

Wendelstein 7-X

NEWSLETTER

No. 11 / März 2015

Europa und Wendelstein 7-X Beispiel für europäische Kooperation

Zusammenarbeit hat in der europäischen Fusionsforschung eine lange Tradition: Seit 1961 ist das IPP dem Europäischen Fusionsprogramm assoziiert, zu dem sich die Fusionslaboratorien der Europäischen Union und der Schweiz zusammengeschlossen haben. In den 1970ern beschloss man, gemeinsam den Joint European Torus (JET) zu bauen und zu betreiben. 2014 wurde EUROfusion als ein Konsortium von 29 nationalen Fusionslaboratorien gegründet. Diese Neuordnung ist darauf ausgerichtet, die „Roadmap zur wirtschaftlichen Nutzung der Kernfusion“ umzusetzen. Diese „Roadmap“ verfolgt zielorientiert das europäische Programm in acht Missionen. Mission 8 fokussiert sich auf den Stellarator. Die Finanzierung des Fusionsprogramms ist ebenso auf die Mission priorisiert.

In Mission 8 wird in der Stellaratorlinie ein alternatives Konzept zur Erzeugung von Fusionsstrom entwickelt. Die europäischen Arbeiten konzentrieren sich auf optimierte Stellaratoren nach dem „HELIAS-Prinzip“ – einer Stellaratorlinie, die am IPP erfunden und entwickelt wurde. Wendelstein 7-X ist ein Eckpfeiler dieser Linie, die entscheidend für die Mission 8 ist und gleichzeitig grundlegende Fragen in der Plasmaphysik beantworten wird. Damit übernimmt das Projekt eine weltweite Führungsrolle auf dem Gebiet des drei-dimensionalen magnetischen Einschlusses und zugehöriger Technologieentwicklungen. Die wissenschaftliche Attraktivität, die strategische Rolle als Synergieträger, z.B. für ITER, und alternative Lösungen des Stellarators zu potentiellen wissenschaftlichen Risiken auf anderen Feldern machen W7-X zu einem integralen Bestandteil der europäischen Fusionsforschung.

Das Stellaratorarbeitspaket umfasst Theorie und Modellierung sowie die Vorbereitung von Experimentprogrammen, wobei man hier auch von der kleineren, aber einfacher zugänglichen Experimentanlage TJ-II in Spanien profitiert. Ein Rückgrat der europäischen Teilnahme an Wendelstein 7-X ist die Lieferung, der Betrieb und die Auswertung von wissenschaftlichen Instrumenten oder Diagnostiken.

Die Mitglieder von EUROfusion - 29 nationale Forschungszentren repräsentieren die europäische Fusionsforschung.

www.euro-fusion.org





Mehr als zwölf europäische Forschungseinrichtungen beteiligen sich 2015 am Arbeitsprogramm von Wendelstein 7-X. Seit mehr als 20 Jahren gibt es bereits die Zusammenarbeit zwischen dem IPP und den ungarischen Partnern des Bereiches Plasmaphysik im Wigner Research Centre for Physics in Budapest. Das ungarische Videokamerasystem ist ein herausragendes Beispiel dafür, wie Wendelstein 7-X von der europäischen Hochtechnologie profitiert.

Event Detection Intelligent Camera (EDICAM) für die Echtzeit-Plasmadiagnostik und -kontrolle an Wendelstein 7-X

Safety first

Wendelstein 7-X soll nachweisen, dass ein Dauerbetrieb möglich ist; dabei sind sehr lange Entladungen eine Grundvoraussetzung für einen wirtschaftlichen Fusionsreaktor. Allerdings könnten die langen Pulse von mehreren zehn Minuten zu unerwünschten lokalen Belastungen führen, die gegebenenfalls die einzelnen Experimente verkürzen. Das Erkennen solcher Ereignisse ermöglicht es, Schutzmaßnahmen zu ergreifen und Probleme beim Betrieb von Wendelstein 7-X zu vermeiden.

Ziel des EDICAM-Projekts ist es, ein spezielles schnelles Kamerasystem für Wendelstein 7-X zu entwickeln und zu betreiben. Die wichtigste Herausforderung der ungarischen Wissenschaftler war die vielseitige Verwendbarkeit, die ein solches System haben muss: Es soll einen Überblick über den gesamten Querschnitt des Stellarators liefern, es muss schnell genug sein, um Plasmaphänomene, die sich in weniger als einer Tausendstel Sekunde ereignen, aufzuzeichnen und das Video muss die gesamte

Plasmaentladung bis zu einer Länge von dreißig Minuten abdecken. Das Kamerasystem soll Wendelstein 7-X schützen, indem es unerwünschte Betriebszustände, wie die Berührung von Strukturelementen durch das Plasma, aufdeckt und diese an die Plasmasteuerung übermittelt. Außerdem müssen die Kameras unter den schwierigen Bedingungen eines starken magnetischen Feldes funktionieren. Und sie sind der Wärmestrahlung durch die sie umgebenden heißen Oberflächen ausgesetzt.

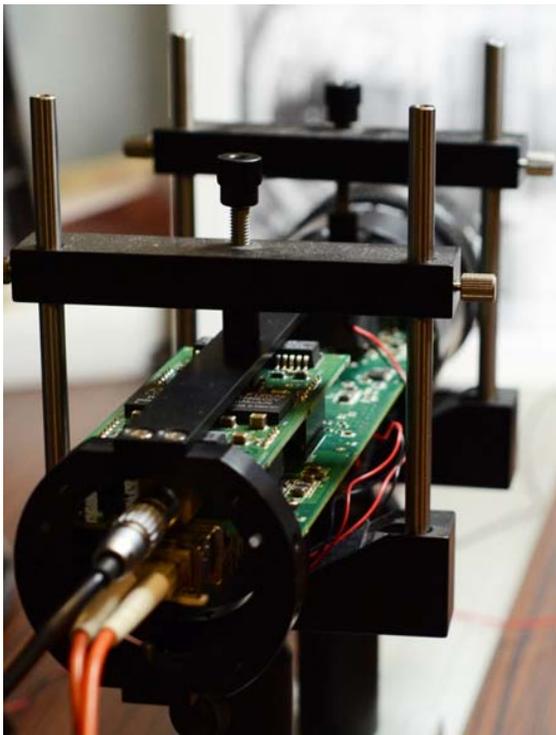


Foto: Wigner Research Centre for Physics

Der Kamerakopf der Videodiagnostik. Er befindet sich im eingebauten Zustand direkt an der Gefäßwand, nahe dem Plasma. Die Diagnostik nimmt die Bilder aus dem Inneren von W7-X auf. Von dort werden die Rohdaten über ein 100 Meter langes optisches Kabel in die Diagnostikhalle geleitet. Pro Kamera verarbeitet je ein Computer diese Daten und sendet sie als Live-Video-Stream in den Kontrollraum.



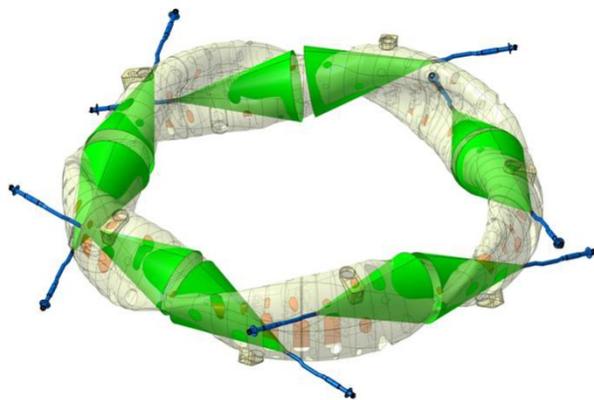
Intelligente Überwachung

Ist eine solche Kamera vorhanden, besteht die nächste Herausforderung darin, das Speicherproblem für die sehr großen Datenmengen zu lösen. Normalerweise werden schnelle Kameras für sehr kurze Zeitspannen – nämlich Sekundenbruchteile – genutzt. Bereits dann können sie 10 GB an Daten produzieren. Wendelstein 7-X soll aber bis zu 1800 Sekunden betrieben werden. Verschärft wird die Situation dadurch, dass zehn Kameras eingesetzt werden müssen, um den gesamten Innenraum der Maschine zu überwachen. Diese Probleme wurde durch zwei innovative Ideen gelöst.

Die erste Idee sieht eine komplette Änderung der Arbeitsweise der schnellen Kamera vor: Anstelle die Daten passiv zu sammeln und sie dann offline im Anschluss an das Experiment zu verarbeiten, soll eine Echtzeitanalyse bei laufender Kamera durchgeführt werden. Zudem sollen Ereignisse, die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Plasma ablaufen, den Kamerabetrieb *beeinflussen*. Im Zusammenhang mit einem solchen System wird auch das Speicherproblem behandelt: Die Kamera kann interessante Ereignisse erkennen und sie kann so eingerichtet werden, dass nur diese Ereignisse gespeichert werden. Alle anderen Einzelbilder, die keine wertvollen Informationen enthalten, werden außer Acht gelassen. Diese Funktionsweise trug zur Namensgebung für das Kamerasystem bei: „Event Detection Intelligent CAMera“ – EDICAM, Intelligente Kamera für die Ereigniserkennung. Erkannte Ereignisse, die als wichtig angesehen werden, werden an das Plasmakontrollsystem weitergeleitet. Dieses ergreift wiederum Maßnahmen, um die Fusionsanlage zu schützen.

Die andere einzigartige Idee ist die, einen speziellen CMOS-Sensor mit einer sogenannten zerstörungsfreien Lesefähigkeit zu nutzen. Normale Kamerasensoren werden vollständig gelöscht, wenn das Videobild ausgelesen wird, dann startet die Aufnahme des nächsten Videobildes, eines sogenannten Frames. Dies geschieht auch, wenn nur ein kleiner Teil des Bildes ausgelesen wird.

Mit dem EDICAM System ist es jedoch möglich, das Videobild in einem bestimmten Teil – der „region of interest“ (ROI) – mehrfach auszulesen, ohne die Aufnahme des gesamten Frames zu beeinträchtigen. In anderen Worten, ein kleines Video, das nur einen Teil des Gesamtbildes enthält, wird *simultan* zur Aufzeichnung des gesamten Films aufgenommen. EDICAM kann bis zu vier ROIs verarbeiten. Vergleicht man das mit einer Fernsehkamera, die ein Fußballspiel überträgt, dann müsste die Fernsehkamera vier eingebaute Zeitlupenkameras besitzen, die in unterschiedliche Bereiche des Spielfeldes zoomen.



Das Kamerasystem der Videodiagnostik: Zehn Kameras befinden sich in den Stützen (Ports), hier blau dargestellt. Sie überwachen die in grün dargestellten Bereiche innerhalb des Plasmagefäßes.



Mit dieser Eigenschaft wird auch das Geschwindigkeitsproblem gelöst: Während die gesamte innere Wand des Wendelstein 7-X bei niedriger Geschwindigkeit überwacht wird, können einige Maschinenkomponenten 100- bis 1000-mal schneller angesehen werden. Es ergibt sich eine extrem kurze Reaktionszeit für die Ereigniserkennung. Geschwindigkeit, Lichtintensität und die Nutzung des zerstörungsfreien Lesens sind für Wissenschaftler wichtiger als Farbe, daher liefert der Spezialkameranensensor ein Schwarz-Weiß-Bild, allerdings mit 4096 Helligkeitsstufen anstelle von 256 in einer Alltagskamera.

Die Verarbeitung der Videodaten von der schnellen Kamera in Echtzeit erfordert sehr hohe Rechenleistungen. Dafür nutzt das EDICAM-System „Field Programmable Gate Arrays“ (FPGAs), sowohl für die Datenverarbeitung als auch für die Kamerasteuerung selbst. Diese modernen Mikrochips sind genauso schnell wie übliche Hardwarechips, aber ihre interne Struktur und daraus folgend ihre Funktionsweise wird durch einen Programmcode bestimmt, der beim Starten geladen wird. Auf diese Art und Weise können neue Funktionen ohne Hardwareveränderung entwickelt und eingesetzt werden.

Bis das erste Plasma im Vakuumgefäß von Wendelstein 7-X erzeugt wird, müssen die ungarischen Wissenschaftler nun das „10-Kamera-System“ an der Fusionsanlage installieren und in Betrieb nehmen.



Foto: IPP-Greifswald

*Text EDICAM: T. Szepesi
Wigner Research Centre for Physics,
Budapest*

Blick in das Plasmagefäß des W7-X aus der Perspektive der Videodiagnostik. Auf der linken Seite ist der Hitze-Schild im Inneren des Plasmagefäßes zu sehen. Die drei roten Kreise im Bild markieren Bezugspunkte zur Kalibrierung.

Der Stab der magnetischen Flussflächenmessung ragt in die Mitte des Gefäßes. Er ist ein beweglicher Teil der Diagnostik.

Status Wendelstein 7-X

Am 10. März konnte der Wendelstein 7-X erstmalig auf vier Kelvin, minus 269 Grad Celsius abgekühlt werden. Dieser Wert ist die Voraussetzung für die Supraleitung der Magnete. Damit ist ein ganz entscheidender Meilenstein bei der Betriebsvorbereitung erreicht worden.