

Abbildung 20: Eine schematische Darstellung des Bildungsprozesses für „Pentaquarks“.

HERMES Experiment

Beteiligte Institute: NIKHEF und Vrije Universiteit Amsterdam, Univ. of Michigan Ann Arbor, ANL Argonne, Univ. und INFN Bari, Beijing Univ., Univ. of Colorado Boulder, Simon Fraser Univ. Burnaby, MIT Cambridge, JINR Dubna, Univ. of Alberta Edmonton, Univ. Erlangen-Nürnberg, Univ. und INFN Ferrara, INFN Frascati, Univ. Gent, Univ. Gießen, Univ. Glasgow, DESY Hamburg, Univ. Sci. Technol. Hefei, P. N. Lebedev Inst. Moscow, IHEP Protvino, Univ. Regensburg, INFN und Ist. Sup. Sanità Rome, St. Petersburg Nucl. Phys. Inst., Tokyo Inst. Technol., Univ. of Illinois Urbana-Champaign, TRIUMF Vancouver, Andrzej Soltan Inst. Warsaw, Yerevan Phys. Inst., DESY Zeuthen

Sprecherin: E.C. Aschenauer, DESY

Trotz der langwierigen Inbetriebnahme von HERA konnte HERMES bereits erfolgreich in 2002 und 2003 Daten mit einem transversal polarisierten Wasserstofftarget nehmen (Abb. 21). Diese Daten ermöglichten zum ersten Mal überhaupt, die semi-inklusiven azimuthalen Wirkungsquerschnitts-Asymmetrien von Pionen zu extrahieren, ein entscheidender Schritt auf dem Weg zur Messung der Verteilungsfunktionen von transversal polarisierten Quarks im Proton. Dies soll auch für das Jahr 2004 der Schwerpunkt der HERMES-Datennahme sein.

Ein weiterer Schwerpunkt in der Datenanalyse war die Fortführung der Untersuchung von exklusiven Prozessen. Sie erlauben, wie bereits in vorherigen Jahresberichten beschrieben, die Bestimmung der verallgemeinerten Partonverteilungsfunktionen (GPD). Um ein vollständiges Bild zu erhalten, ist es wichtig, GPDs auch am Neutron zu studieren. HERMES hat dafür die Produktion von realen Photonen (Tiefvirtuelle Compton Streuung) nicht nur an einem Protonentarget sondern auch an einem Deuteriumtarget untersucht. Um exklusive Prozesse noch genauer studieren zu können, soll das HERMES-Spektrometer durch einen Detektor zum Nachweis und zur Identifizierung der langsamen Rückstoßprotonen erweitert werden. Es werden Details zur Spurerkennung und Teilchenidentifikation von minimal-ionisierenden Teilchen mit einem Detektor aus szintillierenden Fasern beschrieben.

Die überraschende Entdeckung eines neuen Bindungszustand von Quarks, bestehend aus 5 Quarks, durch das LEPS Experiment bei SPring-8, konnte auch vom HERMES-Experiment mit einer Signifikanz von 4 Standardabweichungen bestätigt werden. Dafür suchte man bei HERMES in den in

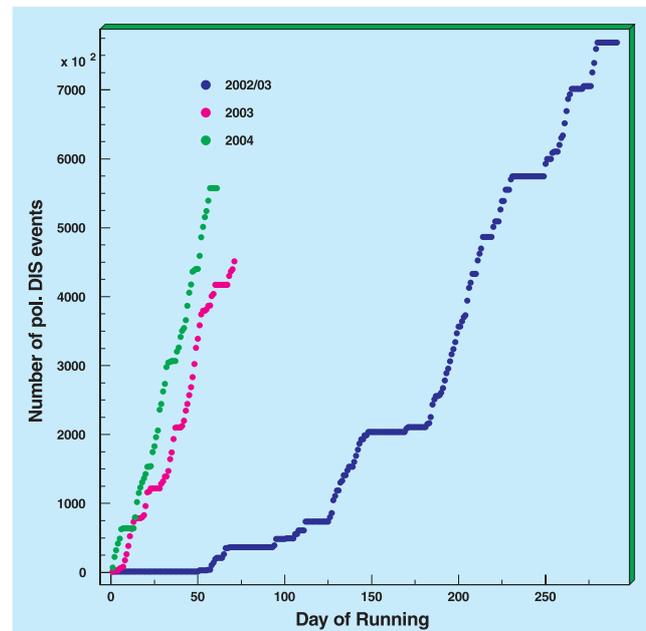


Abbildung 21: Von HERMES aufgenommene polarisierte tiefinelastische Streueignisse seit dem Beginn von HERA-II.

RUN-I aufgenommenen Deuteriumdaten nach Ereignissen mit einem Proton und einem neutralen Kaon, die zusammen eine Masse von 1530 MeV ergeben.

Physikalische Ergebnisse

Polarisiertes Target

Transversity und Siversfunktion

Die Untersuchung der Spinstruktur der Nukleonen ist die wichtigste Aufgabe des HERMES-Experiments. Nachdem HERMES während seiner ersten Datennahmepériode Streuereignisse an einem longitudinal polarisierten Target gemessen und daraus weltweit einzigartig die einzelnen Beiträge der verschiedenen Quarksorten zum Gesamtdrehimpuls des Nukleons extrahiert hat, nimmt HERMES seit 2002 Daten mit einem transversal, d. h. senkrecht zur Strahlrichtung polarisierten Wasserstofftarget. Dies ermöglicht die Messung der letzten in führender Ordnung verbleibenden Quarkverteilung im Proton, der „Transversity“ Verteilung.

Die komplette Beschreibung der Struktur des Nukleons in der Theorie der starken Wechselwirkung verlangt nach drei fundamentalen Quarkverteilungen: der unpolarisierten Quarkverteilung, die z. B. mit höchster Präzision an den HERA-Schwesterexperimenten ZEUS und H1 gemessen wurde, der Helizitätsverteilung, die – wie oben schon angesprochen – Hauptergebnis der ersten HERMES-Datennahme war, und der Transversity Verteilung. Diese beschreibt die Differenz der Wahrscheinlichkeitsdichten der Quarks mit Spin in der gleichen bzw. entgegengesetzten Richtung zum Spin des Nukleons, wobei das Nukleon transversal, d. h. senkrecht zu seiner Bewegungsachse, polarisiert ist. Dies ist der wesentliche Unterschied zur Helizitätsverteilung, bei der das Nukleon entlang der Bewegungsrichtung polarisiert ist.

In Abwesenheit von relativistischen Einflüssen stimmen die Helizitätsverteilung und die Transversity Verteilung überein. Ein Unterschied in den beiden Verteilungen ist daher ein Maß dessen, wie stark relativistische Effekte bei der Beschreibung der Nukleonstruktur berücksichtigt werden müssen. Außerdem

gibt es ein Teilgebiet der theoretischen Physik, das sich intensiv mit der Berechnung von Quarkverteilungen beschäftigt. Die Transversity Verteilung sollte mit den Methoden der Gittertheorie sehr zuverlässig berechnet werden können. Eine experimentelle Überprüfung von deren Ergebnissen ist daher von immenser Bedeutung.

Die Verwendung eines transversal polarisierten Targets ermöglicht es aber auch, noch andere Effekte zu studieren. Eine Erweiterung der klassischen Beschreibung der Nukleonstruktur beinhaltet die Berücksichtigung des transversalen Impulses der Quarks. Dies erlaubt die Einführung einer neuen Klasse von Verteilungsfunktionen: die Verteilungen hängen nicht mehr nur vom Impulsbruchteil x ab, sondern auch vom transversalen Impuls p_{\perp} der Quarks. Integriert man über den transversalen Impuls, fallen diese Beiträge zum Streuquerschnitt wieder heraus, es verschwindet ja auch der Gesamtbetrag des transversalen Impulses. Übrig bleiben dann wieder die drei oben aufgezählten Verteilungen.

Eine besonders interessante p_{\perp} -abhängige Verteilung ist die Siversfunktion. Sie beschreibt die Verteilung unpolarisierter Quarks in einem transversal polarisierten Nukleon. Das Interesse an ihr ist sehr groß, zum einen weil mit ihr viele bisher unerklärte experimentelle Ergebnisse von Hadron-Hadron-Kollisionen verstanden werden könnten, zum anderen aber auch wegen ihres Verhaltens unter Zeitumkehr. Die Theorie der starken Wechselwirkung ist eigentlich gerade unter Zeitumkehr, trotzdem verhält sich die Siversfunktion wie eine ungerade Funktion, d. h. sie wechselt ihr Vorzeichen. Dieses seltsame Verhalten hielt man bis vor kurzem eigentlich für ausgeschlossen. Neue Erkenntnisse lassen jedoch so etwas in der Theorie nun zu. Es wäre daher sehr interessant zu sehen, ob es nur Gedankenspiele sind, oder ob die Siversfunktion wirklich existiert. Ein Nebengedanke dazu ist, dass die Siversfunktion nur in Zusammenhang mit einem nicht verschwindenden Bahndrehimpuls der Quarks im Nukleon existieren kann, das heißt eventuell erhält man durch die Siversfunktion Hinweise zur Lösung eines verbleibenden Rätsels der Spinstruktur des Nukleons. Bisher kann der Gesamtdrehimpuls des Nukleons nicht allein durch den Spin der Quarks erklärt werden. Andere Beiträge, z. B. vom Bahndrehimpuls der Quarks, müssen noch gemessen werden.

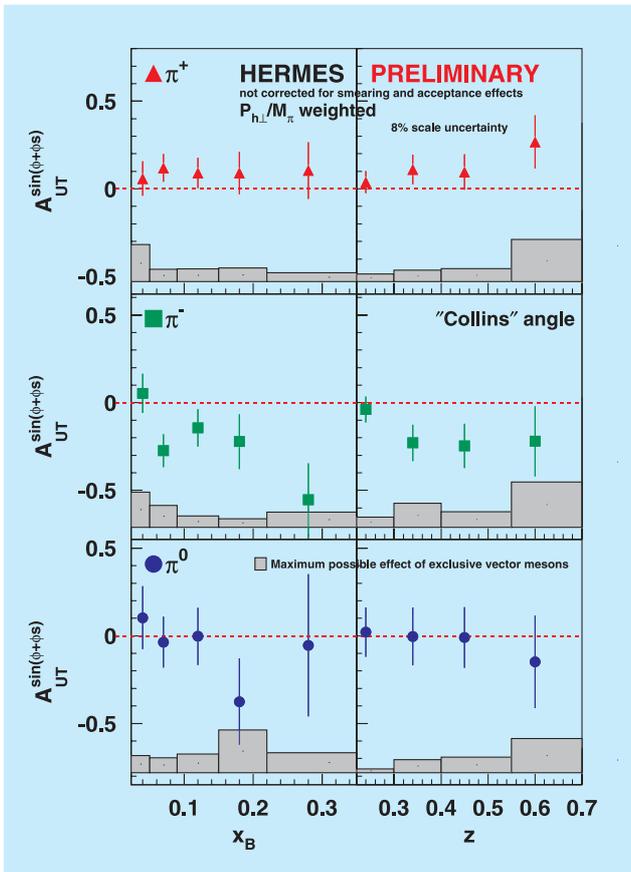


Abbildung 22: Vorläufige HERMES-Ergebnisse zu semi-inklusiven azimuthalen Wirkungsquerschnitts-Asymmetrien von Pionen an einem transversal polarisierten Wasserstofftarget. Gezeigt sind die Asymmetrien im so genannten Collinswinkel, welche proportional zur Transversity Verteilung sind.

Eine Gemeinsamkeit in der Messung der Transversity Verteilung und der Siversfunktion ist die Anforderung, semi-inklusive Streuereignisse zu messen. Im Gegensatz zu inklusiven Messungen, bei denen nur das gestreute Lepton nachgewiesen werden muss, benötigt man bei semi-inklusiven Ereignissen auch noch den zusätzlichen Nachweis von Hadronen aus dem Fragmentationsprozess. Durch das Umdrehen der Spinrichtung des Nukleons kann eine Asymmetrie in der Zählrate dieser Ereignisse gebildet werden, wobei diese Asymmetrie von den azimuthalen Winkeln des untersuchten Hadrons und des Spinvektors mit der Streuebene abhängt. Da die obigen Verteilungen unterschiedliche Winkelabhängigkeiten aufweisen, kann

man sie gleichzeitig mit demselben Datensatz untersuchen.

In Abbildung 22 sieht man die weltweit ersten durch die Transversity Verteilung verursachten Asymmetrien für geladene sowie neutrale Pionen von einem transversal polarisierten Protontarget. Dargestellt sind sie als Funktion von x_B und als Funktion von z , dem Impulsbruchteil des virtuellen Photons, welchen das nachgewiesene Hadron trägt. Auffällig ist die große negative Asymmetrie für negativ geladene Pionen. Dies kommt etwas überraschend, vor allem, wenn man ein ähnliches Verhalten wie das der Asymmetrien an einem longitudinal polarisierten Target erwartet hatte. Da bei diesen Asymmetrien noch nicht gemessene Fragmentationsfunktionen eine Rolle spielen, die bei den longitudinalen Asymmetrien nicht vorkamen, kann man aus diesem Ergebnis

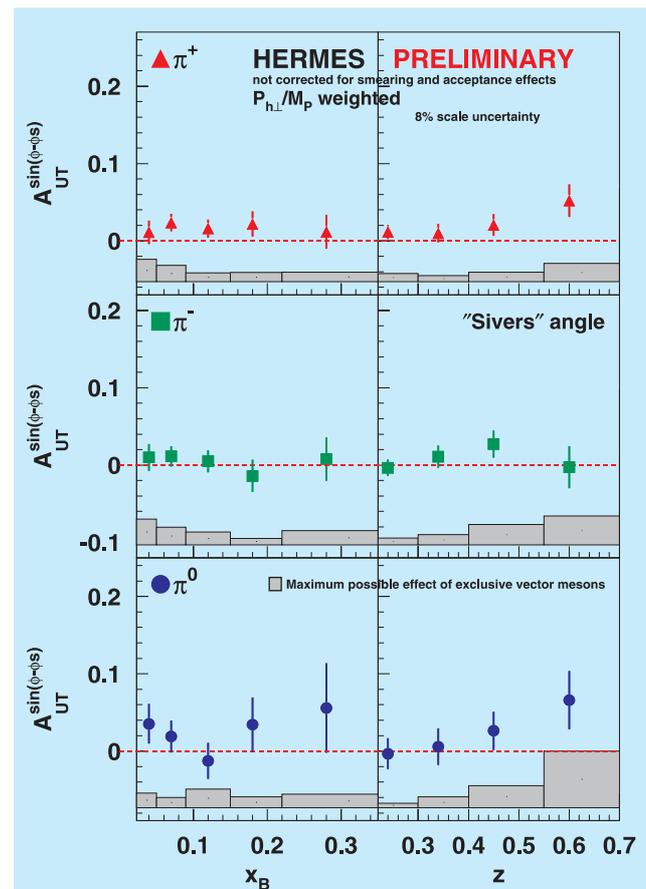


Abbildung 23: Vorläufige HERMES-Ergebnisse zu den Siversasymmetrien für Pionen von einem transversal polarisierten Wasserstofftarget.

eventuell Rückschlüsse auf deren Verhalten ableiten. Jedoch ist die statistische Signifikanz der Ergebnisse zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht gut genug, um konkrete Aussagen zu machen. Auch der systematische Fehler ist noch recht groß. Dieser stammt vor allem von Untergrundereignissen, die durch die begrenzte Akzeptanz des Detektors nicht eindeutig identifiziert werden können.

Abbildung 23 zeigt die gemessenen Sivers-Asymmetrien. Auch hier ist die Messung noch durch die geringe Statistik begrenzt. Jedoch gibt es, zumindest für positiv geladene Pionen, einen Trend zu positiven Asymmetrien. Dies wäre der erste Nachweis von Verteilungsfunktionen, die ungerade unter Zeitumkehr sind.

Diese ersten Ergebnisse, die aus Daten von einem für HERA schwierigen Jahr stammen, sind erst der Anfang des Programms mit einem transversal polarisierten Target. Die zusätzlichen Daten, die zur Zeit genommen werden, verbessern die statistische Signifikanz der Ergebnisse, so dass konkretere Aussagen über die Transversity Verteilung gemacht werden können. Außerdem wird sich zeigen, ob es wirklich eine von Null verschiedene Siversfunktion gibt.

Unpolarisierte Targets

Tiefvirtuelle Compton-Streuung an Kernen

Schnelle Elektronen strahlen beim Durchgang durch Materie hochenergetische Lichtquanten ab. Dieser Prozess ist als Bremsstrahlung bekannt und wird im Wesentlichen durch die Abbremsung der Elektronen im elektromagnetischen Feld der Atomkerne erzeugt (Bethe-Heitler-Prozess).

Bei sehr hohen Elektronenergien kann ein vollkommen anderer Prozess, nämlich Tiefvirtuelle Compton-Streuung (DVCS), zum selben Endzustand führen. Das Lichtquant wird hierbei aber nicht vom Elektron, sondern von einem Quark im Inneren des Kerns emittiert.

In beiden Fällen kann der Kern im Grundzustand verbleiben, in einen angeregten Zustand übergehen oder in verschiedene Fragmente zerplatzen. Die dominanten Reaktionen sind jedoch der kohärente, elastische Stoß am Kern als Ganzes oder der inkohärente, quasi-

elastische Stoß an einem seiner Nukleonen, das heißt Protonen oder Neutronen.

Für die typische Reaktionskinematik bei HERMES ist normale Bremsstrahlung deutlich wahrscheinlicher als DVCS, es kommt aber zu einer quantenmechanischen Interferenz der Prozesse. Auf diese Weise sind die beobachteten Effekte viel größer, als die reine Reaktionswahrscheinlichkeit für DVCS erwarten ließe. Insbesondere können in der Reaktionsrate Asymmetrien beobachtet werden, die von der Ladung des Strahlteilchens, das heißt Elektron oder Positron, oder der Spinausrichtung von Strahlteilchen und Kern abhängen, wobei der jeweils andere Reaktionspartner unpolarisiert ist. Solche Asymmetrien sind durch Bremsstrahlung allein nicht erklärbar und deshalb ein eindeutiges Indiz für neue und interessante Physik.

Seit einigen Jahren existiert der benötigte Formalismus im Rahmen der Quantenfeldtheorie, um den DVCS-Anteil auf der Grundlage von so genannten Generalisierten Parton-Verteilungen (GPDs) beschreiben zu können. Für Kerne mit Spin 0 (z. B. Neon) wird nur eine GPD benötigt, für Spin $\frac{1}{2}$ (z. B. Proton) gibt es 4 GPDs, für Kerne mit Spin 1 (z. B. Deuterium) sind es bereits 9. Die Kenntnis der GPDs ermöglicht unter anderem die Bestimmung des Bahndrehimpulsanteils der Quarks innerhalb des Atomkerns. Mit Hilfe der GPDs ist es auch möglich, die Oberflächenspannung oder einen Druck im Inneren des Kerns anzugeben.

HERMES ist im Augenblick das weltweit einzige Experiment, das DVCS an anderen Atomkernen als Wasserstoff untersucht. Dabei wurden als Targetgase bisher Wasserstoff, Deuterium, Helium, Stickstoff, Neon und Krypton verwendet. Die Reaktionsraten sind sehr gering; innerhalb der geometrischen und kinematischen Akzeptanz des HERMES-Detektors wird nur etwa eines von 1000 Streueignissen mit tiefunelastischer Leptonkinematik durch DVCS in Interferenz mit Bremsstrahlung hervorgerufen.

Die Dominanz der Bremsstrahlung hat zur Folge, dass die Reaktionsrate nicht wie bei tiefunelastischen Ereignissen einfach mit der Anzahl der Nukleonen im Kern skaliert. Das wird deutlich, wenn man die Reaktionsrate auf eine gleiche Anzahl von tiefunelastischen Ereignissen normiert und gegen eine geeignete kinematische Variable aufträgt. In Abbildung 24 wurde die Variable $|t|$ verwendet, wobei t das Vierer-Impulsübertragsquadrat

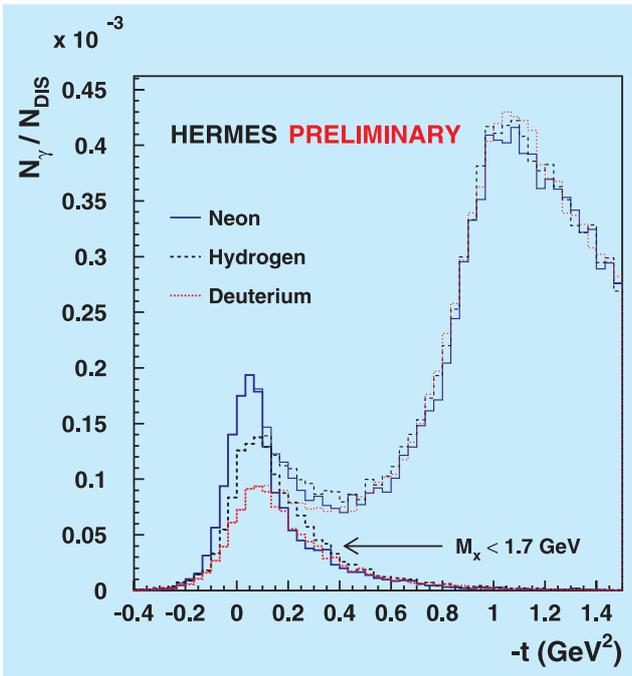


Abbildung 24: Ereignis-Verteilungen in t für H, D und Ne normiert auf die Rate tiefinelastischer Ereignisse.

zwischen ruhendem und gestreutem Kern angibt. Die Ergebnisse für Wasserstoff, Deuterium und Neon sind separat eingezeichnet. Nachdem im exklusiven Prozess für Wasserstoff nur ein Proton nicht nachgewiesen wird, muss die fehlende invariante Masse M_x , die man aus der Lepton- und Photonkinematik erhält, etwa der Protonmasse entsprechen. Deshalb ist es sinnvoll, z. B. $M_x < 1.7 \text{ GeV}$ zu fordern. Dasselbe gilt für den quasielastischen Prozess in anderen Kernen; der ununterscheidbare elastische Prozess an Kernen wird durch diesen Schnitt ebenfalls selektiert, obwohl dafür eigentlich in der Berechnung die Kernmasse eingesetzt werden müsste. Man sieht den Effekt des Schnittes auf den Untergrund (rechts im Bild) und den exklusiven Prozess, der im Bereich kleiner $|t|$ als Erhöhung der Rate N_γ sichtbar ist.

Für Deuterium ist N_γ/N_{DIS} relativ zum Wasserstoff abgesenkt, weil zwar die Raten tiefinelastischer Ereignisse am Neutron und am Proton in der gleichen Größenordnung liegen, aber nur das Proton signifikant zur Bremsstrahlung beiträgt. Für Neon ist das Verhältnis von Neutronen zu Protonen wie beim Deuterium 1 : 1, womit auch N_{DIS} etwa gleich groß ist. Hier dominiert

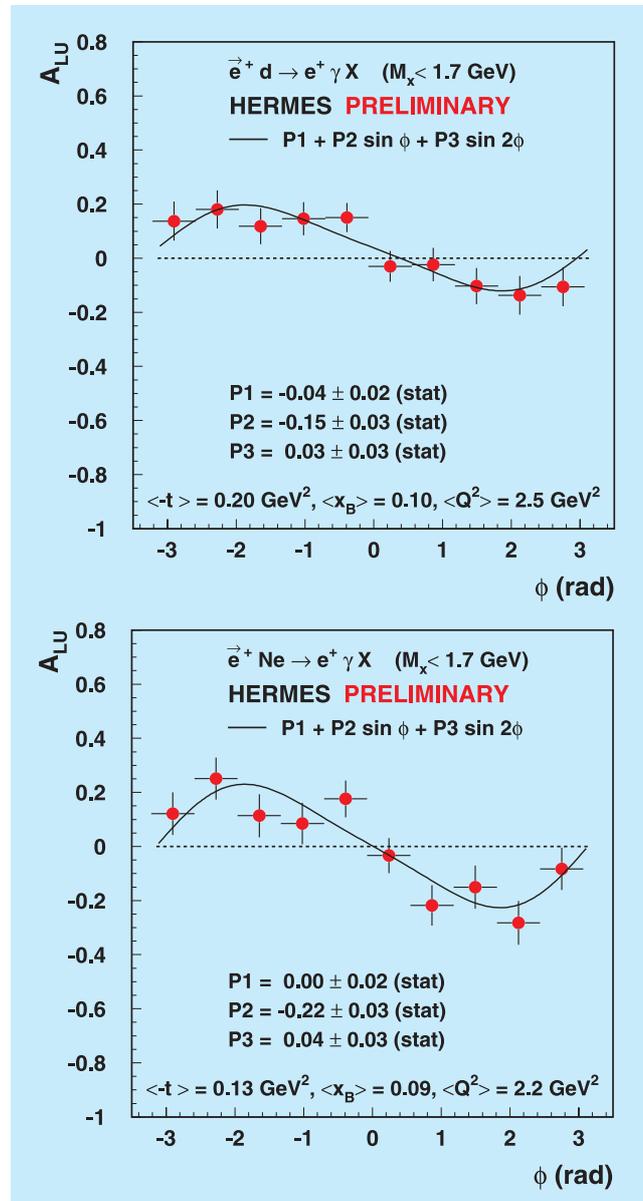


Abbildung 25: Strahlhelizitätsasymmetrie A_{LU} mit longitudinal polarisiertem Strahl und unpolarisiertem Targetgas für Deuterium (oben) und Neon (unten), aufgetragen gegen den Winkel ϕ .

aber bei kleinen Werten von $|t|$ der elastische kohärente Prozess, der für Kerne mit Ladungszahl Z und elektrischem Formfaktor G_E etwa wie

$$N_\gamma \sim Z^2 G_E^2(t)$$

skaliert.

Für die genannten drei Targetgase wurde eine Asymmetrie bezüglich des Winkels ϕ zwischen Leptonstreuungsebene und Photonproduktionsebene gefunden, die ihr Vorzeichen wechselt, wenn die longitudinale Strahlpolarisation P das Vorzeichen wechselt. Die Asymmetrie A_{LU} wird dann aus den Raten N^+ und N^- für Ereignisse mit exklusiver Kinematik und positiver bzw. negativer Strahlhelizität berechnet, wobei das Targetgas unpolarisiert ist:

$$A_{LU}(\phi) = \frac{1}{\langle |P| \rangle} \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-}.$$

Die Asymmetrie A_{LU} für Deuterium und Neon ist in Abbildung 25 gegen den Winkel ϕ aufgetragen. Die theoretischen Vorhersagen für diese Asymmetrie sind relativ unempfindlich auf das konkrete GPD-Modell. In führender Ordnung wird ein Sinus-Verhalten vorhergesagt, was experimentell gut bestätigt wird. Da beim Neon der kohärente, elastische Prozess dominiert, der inkohärente Beitrag aber etwa die Asymmetrie des Deuteriums hat, wurde somit erstmals kohärente Tiefvirtuelle Compton-Streuung an einem größeren Atomkern beobachtet.

Die Suche nach Pentaquarks

Nach dreißig Jahren intensiver Suche haben Wissenschaftler an verschiedenen Experimenten Hinweise für eine neue exotische Form von Materie gefunden – ein aus fünf Quarks bestehendes Teilchen, das sie dementsprechend „Pentaquark“ genannt haben. Die Teilchen, die bis dahin bekannt waren, bestehen entweder aus Mesonen, welche ein Quark und ein Anti-Quark enthalten, oder aus Baryonen, welche aus drei Quarks (oder Anti-Quarks) aufgebaut sind. Entsprechend der anerkannten Theorie der Teilchenphysik, dem so genannten Standardmodell, wäre die Existenz eines Quintetts aus Quarks nicht verboten. In den letzten sechs Monaten haben Physiker in Japan, Russland, den Vereinigten Staaten und Europa Hinweise für die Existenz eines Teilchens, das aus zwei up-Quarks, zwei down-Quarks und einem strange-Anti-Quark besteht, gefunden.

Der erste experimentelle Hinweis kam aus dem Forschungszentrum SPring-8 in Japan, wo die LEPS Kollaboration ein Teilchen beobachtet hatte, das eine Masse von 1540 ± 10 (syst) MeV hatte. Eine experimentelle Bestätigung dieses neuen Teilchens erfolgte dann ziemlich rasch von mehreren Gruppen, von denen jede

eine schmale Resonanz im nK^+ oder im pK_S^0 invarianten Massenspektrum bei ungefähr 1540 MeV gefunden hatte. Bemerkenswert dabei war, dass all diese Resultate, nämlich die Masse und die enge Breite der Massenverteilung – weniger als 25 MeV – in guter Übereinstimmung mit theoretischen Vorhersagen einer Gruppe von Physikern am St. Petersburger Institut für Kernphysik waren.

Einer der neuesten Hinweise für die Existenz des Pentaquarks kommt vom HERMES-Experiment, wo hochenergetische Positronen an einem Deuteriumtarget gestreut werden. Die Reaktionsprodukte wurden im HERMES-Spektrometer nachgewiesen und dann analysiert. Bei der Analyse konzentrierte man sich speziell auf Kombinationen von neutralen Kaonen, K^0 -Mesonen, die ein strange-Quark und ein down-Quark enthalten, und Protonen. Dabei wurde das Spektrum der Abbildung 26 gefunden, das auch eine Anhäufung bei einer Masse von 1528 ± 2.6 (stat) ± 2.1 (syst) MeV zeigt.

Im Vergleich zu den anderen Experimenten hatte die HERMES-Kollaboration ihre Messungen bei bedeutend höheren Einfallenergien durchgeführt. Dies hat zur Folge, dass bestimmte Komplikationen, die vom Produktionsmechanismus des Pentaquarks hervorrühren könnten, stark reduziert sind. Außerdem sind die gemessenen Spektren zum ersten Mal mit detaillierten Monte Carlo-Simulationen verglichen worden. Aus diesem Grund konnte die HERMES-Kollaboration mit großer Wahrscheinlichkeit nachweisen, dass der beobachtete Massenpeak nicht von einer Kombination von kinematischen Bedingungen, die normalerweise bei der Suche nach neuen Teilchen angewandt werden, verursacht worden ist. Im Weiteren konnten die Monte Carlo-Simulationen verifiziert werden, indem man künstliche Kombinationen von Kaonen und Protonen, die zu verschiedenen Ereignissen gehörten, untersuchte.

Die statistische Signifikanz des Pentaquark Signals wurde auch untersucht. Das HERMES Resultat hat eine Signifikanz zwischen 3 und 4 Standardabweichungen. Dies ist von der gleichen Größenordnung wie die Resultate, die von den anderen Experimenten berichtet worden sind. Wenn man die Masse, die von der HERMES-Kollaboration beobachtet wurde, mit den Massen, die von den anderen Experimenten berichtet wurden, vergleicht und zusammenfasst, findet man ein gewichtetes Mittel von 1536 ± 2.6 MeV.

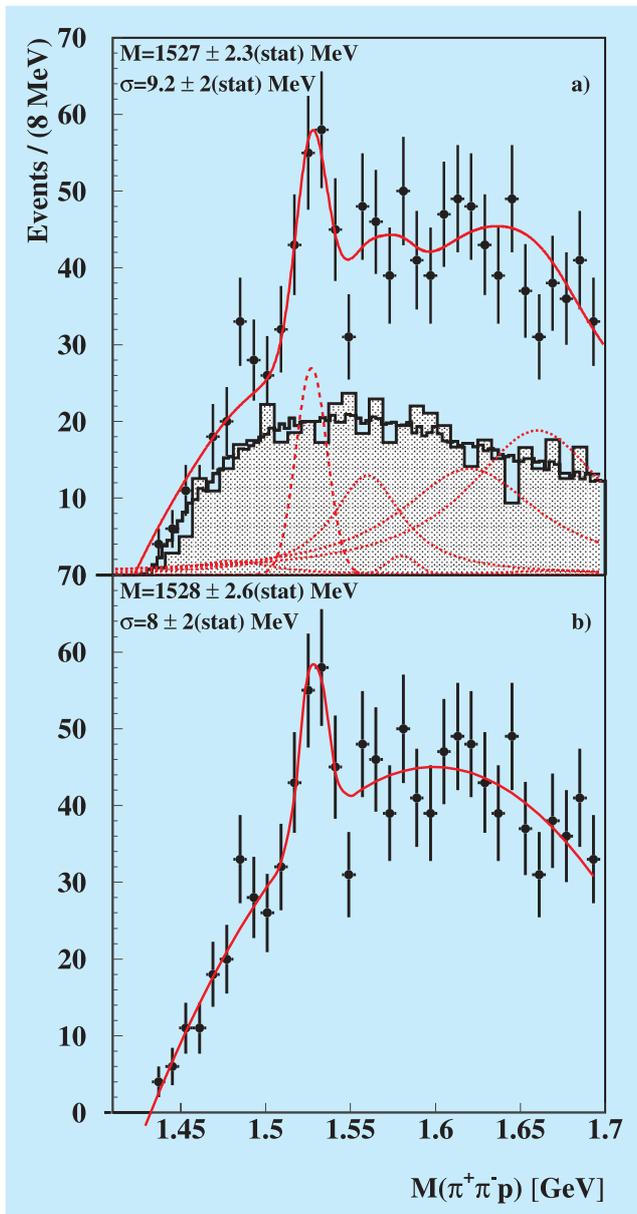


Abbildung 26: Spektrum für die Kaon-Proton Kombinationen, wie sie im HERMES-Experiment gefunden wurden. Der obere Teil zeigt das Resultat einer anspruchsvollen Analyse, in der der Untergrund als eine Kombination aus Monte Carlo-Simulation und mehreren Σ^* Resonanzen behandelt wird. Der untere Teil repräsentiert das Resultat einer konventionellen Analysetechnik, die bisher in den Analysen von allen anderen Experimenten angewandt worden ist.

Aufgrund der guten Energieauflösung des HERMES-Spektromters war es möglich, auch einen Wert für die natürliche Breite Γ des Teilchens zu extrahieren, nämlich $\Gamma = 17 \pm 9$ (stat) ± 3 (syst) MeV.

Um Information über den Isospin des neuen Teilchens zu erhalten hat die HERMES Kollaboration nach einem ähnlichen Signal in einem Spektrum, das aus positiven Kaonen und Protonen besteht, gesucht. Da kein Signal gefunden wurde schloss man daraus, dass ein doppelt geladenes Pentaquark (Θ^{++}) Teilchen bei etwa 1535 MeV nicht existiert. Daraus folgt, dass das Pentaquark nicht isotensoriell und sehr wahrscheinlich auch nicht isovectoriell ist und deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit isoscalar.

Seit dem ersten Hinweis auf die Existenz des Pentaquarks sind zahlreiche theoretische Publikationen erschienen, die die Eigenschaften dieses neuen exotischen Teilchens beschreiben wollen. Einige dieser Modelle können inzwischen ausgeschlossen werden. Es ist aber weiterhin noch nicht ganz klar, ob das beobachtete Pentaquark ein eng gebundener fünf-Quark Zustand, oder eher eine Art von Quark-Molekül ist, das aus einem Kaon und einem Nukleon besteht.

Um diese Frage und die allgemeinen Eigenschaften des Pentaquarks im Detail zu bestimmen, müssen speziell ausgerichtete Experimente durchgeführt werden, die über eine viel höhere Statistik verfügen. Außerdem muss man nach anderen exotischen fünf-Quark Teilchen suchen, die ebenfalls in vielen theoretischen Modellen auftauchen. Die HERMES-Kollaboration strebt beide Ziele an, indem sie zum einen die Triggereffizienz für den Nachweis von Kaon- und Proton-Kombinationen erhöht hat, und zum anderen die Akzeptanz für den Nachweis der Zerfallsteilchen von „Pentaquarks“ erheblich erhöht, wenn die „ Λ -Wheels“ voll funktionstüchtig sind.

Neue Detektorkomponenten

Die Lambda-Wheels

Die Lambda-Wheels bestehen aus zwei radförmigen Anordnungen aus Silizium-Streifendetektoren, die innerhalb des Vakuums des HERA Elektronenstrahls

etwa 50 cm hinter dem internen Target von HERMES montiert sind.

Die Lambda-Wheels vergrößern die Akzeptanz zur Erfassung langsamer Hadronenzerfälle aus verschiedenen semi-inkluisiven Reaktionskanälen um einen Faktor zwei bis vier. Außerdem wird die Präzision zur Bestimmung der Polarisation des Λ^0 Hyperons wesentlich erhöht, mögliche große systematische (falsche) Asymmetrien entfallen beim Einsatz der Lambda-Wheels.

Der Detektor besteht aus 12 Modulen und hat einen Außendurchmesser von etwa 33 cm. Jedes Modul hat zwei doppelseitige trapezförmige Zähler aus 6" Silizium Waferscheiben mit dazugehöriger Ausleseelektronik, basierend auf dem HELIX-2.2 Chip. Die Kühlung erfolgt durch einen geschlossenen Ethanol-Kreislauf, der seinerseits durch Peltier-Elemente gekühlt wird.

Im Jahr 2003 wurde der bereits vorher in der HERA Vakuumkammer installierte Detektor in Betrieb genommen. Eine vorläufige Positionskalibrierung mit Spurdaten ist gemacht worden. Abbildung 27 zeigt den Detektor nach seiner Installation.

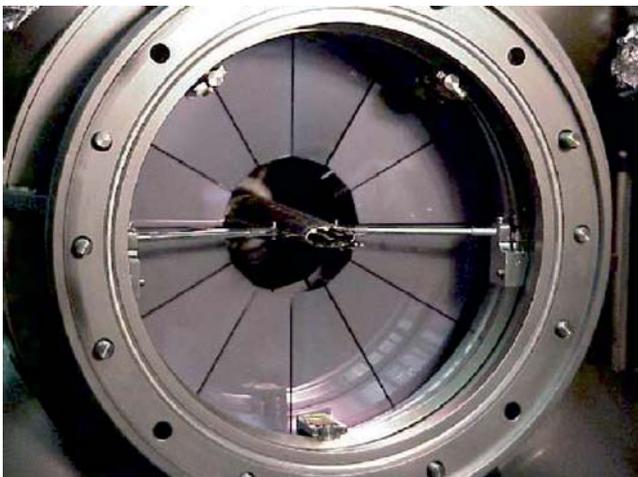


Abbildung 27: Die Lambda-Wheels bei HERMES. Das System besteht aus 12 trapezförmigen Silizium-Modulen, die jeweils zwei Zähler mit einer Dicke von 300 μm mit doppelseitiger Auslese haben. Das mechanische Gerüst und die Ausleseelektronik befinden sich an der äußeren Peripherie und befinden sich außerhalb der Akzeptanz des HERMES-Spektrometers. Das Photo zeigt den Detektor kurz nach seiner Installation.

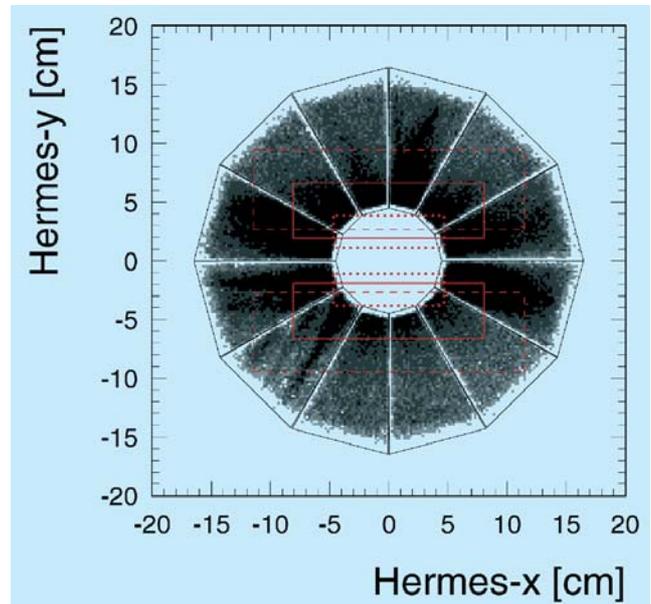


Abbildung 28: Position der Ereignistreffer, gemessen im Lambda-Wheel Detektor im Jahr 2003. Die Signalschwelle für diese Darstellung beträgt 30% des Signals eines minimal ionisierenden Teilchens (d. h. 0.3 MIP). Die Rechtecke markieren die Akzeptanz des HERMES-Spektrometers, gesehen jeweils vom vorderen Ende (punktiert), vom Zentrum (durchgezogen), und vom hinteren Ende (gestrichelt) des Speicherzellen-Targets.

Die von den Lambda-Wheels aufgezeichnete Ereignisverteilung (Abb. 28) entspricht der geometrischen Akzeptanz des HERMES-Spektrometers, wenn eine Koinzidenz mit Spuren in diesem Spektrometer gefordert wird. In diesem Fall wird eine Pulshöhenverteilung beobachtet, die der theoretisch erwarteten Verteilung für minimal ionisierende Teilchen gut folgt (Abb. 29). Seit November 2003 sind die von den Lambda-Wheels aufgezeichneten Daten in die allgemeine HERMES Datenerfassung aufgenommen.

Detektor aus szintillierenden Fasern für den HERMES Rückstoß-Detektor

Zur Vermessung von exklusiven Reaktionen plant die HERMES-Kollaboration den Einbau eines neuen Detektors. Dieser umgibt das Target und soll Reaktionsprodukte moderaten Impulses unter großen Win-

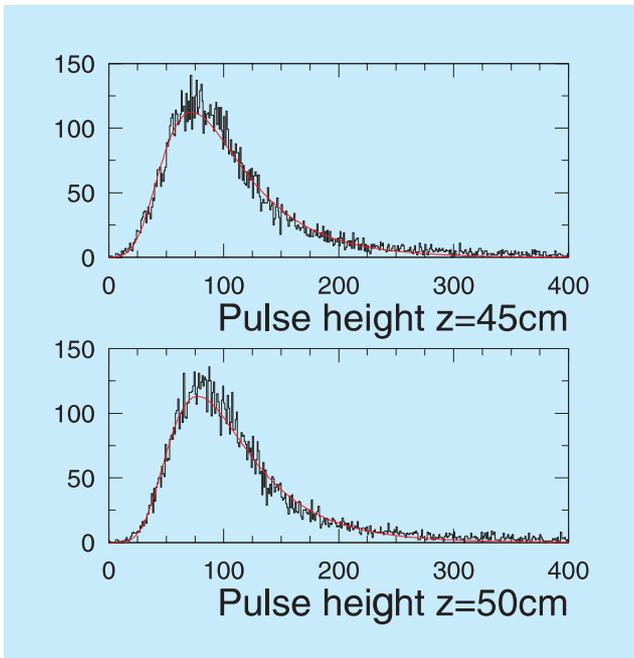


Abbildung 29: Pulshöhenverteilung (in ADC Einheiten) für in den Lambda-Wheels in Koinzidenz mit dem HERMES-Spektrometer gemessene Ereignisse. Die spektrale Verteilung wird mit der für minimal ionisierende Teilchen erwarteten Landau Verteilung verglichen.

keln vermessen. Diese Reaktionsprodukte liegen außerhalb des Nachweisbereichs des existierende HERMES-Spektrometers, ihr Nachweis ist allerdings für die Identifikation mit wenig Untergrund dieser Klasse von Reaktionen unabdingbar.

Der Nachweis minimal ionisierender Teilchen erfolgt durch einen Detektor aus szintillierenden Fasern. Dieser besteht aus zwei Zylindern, deren Innenradien 110 mm bzw. 180 mm betragen, und die eine aktive Länge von 280 mm besitzen. Jeder Zylinder ist aus vier Lagen von 1 mm dicken szintillierenden Fasern aufgebaut. Zwei dieser Lagen sind parallel zur Zylinderachse ausgerichtet, die anderen beiden bilden eine Schraubenlinie auf der Zylinderoberfläche mit einem Steigungswinkel von 10° . Trifft ein geladenes Teilchen auf eine dieser Fasern, erzeugt es dort Licht, welches in einem geeigneten Sekundärelektronenvervielfacher nachgewiesen werden kann. Aus der Kombination der vier Lagen eines Zylinders lässt sich dann der geometrische Durchstoßpunkt durch die Zylinderoberfläche bestim-

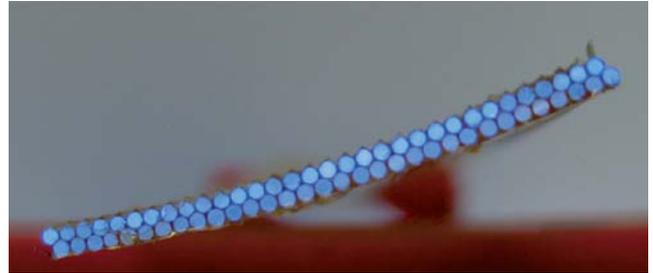


Abbildung 30: Rückansicht eines Moduls aus szintillierenden Fasern.

men. Die Kombination beider Zylinder ergibt dann die Spur des Teilchens im Raum. Diese Spurinformaton ermöglicht die Berechnung des Teilchenimpulses.

Neben der Spurrekonstruktion ist die Identifizierung geladener Teilchen die zweite Hauptaufgabe dieses Detektors. Hierfür wird die pro getroffener Faser erzeugte Lichtmenge als Maß verwendet. Für einen festen Impuls – im Falle dieses Detektors aus der Teilchenspur bekannt – hängt die erzeugte Lichtmenge in dem hier relevanten Energiebereich von der Art des Teilchens ab. Unter Verwendung aller verfügbaren Informationen lassen sich somit z. B. Protonen von Pionen trennen.

Der Bau dieses Detektors wird von der HERMES Gruppe an der Justus Liebig Universität Gießen durch-

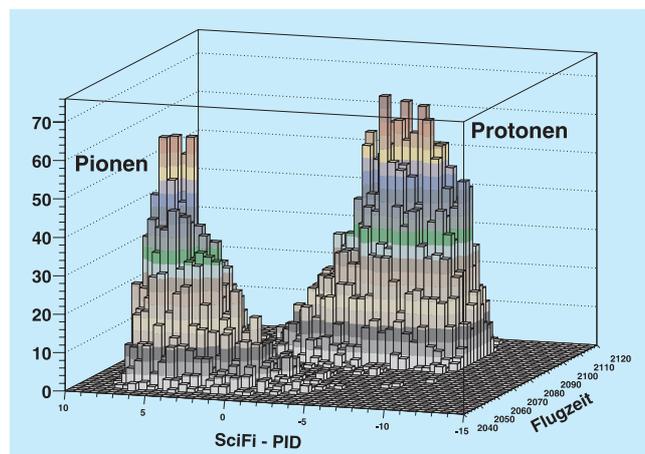


Abbildung 31: Vergleich der Identifikation von Protonen und Pionen aus der Energiedeposition in den szintillierenden Fasern und aus der Flugzeit.

geführt. Die Eigenschaften des Detektors werden in mehreren Strahlzeiten sowohl am DESY II als auch bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt getestet. Letztere konnte die für den eigentlichen Zweck des Detektors relevanten Teilchenstrahlen und -energien zur Verfügung stellen. In diesen Teststrahlzeiten wurden sowohl das Verhalten der einzelnen Komponenten, wie der szintillierenden Fasern oder der Ausleselektronik, als auch das Verhalten des gesamten Systems aus szintillierenden Fasern, Lichtleitern und Auslese getestet.

Als relevante Kenndaten wurden unter anderem die Effizienz des Detektors und seine Fähigkeit zur Separation

von Protonen und Pionen extrahiert. Die Nachweiseffizienz der Module aus szintillierenden Fasern für Protonen und Pionen im Impulsbereich von 300 MeV/c und höher ist für alle getesteten Module größer als 99%. Die Identifizierung von Protonen und Pionen anhand ihrer Energiedeposition in den szintillierenden Fasern wurde im Vergleich mit einem Referenzsystem zur Flugzeitanalyse bestimmt. Der Vergleich beider Systeme ist ein Maß für die Güte der Teilchenidentifikation (Abb. 31).

Der Detektor aus szintillierenden Fasern wird im ersten Quartal 2004 fertig gestellt und am DESY II mit einem Elektronenstrahl vermessen werden. Damit ist der Detektor bereit für den Einbau in HERMES.