

Silbrig glänzender Igel

Crystal Ball Spektrometer Eine riesige Kugel aus Kristallen misst die Energie kleinster Teilchen. Der Crystal Ball-Detektor ist als Leihgabe aus den USA zunächst für fünf Jahre an der Mainzer Universität.

Tief unter der Erde, in den Katakomben des Instituts für Kernphysik, steht mitten in der großen Experimentierhalle eine kleine Holzhütte. Durch die Tür eröffnet sich der Blick auf eine silbrig glänzende Kugel mit einer Oberfläche von mehr als zwölf Quadratmetern reinsten Aluminiums. Aus der Kugel ragen Hunderte schwarzer Röhren heraus – wie die Stacheln eines Igels.

Hier wird das Elektronen- und Photonen-spektrometer Crystal Ball zusammengebaut. Das Messgerät bietet eine ideale Ergänzung zu den schon existierenden Experimentaufbauten am Mainzer Elektronenbeschleuniger MAMI. In den siebziger Jahren wurde es von führenden amerikanischen Universitäten wie Stanford, Harvard und Princeton nach Plänen des Nobelpreisträgers Robert Hofstadter entwickelt. Im November 2002 kam die Kristallkugel als Leihgabe des amerikanischen Department of Energy am Mainzer Institut für Kernphysik an. Bevor der Crystal Ball-Detektor für die ersten Experimente im Sommer 2003 eingesetzt werden kann, müssen einige Vorarbeiten abgeschlossen werden. Dazu gehört der Aufbau einer neuen Ausleseelektronik und Hochspannungsversorgung. Dies wird im Rahmen von Diplom- und Doktorarbeiten durchgeführt. Auch Studenten des Grund- und Hauptstudiums arbeiten mit, um so einen ersten Kontakt mit der Forschung zu bekommen. Zunächst soll der Crystal Ball bis 2008 am MAMI bleiben. Bis dahin sollen Experimente im Zusammenspiel von



Fotos: © Institut für Kernphysik

In USA an Bord gegangen: Crystal Ball Spektrometer auf dem Weg nach Mainz.

tem von Gängen und Hallen. Beck deutet auf die blauen Kästen entlang der insgesamt einige Kilometer langen Strecke. „Das sind die Weichen“, sagt er. Die mehrere Tonnen schweren Magneten führen den Strahl um Ecken hin zu den verschiedenen Experimentierhallen.

Elektronenbeschleuniger und dem Crystal Ball-Detektor weiteren Aufschluss über die innere Struktur des Atomkerns geben.

Im Fahrstuhl geht es hinunter. Zehn Meter unter der Erde liegt das Mainzer Mikrotron. „Aus Strahlenschutzgründen“, erklärt Dr. Reinhard Beck, Privatdozent am Institut für Kernphysik. „Während eines Experiments wird intensive Röntgenstrahlung frei, die allerdings sofort verschwindet, wenn der Beschleuniger abgeschaltet wird.“ Während der Experimente schiebt sich eine zwei Meter dicke Stahltür in den Eingang zum Elektronenbeschleuniger. Die riesigen Hallen bleiben menschenleer.

„Die Elektronen reiten dann wie Wellenreiter auf den elektromagnetischen Wellen.“

Die weltweit größte Mikrotron-Anlage erzeugt einen Strahl freier Elektronen mit hoher Energie. Das geschieht durch eingestrahlte Mikrowellen. „Die Elektronen reiten dann wie Wellenreiter auf den elektromagnetischen Wellen“, erklärt Beck. Die Wellen haben eine Frequenz von 2.450 Megahertz, wie sie auch in vielen Haushalten im Mikrowellenherd verwendet wird. Allerdings ist die eingespeiste Hochfrequenzleistung mit 50.000 Watt am MAMI etwa hundert mal so hoch wie beim Haushaltsgerät.

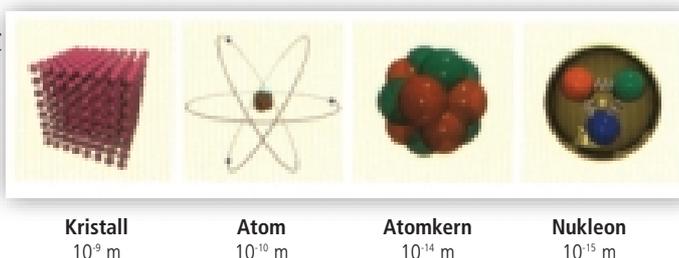
In einer evakuierten Aluminiumröhre durchläuft der so erzeugte Elektronenstrahl ein Sys-

„Das MAMI ist wie ein Mikroskop. Es macht kleinste Objekte sichtbar.“

Dort werden winzig kleine Teilchen untersucht: Der Atomkern und seine Bausteine. Das Mittel dazu liefert der Elektronenbeschleuniger, wie Beck weiß: „Das MAMI ist wie ein Mikroskop. Es macht kleinste Objekte sichtbar.“ Unvorstellbar kleine, denn Protonen und Neutronen, die größten Bausteine des Atomkerns, haben eine Ausdehnung von gerade einmal 10^{-15} Meter, als Dezimalzahl geschrieben: 0,000 000 000 000 001 Meter. Und es gibt noch kleinere Teilchen: Die sogenannten Quarks und die Gluonen, aus denen Protonen und Neutronen ihrerseits zusammengesetzt sind. Sie sind so klein, dass bislang keine Ausdehnung gemessen werden konnte. Quarks treten niemals allein auf. Bestimmte Kräfte halten sie in Systemen aus mehreren Quarks zusammen.

Wie diese Kräfte wirken, welche anderen Strukturen es im Atomkern gibt, das herauszufinden hilft der Elektronenstrahl. Er wird auf das Untersuchungsobjekt gelenkt. Meist handelt es sich dabei um Wasserstoffatome. Der Kern dieser kleinsten aller Atome besteht nur aus einem Proton. Um die Struktur von Neutronen näher zu beleuchten benutzen die Forscher sogenannte Schwere Wasserstoffatome, solche, deren Kern aus einem Proton und einem Neutron besteht. Das Untersuchungsobjekt wird in den Elektronenstrahl gestellt und dort von den Elektronen beschossen. Wie bei einem Crashtest prallen die Teilchen aufeinander, das Elektron überträgt dabei Energie und Impuls auf die getroffenen

Abb.: © Institut für Kernphysik



Kristall
 10^{-9} m

Atom
 10^{-10} m

Atomkern
 10^{-14} m

Nukleon
 10^{-15} m

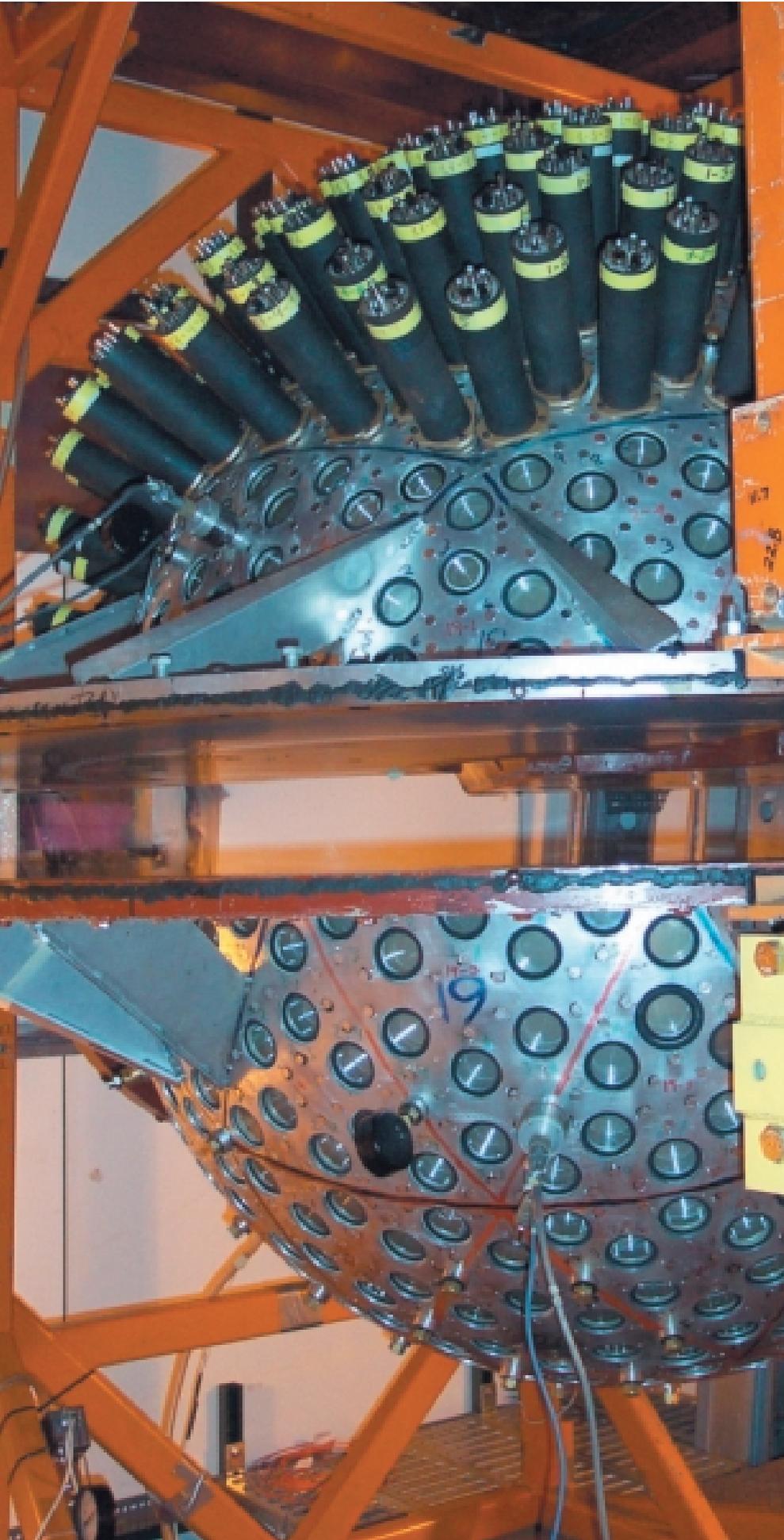
Teilchen. Die Art, wie das Proton oder Neutron die Energie aufnimmt, gibt Aufschluss über dessen Struktur.

Hier kommt der Crystal Ball-Detektor ins Spiel. Die stachelige Kugel schiebt sich auf einer Schiene über eine lange Stahlröhre. Darin befindet sich das Untersuchungsobjekt. Exakt im Mittelpunkt der Kugel wird es vom Elektronenstrahl getroffen. Im Stoßprozess werden Elektronen gestreut, Teilchen fliegen in alle Richtungen weg, es schlägt Funken aus Teilchen. In der Kristallkugel wird die Energie der durch die Kollision gestreuten Teilchen gemessen. Sie durchdringen die dünne Stahlwand und treten in eines der 672 Kristalle ein, die strahlförmig vom Mittelpunkt der Kugel in alle Richtungen wegführen.

Wie bei einem Crashtest prallen die Teilchen aufeinander.

Die Natriumjodid-Kristalle sind hochempfindlich. „Sehr vorsichtig“ wurden sie in ihre Form gebracht, erzählt Beck und zieht das „sehr“ in die Länge. Nun sind die Dreieckspyramiden exakt 40,6 Zentimeter lang, die Seiten auf der Kugeloberfläche 12,7 Zentimeter breit. Im Experiment ionisieren die gestreuten oder neu erzeugten Teilchen die Atome in den Natriumjodid-Kristallen. Diese strahlen dadurch sichtbares Licht ab. Das Licht gelangt durch ein Fenster in die auf der Kugel sitzenden Röhren, die Photomultiplier (deutsch: Elektronenvervielfältiger). Das Licht löst beim Eintritt in die Röhren per Photoeffekt Elektronen aus, die so verstärkt werden, dass am Ausgang der Röhre ein kleiner Spannungsimpuls messbar wird. Dabei entstehen Spannungsimpulse von wenigen Millivolt bis zu einigen Volt je nach Energie der beim Stoßprozess entstandenen Teilchen. Zusätzlich bestimmt der Crystal Ball auf 10^{-9} Sekunden genau den Zeitpunkt seiner Entstehung. Auf diese Weise kann jedes Teilchen einer bestimmten Kollision zugeordnet werden. Mit welcher Energie es in welche Richtung geflogen ist, das wiederum lässt Rückschlüsse auf das untersuchte Wasserstoffatom zu.

Doch noch wird der Crystal Ball-Detektor aufgebaut. Schüler, die am MAMI ein Praktikum absolvieren, testen gemeinsam mit Mitarbeitern des Instituts für Kernphysik seine Komponenten. Einer von ihnen schließt eine Hochspannungsleitung mit 1.500 Volt an eine der Photomultiplier an. Sobald er die Spannung hochdreht, schlägt



Aufbau: Physik-Leistungskurs-Schüler dürfen dabei sein.

die Kurve auf dem Bildschirm aus. Stimmt der Wert, so kann er die Röhre beiseite legen und die nächste aus einer der Holzkisten holen. Im Schnitt fünf bis zehn Minuten dauert dieser Vorgang, mehr als 700 Röhren müssen getestet werden.

Der Crystal Ball-Detektor hat eine Reise um die halbe Welt hinter sich.

Schüler aus Physik-Leistungskursen kommen regelmäßig an das Institut für Kernphysik. Es mag auch solchen Maßnahmen zu verdanken sein, dass die Zahl der Studienanfänger in diesem krisenfesten Fach mittlerweile wieder steigt. Nach Ansicht Beck wird den Schülern hier gezeigt, wie interessant Physik sein kann. „Viele können sich unter einem Physik-Studium nichts vorstellen“, erzählt der Privatdozent. Auf diese Weise lernen sie die Inhalte früh kennen und helfen nebenbei beim Aufbau des eines mehrere Millionen Euro teuren Präzisionsmessgerätes.

Der Crystal Ball-Detektor ist nicht nur weltbekannt, er hat auch eine Reise um die halbe Welt hinter sich. Zunächst wurde er in Stanford eingesetzt, bevor er 1982 das erste Mal nach Europa kam, an das Deutsche Elektron-Synchrotron DESY in Hamburg. Fünf Jahre später ging der Crystal Ball wieder zurück in die Neue Welt, wo er zuletzt am Brookhaven National Laboratory zur Baryon Spektroskopie genutzt wurde. Nun ist die Kristallkugel in Mainz, und neben verschiedenen

europäischen Gruppen kommen auch Mitarbeiter von fünf amerikanischen Universitäten, um hier ihre Experimente durchzuführen.

Die Kristallkugel kam im November 2002 per Flugzeug nach Deutschland. Dabei war größte Vorsicht geboten, denn die Kristalle sind extrem empfindlich. Ohne große Temperaturschwankungen und möglichst erschütterungsfrei mussten die Komponenten im MAMI ankommen. Auf keinen Fall durfte die Kugel an der Wand anstoßen, als sie durch die Stahltür in die Experimentierhalle gefahren wurde. Rechts und links blieb genau ein Zentimeter Platz, doch es ging gut. Spätestens im Mai sollen die zwei Kugelhälften aufeinander gesetzt werden. Dann können die Experimente beginnen. Der Operator sitzt dann im Kontrollraum zehn Meter über den Hallen. An seinem Schaltpult veranlasst er die Elektronenstrahlerzeugung. Vor ihm baut sich eine Wand von Monitoren auf. Fünf Meter breit und zwei Meter hoch reihen sich Bildschirm an Bildschirm. Jede Ecke des riesigen Labors wird von hier überwacht. Zwei bis drei Stunden muss MAMI hoch laufen, bis sich das Magnetfeld des Beschleunigers aufgebaut hat. Dann aber wird „rund um die Uhr“ gearbeitet, wie Beck erzählt, insgesamt über 6.000 Stunden pro Tag. Ein bis zwei Wochen läuft ein Experiment, immense Mengen von Daten werden gesammelt. Ihre Auswertung dauert oft deutlich länger.

Die Kombination des Crystal Ball-Detektors mit dem Mainzer Mikrotron eröffnet neue Experimentiermöglichkeiten.

1991 ging das Mainzer Mikrotron in Betrieb und hat seitdem zahlreiche Erkenntnisse über die Struktur des Atomkerns geliefert. So zeigte sich etwa, dass Neutronen, nach außen elektrisch neutral, keineswegs in sich neutral sind. Vielmehr erzeugt ein in der Summe positiv geladener Zentralbereich aus Quarks und Gluonen um

sich herum eine Wolke aus negativ geladenen Quark-Antiquark-Paaren.

Die Kombination des Crystal Ball-Detektors mit dem Mainzer Mikrotron eröffnet nun neue Experimentiermöglichkeiten. Insbesondere für Versuche mit polarisierten Photonen und polarisierten Protonen ist die Anlage ideal. Der Eigen-



Foto: © Institut für Kernphysik

Extrem empfindlich: Jedes Kristall wird sorgfältig geprüft.

drehimpuls der Teilchen wird dabei in eine Richtung ausgerichtet, was neue Informationen messbar werden lässt. Beck ist begeistert vom Crystal Ball-Detektor. Dank der kugelförmigen Bauart wird der gesamte Raumwinkel überdeckt und alle bei einer Kollision entstehenden Teilchen nachgewiesen. Auch die Energieauflösung des Messgerätes ist hervorragend. Bis auf einige Prozent genau kann die Energie der Teilchen bestimmt werden.

Eine zweite Phase der Experimente soll 2004 beginnen. Dann wird die vierte Stufe des Elektronenbeschleunigers MAMI in Betrieb gehen. Das Gerät, das die Elektronen auf einer Strecke von 15 Metern insgesamt 43 mal beschleunigt, wird die Energie des Elektronenstrahls von derzeit 850 MeV auf 1.500 MeV erhöhen.

In vier Jahren wird sich entscheiden, ob der Crystal Ball über 2008 hinaus in Mainz bleibt. Bis dahin schmückt der silbrig glänzende Igel in jedem Fall die Experimentierhalle am Mainzer Mikrotron und liefert wahrscheinlich manch neue Erkenntnis. **Ulrich SCHMIDT** ■



Foto: Karoly de Rivo

Höchste Vorsicht: Erschütterungsfrei wurde die untere Kugel aufgestellt.