



Abbildung 1: Wendelstein 7-X ist die weltweit größte Fusions-Forschungsanlage vom Typ Stellarator, Quelle: IPP

VAKUUMLÖSUNGEN FÜR WENDELSTEIN 7-X

Pfeiffer Vacuum im Interview mit Dr. Heinz Grote, Leiter der Vakuumgruppe beim Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

Seit Dezember 2015 ist die weltweit größte Fusions-Forschungsanlage vom Typ Stellarator „Wendelstein 7-X“ am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald im Betrieb. In ihr werden Experimente durchgeführt, bei denen ein Wasserstoffplasma erzeugt wird, das für einen kontinuierlichen Betrieb eines Kernfusion-Kraftwerks geeignet ist. Die bei der Kernfusion entstehende Energie soll langfristig zur alternativen, sauberen Stromgewinnung genutzt werden. Mithilfe von Wendelstein 7-X wird untersucht, inwieweit das Stellaratorprinzip als Kraftwerk geeignet ist. Nach dem Abschluss der ersten Betriebsphase Ende März 2016 wird die Anlage nun aufgerüstet und für die zweite Experimentreihe vorbereitet. Vakuumtechnik ist dabei ein fundamentaler Bestandteil der Anlage: Nur unter Ultrahochvakuum-

bedingungen können die Experimente durchgeführt werden. In enger Zusammenarbeit unterstützt Pfeiffer Vacuum die Wissenschaftler des IPP in Greifswald seit Jahren bei der Auslegung, Realisierung und dem Betrieb des Vakuumsystems der Anlage.

Im August 2016 besuchte das Pfeiffer Vacuum Projektteam gemeinsam mit Dr. Ulrich von Hülsen, Mitglied der Geschäftsführung der Pfeiffer Vacuum GmbH, die Fusions-Forschungsanlage in Greifswald. Vor Ort informierte sich das Team über den Verlauf der ersten Betriebsphase, den Einsatz der Pfeiffer Vacuum Produkte sowie die Anforderungen der zweiten Phase.

Im Interview mit Dr. Heinz Grote

Dr. Heinz Grote, Leiter der Vakuumgruppe beim IPP, im Interview mit Pfeiffer Vacuum.

Herr Dr. Grote, Wendelstein 7-X ist seit Dezember 2015 in Betrieb. Die erste Experimentphase verlief sehr erfolgreich. Erzählen Sie uns bitte kurz, was seit der Inbetriebnahme der Fusions-Forschungsanlage erreicht wurde?

In der ersten Betriebsphase, die am 10. März 2016 beendet wurde, haben wir rund 2.200 Plasmaentladungen erzeugt – am Anfang aus Heliumgas, ab Februar 2016 aus Wasserstoff. Zunächst standen technische Entladungen zum Reinigen des Plasmagefäßes oder zur Prüfung des Zusammenspiels aller Maschinensysteme – supraleitende Magnete, Kälteanlage, Mikrowellenheizung, Diagnostiken, Vakuumsysteme und Maschinensteuerung – im Fokus. Ein großer Teil der Plasmaentladungen diente aber bereits auch physikalischen Untersuchungen, wie der Einschätzung der Einschlusseigenschaften des für Wendelstein 7-X optimierten Magnetfeldes, der Wärmelastverteilung an sogenannten Limitern oder dem Einfluss externer Trimmspulen.

Lagen die erreichten Entladungszeiten der Wasserstoff-Plasmen zu Anfang bei einer halben Sekunde, erzielten wir am Ende bereits Zeiten von sechs Sekunden. Die Plasmen mit den höchsten Temperaturen wurden bei vier Megawatt Mikrowellen-Heizleistung für die Dauer von einer Sekunde erreicht. Bei mittleren Plasmadichten konnten wir Temperaturen von 100 Millionen Grad Celsius für die Plasmaelektronen sowie 10 Millionen Grad für die Ionen messen.



Abbildung 2: Dr. Heinz Grote erklärt Dr. Ulrich von Hülsen, Mitglied der Geschäftsführung der Pfeiffer Vacuum GmbH, sowie dem Pfeiffer Vacuum Projektteam die Fusions-Forschungsanlage Wendelstein 7-X

Was bedeuten die Ergebnisse dieser ersten Experimentphase für das Wendelstein-Projekt und die geplante Nutzung der aus der Kernfusion generierten Energie zur Stromgewinnung?

Die Untersuchungen zur Magnetfeldkonfiguration waren für die gegenwärtig laufenden Umbauarbeiten im Plasmagefäß des Wendelstein 7-X von Bedeutung. Bis zum Sommer 2017 werden gut 6.000 unterschiedlich geformte Kohlenstoffkacheln zum Schutz der Gefäßwände sowie der sogenannte „Divertor“ mit einer Genauigkeit von weniger als einem Millimeter eingebaut, um in der nächsten Betriebsphase längere Plasmaentladungen bei höheren Leistungen untersuchen zu können. Für den Einschluss des Plasmas mit Hilfe von Magnetfeldern gibt es zwei Konzepte: den Tokamak und den Stellarator. Wendelstein 7-X ist ein Stellarator und soll das wesentliche Plus der Stellaratoren – den Dauerbetrieb unter kraftwerksrelevanten Plasmabedingungen – nachweisen. Er soll zudem zeigen, dass der Plasmaeinschluss dem eines Tokamaks inzwischen ebenbürtig ist. Die Erkenntnisse, die man am Wendelstein 7-X gewinnt, werden zu einem besseren Verständnis der plasmaphysikalischen Grundlagen für ein Fusionskraftwerk beitragen.

Wendelstein 7-X und damit auch die Experimente könnten ohne Vakuumtechnologie nicht funktionieren. Bitte erklären Sie uns kurz, wozu Vakuum benötigt wird.

Kernstück der Anlage Wendelstein 7-X ist ein supraleitendes Magnetspulensystem, das den magnetischen Einschluss des Hochtemperaturplasmas – des eigentlichen Untersuchungsgegenstandes des Experimentes – ermöglicht. Diese Magnetspulen werden bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (etwa -269 °C) mit flüssigem Helium betrieben. Das wichtigste Vakuumsystem ist daher für die Aufrechterhaltung möglichst geringer Wärmeleitung im Kryostat zuständig. Der



Abbildung 3: Dr. Ulrich von Hülsen zusammen mit dem Leiter der Vakuumgruppe beim IPP, Dr. Heinz Grote

Druck muss kleiner als $1 \cdot 10^{-5}$ mbar gehalten werden. Die größte Herausforderung stellt dabei die Größe der ausgasenden Oberfläche von 20 Isolationsschichten dar – etwa 100.000 m². Mit fünf Turbopumpen und den entsprechenden Vorvakuum-Pumpsätzen erreichen wir $1 \cdot 10^{-4}$ mbar bei Raumtemperatur. Nach dem Abkühlen wirken dann zusätzlich die kalten Oberflächen als große Kryopumpe und der Totaldruck sinkt bis auf $3 \cdot 10^{-7}$ mbar.

Das Plasma wird dann in einem innerhalb des Kryostaten liegenden UHV-Gefäß mit einem Basisdruck von etwa $1 \cdot 10^{-8}$ mbar durch den Einlass einer geringen Menge Wasserstoff, Deuterium oder Helium erzeugt. Der Druck steigt dabei in den Bereich einiger 10^{-5} mbar an. Die anfallende Gasmenge beträgt 50 – 100 mbar · l/s und muss von einem eigens dafür konzipierten Pumpsystem bewältigt werden. Dieses besteht aus 30 Turbopumpen und 10 angepassten Vorvakuum-Pumpsätzen.

Neben diesen zwei Hauptvakuumssystemen werden eigene Vakuumherzeugungsanlagen für die Zwischenräume von Doppeldichtsystemen, die Gasversorgung des Experiments, die Hochfrequenz-Heizsysteme, das Neutralteilchen-Heizsystem, für verschiedenste Plasma-Diagnostiken sowie die Kälteanlage zur Erzeugung und zum Transport von flüssigem Helium benötigt.

Welche Produkte von Pfeiffer Vacuum setzen Sie in der Anlage ein? Warum fiel Ihre Wahl auf die Lösungen von Pfeiffer Vacuum?

Bei den Haupt-Vakuumssystemen haben wir uns für die Turbopumpe HiPace 2300 C beziehungsweise UC von Pfeiffer Vacuum entschieden. Die Turbopumpen arbeiten bei uns in der Nähe eines starken, sich auch innerhalb von Millisekunden ändernden und in der Richtung wechselnden Magnetfeldes. Daher kamen keine Lösungen mit aktiv magnetisch gelagerten Rotoren infrage. Der Scheibenrotor der HiPace 2300 mit den zwei weit auseinanderliegenden Lagern bietet die mechanisch stabilste Anordnung bei wechselnden Kräften und mit dem Permanentmagnetlager auf der Hochvakuumseite Schmiermittelfreiheit an dieser Stelle. Auch die Werte für das Saugvermögen leichter Gase haben zu unserer Entscheidung beigetragen.

An den Stromzuführungen für die supraleitenden Spulen sind zur Erzeugung des Isoliervakuaums fünf HiCube Eco Pumpstände im Einsatz.

Die Druckmessung erfolgt ebenfalls zum Teil in der Umgebung magnetischer Streufelder. Deshalb haben wir an jeder Messstelle im Hochvakuum – insgesamt 65 – eine Kombination aus Piezo/Pirani-Messröhren RPT 100/RPT 200 und Penning-Röhren IKR 070 mit TPG 300 von Pfeiffer Vacuum im Einsatz, die die erforderliche Resistenz gegen diese Streufelder gezeigt haben. Außerdem lassen sie sich gut in unser Steuerungskonzept integrieren.

Zur Restgasanalyse im Kryostat und dem Plasmagefäß nutzen wir Sputtermonitore SPM 220 von Pfeiffer Vacuum, die auch im höheren Druckbereich arbeiten können.

Außerdem haben wir von Trinos Vakuum-Systeme den Hauptteil der maßgeschneiderten Verrohrungen und Verbindungselemente für den UHV-, HV- und Vorvakuumbereich herstellen lassen. Viele Diagnostiken haben spezielle Tauchrohre für die Einführung ihrer Apparaturen über die zum Teil zwei Meter langen Stutzen direkt in das Plasmagefäß.

Wie bewerten Sie die Zusammenarbeit mit Pfeiffer Vacuum?

Die Zusammenarbeit mit den Außendienst-Mitarbeitern verlief von der ersten Anfrage über die Angebotserstellung bis zur Auftragsabwicklung immer sehr professionell. Insbesondere bei den Vakuumkammern, wo wir häufig nachträglich noch Sonderwünsche oder Änderungen anbringen mussten, da sich in unserem sehr begrenzten Bauraum die äußeren Randbedingungen änderten, hatten wir auch direkte Ansprechpartner in Göttingen, wo die Verbindungselemente hergestellt werden.

Anders als möglicherweise andere Kunden Ihres Hauses sehen wir die im Einsatz befindlichen Pumpen und Messsysteme auch als Teil unseres Experimentes. Daher sind wir sehr froh, dass wir uns mit speziellen Fragen auch ganz direkt an Mitarbeiter der Entwicklungsabteilungen wenden können, bei denen wir jederzeit ein offenes Ohr finden.

Angeforderte Service-Einsätze bei aufgetretenen Problemen während der Inbetriebnahme einzelner Systeme oder im laufenden Betrieb wurden immer schnell realisiert und haben regelmäßig bei unseren Mitarbeitern zu einem Erkenntniszuwachs geführt.

Sie bereiten nun die zweite Experimentphase vor und rüsten Wendelstein 7-X dafür auf. Welche Anpassungen werden an der Anlage vorgenommen?

Zunächst wird im Plasmagefäß die Auskleidung der Innenwand vervollständigt und es werden spezielle Bauteile (Diveratoren) eingefügt, damit höhere Leistungs- und Teilchenflüsse aufgenommen werden können. Dadurch erhöhen sich die Heizleistung des Plasmas und die Entladungsdauer. Die Gasversorgung und das Vakuumssystem für das Plasmagefäß werden zusätzlich für den Betrieb mit Diboran ausgerüstet. Dieses Gas wird zur Konditionierung der Innenwand des Plasmagefäßes benötigt, indem in einer Glimmentladung Bor auf der Wand abgeschieden wird, was nachfolgend in den Experimentplasmen den Sauerstoffgehalt reduziert. Anpassungen in der Steuerung des Vakuumsystems mit dem Schwerpunkt der Erhöhung der Sicherheit sind dazu unerlässlich, da Diboran brennbar sowie giftig ist und daher nicht in die Umgebung gelangen darf. Außerdem werden einige bereits in Betrieb befindliche Diagnostiken überholt,

andere werden neu installiert.

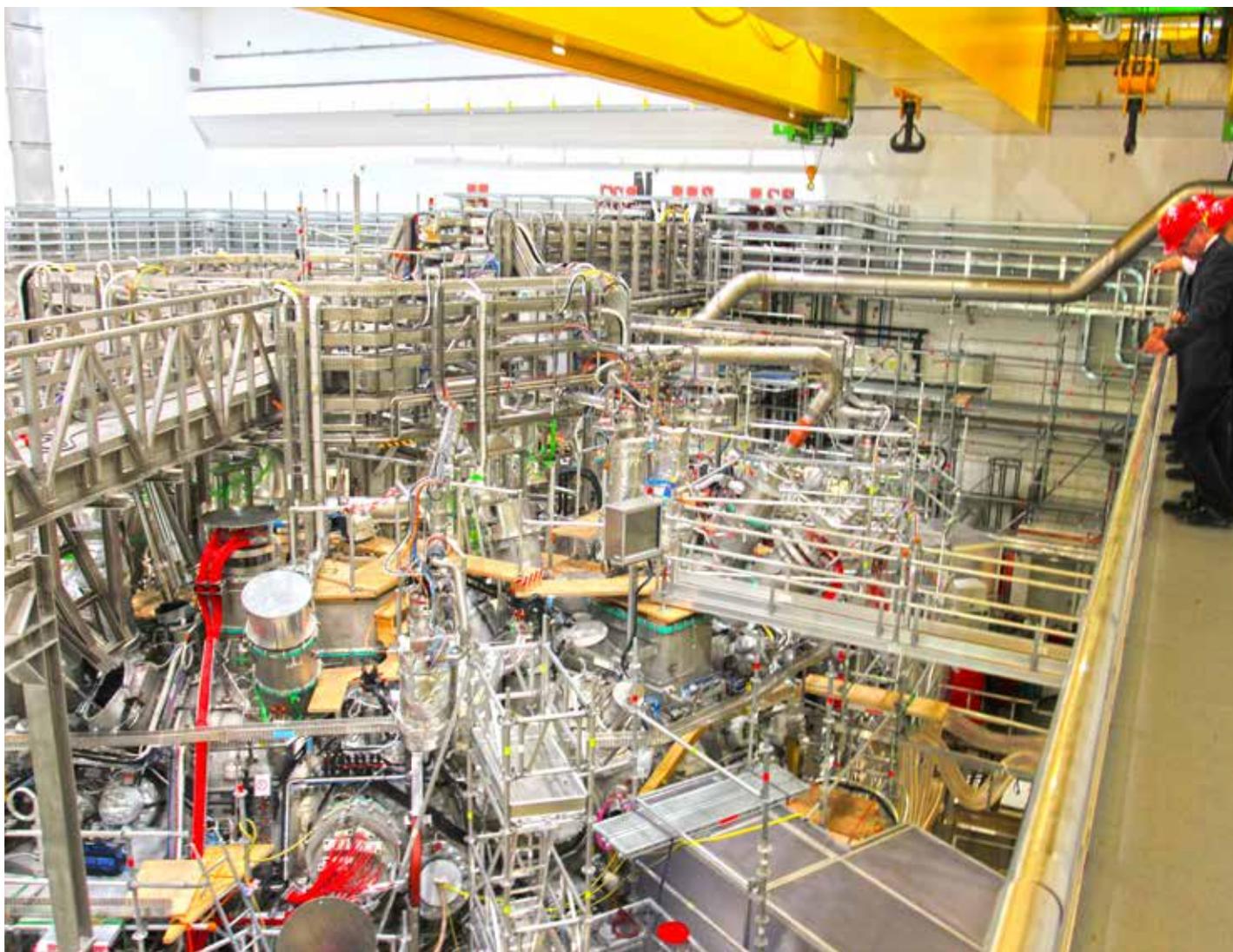
Welche Produkte von Pfeiffer Vacuum sind für die zweite Experimentphase von Wendelstein interessant?

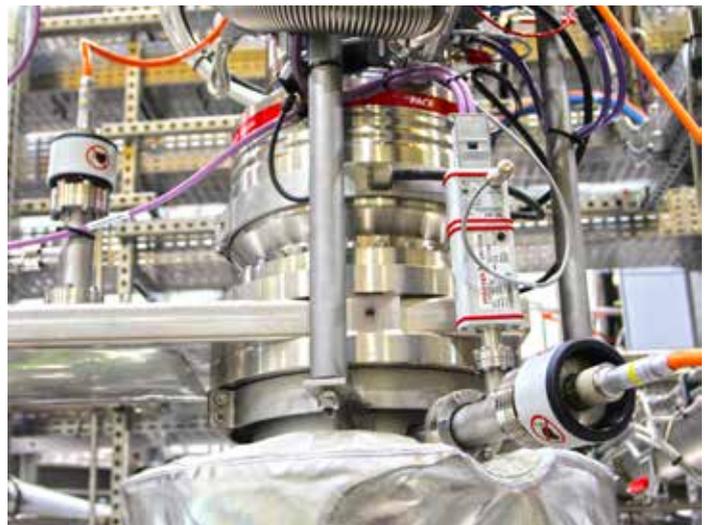
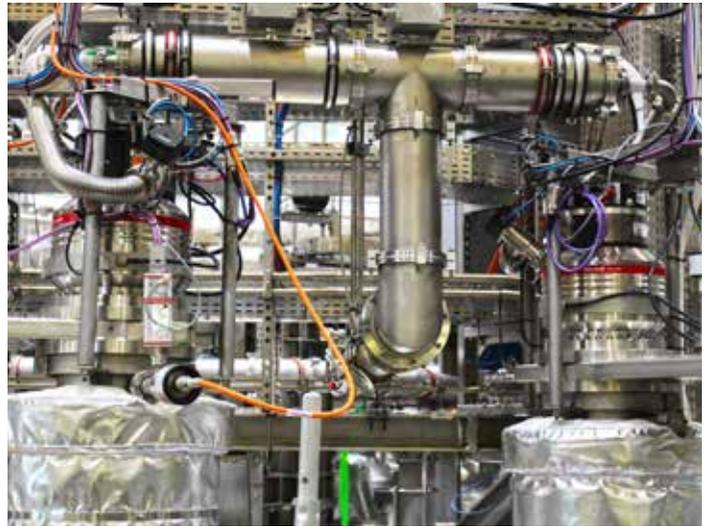
Wir sind gerade dabei, für den erwähnten Betrieb mit Diboran ein neues Massenspektrometer HPA 200 von Pfeiffer Vacuum zu bestellen.

Vielen Dank für das Interview!

Weitere Informationen zu Wendelstein 7-X und den eingesetzten Lösungen von Pfeiffer Vacuum finden Sie in unserem Anwendungsbericht „Energiegewinnung nach dem Vorbild der Sonne“ auf unserer Website.

<https://www.pfeiffer-vacuum.com/anwendungsberichte/>





Turbopumpen, Pumpstände, Massenspektrometer und Analytoren von Pfeiffer Vacuum im Einsatz bei Wendelstein 7-X

VAKUMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuumlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte
Vakuumlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Headquarters · Germany
T +49 6441 802-0

www.pfeiffer-vacuum.com

PFEIFFER  **VACUUM**