TAPS hat laufen gelernt

Ein neues Photonen-Spektrometer für die Schwerionen- und Kernphysik im Mittelenergiebereich

Von Wolfgang Kühn, Volker Metag, Rainer Novotny und Hans Ströher

Unmittelbar nach Inbetriebnahme des neuen Schwerionenbeschleunigers bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt konnte das in seinem Konzept einzigartige Detektorsystem TAPS seine ersten Bewährungsproben in Schwerionen-Experimenten bestehen. Der in mehrjähriger Entwicklungs- und Bauzeit zum überwiegenden Teil in den Labors und Werkstätten des II. Physikalischen Instituts der Universität Gießen erstellte tonnenschwere Photonen-Detektor wird es erlauben, aus seinen Meßdaten Momentaufnahmen von extrem heißer und verdichteter Kernmaterie zu rekonstruieren. Solche extremen Zustandsformen der Materie, die in der Natur nur bei der Entstehung unseres Universums oder bei den gewaltigen Sternexplosionen einer sog. Supernova vermutet werden, hofft man für Bruchteile einer Milliardstel-Milliardstel Sekunde beim Zusammenprall von auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigten Atomkernen im Labor zu erzeugen.

In der Beschleunigerlandschaft der Bundesrepublik zeichnen sich deutliche Veränderungen ab. Während bislang viele Universitäten und Forschungszentren kleinere Beschleuniger unterhalten haben, an denen vor allem atom- und kernphysikalische Grundlagenforschung oder Materialforschung mit nuklearen Meßmethoden betrieben wurden, erfolgt nunmehr eine Konzentration auf wenige neue Großbeschleuniger, die höhere Energiebereiche erschließen und damit neue Forschungsmöglichkeiten eröffnen. Hierzu gehören das im April 1990 von Bundesforschungsminister Dr. Heinz Riesenhuber und dem Hessischen Minister für Wissenschaft und Kunst, Dr. Wolfgang Gerhardt, in Betrieb genommene *S*chwer*I*onen *S*ynchroton SIS und der *E*xperimentier *S*peicher *R*ing ESR bei der GSI in Darmstadt, die Elektronenbeschleuniger MAMI B und ELSA an den Universitäten Mainz und Bonn sowie der Kühlerspeicherring COSY bei der Kernforschungsanlage Jülich. Die letztgenannten drei Beschleuniger sind noch in der Bau- bzw. Erprobungsphase und werden den Wissenschaftlern erst ab den Jahren 1991 bis 1993 für ihre Forschungsvorhaben zur Verfügung stehen.

Die Planungen der Wissenschaftler konzentrieren sich daher zunächst auf die neuen Forschungsmöglichkeiten bei der GSI in Darmstadt. Hinzu kommt, daß die GSI die einzige im Land Hessen angesiedelte Großforschungseinrichtung ist, die den an umliegenden Hochschulorten tätigen Forschungsgruppen schon allein der räumlichen Nähe wegen besonders attraktive Forschungsmöglichkeiten bietet. Schon seit der Gründung im Jahre 1969 bestehen enge Kontakte zwischen der GSI und hessischen Hochschulgruppen, die sich positiv in der Forschung, aber auch in der Lehre ausgewirkt haben. Die in den Forschungsgruppen mitarbeitenden Diplomanden und Doktoranden erhalten im Rahmen ihrer Ausbildung Zugang zu Spitzentechnologien, die Universitäten schon aus finanziellen Gründen nicht mehr zu bieten vermögen. Hierdurch erwerben unsere Absolventen wichtige Spezialkenntnisse, die sie bei einer späteren Tätigkeit in der Industrie erfolgreich einsetzen können. Andererseits wird das Lehrangebot an den einzelnen Hochschulen durch Spezialvorlesungen von GSI-Mitarbeitern, die als Honorarprofessoren oder Privatdozenten tätig sind, auf eine wesentlich breitere Basis gestellt.

Um die Zusammenarbeit zwischen hessischen Hochschulen und der GSI weiter zu stärken und die Hochschulgruppen in die Lage zu versetzen, die neuen, bei der GSI geschaffenen Forschungsmöglichkeiten zu nutzen, werden diese Hochschulgruppen im Rahmen des Landesforschungsschwerpunktprogramms zunächst in den Jahren 1989 bis 1991 durch ein Vier-Millionen-Investitionsprogramm gefördert. Auf die an der Justus-Liebig-Universität im Bereich der Schwerionenforschung tätigen Gruppen entfallen davon knapp eine Million. Die so geförderten experimentellen und theoretischen Forschungsprogramme reichen von der Mittelenergie-Schwerionenkernphysik über die Atom- bis zur Biophysik.

Die mit SIS und ESR erschlossenen neuen Energiebereiche erfordern neue Nachweistechniken, um die von den Theoriegruppen bereits aufgegriffenen und diskutierten Fragestellungen durch Experimente zu beantworten. Als ein Beispiel für die Vorgehensweise bei der Abwicklung eines solchen Forschungsprogramms sollen in diesem Artikel der Aufbau und der erste Einsatz des *T*wo *A*rm *P*hoton *S*pectrometers TAPS und die damit verfolgten neuen physikalischen Problemstellungen aufgezeigt werden.

Forschungsziele

Die Materie, aus der wir und unsere Umgebung aufgebaut sind, besteht aus Atomen, die sich wiederum aus einer Elektronenhülle und einem Atomkern zusammensetzen, wie wir seit Anfang dieses Jahrhunderts wissen. Wie in Abb. 1 dargestellt, setzt sich der Atomkern seinerseits aus neutralen und geladenen Bausteinen (Nukleonen), den Neutronen und Protonen, zusammen. In den 60er Jahren konnte gezeigt werden, daß auch die Nukleonen noch nicht die kleinsten Bausteine der Materie darstellen, sondern vielmehr aus Quarks bestehen, die durch Gluonen zusammengehalten werden.

Die Kernphysik beschäftigt sich mit den Eigenschaften isolierter Atomkerne sowie den Wechselwirkungen solcher Kerne miteinander. Der bereits angedeutete Trend der Kernphysik zu höheren Energien zeigt sich unter anderem auch darin, daß sich kernphysikalische Fragestellungen nun in die Richtung von Elementarteilchen- und Astrophysik entwickeln, was zwangsläufig zu einer engeren Zusammenarbeit mit diesen Teilgebieten der Physik führen wird. Einerseits versucht man, die Eigenschaften freier Nukleonen zu erforschen und zu verstehen, wie das Verhalten der Nukleonen und ihrer Anregungszustände bei Einbringen in einen Atomkern sich verändert (sog. Medium-Effekte). Zum anderen ist die Untersuchung von Kernmaterie in solchen Zuständen von Interesse, wie sie normalerweise in unserer Umgebung nicht vorkommen, sondern nur in der Frühzeit der Entwicklung unseres Universums nach dem sog. Urknall bzw. am Ende von Sternevolutionen in sog. „Supernova"-Explosionen oder in Neutronensternen vermutet werden. Das Studium dieser astrophysikalischen Fragestellungen im irdischen Labor ist schon deswegen von allgemeinem Interesse, da nach heutigem Verständnis alle Elemente schwerer als Helium in derartigen Sternexplosio-

Grundbausteine der Materie

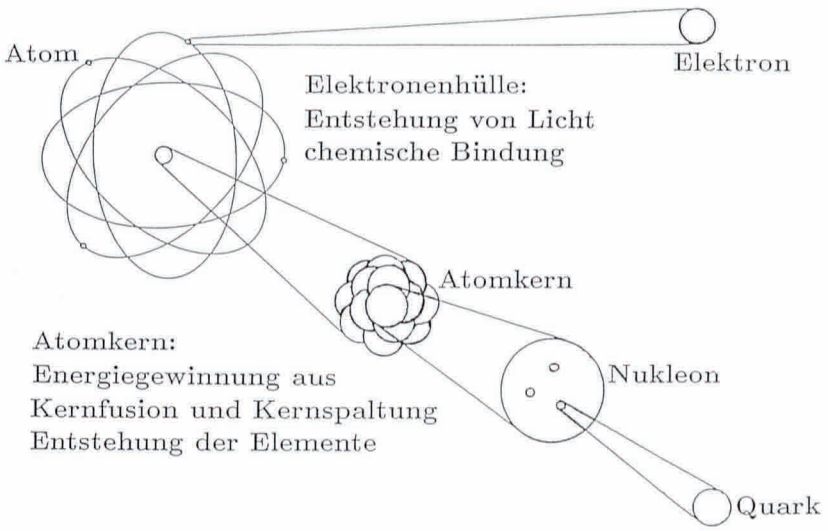

Abb. 1: Die Grundbausteine der Materie. Elektronen und Quarks werden heute als elementare Bausteine angesehen, aus denen sich die Nukleonen, die Atomkerne und schließlich die Atome zusammensetzen. Die betreffenden Bestandteile sind jeweils vergrößert herausgezeichnet. Vorgänge in der Elektronenhülle sind verantwortlich für die chemische Bindung und die Entstehung von Licht. In diesem Artikel werden Phänomene beim Aufeinanderprallen von Atomkernen diskutiert.

nen entstehen und wir – die wir nicht nur aus Wasserstoff bestehen – daher selbst letzten Endes aus Überresten solcher Supernovae aufgebaut sind.

Am SIS-Beschleuniger stehen Schwerionenstrahlen – darunter versteht man Strahlen aus Atomkernen von Elementen schwerer als Kohlenstoff – mit Energien bis zu 1–2 GeV/u, d.h. 1 bis 2 Giga (10^9) Elektronenvolt per Kernbaustein zur Verfügung. Diese Energien entsprechen Geschwindigkeiten von ungefähr 90 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Läßt man Schwerionenstrahlen mit diesen Geschwindigkeiten auf Zielkerne aufprallen, so können die Nukleonen, die an dem Zusammenstoß unmittelbar beteiligt sind, nicht sofort aus dem Wechselwirkungsbereich entweichen: Sie „stauen sich auf", wobei das Kernmedium hoch angeregt („aufgeheizt") und stark komprimiert wird. Der hohe Druck in dieser Zone führt zu einer raschen anschließenden Expansion des Kernmaterials, bei der neben Nukleonen und Kernbruchstücken eine Vielzahl von neu produzierten Teilchen emittiert wird. Entsprechend dem Einsteinschen Äquivalenzprinzip von Masse und Energie entstehen diese Teilchen aus der hohen Energie, die beim Aufeinanderprall der Atomkerne in der Wechselwirkungszone konzentriert wird. Der Ablauf eines relativistischen Kern-Kernstoßes wird in Abb. 2 mit Hilfe einer Simulationsrechnung veranschaulicht. Nach Berechnungen unserer Kollegen vom Institut für Theoretische Physik der Justus-Liebig-Universität erwartet man gemäß Abb. 3 beim Aufeinanderprallen von zwei Ca-Atomkernen bei typischen SIS-Energien eine Komprimierung der Kernmaterie auf das ca. dreifache der normalen Dichte, d.h. die Nukleonen, die sonst einen mittleren Abstand von ca. $1{,}8 \times 10^{-15}$ m (das 1,8fache von einem Millionstel Milliardstel Meter) voneinander haben, werden auf Abstände von $1{,}2 \times 10^{-15}$ m – vergleichbar mit dem Durchmesser eines Nukleons – zusammengedrängt.

Es gibt theoretische Spekulationen, daß bei noch höheren Einschußenergien in sog. „ultra-relativistischen" Schwerionenstößen für sehr kurze Zeiten neue Formen von Materie entstehen können, nämlich dann, wenn Temperatur und Dichte groß genug sind, um die Nukleonen aufzulösen und in ein Plasma von freien Quarks und Gluonen zu überführen und damit Materie in die kleinsten heute bekannten Bestandteile zu zerlegen.

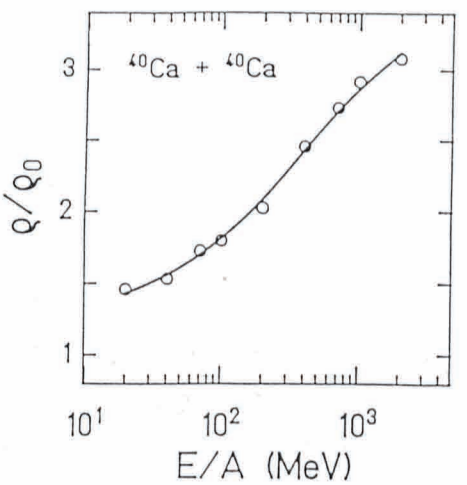

Abb. 3: Berechnete Abhängigkeit der Nukleonendichte in der Wechselwirkungszone beim Stoß zweier Ca-Atomkerne in Abhängigkeit von der Einschußenergie pro Kernbaustein.

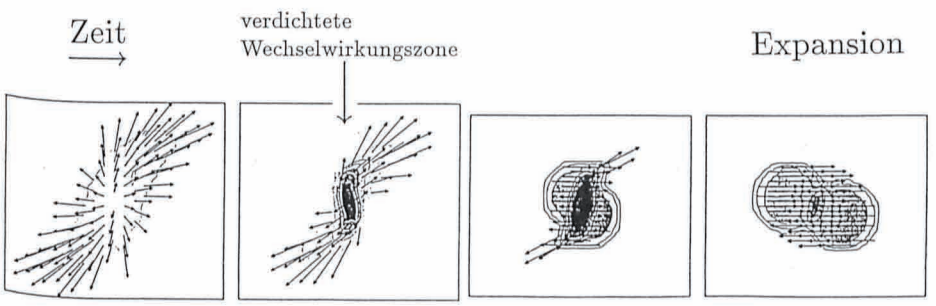

Abb. 2: Simulationsrechnung für den räumlich-zeitlichen Ablauf eines Schwerionenstoßes. Die 4 Bilder zeigen Momentaufnahmen der Konturen der kollidierenden Atomkerne und der durch Pfeile gekennzeichneten Bewegungsrichtungen der Nukleonen in Zeitabständen von ca. 2×10^{-23} s.

Eine der großen Schwierigkeiten bei der experimentellen Untersuchung dieser Phänomene ist die extrem kurze Zeitspanne von ca. 10^{-22} s (der zehntausendste Teil einer Milliardstel-Milliardstel Sekunde) eines solchen relativistischen Schwerionenstoßes. Der Ablauf einer derartigen Reaktion muß in „kriminalistischer" Feinarbeit aus den Reaktionsprodukten rekonstruiert werden. Neben der Bestimmung von Energie- und Winkelverteilungen der Nukleonen, in die

die Kerne bei der Kollision zerlegt werden, kann hierbei insbesondere die Beobachtung von neu im Stoß produzierten Teilchen, die anfangs nicht vorhanden waren, Information über den Reaktionsablauf liefern.

Im wesentlichen muß man drei Anforderungen an die neu produzierten Teilchen stellen, damit sie als Sonden für den Reaktionsablauf genutzt werden können. Sie müssen (1.) mit möglichst großer Wahrscheinlichkeit pro Reaktion gebildet werden, (2.) ohne Veränderungen direkt aus dem Wechselwirkungsbereich kommen und (3.) effizient nachweisbar sein. Bedingungen 1 und 3 sind notwendig, um die Meßzeit für signifikante Resultate nicht zu groß werden zu lassen, während die zweite Anforderung erfüllt sein sollte, um die physikalische Interpretation zu vereinfachen. Der größte Teil der aus der Energie in der Kollisionszone neu gebildeten Teilchen sind sogenannte Mesonen, die im Gegensatz zu den Nukleonen aus einem Quark und einem entgegengesetzt geladenen Antiquark aufgebaut sind, d. h. diese Teilchen bestehen aus Materie und Antimaterie. Handelt es sich um Quark-Antiquark-Paare der gleichen Quarksorte, von denen inzwischen fünf verschiedene bekannt sind, so zerstrahlen diese Mesonen nach kurzer Zeit in zwei Photonen (extrem hochenergetische Röntgenstrahlung) – aus Materie wird wieder Energie. Diese Strahlung läßt sich mit dem von unserer Arbeitsgruppe vorgeschlagenen Strahlungsdetektor, dem *T*wo *A*rm *P*hoton *S*pectrometer TAPS nachweisen.

Ziel unserer Forschungsarbeiten ist es daher, über den Photonenzerfall neutraler Mesonen (π^0, η-Mesonen), die in Schwerionenstößen neu gebildet werden, näheres über den räumlichen und zeitlichen Ablauf von Kern-Kernstößen bei Relativgeschwindigkeiten von ca. 90 Prozent der Lichtgeschwindigkeit und die dabei erzielten Kernmateriedichten zu erfahren.

Die Interpretation der nunmehr anlaufenden Experimente erfordert – wie bereits angedeutet – umfangreiche theoretische Berechnungen von Schwerionenstößen, die insbesondere von unseren Kollegen Prof. Dr. Ulrich Mosel, Priv.-Doz. Dr. Wolfgang Cassing und Mitarbeitern am Institut für Theoretische Physik der Justus-Liebig-Universität durchgeführt werden. Bereits jetzt vorliegende Ergebnisse dieser Rechnungen waren entscheidend für die präzise Ausarbeitung der Fragestellungen sowie für die Vorbereitung und Auslegung der geplanten Experimente. Die komplexen experimentellen Informationen lassen sich nur in enger Zusammenarbeit zwischen experimentell und theoretisch ausgerichteten Gruppen entschlüsseln und in quantitative Aussagen umsetzen, die die Grundlage für weiterführende Modellvorstellungen über Kernmaterie bei hohen Temperaturen und Dichten bilden.

Das Detektorsystem

Das Grundprinzip eines Strahlungsdetektors basiert auf einer effizienten Wechselwirkung der Strahlung mit dem Detektormedium und dessen differenziertem Ansprechverhalten. Dieses sollte strahlungsspezifisch sein und eine genaue Bestimmung von Energie, Impuls sowie Auftreffort und -zeitpunkt erlauben. Bei den als experimentelle Sonde gewählten Photonen handelt es sich um sehr kurzwellige elektromagnetische Strahlung, deren Energie im Bereich von wenigen MeV (Millionen Elektronenvolt) bis ca. 1 GeV liegt. Zum Vergleich besitzt Röntgenstrahlung, die z. B. in der medizinischen Diagnostik weite Anwendung findet und ohne weiteres den menschlichen Körper zu durchdringen vermag, Energien von einigen Kilo-Elektronenvolt (keV), ein Wert, der einen Faktor 1 000 unterhalb des uns interessierenden unteren Grenzwertes liegt.

Derartig hochenergetische Photonen erzeugen bei der Wechselwirkung mit Materie einen sog. elektromagnetischen Schauer. Dabei wird das Photon zuerst in ein Elektron-Positron-Paar (d. h. Elektron und sein Antiteilchen) umgewandelt. Diese werden in vielen Einzelprozessen, die lawinenartig ablaufen und sich mit steigender Eindringtiefe im Detektormedium räumlich immer weiter auffächern, letztendlich absorbiert. Verwendet man einen Szintillationsdetektor in unserem Fall anorganische Kristalle aus Bariumfluorid (BaF_2), so vermag dieser die aufgenommene Energie in einer äquivalenten Menge von z. B. UV-Licht wieder abzugeben.

Dieser Vorgang erfolgt bei BaF_2 so prompt, daß sich der Zeitpunkt des Strahlungseinfalls mit einer Genauigkeit unter 200 Pikosekunden, d. h. erheblich genauer als der Milliardste Teil einer Sekunde, bestimmen läßt. Die Signalform des Szintillationslichtes ermöglicht darüber hinaus, den Kristall treffende geladene Teilchen direkt zu identifizieren. Der an die experimentellen Anforderungen angepaßte individuelle Detektor (Abb. 4) besteht aus einem 250 mm langen hexagonalen BaF_2-Kristall mit einem Durchmesser von 59 mm. Sein ultraviolettes Szintillationslicht wird von einem sog. Sekundärelektronenvervielfacher, einer Spezialentwicklung der Firma Hamamatsu, in ein elektronisches Analogsignal umgewandelt, dessen Informationsgehalt bezüglich Energie, Strahlungsart und Zeitpunkt mit der nachfolgenden Spezialelektronik extrahiert wird. Die Einzeldetektoren werden in Blöcken von je 64 Modulen angeordnet, deren Gesamtvolumen den vollständigen Nachweis mehrerer energiereicher Photonen zuläßt. Ein direkt davor angebrachtes Detektorsystem gleicher Granularität aus sog. Plastikszintillatoren erlaubt, durch geladene Teilchen ausgelöste Ereignisse schon während des Experiments ("on-line") zu verwerfen. Lediglich Neutronen, die bei heftigen Kernstößen als Kernbausteine mit hoher Häufigkeit freigesetzt werden, können erst im BaF_2-Detektor auf-

Abb. 4: Ein einzelnes TAPS-Detektormodul (50 cm lang) bestehend aus einem lichtdicht eingewickelten BaF_2-Szintillationskristall, einem Sekundärelektronenvervielfacher und einer Spannungsversorgung. Im Vordergrund ist ein BaF_2-Kristall abgebildet. *Foto: Novotny*

grund ihrer im Vergleich zu den Photonen geringeren Geschwindigkeit und damit längeren Flugzeit zum Detektor abgetrennt werden.

Die in den Reaktionen erzeugten neutralen Mesonen, die noch am Entstehungsort in ein Photonenpaar zerfallen, werden durch gleichzeitigen Nachweis der Zerfallsphotonen identifiziert. Da die Winkel zwischen beiden Photonen den Akzeptanzbereich eines Detektorblockes übersteigen, bietet ein zweiarmiges Spektrometersystem die erforderliche Flexibilität. Das TAPS-Spektrometer besteht daher momentan aus zwei Armen, die frei um den Reaktionsort nach Position und Abstand verfahrbar sind. Jeder Arm trägt zwei Kristallblöcke, die mit gewissen Einschränkungen unabhängig relativ zueinander positioniert werden können. Abbildung 5 zeigt schematisch die Spektrometeranordnung, während Abb. 6 das nahezu komplettierte Spektrometer am Experimentierplatz der GSI zeigt.

Die Inbetriebnahme einer solchen bisher einzigartigen Apparatur aus nahezu 400 Einzeldetektoren setzt langjährige Entwicklungsarbeiten der Detektortechnologie, enge Zusammenarbeit mit dem Hersteller der bisher längsten BaF_2-Kristalle (hergestellt von der Firma Dr. Karl Korth, Kiel), eine sorgfältige Qualitätskontrolle aller Komponenten und vielfältige Testexperimente von Prototypen voraus. Neuentwicklungen von Elektronikkomponenten sowie die Konstruktion und Realisierung der komplexen und tonnenschweren Spektrometermechanik, die fast ausschließlich in den Elektronik- und Mechanik-Werkstätten des II. Physikalischen Instituts erfolgten, unterstreichen die Notwendigkeit einer leistungsfähigen Infrastruktur.

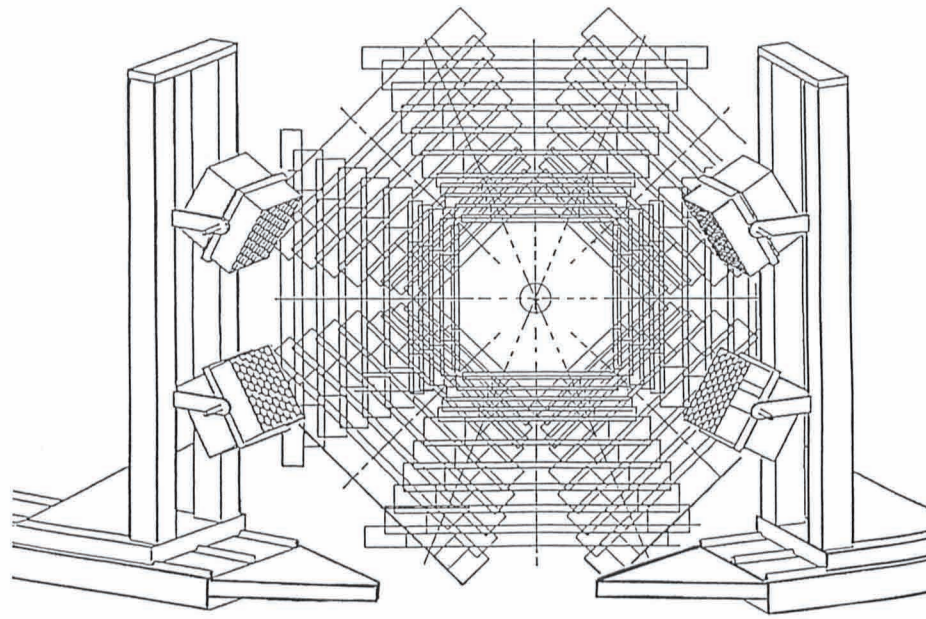

Abb. 5: Schematische Darstellung des Two Arm Photon Spectrometers TAPS, positioniert vor der oktogonalen Detektorwand des sog. 4π-Systems. Jeweils 64 der in Abb. 4 gezeigten Einzelmodule bilden Detektorblöcke, die paarweise in 2 fahrbaren Detektortürmen angeordnet sind. Mit den Detektoren wird Strahlung aus dem Zerfall von Teilchen nachgewiesen, deren Bildung in einem Schwerionenstoß auf den räumlich-zeitlichen Ablauf der Reaktion schließen läßt.

Die beim Betrieb eines komplexen Detektorsystems wie TAPS auftretenden Anforderungen an die Datenaufnahme sind erheblich. Dies ist einerseits bedingt durch die hohen Primärdatenraten, andererseits aber auch durch die Notwendigkeit, schon während des Experiments ("on-line") eine weitgehende Auswertung der Rohdaten vorzunehmen. Nur so kann die Funktionsfähigkeit des Detektorsystems überwacht und gewährleistet werden. Daneben soll das System aber auch in der Lage sein, Steuerfunktionen wie die Einstellung von Elektronikmodulen zu übernehmen.

Hierzu wurde ein Multiprozessor-System bestehend aus vier VMEbus-Prozessoren und einem VAX-Rechner aufgebaut. Durch Einsatz modernster Technologie können die oben beschriebenen Anforde-

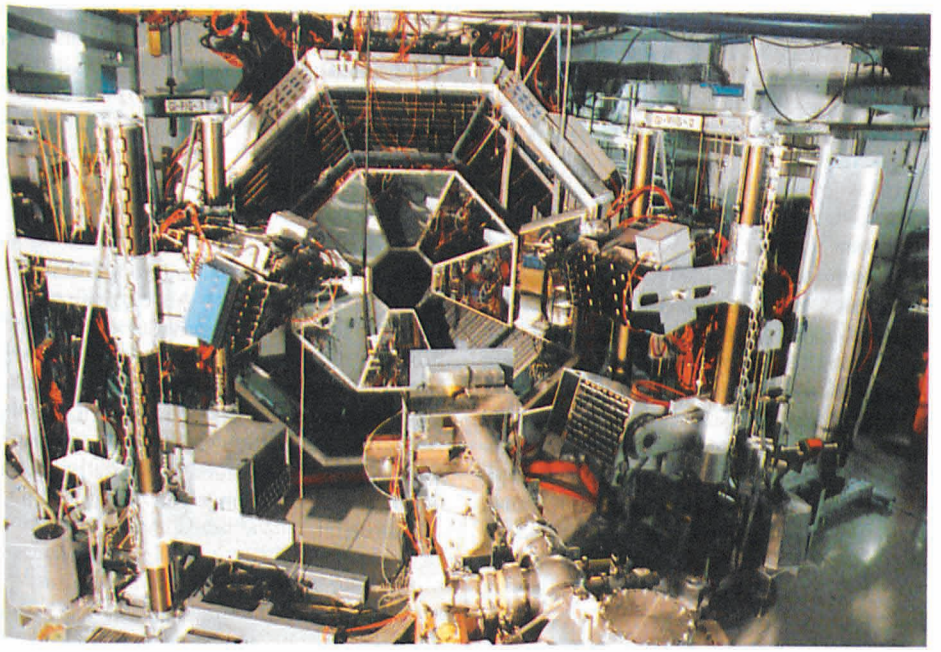

Abb. 6: Der Aufbau des TAPS Detektorsystems in der Experimentierhalle am Schwerionensynchroton der GSI in Darmstadt. Im Hintergrund der beiden symmetrisch zur Strahlführung aufgestellten Spektrometertürme sieht man die oktogonale Detektorwand des sog. 4π-Systems zum Nachweis von geladenen Reaktionsprodukten. Foto: Novotny

rungen erfüllt werden. Zur Entwicklung der Software kommen ebenfalls Verfahren der neuesten Generation zum Einsatz: ein relationales Datenbanksystem zur Verwaltung der Detektorparameter, X-Windows als Benutzeroberfläche mit Fenster-Technik sowie CASE (Computer Aided Software Engineering)-Werkzeuge.

Ausblick

Das Detektorsystem TAPS ist im Rahmen einer internationalen Kollaboration aufgebaut worden, in der neben unserer Arbeitsgruppe am II. Physikalischen Institut Wissenschaftler der GSI, der Universität Münster, des Kernfysisch Versneller Instituut (KVI), Groningen (Holland) und des Schwerionenbeschleunigers GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds), Caen (Frankreich) zusammenarbeiten. Alle beteiligten Institute haben zu den Investitionskosten für das Detektorsystem von insgesamt 6,4 Millionen Mark beigetragen. Nach einer ersten Experimentierphase am SIS der GSI wird das Detektorsystem abwechselnd auch am französischen Schwerionenbeschleuniger GANIL am Elektronenbeschleuniger MAMI B in Mainz und später auch am AGOR Beschleuniger des KVI Groningen eingesetzt werden. Die Zusammenarbeit im europäischen Maßstab bietet für alle Beteiligten vielseitige Erfahrungen und ist für die Mittelenergie-Schwerionen- und Kernphysik zu einer notwendigen aber auch hilfreichen Voraussetzung für die Durchführung der immer aufwendigeren Experimente geworden.

Zu den Autoren:

Priv.-Doz. Dr. Wolfgang Kühn, *Jahrgang 1952, ist seit 1983 als Akademischer Rat am II. Physikalischen Institut tätig. Er hat an der Universität Köln studiert und wurde 1979 an der Universität Heidelberg promoviert. Danach war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. Zu mehrjährigen Forschungsaufenthalten weilte er am Argonne National Laboratory, USA sowie am GANIL, Frankreich.*

Prof. Dr. Volker Metag, *Jahrgang 1942, ist seit 1982 Professor für Experimentalphysik und Geschäftsführender Direktor des II. Physikalischen Instituts. Die Schwerpunkte seiner Forschungsarbeit liegen auf dem Gebiet der Mittelenergie-Schwerionen- und Kernphysik. Er hat an der Technischen Universität Berlin studiert und wurde 1970 an der Universität Heidelberg promoviert. Danach war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. Zu mehrjährigen Forschungsaufenthalten weilte er am Niels Bohr Institut in Kopenhagen und an der University of Washington in Seattle, USA.*

Dr. Rainer Novotny, *Jahrgang 1947, ist seit 1983 als Akademischer Oberrat am II. Physikalischen Institut tätig. Er hat an der Universität Heidelberg studiert, wurde 1976 promoviert und war bis 1983 wissenschaftlicher Assistent am dortigen Physikalischen Institut. In dieser Zeit weilte er zu einem zweijährigen Forschungsaufenthalt am Oak Ridge National Laboratory in Oak Ridge, USA.*

Dr. Hans Ströher, *Jahrgang 1952, ist seit Beginn des Jahres 1990 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am II. Physikalischen Institut tätig. Er hat an der Universität Gießen studiert und wurde 1983 promoviert. Danach war er zunächst Hochschulassistent am II. Physikalischen Institut und später wissenschaftlicher Assistent des Geschäftsführers der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt.*