

Von Schaewen fertigt Magnetjoch für Teilchenphysik-Experiment

Stahlbau für die Neutronenstern-Forschung

Im Innern von Neutronensternen herrschen Bedingungen, die auf der Erde nicht natürlich vorkommen. Bereits gewöhnliche Atomkerne besitzen eine Dichte von rund 300 Mio. t/cm³; im Zentrum eines Neutronensterns liegt sie noch deutlich höher. Wie sich Materie unter solchen Extrembedingungen verhält, gehört zu den großen offenen Fragen der Kern- und Teilchenphysik. Antworten darauf soll künftig das CBM-Experiment (Compressed Baryonic Matter) liefern, das derzeit im Rahmen der internationalen Forschungsanlage FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt aufgebaut wird. Eine Schlüsselkomponente des Experiments stammt aus Essen: Die von Schaewen GmbH fertigte das rund 150 t schwere Magnetjoch des supraleitenden Dipolmagneten.

■ Ziel des CBM-Experiments – eines von vier großen Experimenten der FAIR-Anlage – ist es, Materie bei extrem hohen Dichten zu erzeugen und zu untersuchen. Dazu werden schwere Atomkerne auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und zur Kollision gebracht. Für einen kurzen Augenblick entstehen dabei Zustände, deren Dichte bis auf etwa das Zehnfache der normalen Kerndichte ansteigen kann – vergleichbar mit den Bedingungen im Innern von Neutronensternen.

Die bei den Kollisionen entstehenden Teilchen liefern Informationen über den Aufbau der Mate-

rie und die Kräfte, die Atomkerne zusammenhalten. Aus ihren Eigenschaften lassen sich Rückschlüsse auf den Materiezustand unter extremen Dichten ziehen.

Herzstück des Detektors ist der Magnet

Eine zentrale Rolle übernimmt der supraleitende Dipolmagnet am Eingang des rund 10 m langen Detektors. Sein Magnetfeld lenkt die bei den Kollisionen entstehenden geladenen Teilchen auf gekrümmte Bahnen ab. Aus dieser Krümmung können Forschende Impuls und elektrische Ladung der Teilchen

bestimmen – eine Grundvoraussetzung für deren Identifizierung.

Diese Aufgabe übernimmt das Magnetjoch: Es bündelt und führt das Magnetfeld der supraleitenden Spulen gezielt durch den Messbereich und verhindert, dass es unkontrolliert nach außen streut. Damit die Messungen mit hoher Genauigkeit möglich sind, muss das Magnetfeld über ein großes Volumen möglichst homogen sein.

Im Inneren des Magneten befinden sich bis zu zwölf hochpräzise Detektorstationen mit einer Ortsauflösung von rund 10 µm (10 Millionstel Meter), die die Teilchenbahnen vermessen. Weitere Tracking- und Identifikationssysteme verfolgen die Teilchen anschließend weiter und erfassen zusätzliche Messdaten.

„Bei diesem Experiment erzeugen wir im Labor für winzige Augenblicke Materie von einer Dichte, wie sie sonst nur im Innern von Neutronensternen herrscht. Der Dipolmagnet steht am Anfang jeder einzelnen Messung. Ohne ein präzise geführtes Magnetfeld könnten wir die entstehenden Teilchen weder vermessen noch identifizieren. Deshalb ist ein Joch dieser Güte für uns von grundlegender Bedeutung“, sagt Prof. Peter Senger, Projektleiter des CBM-Magneten am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung sowie Professor an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.

Maßarbeit für die Grundlagenforschung: Vermessung eines bearbeiteten Bauteils des 153 t schweren CBM-Magnetjochs bei von Schaewen.



Bilder: von Schaewen GmbH

Konstruktion unter extremen Bedingungen

Entwickelt wurde der Magnet von Bilfinger Nuclear. Die Konstruktion stellte die Ingenieurinnen und Inge-



Das in Essen gefertigte Magnetjoch vor dem Transport nach Darmstadt. Die Konstruktion besteht aus 16 Einzelteilen mit einem Gesamtgewicht von 153 t.

neure vor besondere Herausforderungen. Die supraleitenden Spulen aus Niob-Titan-Draht arbeiten bei lediglich 4,5 Kelvin ($-269\text{ }^{\circ}\text{C}$), während wenige Zentimeter entfernt bereits Raumtemperatur herrscht. Gleichzeitig müssen hohe elektromagnetische Kräfte sicher in das rund 150 t schwere Magnetjoch eingeleitet werden.

„Für diese Kombination aus extremen Temperaturen und hohen mechanischen Belastungen gibt es keine Standardlösung. Wir mussten die Lagerung der Spulen speziell für diese Randbedingungen entwickeln. Sie muss enorme Kräfte aufnehmen und gleichzeitig die Bewegungen ausgleichen, die beim Abkühlen und Erwärmen des Systems entstehen“, erläutert Dr. Wolfgang Walter, Senior Manager Multi-Physics and Fusion innerhalb der Business Unit Nuclear bei Bilfinger.

Bilfinger Nuclear entwickelte dafür spezielle Lagerungen aus

glasfaserverstärkten Kunststoffen und eigens konstruierte Buchsen. Sie nehmen die hohen Kräfte auf und ermöglichen gleichzeitig die unvermeidlichen Längenänderungen beim Abkühlen und Erwärmen des Systems.

Vom Schmiedestück zur Schweißkonstruktion

Die Fertigung des Magnetjochs übernahm die von Schaewen GmbH in Essen. Ausschlaggebend waren neben der Erfahrung mit Großprojekten vor allem die hohe Fertigungstiefe des Unternehmens. Materialbeschaffung, Brennschneiden, Schweißen, Wärmebehandlung und mechanische Bearbeitung

konnten vollständig im eigenen Werk durchgeführt werden.

Ursprünglich war vorgesehen, sämtliche Komponenten als massive Schmiedestücke auszuführen. Die dafür erforderlichen Querschnitte von bis zu $650 \times 650\text{ mm}$ bei einer Länge von 3 m erwiesen sich jedoch als wirtschaftlich nicht sinnvoll. Gemeinsam mit Bilfinger Nuclear entwickelte von Schaewen deshalb eine wirtschaftlich optimierte Schweißkonstruktion.

Während die beiden Magnetpole weiterhin aus rund 500 mm starken Schmiedeleplatten gefertigt wurden, entstanden die übrigen Bauteile aus 240 bis 280 mm starken Stahlblechen europäischer Walzwerke. Das Magnetjoch besteht aus insgesamt 16 Einzelteilen mit einem Gesamtgewicht von 153 t; das schwerste Bauteil wiegt 14,5 t.

Die geschweißten Komponenten wurden nach dem autogenen Brennschneiden und der

„Bauteile in dieser Größenordnung fertigt man nicht von der Stange.“

Mario Müller

Abteilungsleiter – Vertrieb Flachprodukte, von Schaewen GmbH

- Schweißnahtvorbereitung mehrlagig im MAG-Verfahren verschweißt. Nach dem Schweißprozess erfolgte ein Spannungsarmglühen bei rund 500 °C, um innere Spannungen abzubauen und Verzug während der späteren mechanischen Fertigbearbeitung zu vermeiden.

Das autogene Brennschneiden erfolgte auf Spezialanlagen, mit denen sich Stahl bis zu Materialstärken von 1.400 mm bearbeiten lässt. Neben der entsprechenden Technik ist dafür vor allem langjährige Erfahrung im Umgang

mit solchen Dimensionen erforderlich.

Präzision bis ins Detail

Nach dem Schweißen wurden die Bauteile mechanisch auf Zeichnungsmaß bearbeitet. Gerade bei einem Bauteil dieser Größe war die Maßhaltigkeit eine besondere Herausforderung. Der Grund liegt in der Messaufgabe des Detektors: Die Teilchenbahnen werden mit einer Ortsauflösung von rund 10 µm vermessen. Damit dies gelingt, muss das Magnetfeld über das gesamte

Messvolumen möglichst homogen sein.

Da der Verlauf des Magnetfelds unmittelbar von der Geometrie des Magnetjochs bestimmt wird, können bereits geringe Abweichungen – insbesondere an den Polflächen – die Feldverteilung beeinflussen. Diese Bereiche mussten deshalb eng toleriert und hochpräzise bearbeitet werden. Dass von Schaeffler auch diese mechanische Fertigung vollständig im eigenen Werk durchführen konnte, war ein wesentlicher Vorteil des Projekts.

INFO Schematische Darstellung des CBM-Experiments

Mit FAIR und dem CBM-Experiment entsteht in Darmstadt eine der weltweit bedeutendsten Forschungsanlagen zur Untersuchung von Materie unter extremen Bedingungen. FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) ist eine internationale Beschleunigeranlage, die am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung aufgebaut wird. Herzstück der Anlage ist ein leistungsfähiger Ringbeschleuniger, der Teilchenstrahlen mit hoher Intensität und Energie erzeugt.

Das Schaubild zeigt den Aufbau des CBM-Detektors (Compressed Baryonic Matter) – eines von vier großen Experimenten der neuen Beschleunigeranlage FAIR am GSI Helmholtzzentrum in Darmstadt. Von rechts trifft ein Strahl aus

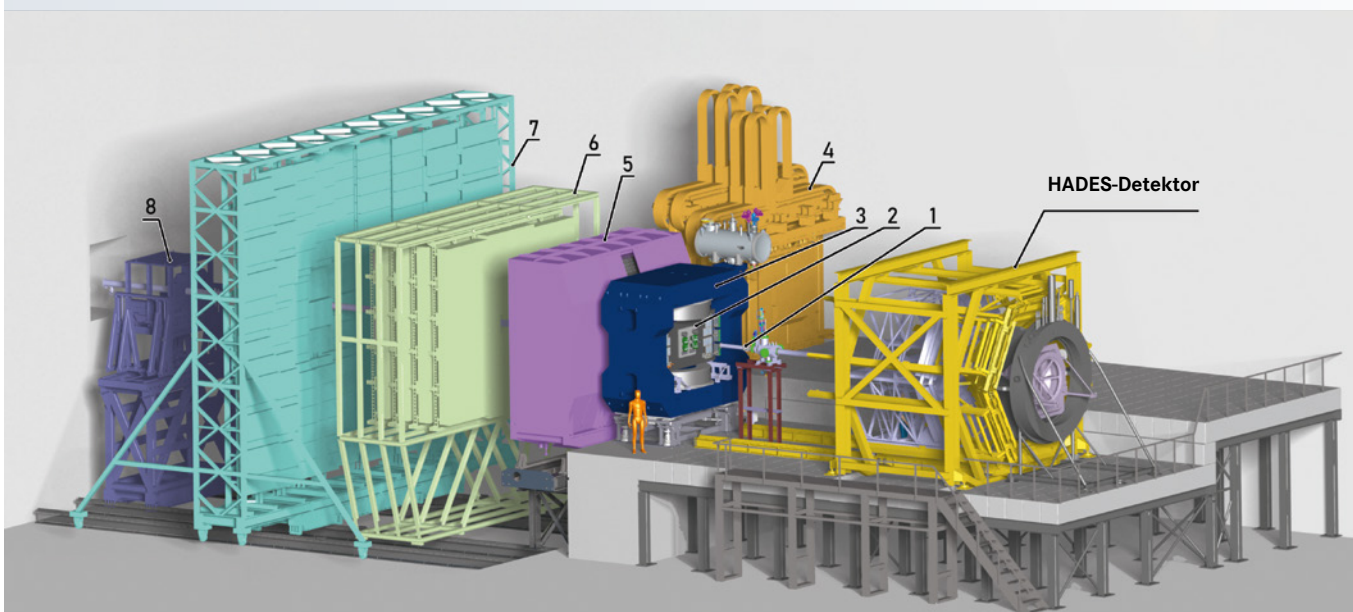
schweren Atomkernen, beschleunigt auf nahezu Lichtgeschwindigkeit, im Inneren des Detektors auf eine feste Probe. Bei diesem Aufprall entsteht für den Bruchteil einer Sekunde Materie von enormer Dichte, bis zum Zehnfachen der normalen Dichte eines Atomkerns, ähnlich wie im Inneren eines Neutronensterns.

Bei jeder Kollision entsteht eine Vielzahl neuer Teilchen. Sie durchlaufen nacheinander die farbig dargestellten Detektorlagen, die wie die Schichten einer riesigen Kamera arbeiten: Jede Lage misst eine andere Eigenschaft der Teilchen: ihre Bahn, ihre Geschwindigkeit und Art. Den Anfang macht der große blaue Magnet im Zentrum. Sein Magnetfeld zwingt die Teilchen auf gekrümmte Bahnen und

verrät den Forschenden so, wie schwer und wie schnell sie sind und damit die Grundlage, um sie überhaupt identifizieren zu können.

Aus all diesen Messdaten rekonstruieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler anschließend, wie sich Materie unter solch extremen Bedingungen verhält, wie sie sonst nur im Inneren von Sternen herrschen.

FAIR und CBM stehen damit für internationale Spitzenforschung. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus zahlreichen Ländern arbeiten gemeinsam daran, grundlegende Fragen zum Aufbau der Materie und zur Entwicklung des Universums zu beantworten.



Das CBM-Experiment an der FAIR-Anlage in Darmstadt. Der supraleitende Dipolmagnet (3) bildet eine zentrale Komponente des Detektors.

1: Time-Zero Detector & Beam Diagnostics
2: Silicon Tracking System / Micro Vertex Detector

3: Superconducting Dipole Magnet
4: Muon Chambers
5: Ring Imaging Cherenkov Detector

6: Transition Radiation Detector
7: Time of Flight Detector
8: Forward Spectator Detector

Foto: GSI/FAIR

Als Werkstoff kam der Baustahl S355JR zum Einsatz. Die Wahl des Materials war konstruktiv vorgegeben und ließ sich zugleich wirtschaftlich realisieren. Um den verbleibenden Restmagnetismus des Stahls bei Bedarf zu beseitigen, entwickelten die Projektpartner ein spezielles Entmagnetisierungsverfahren, das über die Magnetspulen durchgeführt werden kann.

„Bauteile in dieser Größenordnung fertigt man nicht von der Stange. Dass wir die komplette Fertigung – von der Materialbeschaffung über Brennschneiden, Schweißen und Wärmebehandlung bis zur mechanischen Bearbeitung – im eigenen Werk abbilden, hat es uns ermöglicht, gemeinsam mit Bilfinger Nuclear kurzfristig auf eine wirtschaftlichere Schweißkonstruktion umzustellen. Dabei konnten wir sämtliche technischen Anforderungen und die geforderte Maßgenauigkeit uneingeschränkt erfüllen“,

so Mario Müller, Abteilungsleiter – Vertrieb Flachprodukte, von Schaewen.

Vor der Auslieferung wurde das Magnetjoch vollständig vormontiert. Dabei überprüften Bilfinger Nuclear und das GSI Helmholtzzentrum gemeinsam die Maßhaltigkeit der Konstruktion. Nach erfolgreicher Zwischenabnahme wurden die Komponenten wieder zerlegt und für den Transport vorbereitet.

Noch einige Schritte bis zum ersten Experiment

Mit der Montage des supraleitenden Magneten in das Eisenjoch ist das Projekt jedoch noch nicht abgeschlossen. Für den Betrieb wird zusätzlich eine Kryoanlage benötigt, die den Magneten dauerhaft mit flüssigem Helium versorgt. Außerdem muss die technische Infrastruktur des Experimentbunkers fertiggestellt werden. Erst danach kann der Magnet auf Betriebstem-

peratur gebracht werden und das CBM-Experiment seinen wissenschaftlichen Betrieb aufnehmen.

„Solche Projekte zeigen, wie wichtig es ist, Fertigungskompetenz und Konstruktion eng miteinander zu verzahnen. Dass wir alle wesentlichen Bearbeitungsschritte im eigenen Werk durchführen konnten, hat wesentlich dazu beigetragen, gemeinsam mit Bilfinger Nuclear eine wirtschaftliche und zugleich technisch anspruchsvolle Lösung zu realisieren. Es macht uns stolz, damit einen Beitrag zu einem internationalen Forschungsprojekt leisten zu können“, sagt Mario Müller. ©



von Schaewen GmbH
Kronprinzenstraße 14 · 45128 Essen
Tel. +49 201 81 10-0
info@von-schaewen.de
www.von-schaewen.de
