, P. Schönmeier, W. Schröder, M. Schulte-Wissermann, M. Steinke, F. Stinzinger, G.Y. Sun, J. Wächter, G.J. Wagner, M. Wagner, S. Wirth, U. Zielinski (COSY-TOF Collaboration),

- Three-particle final states measured at the pion threshold with the COSY-TOF spectrometer,
Acta Phys. Polon. **B 29** (1998) 2993
19. R. Bilger, A. Böhm, H. Brand, S. Brand, K.-Th. Brinkmann, H. Clement, P. Cloth, M. Dahmen, **S. Dshemuchadse**, W. Eyrich, D. Filges, H. Freiesleben, M. Fritsch, R. Geyer, A. Hassan, J. Hauffe, P. Herrmann, B. Hübner, P. Jahn, K. Kilian, H. Koch, J. Kress, J. Krug, E. Kuhlmann, J.S. Lange, A. Metzger, **P. Michel**, **K. Möller**, H.P. Morsch, Ch. Nake, H. Nann, **L. Naumann**, **B. Naumann**, P. Ringe, E. Roderburg, M. Rogge, **A. Schamlott**, P. Schönmeier, **Schülke**, **A.**, M. Steinke, F. Stinzing, P. Turek, G.J. Wagner, S. Wirth, U. Zielinski, (COSY-TOF Collaboration),
Proton-Proton bremsstrahlung at 797 MeV/c,
Phys. Lett. **B 429** (1998) 195
  20. R. Bilger, A. Böhm, A. Brand, S. Brand, H. Brand, K.-Th. Brinkmann, H. Clement, P. Cloth, M. Dahmen, M. Dellert, H. Dennert, **Dshemuchadse**, **S.**, W. Eyrich, D. Filges, H. Freiesleben, M. Fritsch, R. Geyer, A. Hassan, J. Hauffe, P. Herrmann, B. Hübner, P. Jahn, K. Kilian, M. Kirsch, H. Koch, J. Kress, J. Krug, E. Kuhlmann, J.S. Lange, A. Metzger, **P. Michel**, **K. Möller**, H.P. Morsch, M. Moosburger, Ch. Nake, H. Nann, **B. Naumann**, **L. Naumann**, P. Ringe, E. Roderburg, M. Rogge, **A. Schamlott**, P. Schönmeier, **A. Schülke**, R. Sperl, M. Steinke, F. Stinzing, P. Turek, G.J. Wagner, S. Wirth, U. Zielinski, (COSY-TOF Collaboration),
Strangeness production in the reaction $pp \rightarrow pK^+\Lambda$ in the threshold region,
Phys. Lett. **B 420** (1998) 217
  21. A. Wagner, C. Müntz, H. Oeschler, C. Sturm, R. Barth, M. Cieslak, **M. Dębowski**, **E. Grosse**, P. Koczon, M. Mang, D. Miskowicz, R. Schicker, E. Schwab, P. Senger, P. Beckerle, D. Brill, Y. Shin, H. Ströbele, W. Walus, B. Kohlmeyer, F. Pühlhofer, J. Speer, K. Völkel (KaoS Collaboration),
Evidence for different freeze-out radii of high-energy and low-energy pions emitted in Au + Au collisions at 1 AGeV,
Phys. Lett. **B 420** (1998) 20
  22. Y. Shin, W. Ahner, R. Barth, P. Beckerle, D. Brill, M. Cieślak, **M. Dębowski**, **E. Grosse**, P. Koczoń, B. Kohlmeyer, M. Mang, D. Miśkowiec, C. Müntz, H. Oeschler, F. Pühlhofer, E. Schwab, R. Schicker, P. Senger, J. Speer, H. Ströbele, C. Sturm, K. Völkel, **A. Wagner**, W. Walus (KaoS Collaboration),
Enhanced out-of-plane emission of K^+ mesons observed in Au + Au collisions at 1 AGeV,
Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 1576
  23. F. Balestra, Y. Bedfer, R. Bertini, L.C. Bland, A. Brenschede, F. Brochard, M.P. Bussa, V. Chalyshev, Seonho Choi, **M. Dębowski**, M. Dziedzic, J.-Cl. Favier, I.V. Falomkin, L. Fava, L. Ferrero, J. Foryciarz, V. Frolov, R. Garfagnini, D. Gill, A. Grasso, **E. Grosse**, S. Heinz, V.V. Ivanov, W.W. Jacobs, W. Kühn,

- A. Maggiora, M. Maggiora, A. Manara, D. Panzieri, H.-W. Pfaff, G. Piragino, G.B. Pontecorvo, A. Popov, J. Ritman, P. Salabura, P. Senger, J. Stroth, F. Tosello, S.E. Vigdor, G. Zosi (DISTO Collaboration),
Production of phi and omega mesons in near-threshold pp reactions,
Phys. Rev. Lett. **81** (1998) 4572
24. **F. Dohrmann**, K. Bethge, W. Enghardt, O. Fateev, C. Garabatos, **E. Grosse**, C. Müntz, W. Karig, W. Koenig, L. Smykov, **M. Sobiella**, A. Steigerwald, H. Stelzer, J. Stroth, J. Wüstenfeld, Y. Zanevsky, A. Zentek (HADES Collaboration),
A low-mass drift chamber system for the HADES spectrometer,
Acta Phys. Polon. **B 29** (1998) 3189
25. F. Rami, P. Crochet, R. Dona, B. de Schauenburg, P. Wagner, J.P. Alard, A. Andronic, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, A. Bendarag, G. Berek, D. Best, R. Caplar, A. Devismes, P. Dupieux, M. Dzelalija, M. Eskef, Z. Fodor, A. Gobbi, Y. Grishkin, N. Herrmann, K.D. Hildenbrand, B. Hong, J. Kecskemeti, M. Kirejczyk, M. Korolija, **R. Kotte**, A. Lebedev, Y. Leifels, H. Merlitz, S. Mohren, D. Moisa, **W. Neubert**, D. Pelte, M. Petrovici, C. Pinkenburg, **C. Plettner**, W. Reisdorf, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, V. Simion, K. Siwek-Wilczynska, G. Stoicea, M. Stockmeier, M. Vasiliev, K. Wisniewski, **D. Wohlfarth**, I. Yushmanov, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Flow angle from intermediate mass fragment measurements,
Nucl. Phys. A **646** (1999) 367
26. **R. Kotte**, **H.W. Barz**, **W. Neubert**, **C. Plettner**, **D. Wohlfarth**, J. P. Alard, A. Andronic, R. Averbeck, Z. Basrak, N. Bastid, N. Bendarag, G. Berek, R. Čaplar, N. Cindro, P. Crochet, A. Devismes, P. Dupieux, M. Dželalija, M. Eskef, Z. Fodor, A. Gobbi, Y. Grishkin, N. Herrmann, K. D. Hildenbrand, B. Hong, J. Kecskemeti, Y.J. Kim, M. Kirejczyk, M. Korolija, M. Kowalczyk, T. Kress, R. Kutsche, A. Lebedev, K.S. Lee, Y. Leifels, V. Manko, H. Merlitz, D. Moisa, A. Nianine, D. Pelte, M. Petrovici, F. Rami, W. Reisdorf, B. de Schauenburg, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, K.S. Sim, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, A. Somov, G. Stoicea, M. A. Vasiliev, P. Wagner, K. Wiśniewski, J.T. Yang, Y. Yushmanov, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
On the space-time difference of proton and composite particle emission in central heavy-ion reactions at 400 AMeV,
Eur. Phys. J. A **6** (1999) 185
27. P. Senger et al. (KaoS Collaboration),
Strange mesons as probe for dense nuclear matter,
Prog. Part. Nucl. Phys. **42** (1999) 209c
28. F. Balestra, Y. Bedfer, R. Bertini, L.C. Bland, A. Brenschede, F. Brochard, M.P. Bussa, V. Chalyshev, Seonho Choi, **M. Dębowski**, M. Dziedzic, J.-Cl. Favier, I.V. Falomkin, L. Fava, L. Ferrero, J. Foryciarz, V. Frolov, R. Garfagnini, D. Gill, A. Grasso, S. Heinz, V.V. Ivanov, W.W. Jacobs, W. Kühn A. Maggiora,

- M. Maggiora, A. Manara, D. Panzieri, H.-W. Pfaff, G. Piragino, G. B. Pontecorvo, A. Popov, J. Ritman, P. Salabura, F. Tosello, S.E. Vigdor, G. Zosi (DISTO Collaboration),
Spin Transfer in Exclusive Λ Production from pp Collisions at 3.67 GeV/c,
Phys. Rev. Lett. **83** (1999) 1534
29. Iwasa, N., F. Boué, G. Surówka, K. Sümmer, T. Baumann, B. Blank, S. Czajkowski, A. Förster, M. Gai, H. Geissel, **E. Grosse**, M. Hellström, P. Koczon, B. Kohlmeyer, R. Kulesa, F. Laue, C. Marchand, T. Motobayshi, H. Oeschler, A. Ozawa, M.S. Pravikoff, E. Schwab, W. Schwab, P. Senger, J. Speer, C. Sturm, A. Surowiec, T. Teranishi, F. Uhlig, **A. Wagner**, W. Walus, C.A. Bertulani (KaoS Collaboration),
A Measurement of the Coulomb Dissociation of ^8B at 254 MeV/nucleon and the ^8B Solar Neutrino Flux,
Phys. Rev. Lett. **83** (1999) 2910
30. F. Laue, I. Böttcher, **M. Dębowski**, **E. Grosse**, P. Koczon, B. Kohlmeyer, M. Mang, **L. Naumann**, H. Oeschler, F. Pühlhofer, E. Schwab, P. Senger, Y. Shin, J. Speer, H. Ströbele, C. Sturm, G. Surowka, F. Uhlig, **A. Wagner**, W. Walus (KaoS Collaboration),
The Production of Charged Pions, Kaons and Antikaons in Relativistic C+C and C+Au Collisions,
Nucl. Phys. **A** (1999), in print
31. F. Laue, C. Sturm, I. Böttcher, **M. Dębowski**, A. Förster, **E. Grosse**, P. Koczoń, B. Kohlmeyer, M. Mang, **L. Naumann**, H. Oeschler, F. Pühlhofer, E. Schwab, P. Senger, Y. Shin, J. Speer, H. Ströbele, G. Surowka, F. Uhlig, **A. Wagner**, W. Walus (KaoS Collaboration),
Medium effects in kaon and anti-kaon production in nuclear collisions at subthreshold beam energies,
Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 1640
32. F. Balestra, Y. Bedfer, R. Bertini, L.C. Bland, A. Brenschede, F. Brochard, M.P. Bussa, V. Chalyshev, S. Choi, **M. Dębowski**, M. Dziedzic, J.C. Faivre, I.V. Falomkin, L. Fava, L. Ferrero, J. Foryciarz, V. Frolov, R. Garfagnini, D. Gill, A. Grasso, **E. Grosse**, S. Heinz, W.W. Jacobs, W. Kuhn, A. Maggiora, M. Maggiora, A. Manara, D. Panzieri, H.W. Pfaff, G. Piragino, G.B. Pontecorvo, A. Popov, J. Ritman, P. Salabura, P. Senger, J. Stroth, F. Tosello, S.E. Vigdor, B. Zalikhonov, G. Zosi (DISTO Collaboration),
DISTO: a large acceptance multiparticle spectrometer for 1 - 3 GeV proton beams
Nucl. Instrum. Meth. **A 426** (1999) 385
33. F. Dohrmann (for the KaoS Collaboration),
Medium Effects in K^+ and K^- Production in Nuclear Collisions at Subthreshold Beam Energies
Nucl. Phys. **A 663 & 664** (1999) 521

34. F. Rami, Y. Leifels, B. de Schauenburg, A. Gobbi, B. Hong, J.P. Alard, A. Andronic, R. Averbeck, V. Barret, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, N. Bendarag, G. Berek, R. Čaplar, N. Cindro, P. Crochet, A. Devismes, P. Dupieux, M. Dželalija, M. Eskef, C. Finck, Z. Fodor, H. Folger, L. Fraysse, A. Genoux-Lubain, Y. Grigorian, N. Herrmann, K. D. Hildenbrand, J. Kecskemeti, Y.J. Kim, P. Koczon, M. Kirejczyk, M. Korolija, **R. Kotte**, M. Kowalczyk, T. Kress, R. Kutsche, A. Lebedev, K.S. Lee, V. Manko, H. Merlitz, S. Mohren, D. Moisa, **J. Mösner**, **W. Neubert**, A. Nianine, D. Pelte, M. Petrovici, C. Pinkenburg, **C. Plettner**, W. Reisdorf, J. Ritman, D. Schüll, Z. Seres, B. Sikora, K.S. Sim, V. Simion, K. Siwek-Wilczyńska, A. Somov, M. Stockmeier, G. Stoicea, M. A. Vasiliev, P. Wagner, K. Wiśniewski, **D. Wohlfarth**, J.T. Yang, I. Yushmanov, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Isospin-tracing: A probe of non-equilibrium in central heavy-ion collisions,
Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 1120
35. P. Crochet, N. Herrmann, K. Wisniewski, Y. Leifels, A. Andronic, R. Averbeck, A. Devismes, C. Finck, A. Gobbi, Hartmann, K.D. Hildenbrand, P. Koczon, T. Kress, R. Kutsche, W. Reisdorf, D. Schüll, J.P. Alard, V. Barret, Z. Basrak, N. Bastid, I. Belyaev, A. Bendarag, G. Berek, R. Caplar, N. Cindro, P. Dupieux, M. Dzelalija, M. Eskef, Z. Fodor, Y. Grishkin, B. Hong, J. Kecskemeti, Y. Kim, Y. M. Kirejczyk, M. Korolija, **R. Kotte**, M. Kowalczyk, A. Lebedev, K.S. Lee, V.Manko, H. Merlitz, S. Mohren, D. Moisa, **W. Neubert**, A. Nianine, D. Pelte, M. Petrovici, **C. Plettner**, F. Rami, B. de Schauenburg, Z. Seres, B. Sikora, K.S. Sim, V. Simion, K. Siwek-Wilczynska, V. Smolyankin, A. Somov, M. Stockmeier, G. Stoicea, M. Vasiliev, P. Wagner, D. Wohlfarth, J.T. Yang, I. Yushmanov, A. Zhilin (FOPI Collaboration),
Sideward Flow of K^+ mesons in Ru + Ru and Ni + Ni Reactions near threshold,
Phys. Lett. **B 486** (2000) 6
36. A. Böhm, K.-Th. Brinkmann, **S. Dshemuchadse**, H. Freiesleben, P. Herrmann, B. Jakob, H. Koch, J. Krug, E. Kuhlmann, J.S. Lange, **P. Michel**, **K. Möller**, **A. Schamlott**, P. Schönmeier, **A. Schülke**, M. Steinke, G.Y. Sun, M. Würschig-Pörsel, U. Zielinski, (COSY-TOF Collaboration),
The COSY-TOF Barrel Detector
Nucl. Instrum. Meth. **A 443** (2000) 238