

Wendelstein 7-X

NEWSLETTER

Nr. 16/Juli 2020



Im Fokus: Wendelstein 7-X erhält ein Upgrade

Die ersten beiden Betriebsphasen an Wendelstein 7-X lieferten bereits eindrucksvolle Ergebnisse wie den Betrieb bei hohen Plasmadichten mit Plasmatemperaturen von mehr als 20 Millionen Grad Celsius, lange Entladungsdauern von bis zu 100 Sekunden, eine Heizenergie von 200 MJ und eine geringe Wärmebelastung der ersten Wand bei sogenanntem Divertor-Detachment. Diese Ablösung (Detachment) des Plasmas von den Prallplatten des Divertors ist wichtig, um den Divertor thermisch nicht zu überlasten und um die Materialerosion so gering wie möglich zu halten.

In der letzten Betriebskampagne wurde mit ungekühlten Grafitwandverkleidungen und ungekühltem Grafit-Divertor experimentiert. Daher konnten die Plasmaexperimente auch nur für einige 10 Sekunden durchgeführt werden. Da Wendelstein 7-X die Eigenschaften von Plasmen aber für 30 Minuten bei einer maximalen Heizenergie von 18 GJ (10 MW über eine halbe Stunde) untersuchen soll, finden gegenwärtig umfangreiche Umbauarbeiten im Plasmagefäß statt. Alle Elemente, die in Wärmekontakt mit dem Plasma kommen, werden zukünftig aktiv mit Wasser gekühlt, das entspricht einer Gesamtfläche von etwa 250 m². Das dafür benötigte Kühlsystem besteht aus mehr als 600 separaten Wasserkühlkreisläufen (siehe Abb. 1) – insgesamt werden also etwa 4,5 Kilometer Wasserrohre installiert.

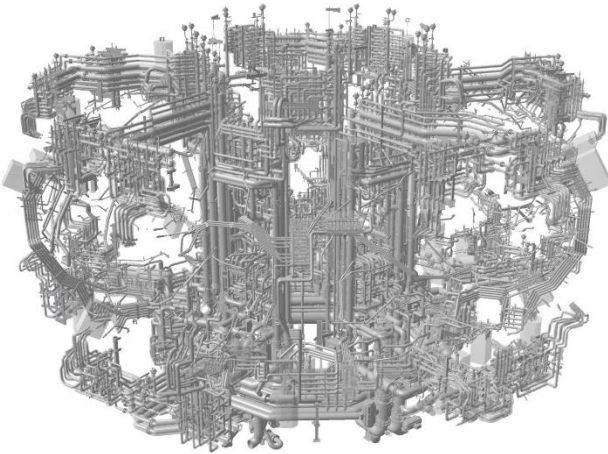
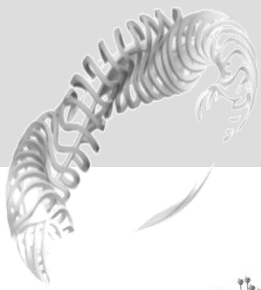


Abb. 1 Kühlwassersystem rund um den Torus von Wendelstein 7-X, Grafik: IPP

Das Herzstück der neuen Einbauten im Plasmagefäß ist der Hochleistungsdivertor, die Komponente mit der höchsten Wärmebelastung im Plasmagefäß. Die 120 Divertorplatten decken eine Fläche von 19 m² im Plasmagefäß ab und schützen damit genau die Wandbereiche, auf welche die Teilchen und Wärmeflüsse entlang der Magnetfelder in der Plasmarandschicht treffen. Die dem Plasma zugewandte Oberfläche der Divertorplatten besteht aus 18 000 kohlefaserverstärkten Kohlenstoffziegeln, die sehr hohen Temperaturen widerstehen und die Wärme gut ableiten können. Um den Wärmeeintrag von 10 Millionen Watt pro Quadratmeter dauerhaft abführen zu können, sind die Kohlenstoffziegel auf von Kühlkanälen durchzogene Platten aus einer Kupfer-Chrom-Zirkon-Legierung aufgeschweißt. Alle Teile des gekühlten Divertors sind fertiggestellt und werden in den nächsten Monaten an das Kühlsystem angeschlossen. Dabei stellt der Anschluss der komplex geformten Kühlrohrverbindungen an den Divertor aufgrund der extremen Platzbeschränkungen im Plasmagefäß eine besondere Herausforderung dar. Die Schweißarbeiten an den Anschlüssen der Wasserversorgungsleitungen müssen sehr hohen Qualitätsanforderungen genügen, um Leckagen im Plasmagefäß zu verhindern.

Hinter einem Spalt in der Mitte jedes Divertors befindet sich eine Kryopumpe, die die auftreffenden Gas- und Verunreinigungsteilchen entfernt. Auf diese Weise lässt sich mit dem Divertor die Reinheit und Dichte des Plasmas regeln. Jede der zehn Kryopumpen muss mit flüssigem Helium und flüssigem Stickstoff versorgt werden. In der gegenwärtigen Umbauphase wird dafür auch das Kryosystem erweitert. Dazu werden eine neue 55 m lange Transferleitung von der Kryoanlage zur neuen Kryoventilbox sowie 10 Transferleitungen zu den Kryopumpen installiert.



Abb. 2 Kryoventilbox im zweiten Untergeschoss, Foto: IPP, B. Kemnitz

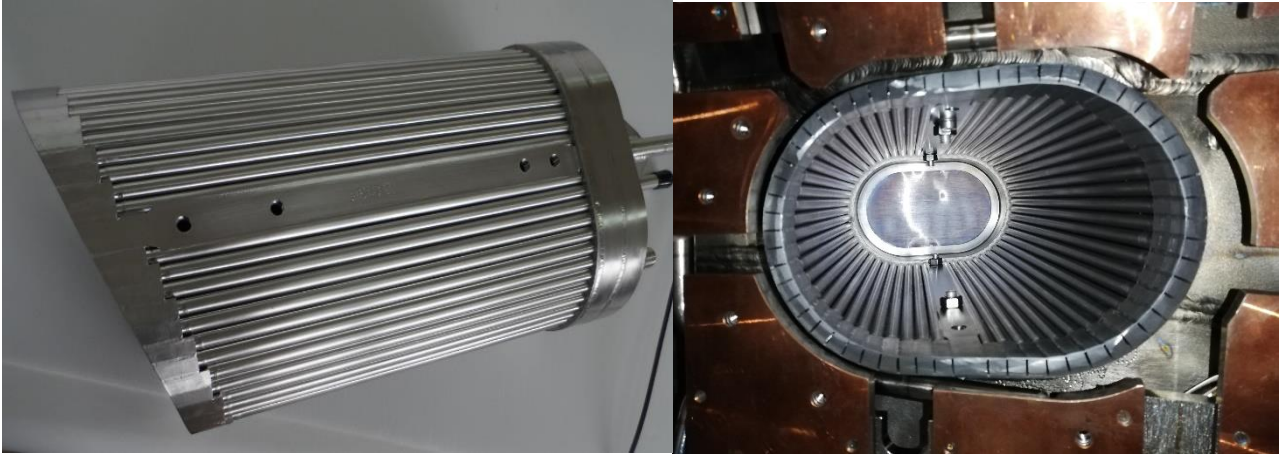
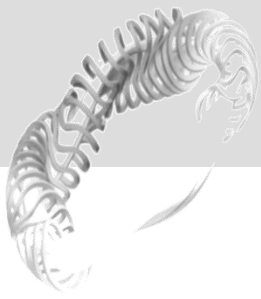


Abb. 3 Die wassergekühlten Stützenschuttschilde vor und nach dem Einbau, Foto: IPP

Die Stützen, die das Plasmagefäß mit der Außenwelt verbinden und der Beobachtung, Versorgung und Heizung des Plasmas dienen, müssen während des Betriebes von Wendelstein 7-X ebenfalls durch wassergekühlte Auskleidungen vor unzulässiger Erwärmung durch Strahlung aus dem Plasma geschützt werden. Die Kühlung ist für einen maximalen Leistungseintrag von 50 bis 100 kW/m² ausgelegt und funktioniert nach dem Wärmetauscherprinzip: Das kalte Wasser fließt in 4 mm dünnen Rohren, die sich wiederum in 8 mm dicken Rohren befinden. Der Rücklauf erfolgt in dem Zwischenraum der beiden Rohre.

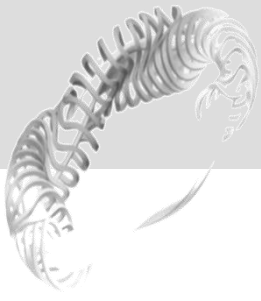
Die eigentliche Auskleidung der Stützen wird aus einer Vielzahl solcher Rohre aufgebaut. Durch diese Bauweise lassen sich die unterschiedlichen Stützenformen – rund, rechteckig oder oval – passgenau für die engen Bauräume von 15 bis 20 mm fertigen.

Die Elektronen-Zyklotron-Resonanz-Heizung (ECRH) ist das leistungsstärkste Verfahren zur Heizung des Wendelstein 7-X-Plasmas. Jeder der zehn 140 GHz-Mikrowellensender koppelt im Durchschnitt 0,8 MW in das Plasma ein.

In der letzten Betriebskampagne kam der erste Neutralteilcheninjektor mit zwei Ionenquellen zum Einsatz. Die im Plasma deponierte Gesamtleistung betrug 1,7 MW. Die Neutralteilchenheizung wird nun weiter ausgebaut, sodass zwei Neutralteilchen-Injektoren mit jeweils zwei Quellen zur Verfügung stehen. Die Gesamtheizleistung wird dann bei der Verwendung von Wasserstoffionen 7 MW betragen (Teilchenenergie 55 keV).

Als weiteres, neues Plasmaheizverfahren soll in der nächsten Betriebsphase die Ionen-Zyklotron-Resonanz-Heizung mit einer Heizleistung von 1,5 MW zum Einsatz kommen.

Das Spektrum der Diagnostiken wird um sieben neue Systeme erweitert. Die bereits vorhandenen Messinstrumente werden umfangreich erweitert und weiterentwickelt.



Die Umsetzung der notwendigen Maßnahmen zum Schutz der Belegschaft vor COVID-19 hat sich unvermeidlich auf die Zeitschiene der Umbauarbeiten ausgewirkt. Gegenwärtig wird ein neuer Montageplan und daraus folgend ein neuer Inbetriebnahmeplan für Wendelstein 7-X erarbeitet und mit den Zuwendungsgebern abgestimmt. Klar ist jetzt schon, dass ein Plasmabetrieb im Jahr 2021 nicht mehr möglich ist.



Abb. 4, Arbeiten im Plasmagefäß unter Einhaltung des Infektionsschutzes, Foto: IPP, J. Liebig

Wenn der Plasmabetrieb dann wieder startet, wird man sich nach der langen Experimentierpause behutsam an höhere Heizleistungen und längere Plasmapulse herantasten, um alle neuen und erweiterten Komponenten im Betrieb testen zu können. Die über die Zeit integrierte Heizleistung bzw. die in einem Plasmapulss umgesetzte Energie soll dann stufenweise auf das Maximum von 18 GJ erhöht werden. Dies ist aber ein mehrjähriges, wissenschaftliches und technisches Programm.