

Wendelstein 7-X

NEWSLETTER

No. 12 / April 2016

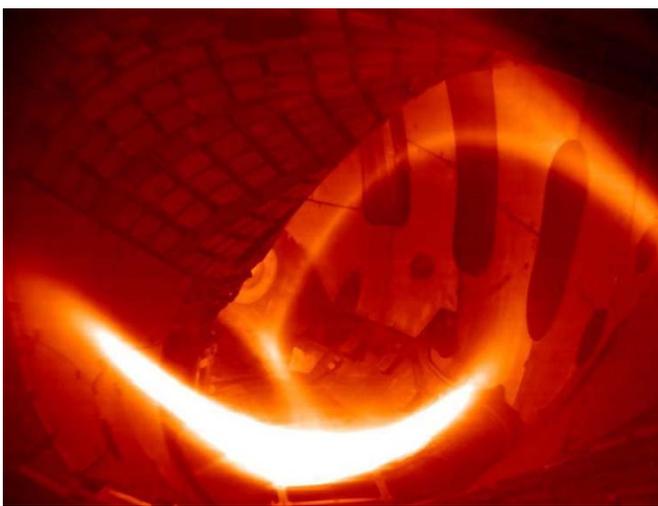
Erste Experimentkampagne am Wendelstein 7-X erfolgreich beendet

Nach dem Start der ersten Experimentkampagne am 10. Dezember 2015 wurde diese nach zehn Wochen intensivem und ausgiebigem Plasmabetrieb am 10. März 2016 erfolgreich beendet: Alle wissenschaftlichen und technischen Ziele wurden erreicht oder teilweise sogar übertroffen. Einen Tag nachdem die zuständige Behörde, das Landesamt für Gesundheit und Soziales (LAGuS), die Betriebserlaubnis erteilt hatte, wurde das erste Plasma am 10.12.2015 erzeugt. Erstmals für eine Fusionsmaschine konnten viele Gäste aus der Wissenschaftsgemeinde den wissenschaftlichen Start eines Fusionsexperimentes rund um den Globus auch per Videoübertragung verfolgen. Nationale und internationale Medienvertreter folgten der Einladung und waren vor Ort. Bereits in der ersten Woche des Plasmabetriebs wurden Elektronentemperaturen von 1 keV erreicht, was ungefähr 10 Millionen °C entspricht. Anfangs waren die ersten Entladungen auf ungefähr 50 Millisekunden beschränkt, da die Plasmastrahlung aufgrund von Verunreinigungen das Plasma im Zentrum abkühlte. Nach dem Einsatz kurzer, aufeinanderfolgender Pulse der Elektron-Zyklotron-Resonanzheizung (ECRH) und später auch durch Glimmentladungsreinigung verbesserte sich die Konditionierung des Plasmagefäßes. Dadurch konnten die Plasmaentladungen auf ungefähr 500 Millisekunden verlängert werden. Nach einer ersten Phase mit dem Arbeitgas Helium folgte planmäßig die Umstellung auf Wasserstoff für den eigentlichen wissenschaftlichen Betrieb. Das erste Wasserstoffplasma wurde am 3. Februar 2016 im Beisein der deutschen Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel erzeugt. Fast 400 Vertreter aus Politik und Wissenschaft folgten der Einladung und verfolgten das Ereignis vor Ort im IPP Greifswald. Wiederum nahmen viele FusionsforscherInnen und die interessierte Öffentlichkeit per Livestream teil.



Seit diesen ersten Entladungen wurde ein intensives Experimentprogramm bis zum 10. März durchgeführt. Ständige Fortschritte gestatteten schließlich Plasmen von bis zu 6 Sekunden Dauer bei einer ECRH-Leistung von 600 kW. Dies wurde möglich, weil das ursprünglich festgelegte Energielimit von 2 MJ auf 4 MJ verdoppelt werden konnte. Nach sorgfältiger Prüfung stellte sich jedoch heraus, dass die Plasma-Limiter bei weitem keine kritischen Temperaturen erreichten.

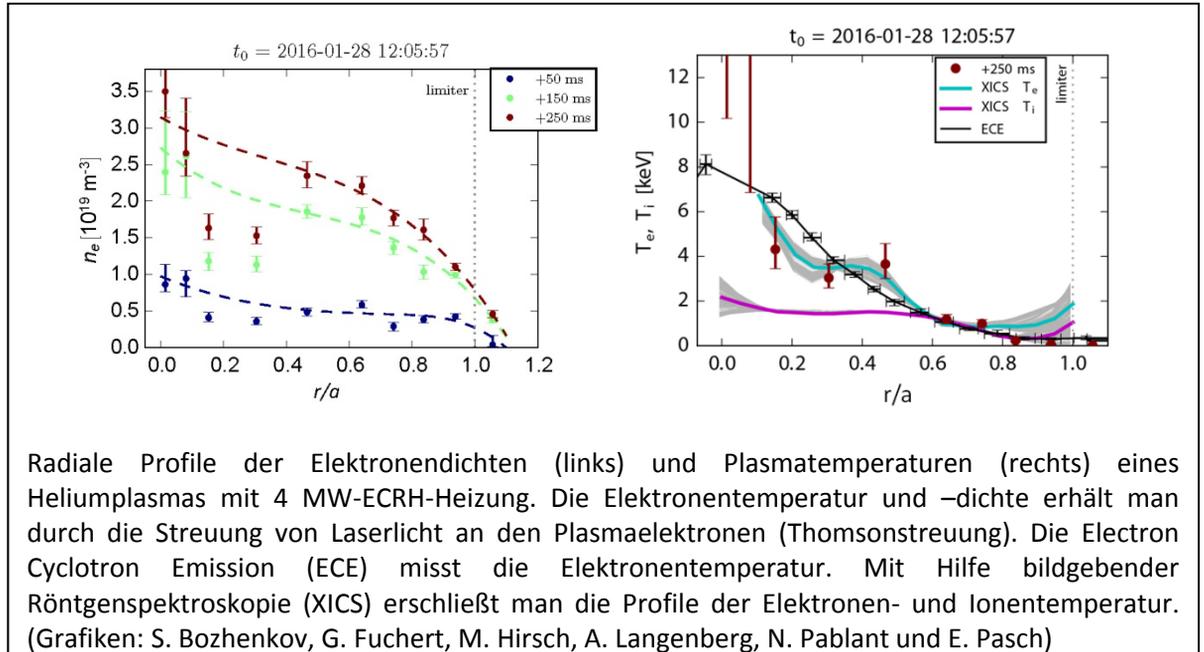
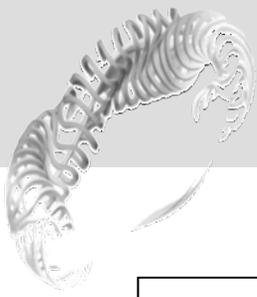
Die Plasmen mit den höchsten Dichten und Temperaturen wurden bei 4 MW Heizleistung für die Dauer von bis zu einer Sekunde erzielt. Bei Linien-gemittelten Elektronendichten von ungefähr $2 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ führte dies zu Temperaturen im Plasmazentrum von bis zu 10 keV (~100 Millionen °C) für die Elektronen und 1 keV (~10 Millionen °C) für die Ionen. Bei etwas höheren Dichten nahe $3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ wurden Elektronen- und Ionentemperaturen von ungefähr 7 keV bzw. 2 keV erreicht.



Videobild vom ersten Wasserstoffplasma. Das Bild zeigt einen tangentialen Blick in das Plasmagefäß mit Wandstrukturen und Stützenöffnungen (für Diagnostikzugänge). Das sichtbare Licht, das vom Plasma emittiert wird, bildet einen dreidimensionalen Torus, der am Plasmarand Licht ausstrahlt. (Das heiße Plasmaminnere emittiert so gut wie kein sichtbares Licht.) Die Schnittstelle zwischen dem eingeschlossenen Plasma und dem Plasmarand erkennt man an dem Übergang von geringer Lichtintensität zu den Bereichen, die viel Licht emittieren. (Foto: IPP in Zusammenarbeit mit dem Wigner RCP, Ungarn)

Der Erfolg der ersten Experimentkampagne hat selbst die optimistischsten Erwartungen übertroffen. Erstes Ziel war das Zusammenspiel aller Komponenten für den Plasmabetrieb von Wendelstein 7-X zu testen. Hierzu gehörte die Kryoanlage zur Abkühlung der supraleitenden Spulen, das Magnetsystem selbst, die komplexe Maschinensteuerung, die bereits vom ersten Tag auf den in Zukunft avisierten Dauerbetrieb ausgelegt ist, und der robuste Betrieb der Mikrowellenheizung (ECRH). Daneben konnten auch viele Plasmadiagnostiken (mehr als 20) in Betrieb genommen werden. Gerade die raschen Fortschritte der Diagnostiken haben bereits viele detaillierte physikalische Untersuchungen und auch fundierte Analysen von vorher nicht absehbaren Betriebsmöglichkeiten gestattet.

Insgesamt wurden 940 Entladungsprogramme ausgeführt. Davon waren 92 technische Tests. Für die Entwicklung der grundsätzlichen funktionellen Anforderungen für den Plasmabetrieb (z.B. Plasmagefäßkonditionierung) waren 446 Programme bestimmt. Die verbleibenden 402 Programme wurden für physikalische Untersuchungen genutzt. Diese ermöglichten eine erste Einschätzung der Einschlusseigenschaften der Wendelstein 7-X-Magnetfeldkonfiguration, die Untersuchung des Transports am Plasmarand und des Einflusses von externen Fehlerfeldern (die von den sogenannten Trimmspulen erzeugt wurden) auf die Wärmelastverteilung an den Limitern, erste Elektron-Zyklotron-Stromtriebexperimente und die Anwendung der 2. harmonischen O-Modus-Heizung zur Heizung des Plasmas bei höheren Dichten.



Unsere internationalen Partner beteiligten sich intensiv an der Kampagne und waren in mehr als die Hälfte des Physikprogramms mit einbezogen: Federführend wurden etwa 40% der Experimente von EU Partnern und 24% von US-Kollegen vorgeschlagen. Der größte Teil der Experimente jedoch involvierte alle Parteien und kann daher als die erfolgreiche Umsetzung des „One-Team-Approaches“ angesehen werden.

Nach dem Abschluss all dieser Experimente liegt nun der Fokus auf der sorgfältigen Analyse der Daten. Die gemessenen Daten müssen validiert werden: Im Detail bedeutet dies auch Nachkalibrierungen und die Zusammenführung der Messergebnisse mit Hilfe numerischer Codes. Ebenso findet der intensive Vergleich mit theoretischen Vorhersagen und Modellen statt.

Die Vorbereitungen für die nächste Experimentenkampagne haben bereits begonnen. Das Plasmagefäß wurde belüftet und viele periphere Systeme wurden entfernt, um Zugang zum Plasmagefäß zu erhalten. In den nächsten vierzehn Monaten wird die sogenannte Test-divertoreinheit (test divertor unit – TDU) installiert. Dieser trägheitsgekühlte Insel-Divertor hat die gleiche Form des wassergekühlten stationären „High-Heat-Flux“ Divertors, der zurzeit hergestellt und für den Einbau nach der nächsten Experimentierkampagne vorbereitet wird. Mit dem trägheitsgekühlten TDU und der vervollständigten Abdeckung der Hitzeschilde und -platten mit Graphitkacheln wird Wendelstein 7-X für Hochleistungsplasmen (8 MW), die bis zu 10 Sekunden dauern können, vorbereitet sein. Diese Kampagne soll in der ersten Hälfte 2017 starten.