

Abschlussbericht  
des Koordinators des Schwerpunkts SPP 322 1034  
”Untersuchungen der hadronischen Struktur von Nukleonen  
und Kernen mit elektromagnetischen Sonden”  
Prof. Dr. Berthold Schoch

## 1 Allgemeine Angaben

- DFG-Geschäftszeichen: SCHO 226/1-3
- Antragsteller: Prof. Dr. Berthold Schoch
- Physikalisches Institut, Universität Bonn
- Projekt des Koordinators des SPP 322 1034
- Berichtszeitraum: 1.4.1997-31.3.2003
- Publikationsliste: 5.1.-5.2.

## 2 Arbeits- und Ergebnisbericht

- **Ausgangsfragen und Zielsetzung des Projekts**

Studien der Struktur von Neutron und Proton, frei oder gebunden in Kernen, standen im Mittelpunkt des Schwerpunktprogramms. Schlüsselfragen sind und waren dabei: *Welches sind die relevanten Freiheitsgrade zur Beschreibung der Nukleonenstruktur, welche Rolle spielen Gluonen und der Quark-Antiquarksee, was ist die empirisch gut etablierte Kernkraft?*

Diese Fragestellungen zur Nukleonenstruktur können durch eine detaillierte Vermessung des vollständigen Anregungsspektrums der Nukleonen erfolgversprechend bearbeitet werden. Messgrößen sind dabei: *die Lage und Breite der Resonanzen, die Quantenzahlen und die Zerfallsverzweigungsverhältnisse, die elektromagnetische Ankopplung und nicht zuletzt die Anzahl der identifizierten Resonanzen.*

Neue Entwicklungen von polarisierten Elektron- und Gammastrahlen sowie polarisierte Targets für Neutronen und Protonen ermöglichten den Start in eine neue Ära von Experimenten. Mit neuartigen Detektorsystemen konnten neue Experimentklassen erschlossen werden, die die Untersuchung sehr spezifischer Fragestellungen erlaubten. Zwei Experimentaufbauten an dem 3.5 GeV-Elektronenbeschleuniger ELSA, Bonn, bildeten zusammen mit Apparaturen an MAMI, Mainz, auf experimenteller Seite das Rückgrat der experimentellen Arbeiten. Die Schwerpunktförderung ermöglichte eine optimale Nutzung dieser Experimentieranordnungen. Innerhalb eines weltweit betriebenen Forschungsprogramms zum Studium der Nukleonenstruktur wurden mit dem Aufbau des Crystal-Barrel-Detektors an ELSA und den Experimentieraufbauten zur Messung der Gerasimov-Drell-Hearn (GDH)-Summenregel an ELSA und MAMI zwei einzigartige Experimentiermöglichkeiten geschaffen. Experimente mit dem Crystal Barrel hatten mit der Messung von Vielteilchenphotonenzuständen das Auffinden bisher noch nicht gefundener Resonanzen zum Ziel. Letzte Experimente an den Experimentieraufbauten SAPHIR, ELSA, und ELAN, an ELSA, erweiterten den experimentell zugänglichen Themenkreis und lieferten nach der Beendigung der jeweiligen Messprogramme wichtige Komponenten zur Komplettierung des Crystal-Barrel-Aufbaus. Spezielle experimentelle Untersuchungen

an Atomkernen, mit dem Ziel des Studiums von Mediummodifikationen und kurzreichweitigen Nukleon-Nukleonkorrelationen wurden an MAMI ausgeführt. In der Förderperiode, 1.4.01-31.3.03, wurde das Projekt "Paritätsverletzende Elektronenstreuung mit dem MAMI-A4-Detektor" gefördert, das als Ziel die Bestimmung elektroschwacher Formfaktoren am Proton hatte. Fragestellungen der angewandten Physik mussten bearbeitet werden, um polarisierte Elektronenstrahlen an ELSA mit hoher Polarisierung zu präparieren und polarisierte Protonen- und Deuterontargets für die Experimente an ELSA und MAMI zur Verfügung zu stellen.

Von Seiten der Theorie werden in den letzten Jahren Methoden entwickelt, die Struktur des Nukleons, über phänomenologische Ansätze hinaus, auf dem Fundament der QCD zu berechnen. Observable, wie Formfaktoren oder Übergangsformfaktoren werden im Rahmen von Modellen berechnet. Dabei wurde der im Schwerpunkt behandelte Themenkreis in Perspektive mit weiteren aktuellen teilchenphysikalischen Untersuchungen zur Struktur der Nukleonen bearbeitet. Die Berechnung von Wirkungsquerschnitten für die Mesonproduktion an Nukleonen und Kernen stand ebenso auf dem Programm wie die theoretische Beschreibung von Nukleon-Nukleon-Korrelationen in Kernen.

- **Entwicklung der Arbeiten**

## **Experiment**

Bei Beginn der Förderung waren die experimentellen Projekte in verschiedenen Phasen. Abgeschlossen wurden die Messprogramme an den Detektoraufbauten ELAN - Elektroproduktion von Pionen am Proton - und SAPHIR - Photoproduktion von geladenen Mesonenzuständen-. Ausgedehnte Analysearbeiten folgten den Messprogrammen. An dem Messplatz des ELAN-Experiments wurde das GDH-Experiment aufgebaut. An dem Messplatz des SAPHIR-Experiments wurde der CB-ELSA Aufbau platziert. Die ersten Experimente zur Bestimmung der GDH-Summenregel fanden bei niedrigen Energien an MAMI statt. Sowohl die Messungen mit dem GDH-Aufbau in Bonn als auch die Messungen mit dem CB-ELSA-Aufbau wurden in den letzten drei Jahren der Schwerpunktförderung durchgeführt. Das GDH-Experiment am Proton - ein Doppelpolarisationsexperiment - konnte erst nach erfolgreicher Implementation einer Quelle für polarisierte Elektronen an ELSA und einer Weiterentwicklung des polarisierten Targets gestartet werden. Zwei Messkampagnen wurden mit dem CB-ELSA-Aufbau durchgeführt. Der Detektor wurde dabei in zwei Geometrien für die Messungen betrieben. Die ersten Messungen wurden mit der gleichen, aber an den ELSA Messplatz angepassten Detektorgeometrie, wie bei den Messungen zuvor am LEAR, CERN, durchgeführt. In der zweiten Messperiode wurden die CsJ-Kristalle, die im Vorwärtswinkelbereich von bis zu  $30^\circ$  lagen, entfernt. Dieser Winkelbereich wurde mit dem TAPS-Detektor abgedeckt. Der geschilderte zeitliche Ablauf der Experimentdurchführung war ursprünglich nicht so geplant. Der Betrieb des SAPHIR-Detektors wurde vorzeitig beendet, weil eine der Spulen des Magneten einen Kurzschluss hatte, der nicht leicht zu beheben war. Die Experimente an MAMI, Comptonstreuung am Proton und Deuteron, Elektroproduktion an  $^3\text{He}$  und die Messungen zu Nukleon-Nukleonkorrelationen in Kernen wurden an den weitgehend vorhandenen Apparaturen durchgeführt. Die Messungen zur paritätsverletzenden Elektronenstreuung wurden mit einem nicht ganz ausgebauten Detektor begonnen. Die Fertigstellung des A4-Aufbaus wurde durch die Förderung gewährleistet

## **Theorie**

Die Arbeiten der Theoriegruppen konnten, wie geplant, durchgeführt werden. Durch die Schwerpunktförderung konnte insbesondere die Zusammenarbeit mit ausländischen Gruppen intensiviert werden.

## Schwerpunktkommunikation

Das Experimentierprogramm wurde an den Elektronenbeschleunigern ELSA und MAMI durchgeführt. Durch die Schwerpunktförderung wurde die Finanzierung der Reisen zu und die Aufenthalte an den Beschleunigerlabors für die auswärtigen Experimentiergruppen ermöglicht. In vier Schwerpunkttreffen und zwei Arbeitstreffen wurden die erzielten Ergebnisse vorgestellt und besprochen. In weiteren drei gemeinsamen Seminaren mit dem Sonderforschungsbereich 201, "Mittelenergiephysik mit elektromagnetischer Wechselwirkung", Mainz, wurden die Arbeiten aus beiden Forschungsbereichen diskutiert. Dem Koordinator war von der Prüfungsgruppe aufgetragen worden, die Reisemittel den Gruppen zentral zuzuweisen, nachdem die Prüfungsgruppe für die einzelnen Antragsteller Vorschläge gemacht hatte. Der Grossteil der anfallenden Reisekosten wurde für die angesprochenen Messkampagnen an ELSA und MAMI benötigt. Die betroffenen Gruppen fanden sowohl in Bonn als auch in Mainz kostengünstige Wohnungen. Weitere Mittel wurden für Konferenzbesuche zur Verfügung gestellt, bei denen die Ergebnisse der Forschungen der wissenschaftlichen Öffentlichkeit vorgestellt wurden. Begrenzt, hauptsächlich konzentriert auf die Gruppen der Theorie, konnten auch Gäste für kürzere Zeiträume eingeladen werden. Die durch das Schwerpunktsprogramm ermöglichte intensivierte Diskussion zwischen Theoretikern und Experimentatoren trug wesentlich zum Gesamterfolg des Schwerpunktprogramms bei. Erwähnenswert ist dabei auch ein Resultat der gemeinsamen Veranstaltung der DFG-Schwerpunkte in Berlin im Jahre 2001. Aus der Diskussion mit Teilnehmern aus einem anderen Schwerpunkt angeregt, entwickelte eine durch den Schwerpunkt geförderte Gruppe ein polarisiertes Deuterontarget, das einen weltweit einzigartigen Polarisationsgrad von über 70 % erreicht, was eine Steigerung um einen Faktor zwei bedeutet. Ausgedrückt in einen für Messungen relevanten Qualitätsfaktor konnte damit die Effizienz der Messungen um einen Faktor vier gesteigert werden. Das Koordinatorprojekt für den Schwerpunkt 1034 ermöglichte durch die zentrale Bereitstellung von Reisemitteln eine effektive Nutzung der Beschleuniger ELSA, Bonn, und MAMI, Mainz. In neun mehrtägigen Treffen des Schwerpunkts wurden die erzielten Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Einer breiteren Öffentlichkeit wurden die Resultate durch Vorträge bei nationalen und internationalen Konferenzen bekannt gemacht. In einem begrenzten Umfang konnten auch kurze Gastbesuche unterstützt werden, die für eine erfolgreiche Bearbeitung der durch den Schwerpunkt geförderten Themen nützlich waren.

### Schwerpunkttreffen

Kolloquium des Schwerpunkts: 5. - 6.11.96, Bonn

Kolloquium des Schwerpunkts: 19. - 20.11.98, Bonn

Kolloquium des Schwerpunkts: 16.-18. 10. 2000, Physikzentrum Bad Honnef

Schwerpunkttreffen: 23.4.-24.4.98, Physikzentrum, Bad Honnef

Schwerpunkttreffen: 28.2.-1.3.2000, Physikzentrum, Bad Honnef

Schwerpunkttreffen: 13.-15. 9. 2001, Berlin

Schwerpunkttreffen: 14.-16. 4. 2003, Physikzentrum, Bad Honnef

Treffen der Theoretiker des Schwerpunkts: 10.4.-12.4.2000, Bad Honnef

Workshop "**Hadron Form Factors**": 17.-19.4. 2001, Bad Honnef

Gemeinsame Seminare des Schwerpunkts und des SFB 443,

"Vielkörpersstruktur stark wechselwirkender Systeme", Mainz:

"**Spezielle Fragen zur ersten und zweiten Nukleonresonanz**", 4.2.-5.2.99, Bad Honnef

"**Reaktionen mit Strangeness**", 17.5.-18.5.99, Physikzentrum, Bad Honnef

"**Mesonproduktion an der Erzeugungsschwelle**": Diskussion von ELSA, MAMI- und COSY-Resultate, 27.10.-28.10.99, Bad Honnef

- Darstellung der erreichten Ergebnisse

## STRUKTUR DES NUKLEONS

Je nach der Ortsauflösung  $\Delta r$ , mit der man das Nukleon untersucht, "sieht" man die Dominanz verschiedener Freiheitsgrade. Bei  $\Delta r < 0.1 fm$  werden die partonischen Freiheitsgrade der Quarks und Gluonen als Konstituenten sichtbar. Für  $\Delta r > 1 fm$  sind es hadronische Freiheitsgrade, wie Goldstone-Bosonen, mit denen die mehr statischen Eigenschaften des Nukleons beschrieben werden können. Beide Bereiche können im Rahmen der QCD und deren Symmetrien störungstheoretisch beschrieben werden. Im Bereich dazwischen gibt es die verschiedensten Modelle, einmal mehr basierend auf hadronischen Freiheitsgraden, wie z. B. chirale Quarkmodelle, oder basierend auf Quarks als Quasiteilchen. Dazu kommen vermehrt, ausgelöst durch Verbesserungen der Rechengeschwindigkeiten, Rechnungen auf dem Gitter, mit denen spezielle Fragestellungen der Nukleonstruktur gut behandelt werden können. Dieser Zwischenbereich, aber auch der Übergangsbereich zu den hadronischen Freiheitsgraden hin, wurde von experimenteller und theoretischer Seite untersucht. Dabei konnten große Fortschritte erzielt werden. Verbunden sind alle Bereiche miteinander über Summenregeln und Dispersionsrelationen. Statische Größen sind berechenbar aus der Kenntnis des Anregungsspektrums des Nukleons, aber auch mit der chiralen Störungstheorie. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die bearbeiteten Fragestellungen:

Messungen <b>SAPHIR-ELSA</b>	Fragestellung	Besonders bemerkenswert
$\gamma + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + p$	Photoabsorptionsprozess	Präzision
$\gamma + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0 + p$	im Energiebereich	
$\gamma + p \rightarrow K^+ + K^- + p$	$0.8 \leq E_\gamma \leq 2.5 GeV$	
$\gamma + p \rightarrow \rho + p$	Trennung von diffraktiven	Saubere Abtrennung des $\rho$ -Anteils
$\gamma + p \rightarrow \omega + p$	und Resonanzanteilen	$\omega$ -Resonanz in Schwellennähe!
$\gamma + p \rightarrow \Phi + p$		
$\gamma + p \rightarrow K^+ + \Lambda, \Sigma$ $\rightarrow \pi^- + p$	Suche nach "fehlenden"	<b>Resonanz</b> identifiziert!?
$\gamma + p \rightarrow K^0 + \Sigma^+$	Resonanzen	
$\gamma + p \rightarrow \bar{K}^0 + \Theta^+$ $\rightarrow K^+ + n$	<b>Pentaquark</b> $\Theta^+(1540)$	<b>Erste Signatur am Proton</b>

Das spektakulärste Ergebnis ist sicherlich die Evidenz einer Signatur für ein Pentaquark. Sollte sich diese Signatur, die inzwischen an neun Experimenten gesehen wurde, Bestand haben, treten die Untersuchungen bezüglich der Nukleonstruktur in ein neues Stadium: Bisher sicher als Nukleonresonanz identifizierte Zustände finden eine andere Interpretation; Mischungen von Drei- und Fünfquarkzuständen werden auftreten.

Messungen <b>GDH-ELSA-MAMI</b>	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
$\vec{\gamma} + \vec{p} \rightarrow X$ $\vec{\gamma} + \vec{d} \rightarrow X$	Gültigkeit der GDH-Summenregel	<b>Dominanz der Resonanzbeiträge</b>
	Stärkeverteilung der Beiträge zum a.m.M. $\kappa$	

Zusammen mit berechneten Beiträgen - angepasst an Messungen - aus den nicht gemessenen Energiebereichen,  $E_\gamma \leq 0.2 GeV$  und  $E_\gamma \geq 3 GeV$ , ist die GDH-Summenregel am Proton innerhalb der Fehler von 5 % erfüllt. Die Stärkeverteilung der nukleonischen Anregungen, die das anomale magnetische Moment (a. m. M.) des Protons festlegt, wird durch Resonanzbeiträge bestimmt.

Messungen <b>CB-ELSA</b>	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
$\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$	Elektromagnetische Kopplung	Aufdeckung einer <b>Systematik</b> der
$\gamma + p \rightarrow p + \eta$	an die Resonanzen	nach $\eta + p$ zerfallenden Resonanzen
$\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$	Suche nach	Nachweis einer Reihe
$\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \eta$	Resonanzen	<b>sequentieller Zerfälle</b>
$\gamma + p \rightarrow K^0 + \Theta^+ \rightarrow K^0 + p$	Suche nach Pentaquark	

Das Messprogramm mit dem CB-ELSA-Aufbau wurde erfolgreich gestartet. Die ersten Ergebnisse sind schon sehr aussagekräftig und sind Anlass für theoretische Untersuchungen. Eine große Datenmenge, u.a. zur Untersuchung der Pentaquark-Problematik wird z.Zt. analysiert.

Messungen <b>ELAN-ELSA</b>	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
$e + p \rightarrow e' + p + \pi^0$	Test der Sphärizität der Ladungsverteilung von	$p$ und $\Delta^+$ nicht sphärisch
$e + p \rightarrow e' + n + \pi^+$	Proton und $\Delta^+$	Modelle: $\pi$ -Wolke verantwortlich

Durch die Bestimmung "kleiner" elektrischer Quadrupolamplituden werden Größen bestimmt, die auf die Sphärizität der Ladungsverteilungen vom Proton und dem Delta(1232) empfindlich sind. Mit Hilfe von Modellrechnungen können Aussagen über die Sphärizität gemacht werden. Die Eingangsgrößen der Modellrechnungen können in Bereichen ausserhalb der Resonanzposition angepasst werden, um die relevanten Aussagen bei der Resonanzenergie machen zu können. Nach einer solchen Prozedur wird eine relativ große Abweichung von der Sphärizität gefunden, die hauptsächlich auf die Pionwolke zurückgeführt werden kann.

Messungen <b>MAMI</b>	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
$\gamma + p \rightarrow \gamma + p$	Polarisierbarkeit des Protons	Das Proton ist paramagnetisch
$\gamma + d \rightarrow \gamma + p + n$	Polarisierbarkeit des Neutrons	Erste überzeugende Daten
$\gamma + p \rightarrow \gamma + p + \pi^0$	Magnetisches Moment des $\Delta^+$	Erste Daten
$\vec{e} + p \rightarrow e' + p$	$s\bar{s}$ -Komponente im Proton	Überraschend schwach

Der an MAMI gemessene Datensatz der Compton-Streuung am Proton für Energien  $50 \leq E_\gamma (MeV) \leq 800$  ist der umfassendste bzgl. der Winkelverteilung. Die elektrische und magnetische Polarisierbarkeit wurden mit den Daten und der Baldinschen Summenregel mit guter Genauigkeit bestimmt. Für das Neutron konnten relativ genaue Messungen für die Polarisierbarkeiten bestimmt werden. Erste Messungen des magnetischen Moments des  $\Delta^+$  konnten, modellabhängig, angegeben werden. Mit Messungen der paritätsverletzenden Elektronenstreuung wurden elektroschwache Formfaktoren extrahiert, die eine Sensitivität auf  $s\bar{s}$ -Beiträge haben.

<b>Theorie</b>	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
Effektive chirale Theorien	Polarisierbarkeiten Rolle des Diamagnetismus	Gute Übereinstimmung mit den Daten
	Berechnung von $\eta$ , $\eta'$ und K-Photoproduktion	Erfolgreiche Beschreibungen Frage: Genuine Resonanzen

In dem Zeitintervall der Schwerpunktförderung sind insbesondere bei den Entwicklungen chiraler effektiver Theorien große Fortschritte gemacht worden. Ausgehend von der chiralen Störungstheorie für Pionen gelang es nacheinander Reaktionen mit Nukleonen und, das ist ein großer Durchbruch für die Kernphysik, mit leichten Kernen zu beschreiben. Allgemeine Polarisierbarkeiten der Nukleonen wurden als neue Observable identifiziert, die "konventionellen" Polarisierbarkeiten  $\alpha, \beta$  und  $\gamma$  im Lichte neuer Ergebnisse von Messungen und Dispersionsanalysen neu berechnet. Die systematische Entwicklung der chiralen effektiven Theorie - die Kopplung der Pionen an Nukleonen als "schwere" Fermionen - hat wesentliche Einsichten in die Struktur und Dynamik von Nukleonen und Pionen hervorgebracht. Damit konnte auch die Photoproduktion von Kaonen und Eta-Mesonen im Resonanzgebiet erfolgreich beschrieben werden. Die erfolgreiche Beschreibung führt zu der Frage, welche Resonanzen können in diesem Mechanismus beschrieben werden und welche können nur mit Rückgriff auf Quarkfreiheitsgrade erklärt werden.

Theorie	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
Relativistisches Quarkmodell	Resonanzanregung von Mesonen und Nukleonen	Mit relativ wenig Parametern sehr gute Beschreibung
Chirales Solitonmodell	Übergangsformfaktoren Neue Form von Strukturen?	<b>Vorhersage des Pentaquarks <math>\Theta^+(1540)</math></b>
Gitter-Rechnungen	Berechnung des Massenverhältnisses $\frac{M_{N(1535)}}{M_{Nukleon}}$	Übereinstimmung mit dem Experiment

Im Rahmen eines relativistischen Quarkmodells wurden die Anregungsspektren von Mesonen und Baryonen über einen weiten Anregungsbereich in konsistenter Weise berechnet. Die erfolgreiche Beschreibung einer Vielzahl von Observablen schafft Vertrauen, dass die Grundannahmen des Modells - z. B. Austausch von Instantonen - gut gewählt sind. Vorhersagen für noch nicht gesehene Zustände weisen den Weg für Experimente. Auf ganz anderen Freiheitsgraden basiert das Solitonmodell. Das spektakulärste Resultat war sicher die Vorhersage der Masselage für das Pentaquark  $\Theta^+(1540)$ ; aber auch die Beschreibung der verschiedenen Formfaktoren des Nukleons spricht nach wie vor dafür, dieses Modell weiter zu entwickeln. QCD-Rechnungen auf dem Gitter spielen mit der Verfügbarkeit großer Rechenkapazitäten eine größer werdende Rolle. Wichtige Annahmen für Modellrechnungen können mit Gitterrechnungen überprüft werden.

## KERNE

Messungen <b>MAMI</b>	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
$\gamma + A \rightarrow p + n + A'$	Suche nach kurzreichweitigen Korrelationen von n-p	Signatur bei hohen Energien
$\gamma + A \rightarrow p + p + A'$		
$\gamma + A \rightarrow \pi^0 + \pi^0 + A'$	Modifikationen des $\pi^0\pi^0$ -Systems in Kernmaterie	Modifikation sichtbar
$\gamma + A \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + A''$	Referenzreaktion	Keine Modifikation

Mit den  $(\gamma, np)$  und  $(\gamma, pp)$ -Daten an leichten Kernen wurde ein vertieftes Verständnis dieser Reaktionen erreicht. Zwar wurden Signaturen von kurzreichweitigen Korrelationen bei hohen Energien sichtbar, doch eine eindeutige Identifikation wird wohl erst mit elektroinduzierten Reaktionen möglich. Erste sogenannte Medienmodifikationen konnten für den  $(\gamma, \pi^0\pi^0)$ -Kanal nachgewiesen werden. Untermauert wurden diese Ergebnisse durch die erwartete Abwesenheit solcher Modifikationen im  $(\gamma, \pi^0\pi^+)$ -Kanal.

Messungen <b>CB-ELSA</b>	Fragestellung	Besonders bemerkenswert
$\gamma + A \rightarrow \omega + A'$	Modifikation von Zerfallsbreite und Masse	Verbreiterung der Zerfallsbreite

Vergleiche von Rechnungen - durchgeführt im Schwerpunktprogramm - mit den Messdaten zeigen eine deutliche Verbreiterung der Zerfallsbreite des  $\omega$ -Mesons. Dies ist ein weiterer Hinweis auf zu erwartende Modifikationen von Mesonen in Kernmaterie, die aber sehr spezifisch von Meson zu Meson verschieden sind.

<b>Theorie</b>	Fragestellungen	Besonders bemerkenswert
effektive Feldtheorie für Kerne	Beschreibung von Wenigteilchensystemen	<b>Durchbruch</b> zu einer quantitativen Beschreibung
Photoproduktion an Kernen	Änderungen von Hadroneneigenschaften in Kernen	<b>Inklusive</b> $\gamma$ -Reaktionen sind relevant

Durch die Entwicklung verbesserter chiraler Methoden gelang ein Durchbruch auf dem Weg zu einer quantitativen Beschreibung von Wignukleonsystemen und ihrer Wechselwirkung mit elektromagnetischen Sonden. Dieser Fortschritt erlaubt es nicht nur, bisher benutzte phänomenologische Methoden für Strukturrechnungen zu ersetzen, sondern eröffnet auch die Möglichkeit, Korrekturen präzise zu berechnen, die bei Nutzung von Wenigteilchensystemen als Neutronentarget aufgrund der nuklearen Umgebung entstehen. Durch sorgfältige Analysen elementarer Reaktionen am Nukleon und deren Implantation in Kernen, gelang es zu zeigen, dass photoinduzierte, inklusive Reaktionen sehr gut zur Untersuchung von Änderungen von Hadroneneigenschaften in Kernmaterie geeignet sind.

## APPARATIVE, TECHNISCHE ENTWICKLUNGEN

<b>Strahl/Target</b>	Aufgabenstellung	Besonders bemerkenswert
Elektronpolarisation	Präparation eines pol. e-Strahls an ELSA	Strahl: lange Lebensdauer
Targetpolarisation	Präparation eines pol. d-Targets	<b>d-Target: ca. Faktor 2 Verbesserung</b>

Mit einem neuen Einschussystem gelang es, einen Elektronenstrahl hoher Polarisation und langer Lebensdauer für Experimente an ELSA zu präparieren. Es konnte ein polarisiertes Deuteronentarget entwickelt werden, dessen Polarisationsgrad vergleichbar mit einem Protontarget ist. Dies ist eine spektakuläre Verbesserung für Polarisationsexperimente. Die erzielte Verbesserung des Polarisationsgrades um einen Faktor zwei führt zu einer Verbesserung der Messeffizienz um einen Faktor vier.

- **Wirtschaftliche Verwertbarkeit**

Eine wirtschaftliche Verwertbarkeit der erzielten Ergebnisse ist nicht absehbar.

- **Kollaborationspartner**

### Innerhalb des Schwerpunktprogramms: Die geförderten Gruppen mit ihren Projekten

#### Universität Bochum

*Berechnung elektromagnetischer und strange Formfaktoren und Übergangsfaktoren der Nukleonen und Hyperonen mit chiralen Solitonmodellen der QCD*

Prof. Dr. Klaus Göke, Bochum

*Untersuchungen der hadronischen Struktur von Nukleonen und Kernen mit elektromagnetischen Sonden mit dem CB-Detektor*

Prof. Dr. Helmut Koch

*Experimente mit polarisierten Festkörpertargets an ELSA und MAMI*

Prof. Dr. Werner Meyer

**Universität Bonn**, Helmholtz Institut für Strahlen- und Kernphysik

*Mesonenproduktion und Resonanzanregung von Nukleonen mit reellen Photonen am CB-Detektor*

Prof. Dr. Eberhard Klempt, Prof. Dr. Jürgen Ernst

*Theorie der Photoreaktionen am Nukleon*

Prof. Dr. Herbert Petry, Dr. Bernard Metsch, Dr. Walter Pfeil (Physikalisches Institut)

**Universität Bonn**, Physikalisches Institut

*Experimente mit polarisierten Festkörpertargets an ELSA und MAMI*

Dr. Hartmut Dutz

*Erzeugung und Beschleunigung polarisierter Elektronenstrahlen an ELSA*

Prof. Dr. Dirk Husmann, Prof. Dr. Berthold Schoch, Dr. Wolter v. Drachenfels, Dr. habil. Wolfgang Hillert

*Messung der Spinabhängigkeit des totalen hadronischen Wirkungsquerschnitts für die Absorption zirkular polarisierter Photonen*

Prof. Dr. Fritz Klein, Dr. Hartmut Dutz, Dr. Dietmar Menze, Professor Dr. Tilmann Reichelt

*Photoinduzierte Erzeugung und Anregung von Hadronen mit dem SAPHIR-Detektor*

Prof. Dr. Fritz Klein, Prof. Dr. Ewald Paul, Prof. Dr. Walter Schuille

*Photoinduzierte Erzeugung und Anregung von Hadronen*

Prof. Dr. Fritz Klein, Dr. Dietmar Menze, Dr. Michael Ostrick

*Mesonenproduktion und Resonanzanregung von Nukleonen mit reellen Photonen*

Dr. Ralf W. Gothe, Prof. Dr. Berthold Schoch

**Technische Universität Darmstadt**

*Suche nach präformierten Delta-Baryonen im He<sup>3</sup>-Grundzustand und Untersuchung von Modifikationen der Eigenschaften von Pion und Delta im nuklearen Medium*

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Achim Richter

**Technische Universität Dresden**

*Hadronische Struktur von Nukleonen mit dem CB-Detektor*

Prof. Dr. Hartwig Freiesleben

**Universität Erlangen**

*Photoproduktionsexperimente mit dem CB-Detektor an ELSA*

Prof. Dr. Gisela Anton, Dr. Jürgen Höbl

*Die Gerasimov-Drell-Hearn-Summenregel*

Prof. Dr. Gisela Anton, Dr. Klaus Helbing

**Universität Gießen**

*Photoproduktion von Mesonen am Kern*

Prof. Dr. Ulrich Mosel

*Mesonproduktion und Resonanzanregung an freien und gebundenen Nukleonen mit reellen Photonen*

Prof. Dr. Volker Metag, Dr. Bernd Krusche, Dr. Susan Schadmand

*Elektromagnetische Struktur des Pions im Bereich mittlerer Energien am Mainzer Mikrotron*

Prof. Dr. Volker Metag, Dr. Bernd Krusche

**Universität Göttingen**

*Messung der Gerasimov-Drell-Hearn-Summenregel an MAMI und ELSA*

Prof. Dr. Martin Schumacher, Dr. F. Wissmann

*Präzisionsexperimente zur Compton-Streuung am Proton*

Prof. Dr. Martin Schumacher, Dr. Friedrich Smend, Dr. F. Wissmann

*Quasifreie Compton-Streuung am Neutron*

Dr. F. Wissmann, Prof. Dr. Martin Schumacher

**Forschungszentrum Jülich**

*Schwellenproduktion neutraler Pionen am Helium im Rahmen der chiralen Störungstheorie*  
Prof. Dr. Ulf Meißner

**Universität Mainz**

*Paritätsverletzende Elektronenstreuung mit dem MAMI-A4-Detektor*

Prof. Dr. Dietrich von Harrach, Dr. Frank Maas, Mainz

**Technische Universität München**

*Niederenergie-QCD und Chirale  $SU(3)$ -Dynamik: Photo- und Elektroproduktion von Mesonen*

Prof. Dr. Wolfram Weise, Dr. habil. Norbert Kaiser

*Effektive Feldtheorie in der Kernphysik: Elektromagnetische Wechselwirkung von Systemen weniger Nukleonen und Pionen*

Dr. Harald Griebhammer

**Universität Münster**

*Untersuchungen der hadronischen Struktur von Nukleonen und Kernen mit elektromagnetischen Sonden mit dem CB-Detektor*

Prof. Dr. Rainer Santo

**Universität Regensburg**

*Die GDH-Summenregel und höhere-Twist Beiträge zu den Spinstrukturfunktionen*

*Untersuchung der  $N(1535)$ -Resonanz und des Strangenessbeitrags zum magnetischen Moments des Nukleons mittels Gitter-QCD*

Prof. Dr. Andreas Schäfer

**Universität Tübingen**

*Experimentelle Bestimmung der Gerasimov-Drell-Hearn-Summenregel an MAMI und ELSA*

PD Dr. Peter Grabmayr, Prof. Dr. Gerhard J. Wagner

*Kurzreichweitige Korrelationen in Atomkernen*

PD Dr. Peter Grabmayr, Dr. Torsten Hehl, Prof. Dr. Herbert Muether, Prof. Dr. Gerhard J. Wagner

**Ausserhalb des Schwerpunktprogramms**

Die Experimente wurden ausnahmslos innerhalb internationaler Kollaborationen durchgeführt. Auch die Theorieprojekte wurden zum Teil in internationaler Zusammenarbeit durchgeführt. Zu einer besonders engen Zusammenarbeit kam es mit den aufgelisteten Personen.

**V. Petrov**, Petersburg Nuclear Physics Institute, Petersburg, **Russland**: Studien im Chiralen Quark Soliton Modell bzgl. des exotischen anti-Dekupletts.

**M. Przaszłowicz**, Jagiellonische Universität, Krakau, **Polen**: Modellunabhängige Rechnungen zu magnetischen Momenten des Baryonen-Oktetts und zu semileptonischen Zerfällen.

**H.-Ch. Kim**, Pusan University, Department of Physics, Pusan, **Korea**: Berechnungen von strange Formfaktoren des Nukleons.

**M. Fiolhais**, Center of Computational Physics, University of Coimbra, **Spanien**: Berechnungen von strange Formfaktoren des Nukleons und von elektromagnetischen und axialen Formfaktoren des baryonischen Oktetts.

**D. Diakonov**, NORDITA, Kopenhagen, **Dänemark** : Pentaquarks und baryonisches Anti-Dekuplett.

**D. Urbano**, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, **Portugal**: Pion-Elektroproduktion an ELSA,  $E2/M1$  und  $C2/M1$ .

**V. Bernard**, Univ. Straßburg, **Frankreich**: Pionelektroproduktion

**A. W. Thomas**, Univ. of Adelaide, **Australien**, Quarksignaturen in Kernen

**H. Habertzettl**, George Washington University, **USA**, Formfaktoren

**C. Bennhold**, George Washington University, **USA**: Strangnessproduktion

**B. Pasquini**, Universität Pavia, **Italien**: Niederenergie-Comptonstreuung am Nukleon

**D. B. Phillips**, Ohio University, Athens, **USA**: Deuteron Comptonstreuung

**G. Rupak**, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, **USA**, Palarisierbarkeiten des Nukleons

**P. F. Bedaque**, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, **USA**: Niederenergieentwicklung in Dreikörpersystemen

**N. Bianchi**, INFN - Frascati, **Italien**: Totale Absorptionsquerschnitte  
**J. Smyrski**, Jagellonische Universität Krakau, **Polen**: Photoproduktion von Mesonen  
**A.I. L'vov**, P.N. Lebedev Physical Institute, **Moskau**, Russland: Comptonstreuung  
**M.I. Levchuk**, B.I. Stepanov Institute of Physics, Minsk, **Weissrussland** : Comptonstreuung  
**A.I. Milstein**, Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, **Russland**: Comptonstreuung  
**N. Horikawa**, Nagoya, **Japan**: Polarisierte Targets  
**T. Pinelli**, Universität Pisa, **Italien**: Messung der GDH-Summenregel  
**R. Van de Vyver**, Kernphysikalisches Labor, Gent, **Belgien**: Messung der GDH-Summenregel  
**I. Altarev**, St. Petersburg Institute of Nuclear Physics, Gatchina, **Russland**: Resonanzanregungen des Nukleons  
 Institut de Physique  
**J. Arvieux**, Institute Nucleaire, Orsay, **Frankreich**: Paritätsverletzende Elektronenstreuung  
**S. Kowalski**, Laboratory for Nuclear Science, Massachusetts Institute of Technology (MIT), **USA**: Paritätsverletzende Elektronenstreuung

- **Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses im Zusammenhang mit diesem Projekt**

Mit diesem Schwerpunktprogramm wurden 88( 63 Experiment, 25 Theorie) Dissertationen und fünf Habilitationen unterstützt. Punktuell konnten Postdoktoranden gefördert werden.

## Rufe

**Bernd Krusche**, auf eine Professur der Universität Basel  
**Volker Crede**, auf eine Assistant Professorship (tenure track) an die Florida State University  
**Ulrike Thoma**, auf eine Emmy Noether Nachwuchswissenschaftlerin an die Universität Giessen  
**Ralf Gothe**, full professorship, State University of South Carolina, Columbus  
**Hyun-Chul Kim**, Pusan, Korea  
**Wolfram Weise**: Ruf auf die Position des Chief Scientist, Thomas Jefferson National Accelerator Facility, Newport News, USA (2002; abgelehnt 2003)  
**Ulf G. Meissner**: Ordinariat in Theoretischer Physik (Nf Mitter), Karl-Franzens-Universität Graz, Österreich (abgelehnt)  
**Ulf G. Meissner**: C4 Professur in Theoretischer Physik (Nf Huber), Rheinische-Friedrichs-Wilhelm-Universität Bonn (angenommen)

## Habilitationen

**R. Gothe**: Studium der elektroinduzierten ersten Nukleon-Anregung, Bonn, 1998  
**F. Wissmann**: Compton Scattering and the Structure of the Nucleon, Göttingen 2000, Veröffentlicht als Monographie: "Compton Scattering: Investigating the Structure of the Nucleon with Real Photons". Springer Tracts in Modern Physics. Volume 200 (2003).  
**W. Hillert**: Erzeugung eines Nutzstrahls spinpolarisierter Elektronen an der Beschleunigeranlage ELSA, Bonn 2000  
**St. Goertz**: Spintemperatur und magnetische Resonanz verdünnter elektronischer Systeme - Ein Weg zur Optimierung polarisierbarer Festkörper- und Targetmaterialien, Bochum 2002  
**G. Piller**: Quark-Gluon-Struktur von freien und gebundenen Nukleonen, München 1999

## Dissertationen

### Experiment

**M.-Q. Tran**: Entwicklungen zur Spurrekonstruktion in der vorderen Driftkammer von SAPHIR und neue Ergebnisse von einer Analyse der Reaktionen  $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$ ,  $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma^0$ , Bonn 1997  
**S. Goers**: Messung und Analyse der Reaktion  $\gamma p \rightarrow K^0 \Sigma^+$  für Photonenergien bis 1.55 GeV mit SAPHIR an ELSA, Bonn 1999

- W. Neuerburg:** Untersuchung zur Bestimmung der Wirkungsquerschnitte für die Reaktionen  $\gamma d \rightarrow p n$   $\pi^+ p i^-$  und  $\gamma d \rightarrow d \pi^+ \pi^-$ , Bonn 1999
- J. Wißkirchen:** Photoproduktion von  $\omega$ -Mesonen von der Erzeugungsschwelle bis zu einer Photonenergie von 2.6 GeV mit dem SAPHIR-Detektor, Bonn 1999
- B. Wiegers:** Untersuchung der Photoproduktion des Vektormesons  $\Phi(1020)$  und des Hyperons  $\Lambda(1520)$  von der Erzeugungsschwelle bis zu einer Photonenergie von 2,65 GeV mit SAPHIR, Bonn 2001
- J. Barth:** Photoproduktion der Vektormesonen  $\omega(782)$  und  $\Phi(1020)$  am Proton von der Erzeugungsschwelle bis zu einer Photon-Energie von 2.6 GeV, Bonn 2002
- K.-H. Glander:** Messung der Reaktionen  $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$  und  $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma^0$  für Photonenergien bis 2.6 GeV mit dem SAPHIR-Detektor an ELSA, Bonn 2003
- R. Lawall:** Messung der Reaktion  $\gamma p \rightarrow K^0 \Sigma^+$  für Photonenergien bis 2.65 GeV mit dem SAPHIR-Detektor an ELSA, Bonn 2004
- I. Schulday:** Untersuchung der Reaktion  $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma^- \pi^+$  für Photonenergien bis 2.6 GeV mit dem SAPHIR-Detektor an ELSA, 2004
- M.T. Hütt:** Meson-induzierte Nukleon-Korrelationen in der nuklearen Compton-Streuung, Göttingen 1997
- St. Proff:** Elastische Photonstreuung an  $^4\text{He}$  und  $^{16}\text{O}$  im Quasideuteronbereich, Göttingen 1998
- G. Galler:** Elastische Photonstreuung am Proton mit einem großen Nachweiswinkelbereich, Göttingen 1998
- St. Wolf:** Comptonstreuung am Proton im Bereich der zweiten Resonanz, Göttingen 1998
- V. Kuhr:** Quasifreie Comptonstreuung am Proton des Deuterons, Göttingen 1998
- F. Rambo:** Kohärente  $\pi^0$ -Photoproduktion an  $^4\text{He}$  und Bestimmung des Grades der Linearpolarisation kohärenter Bremsstrahlung, Göttingen 1998
- B. Seitz:** Helizitätsabhängigkeit der Photoproduktion neutraler Mesonen im Energiebereich 150 MeV bis 780 MeV, Göttingen 1999
- K. Kossert:** Quasifreie Compton-Streuung am Neutron zur Bestimmung der elektromagnetischen Polarisierbarkeiten, Göttingen 2001
- N. Lee:** Polarized Compton scattering off the Nucleon, Göttingen 2001
- M. Camen:** Das SENECA-NaJ-Experiment zur freien und quasi-freien Comptonstreuung und  $\pi^0$ -Produktion am Proton, Göttingen 2001
- W. Weihofen:** Apparative Entwicklung zur Messung der Gerasimov-Drell-Hearn-Summenregel an ELSA (Bonn), Göttingen 2002
- D. Doll:** Das Compton-Polarimeter an ELSA, Bonn 1998
- J. Keil:** Messung, Korrektur und Analyse der Gleichgewichtsbahn an der Elektronen-Stretcher-Anlage ELSA, Bonn 2000
- M. Gowin:** Optimierung der laserinduzierten Photoemission zur Erzeugung polarisierter Elektronenstrahlen an der 50 keV-Quelle der Bonner beschleunigeranlage ELSA, 2001
- M. Hoffmann:** Beschleunigung polarisierter Elektronen in der Bonner Elektronen-Beschleunigeranlage ELSA, Bonn 2001
- Chr. Bradtke:** A new frozen spin target for the measurement of the helicity asymmetry of the total cross section, Bonn 2000
- J. Harmsen:** Chemisch dotiertes und elektronenbestrahltes 1-Butanol- $d_{10}$  als polarisiertes Target für teilchenphysikalische Experimente, Bochum 2002
- R. Plötzke:** Photoproduktion von  $\eta'$  Mesonen mit dem SAPHIR Detektor an ELSA, Bonn 1998
- A. Ehmanns:** Entwicklung, Aufbau und Test eines neuen Auslesesystems für den Crystal-Barrel-Detektor zur photoinduzierter Reaktionen an ELSA, Bonn 2000
- J. Link:** Untersuchung der Photoproduktion von  $\eta'$  Mesonen mit dem Saphir Detektor, Bonn 2000
- V. Crede:** Test von  $N\bar{N}$  Potential-Modellen: Suche nach  $N\bar{N}$  Zuständen nahe an der Schwelle und Test der Isospin Symmetrie in der  $\bar{p}N$  Vernichtung in Ruhe, Der Anhang dokumentiert die für die Experimente an ELSA entwickelten Rekonstruktionsprogramme. Bonn 2000
- H. van Pee:** Untersuchung der Reaktion  $\gamma p \rightarrow p \pi^0$  für Photonenergien von 0.45 bis 1.3 GeV mit dem Crystal-Barrel-Detektor an ELSA, Bonn 2003
- I. Fabry:** Messung des differentiellen Wirkungsquerschnittes für die Reaktion  $\gamma p \rightarrow p \eta$  für Photonenergien von bis 1.3 GeV mit dem CB-Detektor, Bonn 2003

- O. Bartolomy:** Photoproduktion einzelner Mesonen am Proton bei CB-ELSA: Untersuchung der Reaktionen  $\gamma p \rightarrow p\eta$ ,  $\gamma p \rightarrow p\pi^0$ , und  $\gamma p \rightarrow p\eta'$  bei Photonenergien zwischen 0.3 und 3 GeV, Bonn 2004
- I. Horn:** The decay of the  $\gamma p$  system into the  $p\pi^0\eta$  final state, Bonn 2004
- B. Kopf:** Untersuchung der photoinduzierten Reaktionen  $\gamma p \rightarrow p\pi^0\pi^0$  und  $\gamma p \rightarrow p\pi^0\eta$  an einem Flüssig-Wasserstoff-Target, Dresden 2002:
- B. Kiel:** Ein Moller-Polarimeter für das Experiment zur Verifizierung der Gerasimov-Drell-Hearn-Summenregel an ELSA, Erlangen, 1999
- T. Michel:** Messung von totalen Photoabsorptionsquerschnitten als Vorbereitung des GDH-Experiments an ELSA, Erlangen, 2001
- J. Naumann:** Tagging-System, Datennahme und Strahlüberwachung des GDH-Experiments an ELSA, Erlangen, 2001
- T. Speckner:** Møller-Polarimetrie am GDH-Experiment sowie Bestimmung helizitätsabhängiger Photoabsorptionswirkungsquerschnitte, Erlangen 2002
- G. Zeitler:** Messung helizitätsabhängiger Photoabsorptionswirkungsquerschnitte zur experimentellen Überprüfung der GDH-Summenregel an ELSA, Erlangen 2002
- J. Krimmer:** Experimental test of the GDH sum rule on the proton and the neutron, Tübingen 2004
- T. Lamparter:** Untersuchung der (g,NN)-Reaktionen im Bereich hoher NN-Relativimpulse, Tübingen 1997
- F. Natter:** Study of reaction mechanisms and short range correlations in two nucleon emission off 4He using polarized photons, Tübingen 2001
- M. Sauer:** Inklusive Messung von Wirkungsquerschnitten der totalen Photoabsorption am Proton und Neutron als Vorbereitung für das GDH-Experiment, Tübingen 1998
- Chr. Rohlof:** Entwicklung polarisierter Targets zur Messung der Gerasimov – Drell – Hearn – Summenregel an ELSA Bonn 2003
- M. Kohl:** Elektroproduktion von  $\pi^+$ -Mesonen an  ${}^3He$  und das Studium von Mediumeffekten, Darmstadt 2001
- V. Hejny:** Photoproduktion von  $\eta$ -Mesonen an Helium-4, Gießen 1998
- M. Wolf:** Photoproduktion von neutralen Pionpaaren am Proton von der Schwelle bis zur Energie von 820 MeV, Gießen 1999
- J. Weiß:** Photoproduktion von  $\eta$ -Mesonen am Deuterium mit Nachweis des Endzustandes, Gießen 2000
- M. Kotulla:** Experiment zur Bestimmung des magnetischen Moments der  $\Delta^+(1232)$  Resonanz, Gießen 2001
- M. Pfeiffer:** Photoproduction of  $\eta$  Mesons from  ${}^3He$ , Gießen 2002
- S. Janssen:** Doppel-Pionenphotoproduktion an Blei, Gießen 2002
- P. Drexler:** Entwicklung und Aufbau der neuen TAPS-Elektronik, Gießen 2004
- Th. Hammel:** Luminositätsmessung und Korrektur helizitätskorrelierter Effekte für ein Experiment zur Messung der Paritätsverletzung in der elastischen Elektronenstreuung, Mainz 2003
- K. Grimm:** Aufbau eines Lichtauslesesystems für ein Bleifluorid-Kalorimeter zur Messung der Paritätsverletzung in der elastischen Elektronenstreuung, Mainz 2002
- J. Hoffmann:** Entwicklung und Aufbau eines 2.5 GHz Ti:Saphir-Pulslasers für die Quelle polarisierter Elektronen an MAMI, Mainz 1999
- P. Achenbach:** Aufbau eines Bleifluorid-Kalorimeters zur Messung der Paritätsverletzung in der elastischen Elektronenstreuung, Mainz 2001
- D. Wacker:** Experimentelle Bestimmung der Interferenzbeiträge  $\sigma_{LT}$  und  $\sigma_{TT}$  zum Wirkungsquerschnitt der  $\pi^0$ -Elektroproduktion im Bereich der ersten Nukleonresonanz, Bonn 1998
- H. Hainer:** Messung der Reaktion  $p(e,e'p)X$  bei Impulsüberträgen von 0.105 GeV\*\*2, 0.160 GeV\*\*2, 0.201 GeV\*\*2 im Bereich der ersten Nukleonresonanz mit einem Flugzeitspektrometer großer Akzeptanz, Bonn 2000
- P. Maschke:** Experimentelle Bestimmung der Neutronennachweiseffizienz zur Überprüfung der Resultate einer Messung des magnetischen Neutronformfaktors an ELSA, Bonn 2001
- H. Brunhöber:** Experimentelle Bestimmung der Interferenzbeiträge  $\sigma_{LT}$  und  $\sigma_{TT}$  zum Wirkungsquerschnitt der geladenen Pion-Elektroproduktion im Bereich der Delta(1232)-Resonanz, Bonn 2001

**R. Bantes:** Aufbau eines  $0^0$ -Spektrometers für Experimente mit dem Crystal Barrel Detektor, Bonn 2003

**Bettina Bantes:** Absolutbestimmung der dominanten Amplituden der Elektroproduktion von neutralen Pionen beim Impulsübertrag von 0.630 GeV\*\*2, Bonn 2003

## Dissertationen

### Theorie

**Jochen Berger:** Solitons in strong and weak four fermion interactions, Bochum, 2002

**Carsten Schneider:** Baryonische Observable und chirale Symmetrie im SU(3) Nambu-Jona-Lasiönio Modell, Bochum, 2003

**Peter Schweitzer:** Polarized quark and anti-quark distribution function of the nucleon in the Chiral Quark Soliton Model, Bochum, 2003

**Antonio Silva:** Formfactors of the baryon octet in the Chiral Quark Soliton Model, Bochum, 2004

**E. Epelbaum:** The nucleon–nucleon interaction from a chiral effective field theory, Bochum 2000

**H. Krebs:** Neutral pion electroproduction off the deuteron, Bochum 2003

**F. Klingl:** Vektormesonen in dichter hadronischer Materie, München 1998

**A. Saalfeld:** Partonverteilungen des Protons, München 1998

**J. Edelmann:** Zur Spinstruktur des Nukleons, München 1999

**S. Wetzel:** Chirale Dynamik und die Physik des  $\eta'$ -Mesons, München 2001

**T. Schwarz:** Thermodynamics of the Chiral Condensate, München 2003

**Karim Amir-Azimi-Nili:** Langreichweitige Korrelationen und die nukleare Spektralfunktion, Tübingen 1997

**E. Heinz:** Langreichweitige Korrelationen in Atomkernen, Tübingen 1997

**St. Ulrych:** Die Struktur der relativistischen Selbstenergie des Nukleons und quasielastische (e,e'p) Reaktionen, Tübingen 1998

**Khalaf Gad:** Spectral Functions of Nucleons in Nuclear Systems, Tübingen 2002

**Daniel Knödler:** Korrelationen, Endzustandswechselwirkung und Meson-Austausch Korrekturen bei der Absorption von Photonen in nuklearer Materie, Tübingen 1999

**E. Schiller:** Die relativistische Struktur der Nukleon-Nukleon Wechselwirkung im Medium, Tübingen 1999

**Gregor Penner:** Vector Meson Production and Nucleon Resonance Analysis in a Coupled-Channel Mode, Gießen 2002

**J. Lehr:** In-medium Eigenschaften von Nukleonen und Nukleonresonanzen in einem semiklassischen Transportmodell, Gießen 2003:

**L. Prado:** Relativistic constituent quark models of baryons, ITKP Bonn 1998

**K. Kretzschmar:** Electroweak Form Factors in a Covariant Quark Model of Baryons, ITKP Bonn 2001

**U. Löring:** A Covariant Quark Model of Baryons with Instanton-induced forces, ITKP Bonn 2001

**R. Ricken:** Properties of Light Mesons in a Relativistic Quark Model, Dissertation, ITKP Bonn 2001

**M. Koll:** Electroweak Processes with Light Mesons in a Relativistic Quark Model, ITKP Bonn, 2001

**D. Merten:** Hadron Form Factors and Decays, Dissertation, ITKP Bonn 2002

## 3 Umfang der Förderung

### 3.1 Personal- und Sachmittel insgesamt

Förderperiode	Personalmittel	Sachmittel
1.4.1997-31.3.1999	18.5 BAT IIa 1 BAT Vc	DM 1 761 120.
1.4.1999-31.3.2001	24 BAT IIa 1 BAT Vc	DM 897 515.
1.4.2001-31.3.2003	26 BAT IIa 1 BAT Vc	DM 1 125 948.

Zum größten Teil wurden die BAT IIa Stellen als BAT IIa/2 Stellen vergeben.

## 3.2 Reisekosten und Mittel für Gäste

Verwaltet von dem Koordinator

Förderperiode	Betrag
1.4.1997-31.3.1999	DM 196 000.
1.4.1999-31.3.2001	DM 250 000.
1.4.2001-31.3.2003	DM 288 500.
<b>Insgesamt</b>	<b>DM 728 500.</b>

Der größte Teil wurde für Experimentreisen zu den Beschleunigern ELSA, Bonn, und MAMI, Mainz verwendet.

## 3.3 Gästemittel

Jahr	Betrag
1999	DM 5 500.
2000	DM 2 391.
2002	DM 908.
2003	DM 2 180.

## 4 Zusammenfassung

Protonen und Neutronen, auch Nukleonen genannt, sind aus Quarks und Gluonen zusammengesetzte Teilchen, deren Struktur jedoch nicht auf einfache Weise im Rahmen der Quantenchromodynamik (QCD), einem Teil des sogenannten Standardmodells der Elementarteilchenphysik, berechnet werden kann. Quarks in einem Bindungszustand haben relativ kleine Impulse und mehrere charakteristische Größen, wie Masse und Ausdehnung, werden durch die komplizierte QCD-Struktur des Vakuums, bestehend aus Quark- und Gluonkondensaten, stark beeinflusst. Abhängig von der räumlichen Skala, die mit dem jeweiligen Experiment abgetastet wird, werden Freiheitsgrade sichtbar, die am besten für eine effektive Beschreibung der untersuchten Struktur geeignet sind. Bei räumlichen Auflösungen von ca 1 - 2 fm, entsprechend den internukleonischen Abständen in Atomkernen, und größer bestimmen hadronische Freiheitsgrade, d. h. aus Quarks/Antiquarks zusammengesetzten Bindungszuständen bestehende Systeme, wie z. B. Pionen, die Nukleonenstruktur. Mit diesen Freiheitsgraden als Grundlage von Rechnungen lässt sich auch die Struktur von Atomkernen - bisher phänomenologisch - beschreiben. Quarks werden, bei kleineren Abständen zunächst als Quasiteilchen sichtbar, d. h. mit zum Teil stark durch das QCD-Vakuum, im Vergleich zu elementaren Quarks, modifizierten Eigenschaften. Dieser für das Verständnis der Nukleon- und Kernstruktur so wichtige Bereich wurde in dem Schwerpunktprogramm bearbeitet. Dazu wurden eine Reihe neuartiger Experimente durchgeführt und neue Wege in der theoretischen Beschreibung beschritten.

Das spektakulärste Ergebnis, in der Zwischenzeit an acht verschiedenen Experimentaufbauten weltweit gesehen, ist sicherlich das mit dem SAPHIR-Detektor gemessene Signal für einen Bindungszustand bestehend aus vier Quarks und einem Antiquark, auch Pentaquark  $\Theta^+$  genannt. Dieser Zustand wurde auch schon vor seiner Entdeckung im Rahmen des Chiralen Solitonmodells, bearbeitet in einem der Theorieprojekte, vorhergesagt. Weitere besonders herausragende Resultate sind: Hinweise für bisher nicht gesehene Resonanzanregungen des Nukleons, Messungen zum Ursprung des anomalen magnetischen Moments des Protons mit Doppelpolarisationsexperimenten, Resultate, experimentell und theoretisch, zu den Polarisierbarkeiten des Protons und des Neutrons, experimentelle Hinweise zu einer Abweichung der Sphärizität der Ladungsverteilung im Proton, Hinweise von Resonanzzerfällen in Omega- und Rho-Mesonen, Symmetrie beim Zerfall von Resonanzen in Eta-Mesonen, Entwicklung eines relativistischen Quarkmodells, Durchbruch bei der Beschreibung von Wenigteilchensystemen im Rahmen der Chiralen Effektiven Feldtheorie, Signaturen für Änderungen der

Masse und Energiebreite von Mesonen in Kernen, Hinweise für eine Isolierung von kurzreichweitigen Nukleon-Nukleon-Korrelationen in Kernen. Ein Durchbruch wurde bei der Entwicklung polarisierter Deuterontargets erreicht. Die Polarisation konnte von ca. 35 % auf ca. 70 % verdoppelt werden.

## 5 Publikationen

### 5.1 Experiment

M. Q. Tran et al., Measurement of  $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$  and  $K^+ \Sigma^0$  at photon energies up to 2 GeV.  
Phys. Lett. B 445 (1998) 20

M. Mirazita et al., Total hadronic photoabsorption on carbon and lead in the shadowing threshold region.  
Phys. Lett. B 407 (1997) 225

V. Muccifora et al., Photoabsorption on nuclei in the energy range 0.5-2.6 GeV.  
Phys. Rev. C 60, 064616, 1999

S. Goers et al., Measurement of  $\gamma p \rightarrow K^0 \Sigma^+$  at photon energies up to 1.55 GeV.  
Phys. Lett. B 464 (1999) 331-338

J. Barth et al., *Observation of the positive-strangeness pentaquark  $\Theta^+$  in photoproduction with the SAPHIR detector at ELSA*,  
Phys. Lett. B 572 (2003) 127, hep-ex/0307083

J. Barth et al., *Low energy photoproduction of  $\omega$  mesons*,  
Eur. Phys. J. A 18 (2003) 117-127

J. Barth et al., *Low energy photoproduction of  $\Phi$  mesons*,  
Eur. Phys. J. A 17 (2003) 269-274

K.-H. Glander et al., *Measurement of  $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$  and  $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma^0$  at photon energies up to 2.6 GeV*,  
Eur. Phys. J. A 19 (2004) 251

C. Wu et al., *Photoproduction of  $\rho^0$ -mesons and  $\Delta^{++}$ -baryons in the reaction  $\gamma p \rightarrow p \pi^+ \pi^-$  at energies up to  $\sqrt{s} = 2.6$  GeV*,  
eingereicht bei EPJ

Crede et al. [CB-ELSA Collaboration], *“Photoproduction of eta mesons off protons for 0.75-GeV  $\leq E_\gamma \leq 3$ -GeV”*  
Phys. Rev. Lett. 94(1), 012004, 2005

O. Bartholomy et al. [CB-ELSA Collaboration], *“Neutral pion photoproduction off protons in the energy range 0.3 GeV  $< E_\gamma < 3$  GeV,”*  
Phys. Rev. Lett. 94(1), 012003, 2005

G. Galler, V. Lisin, R. Kondratiev, A.M. Massone, S. Wolf, J. Ahrens, H.-J. Arends, R. Beck, M. Camen, G.P. Capitani, P. Granmayr, S.J. Hall, F. Härter, T. Hehl, P. Jennewein, K. Kossert, A.I. L'vov, C. Molinari, P. Ottonello, J. Peise, I. Preobrajenskij, S. Proff, A. Robbiano, M. Sanzone, M. Schumacher, M. Schmitz, F. Wissmann, *“Compton Scattering by the Proton”*  
Phys. Lett. B 503 (2001) 245

R.N. Lee, A.I. Milstein, M. Schumacher, *“Relativistic Corrections to the Electric Polarizability of Compound Systems”*  
Physical Review Letters 87 (2001) 051601

R.N. Lee, A.I. Milstein, M. Schumacher, *“Relativistic corrections to the electromagnetic polarizabilities of compound systems”*  
Phys. Rev. A 64 (2001) 032507

S. Wolf, V. Lisin, A.M. Massone, R. Kondratiev, G. Galler, J. Ahrens, R. Beck, M. Camen, G.P. Capitani, P. Grab mayr, S.J. Hall, F. Härter, T. Hehl, P. Jennewein, K. Kossert, A.I. L'vov, C. Molinari, P. Ottonello, J. Peise, I. Preobrajenskij, S. Proff, A. Robbiano, M. Sanzone,

M. Schumacher, M. Schmitz, F. Wissmann, “Compton Scattering by the Proton using a Large Acceptance Arrangement”

Eur. J. Phys. A 12 (2001) 231; arXiv nucl-ex/0109013

M. Camen, K. Kossert, F. Wissmann, J. Ahrens, H.-J. Arends, R. Beck, G. Caselotti, P. Grabmayr, P.D. Harty, O. Jahn, P. Jennewein, R. Kondratiev, M.I. Levchuk, V. Lisin, A.I. L’vov, J.C. McGeorge, A. Natter, V. Olmos de León, M. Schumacher, B. Seitz, F. Smend, A. Thomas, W. Weihofen, F. Zapadtka, “Backward spin polarizability  $\gamma_\pi$  of the proton”

Phys. Rev. C 65 (2002) 032202; arXiv: nucl-ex/0112015

R.N. Lee, A.I. Milstein, M. Schumacher, “Electric polarizabilities of proton and neutron and the relativistic center-of-mass coordinate”

Phys. Lett. B 541 (2002) 87; arXiv: hep-ph/0203100

M. Lundin, J.-O. Adler, T. Glebe, K. Fissum, K. Hansen, L. Isaksson, O. Kaltschmidt, M. Karlsson, K. Kossert, M.I. Levchuk, P. Lilja, B. Lindner, A.I. L’vov, B. Nilsson, D.E. Oner, C. Poeh, S. Proff, A. Sandell, B. Schröder, M. Schumacher, D.A. Sims, “Compton Scattering from the Deuteron and Extracted Neutron Polarizabilities”

Phys. Rev. Lett. 90 (2003) 192501, arXiv: nucl-ex/0204014

K. Kossert, M. Camen, F. Wissmann, J. Ahrens, J.R.M. Annand, H.-J. Arends, R. Beck, G. Caselotti, P. Grabmayr, O. Jahn, P. Jennewein, M.I. Levchuk, A.I. L’vov, J.C. Mc George, A. Natter, V. Olmos de León, V. A. Petrun’kin, G. Rosner, M. Schumacher, B. Seitz, F. Smend, A. Thomas, W. Weihofen, F. Zapadtka, “Quasi-free  $\pi^0$  Photoproduction from the Bound Nucleon”

Eur. Phys. J. A 19 (2004) 391

V. Hejny, J. Weiss, P. Achenbach, J. Ahrens, J.R.M. Annand, R. Beck, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, I.J.D. MacGregor, V. Metag, R. Novotny, V. Olmos de León, F. Rambo, A. Schmidt, M. Schumacher, U. Siodlaczek, H. Ströher, F. Wissmann, M. Wolf, “Threshold enhancement in  $\eta$  photoproduction from  $^2H$  and  $^4He$ ”

Eur. Phys. J. A 13 (2002) 493; arXiv: nucl-ex/0304005

M.I. Levchuk, M. Schumacher, F. Wissmann, “The reaction  $^2H(\gamma, \pi^0)np$  in the threshold region”

Nucl. Phys. A 675 (2000) 621

M.Q. Tran, J. Barth, C. Bennhold, M. Bockhorst, W. Braun, A. Budzanowski, G. Burbach, R. Burgwinkel, J. Ernst, K.H. Glander, S. Goers, B. Guse, K.-M. Haas, J. Hannappel, K. Heinloth, K. Honscheid, T. Jahnen, N. Jöpen, H. Jüngst, H. Kalinowsky, U. Kirch, F.J. Klein, F. Klein, E. Klempt, D. Kostrewa, A. Kozela, R. Lawall, L. Lindemann, J. Link, J. Manns, T. Mart, D. Menze, H. Merkel, R. Merkel, W. Neuerburg, M. Paganetti, E. Paul, R. Plötzke, U. Schenk, J. Scholmann, I. Schulday, M. Schumacher, P. Schütz, W.J. Schwille, F. Smend, J. Smyrski, W. Speth, H.N. Tran, H. van Pee, W. Vogl, R. Wedemeyer, F. Wehnes, B. Wiegers, F.W. Wieland, J. Wißkirchen, A. Wolf, “Measurement of  $\gamma + p \rightarrow K^+ + \Lambda$  and  $\gamma + p \rightarrow K^+ + \Sigma^0$  at photon energies up to 2 GeV”

Phys. Lett. B 445 (1998) 20

S. Proff, C. Pöch, T. Glebe, J.-O. Adler, K. Fissum, K. Hansen, M.-Th. Hütt, O. Kaltschmidt, M. Lundin, B. Nilsson, B. Schröder, M. Schumacher, D. Sims, F. Smend, F. Wissmann, “Electromagnetic Polarizabilities of Nucleons bound in  $^{40}Ca$ ,  $^{16}O$  and  $^4He$ ”

Nucl. Phys. A 646 (1999) 67

A.I. L’vov, V.A. Petrun’kin and M. Schumacher, “Dispersion Theory of Proton Compton Scattering in the First and Second Resonance Region”

Phys. Rev. C 55 (1997) 359

M.-Th. Hütt, A.I. Milstein and M. Schumacher, “Model for analytical calculations of nuclear photoabsorption at intermediate energies”

Nucl. Phys. A 618 (1997) 483

P. Hoffmann-Rothe, M. Krebeck, J. Hey, M. Breuer, G. v. Edel, E. Hourany, M. Rigney, J. Ajaka, G. Anton, J. Arends, G. Berrier-Ronsin, W. Beulertz, G. Blanpied, A. Bock, J.-P. Didelez, K. Helbing, R. Maass, G. Nöldeke, B. Preedom, B. Richie, L. Rosier, B. Saghai, M. Schumacher, F. Smend, B. Zucht, “*Break-up and coherent photoproduction of  $\eta$  mesons on the deuteron*”  
Phys. Rev. Lett. 78 (1997) 4697

A. Kraus, O. Selke, F. Rambo, G. Galler, M. Schumacher, F. Smend, R. Wichmann, F. Wissmann, J. Ahrens, H.-J. Arends, R. Beck, J. Peise, “*Beam asymmetry of coherent  $\pi^0$  photoproduction on  $^4\text{He}$  in the  $\Delta(1232)$  range measured using coherent bremsstrahlung*”  
Phys. Rev. Lett. 79 (1997) 3834

F. Wissmann, M.I. Levchuk, M. Schumacher, “On Approaches to Measure the Electromagnetic Polarizabilities of the Neutron”  
European Physical Journal A1 (1998) 193

Martin Schumacher, “Studies on the structure of the free and bound nucleon using real-photon facilities at MAX (Lund), MAMI (Mainz) and ELSA (Bonn)”  
Nuclear Physics A 629 (1998) 334c

A. Kraus, O. Selke, J. Ahrens, H.-J. Arends, R. Beck, G. Galler, M.-Th. Hütt, J. Peise, M. Schumacher, F. Smend, R. Wichmann, F. Wissmann,  
Phys. Lett. B 432 (1998) 45

F. Rambo, J. Ahrens, H.-J. Arends, R. Beck, G. Galler, J.D. Kellie, H.-P. Krahn, A. Kraus, U. Ludwig, J. Peise, A. Schmidt, M. Schumacher, F. Smend, F. Wissmann, S. Wolf, “*Enhancement of the linear polarization of coherent bremsstrahlung by collimation of the photon beam*”  
Phys. Rev. A(1998)489

S. Nakamura et al., “*Polarized Electrons in ELSA*”,  
NIM A 411 (1998) p. 93-106

D. Doll et al.,  
“*A counting silicon microstrip detector for precision Compton polarimetry*”  
NIM A 492 (2002) p. 356

S. Goertz, W. Meyer, G. Reicherz, “*Polarized H-, D- and  $^3\text{He}$ -Targets for Particle Physics Experiments*”  
Prog. Part. Nucl. Phys. 49 (2002) 403

S. Goertz, J. Harmsen, J. Heckmann, A. Meier, W. Meyer, A. Nürenberg, E. Radtke, G. Reicherz,  
“*Chemical and Radiation Doped D-Butanol*”  
accepted in NIM A (2004)

G. Reicherz, S. Goertz, J. Heckmann, C. Heß, W. Meyer, E. Radtke, “*Pulsed NMR for the determination of the nuclear polarization*”  
accepted in NIM A (2004)

A. Anisovich, E. Klempt, A. Sarantsev, and U. Thoma, “*Partial wave decomposition of pion and photoproduction amplitudes*”,  
submitted to EPJA.

V. Crede, “*Baryon Spectroscopy With The Cb-Elsa Detector At Elsa*,”  
Eur. Phys. J. A 18 (2003) 163

V. Crede, “ *$N^*$  And  $\Delta^*$  Parity Doublets In The Baryon Spectrum*,”  
Prog. Part. Nucl. Phys. 50 (2003) 259

U. Thoma, “*Combining Data Sets In A Partial Wave Analysis*,”  
Int. J. Mod. Phys. A 18 (2003) 475

J. Ernst et al., “*First Results On Eta’ Photoproduction With Saphir*”  
Nucl. Phys. A 639 (1998) 213

R. Plötzke et al. [SAPHIR Collaboration], “*Photoproduction of  $\eta'$  mesons with the  $4\pi$ -detector Saphir*,”  
Phys. Lett. B 444 (1998) 555

- F. J. Klein [SAPHIR Collaboration], "Overview Of Vector Meson Photoproduction,"  
PiN Newslett. **14** (1998) 141
- R. Ploetzke [SAPHIR Collaboration], "Photoproduction of  $\eta'$  mesons with Saphir,"  
Acta Phys. Polon. B **29** (1998) 3349
- C. Bennhold *et al.* [SAPHIR Collaboration], " $K^0\Sigma^+$  photoproduction with SAPHIR,"  
Nucl. Phys. A **639** (1998) 209
- A. V. Anisovich and U. Thoma, "Rescattering effects in  $\Phi$  photoproduction"  
Eur. Phys. J. C **20** (2001) 93
- Ch. Bradtke und H. Dutz  
*Automatisierungstechnik in der Grundlagenforschung, in Virtuelle Instrumente in der Praxis – Automation'*  
Jamal, Heinze (Hrsg.), VDE-Verlag (1998) 246 ISBN 3-8007-2342-5
- Ch. Bradtke, H. Dutz, H. Peschel, S. Goertz, J. Harmsen, S. Hasegawa, N. Horikawa, T. Iwata, T. Kageya, T. Matsuda, A. Meier, W. Meyer, E. Radtke, G. Reicherz, Ch. Rohlof, A. Thomas, A. Wakai "A new frozen-spin target for  $4\pi$  particle detection "  
Nucl. Instr. and Meth. A436 (1999) 430
- T. Speckner, G. Anton *et al.*;" *The GDH-Moller Polarimeter at ELSA*"  
Nucl. Instr. Meth. A 519 Vol. 3, 518-531 (2004)
- Helbing K, Anton G, Fausten M, *et al.*, *The GDH-Detector*  
Nucl. Instr. Meth. A 484 (1-3): 129-139 MAY 21 2002
- Anton G, " *Photo-nuclear reactions on few body systems*"  
Nucl. Phys. A 631, 230C-241C, 1998
- J. Ahrens, S. Altieri, J. R. M. Annand, G. Anton, H. J. Arends, K. Aulenbacher, R. Beck, C. Bradtke, A. Braghieri, N. Degrande, N. dHose, H. Dutz, S. Goertz, P. Grabmayr, K. Hansen, J. Harmsen, D. Harrach, S. Hasegawa, T. Hasegawa, E. Heid, K. Helbing, H. Holvoet, L. Hoorebeke, N. Horikawa, T. Iwata, P. Jennawein, T. Kageya, B. Kiel, F. Klein, R. Kondratiev, K. Kossert, J. Krimmer, M. Lang, B. Lannoy, R. Leukel, V. Lisin, T. Matsuda, J. C. McGeorge, A. Meier, D. Menze, W. Meyer, T. Michel, J. Naumann, R. O. Owens, A. Panzeri, P. Pedroni, T. Pinelli, I. Preobrajenski, E. Radtke, E. Reichert, G. Reicherz, C. Rohlof, D. Ryckbosch, F. Sadiq, M. Sauer, B. Schoch, M. Schumacher, B. Seitz, T. Speckner, M. Steigerwald, N. Takabayashi, G. Tamas, A. Thomas, R. van de Vyver, A. Wakai, W. Weihofen, F. Wissmann, F. Zapadtka, and G. Zeitler, " *Helicity dependence of  $\gamma p$  to  $N\pi$  below 450 MeV and contribution to the Gerasimov-Drell-Hearn sum rule*",  
Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 5950
- D. P. Watts, I. J. D. MacGregor, J. Ahrens, J. R. M. Annand, R. Beck, D. Branford, P. Grabmayr, S. J. Hall, P. D. Harty, T. Hehl, J. D. Kellie, T. Lamparter, M. Liang, J. A. MacKenzie, S. J. McAllister, J. C. McGeorge, R. O. Owens, M. Sauer, R. Schneider, G. J. Wagner, and T. T. H. Yau, " *The  $^{12}C(\gamma, NN)$  reaction studied over a wide kinematic range*"  
Phys. Rev. C62 (2000) 014616/1
- J. Ahrens, S. Altieri, J. R. M. Annand, G. Anton, H. J+), K. Aulenbacher, R. Beck, C. Bradtke, A. Braghieri, N. Degrande, N. dHose, H. Dutz, S. Goertz, P. Grabmayr, K. Hansen, J. Harmsen, D. Harrach, S. Hasegawa, T. Hasegawa, E. Heid, R. Helbing, H. Holvoet, L. Hoorebeke, N. Horikawa, T. Iwata, P. Jennawein, T. Kageya, B. Kiel, F. Klein, R. Kondratiev, K. Kossert, J. Krimmer, M. Lang, B. Lannoy, R. Leukel, V. Lisin, T. Matsuda, J. C. McGeorge, A. Meier, D. Menze, W. Meyer, T. Michel, J. Naumann, R. O. Owens, A. Panzeri, P. Pedroni, T. Pinelli, I. Preobrajenski, E. Radtke, E. Reichert, G. Reicherz, C. Rohlof, D. Ryckbosch, F. Sadiq, M. Sauer, B. Schoch, M. Schumacher, B. Seitz, T. Speckner, M. Steigerwald, N. Takabayashi, G. Tamas, A. Thomas, R. van de Vyver, A. Wakai, W. Weihofen, F. Wissmann, F. Zapadtka, and G. Zeitler, " *First measurement of the Gerasimov-Drell-Hearn integral for  $^1H$  from 200 to 800 MeV*",  
Phys. Rev. Lett. 87 (2001) 022003/1
- P. Grabmayr and A. J. Buchmann, " *Moments of the neutron charge form factor and the  $N$  to  $\Delta$  quadrupole transition*"  
Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 2237

J. Ahrens, S. Altieri, J. R. M. Annand, F. Anton, H. J. Arends, K. Aulenbacher, R. Beck, C. Bradtke, A. Braghieri, N. Degrande, N. dHose, D. Drechsel, H. Dutz, S. Goertz, P. Grabmayr, K. Hansen, J. Harmsen, D. Harrach, S. Hasegawa, T. Hasegawa, E. Heid, K. Helbing, H. Holvoet, L. Hoorebeke, N. Horikawa, T. Iwata, O. Jahn, P. Jennewein, T. Kageya, S. Kamalov, B. Kiel, F. Klein, R. Kondratiev, K. Kossert, J. Krimmer, M. Lang, B. Lannoy, R. Leukel, V. Lisin, T. Matsuda, J. C. McGeorge, A. Meier, D. Menze, W. Meyer, T. Michel, J. Naumann, A. Panzeri, P. Pedroni, T. Pinelli, I. Preobrajenski, E. Radtke, E. Reichert, G. Reicherz, C. Rohlof, G. Rosner, D. Ryckbosch, M. Sauer, B. Schoch, M. Schumacher, B. Seitz, T. Speckner, N. Takabayashi, G. Tamas, A. Thomas, L. Tiator, R. van de Vyver, A. Wakai, W. Weihofen, F. Wissmann, F. Zapadtka, and G. Zeitler, "Helicity amplitudes  $A_{1/2}$  and  $A_{3/2}$  for the  $D_{13}(1520)$  resonance obtained from the  $\gamma p$  to  $p\pi^0$  reaction"

Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 232002/1

J. Krimmer, P. Grabmayr, and M. Sauer, "An online monitor system for high energy photon beams" Nucl. Instr. Methods A481 (2002) 57

K. Kossert, M. Camen, F. Wissmann, J. Ahrens, J. R. M. Annand, H. J. Arends, R. Beck, G. Caselotti, P. Grabmayr, O. Jahn, P. Jennewein, M. I. Levchuk, A. I. Lvov, J. C. McGeorge, A. Natter, V. O. de Leon, V. A. Petrunkin, G. Rosner, M. Schumacher, B. Seitz, F. Smend, A. Thomas, W. Weihofen, and F. Zapadtka, "Neutron polarizabilities investigated by quasifree Compton scattering from the deuteron"

Phys. Rev. Lett. 88 (2002) 162301/1

H. Dutz, K. Helbing, J. Krimmer, T. Speckner, G. Zeitler, J. Ahrens, S. Altieri, J. R. M. Annand, G. Anton, H. J. Arends, R. Beck, A. Bock, C. Bradtke, A. Braghieri, W. Drachenfels, F. Frommberger, M. Godo, S. Goertz, P. Grabmayr, S. Hasegawa, K. Hansen, J. Harmsen, E. Heid, W. Hillert, H. Holvoet, N. Horikawa, T. Iwata, L. Hoorebeke, N. dHose, P. Jennewein, B. Kiel, F. Klein, R. Kondratiev, M. Lang, B. Lannoy, R. Leukel, V. Lisin, D. Menze, W. Meyer, T. Michel, J. Naumann, A. Panzeri, P. Pedroni, T. Pinelli, I. Preobrajenski, E. Radtke, G. Reicherz, C. Rohlof, T. Rostomyan, M. Sauer, B. Schoch, M. Schumacher, G. Tamas, A. Thomas, R. van de Vyver, W. Weihofen, and F. Zapadtka,

"First measurement of the Gerasimov-Drell-Hearn sum rule for  $^1H$  from 0.7 to 1.8 GeV at ELSA"

Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 192001/1

J. Ahrens, S. Altieri, J. R. M. Annand, G. Anton, H. J. Arends, K. Aulenbacher, R. Beck, C. Bradtke, A. Braghieri, N. Degrande, N. dHose, H. Dutz, S. Goertz, P. Grabmayr, K. Hansen, J. Harmsen, D. Harrach, S. Hasegawa, T. Hasegawa, E. Heid, K. Helbing, H. Holvoet, L. Hoorebeke, N. Horikawa, T. Iwata, O. Jahn, P. Jennewein, T. Kageya, B. Kiel, F. Klein, R. Kondratiev, K. Kossert, J. Krimmer, M. Lang, B. Lannoy, R. Leukel, V. Lisin, T. Matsuda, J. C. McGeorge, A. Meier, D. Menze, W. Meyer, T. Michel, J. Naumann, A. Panzeri, P. Pedroni, T. Pinelli, I. Preobrajenski, E. Radtke, E. Reichert, G. Reicherz, C. Rohlof, G. Rosner, T. Rostomyan, C. Rovelli, D. Ryckbosch, M. Sauer, B. Schoch, M. Schumacher, B. Seitz, T. Speckner, N. Takabayashi, G. Tamas, A. Thomas, R. van de Vyver, A. Wakai, W. Weihofen, F. Wissmann, F. Zapadtka, and G. Zeitler, "Helicity dependence of the  $\gamma p$  to  $n\pi^+\pi^0$  reaction in the second resonance region",

Phys. Lett. B551 (2003) 4

K. Kossert, M. Camen, F. Wissmann, J. Ahrens, J. R. M. Annand, H. J. Arends, R. Beck, G. Caselotti, P. Grabmayr, O. Jahn, P. Jennewein, M. I. Levchuk, A. I. Lvov, J. C. McGeorge, A. Natter, V. O. de Leon, V. A. Petrunkin, G. Rosner, M. Schumacher, B. Seitz, F. Smend, A. Thomas, W. Weihofen, and F. Zapadtka, "Quasi-free Compton scattering and the polarizabilities of the neutron"

Eur. Phys. J. A16 (2003) 259

J. Ahrens, S. Altieri, J. R. M. Annand, G. Anton, H. J. Arends, K. Aulenbacher, R. Beck, C. Bradtke, A. Braghieri, N. Degrande, N. dHose, H. Dutz, S. Goertz, P. Grabmayr, K. Hansen, J. Harmsen, D. Harrach, S. Hasegawa, T. Hasegawa, E. Heid, K. Helbing, H. Holvoet, L. Hoorebeke, N. Horikawa, T. Iwata, O. Jahn, P. Jennewein, T. Kageya, B. Kiel, F. Klein, R. Kondratiev, K. Kossert, J. Krimmer, M. Lang, B. Lannoy, R. Leukel, V. Lisin, T. Matsuda, J. C. McGeorge, A. Meier, D. Menze, W. Meyer, T. Michel, J. Naumann, A. Panzeri, P. Pedroni, T. Pinelli, I. Preobrajenski, E. Radtke, E. Reichert, G. Reicherz, C. Rohlof, G. Rosner, T. Rostomyan, C. Rovelli, D. Ryckbosch, M. Sauer, B. Schoch, M. Schumacher, B. Seitz, T. Speckner, N. Takabayashi, G. Tamas, A. Thomas, R. van de Vyver, A. Wakai, W. Weihofen, F. Wissmann, F. Zapadtka, and G. Zeitler, "First measurement of the helicity-dependent  $\gamma(\text{pol.})p(\text{pol.})$  to  $p\eta$  differential cross-section"

Eur. Phys. J. A17 (2003) 241

J. Naumann, G. Anton, A. Bock, P. Grabmayr, K. Helbing, B. Kiel, D. Menze, T. Michel, S. Proff, M. Sauer, M. Schumacher, T. Speckner, W. Weihofen, and G. Zeitler, "A photon tagging system for the GDH experiment at ELSA"  
Nucl. Instr. Methods **A498** (2003) 211

F. A. Natter, P. Grabmayr, T. Hehl, R. O. Owens, and S. Wunderlich "Monte Carlo Simulation and analytical calculation of coherent bremsstrahlung and its polarisation"  
Nucl. Instr. Methods **B211** (2003) 465

F. Wissmann, P. Achenbach, J. Ahrens, H. J. Arends, R. Beck, R. Bilger, M. Camen, G. P. Capitani, G. Caselotti, G. Galler, P. Grabmayr, F. Harter, T. Hehl, E. Heid, V. Hejny, O. Jahn, P. Jennewein, R. Kondratjev, K. Kossert, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, M. Lang, R. Leukel, M. I. Levchuk, V. Lisin, A. I. Lvov, A. M. Massone, V. Metag, A. Natter, R. Novotny, V. O. de Leon, P. Ottonello, J. Peise, A. Polonski, I. Preobrashenskij, S. Proff, F. Rambo, A. Robbiano, D. Rosenkranz, M. Sanzone, E. Schilling, A. Schmidt, M. Schumacher, B. Seitz, U. Siodlaczek, F. Smend, H. Ströher, H. Vorwerk, T. Walcher, J. Weiss, M. Wolf, S. Wolf, and F. Zapadtka, "Compton scattering from the free and bound proton above  $\pi$ -threshold"  
Nucl. Phys. **A664** (2000) 397c, 2000

P. Grabmayr, "Study of nucleon pairs in nuclei"  
Prog. Part. and Nucl. Phys. **44** (2000) 113, 2000

S. Wolf, V. Lisin, R. Kondratiev, A. M. Massone, G. Galler, J. Ahrens, H. J. Arends, R. Beck, M. Camen, G. P. Capitani, P. Grabmayr, S. J. Hall, F. Harter, T. Hehl, P. Jennewein, K. Kossert, A. I. Lvov, C. Molinari, P. Ottonello, J. Peise, I. Preobrajenski, S. Proff, A. Robbiano, M. Sanzone, M. Schumacher, M. Schmitz, and F. Wissmann, "Structure of the nucleon investigated by Compton scattering"  
Nucl. Phys. **A690** (2001) 310, 2001

P. Grabmayr and A. Natter, "Polarization in photon absorption experiments"  
Nucl. Phys. **A690** (2001) 251, 2001

P. Grabmayr, "Nucleon-nucleon correlations in nuclei"  
Nucl. Phys. **A699** (2002) 41c, 2002

P. Grabmayr, "Search for nucleon-nucleon correlations in the photon- asymmetry via the  ${}^4\text{He}(\gamma, NN)$  reaction"  
Few-Body Syst. Suppl. (Austria) **1414** (2003) 331, 2003

P. Grabmayr, "Study of nucleon pairs in nuclei"  
Prog. Part. Nucl. Phys. **44** (2000) 113

M. Kohl, M. Ases Antelo, C. Ayerbe, D. Baumann, R. Böhm, D. Bosnar, M. Ding, M. O. Distler, J. Friedrich, J. García Llongo, P. Jennewein, G. Jover Mañas, H. Merkel, P. Merle, U. Müller, R. Neuhausen, L. Nungesser, R. Pérez Benito, J. Pochodzalla, M. Potokar, C. Rangacharyulu, A. Richter, G. Schrieder, M. Seimetz, Th. Walcher, and M. Weis, "Search for narrow nucleon resonances below pion threshold in the  $H(e, e'\pi^+)X$  and  ${}^2\text{H}(e, e'p)X$  reactions"  
Phys. Rev. **C67** (2003) 065204

M. Kohl, P. Bartsch, D. Baumann, J. Bermuth, R. Böhm, K. Bohinc, S. Derber, M. Ding, M.O. Distler, I. Ewald, J. Friedrich, J.M. Friedrich, P. Jennewein, M. Kahrau, S.S. Kamalov, A. Kozlov, K.W. Krygier, M. Kuss, A. Liesenfeld, H. Merkel, P. Merle, U. Müller, R. Neuhausen, Th. Pospischil, M. Potokar, C. Rangacharyulu, A. Richter, D. Rohe, G. Rosner, H. Schmieden, G. Schrieder, M. Seimetz, S. Sirca, T. Suda, L. Tiator, M. Urban, A. Wagner, Th. Walcher, J. Wambach, M. Weis, and A. Wirzba, "Self energies of the pion and the Delta isobar from the  ${}^3\text{He}(e, e'\pi^+){}^3\text{H}$ -reaction"  
Phys. Lett. **B530** (2002) 67

F. Kalleicher, U. Dittmayer, R.W. Gothe, et al., "The determination of  $\sigma_{LT} / \sigma_{TT}$  in electro-pion-production in the Delta-resonance region".  
Z Phys. A, **359** (2): 201-204, 19

R.W. Gothe, D. Wacker, B. Schoch, "Electroproduction of mesons in the first resonance region"  
Phys. Pol. B **29** (11): 3313-3319, 1998

R.W. Gothe, "N -j Delta electroproduction results from ELSA"  
Prog. Part. Nucl. Phys. **44**: 185, 2000

- B.Schoch, "Photoproduction of mesons on the nucleon"  
 Prog. Part. Nucl. Phys. 50 (2): 523, 2003
- M.Pfeiffer, J. Ahrens, J.R.M. Annand, R. Beck, G. Caselotti, K. Föhl, L.S. Fog, D. Hornidge, S. Janssen, M. Kotulla, B. Krusche, J.C. McGeorge, I.J.D. MacGregor, K. Mengel, J.G. Messchendorp, V. Metag, R. Novotny, M. Pfeiffer, M. Rost, S. Sack, S. Schadmand, A. Thomas, D.P. Watts "Photoproduction of  $\eta$  mesic<sup>3</sup>He"  
 Phys. Rev. Lett. **92** (2004) 252001
- M. Kotulla, J. Ahrens, J.R.M. Annand, R. Beck, D. Hornidge, S. Janssen, B. Krusche, J.C. McGeorge, I.J.D. MacGregor, J.G. Messchendorp, V. Metag, R. Novotny, M. Pfeiffer, R.O. Owens, M. Rost, S. Schadmand, D.P. Watts, "Double  $\pi^0$  photoproduction off the proton at threshold"  
 Phys. Lett. B 578, 63 (2004)
- B. Krusche and S. Schadmand, "Study of Non-Strange Baryon Resonances with Meson Photoproduction"  
 Prog. Part. Nucl. Phys. **51**, 399 (2003)
- S. Schadmand, "Photon Induced Reactions on Nuclei"  
 Eur. Phys. J. **A**, 405 (2003)
- V. Metag, "The structure of hadrons and their modification in the nuclear medium"  
 Prog. Part. Nucl. Phys. 50, 635 (2003)
- J. Weiss, P. Achenbach, R. Beck, V. Hejny, V. Kleber, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, V. Metag, V.M. Olmos de Leon, R.O. Owens, F. Rambo, A. Schmidt, U. Siodlaczek, H. Stroher, F. Wissmann, M. Wolf "Exclusive Measurements of quasi-free  $\eta$  Photoproduction from Deuterium"  
 Eur.Phys. J. A 16, 275 (2003)
- M. Kotulla, Ahrens, J.R.M. Annand, R. Beck, G. Caselotti, L.S. Fog, D. Hornidge, S. Janssen, B. Krusche, J.C. McGeorge, I.J.D. MacGregor, K. Mengel, J.G. Messchendorp, V. Metag, R. Novotny, M. Pfeiffer, M. Rost, S. Sack, R. Sanderson, S. Schadmand, D.P. Watts "The reaction  $\gamma p \rightarrow \pi^0 \gamma' p$  and the Magnetic Dipole Moment of the  $\Delta(1232)^+$  resonance"  
 Phys. Rev. Lett. 89, 272001 (2002)
- S. Schadmand, "Medium Modifications of Hadrons studied with Photonuclear Reactions"  
 Acta Phys. Polon. B 33, 873 (2002),  $\pi$ N Newslett. 16, 267 (2002)
- J. G. Messchendorp, S. Janssen, M. Kotulla, J. Ahrens, J.R.H. Annand, R. Beck, F. Bloch, G. Caselotti, L. Fog, D. Hornidge, B. Krusche, W. Langgärtner, J.C. McGeorge, I.J.D. MacGregor, K. Mengel, V. Metag, R. Novotny, R.O. Owens, M. Pfeiffer, S. Sack, R. Sanderson, S. Schadmand, "In-medium Modifications of the  $\pi\pi$  Interaction in Photon-Induced Reactions"  
 Phys. Rev. Lett. 89, 222302 (2002)
- V. Hejny, J. Weiss, P. Achenbach, J. Ahrens, J.R.M. Annand, R. Beck, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, I.J.D. MacGregor, V. Metag, R. Novotny, V. Olmos de Leon, F. Rambo, A. Schmidt, M. Schumacher, U. Siodlaczek, H. Ströher, F. Wissmann, M. Wolf, "Threshold Enhancement in  $\eta$  Photoproduction from  $H^2$  and  $He^4$ "  
 Eur. Phys. J. A **13**, 493 (2002)
- B. Krusche, J. Ahrens, R. Beck, S. Kamalov, V. Metag, R. O. Owens and H. Ströher, "Coherent  $\pi^0$  Photoproduction from Atomic Nuclei",  
 Phys. Lett. B 526, 287 (2002)
- M. Hoek, W. Döring, V. Hejny, H. Löhner, V. Metag, R. Novotny and H. Wörtche "Charged Particle Response of Pbwo-4"  
 Nucl. Instrum. Meth. A 486, 136 (2002)
- R. Novotny, R. Beck, W. Döring, V. Hejny, M. Hoek, A. Hofstaetter, V. Metag, K. Römer "Scintillators for Photon Detection at Medium Energies: A Comparative Study of Baf-2, Cef-3 And Pbwo-4"  
 Nucl. Instrum. Meth. A 486, 131 (2002)
- J. Weiss, P. Achenbach, J. Ahrens, J.R.M. Annand, R. Beck, V. Hejny, J.D. Kellie, V. Kleber, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, V. Metag, V.M. Olmos de Léon, F. Rambo, A. Schmidt, U. Siodlaczek, H. Ströher, F. Wissmann, M. Wolf, "Exclusive Measurement of Coherent  $\eta$  Photoproduction from the

*Deuteron*"

Eur. Phys. J. A **11**, 371 (2001)

V. Olmos de León, F. Wissmann, P. Achenbach, J. Ahrens, H.J. Arends, R. Beck, P.D. Harty, V. Hejny, P. Jennewein, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, J.C. McGeorge, V. Metag, R. Novotny, A. Polonski, F. Rambo, A. Schmidt, M. Schumacher, U. Siodlaczek, H. Ströher, A. Thomas, J. Weiss, M. Wolf "Low-energy Compton Scattering and the Polarizabilities of the Proton"

Eur. Phys. J. A **10**, 207 (2001)

V. Metag, "Are properties of hadrons changed in the nuclear medium? Experimental Observations"  
Nucl. Phys. A **690**, 140 (2001)

W. Langgärtner, J. Ahrens, R. Beck, V. Hejny, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, J.D. McGregor, J.G. Messchendorp, V. Metag, R. Novotny, V. Olmos de León, R.O. Owens, F. Rambo, S. Schadmand, A. Schmidt, U. Siodlaczek, H. Ströher, J. Weiß, F. Wissmann, M. Wolf "Direct Observation of a  $\rho$  decay of the  $D_{13}(1520)$  Baryon Resonance"

Phys. Rev. Lett. **87**, 052001 (2001)

U. Siodlaczek, P. Achenbach, J. Ahrens, J.R.M. Annand, H.J. Arends, R. Beck, R. Bilger, H. Clement, V. Hejny, M. Kotulla, B. Krusche,

V. Kuhr, R. Leukel, J.C. McGeorge, V. Metag, R. Novotny, V. Olmos de León, F. Rambo, M.G. Shchepkin, A. Schmidt, I. Seluzhenkov, H. Ströher, G.J. Wagner, T. Walcher, J. Weiss, F. Wissmann, M. Wolf, "Coherent and Incoherent  $\pi^0$  Photoproduction from the Deuteron"

Eur. Phys. J. A **10**, 365 (2001)

B. Krusche, J. Ahrens, R. Beck, I. J. MacGregor, J. C. McGeorge, V. Metag and H. Ströher, "In-medium Properties of the  $D_{13}(1520)$  Nucleon Resonance"

Phys. Rev. Lett. **86**, 4764 (2001)

J. G. Messchendorp, A. Sibirtsev, W. Cassing, V. Metag, and S. Schadmand, "Studying the  $\omega$ -mass in-medium in  $\gamma + A \rightarrow \pi^0\gamma + X$  Reactions"

Eur. Phys. J. A **11**, 95 (2001)

V.Kleber, P.Achenbach, J.Ahrens, R.Beck, V.Hejny, J.D.Kellie, M.Kotulla, B.Krusche, V.Kuhr, R.Leukel, V.Metga, R.Novotny, V.Olmos de León, R.O.Owens, F.Rambo, A.Schmidt, M.Schumacher, U.Siodlaczek, H.Ströher, J.Weiß, F.Wissmann, M.Wolf "Double- $\pi^0$  Photoproduction from the Deuteron"

Eur.Phys.J. A **9** (2000) 1

U.Siodlaczek, P.Achenbach, J.Ahrens, H.-J.Arends, R.Beck, R.Bilder, H.Clement, V.Hejny, M.Kotulla, B.Krusche, V.Kuhr, R.Leukel, V.Metag, R.Novotny, V.Olmos de León, F.Rambo, M.Schepkin, A.Schmidt, M.Schumacher, H.Ströher, G.J.Wagner, Th.Walcher, J.Weiß, F.Wissmann, M.Wolf "Measurement of Coherent and Incoherent  $\pi^0$  Photoproduction off the Deuteron with tagged Photons up to the  $\Delta$  Region"

Nucl. Phys. A **663&664** (2000) 428c

M.Wolf, J.Ahrens, R.Beck, V.Hejny, J.D.Kellie, M.Kotulla, B.Krusche, V.Kuhr, R.Leukel, V.Metag, J.C.Nacher, R.Novotny, V.Olmos de León, R.O.Owens, F.Rambo, A.Schmidt, M.Schumacher, U.Siodlaczek, H.Ströher, J.Weiß, F.Wissmann, "Photoproduction of neutral Pion Pairs from the Proton"

Eur.Phys.J. A **9** (2000) 5

Janssen, W.Döring, V.Metag and R.Novotny, "The New Charged-Particle Veto Detector for the Photon Spectrometer TAPS "

IEEE Trans. on Nucl. Sc. **47** (2000) 798

V. Hejny, P. Achenbach, J. Ahrens, R. Beck, S.J. Hall, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, V. Metag, R. Novotny, V. Olmos de León, R.O. Owens, F. Rambo, A. Schmidt, M. Schumacher, U. Siodlaczek, H. Ströher, F. Wissmann, J. Weiß, M. Wolf, "Near threshold photoproduction of  $\eta$  mesons from  $^4\text{He}$ "

Eur. Phys. J. A **5** (1999) 83-89

F. Rambo, P. Achenbach, J. Ahrens, H.J. Arends, R. Beck, S. Hall, V. Hejny, P. Jennewein, S.S. Kamalov, R. Kondratjev, M. Kotulla, B. Krusche, V. Kuhr, R. Leukel, V. Metag, R. Novotny, V. Olmos de León, A. Schmidt, M. Schumacher, U. Siodlaczek, F. Smend, H. Ströher, J. Weiß, F. Wissmann, M. Wolf, "Coherent

$\pi^0$ -photoproduction from  ${}^4\text{He}$   
Nucl. Phys. A 660 (1999) 69

R. Novotny, W. Döring, K. Mengel, V. Metag, C. Pienne "Response of a PWO-scintillator array to electrons in the energy regime below 1 GeV",  
Nucl. Phys. B 61B (1998) 613

K. Mengel, R. Novotny, R. Beck, W. Döring, V. Metag and H. Ströher, "Detection of Monochromatic Photons Between 50 and 790 MeV With a PWO-Scintillator Array"  
IEEE Trans. on Nucl. Sc. 45 (1998) 681

F. Härter, R. Beck, B. Krusche, V. Metag, M. Schmitz, H. Ströher, Th. Walcher and M. Wolf, "Two neutral pion photoproduction from the proton between threshold and 800 MeV"  
Phys. Lett. B401 (1997) 229

F. E. Maas et al., *Measurement of the Transverse Beam Spin Asymmetry in Elastic Electron Proton Scattering and the Inelastic Contribution to the Imaginary Part of the Two-Photon Exchange Amplitude*  
eingereicht bei Phys. Rev. Lett.

F. E. Maas et al.  
"Measurement of the strange quark contribution to the nucleon from factors at  $Q^2 = 0.23 \text{ (GeV/c)}^2$ "  
Phys. Rev. Lett. 93 (2004) 022002

S. Baumack, "Parity-violating electron scattering at MAMI"  
Eur. Phys. J. A 18 (2003) 159

F. E. Maas et al., "Parity-violating electron scattering at the MAMI facility in Mainz"  
Europ. Phys. J. A 17 339 (2003)

## 5.2 Theorie

H. C. Kim, M. V. Polyakov, M. Praszalowicz and K. Goeke, "Semileptonic decay constants of octet baryons in the chiral quark-soliton model  
Phys. Rev. D 57, 299 (1998) [arXiv:hep-ph/9709221]

H. C. Kim, M. Praszalowicz and K. Goeke, "Magnetic moments of the SU(3) decuplet baryons in the chiral quark-soliton model,"  
Phys. Rev. D 57, 2859 (1998) [arXiv:hep-ph/9706531]

T. Watabe and K. Goeke, "Nucleon described by the chiral soliton in the chiral quark soliton model,"  
Nucl. Phys. A 629, 152C (1998) [arXiv:hep-ph/9706461]

D. Diakonov, V. Petrov and M. V. Polyakov, "Exotic anti-decuplet of baryons: Prediction from chiral solitons,"  
Z. Phys. A 359, 305 (1997) [arXiv:hep-ph/9703373]

M. Praszalowicz, T. Watabe and K. Goeke, "Quantization ambiguities of the SU(3) soliton,"  
Nucl. Phys. A 647, 49 (1999) [arXiv:hep-ph/9806431]

A. Silva, D. Urbano, T. Watabe, M. Fiolhais and K. Goeke, "The electroproduction of the Delta(1232) in the chiral quark-soliton model,"  
Nucl. Phys. A 675, 637 (2000) [arXiv:hep-ph/9905326]

A. Silva, H. C. Kim and K. Goeke, "Strange form factors in the context of SAMPLE, HAPPEX, and A4 experiments,"  
Phys. Rev. D 65, 014016 (2002) [Erratum-ibid. D 66, 039902 (2002)] [arXiv:hep-ph/0107185]

A. Silva, H. C. Kim and K. Goeke, "Strange vector form factors in the context of the SAMPLE, A4, HAPPEX and G0 experiments,"  
Nucl. Phys. A 721, 417 (2003) [arXiv:hep-ph/0211439]

A. Silva, H. C. Kim and K. Goeke, "Strange and singlet form factors of the nucleon: Predictions for G0, A4, and HAPPEX-II experiments,"  
arXiv:hep-ph/0210189

- P. Schweitzer, “Extraction of the pion nucleon sigma-term  $\sigma(\pi N)$  from the spectrum of exotic baryons,”  
Eur. Phys. J. A in press [arXiv:hep-ph/0312376]
- M. V. Polyakov and A. Rathke, “On photoexcitation of baryon antidecuplet,”  
Eur. Phys. J. A **18**, 691 (2003) [arXiv:hep-ph/0303138]
- V. Guzey, “Production of  $\Theta^+$  in  $\gamma + D \rightarrow \Lambda + \Theta^+$  and  $\gamma + D \rightarrow \Sigma + \Theta^+$  reactions,”  
Phys. Rev. C **69**, 065203 (2004) [arXiv:hep-ph/0402060]
- G. Penner and U. Mosel, Pion induced results and hadronic parameters,  
Phys.Rev.C66:055211,2002. [nucl-th/0207066]
- G. Penner and U. Mosel, Photon induced results,  
Phys.Rev.C66:055212,2002. [nucl-th/0207069]
- J. Lehr and U. Mosel, In-medium broadening of nucleon resonances,  
Phys.Rev.C64:042202,2001. [nucl-th/0105054]
- J. Lehr and U. Mosel, Photon and electron induced particle production on nuclei.,  
Nucl.Phys.A699:324-327,2002. [nucl-th/0108018]
- J. Lehr, H. Lenske, S. Leupold, U. Mosel, Nuclear matter spectral functions by transport theory  
Phys.Rev.C64:042202,2001. [nucl-th/0105054], Nucl.Phys.A703:393-408,2002. [nucl-th/0108008]
- T. Falter, S. Leupold, U. Mosel, Nuclear shadowing at low photon energies,  
Phys.Rev.C64:024608,2001. [nucl-th/0102058]
- T. Falter and U. Mosel, Hadron formation in high-energy photonuclear reactions,  
Phys.Rev.C66:024608,2002. [nucl-th/0203052]
- T. Falter, K. Gallmeister, U. Mosel, Incoherent  $\rho^0$  electroproduction off nuclei,  
Phys.Rev.C67:054606,2003,Erratum-ibid.C68: 019903,2003. [nucl-th/0212107]
- H. W. Grieffhammer und G. Rupak, Nucleon Polarisabilities from Compton Scattering on the Deuteron,  
Phys. Lett. **B529** (2002) 57 [nucl-th/0012096]
- B. Borasoy und H. W. Grieffhammer: Pion Deuteron Scattering Length in Effective Field Theory,  
Int. J. Mod. Phys. **E12** (2003) 65 [nucl-th/0105048]
- H. W. Grieffhammer und Th. R. Hemmert: Dispersion Effects in Nucleon Polarisabilities,  
Phys. Rev. **C65** (2002) 045207 [nucl-th/0110006]
- P. F. Bedaque, G. Rupak, H. W. Grieffhammer und H.-W. Hammer: Low Energy Expansion in the Three Body System to All Orders and the Triton Channel,  
Nucl. Phys. **A714** (2003) 589 [nucl-th/0207034]
- R. P. Hildebrandt, H. W. Grieffhammer, T. R. Hemmert and B. Pasquini: Signatures of Chiral Dynamics in Low Energy Compton Scattering off the Nucleon,  
Eur. Phys. J. **A20** (2004), 293 [nucl-th/0307070]
- R. P. Hildebrandt, H. W. Grieffhammer and T. R. Hemmert: Spin Polarisabilities of the Nucleon from Polarised Low Energy Compton Scattering,  
Eur. Phys. J. **A20** (2004), 329 [nucl-th/0308054]
- R. P. Hildebrandt, H. W. Grieffhammer, T. R. Hemmert and D. R. Phillips: Explicit  $\Delta(1232)$  Degrees of Freedom in Deuteron Compton Scattering off the Deuteron, [nucl-th/0405077].  
Submitted to Nucl. Phys. A.
- J. Kuckei, F. Montani, H. Mütter, A. Sedrakian, The structure of nuclear systems derived from low momentum nucleon- nucleon potentials,  
Nucl. Phys. **A 723** (2003) 32
- D. Knödler, H. Mütter, Final state interaction in exclusive (e,e'NN) reactions  
Phys. Rev. **C 63** (2001) 044602
- H. Mütter, A. Polls, Two-body correlations in nuclear systems  
Progr. Part. Nucl. Phys. **45** (2000) 243

- D. Knödler, H. Mütter, P. Czerski, Nucleon-nucleon correlations and two-nucleon currents in exclusive (e,e'NN) reactions  
 Phys. Rev. **C 61** (2000) 064603
- C. Giusti, H. Mütter, F.D. Pacati, M. Stauf, Short-range and tensor correlations in the  $^{16}\text{O}(e,e'pn)$  reaction,  
 Phys. Rev. **C 60** (1999) 054608
- M.K. Gaidarov, K.A. Pavlova, S.S. Dimitrova, M.V. Stoitsov, A.N. Antonov, D. Van Neck, H. Mütter, Correlation effects in single-particle overlap functions and one- nucleon removal reactions,  
 Phys. Rev. **C 60** (1999) 024312
- C. Giusti, F.D. Pacati, K. Allart, W.J.W. Geurts, W.H. Dickhoff, H. Mütter, Selectivity of the  $^{16}\text{O}(e,e'pp)$  reaction to discrete final states,  
 Phys. Rev. **C 57** (1998) 1691
- K. Amir-Azimi-Nili, J.M. Udias, H. Mütter, L.D. Skouras, A. Polls, Correlations and the cross section of exclusive (e,e'p) reactions for  $^{16}\text{O}$   
 Nucl. Phys. **A 625** (1997) 633
- A. Polls, M. Radici, S. Boffi, W.H. Dickhoff, H. Mütter, High-momentum proton removal from  $^{16}\text{O}$  and the (e,e'p) cross section  
 Phys. Rev. **C 55** (1997) 810
- D. Brommel, P. Crompton, C. Gatttringer, L. Y. Glozman, C. B. Lang, S. Schaefer and A. Schafer [Bern-Graz-Regensburg Collaboration], "Excited nucleons with chirally improved fermions,"  
 Phys. Rev. D **69** (2004) 094513 [arXiv:hep-ph/0307073]
- A. W. Thomas und W. Weise, The Structure of the Nucleon,  
 Wiley-VCH Verlag, Berlin, 2001
- J. Edelmann, N. Kaiser, G. Piller, and W. Weise, Nucleon polarizabilities for virtual photons,  
 Nucl. Phys. **A 641** (1998) 119
- V. Bernard, N. Kaiser, and U.-G. Meißner, The pion charge radius from charged pion electroproduction,  
 Phys. Rev. **C 62** (2000) 028201
- B. Borasoy, Photoproduction of eta and eta-prime mesons off nucleons close to threshold,  
 Eur. Phys. J. **A 9** (2000) 95
- J. Caro Ramon, N. Kaiser, W. Weise, and S. Wetzel,  $SU(3)$  chiral dynamics with coupled channels,  
 Nucl. Phys. **A 672** (2000) 249
- S.D. Bass, S. Wetzel, and W. Weise, Axial  $U(1)$  dynamics in  $\eta$  and  $\eta$ -prime photoproduction,  
 Nucl. Phys. **A 686** (2001) 429
- V. Bernard, N. Kaiser, and U.-G. Meißner, Aspects of near threshold neutral pion photoproduction off protons,  
 Eur. Phys. J. **A 11** (2001) 209
- E. Marco and W. Weise, Photoproduction of quasibound  $\omega$  mesons in nuclei,  
 Phys. Lett. **B 502** (2001) 59
- V. Bernard, N. Kaiser, and U.-G. Meißner, Novel analysis of chiral loop effects in the generalized Gerasimov-Drell-Hearn sum rule,  
 Phys. Lett. **B 545** (2002) 105
- B. Borasoy, E. Marco, and S. Wetzel,  $\eta, \eta'$  photoproduction and electroproduction off nucleons,  
 Phys. Rev. **C 66** (2002) 055208
- V. Bernard, T.R. Hemmert, and U.-G. Meißner, Spin structure of the nucleon at low energies,  
 Phys. Rev. **D 67** (2003) 076008
- E. Epelbaum, W. Glöckle and U.-G. Meißner, Nuclear forces from chiral Lagrangians using the method of unitary transformation. II: The two-nucleon system,  
 Nucl. Phys. A **671** (2000) 295 [arXiv:nucl-th/9910064]
- V. Bernard, H. Krebs and U.-G. Meißner, On neutral pion electroproduction off deuterium,  
 Phys. Rev. C **61** (2000) 058201 [arXiv:nucl-th/9912033]

- H. Krebs, V. Bernard and U.-G. Meißner, Near threshold neutral pion electroproduction on deuterium in chiral perturbation theory, Nucl. Phys. A **713** (2003) 405 [arXiv:nucl-th/0207072].
- B.C. Metsch, Instanton effects in hadron spectroscopy, Nucl. Phys. **A675** (2000) 161c.
- M. Koll, R. Ricken, D. Merten, B. Metsch, H. Petry, A relativistic quark model for mesons with an instanton-induced interaction, Eur. Phys. J. **A 9** (2000) 73.
- R. Ricken, M. Koll, D. Merten, B. Metsch, H. Petry, The meson spectrum in a covariant quark model, Eur. Phys. J. **A 9** (2000) 221.
- U. Löring, K. Kretzschmar, B. Ch. Metsch, H.R. Petry, Relativistic quark models of baryons with instantaneous forces: theoretical background, Eur. Phys. J. **A 10** (2001) 309-346
- U. Löring, B.Ch. Metsch, H.R. Petry, The light baryon spectrum in a relativistic quark model with instanton induced quark forces: the nonstrange baryon spectrum and ground states, Eur. Phys. J. **A 10** (2001) 395-446.
- U. Löring, B.Ch. Metsch, H.R. Petry, The light baryon spectrum in a relativistic quark model with instanton induced quark forces: the strange baryon spectrum, Eur. Phys. J. **A 10** (2001) 447-486
- Dirk Merten, Ralf Ricken, Matthias Koll, Bernard Metsch, Herbert Petry, Instanton effects in meson spectroscopy, Czech. J. Phys. **51SB** (2001) 152
- U. Löring, K. Kretzschmar, D.Merten, B. Metsch, H.-R. Petry, Electroweak form factors of nonstrange baryons, Eur. Phys. J. **A 14** (2002) 477-489
- D. Merten, R. Ricken, M. Koll, B. Metsch, H. Petry, Weak decays of heavy mesons in a covariant quark model, Eur.Phys.J. **A 13** (2002) 477-491
- R. Ricken, M. Koll, D. Merten, Strong two-body decays of light mesons, Eur. Phys. J. **A 18** (2003) 667–689.
- Tim Van Cauteren, Dirk Merten, Tamara Corthals, Stijn Janssen, Bernard Metsch, Herbert R. Petry, Jan Ryckebusch, Electric and magnetic form-factors of strange baryons, Eur. Phys. J. **A 20** (2004) 283–291.