

Wendelstein 7-X

NEWSLETTER

No. 7 / Dezember 2011

W7-X Torus komplett

Die Montage des Bus-, Heliumkühlrohr- und Instrumentierungssystems an den Modulen wurde abgeschlossen. Am 16. November 2011 wurde das letzte der fünf Module auf das Maschinenfundament gesetzt. Nur 3 Stunden dauerte dieser komplizierte Vorgang, der von zwei Laserscannern zur millimetergenauen Positionierung begleitet wurde. Das Montageteam hatte wesentlich mehr Zeit eingeplant, denn dieses Mal musste an beiden Seiten darauf geachtet werden, dass es nicht zu Kollisionen kommt. Teilweise standen nur 8 mm - und das an vielen Punkten gleichzeitig - zur Verfügung, um das 120 Tonnen schwere Modul an seinen Platz zu navigieren.

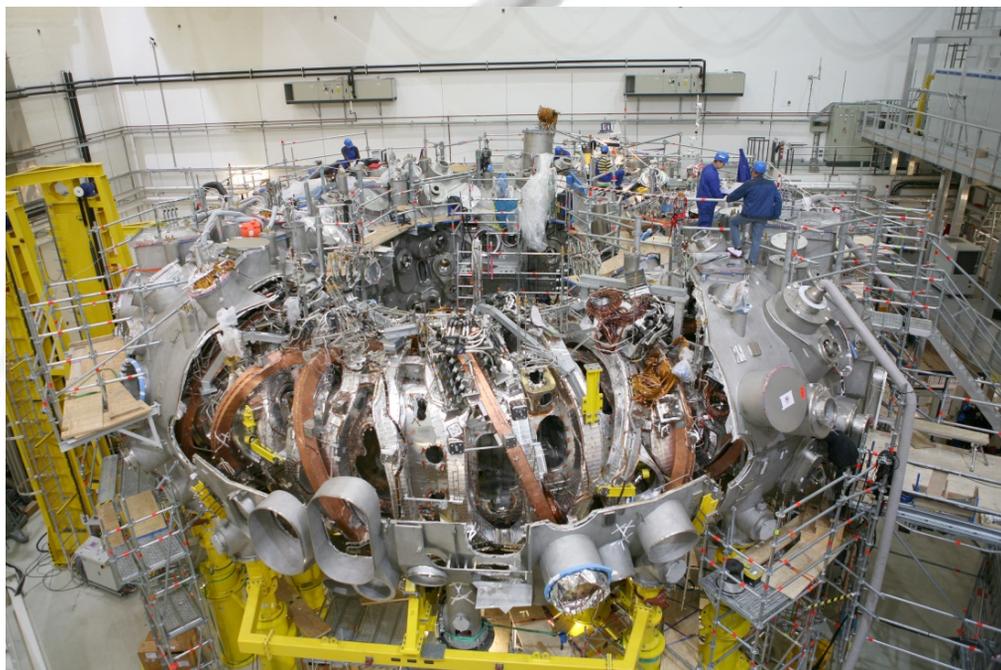


Abb. 1: Wendelstein 7-X am
16. November 2011



In den nächsten Monaten werden nacheinander alle fünf Module miteinander verbunden: Dazu werden wie an den Einzelmodulen auch hier die Kryoverrohrungen, das Instrumentierungssystem und die Busleiter mit Hilfe von Supraleiterverbindern an den Modultrennstellen zusammengefügt. Die Zentralringsektionen werden miteinander verschraubt, die thermische Isolation an ihren Nahtstellen geschlossen und die Plasmagefäße und Außengefäße zusammengeschweißt. Anschließend können die noch fehlenden Dome eingeschweißt werden.

Anfang 2012 beginnt dann auch die Montage der Inneneinbauten des Plasmagefäßes, d.h. das Plasmagefäß wird mit Kühlpaneelen aus Edelstahl verkleidet. Zusätzlich werden an thermisch hoch belasteten Stellen Kohlenstoffkacheln montiert.

Stutzen – Fenster zum Plasma

Bevor jedoch die Montage einer Vielzahl von Komponenten im Inneren des Plasmagefäßes beginnen kann, müssen zunächst die Verbindungselemente, die Stutzen, zwischen dem Außengefäß und dem Plasmagefäß installiert werden.

Insgesamt 254 bis zu 3 m lange, vakuumdichte Rohre bilden diese **Fenster zum heißen Plasma**. Sie stellen sicher, dass das Plasma von außen geheizt und mit Wasserstoff versorgt werden kann. Mit Vakuumpumpen werden Verunreinigungen durch die Stutzen abgepumpt. Die entstehende Wärme im Inneren des Plasmagefäßes wird über Kühlwasserleitungen abtransportiert. Etwa die Hälfte aller Stutzen dient allerdings zur Beobachtung des Plasmas: Vom Plasma ausgesandtes, sichtbares Licht oder Mikrowellen werden ebenso detektiert wie Ströme, die auf Sonden fließen, welche sich am Rand des Plasmas befinden. Ziel der Diagnostiken ist z.B. die Bestimmung der Temperatur des Plasmas, die beim Wendelstein 7-X ungefähr 100 Millionen Grad betragen wird. Diese Temperatur ist notwendig, um später in einem Kraftwerk Deuterium und Tritium zu verschmelzen und so Energie aus diesem Prozess zu erzeugen. Der Querschnitt der Stutzen variiert zwischen 150 mm Durchmesser und einer Öffnung von ca. 1000 X 400 mm². Die größten Stutzen dienen der Mikrowellen- und Neutralteilchenheizung oder als Zugangsöffnung für Wartungsarbeiten im Plasmatorus.



Foto: Beate Kernitz

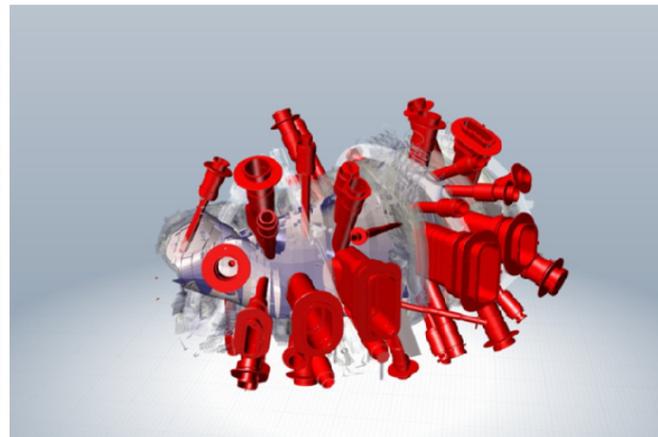


Abb 2: Realität und unverstellte virtuelle Sicht: Das Foto links zeigt ein Magnetmodul noch ohne Stutzen in der Experimenthalle. Rechts eine CAD-Ansicht aus gleicher Perspektive (ohne Außengefäß) – die Stutzen in einem der fünf Module sind zur besseren Sichtbarkeit künstlich rot eingefärbt.

Die Montage der Stutzen erfolgt von außen. Dazu werden sie durch Öffnungen im Außengefäß, durch den Kryoraum hindurch bis zu entsprechenden Öffnungen im Plasmagefäß geschoben und dann mit der äußeren Hülle und im Inneren am Plasmagefäß verschweißt.

Um Bewegungen des Plasmagefäßes während des Betriebs von W7-X aufnehmen zu können, werden die Stutzen beweglich am Außengefäß über Bälge befestigt. Da die Stutzen den extrem kalten Kryoraum überbrücken, müssen sie gut thermisch isoliert sein. Wie im Zeitplan vorgesehen, sind in den ersten drei von fünf Modulen die Stutzen bereits verschweißt. Damit konnte ein wichtiger Meilenstein fristgerecht eingehalten werden, auch wenn sich die Stutzenmontage als große technische Herausforderung erwies.



Die bis zu eine Tonne schweren Stutzen müssen millimetergenau justiert und verschweißt werden. Für das Ausrichten der Stutzen war es notwendig, spezielle, hochpräzise Justageeinrichtungen (Lafetten mit bis zu fünf einstellbaren Freiheitsgraden) zu entwickeln, die die Montage selbst in einer Höhe von 12 m über dem Fußboden gestatten. Hierbei gilt es nicht nur die richtige dreidimensionale Kontur des Plasmagefäßes und die Ausrichtung der Stutzenlöcher, sondern ebenso den Schweißprozess und den damit verbundenen Verzug sowie dessen Auswirkung auf die spätere Stutzenposition zu berücksichtigen.



Foto: Beate Kernitz

Ist der Stutzen auf seine richtige Länge gebracht worden, erfolgt das Aufbringen der thermischen Isolation. Um spätere Kollisionen bei der Montage und im Betrieb des W7-X zu vermeiden, muss die Isolierung der Kontur des Stutzens hochgenau, mit Abweichungen von nur wenigen Millimetern folgen. Die Bestimmung der richtigen Länge und der 3-dimensionalen Verschnittgeometrie des Stutzens mit dem Plasmagefäß erweist sich ebenfalls als technisch äußerst anspruchsvoll. Wurde zunächst jeder Stutzen während einer Probemontage an der Plasmagefäßöffnung angerissen, wird heute die Länge und Verschnittgeometrie messtechnisch erfasst und mit Hilfe von 3-D-Konstruktionsverfahren auf den Stutzen übertragen.

Abb. 3: Stutzenmontage unter Nutzung einer speziellen Lafette in ca. 12m Höhe über dem Fußboden. Der Stutzen ist ca. 2 m lang und wiegt ca. 700 kg. Die erwartete Positioniergenauigkeit nach dem Heften liegt bei ca. 4 mm

Null Toleranz – Ingenieurkunst an der Grenze

Unter der Vielzahl der Stutzen gibt es Spezialfälle, die die Montage in den Grenzbereich des technisch Machbaren treiben. Liegen die Montagetoleranzen üblicherweise bei wenigen Millimetern, sind für wenige Stutzen die Spielgrenzen nahezu Null. Die Ursachen dafür sind Forderungen nach einem größtmöglichen inneren Querschnitt gepaart mit einem hohen Risiko von Kollisionen der äußeren Stutzenhülle mit umgebenden Bauteilen.

Ein Beispiel ist der Stutzen für die Heizung durch schnelle Teilchenstrahlen. Selbst eine äußerst geringe Reduktion des inneren Querschnitts (ca. 1 mm) würde die Belastung auf der Innenseite des Stutzens durch ein Abschälen eines Teils der Leistung deutlich erhöhen. Einer Vergrößerung des Stutzenquerschnitts stehen aber den Stutzen umgebende Bauteile wie z.B. die Magnetspulen entgegen. Zur Optimierung der Bauraumsituation und der Montageprozeduren wurde das Design dieser Stutzen mehrfach überarbeitet, um den größtmöglichen inneren Querschnitt zu erzielen. An einem Testprototyp wurde der spätere Schweiß- und Ausrichtprozess getestet. Die Ergebnisse dieser Arbeiten flossen wiederum in das Design des eigentlichen Stutzens ein.

Dies alles bedarf Teamarbeit auf höchstem Niveau, in der nur das Zusammenspiel von physikalischen Rechnungen, modernstem CAD-Design und 3-D-Vermessung, exzellentem Maschinenbau und handwerklichem Geschick zum Erfolg führt.