

# Wendelstein 7-X

## NEWSLETTER

No. 13 / April 2017

### Grafitkleid für Wendelstein 7-X

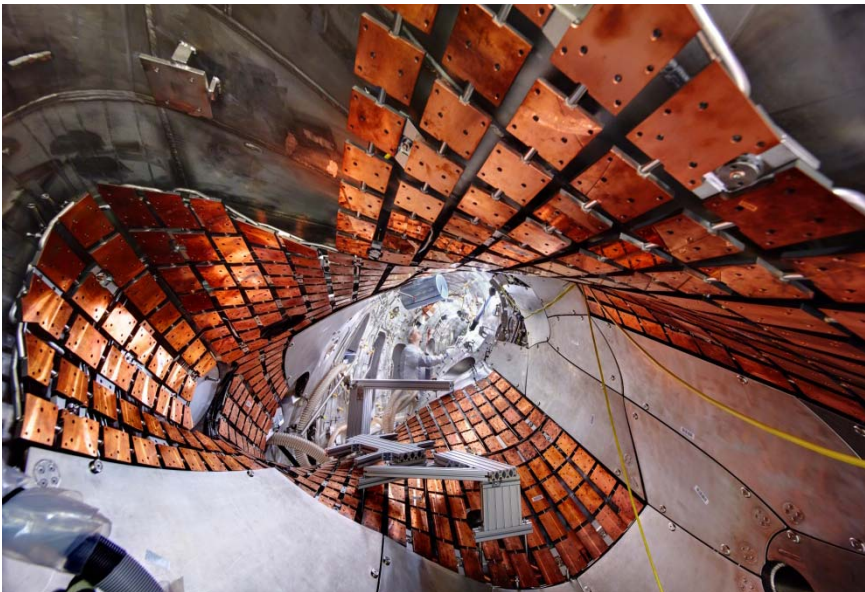


Foto: IPP, Torsten Bräuer

Ziel der ersten Betriebsphase (OP 1.1) am Wendelstein 7-X (10. Dezember 2015 bis 10. März 2016) war es, so schnell wie möglich integrierte Tests der wichtigsten Systeme durchzuführen und erste Physikerfahrten zu gewinnen. Daher wurden der Divertor und die meisten Grafitkacheln der Baffle- und Wandschutzelemente für diese erste Phase nicht installiert. Stattdessen erfolgte die Installation von fünf toroidal symmetrisch verteilten „Limiter“-Strukturen. Während einer Entladung konnte das Plasma an diesen Limitern einen wesentlichen Teil seiner Energie abgeben, während alle anderen Komponenten im Plasmagefäß im „Schatten“ der Limiter keinen hohen Wärmelasten ausgesetzt und damit vor einer thermischen Überlastung geschützt waren. Der Einsatz der trägheitsgekühlten Limiter begrenzte allerdings die maximal ins Plasma einkoppelbare Energie auf vier Megajoule und somit die Entladungszeit.



Die längsten Entladungen, die in dieser Phase möglich waren, dauerten sechs Sekunden bei einer Heizleistung von 0,6 MW Mikrowellenheizung. Kürzere Entladungspulse wurden mit einer Heizleistung von bis zu 4,3 MW erzeugt. Sowohl die Limiter als auch das Stellaratormagnetfeld funktionierten hervorragend: Die Strukturen im Plasmagefäß wiesen keine Spuren von Beschädigungen auf.



Blick in das Plasmagefäß vor der ersten Betriebsphase. Inzwischen wurden auf die Wandschutzelemente aus Kupfer-Chrom-Zirkon die passgenauen Grafitkacheln montiert.

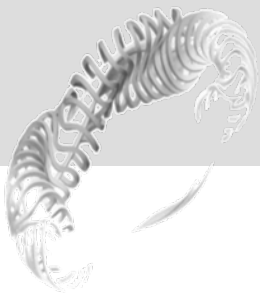
*Foto: IPP, Bernhard Ludewig*

In Vorbereitung auf die nächste Betriebsphase (OP 1.2a), die im Spätsommer diesen Jahres beginnen soll, erfolgte nun der Austausch der Limiterstrukturen gegen einen Testdivertor sowie die Installation aller Grafitkacheln auf den Baffle- und Wandschutzelementen, um höhere Heizleistungen und die gewünschten Magnetfeldkonfigurationen erzielen zu können. Im Wendelstein 7-X macht sich der Divertor die spezielle Topologie des Magnetfelds am Plasmarand zu Nutze, um die Wärme aus dem Plasma auf möglichst große Flächen abzuführen.

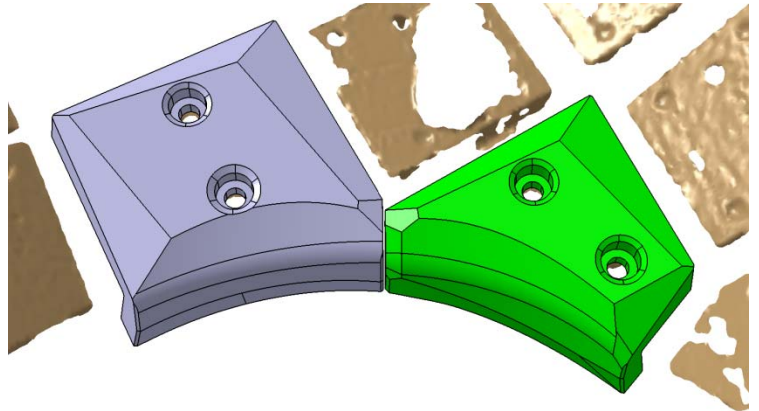
Zusätzlich zu den für den ersten Betrieb von W7-X notwendigen Komponenten wurden vor der ersten Betriebsphase im Inneren des Plasmagefäßes bereits Komponenten für den weiteren Ausbau installiert. Dazu gehörten Rohrleitungen zum Kühlen der ins Plasmagefäß eingebauten Komponenten, Kühlschilde für die Plasmagefäßwand (sogenannte Paneele), die Kühlstrukturen der Baffle- und Wandschutzelemente, die Haltestrukturen der Divertoren sowie eine Reihe von Plasmadiagnostiken.

Die Installation der Kühlstrukturen für die Baffle- und Wandschutzelemente erwies sich als technologisch komplex sowie zeit- und ressourcenintensiv. Neben der vakuumdichten Montage der Wasseranschlüsse dieser Bauteile richtete man besonderes Augenmerk auf ihre Positionsgenauigkeit. Hätte man versucht, die Kühlstrukturen der Baffle- und Wandschutzelemente mit gleicher oder höherer Genauigkeit zu installieren, wie die später auf ihnen zu montierenden Grafitkacheln (mit einem seitlichen Abstand zwischen den Kacheln von 3 mm bei einer Toleranz von -0,5 mm und +4 mm sowie einem Stufenversatz zwischen den Kacheln von max. 3 mm), hätte dies zu einem nicht vertretbaren zeitlichen Aufwand und Ressourceneinsatz geführt. Für die Installation der Baffle- und Wandschutzelemente sowie ihrer Verkleidung mit Grafitkacheln wurde deshalb ein Montagekonzept gewählt, bei dem die Kühlstrukturen zunächst mit praxisgerechten Montagetoleranzen (kleiner als 1,5 mm) eingebaut und dann ihre Positionen hochgenau vermessen wurden. Auf der Basis dieser Messwerte wurden dann aus vorgefertigten Grafitrohlingen Kacheln gefertigt und montiert, deren Abmessungen exakt auf die Ist-Position der Kühlstrukturen angepasst sind.





Anpassung der Geometrie der Kacheln auf die tatsächliche Lage der Kühlstrukturen. Auf der CAD-Darstellung der Kühlstrukturen werden die CAD-Modelle der Grafitkacheln positioniert (blau und grün). Zu große Spalten oder Durchdringungen werden analysiert und die Größe der Kacheln millimetergenau angepasst. Aus vorgefertigten Kachelrohlingen werden entsprechend der modifizierten CAD-Modelle anschließend die passgenauen Kacheln gefertigt.



In der aktuellen Umbauphase des Experiments erfasste man die Ist-Positionen dieser Bauteile mit Hilfe eines handgeführten Laser-Scanners. Dieser bot den Vorteil, dass das Messsystem ohne den aufwändigen Aufbau eines Stativs und ohne langwierige Orientierung zum Hauptkoordinatensystem des W7-X eingesetzt werden konnte. Es musste lediglich ein Referenzpunktesystem mit Punktabständen von ca. 150 mm installiert werden, welches die zu vermessenden Bauteile umschloss. In kürzester Zeit ließ sich mit diesem Messsystem die relative Lage von mehreren Kühlstrukturen zueinander mit einer Auflösung von 1 mm x 1 mm und einer Messunsicherheit von kleiner als 0,5 mm erfassen. Insgesamt wurden die Kühlstrukturen von 170 Baffle- und 160 Wandschutzelementen von Mai 2016 bis Januar 2017 gescannt und daraus entsprechende Bilder für die Anpassung der Grafitkacheln erzeugt.

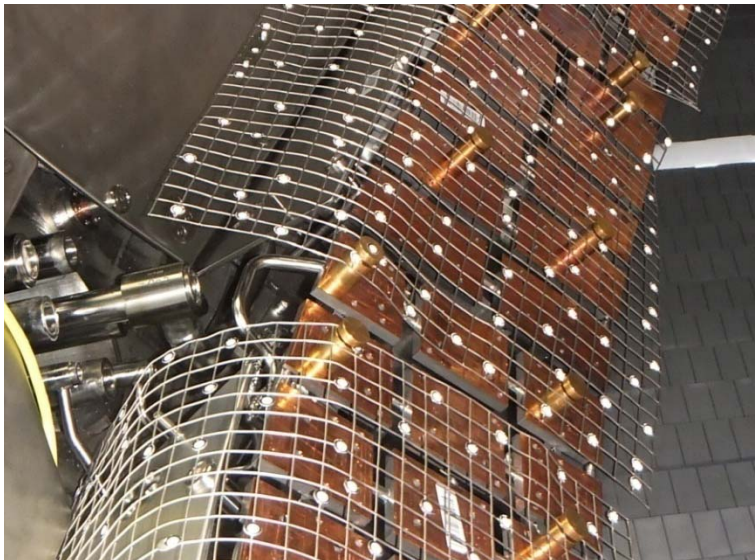


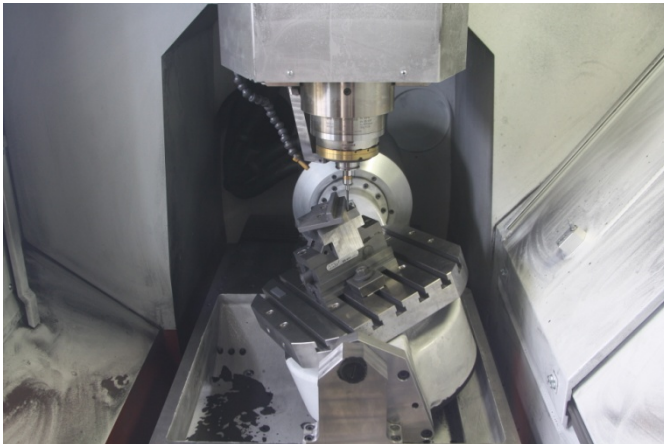
Foto: IPP, Torsten Bräuer

Installation eines Referenzpunktesystems (weiße Punkte) auf den zu scannenden Kühlstrukturen der Baffle-Elemente. Mit Hilfe eines handgeführten Scanners wird die aktuelle Position der Kühlstrukturen erfasst. Danach kann die Größe der zu montierenden Grafitkacheln millimetergenau bestimmt werden.

Aus der Kenntnis der Ist-Position der Kühlstrukturen, insbesondere der Lage der Ränder der einzelnen Kühlstrukturen zueinander, ließen sich in einem Reverse-Engineering-Prozess die exakten Größen der auf die Kühlstrukturen zu montierenden Grafitkacheln bestimmen. Für diese umfangreichen Arbeiten hat das IPP auf das Know-How der in Reverse-Engineering erfahrenen Firma Winter 3D GmbH zurückgreifen können. Im Wochentakt gingen Scandaten vom IPP an das externe Konstruktionsbüro. Ein bis zwei Wochen später kamen die CAD-Modelle für die zu modifizierenden Grafitkacheln zurück.



Im IPP wurden die CAD-Daten noch einmal geprüft und dann an die hausinterne Werkstatt übergeben. Auf der Basis der neu erstellten CAD-Daten fertigte man auf einer speziellen 5-Achs-Fräsmaschine im Trockenverfahren passgenaue Kacheln aus bereits vorgefertigten Kachelrohlingen. Die Genauigkeit bei der mechanischen Bearbeitung der Grafitkacheln liegt unter 0,01 Millimeter. Alle bearbeiteten Kacheln wurden vor dem Einbau in den W7-X bei 2000°C unter Vakuumatmosphäre ausgeheizt, um Anhaftungen von Verunreinigungen und Wasser zu entfernen.



Grafitkachelbearbeitung in der 5-Achs-Fräsmaschine

Foto: IPP, Beate Kemnitz

Montage der ersten Grafitkachel der Baffle- und Wandschutzelemente. Insgesamt wurden 8000 Grafitkacheln im Wendelstein 7-X montiert. Ca. 4500 von 8000 Kacheln wurden millimetergenau in ihrer Größe angepasst, sodass der Spalt und der Stufenversatz von benachbarten Kacheln möglichst eng bzw. klein gehalten werden konnte.



Foto: IPP, Torsten Bräuer

Insgesamt wurden von den etwa 8000 Grafitkacheln der Baffle- und Wandschutzelemente etwa 4500 modifiziert und in eine passgenaue Form gebracht. Alle installierten Grafitkacheln erfüllen die Toleranzforderungen bezüglich des seitlichen Abstandes als auch der Stufe zu den an sie angrenzenden Nachbarn.

*Prof. Thomas Sunn Pedersen/Dr. Torsten Bräuer*

Wendelstein 7-X Newsletter  
Veröffentlicht durch das  
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik Greifswald  
Wendelsteinstraße 1  
Deutschland - 17491 Greifswald

Koordination:  
Kontakt:  
Telefon:  
Telefon:  
Fax:  
E-Mail:  
Website:

Prof. Dr. Robert Wolf  
Dr. Andreas Dinklage  
+49 3834 882328  
+49 3834 882509  
w7xnewsletter@ipp.mpg.de  
[www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de)

**Der Newsletter als pdf-Datei online:**  
<http://www.ipp.mpg.de/13038/w7x>



MAX-PLANCK-GESellschaft

