

# Wendelstein 7-X

## NEWSLETTER

Nr. 9 / Februar 2013

### Hochentwickelte Werkstoffe für die Komponenten im Plasmagefäß

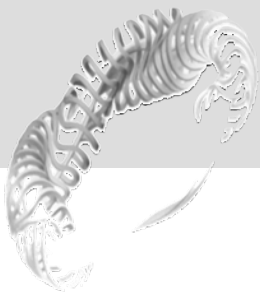
Ein wesentliches Ziel am Wendelstein 7-X ist der Nachweis, dass ein Stellarator im Dauerbetrieb arbeiten kann. Dafür muss das Plasma durch die Magnetfelder der supraleitenden Spulen eingeschlossen und hinreichend hohe Plasmadichten und sehr hohe Temperaturen im Plasma erzeugt werden. Die externe Plasmaheizung muss den Plasmazustand zunächst erzeugen und soll ihn dann für 30 Minuten aufrecht erhalten. Befindet sich das Plasma in einem stationären Gleichgewicht bedeutet das, dass die dem Plasma zugeführte Energie kontinuierlich abgeführt werden muss.

Die Energieabfuhr kann unterschiedlich erfolgen: einerseits durch Abstrahlung, was zu einer mehr oder weniger gleichmäßigen Belastung der dem Plasma zugewandten Gefäßkomponenten führt. Oder durch Wärmeleitung bzw. Konvektion entlang der Magnetfeldlinien, die am Plasmarand auf Wandkomponenten treffen und zur gezielten Energie- und Teilchenabfuhr auf die dafür vorgesehenen Wandkomponenten führen.



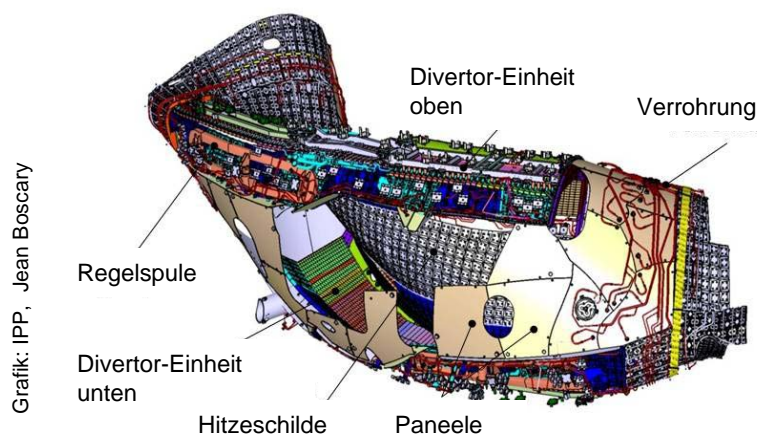
Foto: IPP, Robert Haas

*Auskleidung für einen Stutzen der Neutralteilchenheizung*



Kontinuierliche Wärmeflüsse stellen für die Einbauten im Plasmagefäß eine Herausforderung dar. In den meisten gegenwärtigen Fusionsexperimenten haben die Entladungen eine Dauer von etwa 10 s. Ein solcher Betrieb gestattet eine kurzzeitige Belastung – die Zeit zwischen den Entladungen wird zur Abkühlung genutzt. Bei Experimenten von 30 Minuten jedoch, wie sie am Wendelstein 7-X geplant sind, entspricht ein solcher Puls 200 bis 2000 herkömmlichen Entladungen. Daher müssen für die Komponenten im Plasmagefäß entsprechende Materialien ausgewählt werden, die den thermischen und mechanischen Belastungen dauerhaft standhalten. Außerdem müssen die Einbauten vor Wechselwirkungen mit dem Plasma und vor Strahlung aus dem Plasma (z. B. Streustrahlung durch die Mikrowellenheizung) geschützt werden. Daher ist am Wendelstein 7-X eine ständige Wasserkühlung der relevanten Bauteile notwendig. Achtzig Stutzen und damit ein Drittel der Stutzen am Wendelstein 7-X werden für die Durchführung des Wassers ins Plasmagefäß genutzt. Innerhalb des Plasmagefäßes müssen vier Kilometer Rohrleitungen für die Kühlung verlegt werden. Möglichst genaue Vorhersagen für die erwartete Wärmebelastung sind für das Design dieser Komponenten insbesondere für den Divertor, das thermisch am höchsten belastete Bauteil, wichtig.

Daher wird es zwei unterschiedliche Betriebsphasen am Wendelstein 7-X geben. Für die erste Betriebsphase mit kurzen Entladungen von 5 bis 10 Sekunden wird zunächst ein Testdivertor mit trägheitsgekühlten Kupfermodulen und darauf montierten Graphitkacheln installiert. Er ermöglicht die präzise Messung der lokalen thermischen Belastungen für alle wichtigen Betriebsszenarien. Diese Messungen bilden die Grundlage für die Optimierung der wassergekühlten Target-Module des Höchstleistungswärmetauschers (High-Heat-Flux-Divertor). Nach ca. zwei Jahren Betrieb liegen ausreichend Daten vor, um den Testdivertor in einer zweijährigen Umbauphase durch den eigentlichen High-Heat-Flux-Divertor (HHF) für die langen Entladungen bis zu 30 min zu ersetzen. Dieser HHF-Divertor kommt an den höchstbelasteten Stellen zum Einsatz und muss pro Quadratmeter zehn Millionen Watt dauerhaft abführen können. Die Belastung des Materials ist damit etwa 20-mal höher als bei Wärmetauschern in konventioneller Kraftwerkstechnik üblich und übertrifft jene an den Flügelkanten des Space Shuttles beim Eintritt in die Atmosphäre. Diese liegt dort für „nur“ einige 100 Sekunden bei etwa 6 Millionen Watt pro Quadratmeter. Für den HHF-Divertor kommen 890 Elemente aus 8 mm dicken kohlefaserverstärkten Kohlenstoffkacheln zum Einsatz, die in einem patentierten Verfahren mit einem wassergekühlten Metallblock verbunden werden. Die Serienfertigung dieser Elemente läuft derzeit und ihr Einbau ist ab 2017 vorgesehen.



Grafik: IPP, Jean Boscary

*In das Plasmagefäß werden zehn Divertormodule, Hitzeschilde, Bafflemodule, Wandpaneele sowie Schutzvorrichtungen für die Stutzen eingebaut. Eine komplexe Kühlwasserversorgung für diese Elemente stellt die Abfuhr der Energie aus dem Plasma sicher. Hinzu kommen Regelspulen und Kryopumpen – insgesamt umfassen die 2500 Komponenten im Plasmagefäß ca. 710 000 Bauteile.*

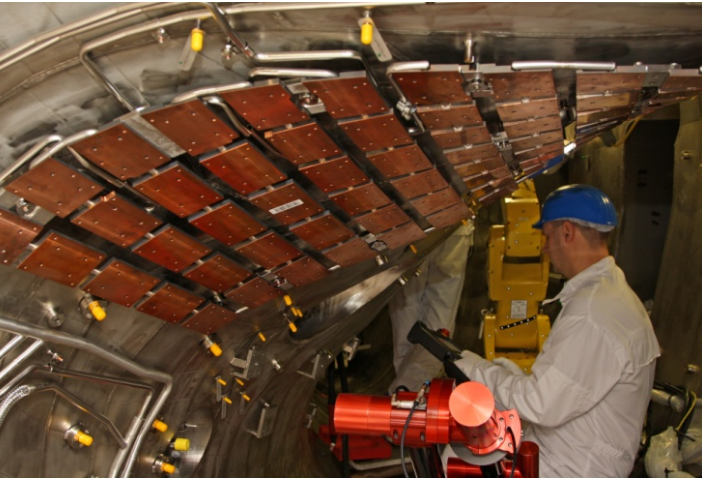
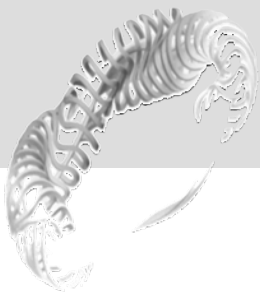


Foto: IPP, Torsten Bräuer

Ein Großteil der Komponenten im Plasmagefäß wurde bereits nach Greifswald geliefert und wird vor Ort für die Montage in der Maschine vorbereitet. Für den Einbau dieser Komponenten wurden die ersten Module aufwendig gereinigt und mit Schleusen und Belüftungseinrichtungen versehen. Mit Hilfe eines Positionierroboters werden gegenwärtig pro Modul ungefähr 1200 Bolzen und Halterungen zur Befestigung der unterschiedlichen Komponenten angeschweißt.

Wandschutzziegel im Plasmagefäß von Wendelstein 7-X

**Status Wendelstein 7-X:** Die Montage der Plasmagefäßmodule wurde abgeschlossen und die Verbindung der Module miteinander läuft planmäßig. Die Stützen innerhalb der Module sind vollständig montiert und mit den Gefäßen verschweißt. An drei Modultrennstellen, den Übergängen zwischen zwei Modulen, sind sämtliche Stützen verschweißt. An der vierten werden die Arbeiten noch in diesem Quartal und an der fünften im nächsten Quartal abgeschlossen. Die vier in Kooperation mit dem Princeton Plasma Physics Laboratory und Everson Tesla gefertigten Trimmspulen vom Typ A wurden im IPP termingerecht angeliefert. Die Fertigung der Typ B Spule läuft noch. Die Serienfertigung der Stromzuführungen beim Karlsruher Institut für Technologie wurde abgeschlossen und das erste Paar wurde am Wendelstein 7-X montiert.

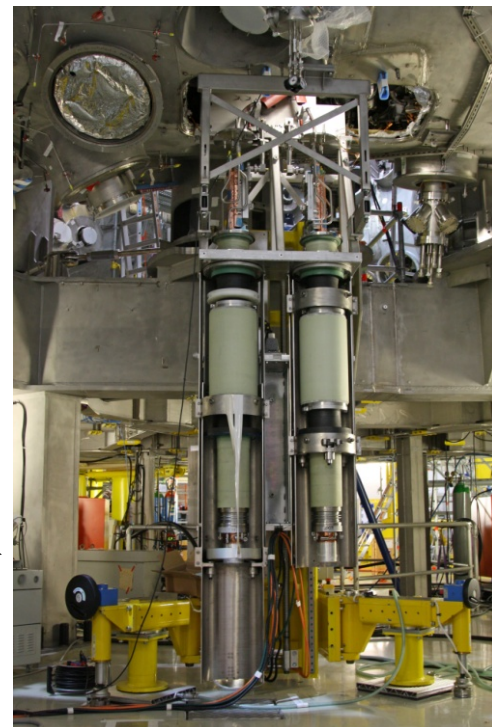


Foto: IPP, Beate Kemnitz

Stromzuführung für die supraleitenden Spulen